

Increasing the Accuracy of Geostatistical Assessments Involving Extrapolation and Zonal Classification Techniques for Spatial Analysis of Daily Rainfall in Karoon Basin, Iran

FATEMEH KARANDISH¹, KUMARS EBRAHIMI^{2*}, JAHANGIR PORHEMMAT³

1. Associate Professor, Water Engineering Department, University of Zabol, Zabol, Iran

2. Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3. Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research, Tehran, Iran

(Received: May. 30, 2018- Revised: Oct. 14, 2018- Accepted: Oct. 15, 2018)

ABSTRACT

In this paper with analyzing various geostatistical methods in three different scenarios, the influence of zonal classification and rainfall extrapolation on increasing accuracy of the proposed methods for daily rainfall in Karun basin has been analyzed. In the first scenario, only various geostatistical methods including weighting moving average, Kriging, Co-Kriging and TPSS were analyzed. In the second scenario, the study area was divided into homogeneous regions based on cluster method and the accuracy of the selected models were analyzed within each region. In the third scenario, some hypothetical stations were considered in elevation points without real observations, and then, the accuracy of geostatistical method with considering extrapolation technique was analyzed. Analyzing the related Variogram well demonstrated a geometric anisotropy, while this problem was solved up when an all-round variogram was applied. In the first scenario, the mean absolute errors and the mean bias errors were varied in the range of 14.7-36 mm and -1.5-4.5 mm, respectively. In this scenario, the Co-kriging method had the lowest estimation error due to the positive effect of the considered auxiliary variable on increasing variogram "range of influence". Although, the interpolation of daily rainfall data, after zonal classification, had no positive impact on decreasing of estimation error, but the weighting moving average and TPSS methods with the powers of 3-5 were the Exceptions. In addition, the estimation accuracy increased up to 16%, and the estimation bias reduced up to 10%, when precipitation was extrapolated in elevations with no rain gauges. Under this scenario, the maximum threshold of error variance reduced by 45% (from 7.8 mm to 4.8 mm). Based on the results, integrating extrapolation into the Co-Kriging method with considering elevation as an auxiliary variable results the best estimation when assessing the spatial variation of daily rainfall.

Key words: Daily rainfall, Karun Basin, Kriging and Co-Kriging, Geometric Anisotropy, Semi-variogram.

افزایش دقت تحلیل‌های زمین‌آماری با کاربرد روش‌های برون‌یابی و همگن‌بندی در بارش روزانه‌ی حوضه کارون

فاطمه کاراندیش^۱، کیومرث ابراهیمی^{۲*}، جهانگیر پرهمت^۳

۱. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲.* استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی،

دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. دانشیار پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۷/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۲۳)

چکیده

در این مقاله با ارزیابی روش‌های مختلف زمین‌آماری در سه سناریوی مختلف به ارزیابی تأثیر تکنیک‌های همگن‌بندی مناطق و برون‌یابی بر دقت این روش‌ها در تحلیل داده‌های بارش در مقیاس روزانه و در حوضه‌ی آبریز کارون پرداخته شده است. در سناریوی اول، تنها روش‌های زمین‌آماری شامل میانگین متحرک وزنی، کریجینگ، کوکریجینگ و TPSS و در سناریوی دوم محدوده‌ی پژوهش براساس روش خوشه‌بندی به نواحی همگن تقسیم و دقت روش‌های منتخب در هر یک از آنها ارزیابی شد. در سناریوی سوم با لحاظ ایستگاه‌های فرضی در ارتفاعات فاقد داده‌های مشاهده‌ای تأثیر برون‌یابی در افزایش دقت روش‌های زمین‌آماری بررسی شد. تحلیل واریوگرام‌های مربوطه وجود ناهمسانگردی را به اثبات رساند، ضمن اینکه واریوگرام همه‌جانبه، این ناهمسانگردی را مرتفع نمود. در سناریوی اول، مقادیر میانگین خطای مطلق و خطای انحراف، به ترتیب در محدوده‌های ۱۴/۷-۳۶ میلی‌متر و ۱/۵-۴/۵ میلی‌متر به دست آمد. در این سناریو روش کوکریجینگ، به دلیل تأثیر مثبت لحاظ متغیر کمکی در افزایش شعاع تأثیر، کم‌ترین خطای تخمین را نشان داد. اما درون‌یابی بارش روزانه پس از همگن‌بندی تأثیر مثبتی در کاهش خطای تخمین نداشت. اگرچه روش‌های میانگین متحرک وزنی با توان‌های ۳ تا ۵ و TPSS با توان‌های ۳ تا ۵ استثناء بودند. ضمناً تخمین بارش در ارتفاعات فاقد ایستگاه‌های باران‌سنجی دقت روش‌های زمین‌آماری را تا ۱۶ درصد افزایش و خطای تخمین را تا ۱۰٪ درصد کاهش داد. تحت این سناریو حد آستانه‌ی حداکثر واریانس خطا با ۴۵٪ کاهش از ۷/۸ به ۴/۸ میلی‌متر رسید. براساس نتایج، ترکیب تکنیک برون‌یابی با روش کوکریجینگ با لحاظ ارتفاع به عنوان متغیر کمکی، بهترین تخمین را در برآورد توزیع مکانی بارش روزانه به همراه دارد.

واژه‌های کلیدی: کریجینگ و کوکریجینگ، ناهمسانگردی هندسی، نیم‌تغییرنما

مقدمه

(Saghafian and Rahimi-BondarAbadi, 2008). این موضوع

در مناطق کوهستانی که شرایط توپوگرافی ریزاقلیم‌های متفاوتی را ایجاد می‌نماید، حائز اهمیت بیش‌تری می‌باشد. لذا برآورد توزیع مکانی بارش به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی امری اجتناب‌ناپذیر است (Mahdian, 2002; Johnson and Hanson, 1995).

از میان روش‌های مختلفی که در تحلیل‌های مکانی استفاده می‌شود، روش‌های زمین‌آماری به دلیل لحاظ همبستگی و ساختار مکانی متغیرهای ورودی در تحلیل‌های درون‌یابی از اهمیت بیش‌تری برخوردار بوده و اغلب در تحلیل طیف وسیعی از متغیرهای مکانی، همچون پارامترهای هیدرولوژیکی، اقلیمی، ژئومورفولوژیکی و دیگر پارامترها مورد استفاده قرار گرفته است (Kavian et al., 2017; Ganjalikhani et al., 2016; Sarmadin and Taghizadeh Mehrjerdi, 2010;

توزیع مکانی بارش یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد نیاز مدل‌های بارش-رواناب و در نتیجه محاسبات بیلان آبی می‌باشد. استفاده از داده‌های بارش نقطه‌ای در ایستگاه‌های باران‌سنجی به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی می‌تواند خطای بسیاری را در پیش‌بینی پارامترهایی نظیر سیلاب، سطح آب زیرزمینی و رطوبت خاک ایجاد نموده (Karandish et al., 2016; Moulin et al., 2009) و برنامه‌ریزی‌های منابع آب را با اشکال مواجه نماید. اهمیت داده‌های بارش با قدرت تفکیک‌پذیری زمانی و مکانی بالا در درک پیچیدگی‌های دینامیک فرآیندهای هیدرولوژیکی و توصیف دقیق آنها اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد

کریجینگ ساده مناسب‌ترین روش معرفی شد (Mirmousavi et al., 2010). این در حالی است که در تحقیقی دیگر، روش TPSS با متغیر کمکی ارتفاع مناسب‌ترین روش برای تخمین بارندگی سالانه بیان شده و روش کریجینگ، در رتبه دوم قرار گرفت (Mahdavi et al., 2004).

