

مقایسه روش‌های زمین آمار در درون‌یابی سطح ایستابی (مطالعه موردی: حوضه‌های دریاچه ارومیه)

جواد بهمنش^۱، محمد ناظری تهرودی^{۲*} و کیوان خلیلی^۳

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

۲- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه ارومیه Email:m_nazeri2007@yahoo.com

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۱

چکیده

میان‌یابی یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که در مطالعات پهنه‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور دستیابی به نقشه‌های پیوسته و یکپارچه و پیش‌بینی مقادیر نامعلوم، روش‌های میان‌یابی مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی خیلی سخت و همراه با هزینه است، لذا نقشه‌های هم‌سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از این تحقیق، مقایسه دو روش زمین آمار کریجینگ و معکوس وزنی فاصله در درون‌یابی سطح آب زیرزمینی حوضه‌های غرب، جنوب و جنوب غرب دریاچه ارومیه می‌باشد. در این مطالعه سطح ایستابی ۶۳۴ چاه پیژومتر محدود جنوب، غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه آذربایجان غربی در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ مورد بررسی قرار گرفت. استقلال و ایستایی داده‌ها با استفاده از آزمون والد-ولفوویتس مورد آزمون قرار گرفت. نقشه‌های هم‌سطح آب با استفاده از روش‌های کریجینگ و معکوس وزنی فاصله، ترسیم گردید. نتایج نشان داد که روش کریجینگ نسبت به روش معکوس فاصله وزنی، نتایج بهتری را دارد.

کلیدواژه‌ها: درون‌یابی، مدل GS^+ ، سطح آب زیرزمینی، زمین آمار، کریجینگ، معکوس وزنی فاصله.

Comparison of Geostatistical Methods to Interpolation the Ground Water Table (Case Study: Urmia Lake Basin)

J. Behmanesh¹, M. Nazeri Tahroudi^{2*} and K. Khalili³

1- Associate Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Iran.

2* - Msc Student of Water Resource Management, Urmia University, Iran.

3-Assistant Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Iran

Received: 1 January 2014

Accepted: 16 June 2014

Abstract

Interpolation method is one of the most important techniques which have been used in zoning studies. In order to obtain the continuous and integrated maps and predict unknown values, the interpolation method has been used. Since measuring ground water levels is very difficult and costly, therefore the iso-water table maps are used. The main purpose of this research is to compare two geostatistical methods concluded Kriging and IDW methods in order to interpolation groundwater level of the West, South and South-West of the Urmia Lake. In the present study water level data of 634 piezometric wells located in the West, South and South-West of the Urmia Lake in the West Azerbaijan have been used in the period of 2010-2011. Stationary and independence of data were tested using Wald and Wolfowitz methods. Iso-water table maps were drawn using Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) methods. The result showed that the Kriging method has better results than Inverse Distance Weighted method.

Keywords: Interpolation, Model GS^+ , Ground water table, Geostatistical, Kriging, Inverse distance weighted.

مقدمه

زمین آمار به مفهوم آمریکایی خود به کاربرد تمامی روش‌های آمار که در علوم زمین مورد استفاده هستند، از جمله آمار کلاسیک و آمار فضایی اطلاق می‌شود. این تعریف از زمین آمار مفهومی به مراتب کلی‌تر و وسیع‌تر از مفهوم نظیر آن در کشورهای اروپایی را در بردارد. نخستین تجربه‌ها برای به کارگیری روش‌های آماری به مفهوم امروزی آن، در محاسبات تخمین ذخیره از حدود ۸۰ سال پیش، با شناسایی مقدماتی الگوهای توزیع طلا در معادن آفریقای جنوبی شروع شد (مدنی، ۱۳۷۷). قدم تکمیلی بعدی برای توسعه روش‌های آماری در علوم زمین در سال ۱۹۶۰ توسط ماترون آغاز شد و حاصل آن ابداع شاخه جدیدی از علوم آمار تحت عنوان زمین آمار بود. در بررسی‌های آمار کلاسیک نمونه‌های به‌دست آمده از جامعه عمدتاً به صورت تصادفی در نظر گرفته می‌شوند و مقدار اندازه‌گیری شده‌ی یک کمیت معین در یک نمونه‌ی خاص، هیچ گونه اطلاعاتی درباره‌ی مقدار همان کمیت در نمونه دیگر و به فاصله معلوم نخواهد داشت. در صورتی که در زمین آمار می‌توان بین مقادیر یک کمیت در جامعه‌ی نمونه‌ها و برای قرار گرفتن آن‌ها نسبت به هم ارتباط برقرار کرد. وابستگی بین مقادیر نمونه‌ها به فاصله‌ی بین نمونه‌ها بستگی دارد و این رابطه پایه‌ی اصلی زمین آمار را تشکیل می‌دهد. ایگوزکویزا^۱ (۱۹۹۸) به منظور تخمین میانگین بارش حوضه آبخیز رود گودال هورس در اسپانیای شمالی، از روش‌های کلاسیک سنتی تیسن و کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و کریجینگ همراه با روند نتایج بهتری ارائه می‌کند. پرودهوم و رد^۲ (۱۹۹۹) در پژوهشی در مناطق کوهستانی اسکاتلند ثابت کردند که استفاده از داده‌های توپوگرافی به دقت پیش‌بینی بارش در روش کریجینگ معمولی کمک می‌کند. دروگو^۳ و همکاران (۲۰۰۲) به منظور تهیه‌ی نقشه‌های تحلیلی برای تولید نقشه‌ی مکانی بارش‌های کوهستانی در شمال شرقی فرانسه، با کاربرد شبیه پلوویا^۴، روش‌های وایازی خطی چند متغیره بین فراسنج‌های بارش و فراسنج‌های ریخت شناسی ناشی از شبیه رقومی دیجیتالی، روش‌های چندمتغیره‌ی زمین آماری نظیر کریجینگ همراه با روند و کوکریجینگ را بر داده‌های ۲۰ ساله‌ی شبکه‌ای شامل ۱۵۰ ایستگاه به مساحت ۳۰۰۰۰ کیلومتر مربع مقایسه کردند و روش کریجینگ به عنوان روش برتر شناخته شد. دیداتو و سسرالی^۵ (۲۰۰۵) با کاربرد روش‌های زمین آماری چند متغیره به تهیه‌ی نقشه‌های مکانی بارش در کوه‌های سانویو واقع در ایتالیای شمالی پرداختند. هدف از این پژوهش بررسی نقش شبیه رقومی دیجیتالی در بهبود فرایند درون‌یابی در مقیاس‌های زیرحوضه‌ای برای تهیه‌ی نقشه‌های میانگین بارش سالانه و ماهانه‌ی بارش ۴۰ ساله در منطقه‌ای به وسعت ۱۴۰۰ کیلومتر مربع بود. به این منظور، افزون بر

