نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

ارزیابی روش کریجینگ بیزین تجربی در پهنه‌بندی تراز آب زیرزمینی

الناز فرنیا[۱]، *خلیل قربانی[۲] و میثم سالاری‌جزی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۳]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۶/٤/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۲٦

چکیده

سابقه و هدف: آب‌های زیرزمینی از منابع ارزشمندی است که همواره مورد توجه پژوهشگران قرار داشته است. از موارد مطالعاتی در این زمینه، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی‌شده تراز سطح آب زیرزمینی است که با انتخاب مناسب‌ترین روش از بین روش‌های مختلف درون‌یابی انجام می‌شود. روش درون‌یابی کریجینگ که بر پایه نیم‌تغییرنما است، یکی از روش‌های درون‌یابی موسوم به روش‌های زمین‌آماری است. دقت درون‌یابی به انتخاب مناسب تغییرنما بستگی دارد. بر این اساس روش درون‌یابی کریجینگ بیزین تجربی توسعه‌یافته است تا به‌صورت خودکار، پارامترهای مربوط به نیم‌تغییرنما را طی فرآیند شبیه‌سازی برآورد کند. هدف از انجام این پژوهش بررسی قابلیت روش کریجینگ بیزین تجربی در افزایش دقت درون‌یابی جهت پهنه‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی است که برای این منظور، نتایج آن با نتایج دیگر روش‌های درون‌یابی قطعی شامل فاصله معکوس وزنی‌ها، توابع پایه شعاعی و چندجمله‌ای‌های سراسری و محلی نیز مقایسه می‌شود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش براساس میانگین سالانه تراز سطح آب زیرزمینی در ۵۷ ایستگاه چاه عمیق واقع در آبخوان قره‌سوی استان گلستان طی دوره آماری ۱۳۸٤ تا ۱۳۹۵ انجام شده است. به‌منظور پهنه‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی، روش‌های مختلف درون‌یابی قطعی و زمین‌آماری با استفاده از فن اعتبارسنجی تقاطعی مورد آزمون قرار گرفتند. در روش‌های کریجینگ و کریجینگ بیزین تجربی بهترین نیم‌تغییرنما انتخاب شد و در نهایت از بین آن‌ها مدلی که کم‌ترین میزان خطا را به همراه داشت تعیین و نقشه آن ترسیم شد.

یافته‌ها: نتایج درون‌یابی حاصل از اعتبارسنجی تقاطعی در منطقه مطالعاتی نشان داد که در بین روش‌های قطعی، روش چندجمله‌ای محلی با درجه دو از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بود، به‌طوری‌که حتی در مقایسه با روش زمین‌آماری کریجینگ نیز از خطای کم‌تری برخوردار است. در روش‌های زمین‌آماری نیز روش کریجینگ بیزین تجربی با شبیه‌سازی برازش تغییرنما مناسب بر داده‌های تراز سطح آب زیرزمینی میزان خطای درون‌یابی به روش

* مسئول مکاتبه: ghorbani.khalil@yahoo.com

کریجنگ را از حدود ۲۳ متر به حدود ۱۶ متر کاهش داد و در مقایسه با روش چندجمله‌ای محلی نیز دقتی نزدیک بهم را نشان داد.

نتیجه‌گیری: با وجود این‌که نقشه ترسیم شده با دو روش بیزین کریجینگ تجربی و چندجمله‌ای موضعی، از لحاظ مقدار خطا تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای را نشان نمی‌دهند، اما اختلافات محسوسی در این دو نقشه دیده می‌شود. روش کریجینگ بیزین تجربی طیف هموارتری را از تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد و الگوی ترسیم شده تراز سطح آب زیرزمینی با این روش نیز متناسب با جهت شیب عمومی منطقه است.

واژه‌های کلیدی: کریجینگ، کریجینگ بیزین تجربی، آب زیرزمینی، گلستان، زمین‌آمار، درون‌یابی

مقدمه

آب، راز ماندگاری جهان و از عناصر اصلی بقا و دوام چرخش زندگی در کره زمین است. بدون تردید کشور ایران همانند دیگر کشورهای خاورمیانه در سال‌های آتی با بحران جدی ناشی از کمبود آب روبرو خواهد بود. بنابراین، شناخت و معرفی هرچه بیش‌تر منابع بهینه آب، الگوی درست مصرف و بهره‌گیری صحیح و مناسب از منابع آب زیرزمینی و آب‌های جاری مقوله‌ای است که سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان امور آب با نگرانی و دقت به آن پرداخته‌اند (۱۱). از بین منابع آبی، آب‌های زیرزمینی از منابع ارزشمند تهیه آب شرب، کشاورزی و صنعت در تمام مناطق خشک و بیابانی به‌شمار می‌روند. با توجه به تغییرات کیفی و کمی آب‌های زیرزمینی که ممکن است در اثر فعالیت‌های انسانی و توسعه فعالیت‌های صنعتی صورت می‌گیرد، بررسی این منابع به‌منظور حفظ و اصلاح آن‌ها ضروری است (۱۵). عموماً در مطالعات منطقه‌ای تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی، از داده‌های اندازه‌گیری‌شده که به‌صورت نقطه‌ای در چاه‌های مشاهداتی برداشت می‌شوند، استفاده می‌شود. برای این منظور لازم است تا این داده‌ها با روش‌های مختلف درون‌یابی، پهنه‌بندی شوند. اما در محیط GIS[1] روش‌های مختلفی برای درون‌یابی وجود دارد که در نگاه کلی می‌توان آن‌ها را به دو دسته روش‌های قطعی شامل روش‌های فاصله معکوس وزنی[2]، توابع پایه شعاعی[3] یا اسپلاین و چندجمله‌ای‌های سراسری[4] و محلی[5] و روش‌های زمین‌آماری شامل کریجینگ[6] تقسیم‌بندی کرد. با توجه به ناشناخته و پیچیده بودن تغییرات مکانی داده‌ها، از روش‌های مختلف درون‌یابی استفاده می‌شود و این روش‌ها با استفاده از فن اعتبارسنجی تقابلی مقایسه می‌شوند و از بین آن‌ها روشی که کم‌ترین خطا را در پیش‌بینی دارا باشد، انتخاب می‌گردد. بر این اساس، پژوهشگران زیادی به انتخاب روش مناسب درون‌یابی برای پارامترهای مختلف محیطی شامل دما، بارش، پارامترهای کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی و موارد دیگر پرداخته‌اند که در این میان می‌توان به مطالعه اقدسی (۲۰۰۳) اشاره کرد که با مقایسه چهار روش زمین‌آماری کریجینگ، کوکریینگ[7]، روش فاصله معکوس وزنی و اسپلاین جهت میان‌یابی داده‌های

1- GIS: Geographic Information System
2- IDW: Inverse Distance Weighted
3- RBF: Radial Basis Function
4- GPI: Global Polynomial Interpolation
5- LPI: Local Polynomial Interpolation
6- Kriging
7- Cokriging

