

بازسازی داده‌های بارش با استفاده از روش‌های سنتی و زمین‌آماري مطالعه موردی: ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سیسب، خراسان شمالی

نجمه خلیلی¹، امین علیزاده²، حجت رضایی پزند³، حسین انصاری⁴، بیژن قهرمان⁵، محمد کافی⁶، کامران داوری^{7*}

تاریخ دریافت: 1394/5/31 تاریخ پذیرش: 1395/10/20

چکیده

میان‌یابی داده‌های ناقص و اندازه‌گیری نشده بارش در یک ایستگاه، با استفاده از داده‌های معلوم در ایستگاه‌های مجاور امکان‌پذیر می‌باشد. روش سنتی وزن‌دهی معکوس فاصله و نیز روش زمین‌آمار کوریجینگ از مهم‌ترین روش‌های میان‌یابی برای این منظور می‌باشند. در این تحقیق به منظور میان‌یابی داده‌های ناقص بارش هفتگی در ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی و کشاورزی سیسب در استان خراسان شمالی، از روش‌های وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده، کوریجینگ معمولی و کوکوریجینگ استفاده شد. برای این منظور از داده‌های بارش به طول آماري سی سال (1358-1388) در 11 ایستگاه باران‌سنجی مجاور ایستگاه سیسب، استفاده گردید. نتایج آزمون تی - تست نشان داد که در سطح 5 درصد اختلاف معنی‌داری بین داده‌های واقعی و داده‌های برآورد شده در روش‌های مذکور وجود ندارد. برای ارزیابی میزان خطا و انتخاب بهترین روش، از آماره‌های ضریب تعیین، مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق، میانگین نسبت میانگین مجذور مربعات خطا به انحراف معیار، استفاده گردید. نتایج این تحقیق با توجه به آماره‌های خطا، نشان داد که اگر چه هر سه روش از دقت خوبی برخوردار بوده‌اند، اما روش کوکوریجینگ با در نظر گرفتن ارتفاع به عنوان متغیر کمکی، مقادیر بارش را با دقت بیش‌تری نسبت به دو روش دیگر برآورد کرده است. در این تحقیق، در تحلیل کوریجینگ، مناسب‌ترین نیمه‌واریوگرام از نوع کروی و دامنه تاثیر بین 15 تا 25 کیلومتر حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: بارش هفتگی، زمین‌آمار، سیسب، کوریجینگ

مقدمه 7 6 5 4 3 2 1

نمی‌باشد. بنابراین، ترمیم و بازسازی داده‌های اندازه‌گیری نشده در این ایستگاه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. روش‌هایی برای برآورد مقدار داده‌های مفقود بارش در یک ایستگاه به کمک نقاط مجاور که مقدار بارش آن‌ها اندازه‌گیری شده است، وجود دارد (Chang, 2004). به‌طور کلی، به برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط فاقد داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم، میان‌یابی می‌گویند (عساکره، 1387).

روش‌های میان‌یابی را می‌توان بر چند اساس به گروه‌های مختلفی تقسیم کرد. یکی از این طبقه‌بندی‌ها بر اساس تعداد نقاط مورد استفاده در میان‌یابی است که به دو گروه عمومی⁸ و محلی⁹ تقسیم می‌شوند. در میان‌یابی عمومی، تمامی نقاط معلوم، برای تخمین مقادیر نامعلوم بکار می‌روند. اما در روش محلی، برای برآورد نقاط نامعلوم، تنها از نمونه‌هایی از نقاط معلوم استفاده می‌شود. روش‌های میان‌یابی از نظر دقت، به دو گروه دقیق¹⁰ و غیر دقیق¹¹ تقسیم

یکی از نیازهای اولیه تمام تحقیقات مبتنی بر داده در زمینه هیدرولوژی، منابع آب و سایر علوم مشابه، دسترسی به آمار کافی و داده‌های دقیق هوا و اقلیمی و بخصوص بارش است. از طرفی در برخی از ایستگاه‌های هواشناسی یا باران‌سنجی بدلیل محدودیت‌های ناشی از زمان تاسیس ایستگاه یا محدودیت‌های موجود در زمان برداشت و ثبت داده، دسترسی به داده‌های کامل و دقیق امکان‌پذیر

- 1 - دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 2 - استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 3 - مربی گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد
 - 4 - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 5 - استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 6 - استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 7 - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- (*) - نویسنده مسئول: (Email: k.davary@um.ac.ir)

8 - Global
9 - Local
10 - Exact
11 - Inexact

نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ، تغییرات مکانی بارش در منطقه را با دقت بیش تری نشان می‌دهد. میثاقی و محمدی (1385)، به پهنه‌بندی اطلاعات بارش حوضه آبخیز مارون با استفاده از روش‌های سنتی، زمین آمار شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مذکور نشان دهنده برتری روش کوکریجینگ و کوکریجینگ بوده است. مرادی و همکاران (1386)، دو روش کوکریجینگ و معکوس فاصله با توان‌های 1 تا 3 را برای برآورد بارش روزانه در حوضه آبخیز کفه نمک سیرجان به کار بردند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش کوکریجینگ نسبت به روش معکوس فاصله ارجحیت دارد. تقفیان و همکاران (1390)، تغییرات بارش سالانه در استان فارس را با استفاده از کوکریجینگ و کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع، بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل گوسی کوکریجینگ و کوکریجینگ با دامنه تاثیر 200 کیلومتر، بهترین مدل برای میان‌یابی بارش سالانه در منطقه مورد مطالعه بوده است. همچنین نتایج نشان داد که متغیر کمکی ارتفاع، بهبودی در نتایج حاصل نکرده است.

فاطمی قیری و یزدان پناه (1391)، چند روش میان‌یابی مختلف را برای تهیه نقشه‌های هم‌بارش استان اصفهان آزمودند. مقایسه نتایج با استفاده از مجذور حداقل مربعات خطا نشان داد که از بین روش‌های به کار رفته، روش بارش-ارتفاع-طول جغرافیایی دارای کم‌ترین خطا و روش کوکریجینگ دارای بیش‌ترین خطا بوده است. با جمع‌بندی مطالب فوق می‌توان گفت که روش مناسب برای میان‌یابی و برآورد بارش، به عوامل منطقه‌ای تاثیرگذار بر آن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد.

