

واژه های کلیدی: ایران، بارندگی، بازسازی، توزیع مکانی، همگن بندی

مقدمه

در بسیاری از مطالعات و بررسی های منابع آب و هیدرولوژی، به دلیل عدم پوشش کامل ایستگاههای اندازه گیری نقطه ای باران، برآورد بارش در سطح منطقه و یا برآورد بارش در مناطق مابین ایستگاهها امری ضروری است. اصولاً شبیه سازی توزیع مکانی بارش در مناطق هموار و دشت عمدتاً در دو محور طول و عرض قابل انجام است، ولی در مناطق کوهستانی این پدیده، دارای تغییرات سه بعدی بوده به گونه ای که برآورد در امتداد ارتفاع نیز بایستی صورت گیرد. برای برآورد توزیع مکانی بارندگی روش های گوناگونی وجود دارد که در بیشتر موارد یکی از روش های موجود به دلخواه کارشناس انتخاب و مورد استفاده قرار می گیرد که ممکن است دارای برآورد دقیقی نباشد. امروزه روش های کلاسیک میانبایی نظیر روش پلیگون تیسن، عکس مجذور فاصله و هیپسومتریک به دلیل ضعف در برآورد مکانی بارندگی، کمتر مورد استفاده قرار می گیرند [۳]. در صورتی که روش های زمین آماری مانند کریجینگ به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده ها کاربرد بیشتری دارند. از سوی دیگر روش هایی نظیر تین پلات اسموتینگ اسپیلاینز^۳ (TPSS) و میانگین متحرک وزنی (WMA) نیز به دلیل در نظر گرفتن موقعیت داده ها، می توانند برآوردهای مناسبی ارائه نمایند.

برای توزیع مکانی، گوارتس [۶] روش های کریجینگ ساده، کریجینگ با روند خارجی و کوکریجینگ را برای بارندگی سالانه و دمای ۳۶ ایستگاه کلیماتولوژی در ناحیه ای به وسعت ۵۰۰۰ کیلومتر مربع در پرتغال بررسی کرد. در مقایسه این سه روش با روش های عکس مجذور فاصله، رگرسیون خطی با ارتفاع، تیسن و کریجینگ معمولی با استفاده از تکنیک اعتبار یابی تقاطعی^۴ (CV) روش کریجینگ ساده مناسبترین روش شناخته شد. پرایس و همکاران [۹] برای میانبایی مکانی دما و بارندگی ماهانه و سالانه در غرب و شرق کانادا دو روش TPSS و روش عکس مجذور فاصله همراه با گرادیان (GIDS) را بررسی کردند. مقدار جذر خطای میانگین مربعات از روش TPSS در هر دو ناحیه کمتر از روش

بررسی اثر همگن بندی منطقه ای و بازسازی داده ها در شبیه سازی توزیع مکانی بارندگی سالانه (مطالعه ی

موردی: جنوب غرب ایران)

جهانگیر پرهت^۱ و سیمارحیمی بندرآبادی^۲
 تاریخ دریافت: ۸۵/۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۸۷/۹/۱۲

چکیده

بارش به عنوان مؤلفه ی اصلی ورودی حوزه های آبخیز در محاسبات سیلاب، بیلان آبی و منابع آب از اجزاء مهم می باشد. در مدل های بارش- رواناب، شبیه سازی واکنش حوزه در برابر یک واقعه ی بارش نیاز دقیق به مقدار بارش در سطح حوزه ی آبخیز دارد. بنابراین توزیع مکانی بارش از اهمیتی ویژه برخوردار است. اندازه گیری بارش به گونه ی معمول به صورت نقطه ای و محدود به بخش هایی از حوزه ی آبخیز می باشد. لذا تعمیم داده های نقطه ای به سطح به دلیل تغییرات مکانی زیاد آن، با خطای زیادی همراه است. این منبع خطا هم در مدل بارش- رواناب و هم در شبیه سازی فرآیندهای پیوسته هیدرولوژیکی و بیلان آبی یکی از مهمترین منابع خطا به شمار می آید. روش های گوناگونی برای درون یابی و برون یابی داده های بارش توسعه یافته است که هر یک دارای محدودیتی بوده و در نتیجه بکارگیری آنها نیاز به آزمون و ارزیابی همه ی روش ها و انتخاب مناسب ترین روش دارد. در این پژوهش منطقه ی وسیع جنوب غرب ایران به وسعت ۲۵۸۵۵۲ کیلومتر مربع انتخاب و سپس با تعیین مناطق همگن، امکان بکارگیری روش های گوناگون درون یابی و برون یابی در این مناطق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان می دهد که همگن بندی در بهبود روابط تعمیم داده های نقطه ای به سطح مؤثر است. ضمن اینکه استفاده از داده های بازسازی شده کمکی در بهبود نتایج نخواهد داشت. با این کار می توان منطقه ی وسیع را به مناطق کوچک همگن تقسیم و سپس در هر منطقه تعمیم داده های نقطه ای به سطح را انجام داد.

۱ - نویسنده مسئول و استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور Porhemmat@scwmri.ac.ir

۲ - مربی پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری rahimi_s@scwmri.ac.ir

3- Thin Plate Smoothing Splines

4- Cross Validation

GIDS بود. البته هر دو روش در نواحی شرقی (آنتاریو و کبک)، که تغییرات توپوگرافی و اقلیمی ملایم تری دارند، نتایج بهتری نسبت به نواحی غربی ارائه کرده اند.

هارگراو [۷] از روش TPSS با حالت های تنش^۱ و هموار برای برآورد بارندگی در سوئیس استفاده کرد. برآوردها با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع و بدون آن انجام شد که هر دو نتایج مشابهی داشته اند. کستون و هاجینسن [۸] برای بررسی تغییرات و نوسان های اقلیمی قاره ای و منطقه ای و مدل سازی توزیع مکانی این تغییرات، در قاره ی اقیانوسیه روش TPSS را برای داده های دما و فشار ماهانه، برای دوره های ژانویه ۱۹۵۲ تا دسامبر ۱۹۹۰ استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که تغییر شایان توجهی در اقلیم قاره ی اقیانوسیه در این دوره دیده می شود.