بارندگی روزانه و ده‌روزه و ماهانه و سالانه دشت برخوار اصفهان (منطقه‌ای با آب‌وهوای بیابانی خشک) به این نتیجه رسید که روش اسپلاین با توان دو و بدون متغیر کمکی دارای کم‌ترین خطای میان‌یابی است و مقدار خطا از مقیاس زمانی روزانه به سالانه کاهش می‌یابد (۱). جامعی (۲۰۰۸) با مقایسه روش‌های درون‌یابی فاصله معکوس وزنی، اسپلاین، کریجینگ و کوکریجینگ در برآورد منطقه‌ای تبخیر- تعرق مرجع در استان خوزستان به این نتیجه رسید که روش کریجینگ بهترین روش درون‌یابی داده‌های تبخیر- تعرق مرجع در مقیاس‌های ماهانه و سالانه است (۸). شهابی‌فر و همکاران (۲۰۰۵) از روش‌های زمین‌آمار برای تعیین نیاز آبی چغندرقند در استان تهران استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ از سایر روش‌ها مناسب‌تر بوده است. برخی از پژوهشگران نیز به مقایسه روش‌های درون‌یابی در محیط GIS با روش‌های آماری و هوشمند مانند درخت تصمیم و شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند (۱٦). میثاقی و محمدی (۲۰۰۷) در پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری کلاسیک و زمین‌آمار و مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی به این نتیجه رسیدند که روش‌های زمین‌آماری و تخمین‌گرهای کریجینگ و کوکریجینگ برتری داشته‌اند (۱۳). آتوره و همکاران (۲۰۰۷) سه روش وزن عکس فاصله، کریجینگ با روند خارجی و شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای میان‌یابی ۱۲ شاخص اقلیمی و ۹ شاخص زیست‌اقلیمی در منطقه لاتزیو ایتالیا بررسی کردند و از متغیرهای عوارض سطح زمین (شیب، جهت و ...) و موقعیت جغرافیایی به‌عنوان متغیرهای مستقل استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ با روند خارجی در ۱۷ مورد و روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و روش وزنی عکس فاصله به‌ترتیب در ۳ و ۱ مورد بهترین روش‌های برآورد بودند (۲). قربانی (۲۰۱۲) در ابتدا روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی را با روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آماری در ترسیم نقشه هم‌بارش در استان گیلان مقایسه کرد و نتیجه گرفت روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با $RMSE^{1} = 147$ میلی‌متر دارای کم‌ترین مقدار خطا بود و با روش کریجینگ که با $RMSE=187$ میلی‌متر در رتبه دوم قرار دارد، اختلاف معنی‌دار داشت. بر این اساس مناسب‌ترین روش برای ترسیم هم‌بارش در استان گیلان را روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی معرفی کرد (۵). پس از آن نیز قربانی و همکاران (۲۰۱۳) روش‌های مختلف رگرسیونی را برای ترسیم نقشه هم‌بارش در استان گیلان مقایسه کردند و نتیجه گرفتند روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در مقایسه با رگرسیون درخت تصمیم و رگرسیون چندمتغیره خطی از دقت بالاتری برخوردار است. در زمینه پهنه‌بندی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی نیز مطالعات زیادی صورت گرفته است (٦). مک‌کنا (۲۰۰۲) در ایالت کلرادوی آمریکا برای بالا بردن دقت در تخمین و شبیه‌سازی داده‌های مؤثر بر جریان آب زیرزمینی از روش‌های زمین‌آمار استفاده کرد. نتایج این آزمایش بیانگر این بود که با استفاده از روش‌های زمین‌آماری مانند کریجینگ ساده و کریجینگ معمولی علاوه بر بالا رفتن دقت در تخمین داده‌ها می‌توان از تعداد کم‌تر نمونه‌برداری نیز استفاده کرد (۱۲). ختاک و همکاران (۲۰۱٤) به‌منظور تعیین سطوح شوری در چاه‌های کم‌عمق (کم‌تر از ۳۰ متر) در منطقه لاهور پاکستان و مقایسه آن با استانداردهای آبیاری گیاه از

1- RMSE: Root Mean Square Error

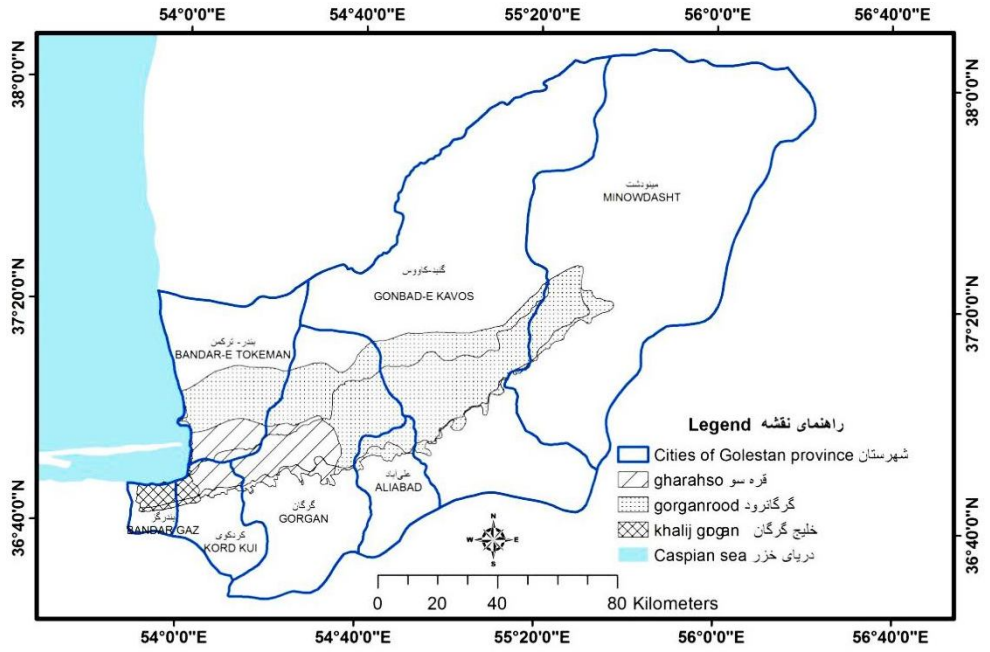
روش کریجینگ استفاده کردند و در این راستا در به مقایسه روش کریجینگ معمولی و کریجینگ ساده پرداختند و نتیجه گرفتند که روش دوم، مجموع مربعات خطای کم‌تری دارد (۹). حاجی‌هاشمی و همکاران (۲۰۱۰) در برآورد مکانی مؤلفه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در دشت گلپایگان به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ از دقت بالاتر و خطای پایین‌تری برخوردار است (۷). نیکبخت و دلبری (۲۰۱٤) با بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی برای برآورد سطح آب زیرزمینی در دشت زاهدان بر اساس روش‌های زمین‌آماری روش کوکریجینگ را به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی معرفی کردند. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که روش کریجینگ در بسیاری از موارد روش مناسبی برای درون‌یابی تشخیص داده می‌شود و در مواردی هم هست که این روش نتایج خوبی را ارائه نمی‌کند (۱٤). دقت روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری به انتخاب مناسب تغییرنما و وجود ساختار مکانی مستحکم برای داده‌ها مکانی در آن محل بستگی دارد. در صورت وجود این ساختار مکانی، برازش تغییرنما مناسب می‌تواند دقت نتایج درون‌یابی به روش کریجینگ را بالا ببرد. بر این اساس روش کریجینگ بیزین تجربی[1] توسعه‌یافته و در مطالعات اندکی که در این زمینه صورت گرفته است، کارایی آن در بهبود دقت درون‌یابی تأیید شده است. در این زمینه می‌توان به مطالعات بهرامی‌جوینی و حسینی (۲۰۱۵) اشاره کرد (۳).

با توجه به مطالب ذکرشده، هدف از این پژوهش بررسی توانایی روش کریجینگ بیزین تجربی در درون‌یابی تراز سطح آب زیرزمینی است. بر این اساس در ابتدا مقایسه‌ای بین این روش با روش کریجینگ خواهد شد تا تأثیر برازش تغییرنما مناسب در درون‌یابی زمین‌آماری سنجیده شود و سپس نتایج این روش با نتایج روش‌های درون‌یابی قطعی مقایسه و بهترین روش درون‌یابی برای پهنه‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی معرفی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: استان گلستان از قطب‌های مهم کشاورزی در ایران است و با وجود این‌که در نوار شمالی کشور قرار دارد. اما از میانگین بارش سالانه کم‌تری برخوردار است. بر این اساس سهم زیادی از نیاز آبیاری مزارع این استان از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. بنابراین بخشی از دشت‌های استان گلستان واقع در محدوده آبخوان‌های قره‌سو و پایاب گرگان‌رود به‌عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد (شکل ۱). در این منطقه برای ۵۷ ایستگاه، اطلاعات مربوط به ارتفاع و سطح آب زیرزمینی چاه‌های عمیق از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه شد. این داده‌ها برای دوره زمانی ۱۳۸٤ تا ۱۳۹۵ است که به‌صورت ماهانه اندازه‌گیری می‌شود و در این پژوهش میانگین سالانه تراز سطح آب زیرزمینی طی این دوره زمانی محاسبه و برای درون‌یابی وارد محیط ArcGIS10.3 شد.

1- EBK: Empirical Bayesian Kriging



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location map of study area.

روش‌های درون‌یابی: روش‌های درون‌یابی با استناد به این قانون جغرافیایی که هر پدیده‌ای مرتبط است با پدیده دیگری، اما پدیده‌های نزدیک نسبت به پدیده‌های دور وابسته‌ترند، از یکسری نقاط با مقادیر معلوم در اطراف نقاط با مقادیر مجهول استفاده کرده و مقادیر آن‌ها را تخمین می‌زنند (۱۷). روش‌هایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، شامل دو دسته روش درون‌یابی قطعی (فاصله معکوس وزنی، چندجمله‌ای سراسری، چندجمله‌ای محلی و روش توابع پایه شعاعی یا اسپلاین) و همچنین روش‌های درونیابی زمین‌آماری شامل کریجینگ و کریجینگ بیزین تجربی است.