مروری بر پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که اگرچه تاکنون، پهنه‌بندی بارش سالیانه و ماهانه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در مطالعات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است، اما بارندگی روزانه کمتر مورد توجه بوده است. این در حالی است که از یک طرف، مقادیر بارش روزانه نقش مهمی در مدل‌های منابع آب و کشاورزی داشته (Ly and Degre, 2011) و از طرف دیگر الگوی ریزش آن متفاوت از بارش سالانه و ماهانه می‌باشد (Johnson and Hanson, 1995). همچنین تحلیل مکانی بارش روزانه به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی بسیار، دشوارتر می‌باشد (Carrera-Hernández and Gaskin, 2007). این مساله، به ویژه در نواحی کوهستانی که در آن، اغلب ایستگاه‌های باران‌سنجی در ارتفاع‌های پایین واقع شده‌اند، اهمیت بیش‌تری دارد.

در نواحی کوهستانی، فقدان ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاعات، چالشی اساسی پیش روی روش‌های درون‌یابی، همچون روش‌های زمین‌آمار قرار داده و استفاده از نتایج آن‌ها را با محدودیت‌ها و عدم قطعیت‌های زیادی مواجه می‌سازد. به همین دلیل، استفاده از تکنیک‌های نوین با هدف رفع این قبیل چالش‌ها می‌تواند راهکار مؤثری در کاهش خطای تخمین در این نواحی محسوب شود. در مقاله حاضر، ضمن تحلیل مکانی بارش روزانه در حوضه آبریز کارون، به تحلیل برخی سناریوهای مدیریتی، شامل درون‌یابی و همگن‌بندی منطقه‌ای با هدف افزایش دقت روش‌های درون‌یابی پرداخته شد.

علی‌رغم اینکه حوضه آبریز کارون در محدوده‌ی ارتفاعی ۶۹۳ تا ۴۴۱۵ متر قرار گرفته است، لکن ایستگاه‌های باران‌سنجی احداث شده تنها تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر قرار دارند. این در حالی است که بخش زیادی از منابع آبی این استان، به صورت برف‌انباشته در ارتفاعات بالاتر از این حد ذخیره شده است. این مساله، اهمیت انتخاب محدوده‌ی مذکور در تحلیل سناریوهای مدیریتی پیشنهادی در این پژوهش را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

محدوده‌ی مطالعه و داده‌های مورد نیاز

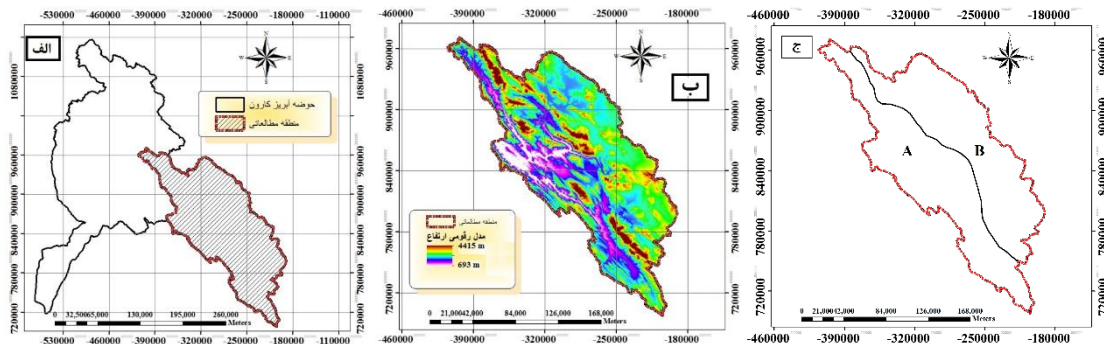
محدوده‌ی پژوهش، بخش وسیعی از حوضه آبریز کارون، واقع در محدوده‌ی جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۳ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۵۱

(Karandish et al., 2017; Darzi-Naftchali et al., 2017). از جمله پارامترهایی که بیش‌ترین توجه محققان را در تحلیل‌های زمین‌آمار به خود معطوف ساخته است، مقادیر تجمعی بارش در بازه‌های زمانی مختلف می‌باشد. طی تحقیقی، توزیع مکانی و زمانی بارش با استفاده از روش‌های پلیگون تیسن و برخی روش‌های زمین‌آمار بررسی شده و نتایج نشان داد که روش کریجینگ از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بوده است (Buytaert et al., 2006). در پژوهشی دیگر نیز روش کریجینگ روشی کارا در پهنه‌بندی بارش در هند معرفی شد (Basistha et al., 2008). در برخی مطالعات استفاده از متغیر کمکی ارتفاع در پهنه‌بندی بارش ماهانه و سالانه مفید معرفی شده است

(Goovaerts, 2000; Lloyd, 2005). در پژوهشی دیگر، دقت نقشه‌های بارندگی و درجه حرارت با روش مدل‌های مختلف رگرسیون، تیسن، اسپلاین، سطوح رنددار، عکس وزنی فاصله، و روش‌های زمین‌آمار کریجینگ معمولی، کریجینگ بلوکی، کریجینگ عمومی و کوکریجینگ بررسی شد (Vicent-Serrano et al., 2003). مطابق با نتایج این تحقیق مشخص شد که برای تحلیل مکانی بارندگی، روش‌های زمین‌آمار و مدل رگرسیون چهار متغیره و برای درجه حرارت، رگرسیون معمولی بهترین نتایج را ارائه می‌دهد. طی پژوهشی به منظور دست‌یابی به پیوستگی مکانی بارندگی از نقاط اندازه‌گیری شده در ترکیب با زمان‌های مختلف از روش‌های میان‌یابی تیسن، عکس مجذور فاصله و کریجینگ برای منطقه‌ای در ایسلند با ۱۳ ایستگاه باران‌سنجی استفاده شده و نتیجه نشان داد با وجود محاسبات دشوار روش کریجینگ، اختلاف معنی‌داری بین نتایج این روش و روش‌های ساده‌تر وجود نداشت (Driks et al., 1998). لذا به منظور شبیه‌سازی تغییرات مکانی بارندگی، روش عکس فاصله را پیشنهاد کردند. در یک مطالعه، روش کریجینگ در تهیه توزیع بارش سالانه در ایالت‌های واقع در بخش قاره‌های شمال مرکزی ایالت متحده آمریکا، برای ۲۹ ایستگاه باران‌سنجی مفید تشخیص داده شد (Tobies and Salas, 1985). همچنین استفاده از متغیر کمکی در روش‌های اسپلاین برای تعیین توزیع مکانی بارندگی در سوئیس تغییر چندانی در نتایج نداد (Hevesi et al., 1992). روش اسپلاین و کریجینگ نیز برای برآورد بارندگی در سه اقلیم خشک، نیمه خشک و مرطوب مناسب معرفی شد (Saghafian and Rahimi-BondarAbadi, 2008). در یک پژوهش، سه روش کریجینگ ساده، معمولی و جهانی و توابع پایه شعاعی برای برآورد میانگین بارندگی سالانه در استان اصفهان مورد بررسی قرار گرفته و از این میان سه روش،

وقایع بارندگی به لحاظ دبی حداکثر لحظه‌ای در حوضه آبریز کارون بوده‌اند، انتخاب شده است. مجموع ایستگاه‌های باران-سنجی به کار رفته در این مطالعه ۹۶ ایستگاه بوده که از این میان، تعداد ۵۳ ایستگاه درون و ۴۳ ایستگاه پیرامون منطقه مطالعاتی قرار دارند. انتخاب ایستگاه‌های باران‌سنجی در خارج از محدوده‌ی پژوهش با هدف اطمینان از تخمین صحیح بارش در نواحی مرزی صورت گرفت.