یکی از مهم‌ترین ایستگاه‌های تحقیقات دیم در خراسان شمالی، ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیسب می‌باشد که جمع‌آوری داده‌های هواشناسی از جمله بارش در این ایستگاه کم‌تر از سی سال است که انجام می‌شود. از طرفی داده‌های مفقود بسیاری نیز در بین داده‌های ثبت شده وجود دارد. این امر انجام تحقیقات مختلف در این ایستگاه را با مشکل مواجه ساخته، به طوری که میان‌یابی داده‌های مفقود در این ایستگاه ضروری می‌باشد. از این‌رو در این تحقیق، از روش‌های میان‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده، کوکریجینگ معمولی و کوکریجینگ (با در نظر گرفتن ارتفاع به عنوان متغیر کمکی) برای برآورد مقادیر بارش در ایستگاه تحقیقات دیم سیسب استفاده شده و در نهایت کارایی و قابلیت این روش‌ها در این ایستگاه ارزیابی گردیده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و ویژگی‌های آب و هوایی

موقعیت مورد مطالعه در این تحقیق، ایستگاه تحقیقات دیم سیسب واقع در 35 کیلومتری شهر بجنورد در استان خراسان شمالی

می‌شوند. که در روش دقیق، مقادیر برآورد شده به مقادیر واقعی (اندازه‌گیری شده) نزدیک‌تر است. سومین تقسیم‌بندی این روش‌ها بر اساس قطعی¹ بودن یا احتمالی² بودن تخمین است. در روش قطعی، مقادیر تخمینی فاقد خطا و در روش احتمالی، حاوی خطا هستند (Sluiter., 2009). از رایج‌ترین روش‌های سنتی میان‌یابی، روش وزن‌دهی معکوس فاصله، اسپلین، تیسسن، رگرسیون و سطح روند است و یکی از پرکاربردترین روش‌های جدید میان‌یابی، روش زمین آماری کوکریجینگ می‌باشد.

تحقیقات متعددی در ارتباط با کاربرد روش‌های مختلف میان‌یابی در تخمین بارش انجام شده است. جایاواردن و همکاران بارش هفتگی در سریلانکا را با دو روش وزن‌دهی معکوس فاصله و کوکریجینگ میان‌یابی کرده و نتایج دو روش را با هم مقایسه کردند. این مقایسه نشان داد که هر دو روش در میان‌یابی مقادیر بارش هفتگی در آن منطقه موفق عمل کرده‌اند (Jayawardene et al., 2005). چنگ و همکاران شبکه باران‌سنجی را با روش‌های زمین-آماری ارزیابی کردند و با تحلیل واریوگرام به نتیجه رسیدند که بارش ساعتی از تغییرات مکانی بیش‌تری نسبت به بارش‌های سالانه برخوردار است (Cheng et al., 2008). میر و فارس روش‌های سنتی و جدید میان‌یابی شامل تیسسن، وزن‌دهی معکوس فاصله، رگرسیون خطی، کوکریجینگ و میانگین متحرک را برای برآورد بارش در نواحی کوهستانی جزیره هاوایی بکار بردند. نتایج نشان داد که روش تیسسن بیش‌ترین خطا و روش کوکریجینگ کم‌ترین خطا را در برآورد بارش در منطقه مذکور داشته‌اند (Mair and Fares., 2011). در تحقیقی دیگر، کاجورنریت و همکاران تعدادی از انواع مختلف کوکریجینگ را برای تخمین داده‌های مفقود بارش ماهانه در نواحی شمال غرب تایلند بکار بردند. روش کوکریجینگ در تحقیق آن‌ها موفق عمل نکرده است، زیرا منطقه مورد مطالعه جلگه پهناور و مسطحی بوده است، به طوری که بارش از همبستگی بسیار کمی با ارتفاع برخوردار بوده است (Kajornrit et al., 2011). بارگس و همکاران روش‌های مختلف میان‌یابی سنتی و زمین آماری را در مرکز برزیل برای میان‌یابی بارش بکار بردند. در تحقیق ایشان، روش‌های کوکریجینگ ساده، وزن‌دهی معکوس فاصله، میان‌یابی باقیمانده³ وزن‌دهی معکوس فاصله، و میان‌یابی باقیمانده کوکریجینگ ساده از خطای کم‌تر و همبستگی بیش‌تر با داده‌های واقعی برخوردار بوده‌اند (Barges et al., 2016).

در ایران، تقفیان و رحیمی بندرآبادی (1384)، توزیع مکانی بارش ماهانه و سالانه جنوب غربی ایران را با استفاده از روش‌های میان‌یابی کوکریجینگ، کوکریجینگ و میانگین متحرک وزنی بررسی کردند.

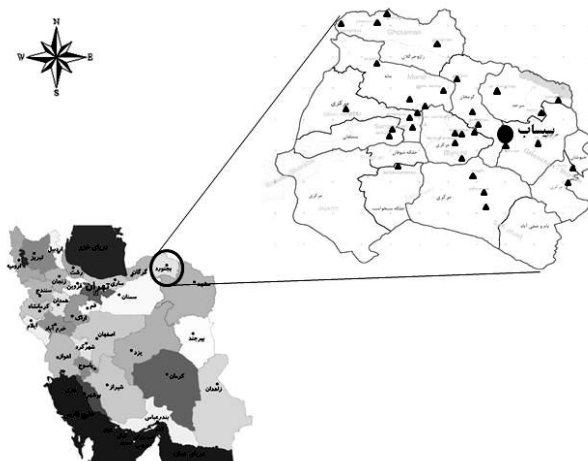
1 - Deterministic

2 - Stochastic

3 - Residual

است. میانگین بارندگی در این ایستگاه 250 میلی‌متر و میانگین دما 12 درجه سانتی‌گراد می‌باشد (www.irimet.net). جدول 1، توزیع دمای متوسط ماهانه و بارش ماهانه را به‌طور میانگین در این ایستگاه نشان می‌دهد.