روش فاصله معکوس وزنی: روش فاصله معکوس وزنی‌ها از روش‌های درون‌یابی قطعی است که بر اساس میانگین وزنی استوار است. فرض اساسی این روش بر آن است که با افزایش فاصله میزان تأثیر پارامترها در برآورد واحد سطح کاهش می‌یابد. برای پیش‌بینی در مکان‌هایی که داده‌های آن‌ها اندازه‌گیری نشده است، از مقادیر اندازه‌گیری شده پیرامون محل استفاده می‌شود. در پیش‌بینی، عامل وزن بر اساس فاصله نقاط از یکدیگر تعیین می‌شود. به نقاط نزدیک محل نمونه وزن بیش‌تر و به نقاط دورتر وزن کم‌تر اختصاص می‌یابد. این روش یک روش دقیق درون‌یابی است که مقادیر نقاط اطلاعات بعد از درون‌یابی تغییر نمی‌کند و در واقع نوعی میانگین متحرک است. اساس روش IDW بر رابطه ۱ استوار است.

$$Z = \sum_{i=1}^{n} \frac{z_i}{{d_i}^m} \Big/ \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{{d_i}^m} \qquad (۱)$$

که در آن، Z_i مقادیر نمونه، d_i فاصله اقلیدسی هر نقطه تا محل نمونه، m عامل توان است که عمدتاً ۲ انتخاب می‌شود (٦).

روش‌های چندجمله‌ای سراسری و محلی: درون‌یابی به روش چندجمله‌ای سراسری یکی از روش‌های

درون‌یابی است که برای سطوحی که تغییرات پیوسته و هموار دارند مناسب است. یک سطح هموار در این روش با استفاده از یک تابع ریاضی (یک چندجمله‌ای با درجات مختلف) به تمام نقاط نمونه ورودی برازش داده می‌شود. درون‌یابی به روش چندجمله‌ای موضعی (محلی) قابلیت بیش‌تری دارد. این روش تعدادی تابع چندجمله‌ای (با درجات مختلف) را به نقاط واقع در یک همسایگی تعیین‌شده برازش می‌دهد. این کار سبب می‌شود که سطوح با دقت بیش‌تری ارائه شود (۹).

روش توابع پایه‌ای شعاعی یا اسپلاین: اسپلاین‌ها، توابع پیچیده‌ای شامل قطعاتی از چند جمله‌هایی با درجات مختلف بین هر دو نقطه از فضا هستند که در محل اتصالات، نرم شده‌اند. اسپیلاین‌ها یکی از بهترین روش‌ها برای نشان دادن تغییرات تدریجی سطوح مانند ارتفاع، عمق سطح ایستابی یا غلظت آلودگی است. نتیجه درون‌یابی با این روش سطحی نرم و هموار می‌باشد (۱).

در روش اسپلاین نقاط مجهول بر اساس معادله زیر تخمین زده می‌شوند:

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \phi(\|S_i - S_0\|) \qquad (۲)$$

که در آن، $\Phi(r)$: تابع پایه شعاعی، $r = \|S_i - S_0\|$ فاصله اقلیدسی بین پیش‌بینی مکان S_0 و هر داده مکانی S_i و $\{\lambda i=1,2,\ldots,n+1\}$ وزن‌هایی هستند که تخمین زده می‌شوند (٤).

روش کریجینگ: کریجینگ یک روش تخمین زمین‌آماری است که مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم‌تغییرنما، برآورد می‌کند. این روش بر منطق "میانگین متحرک وزن‌دار" استوار است. کریجینگ علاوه بر تخمین مقادیر مجهول، خطای مرتبط با آن تخمین را نیز حساب می‌کند. بنابراین می‌توان فاصله اطمینان تخمین را برای هر مقدار برآورد شده محاسبه کرد.

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^{n} [(\lambda_i . z(x_i)] \qquad (۳)$$

که در آن، $z^*(x_i)$ مقدار برآورد در نقطه x_i، λi وزن مربوط به متغیر z و $z(xi)$ مقدار مشاهده شده متغیر اصلی است. نرمال بودن متغیر z شرط استفاده از این تخمینگر است. اگر z توزیع نرمال نداشته باشد، باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد. از آن‌جا که تخمینگر کریجینگ بهترین تخمینگر خطی ناأریب است، بنابراین باید عاری از خطای سیستماتیک باشد و واریانس تخمین آن نیز حداقل باشد (۱).

در درون‌یابی به روش کریجینگ لازم است تا نرمال بودن داده‌ها به کمک آزمون کلموگروف- اسمیرنوف مورد بررسی قرار گیرد. این آزمون توسط یک ریاضیدان روس به نام "کلموگروف" در سال ۱۹۳۳ پیشنهاد شده است و به‌عنوان یک آزمون تطابق توزیع برای داده‌های کمی می‌باشد. فرض صفر در آزمون یک نمونه‌ای کلموگروف- اسمیرنف این است که، بین فراوانی‌های مشاهده شده و فراوانی‌های مورد انتظار تفاوتی وجود ندارد، به‌عبارت دیگر توزیع جامعه نرمال است (۱۹).

روش کریجینگ بیزین تجربی: این روش یک روش درون‌یابی زمین‌آماری است که سختی‌های مربوط به ساختن یک مدل کریجینگ معتبر را خودکار می‌نماید. به‌عبارت دیگر، در تحلیل‌های زمین‌آمار نیاز به تنظیم دستی پارامترها به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق است، اما در روش کریجینگ بیزی تجربی به‌طور خودکار این پارامترها طی فرایند شبیه‌سازی محاسبه می‌گردند (۱۱). فرق دیگر این روش با سایر روش‌های کریجینگ این است که در این روش خطاهای مربوط

به برآورد نیم‌تغییرنما در نظر گرفته می‌شود. این در حالی است که در سایر روش‌های کریجینگ، نیم‌تغییرنما از مکان‌هایی با داده‌های مشخص استفاده می‌کند و سپس از این نیم‌تغییرنمای منفرد برای پیش‌بینی در مکان‌های نامشخص استفاده می شود. در نتیجه از آنجایی که عدم قطعیت برآورد نیم‌تغییرنما را در محاسبات وارد نمی‌کنند، منجر به برآورد خطای استاندارد پیش‌بینی پایین می‌شوند. از جمله مزایای روش EBK می‌توان به مواردی چون، نیاز به حداقل فعل و انفعال مدل‌سازی، پیش‌بینی خطای استاندارد دقیق‌تر از سایر روش‌های کریجینگ، پیش‌بینی دقیق‌تر داده‌های نسبتاً غیرایستا و دقت بیش‌تر از سایر روش‌های کریجینگ برای مجموعه داده‌های کوچک اشاره نمود. در مقابل این مزایا معایبی را می‌توان برای آن برشمرد. از جمله این معایب این است که در این روش، زمان فرآیند در صورت افزایش تعداد نقاط ورودی، اندازه زیرمجموعه و یا افزایش فاکتور همپوشانی، بسیار سریع افزایش می‌یابد. غیرقابل دسترس بودن اعمال غیرهمگنی و روش کوکریجینگ نیز از جمله ضعف‌های این روش است (۱۰). بر خلاف سایر روش‌های کریجینگ که از حداقل مربع خطاها استفاده می‌کنند، پارامترهای نیم‌تغییرنما در روش EBK با ماکزیمم درست‌نمایی مقید (REML[1]) برآورد می‌شوند. با توجه به محدودیت‌های محاسباتی REML برای مجموعه داده‌های بزرگ، داده‌های ورودی به زیرمجموعه‌های دارای هم‌پوشانی در یک اندازه مشخص تقسیم می‌شوند. در هر زیرمجموعه نیم‌تغییرنما مطابق با فرآیند زیر برآورد می‌شود:

الف- نیم‌تغییرنما در هر زیرمجموعه با توجه به داده‌ها، برآورد می‌شود.