رابطه‌ی ساده‌ی وایازی خطی بین ارتفاع و بارش، روش وزن‌دهی عکس فاصله و کریجینگ معمولی نیز بکار رفت. ارزیابی نشان داد که روش وزن‌دهی عکس فاصله خطای بیش‌تر از وایازی خطی و کریجینگ معمولی در برداشت. چنگ^۶ و همکاران (۲۰۰۸) به‌منظور تخمین میانگین منطقه‌ای بارش و تخمین نقطه‌ای در مناطق بدون ایستگاه، به ارزیابی شبکه‌ی باران سنجی با کاربرد روش‌های زمین آمار پرداختند. تحلیل واریوگرام نشان داد که بارش ساعتی از تغییرات مکانی بالاتری نسبت به بارش‌های سالانه برخوردار است. تقفیان و همکاران (۱۳۹۰) میانگین بارش سالانه ۱۲ ایستگاه سینوپتیک در استان فارس را با استفاده از دو روش کریجینگ و کوکریجینگ، مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد که برازش شبیه گوسی کریجینگ و کوکریجینگ بر سهمی واریوگرام داده‌های بارش سالانه با دامنه تأثیر ۲۰۰ کیلومتر، بهترین الگو برای درون‌یابی میانگین بارش سالانه در منطقه است. رنگزن و همکاران (۱۳۸۴) دو روش فاصله معکوس وزنی و کریجینگ را برای درون‌یابی داده‌های سطح ایستابی پیژومترهای دشت میان آب شوشتر مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که اگر چه دقت هر دو روش در سطح اطمینان مورد نظر قابل پذیرش می‌باشد، اما روش فاصله معکوس وزنی به نسبت دارای دقت بالاتری است. صیادی و همکاران (۱۳۸۵) پارامترهای مؤثر بر مدل‌سازی عیاری نظیر دامنه تأثیر، سقف، اثر قطعه‌ای، ساختار و نوع واریوگرام را بررسی و حساسیت مدل کانسار مس سونگون به ویژه از نقطه نظر عبار متوسط و محتوای فلزی نسبت به این پارامترها ارزیابی کردند. نتایج حاکی از آن بود که پارامتر "دامنه تأثیر در برای Z" متغیر بحرانی بوده و تغییرات پارامتر «واریانس تصادفی» کمترین تأثیر را بر مدل دارد. عساکره (۱۳۸۷) ضمن معرفی روش کریجینگ برای میان‌یابی نقاط فاقد داده، بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ ایران زمین را به کمک این روش و داده‌های ۶۵۴ ایستگاه مورد تحلیل و درون‌یابی قرار داد و دو نقشه را از بین ۳۳ نقشه به‌دست آمده را اختیار کرد و با بررسی نقشه‌ها و میزان خطا، میانگین بارش کشور ایران را در روز ۲۶ اسفند سال ۱۳۷۳ بر اساس روش کریجینگ، ۷/۲ میلی‌متر تخمین زد. فتح الهی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از تحلیل واریوگرام و روش‌های مختلف زمین آمار از جمله کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ عام، کریجینگ شاخص، کوکریجینگ و روش عکس فاصله، پهنه بندی شدت خشکسالی را در حوزه‌های آبخیز شهرستان مهاباد در سال ۱۳۸۴ با استفاده از نمایه بارش استاندارد انجام داد. نتایج براساس معیار ریشه دوم میانگین مربعات خطا نشان داد که در بین روش‌های درون‌یابی ذکر شده، روش کریجینگ معمولی به دلیل دارا بودن معیار خطای پایین‌تر ($RMSE=0/246$) دقیق‌تر بوده و به عنوان مناسب‌ترین روش تهیه نقشه‌ی شدت خشکسالی در سال ۱۳۸۴ انتخاب گردید. فرج‌پور و همکاران (۱۳۸۹) با مقایسه نتایج حاصل از اعمال روش‌های زمین آماری مشاهده کردند که نتایج روش کریجینگ نسبت به نتایج حاصل از روش‌های کریجینگ معمولی و کوکریجینگ قابل قبول‌تر است. متکان و

- 1 - Igúzquiza
- 2 - Prudhomme and Redd
- 3 - Drogue
- 4- Pluvia
- 5 - Diodato and Ceccarelli

این منطقه برازش دادند. تئودوسیو و لاتینوپولوس^۱ (۲۰۰۶) سطح آب زیرزمینی منطقه آنتیمونتاس یونان را به روش کریجینگ میان‌یابی و نتایج را با روش ضرب تغییرات بررسی کردند که صحت میان‌یابی قابل قبول بود. با توجه به اهمیت داشتن اطلاعات کافی در مورد کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی، درون‌یابی این پارامتر مورد اهمیت است. در این مطالعه با هدف درون‌یابی سطح ایستابی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ که شامل ۶۳۴ ایستگاه پیژومتر با مشخصات مکانی متفاوت در حوضه‌های اطراف دریاچه ارومیه است، روش‌های درون‌یاب زمین آمار در سطح حوضه مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