درجه و ۵۴ دقیقه و ۲۹ ثانیه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۶ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه و ۱۸ ثانیه عرض شمالی بوده و دارای مساحت تقریبی ۲۴ هزار کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱-الف). بخش اعظم بارندگی در این منطقه از سمت جنوب، جنوب غربی و غرب وارد می‌شود. محدوده ارتفاعی منطقه بین ۶۹۳ متر در دشت‌ها، تا ۴۴۱۵ متر در مرتفع‌ترین نقاط می‌باشد (شکل ۱-ب) (Karandish et al., 2013). در این مقاله، هفت واقعه بارش روزانه که از مهم‌ترین



شکل ۱: الف) موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و حوضه آبریز کارون، ب) مدل رقومی ارتفاع رادار TERRASAR، ج) مناطق A و B در برون‌یابی، درون‌یابی و تحلیل واریوگرام

روش‌های درون‌یابی اغلب به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از روش‌های دقیق و روش‌های تخمینی. به عنوان مثال روش میانگین متحرک وزنی (WMA)، روش دقیق و روش‌های TPSS و کریجینگ، روش‌های تخمینی می‌باشند. روش‌های زمین‌آمار براساس اینکه چطور ضرایب معادله ذیل را برآورد می‌کنند به دسته‌های مختلف تقسیم می‌شوند (Karandish and Shahnazari, 2015):

مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در فاصله h از موقعیت x_i می‌باشد. فاصله‌ای که در آن مقدار نیم‌تغییرنا به حد ثابتی که همان آستانه نیم‌تغییرنا می‌باشد، می‌رسد. دامنه تأثیر (R)، و مقدار نیم‌تغییرنا در $h=0$ اثر قطعه‌ای (C_0) نام دارد. مقدار نیم‌تغییرنا در روش کریجینگ برای محاسبه وزن-ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از قابلیت‌های روش‌های زمین‌آمار توانایی آنها در تعیین واریانس تخمین می‌باشد (Borga and Vizaccaro, 1997) که براساس آن، میزان انحراف بین داده‌های واقعی و تخمینی را نشان داده و به صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$E_{\delta^2} = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma_{0i} - \gamma_0 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma_{ij} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن n تعداد داده‌های نقطه‌ای، λ_i وزن در موقعیت i ، اثر قطعه‌ای و γ_{0i} نیم‌تغییرنمای بین داده‌های نقاط i و z می‌باشد.

برون‌یابی

به منظور کنترل خطای محاسبات و انطباق هر چه بیشتر نقشه‌های هم‌باران با مدل رقومی ارتفاعی منطقه، با مشاهده نقشه‌های تهیه شده بدون نقاط کمکی، در مکان‌های مرتفع که احتمال تطابق میزان بارش محاسباتی با واقعیت کمتر بود، یازده

روش‌های درون‌یابی اغلب به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از روش‌های دقیق و روش‌های تخمینی. به عنوان مثال روش میانگین متحرک وزنی (WMA)، روش دقیق و روش‌های TPSS و کریجینگ، روش‌های تخمینی می‌باشند. روش‌های زمین‌آمار براساس اینکه چطور ضرایب معادله ذیل را برآورد می‌کنند به دسته‌های مختلف تقسیم می‌شوند (Karandish and Shahnazari, 2015):

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (\text{رابطه ۱})$$

که $Z^*(x)$ مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه x ، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر در نقطه x_i ، n تعداد نقاط و λ وزن می‌باشد. در آمار کلاسیک، نمونه‌ها مستقل از یکدیگر می‌باشند. این در حالی است که در زمین‌آمار مقادیر نمونه‌ها به موقعیت آنها وابسته می‌باشد. نیم‌تغییرنا معیاری است که همبستگی مکانی داده‌ها را نشان می‌دهد. نیم‌تغییرنمای تجربی (γ) به صورت ذیل محاسبه می‌شود (Borga and Vizaccaro, 1997; Issaks and Srivastava, 1989):

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

که در آن، $n(h)$ زوج نقاط تعیین شده بر اساس فاصله h ، $Z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت x_i و

سلسله مراتبی وارد^۱ (Alhamed *et al.*, 2002) روی مقدار بارش و سه خصوصیت موقعیت مکانی ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی برای تعیین مناطق همگن در محیط نرم‌افزار SPSS اعمال شد. بدین منظور، مناطقی که از نظر ویژگی‌های مذکور، مشابه باشند، در یک گروه قرار می‌گیرند و انتظار می‌رود که عکس-العمل‌های هیدرولوژیکی آن‌ها نیز یکی باشد.

معیارهای ارزیابی

برای بررسی دقت هر روش و یا انتخاب پارامتر مناسب در آنها از روش ارزیابی تقاطع استفاده شد. همچنین برای ارزیابی میزان خطا و مقایسه مقادیر واقعی و تخمینی از دو معیار میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین خطای انحراف (MBE)^۲ به شرح روابط زیر استفاده شد.

(رابطه ۷)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)|$$

(رابطه ۸)

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))$$

که در آنها، MAE میانگین قدر مطلق خطا، MBE میانگین خطای انحراف، $Z(x_i)$ مقدار بارش مشاهده‌ای و $Z^*(x_i)$ مقدار بارش برآورد شده می‌باشد. هر قدر این دو معیار به صفر نزدیک‌تر باشند نشان دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورده شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای است. همچنین در این تحقیق مقایسه نقشه تهیه شده با مدل رقومی ارتفاع به عنوان معیار دیگری در بررسی دقت روش‌های مذکور مورد نظر قرار گرفت.

نتایج و بحث

تحلیل داده‌ها و الزام‌های درونیابی

با توجه به اهمیت شرط نرمال بودن داده‌ها در برآورد نقشه‌های هم‌باران با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، در ابتدا این مساله برای وقایع بارندگی منتخب در منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۲) به عنوان نمونه، دلالت بر نرمال بودن داده‌ها در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد برای واقعه بارش ۲۶ تا ۲۸ اسفند ۷۶ دارد.

پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، کل منطقه مطالعاتی، بر اساس تکنیک خوشه‌بندی که در بخش قبل توضیح داده شد

نقطه در نظر گرفته شد و مقدار بارش در این نقاط محاسبه شد. به منظور محاسبه میزان بارش در نقاط کمکی، از رابطه خطی ذیل (رابطه ۴) که یک رگرسیون چند متغیره بین مقدار بارش، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی بوده و در محیط نرم‌افزار SPSS به دست آمده، استفاده شد. این کار در دو مرحله صورت گرفت، در مرحله اول برای تعیین رابطه خطی ذکر شده با استفاده از تمام ایستگاه‌های موجود در منطقه و با کاربرد نرم‌افزار SPSS همبستگی چند متغیره بین پارامترهای بارش، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی تعیین شد.

