Archive of SID

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۹ شماره ۳صفحه‌های ۱۳ تا ۲۵ / سال ۱۳۹۸

تعیین مناسب‌ترین روش زمین آماری تغییرات مکانی حداکثر بارش روزانه در حوضه آبخیز آتشگاه استان اردبیل

مجید رئوف*[۱]، سجاد میرزائی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۰٤ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۵

۱-دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشجوی دکتری، مهندسی مدیریت آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: majidraoof2000@yahoo.co.uk

چکیده

هدف این پژوهش، انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای برآورد تغییرات مکانی بارش روزانه در حوضه آتشگاه اردبیل می‌باشد. برای این منظور، از آمار ۹ ایستگاه باران‌سنجی آب منطقه‌ای استان اردبیل استفاده گردید. پس از انجام آزمون‌های همگنی و استقلال داده‌ها، روش‌های درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ جهانی با مدل برازش دایره‌ای، کروی، نمایی، گوسی و نرمال و همچنین روش‌های عکس فاصله وزنی، تابع شعاع محور، تخمین‌گر عام و تخمین‌گر موضعی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS مورد ارزیابی قرار گرفتند. به منظور مقایسه و ارزیابی روش‌های استفاده شده، از معیارهای آماری Mean، RMS، ASE، MS و RMSS استفاده شد. در هر روش به کمترین خطای آماری، کمترین رتبه و به بیشترین خطا، بیشترین رتبه اختصاص داده شد و جمع رتبه‌ها جهت مقایسه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ جهانی با مدل برازش دایره‌ای، با کسب حداقل رتبه، مناسب‌ترین روش درون‌یابی بارش برای دوره بازگشت ۲ ساله و روش کوکریجینگ جهانی با مدل برازش نرمال، با کسب پایین‌ترین رتبه، مناسب‌ترین روش درون‌یابی بارش روزانه برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ می‌باشد. مقدار متوسط وزنی حداکثر بارش روزانه حوضه آبخیز آتشگاه برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به‌ترتیب، ۳۷/۵، ٤۸/۱۹، ۵۱/٤۹، ۵۳/۳۲، ۵٤/۱٤ و ۵۷/٦۹ میلی‌متر تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: دوره بازگشت، کریجینگ، کوکریجینگ، مدل‌های قطعی، همگنی

www.SID.ir

Archive of SID

Determination of the Most Appropriate Geostatistical Method of Spatial Interpolation for Maximum Daily Rainfalls in Atashgah Basin in the Ardabil Province

M Raoof[1*], S Mirzaei[2]

Received: November 24, 2016 Accepted: May 26, 2019
[1]Assoc. Prof. Water Engineering Department, University of Mohagheghe Ardabili, Iran
[2]Ph.D. Student, Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University, Iran
*Corresponding Author, Email: majidraoof2000@yahoo.co.uk

Abstract

The aim of this study was selecting the most suitable interpolation method to estimate the spatial variation of maximum daily rainfall at the Atashgah basin, Ardabil. For this purpose, data of 9 rainfall gauge stations of Ardabil Province Water Regional Company were used. Homogeneity and independence of data were tested. Universal and ordinary Kriging and Cokriging interpolation methods were evaluated by circular, spherical, exponential and Gaussian regression models and Inverse Distance Weighting (IDW), Radial Basis Function (RBF), General and local estimators using Arc GIS software. To compare and evaluate the mentioned methods, statistical parameters of Mean, RMS, ASE, MS and RMSS were used. In each method, the lowest rank was devoted to the lowest statistical error and the highest rank was devoted to the highest statistical error, and then sum of the ranks was used to compare the interpolation methods. Results showed that, in the case of 2 years return period, ordinary Cokriging by circular regression model and for 5, 10, 25, 50 and 100 years return periods, ordinary Cokriging by Gaussian regression model, with the lowest ranks, were the most suitable interpolation methods in estimation of spatial variation of maximum daily rainfall. The weighted average of the maximum daily rainfall of Atashgah basin for the return periods of 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years were determined equal to 37.5, 48.19, 49.41, 53.32, 54.14 and 57.69 mm, respectively.

Key words: Cokriging, Deterministic Models, Homogeneity, Kriging, Return period

مقدمه

پیش‌بینی تغییرات مکانی حداکثر بارش روزانه یکی از مهمترین پارامترهای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع طبیعی است (زهتابیان و همکاران ۲۰۰۷). با وجود اینکه در کنار ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی در اکثر مناطق ایران شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی به‌طور فشرده‌تری این پارامتر را اندازه‌گیری می‌کنند ولی به دلیل تنوع مکانی و زمانی زیاد بارش و بویژه تغییرپذیری آن در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک غالباً در تهیه نقشه‌های بارش محققان به مشکلاتی مخصوصا در چگونگی درون‌یابی این داده‌ها و منطقه‌ای کردن داده‌های نقطه‌ای بارش مواجه می‌شوند (فاطمی‌قیری و یزدان‌پناه ۲۰۱۲). بویژه در مناطق کوهستانی ارزیابی توزیع مکانی بارندگی بسیار پیچیده است زیرا تغییرات پستی بلندی در فواصل نسبتا کوتاه به شدت الگوی بارندگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از طرفی در این مناطق شبکه ایستگاه‌های اندازه‌گیری کم تراکم بوده و اغلب در مناطق کم ارتفاع قرار گرفته‌اند. مطالعات اخیر در مورد انتخاب بهترین روش درون‌یابی و تهیه نقشه‌های اقلیمی نشان می‌دهد که انتخاب نوع درون‌یابی بستگی به شرایط جغرافیایی منطقه دارد و برای هر منطقه بایستی به طور جداگانه بررسی شود (استین و کرستن ۱۹۹۱، ویکنت سرانو و همکاران ۲۰۰۳).. به‌طور کلی روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده‌شده‌اند، درون‌یابی می‌گویند (قهرودی تالی ۲۰۰۷). فنون درون‌یابی به دو شیوه کلی

www.SID.ir

Archive of SID

انجام می‌شود، روش اول قطعی[1] نامیده می‌شود که در این شیوه درون‌یابی بر اساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده و بر پایه شباهت‌ها مانند وزن دهی عکس فاصله (IDW[2]) یا درجه هموارسازی مانند توابع پایه شعاعی (RBF [3]) انجام می‌شود. روش دوم درون‌یابی، زمین آماری[4] است که بر اساس ویژگی‌های آماری نقاط نمونه‌گیری شده می‌باشد که روش‌های کریجنگ و کوکریجینگ شامل آن می‌باشد (قربانی ۲۰۱۲). مهم‌ترین گام در روش‌های زمین آمار ارائه مدلی مناسب بر نیم تغیر نما[5] است (ویکنت سرانو و همکاران ۲۰۰۳؛ مظفری و همکاران ۲۰۱۲). تغییر نمای ایده‌آل دارای سه پارامتر شامل اثر قطعه‌ای[6]، حد آستانه[7] و دامنه مؤثر[8] می‌باشد (محمدی ۲۰۰۶).