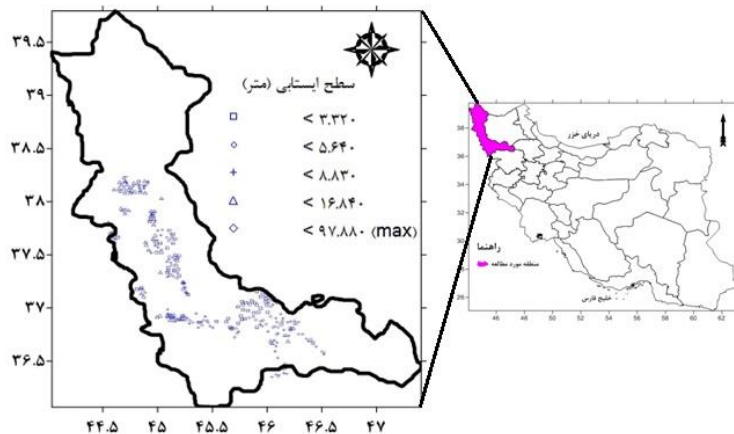
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق سطح آب اندازه‌گیری شده از مجموع ۶۳۴ چاه پیژومتر در محدوده غرب، جنوب و جنوب غرب دریاچه ارومیه در استان آذربایجان غربی می‌باشد. منطقه مورد مطالعه به صورت شکل (۱) و مشخصات آماری محدوده‌های مطالعاتی به صورت جدول (۱) نمایش داده شده است.

همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از روش کریجینگ، برای برآورد مقدار کادمیوم موجود در خاک منطقه مرکزی ایران واقع در استان اصفهان استفاده کردند و سپس با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه تخمین توزیع مکانی کادمیوم کل در منطقه مورد مطالعه ترسیم کردند و برای تعیین مناطق آلوده از نظر میزان کادمیوم، کلاسه بندی شد. بررسی نتایج آمار توصیفی کادمیوم کل و مقایسه آن با مقادیر پیشنهادی توسط کشورهای دیگر نشان داد که خاک منطقه از لحاظ مقدار کادمیوم موجود در آن دارای آلودگی است. متکان و همکاران (۱۳۸۸) دقت روش‌های مختلف درون‌یابی را برای تولید نقشه‌های کیفیت هوای آلاینده‌های CO و PM10 در شهر تهران مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مقاله نشان داد که برای تولید نقشه‌های آلاینده CO بهترین روش استفاده از الگوریتم کوکریجینگ همرا با سه پارامتر دما، برای باد و سرعت باد می‌باشد و برای آلاینده PM10 استفاده از روش نوار باریک نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. فتحی مرج و همکاران (۲۰۰۹) روش‌های درون‌یابی سطح آب زیرزمینی کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، همسایگی طبیعی، نوار باریک و معکوس وزنی فاصله را در سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه استان فارس مورد بررسی قرار داده و بهترین مدل را برای

جدول ۱- مشخصات داده‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه

استان	مختصات پیژومترها	پارامتر اندازه گیری شده	سال آبی	محدوده	تعداد پیژومترها	محدوده	تعداد پیژومترها
آذربایجان غربی	UTM	سطح آب	۱۳۸۹-۹۰	ارومیه	۷۲	سلماس	۹۹
				اشنویه	۳۷	صائین قلعه	۲۲
				بوکان	۳۶	کهریز	۱۵
				رشکان	۱۳	مهاباد	۲۴
				زیوه	۹	میاندوآب	۲۳۷
				سرو	۱۲	نقده	۵۸



شکل ۱- محدوده جغرافیایی منطقه و موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی

دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله‌ی آنها نشان می‌دهد و به وسیله‌ی سه پارامتر اثر قطعه‌ای یا تصادفی (C0)، آستانه (C+C0) و دامنه تأثیر (r) تعریف می‌گردند. پارامترهای نیمه‌واریوگرام به شرح شکل (۲) است.

واریانس فضایی واریوگرام (C)

هم‌چنان که طول گام‌های واریوگرام (r) افزایش می‌یابد مقدار هر واریوگرام از مقادیر کم شروع شده و پس از فراز و نشیب‌هایی ممکن است به سمت ثابتی میل کند (ثقیان و همکاران، ۱۳۹۰؛ ایزاک و اسرینواستا^۴، ۱۹۸۹). بنابراین بعضی از واریوگرام‌ها به مقدار نسبتاً ثابتی می‌رسند که بعد از آن هر چه فاصله بیشتر شود مقدار واریوگرام تغییر معنی‌دار نمی‌کند. به این مقدار نسبتاً ثابت که تغییرات آن فقط تصادفی است سیل یا سقف گفته می‌شود (صیادی و همکاران، ۱۳۸۵). اختلاف بین مقدار سقف با اثر قطعه‌ای را واریانس فضایی گویند.

واریانس تصادفی واریوگرام (C0)

از نظر تئوری مقدار واریوگرام به ازای $h=0$ باید به حداقل مقدار خود یعنی به صفر تنزل کند ولی در عمل واریوگرام‌های واقعی که محصول تجربه می‌باشند، معمولاً از چنین شرایطی تبعیت نمی‌کنند. به مقدار واریوگرام به ازای $h=0$ اثر قطعه‌ای گفته می‌شود. به کمک این مدل، می‌توان بهترین مدل واریوگرام تئوری منطبق شده که بیشترین همبستگی را با داده‌ها دارد به همراه پارامترهای مربوط به آن (RSS, r^2) و ضرایب همبستگی (C0, C+C0, r) مشاهده کرد. علاوه بر رسم واریوگرام همسانگرد^۵، واریوگرام‌های ناهمسانگرد^۶ نیز در این مدل قابل مشاهده است (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۱).

درون‌یاب کریجینگ

مهم‌ترین تخمین‌گر آمار فضایی است که به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین آمار به نام کریگ^۷ (۱۹۵۱) که یک مهندس معدن آفریقای جنوبی بوده است، کریجینگ نام گرفت. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و به صورت زیر تعریف می‌شود (قهرودی تالی، ۱۳۸۱):

$$Z_v^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{v_i} \rightarrow i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

که در آن n: تعداد ایستگاه‌ها، Z_v^* : پارامتر تخمینی، λ_i : وزن نمونه i ام و Z_{v_i} : پارامتر معلوم می‌باشد (ادب و همکاران، ۱۳۸۷؛ هیلاری و همکاران، ۲۰۰۳؛ چن و همکاران، ۲۰۰۷؛ طباطبایی و غزالی، ۱۳۹۰؛ تئودوسیو و لتینوپولوس، ۲۰۰۶).