(رابطه ۴)

$$P = 6670/23 - 71/79L_1 - 96/30L_2 + 0/06H \dots (P < 0.05)$$

که در این رابطه، P مقدار بارش تخمینی (mm)، L_1 طول جغرافیایی (درجه)، L_2 عرض جغرافیایی (درجه) و H ارتفاع نقطه مورد نظر بر حسب متر می‌باشد. ضریب همبستگی در این رابطه ۸۰ درصد به دست آمد. در مرحله دوم، به منظور تعیین همبستگی چند متغیره بین مقدار بارش، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی، به منظور افزایش میزان ضریب همبستگی، با توجه به مدل رقومی ارتفاع، محدوده مطالعاتی به گونه‌ای به دو زیر محدوده A و B تقسیم شد (شکل ۱-ج) که در هر یک از زیر محدوده‌ها با توجه به خط‌الرأس، تقریباً دامنه افزایشی ارتفاع وجود داشته باشد. سپس رابطه همبستگی چند متغیره بین مقدار بارش، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی در منطقه‌ی A (رابطه‌ی ۸، ۵۰ ایستگاه باران‌سنجی) و B (رابطه‌ی ۹، ۴۶ ایستگاه باران‌سنجی) به شرح ذیل به دست آمد.

(رابطه ۵)

$$P = 5217/67 - 48/15L_1 - 87/37L_2 + 0/038H \dots P < 0.05$$

(رابطه ۶)

$$P = 13265/71 - 149/44L_1 - 180/64L_2 + 0/087H \dots P < 0.05$$

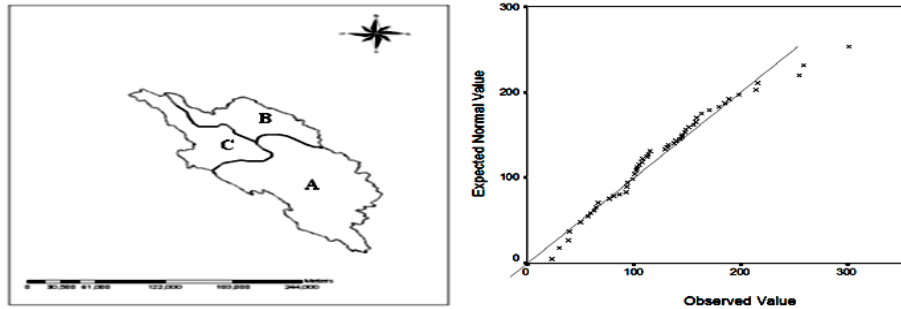
ضرایب همبستگی این روابط به ترتیب ۸۱ و ۹۰ درصد بوده و تعریف پارامترهای آن مشابه رابطه (۴) می‌باشد.

همگن‌بندی

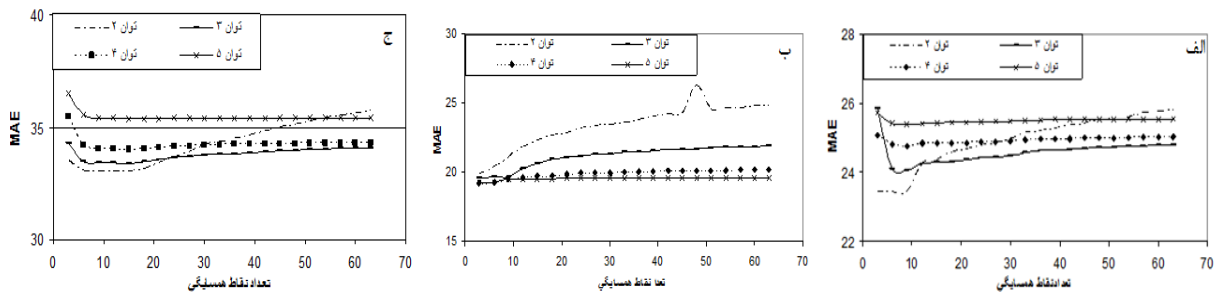
به دلیل وسعت منطقه مطالعاتی و وجود ناهمسانگردی هندسی، کل منطقه مطالعاتی به نواحی همگن تقسیم شد تا تأثیر آن در دقت نقشه‌های هم‌باران مورد بررسی قرار گیرد. تکنیک خوشه-بندی از میان بسیاری تکنیک‌های دیگر برای تعیین نواحی همگن در بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی و کلیماتولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق نیز تکنیک خوشه‌بندی

بهینه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که در تمام این سال‌ها، تعداد ۹ نقطه همسایگی کم‌ترین میزان خطا را داشتند (شکل ۴). لذا، در تحلیل‌های صورت گرفته در گام‌های بعدی، ۹ نقطه‌ی همسایگی برای روش WMA در نظر گرفته شد.

و با توجه به موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های باران‌سنجی، به سه بخش همگن تقسیم شد (شکل ۳). همچنین نظر به اهمیت تعداد نقاط همسایگی در روش WMA، این پارامتر برای سال‌های آبی ۷۱-۷۲، ۶۹-۶۸ و ۷۷-۷۶ بر اساس شاخص MAE



شکل ۲: الف) نمودار Q-Q در واقعه بارش ۲۶ تا ۲۸ اسفند ۷۶ ب) نواحی همگن شده با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی



شکل ۳: الف) ارزیابی تعداد نقاط همسایگی بهینه برای سال‌های آبی (الف) ۷۶-۷۷، ب) ۶۸-۶۹، ج) ۷۱-۷۲ بر اساس MAE

روش‌های WMA با توان‌های ۳ تا ۵ و TPSS با توان‌های ۳ تا ۵ استثناء بودند. با این وجود، نقشه‌های تولید شده با استفاده از روش WMA با توان‌های مذکور به دلیل تولید دایره‌های متحدالمرکز فراوان و عدم انطباق با مدل رقومی ارتفاع در منطقه مطالعاتی، و نقشه‌های تولید شده با استفاده از روش TPSS با توان‌های ۳ تا ۵ به دلیل تولید دامنه محاسباتی منفی قابل قبول نیستند. لذا به منظور ادامه مطالعه، کل منطقه مطالعاتی بدون همگن‌بندی مورد بررسی قرار گرفت.

تحلیل اثرات همگن‌بندی در افزایش دقت تحلیل‌های مکانی بارش

نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در کل منطقه مطالعاتی و در هر یک از نواحی همگن شده بر اساس تکنیک خوشه‌بندی به عنوان نمونه، برای واقعه ۲۶ تا ۲۸ اسفند ۷۶ در جدول (۱) ارایه شد. بررسی نتایج نشان داد که همگن‌بندی تأثیر مثبتی در کاهش خطای تخمین نداشت. دامنه افزایش معیار MAE در نواحی همگن شده بین ۲۳ تا ۱۰۲ درصد بود. در این میان،

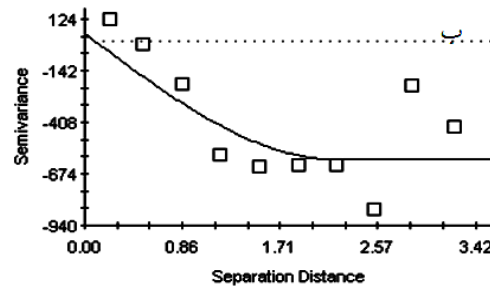
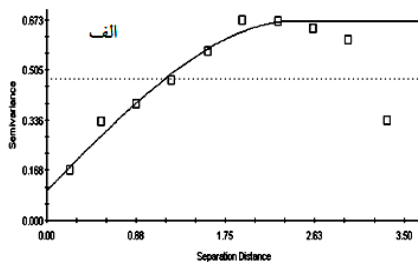
جدول ۱: نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در کل منطقه و در مناطق همگن شده بر اساس روش خوشه‌بندی