مطالعات مختلفی در مناطق مختلف دنیا در این زمینه صورت گرفته است مثلاً، کولیبالی و بکر (۲۰۰۷) به منظور درون‌یابی بارش سالانه در جنوب آفریقا با استفاده از روش ارزیابی متقابل، چندین روش درون‌یابی شامل فاصله معکوس وزنی، کریجینگ معمولی و کریجینگ عمومی را باهم مقایسه کردند. مورال (۲۰۱۰) در جنوب غرب اسپانیا به منظور درون‌یابی بارش سالانه با استفاده از روش ارزیابی متقابل روش‌های مختلف و کوکریجینگ را باهم مقایسه کرد و به این نتیجه رسید که روش کوکریجینگ خطای کمتری نسبت به روش کریجینگ دارد. دملوکونا و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای در شرق برزیل جهت انتخاب بهترین روش درون‌یابی بارش سالانه از بین دو روش کریجینگ و کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ بهتر ازروش کریجینگ تغییرات مکانی بارندگی سالانه را نشان می‌دهد. آموریم و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای در قسمت‌های مرکزی برزیل جهت درون‌یابی بارش سالانه روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ، اسپیلاین، عکس فاصله وزنی و رگرسیون چند متغیره را باهم مقایسه کردند. حکیم‌دوست و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از ۱۲ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی مازندران اقدام به تحلیل مکانی بارش رگباری از طریق روش درون‌یابیIDW با سه توان ۳، ۲، ۱ و روش کریجینگ با مدل‌های کروی، دایره‌ای، نمایی و گوسین پرداختند. آن‌ها بارش‌های بالای ۱۰ میلی‌متر در دوره ۵ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۶) را برای این درون‌یابی انتخاب کردند. ثقفیان و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های سالانه میانگین بارش ۱۲ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان فارس، روش‌های درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ مورد ارزیابی قراردادند. نتایج نشان داد که روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ گوسی به عنوان مناسب‌ترین روش برای نشان دادن تغییرات مکانی بارندگی سالانه می‌باشد. مرآتی و همکاران (۲۰۱۷)، تحقیقی را با هدف بررسی پراکنش کیفیت آب‌های زیرزمینی در حوضه آبخیز سلیمانشاه در استان کرمانشاه انجام دادند. آن‌ها از داده‌های کل مواد جامد محلول، نسبت جذب سدیم، کلر و نیترات آب زیزمینی از ۶۰ چاه موجود در منطقه با پراکنش مناسب استفاده کردند. به‌منظور درون‌یابی از روش‌های کریجینگ و IDW و از شاخص RSS استفاده کردند. فاطمی‌قیری و یزدان‌پناه (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای جهت تعیین تغییرات مکانی بارش سالانه در استان اصفهان، روشهای کریجینگ، اسپیلاین، عکس فاصله وزنی و رگرسیون چند متغیره را باهم مقایسه کردند.

بازگیر و همکاران (۲۰۱۲) جهت درون‌یابی بارش سالانه در استان فارس با استفاده از روش ارزیابی متقابل، تکنیک‌های درون‌یابی عکس فاصله وزنی، اسپیلان و کریجینگ معمولی، نمایی، دایره‌ای و کروی را با هم مقایسه و به این نتیجه رسیدند که روش

1 Deterministic
2 Inverse Distance Weighted
3 Radial Basis Functions
4 Geostatistical
5 Semi variogram
6 Nugget effect
7 Sill
8 Range of influence