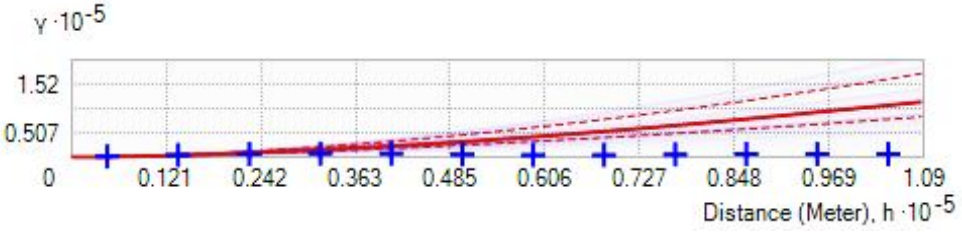
ب- با استفاده از نیم‌تغییرنما (گام الف) به‌عنوان یک مدل، داده‌های جدید در هر موقعیت داده‌های ورودی به‌صورت کاملاً بی‌قید و شرط شبیه‌سازی می‌شوند.

ج- یک نیم‌تغییرنمای جدید از داده‌های شبیه‌سازی شده برآورد می‌شود، سپس وزنی برای این نیم‌تغییرنما با استفاده از قاعده بیزین محاسبه می‌شود.

د- گام ب و ج در یک تعداد مشخص تکرار می‌شوند. در هر تکرار، نیم‌تغییرنمای محاسبه شده در گام یک برای شبیه‌سازی یک مجموعه جدید داده‌ها در یک موقعیت مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در نتیجه تعداد زیادی نیم‌تغییرنما برای هر زیرمجموعه تولید می‌شود که اگر باهم رسم شوند، یک توزیعی از نیم‌تغییرنما مشاهده خواهد شد (شکل‌های ۲ و ۳). برای هر موقعیت، از یک توزیع نیم‌تغییرنمای واحد برای پیش‌بینی استفاده می‌شود که با استفاده از مجموع وزنی توزیع‌ها زیرمجموعه‌های احاطه‌کننده آن موقعیت محاسبه می‌شود. خطوط آبی که در شکل‌های ۲ و ۳ نشانگر نیم‌تغییرنمای تجربی است و خط قرمز پررنگ میانه خطوط یعنی حدوسط خطوط را نشان می‌دهد، به‌علاوه ۲ خط‌چین قرمز نشان می‌دهد که ۲۵٪ و ۷۵٪ از نیم‌تغییرنماهای تجربی در این موقعیت‌ها قرار دارند. برای هر زیرمجموعه تا ۱۰۰ نیم‌تغییرنما رسم می‌شود که هر کدام از این نیم‌تغییرنماها برآورد درستی برای این زیرمجموعه است.

1- REML: Restricted Maximum Likelihood



شکل ۲- نیم‌تغییرنماهای شبیه‌سازی‌شده در روش کریجینگ بیزین تجربی.

Figure 2. The Simulated Semivariograms in Empirical Bayesian Kriging method.

در روش‌های معمولی کریجینگ فرآیند میانیابی به‌عنوان یک میانگین کلی به‌علاوه تغییرات مستقل حول میانگین دنبال می‌شود. بنابراین، تغییرات بزرگ به‌سمت میانگین جمع شده و در نتیجه مقادیر پیش‌بینی هرگز خیلی دور و منحرف نیستند. این در حالی است که در روش EBK از یک تابع تصادفی ذاتی درجه صفر استفاده می‌شود که فرض تمایل به‌سمت میانگین کلی را در نظر نمی‌گیرد.

پارامترهای جدیدی که در این روش مطرح شده‌اند عبارتند از:

۱. اندازه زیرمجموعه: تعداد داده‌های هر زیرمجموعه
۲. فاکتور همپوشانی: میانگین تعداد زیرمجموعه‌هایی که هر نقطه داخل آن‌ها قرار می‌گیرد
۳. تعداد شبیه‌سازی: تعداد نیم‌تغییرنماهای تولید شده برای هر زیر مجموعه

برای یک فاصله مشخص، EBK از این ۳ نیم‌تغییرنما استفاده می‌کند:

$$\text{Power:} \quad (h) = Nugget + b|h|^{a} \qquad (٤)$$

$$\text{Linear:} \quad \gamma(h) = Nugget + b[h] \qquad (٥)$$

$$\text{Plate Spline:} \quad \gamma(h) = Nugget + b[h^2] * \ln([h]) \qquad (٧)$$

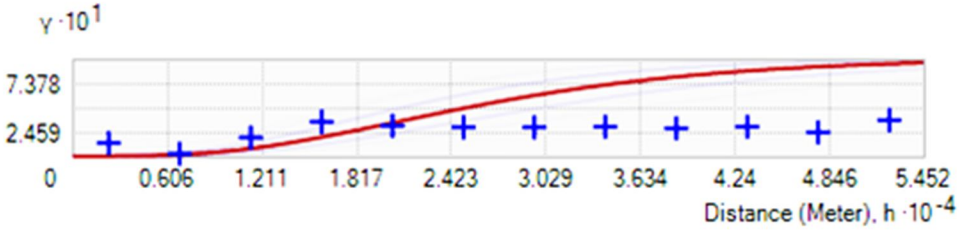
که در آن، Nugget (عرض از مبدا) و b (شیب خط) باید مقدار مثبتی باشند و مقدار a (توان) که یک مقدار تجربی است باید بین ۰/۲۵ و ۱/۷۵ باشد. این مدل نیم‌تغییرنما آستانه ندارد، زیرا این معادله حدبالایی ندارد. در EBK این امکان وجود دارد که توزیع‌های تجربی با پارامتر تخمین‌زده شده آنالیز شود، زیرا برای هر پارامتر نیم‌تغییرنما ترسیم می‌شود. با کلیک کردن روی تب‌های Nugget، Slope و Power می‌توان پارامترها را به‌صورت تفکیک شده مشاهده کرد. شکل‌های ٤ و ٥ نیم تغییر نمای مربوط به سه حالت Nugget و Slope و Power را نشان می‌دهند.

اگر نیم‌تغییرنماهای نمایش داده شده تغییر چشمگیری در دامنه داده‌ها نداشته باشند، نتیجه گرفته می‌شود که داده‌ها ایستا هستند. توزیع نیم‌تغییرنما باید به آرامی حول دامنه داده‌ها تغییر کند و اگر تغییر ناگهانی در فاصله کمی اتفاق بیفتد با افزایش ارزش پارامترهای همپوشانی می‌توان این تغییرات را هموار کرد. مدل EBK این امکان را می‌دهد تا تبدیل نرمال استاندارد بر اساس ۲ توزیع تجربی و لوگ تجربی به‌کار رود. لازم به ذکر است که برای استفاده از تابع تبدیل لوگ باید ارزش تمامی داده‌ها مثبت باشند و به‌همین دلیل نتیجه تخمین نیز مثبت می‌شود. این روش برای رویدادهای مثبت مانند بارندگی استفاده می‌شود. اگر تغییری در تبدیلات اعمال شود، پارامترها تغیر می‌کنند و به‌جای عرض از مبدا[1]، شیب[2]، توان[3]

1- Nugget
2- Slope
3- Power

پارامترهای جدیدی استفاده می‌شود، زیرا با اعمال تغییر به‌جای معادله احتمالی ذاتی که برای EBK تعریف شده از کریجینگ ساده استفاده می‌شود. در پژوهش پیش‌رو به‌دلیل وجود پارامترهای منفی در تراز آب نمی‌توان از لوگ تجربی استفاده کرد (۱۸).

پس از اعمال تغییرات در تبدیلات باید مدل نیم‌تغییرنما را متناسب با پژوهش و هدف انتخاب شود که هر کدام از آن‌ها مزایا و معایبی دارند (جدول ۱).



شکل ۳- نیم‌تغییرنما (اعمال تبدیل تجربی) برای سال‌های ۱۳۸٤ تا ۱۳۹۵.

Figure 3. Semivariogram (application of empirical transform) for 2005 to 2016.

جدول ۱- مزایا و معایب انواع مدل نیم‌تغییرنماها در روش کریجینگ بیزین تجربی (۱۸).

Table 1. Advantages and disadvantages of different types of Semivariogram models in Empirical Bayesian Kriging method.