کل منطقه		میانگین		C		B		A		روش
MAE (mm)	MBE (mm)	MAE	MBE	MAE (mm)	MBE (mm)	MAE (mm)	MBE (mm)	MAE (mm)	MBE (mm)	
۱۴/۹	-۱/۵	۲۱/۶	-۴/۶	۱۷/۵	-۳/۴	۱۱/۶	-۲/۱	۳۵/۸	-۸/۳	Kriging
۱۴/۷	-۰/۲۲	۲۳/۳	-۱/۲	۱۷/۶	-۰/۹	۱۳/۲	۰/۴	۳۹/۱	-۳/۱	Cokriging
۱۶/۱	۰/۹	۲۰/۳۳	۰/۳	۱۱/۹	۷/۴	۱۱/۹	-۴/۹	۳۷/۲	-۱/۶	TPSS-2
۳۱/۲	۳/۲	۲۲/۳	۲/۷	۱۶/۳	۱۴/۳	۱۳/۴	-۳/۱	۳۷/۲	-۲/۱	TPSS-3
۳۶/۰	۳/۷	۳۹/۹	۳/۰	۴۳/۹	۱۳/۸	-	-	۳۶/۰	-۷/۸	TPSS-4
۲۷/۵	۴/۵	۶۷/۸	۴۹/۲	-	-	-	-	۶۷/۸	۴۹/۲	TPSS-5
۱۵	۲/۳	۲۴/۲۷	۱/۰۳	۲۰/۱	-۰/۳	۱۱/۸	۰/۲	۴۰/۹	۳/۲	WMA-2
۳۳	۲/۶	۲۵/۲۷	۱/۳۳	۲۰/۸	۰/۵	۱۲/۴	۰/۳	۴۲/۶	۳/۲	WMA-3
۳۴/۱	۲/۵	۲۶/۱۳	۱/۴۷	۲۱/۴	۰/۳	۱۳/۱	۰/۵	۴۳/۹	۳/۶	WMA-4
۳۵/۳	۲/۳	۲۶/۸۷	۱/۴۷	۲۱/۸	-۰/۱	۱۳/۸	۰/۸	۴۵/۰	۳/۷	WMA-5

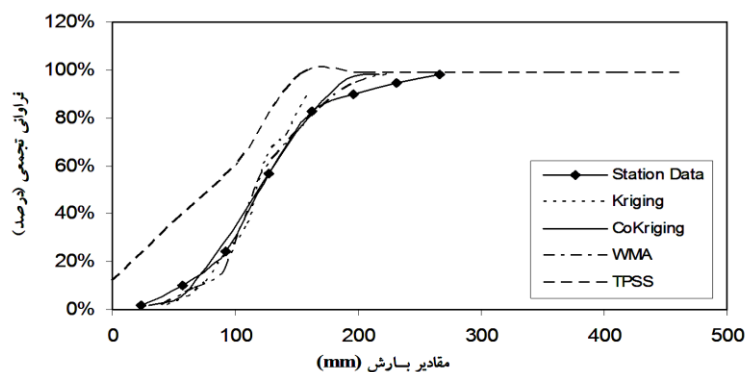
* در روش کوکریجینگ، مقادیر متناظر ارتفاع در هر ایستگاه باران‌سنجی، به عنوان متغیر کمکی انتخاب شد.

برخوردار بود. استفاده از مدل کروی در بسیاری از مطالعات تحلیل مکانی بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف گزارش شده است (Beek, 1992; Ly and Degre, 2011; Verworm and Haberlandt, 2011). شکل (۵) و جدول (۲) نشان می‌دهد که دامنه واریوگرام متقابل بارش و ارتفاع در کل منطقه مطالعاتی بیشتر از دامنه نیم تغییر نمای بارش می‌باشد که تأثیر مثبت ارتفاع را به اثبات می‌رساند. به علاوه بررسی توابع توزیع تجمعی بارش واقعی و برآورد شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود نشان داد که تابع مربوط به مقادیر برآورد شده با استفاده از روش کوکریجینگ روند مشابه‌تری به تابع مربوط به مقادیر واقعی دنبال می‌کند. شکل (۶) تابع مذکور را برای واقعه بارندگی ۲۶ تا ۲۸ اسفند ۷۶ به تصویر می‌کشد. همچنین این توابع گویای این مطلب هستند که در دامنه محاسباتی در روش TPSS مقادیر منفی برای بارش وجود دارد که قابل قبول نیست.

نیم‌تغییرنمای بارش و تغییرنمای متقابل بارش و ارتفاع در واقعه ۲۶ تا ۲۸ اسفند ۷۶ در شکل (۵) آرایه شده است. همچنین خصوصیات تمام وقایع مورد بررسی در جدول (۲) آرایه شده است. در این تحقیق به منظور تحلیل تغییرنماها از برنامه Geostatistics در محیط GS+ استفاده شد. بهترین نیم-تغییرنماها بر اساس میزان مجموع خطای برآورد شده توسط نرم‌افزار مذکور انتخاب شد. بدین‌سان که برای هر واقعه، نیم-تغییرنمایی که کم‌ترین مجموع خطا را داشت، برگزیده شد. بررسی تغییرنماها در راستاهای مختلف، وجود ناهمسانگردی در داده‌ها را به اثبات می‌رساند. به همین دلیل از تغییرنمای همه جانبه برای ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ استفاده شد. بررسی مدل‌های مختلف واریوگرام تئوری بر مقادیر بارش روزانه در وقایع مورد بررسی نشان داد که تغییرات بارندگی در اکثر وقایع از مدل سهمی تبعیت می‌کند، در حالی که برای واریوگرام متقابل بارش و ارتفاع، مدل کروی از دقت بالاتری



شکل ۵: نیم تغییر نمای بارش (الف) و تغییر نمای متقابل بارش و ارتفاع کل منطقه مطالعاتی (ب) در واقعه ۲۶ تا ۲۸ اسفند ۷۶



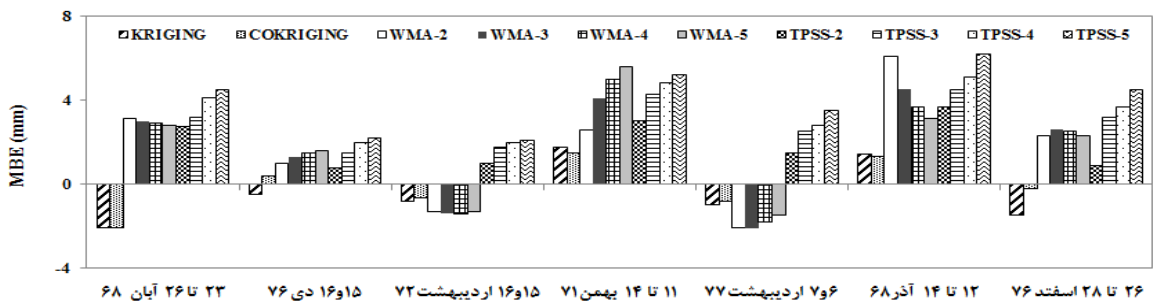
شکل ۶: تابع تجمعی توزیع مقادیر بارش در کل منطقه در واقعه ۲۶ تا ۲۸ اسفند ۷۶

جدول ۲. خصوصیات نیم تغییر نمای بارش و تغییرنمای متقابل بارش و ارتفاع در کل منطقه مطالعاتی