www.SID.ir

Archive of SID

کریجینگ نمایی بهترین روش درون‌یابی در بین سایر روش‌ها است. صوفی رحیمی و همکاران (۲۰۱۵) از تحلیل منطقه‌ای، برای برازش توزیع‌های احتمالاتی بر روی داده‌های دبی بیشینه سالانه ایستگاههای استان آذربایجان شرقی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که توزیع کاپا به عنوان توزیع منطقه‌ای، برازش خوبی بر روی دادههای دبی بیشینه سالانه دارد. صفرراد و همکاران (۲۰۱۳) به تحلیل مکانی تغییرات بارش در زاگرس میانی از طریق روش‌های زمین‌آمار پرداختند. نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های کریجینگ ساده، معمولی و عام، بدون متغیر کمکی و همچنین با متغیر کمکی ارتفاع، عرض جغرافیایی و فاصله از خط الراس از طریق نمایه‌های آماری حاکی از دقت بیشتر روش کریجینگ معمولی با متغیر کمکی عرض جغرافیایی و فاصله از خط الراس را نشان داد. لیو و همکاران (۲۰۱٦) برای درون‌یابی بارش از اطلاعات بارش ماهانه ۵۲ ایستگاه از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۸ در حوضه رودخانه ژیانگ جیانگ[1] استفاده کردند. برای تجزیه و تحلیل از ArcGIS استفاده کردند. آن‌ها برای اعتبارسنجی مدل‌های درون‌یابی از MAE[2] (میانگین مطلق خطا)، RMSE[3] (جذر میانگین مربعات خطا)، و آزمون t استفاده کردند. همچنین از رگرسیون خطی برای اصلاح نتیجه استفاده شد. نتایج آن‌ها نشان داد که ادغام روش زمین آمار با رگرسیون خطی می‌تواند نتیجه را معتبر و بهتر کند. صادقی و همکاران (۲۰۱۷) روش‌های درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ جهانی با مدل برازش دایره‌ای، کروی، نمایی، گوسی و نرمال را برای تخمین بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی استان همدان مورد مقایسه قرار دادند. آنها برای مقایسه روش‌های مذکور، از آمار ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی و از پارامترهای آماری ضریب تبیین و متوسط خطای مطلق استفاده نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که روش کوکریجینگ با مدل برازش نمایی با مقادیر ضریب تبیین و متوسط خطای مطلق به‌ترتیب، ۰/۷۵ و ۰/۱۲٤ دارای بیشترین دقت می‌باشد. چن و همکاران (۲۰۱۷) یک روش درونیابی بر مبنای تخمین پارامترهای اصلی درونیابی ارائه و برای پارامتر بارش روزانه با روش‌های درونیابی عکس فاصله وزنی و رگرسیون خطی چند متغیره مورد مقایسه قرار دادند. منطقه مورد مطالعه حوضه ژینژی در جنوب شرق چین بود. نتایج نشان داد که برای روش‌های پیشنهادی، عکس فاصله زمانی و رگرسیون خطی چند متغیره مقادیر خطای نسبی به‌ترتیب، ۳/۷۳، ۱۲/٤۷ و ۱۳/۱۹ درصد و مقادیر ضریب نش ساتکلیف به‌ترتیب، ۰/۹۲۵، ۰/۹ و ۰/۷۰۵ می‌باشد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۸) روش‌های درون‌یابی عکس فاصله وزنی، کریجینگ، کوکریجینگ و اسپلاین نوار صفحه‌ای باریک [4] را به دو روش نقطه به سلول و سلول به سلول برای منطقه فلوریدا آمریکا مورد بررسی قرار دادند. هدف آنها تهیه نقشه بارش روزانه و تعیین حداکثر بارش روزانه برای منطقه مورد مطالعه بود. آنها نتیجه‌گیری کردند که روش‌های کریجینگ، عکس فاصله وزنی و نوار صفحه‌ای باریک به هر دو روش نقطه به سلول و سلول به سلول به‌ترتیب دارای بیشترین دقت می‌باشند. در این تحقیق، با استفاده از روش‌های درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ جهانی با مدل برازش دایره‌ای، کروی، نمایی، گوسی و نرمال و همچنین روش‌های قطعی عکس فاصله وزنی، تابع شعاع محور، تخمین‌گر عام و تخمینگر موضعی بارندگی روزانه حوضه آبخیز آتشگاه درون‌یابی شد. هدف از این تحقیق انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی بارش روزانه حوضه آبخیز آتشگاه برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال می‌باشد.

مواد و روش‌ها

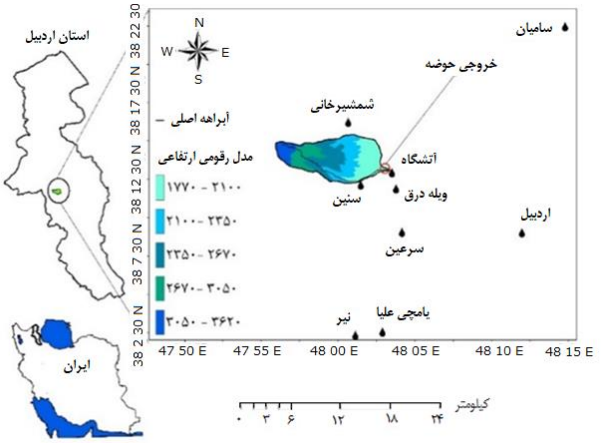
منطقه مورد مطالعه

1 Xiangjiang
2 Mean Absolute Error
3 Root Mean Square Error
4 Thin Plate Spline

www.SID.ir

Archive of SID

حوضه آبخیز آتشگاه، یکی از زیر حوضه‌های حوضه‌ی آبخیز سبلان در جنوب غربی شهرستان اردبیل قرار دارد. این حوضه دارای مشخصات با موقعیت ٤٧ درجه و ٥٠ دقیقه تا ٤٨ درجه و ٢ دقیقه طول شرقی و ٣٨ درجه و ١٢ دقیقه تا ٣٨ درجه و ١٦ دقیقه عرض شمالی و به مساحت ٤٠/٥ کیلومتر مربع با متوسط ارتفاع وزنی ٢٤٢٩ متر از سطح دریا می‌باشد که حداکثر ارتفاع آن ٣٦٨٠ متر و حداقل ارتفاع ١٧٦٠ متر از سطح دریا (در خروجی حوضه) می‌باشد. جهت بررسی تغییرات مکانی بارندگی ٢٤ ساعته از آمار ٩ ایستگاه باران‌سنجی شرکت آب منطقه‌ای اردبیل به دلیل پراکنش مناسب و طول دوره آماری ٢٠ ساله (١٣٩٠-١٣٧١) استفاده شد. شکل (١) موقعیت حوضه آبخیز آتشگاه را در ایران نشان می‌دهد.



شکل ١- موقعیت حوضه آبخیز آتشگاه و ایستگاه‌های باراسنجی منتخب.

روش تحقیق

روش انجام کار در این تحقیق به ترتیب زیر می‌باشد.

کنترل کیفی داده‌ها

با توجه به این که آمار برخی ایستگاه‌های مورد نظر دارای نواقص بود به منظور رفع نواقص آماری از روش نسبت نرمال استفاده گردید. همچنین همگنی و تصادفی بودن داده‌ها با روش غیر نموداری ران‌تست و استقلال داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت.

تحلیل فراوانی حداکثر بارش روزانه

جهت تحلیل فراوانی حداکثر بارش روزانه از ٧ تابع متداول در هیدرولوژی یعنی نرمال، لوگ نرمال٢ و ٣ پارامتری، پیرسون تیپ ٣ و لوگ پیرسون تیپ٣، گامای ٣ پارامتری و گمبل استفاده شد سپس با کاربرد نرم‌افزار Easy Fit هفت تابع توزیع احتمالی ذکر شده، به داده‌های حداکثر بارش روزانه در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه برازش داده شد (میرزایی و همکاران ٢٠١٦). به منظور انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمالی از آزمون‌های نکویی برازش کلموگراف- اسمیرنوف[1] و آندرسون-دارلینگ[2] استفاده شد (ویک و هاث ٢٠٠٩). در نهایت، برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه مقدار حداکثر بارش روزانه در دوره‌های بازگشت ٢، ٥، ١٠، ٢٥، ٥٠ و ١٠٠ سال محاسبه گردید (میرزایی و همکاران ٢٠١٦).