تخمین زمین آماری شامل دو مرحله است که مرحله اول شامل شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیر می‌باشد که به وسیله آنالیز نیمه‌واریوگرام^۱ قابل بررسی می‌باشد و مرحله دوم، تخمین است که به روش‌های مختلف مانند کریجینگ صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است شرط استفاده از روش‌های زمین آماری ایستا بودن می‌باشد که از طریق نیمه‌واریوگرام و همچنین آزمون استقلال و ایستایی قابل تشخیص می‌باشد و ضمناً توزیع داده‌ها بایستی به توزیع نرمال نزدیک باشد.

آزمون استقلال و ایستایی داده‌ها^۲ (W-W Test)

آزمون استقلال و ایستایی داده‌ها یک آزمون آماری غیر پارامتری است و ابتدا توسط آبراهام والد و جاکوب ولفوویتس^۳ در سال ۱۹۴۳ پیشنهاد گردید:

$$R = \sum_{i=1}^N x_i^2 x_{i+1} + x_i \times N \quad (1)$$

$$\bar{R} = \frac{2 - \frac{2}{S_1}}{N-1} \quad (2)$$

$$\text{Var}(R) = a - \bar{R}^2 + b \quad (3)$$

$$a = \frac{2 - \frac{2}{S_1}}{N-1} \quad (4)$$

$$b = \frac{4 - \frac{4}{S_1} + 4 \frac{2}{S_1 S_2} + 4 \frac{2}{S_1 S_2} + S_2^2 - 2 S_4}{(N-1)(N-2)} \quad (5)$$

$$S_r = N.m_r \quad (6)$$

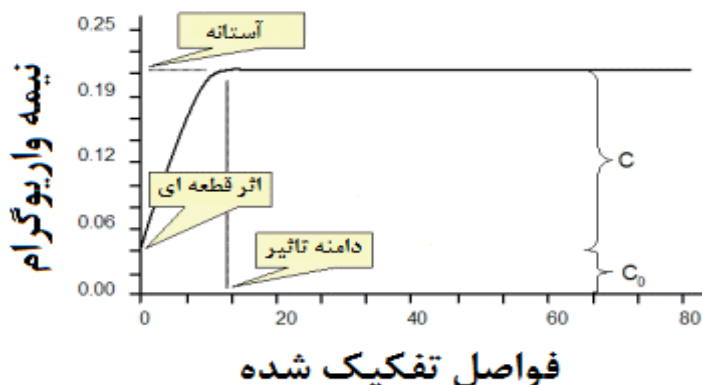
$$U = \frac{(R - \bar{R})}{\sqrt{\text{Var}(R)}} \quad (7)$$

که در آن \bar{R} : میانگین آزمون، U: آماره آزمون و m_r : آماره زمین آمار است. گشتاور نمونه حول مبدا می‌باشد. بعد از محاسبه مقدار U، مقدار این عبارت در سطح معنی‌دار ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد بررسی می‌شود (ناظری و همکاران، ۱۳۹۲؛ خلیلی و همکاران، ۱۳۹۱).

نیمه‌واریوگرام، اساسی‌ترین ابزار در زمین آمار است که برای تشریح ارتباط یک متغیر به کار می‌رود. به عبارت دیگر، کمیته است برداری که درجه‌ی همبستگی مکانی بین نقاط را بر حسب مربع تفاضل مقدار

4- Isaaks and Srinivasta
5-Isotropic
6-Anisotropic
7-Krige

1-Semivariogram
2 -Wald Wolfowitz runs Test
3-Abraham Wald and Jacob Wolfowitz



شکل ۲- پارامترهای نیمه‌واریوگرام

که در آن h_{i0} : فاصله بین دو موقعیت t_0 و t_i : ضریب همواری و p : توان وزن است که معمولاً بین ۱ تا ۵ است. دقت واریوگرام‌های رسم شده با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل قابل مشاهده است: در این روش ابتدا مقدار هر نقطه اندازه‌گیری شده، حذف می‌شود و سپس مقدار آن از روی واریوگرام تخمین زده می‌شود، به گونه‌ای که هرگز مقدار آن در دست نبوده است. سپس مقدار واقعی آن نقطه دوباره در جای خود قرار داده می‌شود و این کار برای تمام نقاط معلوم تکرار می‌شود. در نهایت نمودار داده‌های تخمینی در مقابل داده‌های مشاهده‌ای ترسیم و مقایسه می‌شود (عساکره، ۱۳۸۷).

نتایج و بحث

متوسط سالیانه سطح ایستابی منطقه مورد مطالعه و داده‌های ۶۳۴ چاه پیژومتر اکتشافی در منطقه از سال ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۹۰ به صورت شکل (۳) ارائه شد که تغییرات سطح ایستابی طی این چند سال قابل مشاهده است.

استقلال و ایستایی داده‌های روزانه‌ی هر ماه و داده‌های متوسط ثبت شده چاه‌های پیژومتر در روزهای مختلف سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، با استفاده از آزمون والد-ولفوویتس مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آزمون به صورت جدول (۲) ارائه شد که تمام داده‌ها در سطح معنی‌دار یک و پنج درصد پذیرفته شدند. از آنجا که شرط اصلی استفاده از داده‌ها برای تخمین و درون‌یابی نرمال بودن آن‌هاست، لذا داده‌های سطح ایستابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از تابع $Y = \ln(X)$ نرمال سازی شد و نمودارهای نرمال سازی چند ماه برای نمونه به صورت شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شد و سایر ماه‌ها نیز به همین صورت نرمال سازی شدند. با استفاده از داده‌های نرمال شده، واریوگرام در زوایای مختلف رسم و به صورت شکل‌های (۶) و (۷) ارائه گردید.