مدل Model	مزایا Advantage	معایب Disadvantage
توانی Power	نسبتاً سریع و انعطاف‌پذیر Relatively fast and flexible	نسبت به سایر روش‌ها سرعت و انعطاف‌پذیری کم Less flexible and slower
خطی Linear	سرعت خیلی بالا Very Fast	پایین‌ترین انعطاف‌پذیری Least flexible model
نمایی Exponential	سریع‌تر از K-BESSEL و K-BESSEL DETERNED Faster than K-BESSEL and K-BESSE DETERNED	شکل نیم‌تغییرنما انعطاف‌پذیر نیست Shape of the Semivariogram is not flexible
نمایی بدون روند Exponential Deterned	سریع‌تر از K-BESSEL و K-BESSEL DETERNED و انعطاف‌پذیر نسبتاً سریع و روند اولیه را حذف می‌کند. Remove first order trend and Faster than K-BESSEL and K-BESSE DETERNED	شکل نیم‌تغییرنما انعطاف‌پذیر نیست Shape of the Semivariogram is not flexible
کاهش‌یافته Whitte	سریع‌تر از K-BESSEL و K-BESSEL DETERNED و انعطاف‌پذیر. Faster and more flexible than K-BESSEL and K-BESSE DETERNED	شکل نیم‌تغییرنما انعطاف‌پذیر نیست Shape of the Semivariogram is not flexibl
کاهش‌یافته بدون روند Whitte Deterned	سریع‌تر از K-BESSEL و K-BESSEL DETERNED و انعطاف‌پذیر نسبتاً سریع و روند اولیه را حذف می‌کند. Faster and more flexible than K-BESSEL and K-BESSE DETERNED and Remove first order trend	شکل نیم‌تغییرنما انعطاف‌پذیر نیست Shape of the Semivariogram is not flexibl
کا- بسل K-Bessel	خیلی کارا و انعطاف‌پذیر است. Most flexible and accurate	زمان محاسبه طولانی Takes the longest to calculated
کا- بسل بدون روند K-Bessel Deterned	خیلی کارا و انعطاف‌پذیر است و روند اولیه را حذف می‌کند. Most flexible and accurate and removes first trend	زمان محاسبه طولانی Takes the longest to calculated

معیارهای ارزیابی روش‌های درون‌یابی: در ارزیابی دقت و اعتبار روش‌های درون‌یابی از روش اعتبارسنجی متقابل (حذفی) استفاده شد. این روش بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور مقداری برآورد شود، سپس مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده و برای همه نقاط شبکه این عمل صورت می‌گیرد. در نهایت در هر روش با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده مقدار ریشه میانگین مربعات خطا که بزرگی خطا را نشان می‌دهد، محاسبه می‌شود (٦). همچنین از ضریب تبیین[1] برای نشان دادن مقدار همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و برآورد شده استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - E_i)^2}{n}} \qquad (۷)$$

$$R = \frac{COV(O_i.E_i)}{\sqrt{Var(o_i).Var(E_i)}} \qquad (۸)$$

که در آن، N تعداد مشاهدات، O_i مقادیر مشاهداتی، E_i مقادیر برآورد شده، $COV\ (O_i.E_i)$ کواریانس داده‌ها و $Var\ (O_i)$ واریانس مقادیر مشاهداتی، $Var\ (E_i)$ واریانس مقادیر برآورد شده می‌باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج روش‌های مختلف درونیابی مورد مطالعه در این پژوهش با استفاده از فن اعتبارسنجی متقابل ارزیابی و مورد مقایسه قرار گرفت. مقدار خطای درونیابی به‌صورت اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده محاسبه شد تا برای محاسبه معیار ارزیابی خطا، ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شود. همچنین با برقراری رابطه رگرسیونی بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مقادیر مشاهده‌شده، ضرایب همبستگی بین این دو دسته متغیر نیز محاسبه شدند. نتایج این بررسی در جدول‌های ۲، ٤ و ٥ آورده شده است.

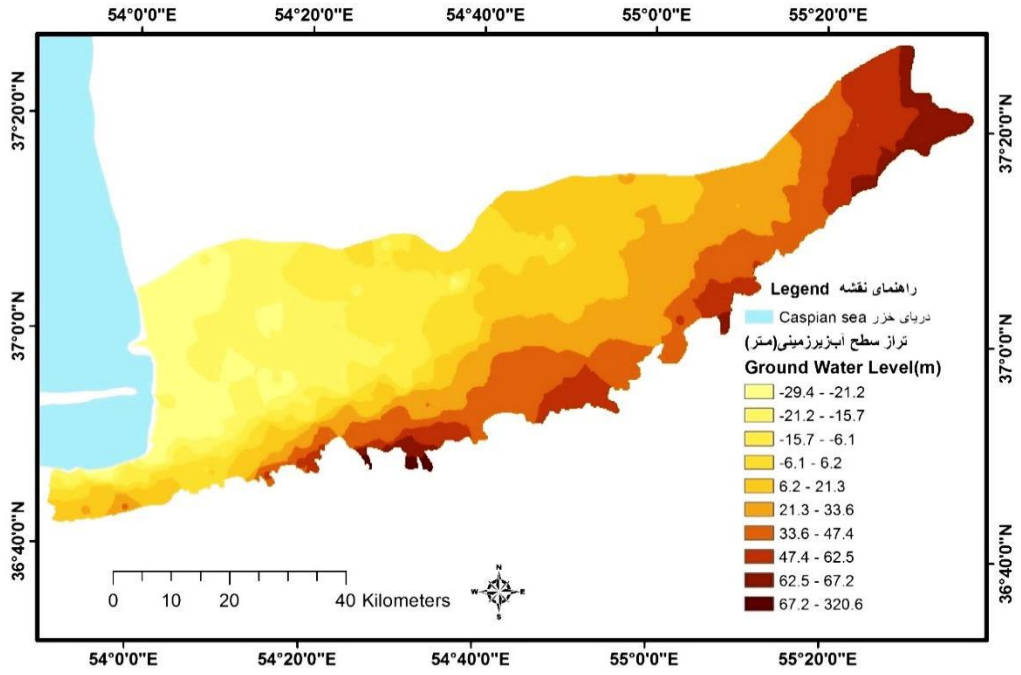
نتایج پهنه‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی با روش‌های درون‌یابی قطعی

فاصله معکوس وزنی: نتیجه این روش برای داده‌های تراز سطح آب زیرزمینی استان گلستان با دقت بسیار پایینی درونیابی شد. مقدار میانگین مجذور مربعات خطای آن از سایر روش‌ها بیش‌تر و مقدار R^2 از سایر روش‌ها کم‌تر بود. در نتیجه استفاده از این روش برای داده‌های مشابه توصیه نمی‌شود (شکل ٤).

درون‌یابی چندجمله‌ای سراسری و محلی: مقدار تراز سطح آب زیرزمینی در کل منطقه مطالعاتی با این روش با برقراری یک رابطه چندجمله‌ای بین مختصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها و تراز سطح آب زیرزمینی ایستگاه‌ها درون‌یابی می‌کند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد با افزایش درجه چندجمله‌ای از یک به دو مقدار RMSE (مقدار خطای پیش‌بینی) از ٥٧ متر به ٤٠ متر کاهش‌یافته است و ضریب همبستگی رابطه ۰/٤٥ به ۰/۷۲ افزایش پیدا می‌کند (جدول ٤ و شکل ۷). با این‌حال روش چندجمله‌ای سراسری بعد از روش فاصله معکوس وزنی نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی از دقت پایین‌تری برخوردار است. روش چندجمله‌ای محلی بر خلاف روش چندجمله‌ای سراسری از چند رابطه رگرسیونی بین مختصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها با تراز سطح آب زیرزمینی ایستگاه استفاده می‌کند تا مقدار تراز را در کل منطقه درون‌یابی کند و این عمل سبب افزایش دقت درون‌یابی شده است (شکل‌های ٥ و ٦).