روش‌های درون‌یابی

در این پژوهش روش‌های درون‌یابی قطعی، روش وزنی معکوس فاصله، تخمینگر عام، تابع شعاع محور و تخمینگر موضعی و از روش‌های زمین آمار کریجینگ و کوکریجینگ جهانی با مدل‌های کروی[3]، دایره‌ای[4]، نمایی[5]، گوسی[6] و نرمال مورد استفاده قرار گرفت.

روابط رگرسیونی بارش حداکثر روزانه با متغیرهای کمکی

با توجه به این که در روش کوکریجینگ جهت درون‌یابی از متغیرهای ثانویه نیز استفاده می‌شود، بنابراین، ابتدا رابطه بارش با برخی متغیرها مورد بررسی قرار گرفت.

1 Kolmogorov-Smirnov
2 Anderson-Darling
3 Circular Model
4 Spherical model
5 Exponential model
6 Gaussian Model

www.SID.ir

Archive of SID

از طرف دیگر انجام هر رگرسیونی مستلزم مفروضاتی است که تا این مفروضات برقرار نباشند، اعتبار رگرسیون خدشه‌دار خواهد بود. از جمله این مفروضات در مدل رگرسیونی، مستقل بودن خطاها از یکدیگر و عدم هم‌خطی بودن بین متغیرهای مستقل می‌باشد (ویک و هاث ۲۰۰۹). جهت انجام آزمون استقلال خطاها از آزمون دوربین- واتسون (استین و کرستن ۱۹۹۱) استفاده شد. از آنجایی که در این آزمون فرض H_0 بر عدم همبستگی بین خطاها تاکید دارد، چنانچه این آماره در بازه ۱/۵تا ۲/۵ قرار گیرد فرض H_0 پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت فرض H_0 رد می‌شود یعنی بین خطاها همبستگی وجود دارد. خروجی آزمون هم‌خطی چهار پارامتر ضریب تولرانس[1] ، عامل تورم واریانس[2] ، شاخص وضعیت[3] و مقدار ویژه[4] می‌باشد که هر چه مقدار تولرانس کم باشد، اطلاعات مربوط به متغیرها کم بوده و مشکلاتی در استفاده از رگرسیون ایجاد می‌شود. عامل تورم واریانس نیز معکوس تولرانس بوده و هر چقدر افزایش یابد باعث می‌شود واریانس ضرایب رگرسیون افزایش یافته و رگرسیون را برای پیش‌بینی نامناسب می‌سازد. مقادیر ویژه نزدیک به صفر نشان می‌دهد همبستگی داخلی پیش‌بینی‌ها زیاد است و تغییرات کوچک در مقادیر داده‌ها به تغییرات بزرگ در برآورد ضرایب معادله رگرسیون منجر می‌شود. شاخص‌های وضعیت با مقدار بیش‌تر از ۱۵ نشان‌دهنده احتمال هم خطی بین متغیرهای مستقل می‌باشد و مقدار بیش‌تر از ۳۰ بیانگر مشکل جدی در استفاده از رگرسیون در وضعیت موجود آن است (ربیعی و اسماعیلیان ۲۰۱۵).

نرمال سازی داده‌ها

از آنجایی که شرط استفاده از روش‌های زمین آمار نرمال بودن داده‌ها است، در این تحقیق از تبدیلات خودکار BOX-COX یا لگاریتمی جهت نرمال سازی مجدد استفاده شد. نرمال بـــودن توزیع داده‌ها را می‌توان از روی ابزارهـــای آماری مانند نمودارهای هیســـتوگرام، چولگی و کشـــیدگی توزیع داده‌ها تشـــخیص داد (هافریک و پاراجکا ۲۰۰۲).

تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی

ارتباط بین گشتاور اینرسی، نمودار پراکندگی داده‌ها و فاصله بین جفت نقاط موسوم به نیم تغییرنما (نیمه واریوگرام یا واریوگرام) است (خسروی و همکاران ۲۰۱٤). برای درک بهتر ساختار فضایی نمونه‌های برداشت شده و انتخاب بهترین روش در درون‌یابی، خود همبستگی فضایی بین نمونه‌ها مطالعه می‌شود. این بررسی را می‌توان با ترسیم فاصله بین نمونه‌ها و واریانس ارزش نمونه‌ها یا به‌عبارت دیگر، نیمه واریوگرام‌ها به دست آورد. واریانس بین نقاطی که به اندازه h از هم فاصله دارند، ارتباط متقابل آن دو را نسبت به هم بیان می‌کند و وابستگی نقاط نزدیک به هم، دلیلی بر وجود ساختار فضایی می‌باشد، به‌طوری که اگر واریانس بین نقاطی به فاصله h کوچک باشد، وابستگی بین آن نقاط زیاد است. واریانسی را که وابسته به فاصله است را واریوگرام یا تغییرنما می‌نامند. واریوگرام، بر اساس این تفکر که خواص پدیده‌ها در مکان‌های نزدیکتر شباهت بیشتری دارند تا در فاصله‌های دورتر، درجه وابستگی یا همبستگی بین نقاط را اندازه‌گیری می‌کند (خسروی و عباسی ۲۰۱۵). پس از رسم واریوگرام و برازش مدل مناسب، عملیات درون‌یابی به‌وسیله روش‌های کوکریجینگ و کریجینگ جهانی و همچنین روش‌های توابع شعاع محور، تخمینگر موضعی، تخمینگر عام و تابع معکوس فاصله انجام گردید. بدین صورت که ابتدا دو روش کریجینگ و کوکریجینگ مورد مقایسه قرار گرفت و سپس روش‌های توابع شعاع محور، تخمینگر عام، تخمینگرموضعی و تابع معکوس فاصله مورد بررسی قرار گرفتند. این بررسی توسط پارامترهای

1 Tolerance
2 VIF
3 Condition Index
4 Eigenvalue

www.SID.ir

Archive of SID

آماری Mean، RMSE، ASE[1] و MS[2] در محیط نرم افزار GIS با داشتن حداقل خطا بین مدل‌ها انجام گرفت. در نهایت دو مدل انتخاب شده نیز با هم مقایسه شدند هر کدام کمترین خطا را داشت، به‌عنوان توزیع مناسب برای حوضه تشخیص داده شد.