می‌باشد. شکل 1 موقعیت ایستگاه سیسب را در خراسان شمالی نشان می‌دهد. مختصات جغرافیایی این ایستگاه، 37 درجه و 25 دقیقه عرض شمالی و 57 درجه و 38 دقیقه طول شرقی می‌باشد و در ارتفاع 1359 متری از سطح دریا واقع شده است. اقلیم این منطقه طبق روش آمبرژه، خشک و سرد و بر طبق روش دومارتن، نیمه‌خشک



شکل 1- موقعیت ایستگاه تحقیقات دیم سیسب و ایستگاه‌های باران‌سنجی در خراسان شمالی

جدول 1- مقادیر میانگین دمای ماهانه (سانتی‌گراد) و میانگین بارش (میلی‌متر) در ایستگاه سیسب

متغیر هواشناسی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
درجه حرارت	14/1	8/8	3/6	0/5	0/3	4/6	10/2	15/4	20/1	23/2	23/6	19/9
بارش	11/2	23/1	27/7	24/1	31/6	42/1	47/1	43/8	17/4	5/9	8/5	6

می‌دهد. از بین ایستگاه‌های موجود در استان، 11 ایستگاه هم‌جوار سیسب با طول دوره آماری سی سال (1358-1388)، برای میان‌یابی داده‌های اندازه‌گیری شده در سیسب انتخاب شدند. مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها در جدول 2 ارائه شده است.

اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی هم‌جوار

بر طبق آخرین اطلاعات ثبت شده از شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان شمالی و نیز شرکت مدیریت منابع آب (تماب)، در حال حاضر 34 ایستگاه باران‌سنجی در استان خراسان شمالی وجود دارند. شکل 1، موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی را در سطح استان نشان

جدول 2- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی هم‌جوار سیسب در استان خراسان شمالی

نام ایستگاه	سال تأسیس	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
آغمزار	1348	56-55-11	37-42-22	1650
بابا امان	1349	57-26-21	37-38-29	1019
بجنورد	1345	57-19-04	37-29-09	1087
بربر قلعه بجنورد	1346	57-23-41	37-29-55	1310
دربند سملقان	1349	56-59-04	37-37-35	695
درکش	1349	56-44-53	37-29-20	1076
رسالت	1350	56-46-32	37-32-10	842
سه یک آب	1348	57-55-42	37-27-10	680
شیرآباد	1348	56-56-09	37-32-14	955
علی محمد	1349	57-37-08	37-44-52	664
گرمخان	1349	57-28-17	37-31-32	946

درصد مطلق میانگین³ (MAPE) و مقایسه ضریب همبستگی (R) بین مقادیر بارش هفتگی واقعی و تخمینی برای سال‌های 1378 الی 1388 (سال‌های بدون نقص آمار) تعیین گردید. آماره تشخیصی MAPE، در واقع نشان‌دهنده دقت یک روش برای ایجاد مقادیر در یک سری زمانی است که با استفاده از رابطه 3 حساب می‌شود. نتایج مربوطه در جدول 3 آورده شده است.

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - S_i}{O_i} \right| \quad (3)$$

که در آن، O_i و S_i به ترتیب مقادیر بارش هفتگی واقعی و تخمینی و n مقدار متغیرها می‌باشد. هر چه مقدار MAPE کم‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بیش‌تر برآورد می‌باشد.

طبق جدول 3، حداقل خطای درصد مطلق میانگین (28/6)، در مقابل مقدار توان (k) برابر با 1/7 بدست آمد. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی (0/84)، نیز در همین حالت حاصل شد. بنابراین، در رابطه 2 مقدار $k=1/7$ در نظر گرفته شد و روش وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده (MIDW) با این توان اجرا گردید.

روش میان‌یابی کریجینگ

یکی دیگر از مهم‌ترین روش‌های میان‌یابی، کریجینگ است که مشابه روش وزن‌دهی معکوس فاصله، میان‌یابی داده‌ها را انجام می‌دهد. با این تفاوت که به جای فاصله مکانی، واریانس وابسته مکانی داده‌ها را بکار می‌برد. این روش نه تنها، داده‌های مفقود را برآورد می‌کند، بلکه کیفیت برآورد آن‌ها را نیز ارزیابی می‌کند.

روش کریجینگ، برای داده‌هایی که پراکنش نامنظم دارند، بکار می‌رود و روشی محلی، احتمالی، دقیق و با واریانس کمینه در یک نقطه به شمار می‌آید. این روش، برای میان‌یابی مکانی، ترکیب خطی مقادیر مشاهده شده اطراف را بکار می‌برد. در این روش برای هر یک از ایستگاه‌های درون و بیرون یک پهنه، بر حسب فاصله و موقعیت آن، وزن آماری مشخصی در نظر گرفته می‌شود، به گونه‌ای که واریانس تخمین کمینه شود (عساکره، 1387). در واقع، کریجینگ وزن‌ها را با کمینه کردن واریانس خطا و تنظیم سیستماتیک میانگین خطای برآورد به سمت صفر، بدست می‌آورد (Kajornrit et al., 2011).

در روش کریجینگ، عامل کلیدی، نیمه واریوگرام است. نیمه واریوگرام مدلی است که همبستگی مکانی نقاط را با رابطه 4 بیان می‌کند.

روش وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده

روش وزن‌دهی معکوس فاصله¹ (IDW)، که توسط لام (Lam., 1983) ارائه شد، یک روش صرفاً ریاضی و قطعی، محلی و دقیق است که بر اساس فاصله نقاط مشاهداتی و نقاطی که مورد میان‌یابی قرار می‌گیرند، استوار است (مهدیان و همکاران، 1380). میان‌یابی در روش وزن‌دهی معکوس فاصله با استفاده از رابطه 1 انجام می‌شود. برای جزئیات بیش‌تر روش به Diodato and Ceccarelli., 2005) قوبدل رحیمی و همکاران، (1394) مراجعه شود.

$$z_x = \frac{\sum_{i=1}^n z_i / D_{xi}^k}{\sum_{i=1}^n 1 / D_{xi}^k} \quad (1)$$

که در آن، z_x مقدار متغیر مجهول در نقطه مورد نظر x ، z_i مقدار متغیر مشاهده شده در نقطه مجاور i ، D_{xi} فاصله نقطه مجاور i تا نقطه مورد نظر x ، n تعداد نقاط مشاهده شده و k ، توان وزن‌دهی معکوس فاصله می‌باشد.