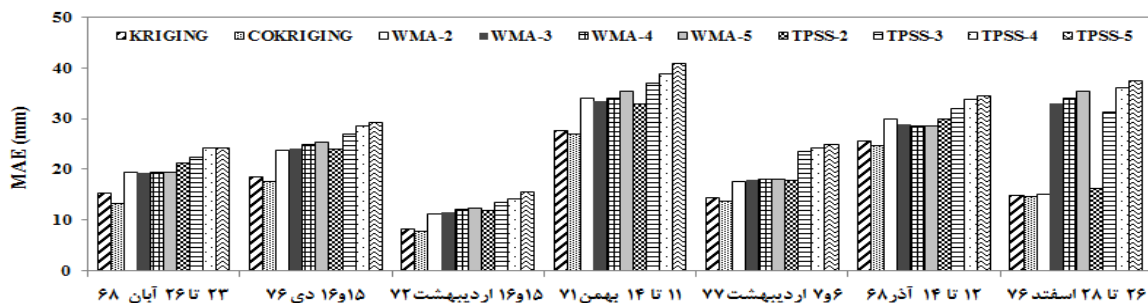
نیم تغییرنمای متقابل بارش و ارتفاع				نیم تغییر نمای بارش				واقعه مورد بررسی
مدل	دامنه (درجه)	آستانه (mm)	اثر قطعه‌ای (mm ²)	مدل	دامنه (درجه)	آستانه (mm)	اثر قطعه‌ای (mm ²)	
کروی	۲۳	-۶۰۰	۵۰	سهمی	۲/۰۱	۰۶۷	۰۱	۲۶ تا ۲۸ اسفند ۷۶
کروی	۲۴۰	-۹۴۰	۴۰۰	سهمی	۱/۶۳	۱۲/۱۰	۳/۲۸	۱۱ تا ۱۴ بهمن ۷۱
کروی	۱۸۵	۴۴۰	۵	سهمی	۲/۰۰	۴/۲۵	۲/۵۵	۱۵ و ۱۶ اردیبهشت ۷۱
کروی	۲۷۵	-۹۲۰	۲۰۵	گوسی	۱/۰۰	۱۰/۰۰	۲/۶۰	۷ و ۸ اردیبهشت ۷۱
کروی	۲۱۰	-۶۵۰	۱۷۵	سهمی	۱/۴۰	۱۱/۰۰	۲/۲۰	۱۵ و ۱۶ دی ۷۶
کروی	۲۰۸	-۲۲۰	۵۰	سهمی	۱/۲۰	۳۰۰	۵۰	۲۳ تا ۲۶ آبان ۶۸

دقت بالایی می‌باشد. در پژوهشی، پهنه‌بندی نقشه‌های هم‌باران روزانه با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آمار بررسی شده و نتایج نشان داد که با کوچک شدن مقیاس زمانی در حد روزانه، ارتباط مقدار بارش و ارتفاع در منطقه مطالعاتی کمتر شده و روش کریجینگ از دقت بالاتری برخوردار بوده است (Ly and Degre, 2011). کارایی روش کریجینگ در برآورد میزان بارش در پایه‌های زمانی مختلف در مطالعات دیگری نیز به اثبات رسیده است (Basistha et al., 2008, Solaimani et al., 2006; Goovaerts, 2000). بر این اساس، نقشه هم‌باران در کل منطقه مطالعاتی با استفاده از روش کوکریجینگ تهیه شد (شکل ۹).

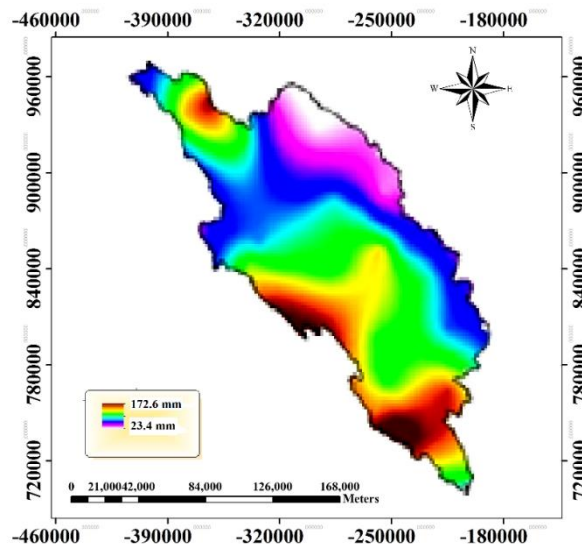
ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در کل منطقه مطالعاتی برای تمام وقایع بارش مختلف (شکل‌های ۷ و ۸) حاکی از آن است که روش کوکریجینگ دارای کم‌ترین میزان خطا در برآورد نقشه‌های هم‌باران در کل منطقه مطالعاتی می‌باشد که این مساله تأثیر مثبت لحاظ نمودن ارتفاع به عنوان متغیر کمکی در برآورد نقشه‌های هم‌باران را به اثبات می‌رساند. در برخی مطالعات دیگر نیز تأثیر مثبت لحاظ نمودن ارتفاع در برآورد نقشه‌های هم‌باران ماهانه و سالانه گزارش شده است (Lloyd, 2005; Goovaerts, 2000). با این وجود، روش کریجینگ نیز در بسیاری از وقایع بارندگی منتخب، با اختلاف کمی نسبت به روش کوکریجینگ، قادر به برآورد بارندگی با