معیارهای ارزیابی

پس از انجام عملیات درون‌یابی بوسیله روش‌های قطعی و زمین آماری برای انتخاب روش مناسب درون‌یابی از شش شاخص آماری استفاده شد. روابط ۱ تا ٦ انواع شاخص‌های آماری مورد استفاده را نشان می‌دهد.

$$ME = \max|Q_m - Q_i| \quad [۱]$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|Q_i - Q_m| \quad [۲]$$

$$RMSS = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} RMSE_i \quad [۳]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Q_i-Q_m)^2}{n}} \quad [٤]$$

$$MS = \frac{\sum(Q_i-Q_m)}{SD} \quad [٥]$$

$$ASE = \frac{1}{n}\sum SE \quad [٦]$$

که در آنها ME حداکثر خطا، MAE میانگین مطلق خطا، MS متوسط استاندارد شده، SD انحراف معیار، ASE میانگین خطای استاندارد، SE خطای استاندارد $(\frac{SD}{\sqrt{n}})$، Q_i مقدار مشاهداتی، Q_m مقداربرآورد شده (مستخرج از توابع توزیع احتمالاتی) و $i= 1,\ldots,n$ که n تعداد داده‌های مشاهداتی می‌باشد. با استفاده از معیارهای مذکور، روش‌های مختلف درون‌یابی مورد ارزیابی قرار گرفت، به این صورت که در هر معیار برای مناسب‌ترین روش رتبه پایین و برای نامناسب‌ترین آن رتبه بالاتری در نظر گرفته شد سپس نتیجه نهایی برای هر مدل، از طریق حاصل جمع رتبه معیارها به دست آمد. بر این اساس می‌توان روشی که دارای رتبه پایین‌تری است، به عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی ارتباط حداکثر بارش روزانه با عوامل ارتفاع از سطح دریا، طول و عرض جغرافیایی با استفاده از رگرسیون گام به گام حاکی از آن بود که حداکثر بارش روزانه فقط با ارتفاع از سطح دریا دارای رابطه معنادار است. داده‌های حداکثر بارش روزانه با نرم افزار Easy Fit توسط هفت تابع توزیع احتمالاتی مورد بررسی قرار گرفتند. تابع توزیع لوگ پیرسون ۳ پارامتره با داشتن حداقل خطا با محک آماری آندرسون و کلموگرف اسمیرنوف برای منطقه انتخاب و بر اساس این توزیع حداکثر بارش روزانه در دوره‌های بازگشت ،۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ برای هریک از ایستگاه‌ها بدست آمد که در جدول شماره ۱ نتایج آن ارایه گردیده است. جدول ۲ و ۳ نتایج حاصل از آزمون استقلال خطا و هم‌خطی را برای حداکثر بارش روزانه نشان می‌دهد که با توجه به نتایج مقدار عددی پارامترهای محاسبه‌شده اعتبار رابطه رگرسیونی مورد تأیید قرار می‌گیرد. به‌طور کلی بررسی چولگی و کشیدگی داده‌های حداکثر بارش روزانه و متغیر کمکی ارتفاع نشان داد که داده‌های این عوامل نرمال هستند، اما به منظور نرمال‌تر کردن این داده‌ها ابتدا کارائی روشهای لگاریتمی و BOX-COX مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج حاصله نشان داده که روش لگاریتمی و روش BOX-COX با فراسنج[3] ۰/۰۰۰۱ دارای نتایج مشابه می‌باشد که دراین پژوهش از روش لگاریتمی استفاده شد.

1 Average standard error
2 Mean standardized
3 Parameter

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- حداکثر بارش روزانه (میلی متر) در ایستگاه‌ها با دوره بازگشت مختلف.

ردیف	ایستگاه	ارتفاع (متر)	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
۱	آتشگاه	۱۷۷۸	۳۰/۰۹	۳۶/۱۸	۳۹/۸	٤٤	٤٦/۹	٤۹/۷
۲	اردبیل	۱۳٦۵	۲۳/۱۷	۳۱/۱۷	۳٦/۵	٤۳/٤	٤۸/٦	۵۳/۹
۳	سئین	۱۹۹۷	۲۷/٦۳	۳٤/۳	۳۸/۳	٤۳	٤٦/۳	٤۹/۵
٤	شمشیرخانی	۲۱٦۰	٤۵/٤۲	۵٤/۱٦	۵۸/۸	٦۳/٦	٦٦/٦	٦۹/۳
۵	نیر	۱٦۲۳	۲٤/۸۸	۳۱/٦۷	۳٦/۷	٤۳/٤	٤۸/۹	۵٤/٦
٦	ویله درق	۱۷۷٦	۲۹/٦۲	۳٦/۱۳	٤۰/٦	٤٦/۵	۵۱/۱	۵۵/۸
۷	یامچی علیا	۱۵۹٤	۲۸/۲	۳۵/۹	٤۰/٦	٤٦/۳	۵۰/٤	۵٤/۳
۸	سامیان	۱۲۸٦	۲۲/۷	۳۱	۳٦/۷	٤٤/۰	٤۹/٤	۵۵/۱
۹	مشکین شهر	۱٤۸۵	۲۷/۵	۳٤/۲	۳۸/٤	٤۳/٤	٤٦/۹	۵۰/٤

جدول ۲- نتایج رگرسیونی حداکثر بارش ۲۴ ساعته دردوره‌های بازگشت مختلف.

دوره بازگشت (سال)	معادله خطی ساده	ضریب همبستگی	خطای استاندارد برآورد (mm)	F ضریب	سطح معناداری
۲	*P= ۰/۰۲٤h – ۱٤/٤۹	۰/۷۸	۵/٤۲	۸/۰٦	۰/۰۵
۵	P= ۰/۰۲۵h – ۹/۱۷٤	۰/۷٤	٦/٤۷	٦/۰٦	۰/۰۵
۱۰	P= ۰/۰۲٤h – ۲/۸۷۹	۰/٦۹	٦/۹۸	٤/۷۷	۰/۰۵
۲۵	P=۰/۰۲۱h + ۷/۷۵۳۹	۰/٦۲	۷/۵۱	۳/۲۲	۰/۰۵
۵۰	P= ۰/۰۱۸h + ۱٦/۸۱۵	۰/۵۵	۷/۸۸	۲/۱٦	۰/۰۵
۱۰۰	P= ۰/۰۱۵h + ۲۷/۲۲۸	۰/٤۵	۸/۳	۱/۲٦	۰/۰۵

* در جدول فوق h و p به‌ترتیب ارتفاع از سطح دریا (متر) و مقدار بارش (میلی‌متر) می‌باشند.