رحیمی بندرآبادی [۳] کاربرد روش های زمین آماری را در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد برای برآورد بارندگی ماهانه و سالانه، روش TPSS با توان ۲ و با متغیر کمکی ارتفاع روشی مناسب است. پرهت [۱] نیز در مقیاس روزانه، توفان و سالانه روش های زمین آمار را در بخشی از حوزه کارون مورد مقایسه قرار داد و نتیجه گیری نمود که خطای شایان توجهی در نتایج همه ی این روش ها برای مناطق کوهستانی وجود دارد. وی پیشنهاد نمود که تکرار بیشتری صورت گیرد. مهدوی و همکاران [۵] کاربرد روش های زمین آماری را در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد برای برآورد بارندگی ماهانه و سالانه روش TPSS با توان ۲ و با متغیر کمکی ارتفاع روش مناسبی می باشد. رحیمی و مهدیان [۴] نیز پژوهشی را برای بررسی توزیع مکانی بارندگی روزانه و ماهانه در حوضه دریای خزر انجام دادند. نتایج آنها بیانگر ارجحیت روش TPSS برای هر دو مقیاس روزانه و ماهانه بود.

ثقفیان و همکاران [۲] اثر تراکم ایستگاه و تفکیک منطقه ای در برآورد توزیع مکانی بارندگی روزانه را بر روی بارندگی جنوب غرب ایران مورد بررسی قرار داده و نتیجه گیری نمودند که در روش TPSS مناسب تر است. با این حال تأکید نمودند که با توجه به نزدیک بودن نتایج برخی معیارهای مقایسه، انتخاب روش مناسب به هدف، دقت و زمان محاسبه وابسته است.

براون و کمری [۱۰] توزیع مکانی بارندگی زمستانه آریزونا و نیومکزیک را با استفاده از الگوریتم های عکس فاصله و کریکینگ مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که این روش ها تغییرات بارندگی را با ضریب R2 حدود ۰/۶۳، خطای میانگین ۱/۴ میلی متر و مجذور میانگین مربعات خطا حدود ۲۷ میلی متر در این منطقه برآورد نموده اند که دارای دقت متوسطی برای برآورد بارش در سطح می باشد. لویکاسزا [۱۱] نشان داد که بارندگی دارای تغییرات مکانی و زمانی زیادی می شد، وی با بکارگیری ۸۱۶ ایستگاه

1- Tension

باران سنجی در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ در اروپا و مناطق مرزی مجاور آن روش کریکینگ معمولی را برای بارش سالانه توصیه نمود. وی با این حال اعلام نمود که انتخاب بهترین روش درون یابی برای بارش، موضوعی دشوار است و نیز مقدار خطای پیش بینی ویژگی های آماری در روش های گوناگون اختلاف شایان توجهی نشان نمی دهند. رنارد و کمبی [۱۲] ارزیابی روش های درون یابی در توزیع مکانی بارش را در مقیاس های زمانی گوناگون براساس ۵۲ ایستگاه باران سنجی در محدوده ۴۶۰ کیلومتر مربعی منطقه شهری گریترلیون اروپا انجام و براساس داده های تراکم قابل دسترس نتیجه گیری نمودند که روش وزنی عکس فاصله و کریکینگ معمولی نسبت به سایر روش ها در برآورد از دقت بیشتری برخوردارند و به ترتیب با ۸/۵ و ۷/۵ درصد مقادیر مشاهده ای شاهد را برآورد نموده اند. در این کار ارزیابی از دقت برون یابی روش ها صورت نگرفته است. رنارد و همکاران [۱۳] در سه حوزه شامل یک حوزه ی شهری با تراکم یک ایستگاه در هر ۱۰ کیلومتر مربع، یک حوزه ی روستایی با وسعت ۵۵۰۰۰ کیلومتر مربع و تراکم بسیار اندک ایستگاهی (جمعاً تعداد ۱۳ دستگاه در کل محدوده) و یک حوزه با سرشاخه های زیاد در منطقه آتلانتیک شمالی، به ارزیابی روش های وزنی عکس فاصله و اسپیلاین به عنوان روش تعیینی و روش های کریکینگ معمولی و درون یابی چند جمله ای جهانی (GPI) به عنوان روش استوکستیک در تخمین توزیع مکانی بارش پرداختند. در این پژوهش تفاوت معنی داری بین روش های گوناگون مشاهده گردید. همچنین، نتایج به نظر می رسد که روش های استوکستیک از دقت بیشتری نسبت به روش های تعیینی برخوردار بوده اند. با وجود اینکه روش کریکینگ مناسب تر از بقیه بوده، ولی روش درون یاب GPI به دلیل سهولت کار توصیه شده است. سگاند و همکاران [۱۴] برای دستیابی به توزیع مکانی و زمانی بارش در مقیاس ساعتی بر اساس داده های بارش روزانه ایستگاهی نتیجه گیری نمودند که مقادیر حدی بارش به خوبی برآورد نشده و نیاز به کارهای بیشتری می باشد.

با این وصف در این پژوهش سعی شده است تا با توجه به ابهامات ذکر شده در مورد شبیه سازی توزیع مکانی بارش در مناطق کوهستانی روش های گوناگون زمین آمار با استفاده از تقسیم منطقه به مناطق همگن و نیز استفاده از تعداد ایستگاه بیشتری (با بازسازی و تکمیل داده های آنها) شبیه سازی توزیع مکانی بارش مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور روش های TPSS، میانگین متحرک وزنی و کریجینگ در تحلیل توزیع مکانی بارش سالانه جنوب غرب کشور به کار گرفته می شود. هم چنین، روش تحلیل خوشه ای برای تعیین مناطق همگن بر اساس پارامترهای گوناگون از جمله عامل اقلیم انجام می گیرد. ضمن آنکه تأثیر بازسازی داده ها برای استفاده از تعداد ایستگاه بیشتر نیز بررسی می گردد. در آخر نتیجه همگن بندی و بازسازی داده ها با هم و به گونه ی مجزا در بهبود توزیع مکانی بررسی خواهد شد.