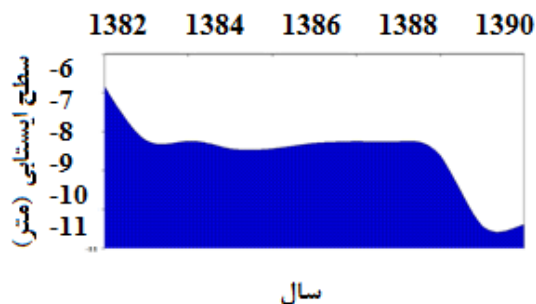
کریجینگ یک تخمین گر نا اریب با کمترین واریانس تخمین است (فتیحی مرج و همکاران، ۲۰۰۹). شرط نارایی در دیگر روش‌های تخمین مانند روش چند ضلعی، عکس فاصله و عکس مجذور فاصله نیز اعمال می‌شود، ولی ویژگی کریجینگ آن است که ضرائب را به گونه‌ای تعیین می‌کند که در عین نارایب بودن، واریانس تخمین نیز حداقل باشد. از آن جایی که کریجینگ، همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز می‌دهد، به این ترتیب علاوه بر محاسبه مقدار متوسط خطا، می‌توان توزیع خطا (واریانس تخمین) را در کل محدوده مورد بررسی به دست آورد. در این روش فرض بر این است که فاصله و جهت بین نقاط نمونه بر روی همبستگی مکانی تأثیر می‌گذارد. این روش وقتی بهترین کارایی را دارد که وجود همبستگی فاصله‌ای یا چولگی جهتی داده‌ها مشخص باشد. از این روش اغلب در علوم نفت و زمین شناسی استفاده می‌کنند. اگر واریانس نقاط نمونه برداری کم باشد، نتایج مدل کریجینگ به سایر روش‌ها نزدیک می‌شود (الیور و ویستر، ۱۹۹۰).

معکوس وزنی فاصله

کلیه روش‌های درون‌یابی بر مبنای این فرضیه توسعه یافته‌اند که نقاط نزدیک‌تر به یکدیگر نسبت به نقاط دورتر همبستگی و تشابه بیشتری دارند. این روش ساده‌ترین پیش‌بینی کننده در داده‌های فضایی است و فرمول بندی ساده‌ای دارد. در این روش در پیش‌بینی $Z(0)$ در نقطه t_0 به داده‌هایی که فاصله کم با این نقطه دارند، وزن زیاد و داده‌هایی که فاصله زیاد دارند وزن کم داده می‌شوند. در این روش فرض اساسی بر این است که میزان همبستگی و تشابه بین همسایه‌ها با فاصله بین آنها متناسب است که می‌توان آن را به صورت تابعی با معکوس از فاصله هر نقطه از نقاط همسایه تعریف کرد (صیادی و همکاران، ۱۳۸۵).

$$Z(t_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Z(t_0)}{(h_{i0} - s)^2} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{(h_{i0} - s)^p} \right)} \rightarrow i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

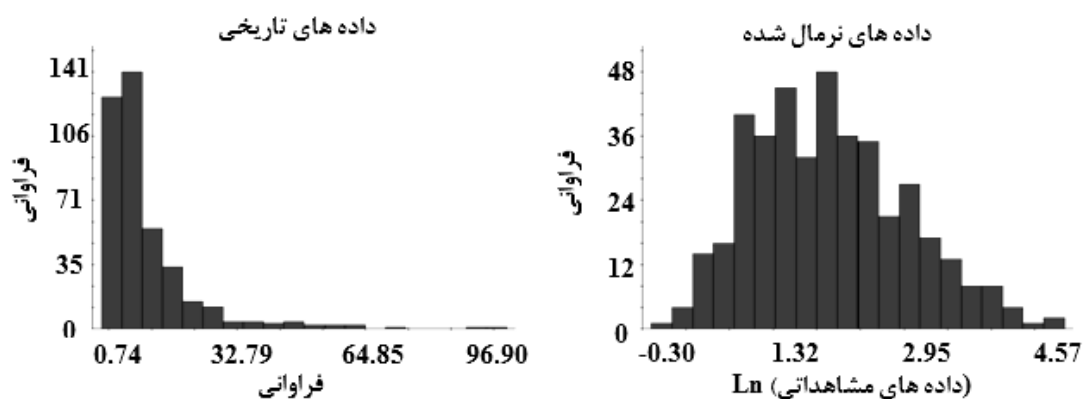
بهمنش و همکاران: مقایسه روش‌های زمین آمار در درون‌یابی سطح...



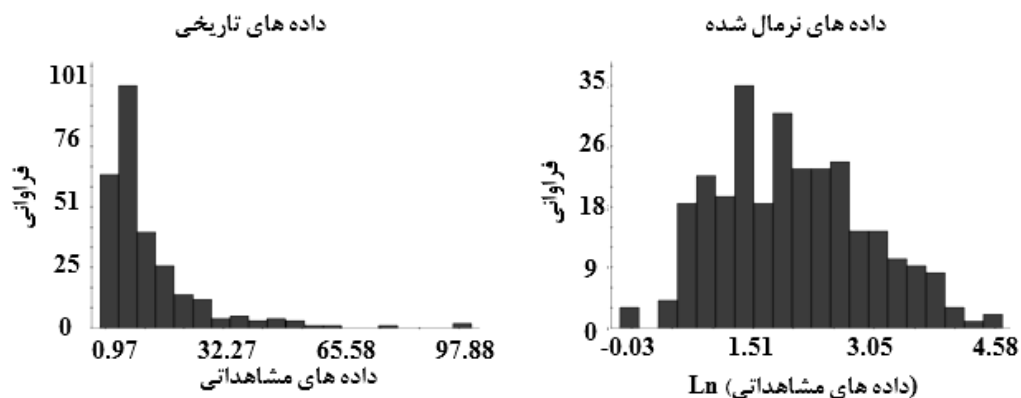
شکل ۳- تغییرات سطح ایستایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۲- آزمون استقلال و ایستایی

سالانه	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	مهر	مرداد	مهر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	ماه
آماره آزمون	۲/۵۳	۲/۰۲	۰/۹۷	۲/۵۶	۲/۰۱	۱/۶۵	۲/۲۴	۰/۰۵	۱/۹۳	۱/۵۹	۱/۶۴	۱/۹۶	آماره p
سطح معنی-داری (درصد)	۰/۷۵	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۳۳	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۱۱	۱/۶۴	۰/۰۵
	۵	۱	۱	۵	۱	۱	۵	۱	۵	۵	۵	۵	۱