در روش کریجینگ و کوکریجینگ جهانی پس از برازش مدل‌های کروی، دایره‌ای، نمایی، نرمال و گوسی بر داده‌های حداکثر بارش روزانه، نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مدل‌های مختلف برازش داده شده دو روش کریجینگ و کوکریجینگ جهانی برای دوره‌های بازگشت ۲۵ ساله (به‌عنوان نمونه) در جدول شماره ٤ ارایه شده است. همچنین نتایج روش‌های توابع شعاع محور، تخمینگر عام، تخمینگرموضعی و تابع معکوس فاصله به همراه مجموع رتبه‌های هر یک از مدل‌ها برای این دوره بازگشت در جدول شماره ۵ ارائه شده است. نتایج حاصل از بررسی خطای درون‌یابی حداکثر بارش روزانه در حوضه آتشگاه برای دوره بازگشت ۲ ساله نشان داد که در مقایسه مدل‌های برازش مذکور، مدل برازش دایره‌ای با داشتن حداقل خطا نسبت به سایر مدل‌های برازش در دو روش کریجینگ و کوکریجینگ مناسب می‌باشند. همچنین در مقایسه مدل دایره‌ای در روش کریجینگ و کوکریجینگ، روش کوکریجینگ جهانی با مدل دایره‌ای نسبت به مدل دایره‌ای کریجینگ دارای خطای کمتری می‌باشد. جهت انتخاب بهترین مدل، مدل دایره‌ای روش کوکریجینگ با روش‌های قطعی معکوس فاصله وزنی، تابع شعاع محور، تخمینگر عام و تخمینگر موضعی نیز مورد مقایسه قرار گرفت که روش کوکریجینگ با داشتن حداقل خطا نسبت به تمامی روش‌ها برای درون‌یابی بارش حداکثر روزانه با دوره بازگشت ۲ ساله مناسب می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- نتایج درون‌یابی بارندگی ۲۴ ساعته با روش کوکریجینگ و کریجینگ برای دوره بازگشت ۲۵ ساله.

کریجینگ	مدل	آستانه	Mean	RMSE (mm)	ASE (mm)	MS	RMSS (mm)	جمع رتبه
جهانی	دایره‌ای	۰/۰۲۱۸۵	-۰/۳۲۰۲	٦/۸۷۲	٦/۵۸۷	-۰/۰۳٤	۰/۹۷۸۳	۱۵
	کروی	۰/۰۲۲۰۳	-۰/۲۸۳٤	٦/۸٤۸	٦/٦۳۷	-۰/۰۳۰٦	۰/۹۷۵۱	۱۳
	نمایی	۰/۰۲٤٦۹	-۰/۱۱۹۳	٦/۵٦۳	۷/۰۳۲	-۰/۰۱۸٤	۰/۹۱۵۷	۱۱
	نرمال	۰/۰۲٤۷۸	-۰/۳٤۳٤	٦/۹۲۸	٦/۵۸٤	-۰/۰۳٤۹	۰/۹۹۸۸	۲۱
کوکریجینگ	**مدل**	**آستانه**	**Mean**	**RMSE (mm)**	**ASE (mm)**	**MS**	**RMSS (mm)**	**جمع رتبه**
جهانی	دایره‌ای	۰/۰۱۱۸۷	-۰/۱۰٦۱	۵/۸۹	٦/۱۰۵	-۰/۰۲۹۳	۰/۹۹۱	۱۵
	کروی	۰/۰۱۱٦	-۰/۰۷۵٤	۵/۹۱۲	٦/۱۱۵	-۰/۰۲٤۱	۰/۹۹۲	۱٦
	نمایی	۰/۰۰۸۷	-۰/۰۸۹۸	٦/۱۳۸	٦/۲۳۷	-۰/۰۲٦٦	۱/۰۱	۱٦
	نرمال	۰/۰۱۳٦۹	۰/۰۱۱۸	۵/٦۹٦	۵/۹٤۳	-۰/۰۱٤۸	۰/۹۸۵	۹

جدول ۴- نتایج درون‌یابی بارندگی۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ ساله.

مدل	Mean	RMSE (mm)	جمع رتبه‌ها
IDW	-۰/۵۰٤۵	٦/۲۷۵	۳
GPI	۳/۹۲۹	۱٤/۲۱	٦
LPI	۳/۹۵۸	۱٤/۵٤	۸
RBF	-۰/۰۰۳۵	٦/٤٦۷	۳

IDW: Inverse Distance Weighting, GPI: Global Polynomial Interpolation
LPI: Local Polynomial Interpolation, RBF: Radial Basis Functions

در درون‌یابی حداکثر بارش روزانه برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال، طبق معیار حداقل خطا در هر یک از مدل‌ها، در این ۵ دوره بازگشت، روش کوکریجینگ جهانی با مدل برازش نرمال دارای کمترین خطا می‌باشد. به گونه‌ای که در بین مدل‌های برازش مدل نرمال در هر دو روش کریجینگ و کوکریجینگ، دارای حداقل خطا می‌باشد این مدل با نتایج روش‌های قطعی مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج نشان می‌دهد که روش کوکریجینگ جهانی نرمال با کسب کمترین مجموع رتبه و اختلاف زیاد نسبت به سایر روش‌ها، بهترین روش درون‌یابی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. روش مذکور در هر ۵ دوره بازگشت حداقل رتبه را به خود اختصاص داده که نشان از دقت بالای این روش در پیش‌بینی تغییرات حداکثر بارش روزانه در سطح منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین روش کریجینگ جهانی با اختلاف زیاد نسبت به روش‌های قطعی عکس فاصله وزنی، تخمینگر عام، توابع شعاع محور و تخمینگر موضعی دومین روش مناسب تشخیص داده شد. نتیجه حاصله نشان می‌دهد که در صورت وجود رابطه معنادار بارندگی با یک متغییر کمکی مانند ارتفاع روش کوکریجینگ روشی مناسب جهت بررسی تغییرات مکانی بارش می‌باشد که این نتیجه با نتایج مطالعات گوارتز (۲۰۰۰) در پرتغال، مورال (۲۰۱۰) در اسپانیا، دملوکونا و همکاران (۲۰۱۲) در برزیل، ثقفیان و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران (۲۰۱۱) در استان فارس مطابقت دارد. بنابراین روش کوکریجینگ جهانی دایره‌ای برای دوره بازگشت ۲ ساله و روش کوکریجینگ جهانی نرمال برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به‌عنوان مناسب-ترین روش جهت تهیه نقشه حداکثر بارش روزانه استفاده شد، سپس متوسط وزنی حداکثر بارش روزانه برای هریک از دوره‌های بازگشت مختلف برای حوضه آبخیز آتشگاه محاسبه شد. بر اساس نتایج درون‌یابی حداکثر بارش روزانه حوضه آبخیز آتشگاه برای دوره-های بازگشت مختلف در جدول شماره ۵ ارایه گردیده است. در شکل ۲ نقشه حداکثر بارش روزانه برای دوره-های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله با استفاده از ArcGIS و روش‌های ذکر شده در حوضه آبخیز آتشگاه نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری کلی