شکل ۷. نمودار تغییرات شاخص MBE برای وقایع بارش منتخب در کل منطقه بدون برون‌یابی



شکل ۸. نمودار تغییرات شاخص MAE برای وقایع بارش منتخب در کل منطقه بدون برون‌یابی

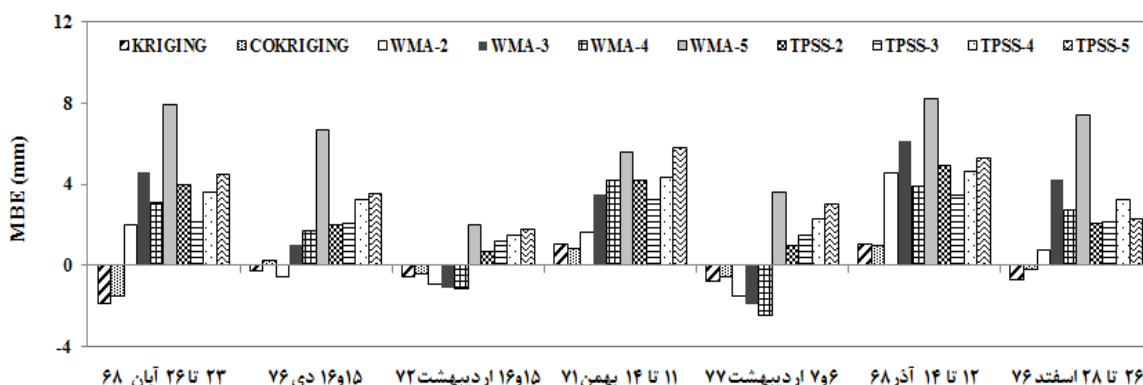


شکل ۹. نقشه هم‌باران با روش کوکریجینگ در کل منطقه

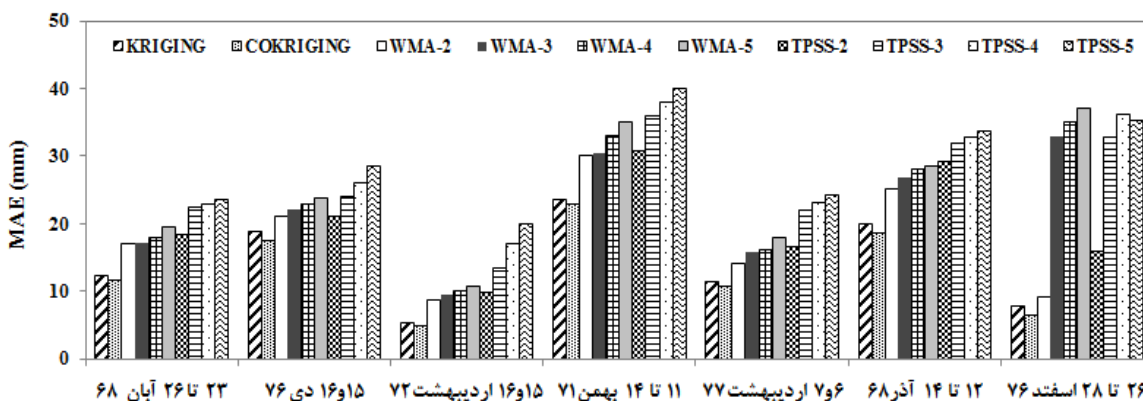
مقادیر MAE و MBE مربوط به روش کوکریجینگ در شکل-های (۱۰) و (۱۱) و همین مقادیر برای روش مذکور در شکل-های (۷) و (۸) در کل منطقه در حالتی که برون‌یابی اعمال نشده است حاکی از آن است که افزودن ایستگاه‌های فرضی در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر و اعمال برون‌یابی میزان MAE و MBE را در حد قابل توجهی کاهش خواهد داد. میزان این تغییر برای واقعه ۲۸-۲۶ اسفند ۷۶ به ترتیب ۱۶ و ۱۰ درصد بوده است.

تحلیل اثرات برون‌یابی در افزایش دقت تحلیل‌های مکانی بارش

شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نیز، نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در ترکیب با برون‌یابی برای وقایع بارش منتخب را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل‌ها روش کوکریجینگ دارای کم‌ترین مقدار MAE و MBE بوده و بیش‌ترین دقت را در برآورد نقشه هم‌باران دارد. با این وجود، در این حالت نیز بین روش‌های کوریجینگ و کوکریجینگ اختلاف چندانی وجود ندارد. مقایسه



شکل ۱۰. نمودار تغییرات شاخص MBE برای وقایع بارش منتخب در کل منطقه با برون‌یابی



شکل ۱۱. نمودار تغییرات شاخص MAE برای وقایع بارش منتخب در کل منطقه با برون‌یابی

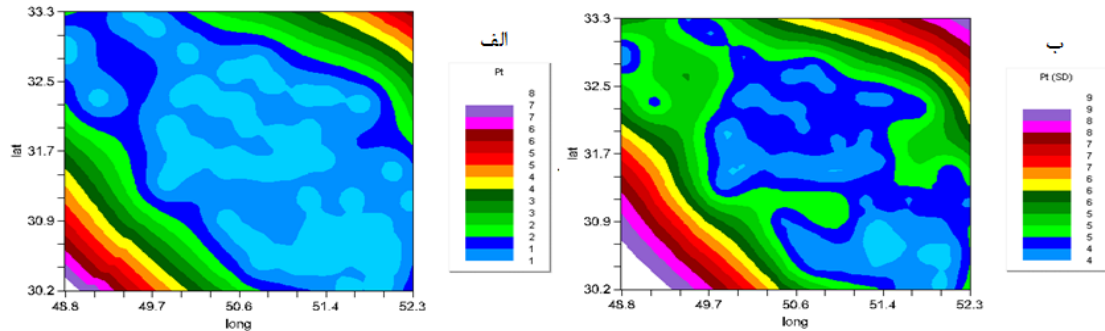
تغییرات واریانس سایر وقایع نیز نتایج مشابهی را به اثبات رساند. بنابراین فرض تأثیر مثبت برون‌یابی روی افزایش دقت نقشه‌های هم‌باران به اثبات می‌رسد.

نقشه هم‌باران تهیه شده با روش کوکریجینگ و با لحاظ برون‌یابی در واقعه ۲۶ تا ۲۸ اسفند ۷۶ به عنوان نمونه در شکل (۱۳) نشان داده شده است. دقت این روش در برآورد نقشه‌های هم‌باران در مطالعه‌ای که توسط ثقفیان و رحیمی (۲۰۰۸) در مناطق غرب و جنوب غربی ایران انجام شده است نیز به اثبات

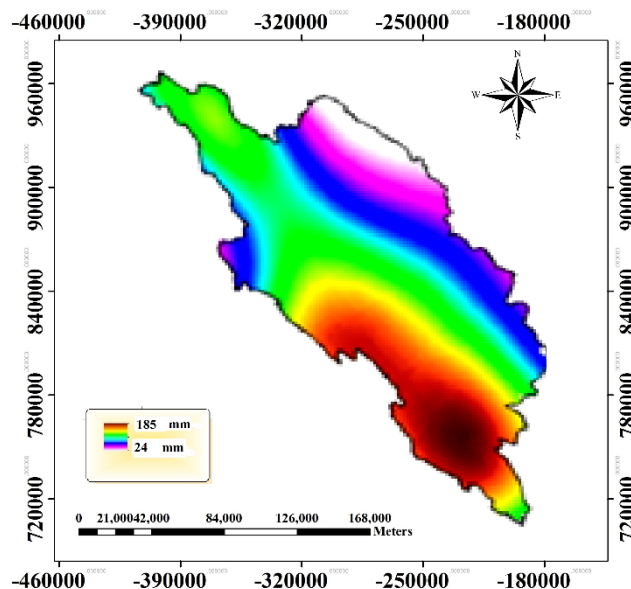
به منظور ارزیابی بهتر، نقشه تغییرات واریانس برای دو حالت عدم اعمال و اعمال برون‌یابی در تمامی وقایع منتخب تهیه شد. شکل (۱۲) این نقشه را به عنوان نمونه برای واقعه ۲۶ تا ۲۸ اسفند ۷۶ به تصویر می‌کشد. شکل (۱۲) نشان می‌دهد که دامنه تغییرات واریانس در حالت اول بین ۰/۱ تا ۸/۷ میلی‌متر و در حالت دوم بین ۰/۱ تا ۴/۸ میلی‌متر می‌باشد. به این ترتیب میزان انحراف پراکندگی داده‌ها با افزودن ایستگاه‌های کمکی ۴۵ درصد بهبود یافته است. بررسی نقشه‌های

کوهستانی که فاقد ایستگاه در نقاط مرتفع می‌باشد را متذکر شده‌اند. همچنین در یک مطالعه، روش کوکریجینگ به عنوان بهترین روش در برآورد مقادیر بارش سالانه در منطقه کوهستانی در کالیفرنیا جنوبی معرفی شده است (Hevesi *et al.*, 1992).

رسیده است. در مطالعه مذکور، نقشه‌های هم‌باران سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار کوکریجینگ، کوکریجینگ، WMA با توان‌های ۲ تا ۴ و TPSS با توان‌های ۲ تا ۴ تهیه شد. ایشان به علاوه اهمیت برون‌یابی و لحاظ ایستگاه‌های فرضی در مناطق



شکل ۱۲. تغییرات واریانس داده‌های بارش روزانه در حالت (الف) عدم اعمال برون‌یابی و (ب) اعمال برون‌یابی (mm)



شکل ۱۳. نقشه هم‌باران با استفاده از روش کوکریجینگ در حالت اعمال برون‌یابی در کل منطقه مطالعاتی.