شکل ۴- داده‌های نمونه و نرمال شده سطح ایستایی، فروردین ماه سال ۱۳۹۰

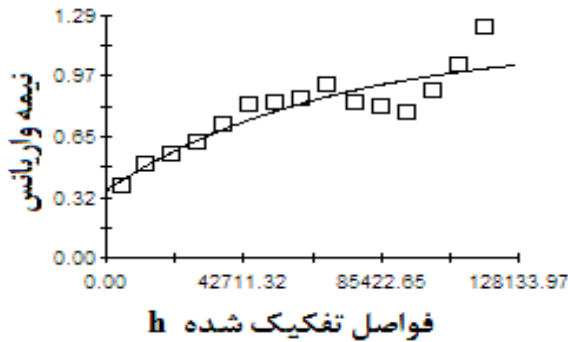


شکل ۵- داده‌های نمونه و نرمال شده سطح ایستایی، میانگین سال ۱۳۹۰

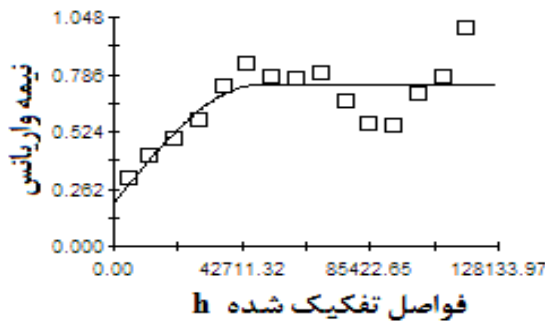
مشاهده است. نتایج واریوگرام‌ها، همبستگی مکانی داده‌ها مورد تایید قرار گرفت.

همچنین برای شناسایی و حذف نقاط پرت و دور افتاده که واریانس را تحت تأثیر قرار می‌دهند، از نمودارهای اچ-اسکاتر و واریانس کلود استفاده شد و داده‌های پرت از نمونه‌ها حذف شد تا مدل‌سازی و درون‌یابی سطح ایستابی منطقه با خطای کمتر صورت گیرد و نتایج به صورت شکل‌های (۸) و (۹) قابل مشاهده است.

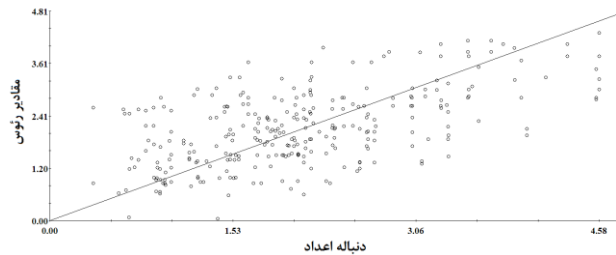
برای نشان دادن همبستگی مکانی داده‌های چاه‌های پیژومتر از نمودارهای واریوگرام استفاده شد. بعد از بررسی ایستا و نرمال بودن داده‌ها، با استفاده از داده‌های نرمال، نمودارهای واریوگرام داده‌های هر ۱۲ ماه و داده‌های میانگین سال ۱۳۹۰ رسم شد و همبستگی مکانی داده‌ها با تاخیر ۸۰ بررسی شد که نتایج همبستگی مکانی دو ماه از دوره آماری برای نمونه به صورت شکل‌های (۶) و (۷) قابل



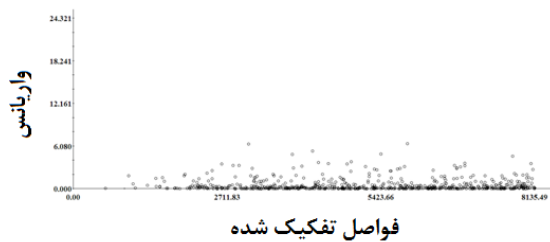
شکل ۶- واریوگرام فروردین ماه



شکل ۷- واریوگرام شهریور ماه



شکل ۸- نمودار اچ-اسکاتر داده‌های میانگین سال ۱۳۹۰



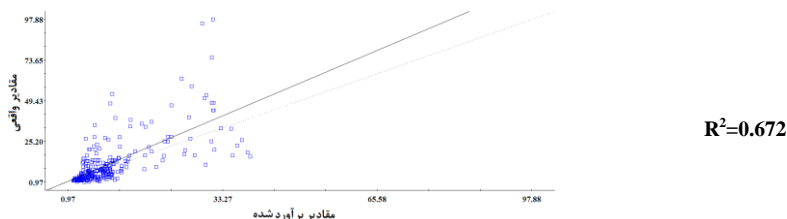
شکل ۹- نمودار واریانس کلود داده‌های میانگین سال ۱۳۹۰

بهمنش و همکاران: مقایسه روش‌های زمین آمار در درون‌یابی سطح...

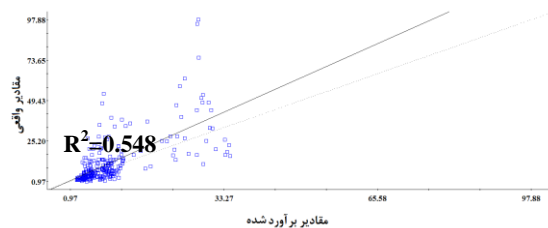
بین داده‌های نمونه و داده‌های مدل شده، مدل مناسبی نسبت به مدل فاصله معکوس وزنی برای درون‌یابی سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه خواهند بود

در نهایت با بکارگیری مدل برتر، سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به‌تندی به و صورت شکل‌های ۱۲ و ۱۳ ارائه گردید. نتایج حاصل از به‌تندی سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان داد داد که سطح دسترسی به آب زیرزمینی در قسمت شمال غرب دریاچه ارومیه بیشتر از سایر نقاط می‌باشد.