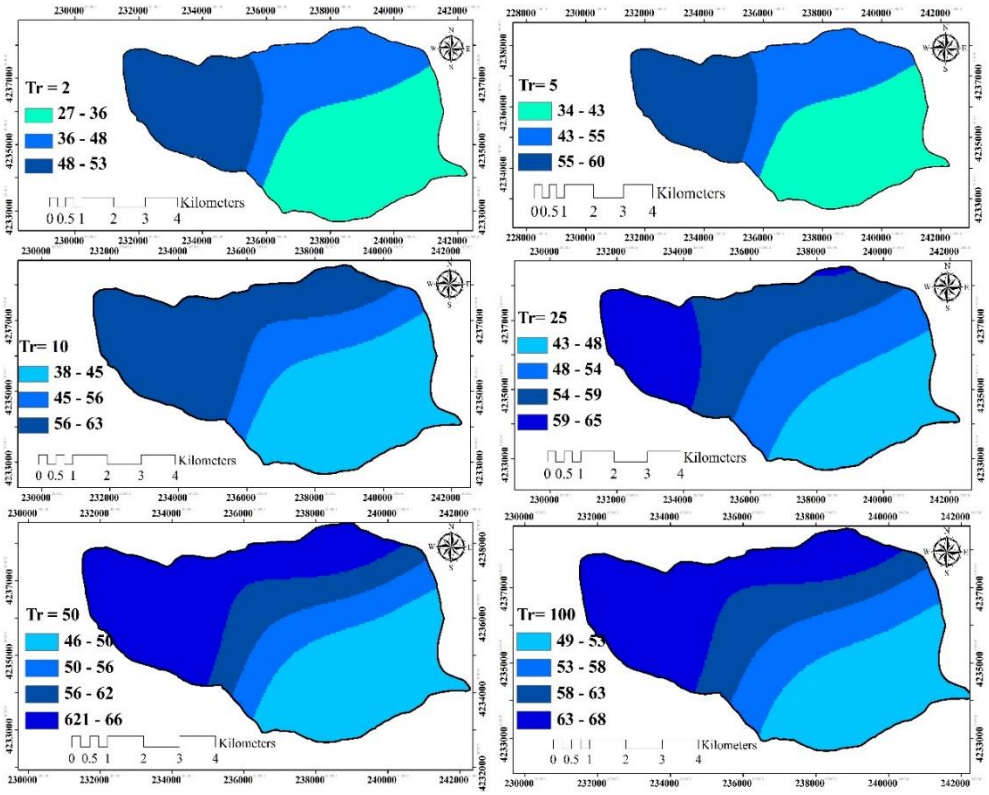
نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که روش کوکریجینگ نرمال مناسب‌ترین روش غالب جهت درون-یابی حداکثر بارش روزانه در دوره‌های بازگشت مختلف می‌باشد. این موضوع با توجه به شرایط کوهستانی حاکم بر منطقه نشان دهنده آن است که ویژگی‌های توپوگرافیکی و فیزیوگرافی منطقه به شدت بر روی مقادیر بارش روزانه تاثیر گذار است چرا که بررسی روابط رگرسیونی نیز نشان داد که بارش روزانه با عامل ارتفاع از سطح دریا دارای رابطه رگرسیونی می‌باشد از این رو در روش کوکریجینگ دایره‌ای استفاده از متغییر کمکی ارتفاع سبب برآورد مناسب‌تر مقادیر بارندگی می-شود. نتایج بررسی ارتباط بارش با عامل ارتفاع از سطح دریا نشان می‌دهد که هر قدر دوره بازگشت کمتر باشد، این ارتباط بیشتر بوده و با افزایش دوره بازگشت حداکثر بارش روزانه میزان همبستگی بین بارش و عامل ارتفاع از سطح دریا نیز کمتر می‌شود. به‌طوری‌که همبستگی بین این دو عامل در دوره بازگشت ۲ سال، ۰/۷۸ و در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ۰/٤٥ می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که هر قدر دوره بازگشت حداکثر بارش روزانه افزایش یابد، تاثیر خصوصیات فیزیوگرافی حوضه بر نحوه پراکنش بارش کمتر می‌شود و همچنین تاثیر خصوصیات فیزیوگرافی بر مقدار بارش در مقایسه با تاثیر اقلیمی منطقه، کمتر می‌شود و شرایط اقلیمی غالب می‌شود.

جدول ۵- متوسط حداکثر بارش روزانه و مناسب‌ترین روش درون‌یابی.

دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
حداکثر بارش روزانه حوضه آتشگاه (mm)	۳۷/۵	٤۸/۱۹	۵۱/٤۹	۵۳/۳۲	٥٤/١٤	۵۷/٦۹
نوع روش	کوکریجینگ-دایره‌ای	کوکریجینگ-نرمال	کوکریجینگ-نرمال	کوکریجینگ-نرمال	کوکریجینگ-نرمال	کوکریجینگ-نرمال

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲- حداکثر بارش روزانه با دوره‌های برگشت مختلف (mm).