داده‌های بارش روزانه می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه همگن‌بندی تأثیر مثبتی بر افزایش دقت نقشه‌های هم‌باران با استفاده از روش‌های زمین‌آمار نداشته است، اما برون‌یابی در حد معنی‌داری میزان خطای تخمین را کاهش داده است. لذا به دلیل تأثیر مثبت برون‌یابی در مناطق فاقد ایستگاه‌های باران‌سنجی در نقاط مرتفع به ویژه در مناطق کوهستانی، برای تعمیم نتایج به دست آمده تکرار چنین مطالعاتی در سایر حوضه‌های ایران پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه زابل و دانشگاه تهران به خاطر تأمین امکانات لازم برای انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه و

نتیجه‌گیری

در این مقاله، چندین روش درون‌یابی برای تهیه نقشه‌های هم‌باران روزانه در بخش بزرگی از حوضه کارون واقع در منطقه کوهستانی ایران مورد مقایسه قرار گرفتند. هدف از این مطالعه، ارزیابی روش‌های زمین‌آمار و بررسی تأثیر همگن‌بندی و برون‌یابی در افزایش دقت نقشه‌های هم‌باران بود. تحلیل توابع تجمعی توزیع مقادیر بارش وقایع منتخب در دو حالت مشاهده‌ای و برآورد شده با استفاده از روش‌های زمین‌آمار قبل و بعد از اعمال برون‌یابی نشان می‌دهد که روش کوکریجینگ روند مشابه‌تری به تابع مربوط به داده‌های مشاهده‌ای در کل منطقه مطالعاتی دارد. با این وجود، روش کوکریجینگ نیز با دقت بالایی و اختلاف اندکی نسبت به روش کوکریجینگ قادر به درون‌یابی

داده‌های مورد نیاز تشکر و قدردانی می‌شود.

شرکت مدیریت منابع آب ایران به دلیل تأمین اطلاعات و

REFERENCES

- Alhamed A, Lakshmivarahan S and Stensrud DJ (2002). Cluster analysis of multimodel ensemble from SAMEX. *Mon. Weather Rev.* 130: 226–256.
- Basistha A, Arya DS and Goel NK (2008) Spatial Distribution of Rainfall in Indian Himalayas – A case study of Uttarakhand Region, *Water Resour. Manag.* 22: 1325–1346.
- Beek EG (1992) Spatial variability and interpolation of daily precipitation amount, *Stochastic Hydrol. Hydraul.* 6: 304–320.
- Borga M, and Vizzaccaro A (1997). On the interpolation of hydrologic variables: Formal equivalence of multiquadratic surface fitting and kriging. *Journal of Hydrology.* 195(1–4): 160–171.
- Buytaert W, Celleri R, Willems P, Bièvre DB, and Wyseure G (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrol.* 329: 413–421.
- Carrera-Hernández JJ and Gaskin SJ (2007) Spatio-temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico, *Journal of Hydrology.* 336, 231–249.
- Darzi-Naftchali, A., Karandish, F., Asgari, A. 2017. Diagnosing drainage problems in coastal areas using machine-learning and geostatistical models. *Irrigation and Drainage.* 10.1002/ird.2107
- Driks KN, Hay JE, Stow CD, Harris D (1998). High resolution studies of rainfall on Norfolk Island. Part II: Interpolation of rainfall data. *Journal of Hydrology, Amsterdam.* 208 (3-4): 187-193.
- Ganjalkhani, M, Zounemat-Kermani, M, Rezapour, M and Rahnama, M (2016), Evaluation of Copula Performance in Groundwater Quality Zoning (Case Study: Kerman and Ravar regions), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48 (1):177-186 (In Farsi)
- Goovaerts P (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology.* 228,113-129.
- Hargrove WW (2001). Interpolation of Rainfall in Switzerd Using Regularized Splines with Tension, Geographic Information and Spatial Technologies Group Oak Ridge National Laboratory, <http://www.geobabble.org/~hnw/sic97>.
- Hevesi JA, Flint AL and Istok JD (1992). Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: Structural analysis. *J. Appl. Meteorol.* 31: 661–676
- Hohn ME (1999). *Geostatistics and petroleum geology.* Kluwer Academic, The Netherlands.
- Issaks E, and Srivastava RM (1989). *Applied geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- Johnson GL and Hanson CL (1995) Topographic and atmospheric influences on precipitation variability over a mountains watershed, *J. Appl. Meteor.* 34: 68–87.
- Karandish F., Mousavi, S.S., Tabari, H. Climate change impact on precipitation and cardinal temperatures in different climatic zones in Iran: analysing the probable effects on cereal water-use efficiency. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 2016, doi 10.1007/s00477-016-1355-y.
- Karandish, F., Darzi-Naftchali, A., Asgari, A. 2017. Application of machine-learning models for diagnosing health hazard of nitrate toxicity in shallow aquifers. *Paddy Water Environ*, 15(1), 201-215.
- Karandish, F., Ebrahimi, K., Porhemmat, J. 2013. Investigating the flood intensity of Karuns' sub-basins and effective parameters on it for lumped and distributed simulation of flood. *Iranian Journal of Water and Irrigation Management*, 3(2), 1-12.
- Karandish, F., Shahnazari, A. 2015. Analyzing the Geostatistical Methods Accuracy in Preparing Air Temperature Spatial Distribution in Mountainous Regions (Case Study: Karoun Basin). *Journal of Watershed Management Research*, 6(11), 36-46.
- Kavian, A, Ahmadi, R, Habibnejad, M. and Jafarian, Z (2017), Evaluation of Spatial changes in Soil infiltration Using Experimental and Geostatistical Methods in coastal plain of Behshahr-Galugah, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47 (3):551-560. (In Farsi)
- Leander R, Buishand TA, van den Hurk BJJM and de Wit MJM (2008). Estimated changes in flood quantiles of the river Meuse from resampling of regional climate model output, *Journal of Hydrology.* 351, 331–343.
- Lloyd CD (2005). Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain, *Journal of Hydrology.* 308: 128–150.
- Ly, S., Degre, A. 2011. Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: The use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. *Hydrological Earth System Sciences.* 15, 2259-2274.
- Mahdavi M, HosheniChegini A, Mahdian M and Rahemi Bandabadi S (2004). Geostatistics Comparison Methods in Estimation of Annual Rainfall Spatial Distribution in Semi- Arid and Arid Region of SE Iran, *Journal of Natural Resources of Iran.* 2, 211-234.
- Mirmousavi SH, Mazidi A and Khosravi Y (2010). The Determination of Optimum Geostatistics Method for Estimating Precipitation Distribution Using GIS (Case Study of Esfahan Province). *Geographic Space.* 10, 105-120.
- Moulin L, Gaume E and Obled C (2009). Uncertainties on mean areal precipitation: assessment and impact on streamflow simulations, *Hydrol. Earth*

- Syst. Sci.* 13, 99–114.
- Saghafian B and Rahimi Bondarabadi S (2008). Validity of Regional Rainfall Spatial Distribution Methods in Mountainous Areas. *Journal of engineering hydrology*. 13(7): 531-540.
- Sarmadin F. and Taghizadeh Mehrjerdi R. (2010), A Comparison of Interpolation Methods for Preparing Soil Quality Maps: Case study: (Agricultural Faculty Experimental Field), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 40 (2):157-165.(in farsi)
- Solaimani K, Habibnejad M, Abkar A and Bani-Asadi M (2006). Analysis of Depth-Area- Duration Curves of Rainfall in Semi-Arid and Arid Region Using Geostatistical Methods (Case Study: Sirjan), *Journal of Desert*. 1, 31-42.
- Tobies GQ and Salas JD (1985). A Comparative Analysis of Techniques for spatial Analysis Precipitation, *Water Resources Bulletin*. 21, 365-380.
- Verworn A and Haberlandt U (2011). Spatial interpolation of hourly rainfall effect of additional information, variogram inference and storm properties, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15: 569–584.
- Vicent-Serrano SM, Saz-Sanchez MA and Cuadrat JM (2003). Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature, *Clim. Res.* 24, 161–180.