بعد از درون‌یابی، تخمین داده‌ها و رسم نقشه‌های سه بعدی هم سطح آب زیرزمینی، دو مدل استفاده شده در این منطقه مورد ارزیابی قرار گرفتند و همبستگی داده‌های نمونه و داده‌های مدل شده توسط مدل‌های کریجینگ و معکوس فاصله وزنی برآزش داده شد و نتایج برآزش میانگین سال ۱۳۹۰ به صورت شکل‌های (۱۰) و (۱۱) آورده شد. همچنین نتایج سایر ماه‌ها نیز به صورت جدول (۳) ارائه شد. برای رسم این نمودارها از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده شد و همان‌طور که مشاهده شد، مدل کریجینگ با ضریب همبستگی بیشتر



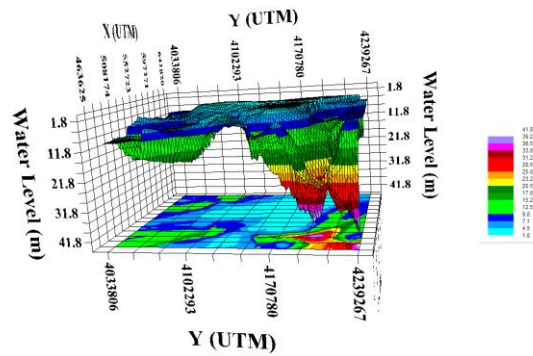
شکل ۱۰- نمودار برآزش داده‌های نمونه و برآزش داده شده داده‌های میانگین سال ۱۳۹۰ با مدل کریجینگ



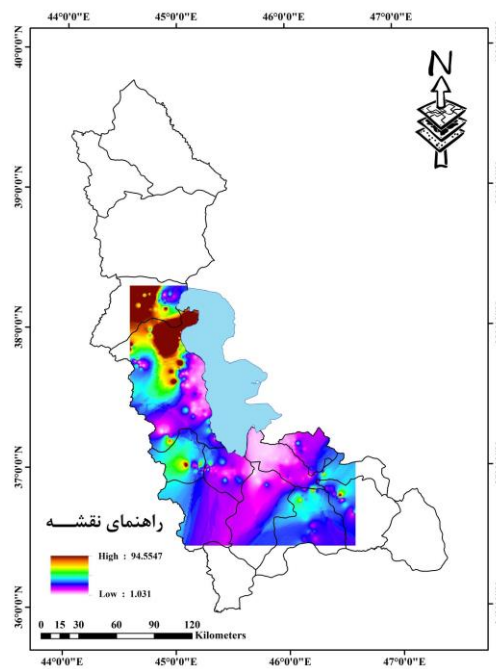
شکل ۱۱- نمودار برآزش داده‌های نمونه و برآزش داده شده داده‌های میانگین سال ۱۳۹۰ با مدل فاصله معکوس وزنی

جدول ۳- نتایج ضریب همبستگی حاصل از برآزش داده‌های نمونه و برآزش داده شده با مدل‌های زمین آمار

ردیف	مورد	ارزیندیش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	کریجینگ	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۵۳
۲	معکوس وزنی فاصله	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۹



شکل ۱۲- نمای سه بعدی سطح آب زیرزمینی مدل شده میانگین داده‌های منطقه با استفاده از روش زمین آمار کریجینگ



شکل ۱۳- نمای دو بعدی سطح آب زیرزمینی مدل شده میانگین داده‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش زمین آمار کریجینگ

۶۳۴ چاه پیزومتر یکسان بود، الگوی پراکنش آب زیرزمینی منطقه در مدل‌های ماهیانه و میانگین کل در روش‌های مختلف به صورت یکسان به دست آمد که این نتیجه نشان دهنده برازش مناسب مدل است. همان‌طور که از شکل‌های (۱۰) و (۱۱) و جدول (۳) مشاهده شد، مدل کریجینگ همبستگی بیشتر با ضریب بین داده‌های نمونه و داده‌های مدل شده، مدل مناسبی نسبت به مدل فاصله معکوس وزنی برای درون‌یابی سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه خواهند بود که نتایج حاکی از مطالعات تئودوسیو و لاتینوپولوس (۲۰۰۶)، فتح الهی و همکاران (۱۳۹۰)، متکان و همکاران (۱۳۸۸)، عساکره (۱۳۸۷)، تقیان و همکاران (۱۳۹۰)، فرج پور و همکاران (۱۳۸۹) و فتحی مرج و همکاران (۲۰۰۹) نیز مدل کریجینگ را در تحقیقات خود به عنوان مدل مناسب توصیه کردند. برخلاف نتایج حاکی از

نتیجه‌گیری

سطح ایستایی منطقه مورد مطالعه از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۸ تغییر چندانی نداشته و تقریباً ثابت بوده است ولی به طور متوسط از سال ۱۳۸۸ تا سال ۱۳۹۰ کاهش داشته است. با استفاده از داده‌های نرمال ایستا و روش‌های زمین آمار، اقدام به درون‌یابی سطح آب زیرزمینی منطقه شد و در این راستا از روش‌های درون‌یابی کریجینگ و معکوس وزنی فاصله استفاده شد. با استفاده از این دو روش سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، به صورت ماهانه برای هر دوازده ماه سال ۱۳۹۰ و به صورت میانگین کل برای داده‌های ثبت شده‌ی هر یک از چاه‌های پیزومتر موجود در منطقه مدل‌سازی شد و دو روش درون‌یابی مورد مقایسه قرار گرفتند. از آنجا که داده‌های ایستگاه‌های پیزومتری در منطقه مورد مطالعه مربوط به

بهمنش و همکاران: مقایسه روش‌های زمین آمار در درون‌یابی سطح...

مطالعات رنگزن و همکاران (۱۳۸۴) مبتنی بر این که روش فاصله معکوس وزنی مناسب‌تر کریجینگ است، در منطقه مورد مطالعه، روش کریجینگ دقت بیشتری در تخمین داده‌ها نسبت به فاصله معکوس وزنی دارد. یکی از نکات مهم در مدل‌سازی و میان‌یابی پارامترهای مختلف، این است که برای رسم نمودارهای برازش داده‌ها، داده‌های نرمال شده که به واسطه این داده‌ها تخمین صورت گرفته است را با استفاده از تابع نرمال‌ساز به حالت اولیه برگردانده شود و سپس نمودارهای برازش را ترسیم و همبستگی داده‌های اصلی و تخمینی را به دست آورد که همبستگی واقعی را در اختیار می‌گذارد که این موضوع در بسیاری از توابع مدل‌سازی رعایت نمی‌شود.