نتایج حاصله حاکی از آن است که در قسمت‌های شمال-غرب حوضه به‌دلیل حاکم بودن شرایط کوهستانی سبلان و افزایش ارتفاع تا مرز ۳٦۸۰ متری از سطح دریا میزان بارندگی افزایش می‌یابد. همچنین قسمت‌های شرقی حوضه (نزدیک خروجی) به دلیل ارتفاع کم و قرار-گیری دشت هموار اردبیل در این محدوده، مقدار بارندگی در اثر عدم وجود شرایط اروگرافیک کاهش می‌یابد. نتایج بررسی مدل‌های درون‌یابی و زمین آماری حداکثر بارش روزانه حوضه آبخیز اتشگاه نشان داد که مدل کوکریجینگ نرمال نسبت به سایر روش‌ها مناسب می-باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله جا دارد از حمایت مالی معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه محقق اربیلی تحت عنوان قرارداد طرح پژوهشی شماره ۱٤۸۸ قدردانی گردد.

منابع مورد استفاده

Amorim PBD, Frankel J, Tanaka M, Weiss H and Bernhofer B, 2013. Spatial interpolation of climatological information: Comparison of methods for the development of precipitation distribution in Distrito Federal, Brazil. Atmospheric and Climate Sciences 3: 208-217.

Bazgeer S, Oskuee EA, Hagigat M and Darban Astane AR, 2012. Assessing the performance of spatial interpolation methods for mapping precipitation data: A case study in Fars province, Iran. Trends in Applied Sciences Research 7: 467-475. (In Persian)

Chen T, Ren L, Yuan F, Yang X, Jiang S, Tang T, Liu Y, Zhao C and Zhang L, 2017. Comparison of spatial interpolation schemes for rainfall data and application in hydrological modeling. Water Journal 9(5): 343-361.

Coulibaly M and Becker S, 2007. Spatial interpolation of annual precipitation in South Africa - comparison and evaluation of methods. International Water Resources Association 32(3): 494-502.

www.SID.ir

Archive of SID

de Mello Cunha A, dos Santos GR, de Souza E, Trindade SF, Filho EIF, Lani JL and França MM, 2012. Kriging and Cokriging for spatial interpolation of rainfall in Espirito Santo State, Brazil. Pp. 97-102. Proceedings of the 10th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, 10-13th July, Florianópolis, SC, Brazil.

Fatemi Ghiri S and Yazdan Panah H, 2012. Evaluation of different interpolation methods in estimating rainfall data in Isfahan province. Quarterly Journal of Geographic Space 12(40): 46-63. (In Persian)

Ghahroodi Tali M, 2007. Geographic Information System in 3D Environment. Academic Center for Education, Culture and Research of Tarbiat Moallem Branch, 4th Edition 273 p. (In Persian)

Ghorbani Kh, 2012. Geographical weighting regression: A method for mapping rainfall patterns in Guilan province. Journal of Water and Soil 27: 752-753. (In Persian)

Hakim Doost SY, Poor Zeidi AM and Gerami MS, 2017. Spatial analysis of shower - precipitation in Mazandaran province in the geographic information system environment (GIS). Quarterly Journal of Geographic Information 26(102): 191-203. (In Persian)

Khosravi R, Homami MR and Malekian M, 2014. Comparison of geostatistics methods in determining the best method for interpolating biological data for modeling distribution of animal species in central Iran. Journal of Applied Ecology 3(8): 55-67. (In Persian)

Khosravi Y and Abbasi A, 2015. Spatial Analysis of Environmental Data with Geostatistics. Azer Celk Publication 282 p.

Liu Y, Hu Sh, Sheng D, Chang L and Jia M, 2016. Study of precipitation interpolation at Xiangjiang river basin based on geostatistical analysis, 24th International Conference on GeoInformatics. August 14 – 20, Galway, Ireland.

Merati A, Taheri Tizro A and Parsafar N, 2017. Qualitative zoning of groundwater resources using geostatistic methods and GIS (Case study: Soleymanshah basin). Water and Soil Science-University of Tabriz 27(2): 63-76. (In Persian)

Mirzayi S, Raoof M, Rasoulzadeh A and Pour Eskandar S, 2016. Simulating flood hydrograph of Atashgah basin river of Ardabil province using optimized rainfall pattern. Journal of Water and Soil Conservation 22(5): 63-80. (In Persian)

Mohammadi J, 2006. Pedometery, Volume II: Spatial Data. Pelk Publication. First Edition 184 p. (In Persian)

Moral, F.J.2010.Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: Application to precipitation. International Journal of Climatology 30: 620–631.

Mozaffari Gh, Mir Mousavi H and Khosravi Y, 2012. Evaluation of geostatistics and linear regression methods in determining the spatial distribution of precipitation (Case study: Bushehr). Journal of Geography and Development 27: 63-76. (In Persian)

Rabi'e MR and Esmailian M, 2015. SPSS Comprehensive Guide. Dibagaran Publication, 2th Edition 356 p. (In Persian)

Sadeghi SH, Nouri H and Faramarzi M, 2017. Assessing the spatial distribution of rainfall and the effect of altitude in Iran (Hamadan Province). Air, Soil and Water Research 10: 1-7. (In Persian)

Safarrad T, Faraji Sabokbar H, Azizi Gh and Abbaspour R, 2013. Spatial analysis of precipitation changes in middle Zagros using geostatistics method. Journal of Geography and Development 31: 149-163. (In Persian)

Saghafian B, Razmkhah H and Ghermez Cheshmeh B, 2011. Investigating regional variations of annual precipitation user statistics (Case study: Fars province). Journal of Water Resources Engineering 4(9): 29-38. (In Persian)

Soofi rahimi M, Fakheri fard A, Dinpajooh Y, Asadi E and Ghorbani MA, 2015. Regional analysis of the maximum annual river flow data in east Azarbaijan province rivers using the L-moments method. Water and Soil Science-University of Tabriz 25(3): 253-265. (In Persian)

Stein A and Corsten LCA, 1991. Universal Kriging and Cokriging as regression procedures. Biometrics 47: 575 -587.

Vicek O and Huth R, 2009. Is Daily precipitation Gamma-distributed? Adverse effects of an incorrect use of the Kolmogorov–Smirnov test. Atmospheric Research 93: 741-758.

Vicente- Serrano SM, Saz-S´anchez MA and Cuadrat JS, 2003. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro valley (Spain): Application to annual precipitation and temperature. Climate Research 24: 161- 180.

www.SID.ir

Archive of SID

Zhang M, Leon C, Migliaccio K. 2018. Evaluation and comparison of interpolated gauge rainfall data and gridded rainfall data in Florida, USA. Hydrological Sciences Journal 63(4): Published online.

www.SID.ir