از آنجایی که ارتفاع نیز در برخی مناطق تاثیر مهمی در رخداد بارش دارد، لو (Lo., 1992) عامل ارتفاع را در روش وزن‌دهی معکوس فاصله دخالت داده و روش وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده² (MIDW) را ارائه نمود. در این تحقیق، روش وزن‌دهی فاصله معکوس اصلاح شده برای میان‌یابی بارش در ایستگاه سیسب انتخاب شد. میان‌یابی بارش هفتگی در ایستگاه سیسب با استفاده از رابطه 2 انجام شد.

$$z_x = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{D_{xi}}{|\Delta E_{xi}|} \right)^k z_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{D_{xi}}{|\Delta E_{xi}|} \right)^k} \quad (2)$$

که در آن، z_x مقدار بارش هفتگی در ایستگاه سیسب، z_i مقدار بارش هفتگی در ایستگاه مجاور i ، D_{xi} فاصله ایستگاه مجاور i تا ایستگاه سیسب، ΔE_{xi} اختلاف ارتفاع بین ایستگاه مجاور i و ایستگاه سیسب، n تعداد ایستگاه‌های مجاور و k ، توان وزن‌دهی معکوس فاصله می‌باشد.

اولین گام در روش وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده (MIDW)، انتخاب توان وزن‌دهی (k) مناسب در رابطه 2 می‌باشد. لو (Lo., 1992) در این روش مقادیر مختلفی از 1/5 تا 2 را پیشنهاد کرده است. در این تحقیق، مناسب‌ترین مقدار k ، بر اساس خطای

1 - Inverse Distance Weighting

2 - Modified Inverse Distance Weighting

جدول 3- خطای درصد مطلق میانگین و ضریب همبستگی بین بارش هفتگی واقعی و تخمینی در روش MIDW

ضریب همبستگی (R)	خطای درصد مطلق میانگین (MAPE)	پارامتر توان (k)
0/80	40/3	1/5
0/82	33/4	1/6
0/84	28/6	1/7
0/80	35/7	1/8
0/78	41/6	1/9
0/74	45/8	2

که در آن، $\gamma(h_{i,j})$ ، نیمه واریوگرام بین ایستگاه‌های معلوم i و j ، $\gamma(h_{i,x})$ ، نیمه واریوگرام بین ایستگاه i ام و ایستگاه سیسب می‌باشد، و λ ضریب لانگرائز برای به حداقل رساندن خطای برآورد محتمل، می‌باشد. لازم به ذکر است که $\sum_{i=1}^n w_i$ برابر با یک می‌باشد. بنابراین، برای برآورد بارش در ایستگاه سیسب بر اساس ایستگاه‌های مجاور 1 تا 11، می‌بایست مجموعه معادلات 7 را حل نمود.

$$w_1\gamma(h_{1,1}) + w_2\gamma(h_{1,2}) + w_3\gamma(h_{1,3}) + \dots + w_{11}\gamma(h_{1,11}) + \lambda = \gamma(h_{1,x}) \quad (7)$$

$$w_1\gamma(h_{2,1}) + w_2\gamma(h_{2,2}) + w_3\gamma(h_{2,3}) + \dots + w_{11}\gamma(h_{2,11}) + \lambda = \gamma(h_{2,x})$$

....

$$w_1\gamma(h_{11,1}) + w_2\gamma(h_{11,2}) + w_3\gamma(h_{11,3}) + \dots + w_{11}\gamma(h_{11,11}) + \lambda = \gamma(h_{11,x})$$

کوکریدجینگ، برای تخمین یک متغیر اولیه، تعداد یک یا بیش‌تر از متغیرهای ثانویه را که با متغیر اولیه مورد نظر همبستگی دارند، در نظر می‌گیرد. فرض می‌شود که همبستگی بین متغیرها باعث بهبود برآورد متغیر اولیه می‌شود. بطور مثال در تخمین بارش، کوکریدجینگ با در نظر گرفتن ارتفاع بسیار رایج است. به این علت که هوای مرطوب در ارتفاع بالاتر رخ می‌دهد. و هوای مرطوب باعث رسیدن به نقطه شبنم و رخداد بارش می‌شود. بر همین اساس در این تحقیق، متغیر ثانویه در روش کوکریدجینگ، ارتفاع ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد.

برای اجرای روش کوکریدجینگ در این تحقیق، از نرم‌افزار کامپیوتری GS^+ Geostatistic استفاده شد، ابتدا نیمه‌واریوگرام تجربی محاسبه و ترسیم گردید. سپس مدل‌های زمین‌آماری خطی، گوسی، کروی و نمایی بر آن برازش داده شد. شرط برازش مدل‌ها آن است که متغیر بارش توزیع نرمال داشته باشد. بنابراین، نیاز به آزمون بررسی نرمال بودن داده‌ها بود. بدین منظور آزمون نکویی برازش کلموگروف-اسمیرنوف⁵ برای سنجش نرمال بودن توزیع داده‌ها انجام شد و از آنجایی که توزیع آماری داده‌های بارش از توزیع نرمال تبعیت

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) + z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

که در آن، $\gamma(h)$ ، مقدار نیمه واریانس میانگین بین نقاط نمونه برداری شده است که به فاصله h از هم قرار دارند، n تعداد زوج نقاط نمونه برداری، z مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه x ، و $z(x_i+h)$ مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد، می‌باشند. به عبارت دیگر، نیمه واریوگرام رابطه بین فاصله دو نقطه و نیمه واریانس می‌باشد.

کریجینگ بر حسب ویژگی‌های ساختار مکانی، به انواع کریجینگ ساده¹ (با فرض معلوم بودن میانگین)، کریجینگ معمولی² (میانگین مجهول)، کریجینگ عام³ (در شرایط وجود روند)، و کوکریدجینگ⁴ تقسیم‌بندی می‌شود. در روش کریجینگ معمولی، با فرض غلبه مولفه همبستگی مکانی و بکارگیری مستقیم نیمه واریوگرام، مقدار بارش هفتگی در ایستگاه سیسب، طبق رابطه 5 می‌باشد.

$$z_x = \sum_{i=1}^n w_i z_i \quad (5)$$

که در آن، z_x ، مقدار بارش در یک هفته مورد نظر در ایستگاه سیسب، z_i مقدار بارش در همان هفته در ایستگاه مجاور، w_i وزن مرتبط با ایستگاه مجاور و n تعداد ایستگاه‌های مجاور، برابر با 11، می‌باشد. وزن‌ها از حل مجموعه‌ای از معادلات هم‌زمان و با حداقل کردن واریانس $\text{var}\{\sum w_i z(x_i, y_i) - z(x_x, y_x)\}$ بدست می‌آید (Cressie., 1993). شکل کلی معادلات برای محاسبه وزن‌ها، w_i بصورت رابطه 6 می‌باشد.

$$\sum_{i=1}^n w_i \gamma(h_{i,j}) + \lambda = \gamma(h_{i,x}), j = 1, \dots, n \quad (6)$$

- 1 - Simple Kriging
- 2 - Ordinary Kriging
- 3 - Universal Kriging
- 4 - Cokriging

گیری شده) در ایستگاه سیساب دارد.