مواد و روش ها

۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه ی مورد مطالعه شامل حوزه های آبخیز کرخه، کارون بزرگ، هندیجان- جراحی، شاپور- دالکی و مند ششپیر به همراه نواری از حوزه های مجاور می باشد. شکل (۱) موقعیت این محدوده را در نقشه ایران و در ابر حوزه خلیج فارس نشان می دهد. این منطقه در حدفاصل طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۲ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه تا ۳۲ درجه شمالی قرار دارد و نیز در حد فاصل تراز ارتفاعی سطح آزاد آب دریا در محدوده ساحل شمالی خلیج فارس تا ارتفاعات ۴۴۲۰ متری زاگرس در قله دنا واقع شده است. با این وصف اقلیم های موردی در این محدوده شکل گرفته است.

۲- داده ها و روش های مورد استفاده

برای بررسی اثر همگنی ابتدا ایستگاههای محدوده شناسایی و موارد دارای آمار جدا شدند. در محدوده پژوهش تعداد ایستگاههای دارای آمار ۱۵۰ ایستگاه بوده که برای بررسی در یک دوره آماری مشترک ۲۵ ساله (از ۱۳۵۳ تا ۱۳۷۷) مورد استفاده قرار گرفته اند. برای بازسازی داده ها در صورت لزوم نیز از همبستگی بین ایستگاهها استفاده گردید.

سپس نقشه ی اقلیم منطقه تهیه و بر اساس پهنه های اقلیمی منطقه تقسیم و ایستگاههای هر کدام تعیین گردید. پس از آن آنالیزهای کمی و کیفی داده ها و بازسازی و تطویل آنها انجام گردید. همچنین، با توجه به وضعیت ایستگاهها و داشتن خلاءهای آماری فراوان در برخی ایستگاهها، وضعیت داده های بازسازی شده و تأثیر آنها مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار داده ها در دو حالت مورد بررسی قرار گرفت. حالت نخست از کلیه ایستگاههای موجود در منطقه شامل ایستگاههای دارای آمار کامل و ایستگاههای دارای نقص آماری (تعداد ایستگاههای مورد استفاده ۱۵۰ ایستگاه) استفاده گردید. در حالت دوم فقط از ایستگاههای دارای آمار کامل استفاده شد (۵۶ ایستگاه). شکل (۲) موقعیت این ایستگاهها را در هر دو حالت نشان می دهد. در مرحله بعد با استفاده از روش های درون یابی از جمله روش های زمین آمار تحلیل مکانی بارش سالانه با شرایط مختلف همگن بندی منطقه براساس اقلیم و نیز با استفاده از ایستگاههای دارای کمبود آمار و تکمیل شده با بازسازی صورت گرفت.

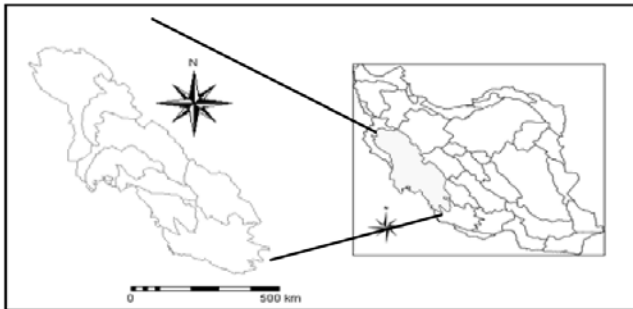
۳- روش های زمین آمار مورد استفاده

روش های زمین آمار مورد استفاده شامل کریجینگ، کوکریجینگ، TPSS و WMA که مختصراً توضیح داده می شوند:

۳-۱- روش کریجینگ

در روش کریجینگ اگر $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده ی متغیر در موقعیت x_i و $Z(x_i+h)$ مقدار مشاهده شده ی متغیر در فاصله ی h از x_i باشد، معادله های کریجینگ به صورت زیر است:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot c_{i,j} - \mu = c_{oj} \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (1)$$



شکل ۱ - محدوده پژوهش در نقشه ایران

که در آن $C_{i,j}$ مقدار هم تغییرنا بین نمونه ها، C_{oi} مقدار هم تغییرنا بین نقطه مورد نظر با داده ها، λ_i وزن داده ها و μ میانگین داده ها است. این دستگاه معادله ی خطی را می توان به صورت حاصل ضرب ماتریسی نوشته و از روش های ماتریسی دستگاه معادله ها را حل کرد.

برای محاسبه ی اوزان مقادیر مشاهده ای در روش کریجینگ، نیاز به تحلیل نیم تغییرنا می باشد. محاسبه ی منحنی نیم تغییرنا از مهم ترین عملیات زمین آمار می باشد که از راه معادله ی (۱) بدست می آید:

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

که در آن $\gamma(h)$ مقدار نیم تغییرنا برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند، $n(h)$ تعداد زوج نقاط، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده ی متغیر در موقعیت x_i و $Z(x_i+h)$ مقدار مشاهده شده ی متغیر که در فاصله ی h از x_i قرار دارد.

۳-۲- روش TPSS

TPSS، که نوعی اسپلاین است، عبارت است از صفحه ی نازک قابل ارتجاعی که از نقاط داده، با جهش های عمودی عبور می کند. برای بدست آوردن تابع کلی TPSS و به جهت داشتن بهترین تطابق منحنی با نقاط، معادله ی زیر باید کمینه شود:

$$\frac{\sum_{i=1}^n [y_i - F(x_i, y_j)]^2}{n\sigma^2} + \phi \int_0^1 F''(x)^2 dx \quad (3)$$

که در آن y_i مقدار مشاهده شده ی متغیر مورد نظر، $F(x_i, y_j)$ مقدار تابع در نقاط مشاهده شده، n تعداد داده ها، واریانس داده ها، $F(x)$ مشتق تابع $F(x_i, y_j)$ و ϕ پارامتر هموارسازی می باشد که عددی مثبت است. در برازش یک منحنی باید سعی شود که بهترین هموارسازی برقرار گردد. پارامتر θ ارتباط عبارت

1- Smoothing

هموارساز و تطابق چند جمله ای با نقاط داده ها را کنترل می کند. بدین ترتیب اگر θ بزرگ باشد، تلاش برای کمینه کردن معادله (۳) بیشتر بر روی عبارت هموارساز (عبارت دوم) متمرکز می شود و معادله از لحاظ هموارسازی قوی بوده، اما ممکن است فاقد تطابق خوبی با داده ها باشد.