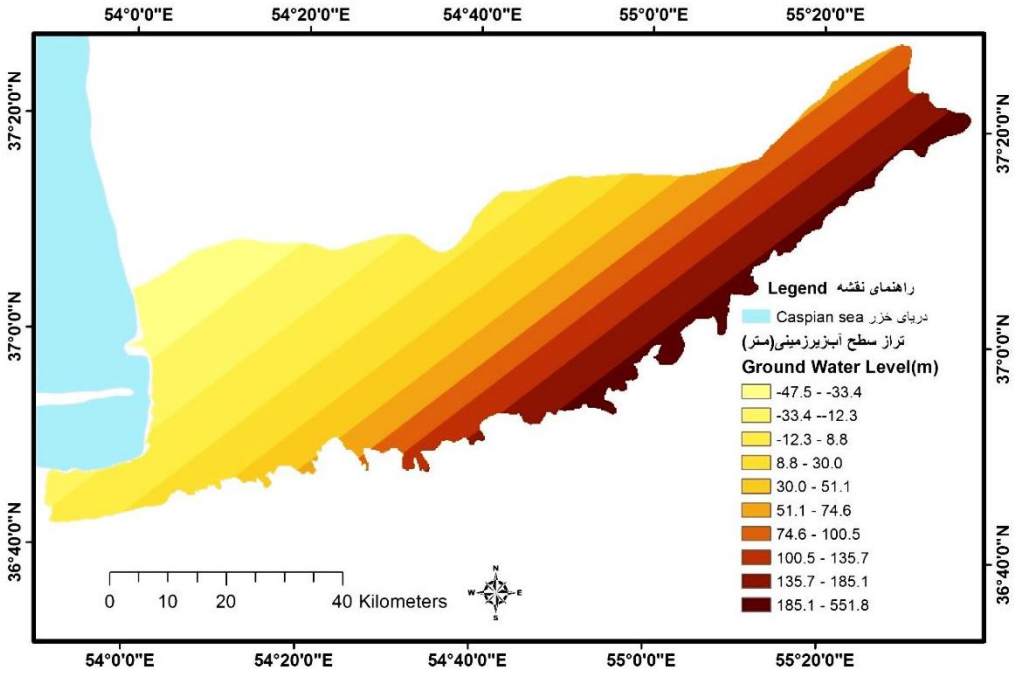
درونیابی اسپلاین: نتایج این روش و نتایج روش درونیابی چندجمله‌ای محلی درجه یک تفاوت چندانی ندارد (شکل ۷).

1- Coefficient of Determination



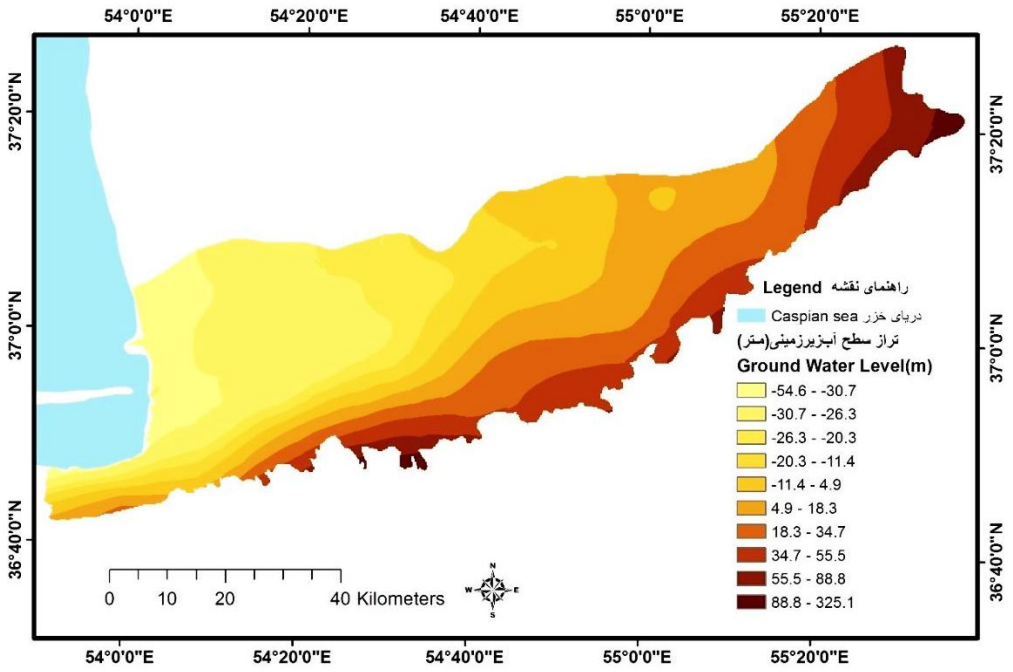
شکل ٤- نقشه هم‌تراز سطح آب‌زیرزمینی ترسیم‌شده به روش فاصله معکوس وزنی.

Figure 4. Equipotential map of the groundwater level using IDW method.



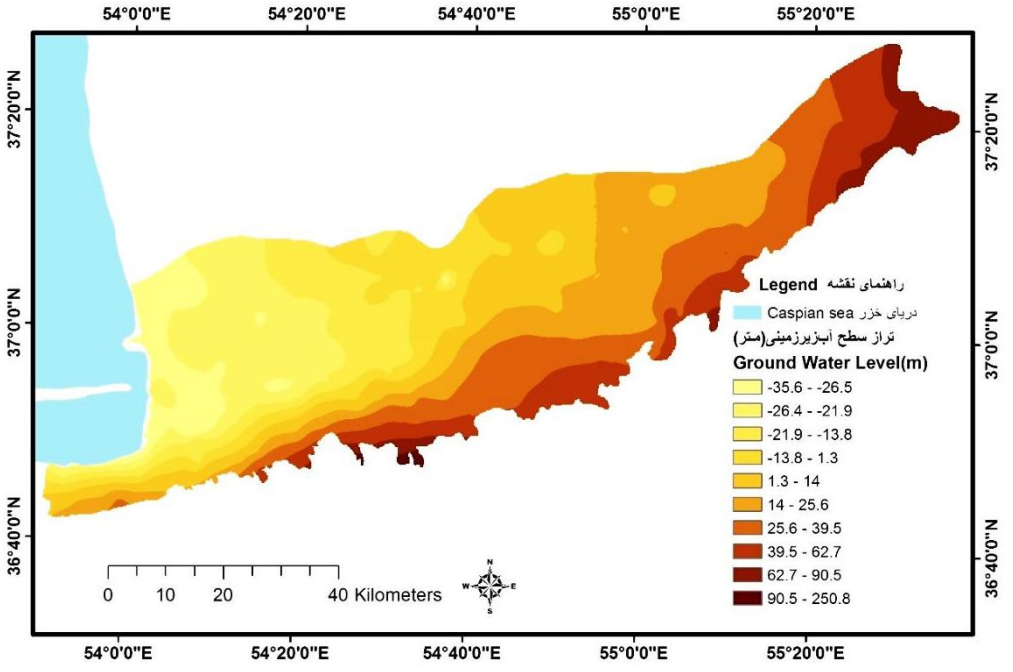
شکل ٥- نقشه هم‌تراز سطح آب زیرزمینی ترسیم‌شده به روش چندجمله‌ای سراسری.

Figure 5. Equipotential map of the groundwater level using Global polynomial interpolation method.



شکل ٦- نقشه هم‌تراز سطح آب‌زیرزمینی ترسیم‌شده به روش چندجمله‌ای محلی.

Figure 6. Equipotential map of the groundwater level using local polynomial interpolation method.



شکل ۷- نقشه هم‌تراز سطح آب‌زیرزمینی ترسیم شده به روش اسپلاین.

Figure 7. Equipotential map of the groundwater level using Radial Basis Function method.

نتایج روش‌های درون‌یابی قطعی، نشان داد که در بین روش‌ها، روش چندجمله‌ای محلی درجه ۲، نتایج بهتری را ارائه می‌کند. اما پس از ترسیم نقشه، مشخص می‌شود در خارج از محدوده داده‌ها که برون‌یابی صورت می‌گیرد. روش چندجمله‌ای سراسری مقادیر را خیلی بیش‌تر از حد داده‌ها نشان می‌دهد، به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تراز سطح آب زیرزمینی ٤٧/٥- متر و ٥٥١/٦ متر است. در حالی‌که در روش چندجمله‌ای محلی بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار آن به‌ترتیب ٥٤/٦- متر و ٣٢٥/١ متر است (شکل‌های ۵ و ٦).

جدول ۲- ارزیابی روش‌های درون‌یابی تراز آب‌زیرزمینی در سال‌های ١٣٨٤ تا ١٣٩٥.

Table 2. Evaluation of interpolation methods for depth from 2005 to 2016.