روش میان‌یابی کریجینگ

جدول 4، نتایج برازش مدل‌های نیمه واریوگرام خطی، کروی، گوسی و نمایی را بر ساختار فضایی داده‌های بارش هفتگی، در هفته اول سال زراعی 85-86 (هفته اول فروردین) به عنوان نمونه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در هر دو مدل کریجینگ معمولی و کوکریجینگ، مدل کروی با ضرایب تعیین به ترتیب 0/81 و 0/83، بهترین الگوی برازش یافته بر نیمه واریوگرام داده‌های بارش هفته اول می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که دامنه تاثیر 18 کیلومتر و 20 کیلومتر، از بیش‌ترین ضریب تعیین و کم‌ترین مقادیر مجموع مربعات باقیمانده برخوردارند. نتایج برای سایر هفته‌ها نیز در مجموع نشان داد که بهترین برازش بر نیمه واریوگرام‌ها در شعاع تاثیر بین 15 تا 25 کیلومتر حاصل شده است. روی هم‌رفته، متوسط شعاع تاثیر بارندگی در منطقه مورد مطالعه حدود 30/4 کیلومتر است که بین 8 تا 65 کیلومتر متغیر است. بنابراین حداکثر فاصله ایستگاه‌های باران-سنجی برای میان‌یابی بارندگی‌های روزانه و هفتگی در این منطقه نباید بیش از 65 کیلومتر باشد. مقایسه نتایج بدست آمده از روش کریجینگ معمولی و کوکریجینگ نشان می‌دهد که استفاده از متغیر ارتفاع به عنوان متغیر کمکی در روش کوکریجینگ، نتایج را کمی بهبود بخشیده و باعث دقت بیش‌تر تخمین شده است. این امر نشان دهنده همبستگی جزئی بین بارش و ارتفاع در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

همبستگی خطی بین مقادیر واقعی بارش و مقادیر برآورد شده توسط روش کریجینگ معمولی و کوکریجینگ در شکل 3 نشان داده شده است. مقدار ضریب تعیین R^2 در روش کریجینگ معمولی معادل با 0/77، و در روش کوکریجینگ، 0/86 بدست آمد که نشان می‌دهد هر دو روش کوکریجینگ کارایی خوبی در میان‌یابی داده‌های بارش داشته‌اند. اما روش کوکریجینگ در برآورد مقادیر بارش هفتگی در سیساب کمی موفق‌تر از روش کریجینگ معمولی عمل کرده است. به طوری که در نظر گرفتن ارتفاع به عنوان متغیر ثانویه و استفاده از همبستگی متقابل بین متغیرهای اصلی (بارش) و ثانویه (ارتفاع)، همبستگی بین داده‌های برآورد شده بارش و داده‌های واقعی را 5% افزایش داده است.

مقایسه داده‌های میان‌یابی شده و واقعی در هر کدام از روش‌ها

برای بررسی این که داده‌های میان‌یابی شده بارش در هر روش با داده‌های واقعی تفاوت معنی‌داری دارند یا خیر، از آزمون تی-تست جفت شده⁸ استفاده گردید. در این حالت آزمون صفر

نمی‌کرد، با استفاده از روش تبدیل لوگ نرمال، توزیع داده‌های بارش به نرمال تبدیل گردید. سپس مدل‌های گوناگون چون خطی، گوسی، کروی و نمایی بر نیمه واریوگرام برازش داده شد. و نتایج با استفاده از آماره‌های تشخیصی ضریب همبستگی (R) و مجموع مربعات باقیمانده¹ (RSS)، مورد ارزیابی قرار گرفت و مناسب‌ترین مدل برازش داده شده، انتخاب گردید.

برای اعتبارسنجی روش‌های کریجینگ بکار رفته، از روش اعتبارسنجی متوالی² استفاده شد. در روش اعتبارسنجی متوالی، یک داده (نقطه) معلوم از سری داده‌ها حذف می‌شود. سایر نقاط باقیمانده برای برآورد نقطه حذف شده به کار می‌روند و سپس خطای برآورد محاسبه می‌شود. و مراحل فوق برای تمامی نقاط معلوم تکرار می‌شوند.

در نهایت، برای مقایسه روش‌های میان‌یابی کریجینگ بکار رفته و نیز روش وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده و انتخاب بهترین روش، از آماره‌های تشخیصی رایج برای ارزیابی دقت مدل‌ها مانند ضریب تعیین³ (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا⁴ (RMSE) (Fox., 1981)، میانگین خطای مطلق⁵ (MAE) (Willmott and Matsuura., 2005)، میانگین خطای اریب⁶ (MBE) و نیز شاخص نسبت میانگین مجذور مربعات خطا به انحراف معیار⁷ (RSR)، (Singh et al., 2004) استفاده شد. برای این منظور داده‌های بارش هفتگی در ده سال بدون نقص آمار (1378 الی 1388) با داده‌های تخمین زده شده توسط هر دو روش و با معیارهای گفته شده، مقایسه گردیدند.