۳-۳- روش میانگین متحرک وزنی^۱

از دیگر روش های میانبایی، روش میانگین متحرک وزن دار می باشد. در این روش نیز به نقاط دارای داده وزنی داده می شود که این وزن بر اساس فاصله ی بین نقاط می باشد. این اوزان توسط وزن و وزن دهی کنترل می شود، به گونه ای که توان های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه ی مورد برآورد را کاهش می دهند و توان های کوچکتر وزن ها را به طول یکنواخت تری بین نقاط همسایه توزیع می کنند. معادله ی روش WMA به صورت زیر می باشد:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (4)$$

که در آن λ_i اوزان روش WMA، D_i فاصله ی بین نقاط، n تعداد نقاط همسایگی می باشد.

۲-۴- معیارهای ارزیابی مورد استفاده

روش ارزیابی در این مطالعه، روش اعتبار سنجی تقاطعی می باشد [۳]. معیار ارزیابی روش ها نیز میانگین قدر مطلق خط^۲ و میانگین خطای انحراف^۳ است.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| \quad (5)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \quad (6)$$

که در آنها $Z^*(x)$ مقدار بارندگی برآورد شده در موقعیت مجهول x ، $Z^*(x_i)$ مقدار بارندگی مشاهده شده در موقعیت x_i ، MAE میانگین مطلق خطا و MBE میانگین خطای انحراف می باشد. اصولاً مناسبترین روش، دارای کمترین مقدار MAE و MBE می باشد.

نتایج و بحث

برای تحلیل ساختار و همبستگی مکانی داده ها آنالیز واریوگرامی مکانی در ۴ حالت شامل منطقه بندی بر اساس همگنی، یکپارچگی منطقه بدون همگن بندی و نیز شرایط بازسازی و شرایط بدون بازسازی برای انجام گردید. برای این کار نیاز به بررسی توزیع فراوانی داده ها و آزمون نرمال بودن آنها بود. توزیع داده ها نشان داد

- 1- Weighted Moving Average
- 2- Mean Absolute Error
- 3- Mean Bias Error

که در هر دو حالت توزیع داده ها نرمال نبوده و نیاز به نرمال سازی داشته اند. آزمون فرض نرمال بودن برای داده های حالت نخست نشان داد که لگاریتم داده های بارندگی و ریشه دوم داده های حالت دوم در سطح اعتماد ۹۰ درصد دارای توزیع نرمال می باشند.

سپس آنالیز نیم تغییرنمای بارندگی سالانه در هر دو حالت محاسبه و رسم گردید. جدول (۱) مشخصات نیم تغییرنمای بارندگی و نیم تغییرنمای متقابل بارندگی و ارتفاع را نشان می دهد. گفتنی است که در هر دو حالت نیم تغییرنما در انتها دچار تغییراتی شده است که می تواند بیانگر این باشد بارندگی در این منطقه دارای عدم ایستایی می باشد هر چند که به گونه ای کامل خود را نشان نداده است (شکل های ۲ و ۳).

پس از آنالیز نیم تغییرنما هر یک از روش های کریجینگ، کوکریجینگ، عکس مجذور فاصله با توان های ۲ تا ۴ و روش TPSS با توان های ۲ و ۳ در هر یک از دو حالت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج روش های گوناگون در هر دو حالت با معیارهای MAE ، MBE ، مجذور ضریب همبستگی مقادیر برآوردی با مشاهده ای (R^2) و درصد مقادیر MAE (که خارج قسمت مقدار MAE بر میانگین داده های مشاهده ای ضرب در ۱۰۰ می باشد) مقایسه گردیدند.

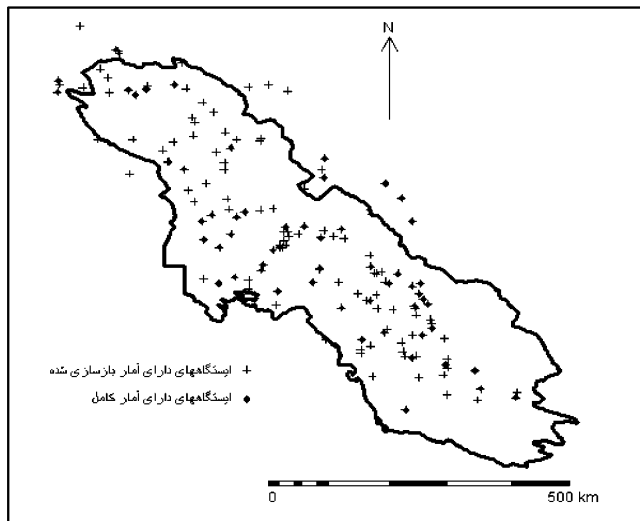
بررسی نتایج جدول (۲) نشان می دهد که در همه روش ها به جز روش WMA، میزان MAE و MBE و درصد خطا هنگام استفاده از داده های بازسازی نشده (حالت دوم) کاهش یافته است. در مورد روش WMA نیز مقدار مجذور ضریب همبستگی مقادیر برآوردی و مشاهده ای (R^2) در هنگام استفاده از داده های بازسازی شده کاهش یافته است. از سوی دیگر توان های ۳ و ۴ این روش در حالت دوم، که دقت بیشتری نسبت به توان ۲ ارائه کرده اند، مقدار MBE کمتری نسبت به حالت اول دارند. بنابراین به نظر می رسد که در مجموع در حالت دوم میزان خطای برآورد کاهش یافته است. این کاهش خطا در روش TPSS، که کم خطاترین روش در بین روش های مورد بررسی می باشد، حدود ۶ درصد می باشد.