منابع

- ۱- ادب، ح، فلاح قاله‌ری، غ. و ر. میرزا بیاتی. ۱۳۸۷. ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه DEM در تهیه نقشه همبارش سالانه در استان خراسان رضوی. همایش ژئوماتیک، تهران.
- ۲- ثقفیان، ب.، رزمخواه، ه. و ب. قرمزچشمه. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی استان فارس). مجله مهندسی منابع آب. ۹(۴): ۳۸-۲۹.
- ۳- خلیلی، ک.، احمدی، ف.، بهمنش، ج. و و. وردی‌نژاد. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر روی دمای هوا و جریان رودخانه شهرچای واقع در غرب دریاچه ارومیه با استفاده از تحلیل روند و ایستایی. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۳(۴): ۱۰۸-۹۷.
- ۴- رنگزن، ک.، مختاری، م. و م. شایگان. ۱۳۸۴. ارزیابی دقت مدل‌های IDW و Kriging جهت درون‌یابی داده‌های سطح آب زیرزمینی دشت میان آب شوشتر. همایش ژئوماتیک، تهران.
- ۵- صیادی، الف.، اژدری شبستری، الف. و م. حیدری. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر پارامترهای واریوگرام بر مدل عیاری کانسار مس سونگون. بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، تهران.
- ۶- طباطبایی، ح. و م. غزالی. ۱۳۹۰. ارزیابی دقت روش‌های میان‌یابی در تخمین سطح ایستایی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های فارس - جونقان و سفیددشت). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۵۷(۱۵): ۲۲-۱۱.
- ۷- عساکره، ح. ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش (مطالعه موردی: میان‌یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ ایران زمین). مجله جغرافیا و توسعه، ۱۲(۶): ۴۲-۲۵.
- ۸- فتح الهی، ع.، صابرچناری، ک.، عرفانیان، م. و ه. عبقری. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از تحلیل واریوگرام و بررسی روند در زمین آمار (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز مهاباد). هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، کرج.
- ۹- فرج پور، ز.، بیدهدی، م.، ترابی، م. و م. باقری. ۱۳۸۹. مقایسه روش‌های زمین آماری جهت تعیین توزیع تخلخل در یکی از میداین نفتی جنوب غرب ایران. چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، موسسه ژئوفیزیک تهران.
- ۱۰- قهرودی تالی، م. ۱۳۸۱. ارزیابی دقت درون‌یاب کریجینگ. مطالعات جغرافیا، شماره ۴۳: ۱۰۸-۹۵.
- ۱۱- متکان، ع.، شکیب، ع.، پورعلی، ح. و الف. بهارلو. ۱۳۸۸. ارزیابی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی جهت تخمین مقادیر آلاینده‌های CO و PM10 در شهر تهران. همایش ژئوماتیک، تهران.
- ۱۲- متکان، ع.، کاظمی، آ.، گیلی، م. و د. عاشورلو. ۱۳۸۶. استفاده از GEOSTATISTIC و الگوریتم LSU به منظور تعیین گیاهان در معرض خطر آلودگی کادمیوم (مطالعه موردی استان اصفهان). همایش ژئوماتیک، تهران.
- ۱۳- مدنی، ح. ۱۳۷۷. مبانی زمین آمار. دانشگاه صنعتی امیر کبیر واحد تفرش.
- ۱۴- ناظری تهرودی، م.، ناظری تهرودی، ز.، خلیلی، ک. و س. نقوی. ۱۳۹۲. میان‌یابی درصد سدیم حوضه‌های دریاچه ارومیه جهت تهیه نقشه‌های پراکنش سدیم موجود در آب زیرزمینی. اولین همایش تاثیر پسروری آب دریاچه ارومیه بر منابع آب و خاک، تبریز.

- 15- Chen, Y., Wei, C. and H. Yeh. 2007. Rainfall network design using kriging and entropy. *Hydrological processes*, 22 (3): 340-346.
- 16- Cheng, K., Lin, Sh. and J. J. Liou. 2008. Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics. *Hydrological processes*, 22: 2554-2564.
- 17- Diodato, N. and M. Ceccarelli. 2005. Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatologically precipitation mean in the SANYO Mountains (southern Italy). *Earth Surface Processes and Landforms*, 30(3): 259-268.
- 18- Drogue, G., Humbert., J., Deraisme, J., Mahr, N. and N. Freslon. 2002. A statistical topographic model using an Omni direction a parameterization of the relief for mapping geographic rainfall. *International Journal of Climatology*, 22(5): 599-613
- 19- FathiMarj, A., TaieSemirom, M. and KhallaghMirnia, S. 2009. Evaluation of Interpolation Methods to Draw Isopiez Groundwater Level (A case study in Garebaygan plain, Fars Province, Iran). Sixth Conference of Engineering Geology and the Environment. Tehran.
- 20- Hilaire, A. S., Ouarda, T. B., Lachance, M., Bob, B., Gaudet, J. and C. Gignac. 2003. Assessment of the impact of meteorological network density on the estimation of basin precipitation and runoff: A case study. *Hydrological processes*, 17: 3561-3580.
- 21- Igúzquiza, E. P. 1998. Comparison of geostatistical methods for estimating the areal average climatologically rainfalls mean using data on precipitation and topography. *International Journal of Climatology*, 8(9): 1031– 1047.
- 22- Isaaks E. H. and R. M, Srinivasta. 1989. *Applied geostatistics*. Oxford University Press: Oxford.
- 23- Krige, D. G. 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, 52: 119-139.
- 24- Oliver M. A. and R. Webster. 1990. Kriging a method of interpolation for geographical information system. *International Journal of Geographical Information System*, 4(3): 313-332.
- 25- Prudhomme, C. and D. Redd. 1999. Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: A case study in Scotland. *International Journal of Climatology*, 19(12): 1337-1356.
- 26- Theodossiou, N. and P. Latinopoulos. 2006. Evaluation and optimization of groundwater observation networks using the kriging methodology. *Environmental Modelling & Software*, 21(7): 991-1000.