نتایج و بحث

روش میان‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده

شکل 2، همبستگی خطی بین مقادیر بارش تخمینی با روش MIDW و مقادیر بارش واقعی را در ده سال (1378 - 1388) نشان می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی R معادل با 0/83 بدست آمد. ضریب تعیین R^2 نشان می‌دهد که چند درصد از واریانس مشاهدات توسط مدل‌های شبیه‌سازی تبیین می‌شود و هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، نشانه دقت بیش‌تر مدل خواهد بود. بنابراین ضریب تعیین R^2 معادل با 0/70، نشان می‌دهد که مقادیر برآورد شده بارش با استفاده از این روش، همبستگی نسبتاً خوبی با مقادیر واقعی (اندازه -

1 - Residual Square Summation

2 - Cross Validation

3 - Coefficient of Determination

4 - Root Mean Square Error

5 - Mean Absolute Error

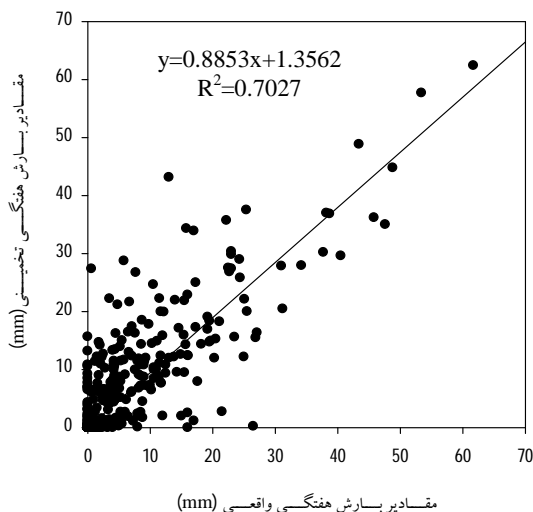
6 - Mean Bias Error

7 - RMSE-Observations Standard Deviation Ratio

8 - Paired Sample T Test

زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ در سطح معناداری 5% وجود ندارد. ولی این روش‌ها نسبت به یکدیگر برتری نسبی دارند که برای تعیین آن از آماره‌های خطا استفاده گردید.

به کار رفت. برای جزییات از تئوری آزمون مذکور به (Bower., 2000) مراجعه شود. نتایج بدست آمده از آزمون تی-تست نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین داده‌های واقعی و داده‌های بدست آمده از سه روش وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده و روش‌های



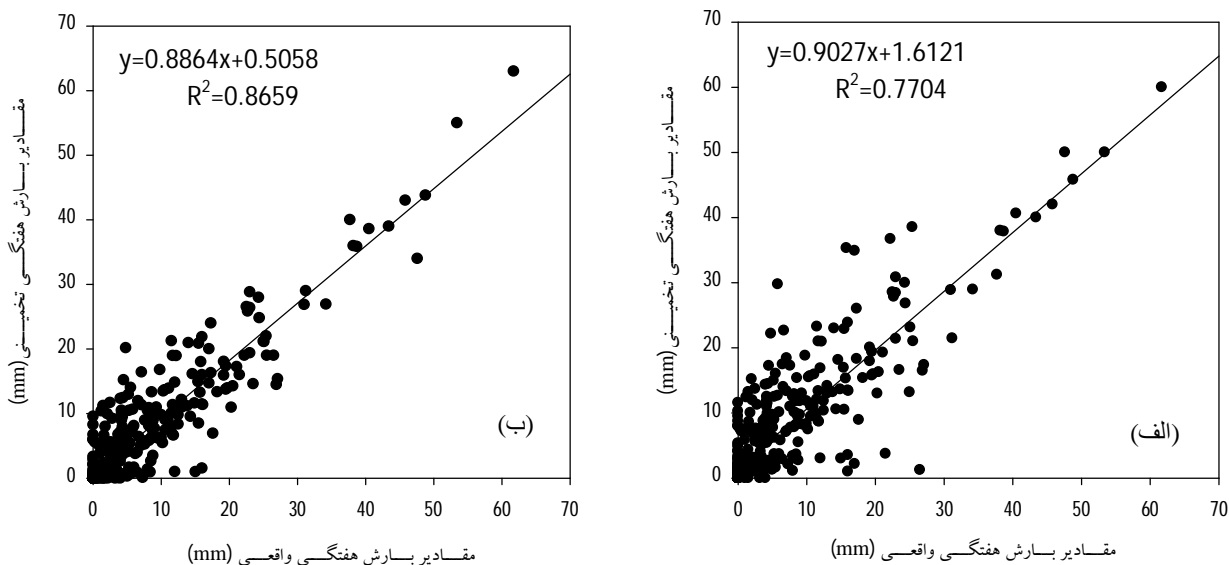
شکل 2- همبستگی مقادیر بارش هفتگی واقعی و تخمینی با روش MIDW (k=1/7)، در ایستگاه سیسپاب، در دوره آماری 1378-1388

جدول 4- نتایج برازش نیمه واریوگرام‌های مختلف بر داده‌های بارش 86/1/1 الی 86/1/7

اعتبارسنجی متوالی ¹		نیمه واریوگرام				روش میان‌یابی
RSS	R ²	دامنه تاثیر	آستانه	اثر قطعه‌ای	R ²	
0/459	0/79	43078	2/199	0/428	0/72	کریجینگ معمولی
0/089	0/89	18567	3/133	0/362	0/81	
0/112	0/78	60210	1/089	0/560	0/77	
0/650	0/67	28600	0/760	0/610	0/59	
0/076	0/81	18650	2/540	0/544	0/79	کوکریجینگ
0/023	0/90	20756	5/067	0/413	0/83	
0/087	0/82	12345	1/796	0/677	0/78	
0/214	0/75	52330	0/982	0/784	0/63	

جدول 5- مقایسه آماری روش‌های میان‌یابی بارش در ایستگاه سیسپاب

آماره ارزیابی					روش میان‌یابی
RSR	MBE	MAE	RMSE	R ²	
0/592	0/755	2/947	5/385	0/70	وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده
0/516	1/099	2/713	4/691	0/77	کریجینگ معمولی
0/367	-0/090	1/828	3/333	0/86	کوکریجینگ



شکل 3- همبستگی مقادیر بارش هفتگی واقعی و تخمینی با روش‌های (الف) کریجینگ معمولی و (ب) کوکریجینگ