همان گونه که پیشتر گفته شد، نتایج آنالیز واریوگرامی در کل منطقه نشان دهنده ایستایی اندک داده ها می باشد. همچنین به دلیل وسعت منطقه و اثری که بر روی میانبایی و تغییرات مکانی داده ها دارد، منطقه به واحدهای همگن تقسیم گردید. برای این منظور از روش تحلیل خوشه ای سلسله مراتبی^۴ (به دلیل مشخص نبودن تعداد گروه ها از قبل) استفاده گردید. در این روش با محاسبه ی فاصله ی هر فرد از سایر افراد شروع و سپس گروه ها بر اساس فرآیند تجمعی یا تقسیمی تشکیل می شوند. پس از تعیین فاصله که معمولاً به یکی از روش های اقلیدسی، مربع اقلیدسی و چند روش شناخته شده دیگر اندازه گیری می شود گروههای همگن با یکی از روش های نزدیکترین همسایه، ارتباط بین گروه ها، دورترین

4- Hierarchical Cluster Analysis

همسایه، میانه و واردس^۱ استخراج می گردد.

برای آزمون درستی گروه بندی از روش تحلیل تابع تشخیص^۲ استفاده گردید. نتایج آنالیز خوشه ای بر روی هر دو حالت داده ها نشان می دهد که در حالت اول ایستگاههای منطقه به سه دسته و در حالت دوم ایستگاهها به دو دسته تقسیم گردیدند. شکل (۴) موقعیت ایستگاهها را در این تقسیم بندی نشان می دهد. بنابراین هر یک از روش ها در حالت نخست در سه منطقه و برای حالت دوم در دو منطقه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. جدول (۳) نتایج بررسی روش های گوناگون را در هر یک از واحدها و در دو حالت گوناگون نشان می دهد. مقایسه ی مقادیر متوسط MAE و MBE در هر یک از روش ها نشان می دهد که در هنگام بررسی روش ها در واحدهای همگن نیز استفاده از داده های بازسازی شده خطای برآورد را افزایش داده است. به گونه ای که میانگین مقدار MAE در سه منطقه ی همگن در حالت نخست برای روش های گوناگون بین ۶۶/۶ (روش TPSS) و ۸۷/۱ میلیمتر (روش WMA-4) تغییر می کند. این مقدار برای حالت دوم داده ها نیز بین ۵۷/۴ (روش TPSS) و ۷۰ میلیمتر (روش WMA-3) تغییر می کند. لذا به نظر می رسد که استفاده از داده های بازسازی شده باید با دقت بیشتری صورت گیرد و در صورتی که تراکم داده ها مناسب می باشد از

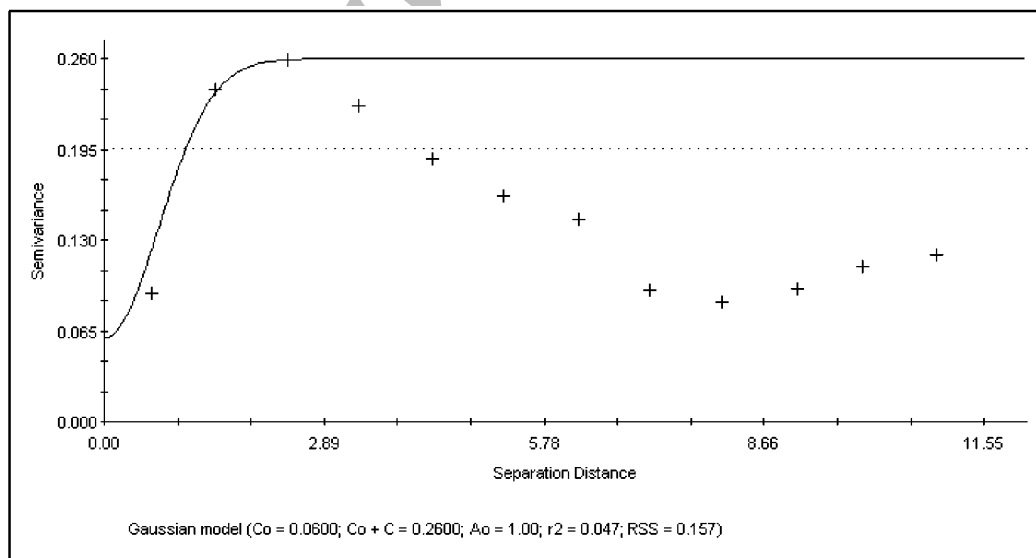


شکل ۲ - موقعیت ایستگاههای مورد استفاده

ایستگاههایی که نیاز به بازسازی در سال های زیادی دارند استفاده نشود. استفاده از داده های بازسازی شده در مناطقی که تراکم داده ها کم می باشد می تواند به برآوردها کمک نماید در غیر این صورت ممکن است باعث افزایش خطای برآوردها گردد. در مرحله بعد، برای بررسی تأثیر دما در همگن سازی داده ها، از

جدول ۱ - ویژگی های نیم تغییرنمای بارندگی سالانه در منطقه ی مورد مطالعه

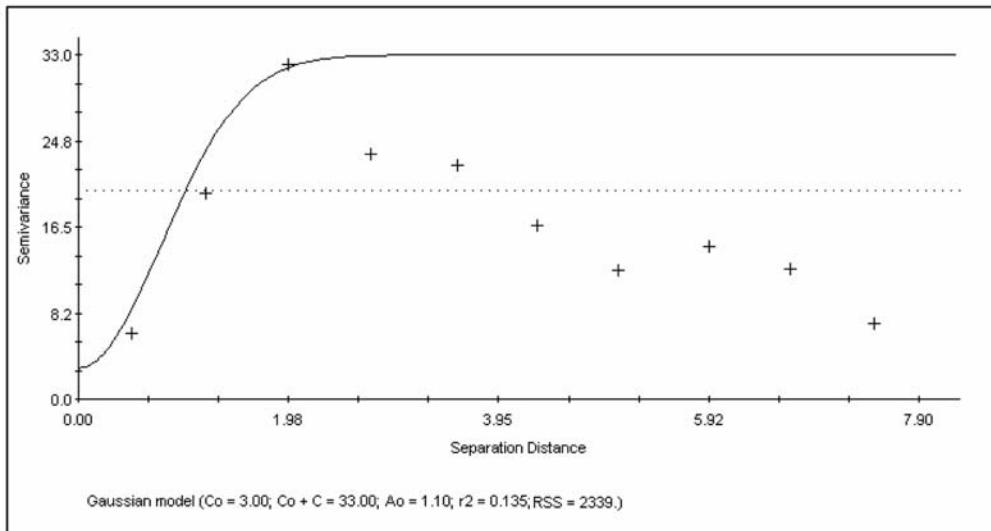
نیم تغییرنمای متقابل بارندگی و ارتفاع				نیم تغییرنمای بارندگی				
مدل	(degree) R	Sill	CO	مدل	R	Sill	CO	پارامترها
گوسی	۱/۰	۱۴۵	۴۰	گوسی	۱/۰	۰/۲۶	۰/۰۶	حالت نخست
گوسی	۱/۷	۲۱۰۰	۱۰۰	گوسی	۱/۱	۳۳	۳	حالت دوم