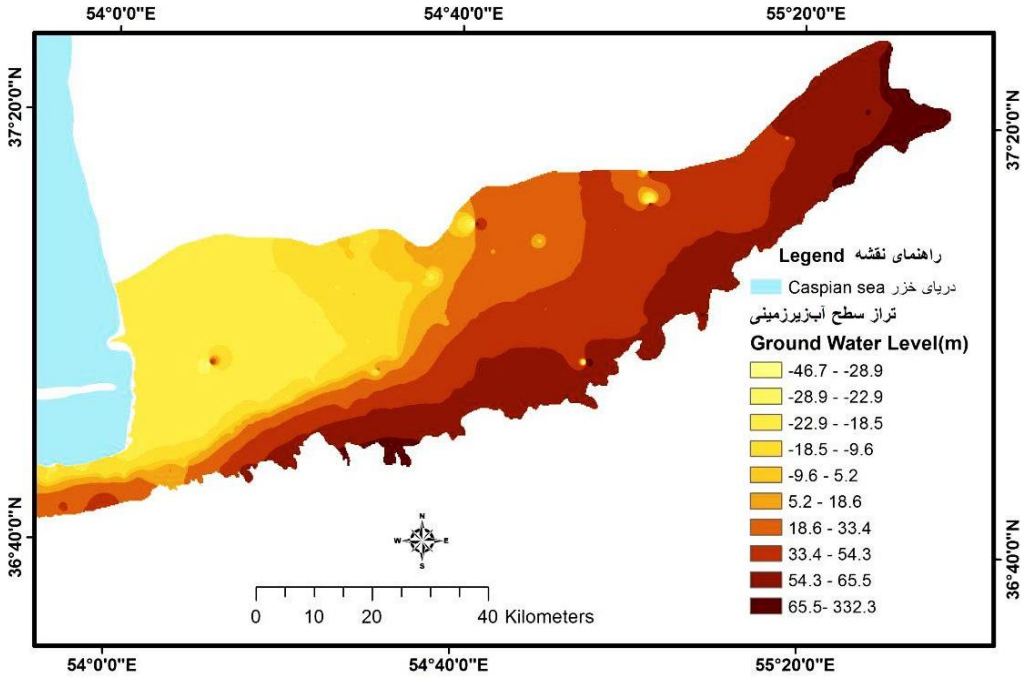
ضریب تبیین R^2	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE (m)	علامت اختصاری الگو Abbreviation	الگو Model
0.65	47.89	IDW	فاصله معکوس وزنی Inverse Distance Weighted
0.90	23.54	RBF	تابع پایه شعاعی Radial Basis Function
0.45 0.72	57.56 40.94	GPI1 GPI2	چندجمله‌ای‌های سراسری درجه ۱ و ۲ Global Polynomial of Degrees 1 and 2
0.88 0.95	27.007 16.098	LPI1 LPI2	چندجمله‌ای‌های محلی درجه ۱ و ۲ Local Polynomial of Degrees 1 and 2

درون‌یابی به روش کریجینگ: استفاده از روش‌های زمین‌آمار مستلزم بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌هاست که با واریگرافی می‌توان به آن پی برد. اما یکی دیگر از شروط استفاده از این تجزیه‌وتحلیل نرمال بودن داده‌هاست. تراز سطح آب سالانه که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته با توجه به آزمون کلموگروف- اسمیرنوف، نرمال تشخیص داده شد. به‌منظور درون‌یابی به روش کریجینگ ابتدا باید تحلیل تغییرنما صورت گیرد و نمودار نیم‌تغییرنما رسم شود. نتایج تحلیل تغییرنما نشان می‌دهد (جدول ۲) که با توجه به این‌که نسبت C/C_0 نشان‌دهنده استحکام ساختار مکانی است و شرط لازم برای درون‌یابی به روش کریجینگ کم‌تر بودن مقدار استحکام ساختار مکانی از ۰/۵ است اما بهترین تغییرنما که به داده‌ها برازش یافته است از نوع Linear است. در درون‌یابی به روش کریجینگ، ضریب همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مقادیر مشاهداتی برابر R=٢٣/٤٧ است (جدول ۳ و شکل ۸).

جدول ۳- نتایج برازش الگوهای مختلف تغییرنما بر داده‌های آب زیرزمینی.

Table 3. Results of fitting different variogram patterns on groundwater data.

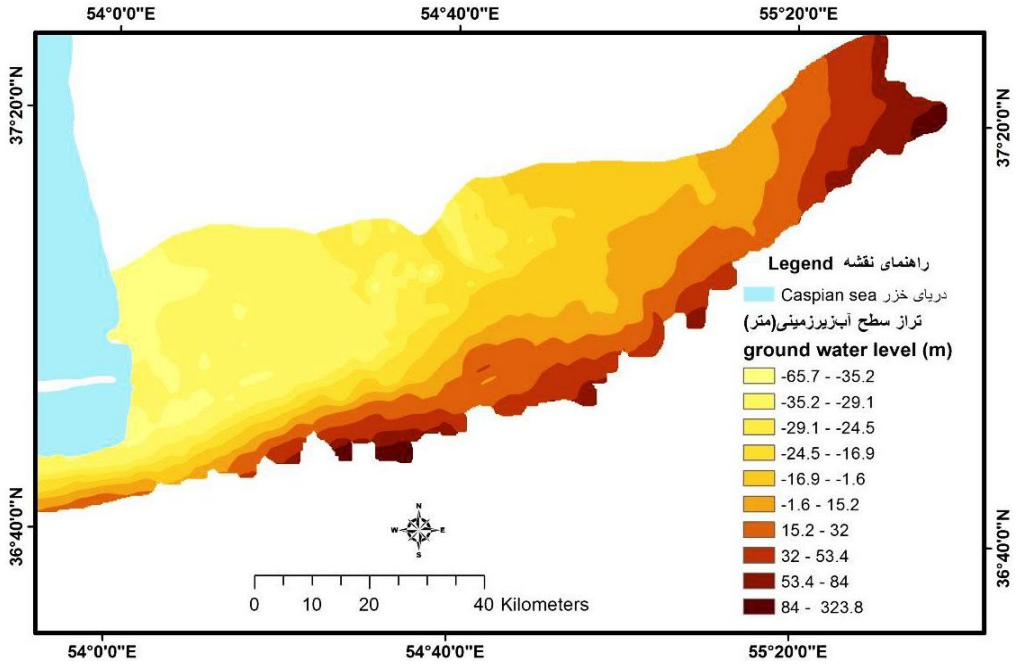
الگو تغییرنما Variogram model	معیار استحکام ساختار مکانی $(C(C_0+C))$	ضریب تبیین R^2
کروی Spherical	0.50	0.130
نمایی Exponential	0.54	0.138
خطی Linear	0.27	0.129
اسپلان صفحه نازک Linear to still	0.50	0.129
گوس Gaussian	0.61	0.090



شکل ۸- نقشه همتراز سطح آب‌زیرزمینی ترسیم‌شده به روش کریجینگ.

Figure 8. Equipotential map of the groundwater level using Kriging method.

درونیابی به روش بیزین کریجینگ تجربی: برای درونیابی به کمک بیزین کریجینگ تجربی باید تغییرنما مناسب انتخاب شود. در این پژوهش، تغییرنماهای متعددی بر روی داده‌ها آزمون شد که نتایج درونیابی به کمک این تغییرنماها مطابق جدول ٤ است. بهترین تغییرنما از نوع K-BESSEL Detrended بود که مقادیر تراز آب‌زیرزمینی را با R^2=0.96 و RMSE=15.9 متر برآورد می‌کند. با نگاهی به نقشه درون‌یابی شده توسط روش بیزین کریجینگ تجربی (شکل ۹) مشاهده می‌شود که مقادیر عمق آب‌زیرزمینی تابع شیب غالب منطقه است.



شکل ۹- نقشه همتراز سطح آب‌زیرزمینی ترسیم‌شده به روش کریجینگ بیزین تجربی.

Figure 9. Equipotential map of the groundwater level using Empirical Bayesian Kriging method.

جدول ٤- مقایسه نیم‌تغییرنماهای مختلف در درونیابی به روش EBK.

Table 4. Comparison of different semivariogram in EBK interpolation method.

کا- بسل بدون روند K-Bessel Deterned	کا- بسل K-Bessel	کاهش‌یافته بدون روند Whitte Deterned	کاهش‌یافته Whittle	نمایی بدون روند Exponential Deterned	نمایی Exponential	خطی Linear	اسپلاین صفحه نازک Thin Plate Spline	توانی POWER	نوع تغییرنما Semivariogram Type
EMPRICAL تجربی	EMPRICAL تجربی	EMPRICAL تجربی	EMPRICAL تجربی	EMPRICAL تجربی	EMPRICAL تجربی	NONE بدون تغییر	NONE بدون تغییر	NONE بدون تغییر	Transformation تغییرات
15.90	17.84	16.12	19.19	22.25	26.47	31.04	23.19	27.29	RMSE (m)
0.96	0.949	0.95	0.947	0.93	0.90	0.91	0.85	0.88	R^2

جدول ٥- مقایسه نتایج روش‌های کریجینگ و کریجینگ بیزین تجربی در درونیابی تراز سطح آب‌زیرزمینی.

Table 5. Comparison of Kriging and Empirical Bayesian Kriging methods in interpolation of groundwater level.