همان‌طور که مشخص است، مقدار RMSE و MAE در روش کوکریجینگ از همه روش‌ها کم‌تر و به صفر نزدیک‌تر است. که نشان‌دهنده دقت بیشتر این روش در مقایسه با روش کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده می‌باشد. همین ترتیب در مورد شاخص MBA نیز صادق است. با این توضیح که روش وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده و کریجینگ معمولی مقادیر بارش هفتگی را بطور میانگین بیش‌برآورد کرده‌اند، در حالی که روش کوکریجینگ مقادیر را کم‌برآورد کرده است و میانگین خطای اریب، منفی بدست آمده است. مقدار RSR نیز هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر دقت بیشتر برآورد می‌باشد. طبق جدول 5، شاخص RSR در روش کوکریجینگ به نسبت روش وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده، 38% و نسبت به روش کریجینگ 29% کاهش داشته است. بطور کلی، این نتایج نشان می‌دهد که روش‌های کریجینگ بهتر از روش وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده بارش هفتگی را برآورد کرده‌اند و در بین روش‌های کریجینگ، روش کوکریجینگ کمی موفق‌تر از کریجینگ معمولی عمل کرده است. نتایج بدست آمده در این تحقیق با برخی از تحقیقات قبلی مانند (ثقفیان و رحیمی بندرآبادی، 1384؛ میثاقی و محمدی، 1385؛ مرادی و همکاران، 1386؛ Gan et al., 2010; Haberlandt., 2007; Wagner et al., 2012) هم‌سو می‌باشد که در آن‌ها روش‌های زمین‌آماري کریجینگ کارایی بهتری از روش‌های سنتی مثل وزن-دهی معکوس فاصله داشته است. اما در مورد عملکرد بهتر کوکریجینگ نسبت به کریجینگ ساده، باید توجه داشت که ایستگاه

ارزیابی روش‌های میان‌یابی بارش و انتخاب بهترین روش
 برای ارزیابی دقت برآورد داده‌های مفقود با روش‌های میان‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده و نیز روش‌های کریجینگ، علاوه بر ضریب تعیین R^2 و نیز آزمون تی-تست جفت شده، از آماره-های میانگین مجذور مربعات خطا RMSE، خطای مطلق میانگین¹ (MAE) و معیار شاخص خطای $(RSR)^2$ نیز استفاده شد. شاخص مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به این دلیل انتخاب گردید که آماره بسیار رایجی در ارزیابی مدل‌ها و روش‌های مورد استفاده در تحقیقات آب و هوایی و کشاورزی می‌باشد. اما RMSE خود تابع سه سری خطا شامل توزیع اندازه‌های مقادیر خطا (یا مربعات خطا)، مجذور مربعات تعداد خطاها $(n^{1/2})$ و همچنین مقدار میانگین خطا (MAE) می‌باشد. در نتیجه RMSE به تنهایی خطای میانگین را نشان نمی‌دهد. در حالی که میانگین مطلق خطا (MAE) اندازه طبیعی‌تر و واقعی‌تری از خطای میانگین را نشان می‌دهد (Willmott and Matsuura., 2005). میانگین باپاس خطا (MBA) نیز بیش-برآورد یا کم‌برآورد میانگین را نشان می‌دهد. بطور ریاضی مقادیر این سه شاخص به صورت $MAE \leq RMSE \leq MBA$ بایستی باشند. شاخص RSR نیز RMSE را با استفاده از انحراف معیار مشاهدات، استاندارد می‌کند. بدین ترتیب مزایای یک شاخص آماره خطا و یک عامل نرمال‌سازی-مقیاس‌دهی را یک جا دارا می‌باشد. نتایج این آماره‌ها در مقایسه سه روش میان‌یابی، در جدول 5 آورده شده است.

1 - Mean Absolute Error

2 -RMSE-Observations Standard Deviation Ratio

موردی: میان‌یابی بارش 1376/12/26 در ایران زمین. جغرافیا و توسعه، 12: 42-25.

تقیان، ب و رحیمی بندرآبادی، س. 1384. مقایسه روش‌های درون-یابی و برون‌یابی برای برآورد توزیع مکانی مقدار بارندگی سالانه. تحقیقات منابع آب ایران، 2: 84-74.

مرادی، ع.ر.، آبکار، ع.، محمدی، ص و شهسوار، م. 1386. مقایسه چند روش زمین‌آماري در برآورد مقدار متوسط بارندگی روزانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک. مجموعه مقالات دومین همایش ملی کشاورزی بوم‌شناختی ایران، 26-25 مهر ماه، گرگان.

میثاقی، ف و محمدی، ک. 1385. پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین‌آمار و مقایسه با شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجله علمی کشاورزی. 29: 4: 14-1.

فاطمی قیری، س و یزدان‌پناه، ح. 1391. ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی به منظور برآورد داده‌های بارش استان اصفهان. فضای جغرافیایی، 30: 63-36.

مه‌دیان، م.ح.، متین، م.، غیائی، ن.ق.، مختاری، ا و اخباری، ت. 1380. بررسی روش‌های میان‌یابی برای تعیین حداقل خطای تخمین مطالعه موردی: درجه حرارت و تبخیر. تحقیقات مهندسی کشاورزی. 2: 8: 78-63.

قوبدل رحیمی، ی، عالی جهان، م و اوچی، ر. 1394. بررسی مدل‌های جبری و زمین‌آماري در پهنه‌بندی بارش استان اردبیل. فضای جغرافیایی، 50: 231-209.

تقیان، ب، رزم‌خواه، ه و قرمز چشمه، ب. 1390. بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: استان فارس). مهندسی منابع آب، 4: 38-29.

Bower, K.M. 2000. The Paired T-Test Using MINITAB. Scientific Computing and Instrumentation.

Chang, K.T. 2004. Introduction to Geographic Information System. 2nd edition. McGraw Hill. New Yourk, U.S.A.

Cheng, K., Lin, S.h and Liou, J.J. 2008. Rain-gauge Network Evaluation and Augmentation using Geostatistics. Hydrological Processes. 22: 2554-2564.

Cressie, N.O.A. 1993. Statistics for Spatial Data. Second Revised Edition. New York: John Wiley and Sons, U.S.A.