شکل ۲ - نیم تغییرنمای بارندگی سالانه در حالت نخست داده ها

1-Ward's

2-Discriminate Function Analysis



شکل ۳ - نیم تغییر نمای بارندگی سالانه در حالت دوم داده ها

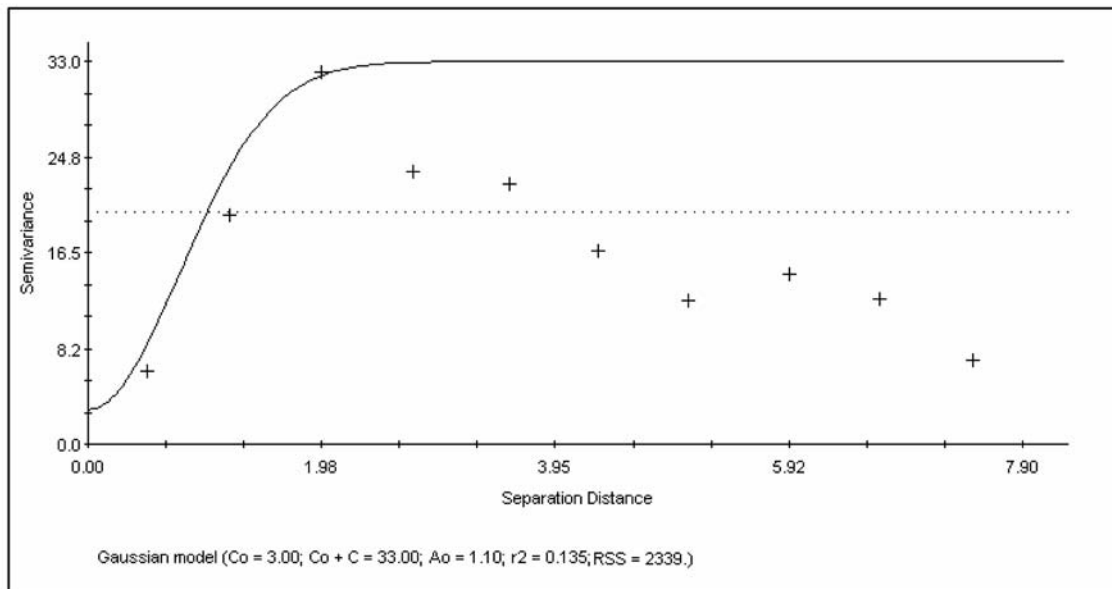
تقسیم نماید، استفاده از این فاکتور می تواند مناسب باشد. در غیر این صورت افزایش دقت حدود ۲ درصد بوده که قابل چشم پوشی می باشد.

از سوی دیگر، برای مقایسه ی روش های تقسیم منطقه به واحدهای همگن، تقسیم منطقه به روش آنالیز خوشه ای با تقسیم منطقه با استفاده از اقلیم منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این کار ابتدا با استفاده از نقشه ی اقلیم منطقه واحدهای اقلیمی عمده مجزا گردید. بر این اساس منطقه به چهار واحد اقلیمی خشک، نیمه خشک، نیمه مرطوب و مدیترانه ای و مرطوب و خیلی مرطوب تقسیم گردید (شکل ۶). سپس هر یک از روش های مورد استفاده در این طرح در هر یک از این واحدها و با استفاده از داده های حالت اول، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی روش های گوناگون در واحدهای اقلیمی منطقه در جدول (۵) ارائه شده است. گفتنی است که میانگین بارندگی در هر یک از واحدهای ۱ تا ۴ به ترتیب برابر

این فاکتور نیز برای انجام آنالیز کلاستر استفاده گردید. برای این کار فقط از داده های حالت دوم استفاده شد. شکل (۵) تقسیم منطقه با استفاده از آنالیز کلاستر و با کمک داده های بارندگی و طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و دما را نشان می دهد. در مرحله بعد آنالیز نیم تغییر نما و روش های گوناگون در هر سه واحد اجرا گردید و مقادیر MAE و MBE آنها استخراج شد (جدول ۴). مقایسه مقادیر جداول (۳) و (۴) نشان می دهد که در روش کریجینگ و روش TPSS-2 مقدار خطا کاهش یافته است، به گونه ای که خطای روش کریجینگ از ۱۵/۲ درصد به ۱۳/۷ درصد و خطای روش TPSS از ۱۳/۲ درصد به ۱۱/۵ درصد رسیده است، اما در روش کوکریجینگ این خطا اندکی افزایش داشته است (حدود ۱۰۰ متر). از سوی دیگر در این تقسیم بندی در یک منطقه تعداد نقاط کم بوده که می تواند در نتایج و دقت آنها تأثیر بگذارد. لذا در صورتی که استفاده از دما تعداد طبقات را به گونه ای که تعداد داده ها در هر طبقه قابل قبول باشد،

جدول ۲- نتایج بررسی روش های گوناگون میان یابی بارندگی سالانه در محدوده ی پژوهش و در دو حالت گوناگون