کریجینگ بیزین تجربی EBK	کریجینگ معمولی Ordinary Kriging	معیارهای ارزیابی Criteria for Assessment
15.90	23.47	RMSE(m)
0.96	0.83	R^2

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایجی که در ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی جهت پهنه‌بندی تراز سطح‌آب زیرزمینی در آبخوان‌های استان گلستان به‌دست آمد عبارتند از:

۱) در بین روش‌های درونیابی قطعی، روش چندجمله‌ای محلی با توان دوم با مقدار خطای کم‌تر، برآورد دقیق‌تری را نسبت به دیگر روش‌ها دارد، اما این روش در مناطق خارج از محدوده داده‌ها، در برونیابی کردن مقادیر پیش‌بینی‌شده را خیلی فراتر از مقادیر داده‌ها برآورد می‌کند.

۲) در بین همه روش‌های درونیابی، روش بیزین کریجینگ تجربی روش مناسب‌تری تشخیص داده شد که خطای کم‌تری داشته و با واقعیت زمینی مطابقت بالاتری دارد و از الگوی شیب منطقه پیروی می‌کند.

۳) در روش بیزین کریجینگ تجربی، نیم‌تغییرنمای نوع k-bessel detrended نسبت به دیگر نیم‌تغییر نماها از خطای کم‌تری برخوردار بود.

٤) در مجموع توصیه می‌شود جهت درونیابی تراز سطح‌آب زیرزمینی از روش بیزین کریجینگ تجربی استفاده شود.

۵) در زمینه مقایسه نتایج این پژوهش با سایر پژوهش‌های انجام شده، بررسی‌ها نشان می‌دهد با توجه به جدید بودن روش بیزین کریجینگ تجربی، تاکنون مطالعه‌ای از این روش در زمینه پهنه‌بندی تراز سطح آب زیرزمینی انجام نشده است. اما بهرام‌جوینی و حسینی (۲۰۱۵) در ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی شوری آب زیرزمینی در منطقه مه‌ولات از توابع فیض‌آباد نتیجه‌ای مشابه نتیجه این پژوهش گرفتند به‌طوری‌که روش بیزین کریجینگ تجربی را نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی با مقدار خطای کم‌تری و دقت بالاتری معرفی کردند.

منابع

1.Aghdasi, F. 2003. Study of geostatistical methods for mapping of precipitation in the daily and annual time scales (Case study: Borkhar plain). M.Sc. Thesis of Tehran university, 112p. (In Persian)

2.ArcGIS 10 Manual PDF-GeoGeek. 2017. Retrieved March 09, 2017, from https://geogeek.xyz/download-free-arcgis-desktop-10-manual-pdf.html.

3.Attorre F., and Alfo, M. 2007. Comparison of interpolation methods for mapping climatic and bioclimatic variables at regional scale. Inter. J. Climatol. 27: 1825-1843.

4.Bahrami Jovein, E., and Hosseini, S.M. 2015. A Systematic Comparison of Geostatistical Methods for Estimation of Groundwater Salinity in Desert Areas (Case study: Feyz Abad-Mahvelat Plain). Iran-water resources research. 11: 2. 1-15. (In Persian)

5.Eivazi, M., and Mosaedi, A. 2011. Monitoring and spatial analysis of meteorological drought in Golestan province using geostatistical methods. Journal of range and watershed management, Iran. J. Natur. Resour. 64: 1. 65-78. (In Persian)

6.Ghorbani, Kh. 2012. Geographically weighted regression: a method for mapping isohyets in Gilan province. J. Water Soil. 26: 3. 743-752. (In Persian)

7.Ghorbani, Kh., Hezarjeribi, A., Zakerinia, M., and Asaadi Oskouei, E. 2012. Comparison of Regression Decision Tress, Geographically Weighted Regression and Ordinary Least Square to map isohyet. Iran. J. Water Res. 6: 11. 1-9. (In Persian)

8.Hajihashemi Haji, M.R., Atashgahi, M., and Hamidian, A.H. 2010. Spatial estimation of groundwater quality factors using geostatistical methods (Case study: Golpayegan plain). J. Natur. Environ. 63: 4. 347-357. (In Persian)

9.Helsel, D.R., and Hirsch, R.M. 1993. Statistical Methods in Water Resources: Elsevier. 546p.
10.Jameei, M. 2008. Evaluation of interpolation methods in the regional estimation of potential evapotranspiration and its comparison with the results of satellite images in central and northern field of khozestan province. M.Sc. Thesis of Azad Islamic university, Science and Research Branch of Tehran, 176p.
11.Khattak, A., Ahmed, N., Hussein, I., Qazi, A., Alikhan, S., and Rehman, A. 2014. Spatial distribution of salinity in shallow groundwater used for crop irrigation. Pak. J. Bot. 46: 2. 531-537.
12.Krivoruchko, K. 2012. Empirical Bayesian Kriging, Implemented in ArcGIS Geostatistical Analyst. Arc user. 15: 4. 6-10.
13.Matkan, A., Shakiba, A., and Yazdani, A. 2007. Evaluation of different interpolation methods on daily rainfall estimation. Case study: Fars province. Quar. Geograph. J. Territ. 4: 2. 56-70. (In Persian)
14.McKenna, S.A. 2002. Simulating geological uncertainty with imprecise data for groundwater flow and advective transport modeling. Department of Geology and Geological Engineering, Colorado School of Mines Golden, Colorado, U.S.A. Pp: 1-15.
15.Misaghi, F., and Mohammadi, K. 2007. Estimating Spatial Distribution Of rainfall using Statistical and geostatistical methods and comparison with artificial network. Semiann. Sci. J. Agric. 29: 4. 1-13. (In Persian)
16.Nikbakht, S., and Delbari, M. 2014. Estimation of groundwater levels using geostatistical methods. Case study: Zahedan Plain. J. Water Sust. Dev. 1: 1. 49-56. (In Persian)
17.Salehi, H., and Zeinivand, H. 2015. Assessing groundwater quality and selection of the most appropriate spatial interpolation method (Case study: West of Marivan city, Iran). Iran. J. Ecohydrol. 1: 3. 153-166. (In Persian)
18.Shahabifar, M., Kouchakzadeh, M., Mohammadzadeh, M., and Mirlatifi, S.M. 2005. Determination of sugar beet water requirement in Tehran province using geostatistics methods. J. Sugar Beet. 20: 2. 133-147. (In Persian)
19.Tobler, W.R. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, Economic Geography, 46: 234-240.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(1), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Evaluation of the Empirical Bayesian Kriging method in ground water level zoning

E. Farnia[1], *Kh. Ghorbani[2] and M. Salarijazi[3]

[1]M.Sc. Student, Dept. of Water Resource Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 06/28/2017; Accepted: 04/15/2018

Abstract

Background and Objectives: Groundwater as one of the valuable water resources that has always been of interest to researchers. Preparing an interpolated water level zoning map is one of fields that can be acquired via best interpolation methods among different available methods. The Kriging method, based on semi variogram analysis, is one of traditional geostatistical methods. Interpolation precision is depended on the suitable selection of variogram. Empirical Bayesian Kriging (EBK) method is developed to estimated semi variogram parameters during simulation process. The objective of this study is investigation of EBK to increase the precision of groundwater level interpolation zoning. For this purpose, the results of this study were compared with the results of other other deterministic interpolation method including inverse distance weighted, radial basis function and local and global polynomial functions.

Materials and Methods: This study was carried out based on the annual mean groundwater level of 57 deep well in Ghareh-Sou aquifer located in Golestan province during 2005-2016 period. In order to groundwater level zoning, different deterministic and geostatistical interpolation methods were evaluated using cross validation technique. The best semi variogram selected for Kriging and EBK methods and finally the model with minimum error was determined and mapped.

Results: The results of cross validation in study area showed that among deterministic method, degree two local polynomial method has higher accuracy and even less error in comparison with Kriging method. The EBK methods, with simulation of fitness of suitable variogram on groundwater level data, led to decrease in Kriging error (23 to 16 meter) and had close precision to local polynomial method.

Conclusion: Although the error of the maps prepared based on EBK and local polynomial methods have no significant differences, there are considerable discrepancies between these maps. The EBK basis map shows smoother spectrum of groundwater level changes and the drawn pattern with this method is also proportional to general slope of study area.

Keywords: Kriging, Empirical Bayesian Kriging, Groundwater, Golestan, Geo-Statistics, Interpolation

* Corresponding Author; Email: ghorbani.khalil@yahoo.com