Diodato, N., Ceccarelli, M. 2005 Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation mean in the Sannio Mountains (southern Italy). Earth Surf Proc

مورد مطالعه در این تحقیق در منطقه کوهستانی واقع شده که از لحاظ توپوگرافی عامل ارتفاع در بارش دخیل بوده است و به همین دلیل نتایج روش کوکریجینگ بهتر از روش کریجینگ بوده است. اما در مناطق مسطح که بارش از همبستگی کمی با ارتفاع برخوردار است، روش کوکریجینگ موفق عمل نخواهد کرد. مانند آنچه که در تحقیق (Kajornrit et al., 2011)، گزارش شده است. منطقه مورد مطالعه ایشان جلگه‌ای هموار و مسطح در تایلند بوده است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی در ایستگاه تحقیقات دیم سیساب وجود داده‌های ناقص و اندازه‌گیری شده، محدودیت جدی در انجام تحقیقات مختلف در این ایستگاه را سبب شده است. از طرف دیگر در این زمینه مطالعه‌ای تاکنون در ایستگاه مذکور صورت نگرفته است، بنابراین یافتن بهترین روش میان‌یابی داده‌های اندازه‌گیری نشده با استفاده از ایستگاه‌های مجاور و اجرای آن روش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است.

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که توان مناسب برای روش وزن‌دهی معکوس فاصله در برآورد بارش در ایستگاه سیساب، توان 1/7 می‌باشد. نتایج آزمون تی-تست نشان داد که در سطح معناداری 5% اختلاف معنی‌داری بین داده‌های واقعی و داده‌های میان‌یابی شده از هر سه روش وجود ندارد. روی هم‌رفته، با توجه به آماره‌های خطا، نتایج حاکی از آن است که روش مناسب‌تر برای برآورد بارش هفتگی در ایستگاه تحقیقات دیم سیساب، روش کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع است. هر چند روش کوکریجینگ به مقدار کمی مقادیر بارش را کم‌برآورد کرده است، اما این روش با R^2 , RMSE, MAE و RSR به ترتیب 0/86, 3/333, 1/828 و 0/367، به روش‌های کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده برتری دارد. در تحلیل کریجینگ، مناسب‌ترین برازش بر نیمه‌واریوگرام از نوع کروی و با دامنه تاثیر بین 15 تا 25 کیلومتر حاصل شده است.

تشکر و قدردانی

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از مرکز مطالعات منابع آب وزارت نیرو (تماب)، سازمان آب منطقه‌ای، سازمان هواشناسی و ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیساب که اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق را در اختیار آن‌ها نهاده‌اند، سپاس‌گزاری نمایند.

منابع

عساکره، ح. 1387. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش، مطالعه

- LO,S.S. 1992. Glossary of Hydrology, Water Resources Publications, PP 1794.
- Mair,A and Fares,A. 2011. Comparison of Rainfall Interpolation Methods in a Mountainous Region of Tropical Island. *Journal of Hydrologic Engineering (ASCE)*. 16.4: 371-383.
- Singh,J., Knapp,H.V and Demissie,M. 2004. Hydrologic Modeling of the Iroquois River Watershed using HSPF and SWAT. ISWS CR 2004-08. Champaign, Ill.: Illinois State Water Survey. Available at: www.sws.uiuc.edu/pubdoc/CR/ISWSCR2004-08.pdf. Accessed 8 September 2005.
- Sluiter,R. 2009. Interpolation Methods for Climate Data, Literature Review. KNMI Internal Report. De Bilt, Netherlands. PP 28.
- Wagner,P.D., Fiener,P., Wilken,F., Kumar,S., Schneider,K. 2012. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. *Journal of Hydrology* 464:388-400.
- Willmott,C.J and Matsuura,K. 2005. Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) In Assessing Average Model Performance. *Climate Research*. 39: 79-82.
- Landforms 30: 259-268
- Fox,D.G. 1981. Judging air quality model performance: a summary of the AMS workshop on dispersion models performance, *Bulletin of American Meteorological Society*, 62, pp. 599-609.
- Gan,M., Kousky,V., Ropelewski,C. 2004. The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over westcentral Brazil. *Journal of Climate*. 17:47-66.
- Haberlandt,U. 2007, Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event. *Journal of Hydrology*. 332: 144-157.
- <http://www.irimet.net>
- Jayawardene,H.K., Sonnadara,D.U.J and Jayawardene,D.R. 2005. Spatial Interpolation of Weekly Rainfall Depth in the Dry Zone of Sri Lanka. *Climate Research*. 29:223-231.
- Kajornrit,J., wong,K.W and Fung,C.C. 2011. Estimation of Missing Rainfall Data in Northeast Region of Thailand using Kriging Methods: A Comparison Study In: *International Workshop on Bio-Inspired Computing for Intelligent, Environments and Logistic Systems*, March, Canberra, Australia.
- Lam,N.S. 1983. Spatial Interpolation Methods Review. *The American Cartographer*. 10: 129-149.

Interpolation of Rainfall Data using Classical and Geostatistical Methods, Case Study: Sisab Station, Northern Khorasan

N. Khalili¹, A. Alizadeh², H. Rezaee Pazhand³, H. Ansari⁴, B. Ghahraman⁵, M. Kafi⁶, K. Davary^{7*}

Received: Aug.22, 2015

Accepted: Jan.09, 2017

Abstract

It is possible to interpolate rainfall missing data in one synoptic station, using recorded data in the adjacent stations. Inverse Distance Weighting and Kriging methods are the most common geostatistical methods which address this problem. In this paper, we have used modified inverse distance weighting, Ordinary Kriging, and Co-Kriging methods to interpolate weekly rainfall missing data in Sisab station in Northern Khorasan. For this purpose, we have used recorded rain fall data over the last thirty years in 11 adjacent stations. Paired Sample T-Test results show there is no significant difference in the significant level 5% between interpolated and actual data through all three used interpolation methods. Paired Sample T-Test results show in the To evaluate the estimation error, and hence, the best interpolation method, statistic indices such as coefficient of determination, root mean square error, mean absolute error, mean bias error and RMSE-observations standard deviation ratio are used. This comparison study shows that although all three methods are capable to interpolate the missing data, but Co-Kriging method has more accurate performance incorporating the altitude data of the stations. In this paper, the best fitted semi variance has been achieved by spherical model and 15 to 25 km range through Kriging methods.

Key words: Geostatistical, Kriging, Sisab, Weekly rainfall.

1- Ph.D Student of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- Lecturer, Civil Department, Faculty of Engineering, Azad University of Mashhad
4- Associate Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
5- Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
6- Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
7- Associate Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(* - Corresponding Author Email: k.davary@um.ac.ir)