حالت دوم (داده های مشاهده ای و بازسازی)				حالت اول (فقط داده های مشاهده ای)				روش
MAE%	R ²	MAE	MBE	MAE%	R ²	MAE	MBE	
۱۷/۷	۰/۵۴	۷۶/۹	-۶/۹	۱۸/۱	۰/۲	۸۷/۱	-۱۹/۵	کریجینگ
۱۷/۴	۰/۵۲	۷۵/۷	-۷/۷	۱۷/۶	۰/۴	۸۴/۶	-۱۰/۷	کوکریجینگ
۲۱/۵	۰/۰۱	۹۳/۴	۴/۳	۱۹/۷	۰/۰۱	۹۴/۸	-۱/۲	WMA-2
۲۰/۰	۰/۳۰	۸۷/۲	۱/۰	۱۹/۴	۰/۲	۹۳/۲	-۳/۴	WMA-3
۲۰/۰	۰/۳۰	۸۷/۲	۱/۰	۱۹/۴	۰/۳	۹۳/۴	-۴/۵	WMA-4
۱۰/۷	۰/۸۰	۴۶/۵	-۰/۹	۱۷/۲	۰/۶	۸۲/۸	۶/۲	TPSS-2
۲۴/۴	۰/۵۰	۱۰۶/۱	-۲۴/۴	۲۱/۹	۰/۴	۱۰۵/۲	۸/۷	TPSS-3



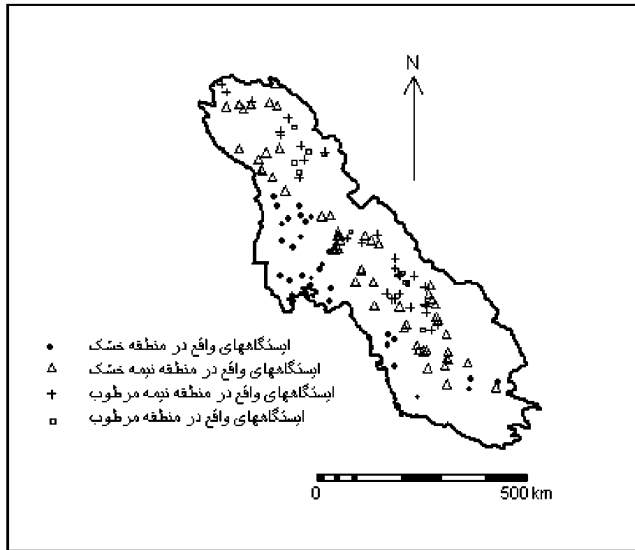
شکل ۴ - نتایج آنالیز کلاستر در دو حالت داده الف) داده‌های بدون بازسازی ب) داده‌های بازسازی شده

کلاستر خطای کمتری را ارائه می‌نماید (جدول ۳ و ۵). تقسیم منطقه با روش آنالیز کلاستر باعث کاهش خطا در حدود ۱۱ درصد می‌گردد.

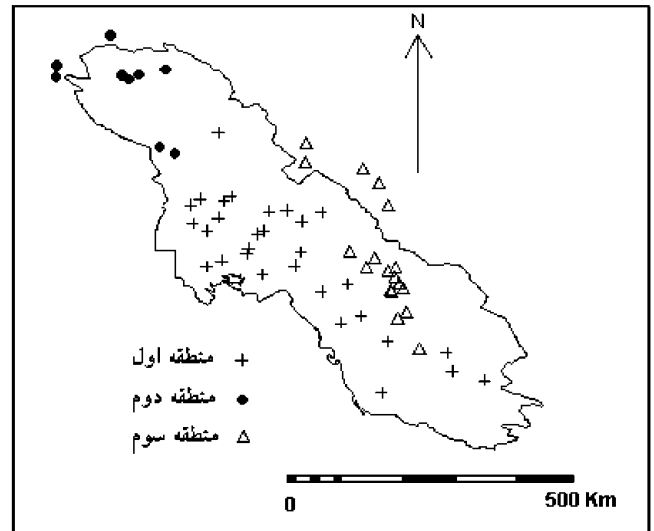
۲۷۲، ۴۷۶، ۶۲۶ و ۸۴۹ میلیمتر است. نتایج بررسی روش‌های گوناگون در تقسیم منطقه به روش آنالیز کلاستر با نتایج روش‌ها در واحدهای اقلیمی نشان می‌دهد که در مجموع تقسیم منطقه با آنالیز

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های گوناگون در هر یک از واحدهای همگن و با دو حالت گوناگون

منطقه سوم			منطقه دوم			منطقه اول			روشها	
MBE	MAE	R2	MBE	MAE	R2	MBE	MAE	R ²		
۱۷/۳۶	۹۸/۴۸	۰/۳۹	۳/۱۹	۴۰/۸۳	۰/۶۵	-۱/۶۴	۶۷/۹۸	۰/۵۷	کریجینگ	حالت نخست
۱۴/۸	۱۰۲/۹۲	۰/۳۵	۱/۹۴	۴۱/۳۷	۰/۶۳	-۰/۵۰	۶۹/۳۰	۰/۵۴	کوکریجینگ	
۲۲/۸۲	۱۰۱/۲۹	۰/۳۷	-۰/۶۶	۴۸/۱	۰/۵۴	-۵/۵	۷۲/۴۸	۰/۵۵	WMA-2	
۲۲/۰۳	۱۰۲/۹۱	۰/۳۷	-۰/۵۷	۴۸/۱۵	۰/۵۳	-۲/۰۴	۶۹/۳۸	۰/۵۶	WMA-3	
۲۱/۶۱	۱۰۴/۳۳	۰/۳۶	-----	-----	-----	-۰/۱۸	۶۹/۸۰	۰/۵۷	WMA-4	
-۱۸/۱	۹۱/۹	۰/۴۶	۶/۹۱	۴۶/۸۳	۰/۶	-۱/۵۷	۶۱/۲۰	۰/۶۷	TPSS-2	
-۱۸/۶	۹۵/۵	۰/۳۷	۷	۴۸/۲	۰/۵	-۱/۸	۶۵/۱	۰/۵۲	TPSS-3	
			-۱/۶۳	۸۶/۲۵	۰/۶۸	۴/۰۴	۴۵/۷	۰/۴۵	کریجینگ	حالت دوم
			-۰/۲۸	۸۴/۱۷	۰/۷	۱/۰۲	۴۶/۳	۰/۴۵	کوکریجینگ	
			-----	-----	-----	۱۱/۶۱	۵۰/۲۱	۰/۳۸	WMA-2	
			-۱۱/۹۱	۸۷/۵۶	۰/۶۵	۴/۷۴	۵۲/۲۱	۰/۳۸	WMA-3	
			-۶/۰۳	۸۵/۳۱	۰/۶۵	۱/۹۷	۵۳/۶۳	۰/۳۸	WMA-4	
			-۲/۴	۷۸/۵	۰/۷۵	-۵/۵	۳۶/۲۶	۰/۵	TPSS-2	
			-۳/۹	۸۰/۲	۰/۶	-۶	۴۲/۲	۰/۴	TPSS-3	



شکل ۶ - گروه بندی ایستگاههای منطقه بر اساس طبقه بندی اقلیمی



شکل ۵ - تقسیم منطقه با استفاده از روش کلاستر و با کمک دما

جدول ۴ - نتایج بررسی روش های گوناگون را در هر یک از واحدهای تقسیم شده با کمک دما

منطقه ی سوم			منطقه ی دوم			منطقه ی نخست			روش ها
MBE	MAE	R ²	MBE	MAE	R ²	MBE	MAE	R ²	
۲/۵	۸۰/۶	۰/۷	-۰/۷	۴۱/۴	۱/۶	-۳/۱	۵۷/۱	۰/۸	کریجینگ
۱۱/۲	۷۷/۹	۰/۶	----	----	----	-۷/۴	۶۰/۵	۰/۸	کوکریجینگ
۳۹/۱	۹۹/۳	۰/۰۱	-۸/۳	۴۵/۵	۱/۱	-۲۴/۶	۸۵/۷	۰/۶	WMA-2
۲۷/۶	۹۱/۸	۰/۵	-۸/۸	۴۸/۵	۰/۶	-۱۵/۹	۷۹/۱	۰/۶	WMA-3
-۳۶/۱	۵۱/۱	۰/۷	----	----	----	۲/۱	۴۸/۸	۰/۸	TPSS-2

جدول ۵ - نتایج ارزیابی روش های گوناگون در هر یک از مناطق اقلیمی منطقه ی مورد مطالعه

میانگین	منطقه ی ۴		منطقه ی ۳		منطقه ی ۲		منطقه ی ۱		روش ها
	MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	MAE	
۴۶/۲	----	----	----	----	-۲/۶۶	۶۵/۸۵	۲/۵	۳۰/۴۶	کریجینگ
۴۴/۵۱	----	----	----	----	-۹/۶۴	۵۸/۹۲	۰/۷۵	۳۰/۱۰	کوکریجینگ
۷۸/۱	۱۱/۲	۹۸/۳	-۳۰/۴	۱۲۵/۱۱	-۱۳/۳۷	۵۸	۲/۲۵	۳۰/۹۷	WMA-2
۸۱/۶	۲۳/۳	۱۰۳/۸	-۳۲/۶	۱۳۰/۵	-۱۵/۷۳	۶۱/۴۶	۱/۵۶	۳۰/۶۷	WMA-3
۸۳/۷	۲۵/۶	۱۰۸/۳	-۳۲/۴	۱۳۲/۵	-۱۶/۸۷	۶۴/۲۰	۱/۸۶	۲۹/۸	WMA-4
۷۹/۹	-۱۱/۳	۱۱۴/۳	-۲۶/۱	۱۱۱/۶	-۱/۹۷	۶۴/۲۰	-۷/۷	۲۹/۴۵	TPSS-2
۸۱/۹	-۲۵	۱۱۶/۲	-۲۷	۱۱۵/۲	-۲/۲	۶۵/۵	-۸/۱	۳۰/۵۵	TPSS-3

روی هم رفته می توان نتایج حاصل از این پژوهش را به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- بررسی نیم تغییرنا نشان داد که بارندگی سالانه در کل منطقه دارای عدم ایستایی می باشد.

۲- نتایج ارزیابی روش های زمین آمار نشان داد که در همه ی روش ها به جز روش WMA، میزان MAE و MBE و درصد خطا هنگام استفاده از داده های بازسازی نشده (حالت دوم) کاهش یافته است. در مورد روش WMA نیز مقدار مجذور ضریب همبستگی مقادیر برآوردی و مشاهده ای (R^2) در هنگام استفاده از داده های بازسازی شده کاهش داشت. این حالت هم در روش یکپارچه و هم در حالت مناطق همگن مشاهده شد. بنابراین، تعداد ایستگاههای اضافه شده به کمک بازسازی داده ها نتایج را بهبود نداده است.

۳- نتایج نشان می دهد که تقسیم منطقه به واحدهای همگن اقلیمی باعث کاهش خطای برآورد توزیع مکانی بارندگی سالانه می گردد. بنابراین تقسیم محدوده بر اساس اقلیم در شبیه سازی توزیع مکانی بارندگی مؤثر واقع شده است.

۴- استفاده از داده های بازسازی شده باید با دقت بیشتری صورت گیرد و در صورتی که تراکم داده ها مناسب می باشد از ایستگاه هایی که نیاز به بازسازی در سال های زیادی دارند استفاده نشود. استفاده از داده های بازسازی شده در مناطقی که تراکم داده ها زیاد نیست می تواند به برآوردها کمک نماید، در غیر این صورت ممکن است باعث افزایش خطای برآوردها گردد.

۵- در تحلیل همگنی علاوه بر تقسیمات اقلیمی از مناطق همگن دمایی نیز استفاده شد. نتایج استفاده از عامل دما در تحلیل همگنی برای منطقه بندی نشان می دهد که استفاده از دما در طبقه بندی دقت را حدود ۲ درصد افزایش داده است. لذا در صورت در دسترس بودن این داده ها و نیز کافی بودن تعداد ایستگاهها در هر طبقه، استفاده از این عامل می تواند در تقسیم منطقه به واحدهای همگن مناسب واقع شود.

۶- نتایج مقایسه دو روش گوناگون برای تقسیم منطقه که شامل روش تحلیل خوشه ای و روش تقسیم بندی بر اساس واحدهای اقلیمی می باشد، نشان می دهد که در مجموع تقسیم منطقه با تحلیل خوشه ای خطای کمتری را دارا می باشد. تقسیم منطقه با روش تحلیل خوشه ای باعث کاهش خطا در حدود ۱۱ درصد گردیده است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح پژوهشی ارزیابی روش های درون یابی و برون یابی در برآورد توزیع مکانی بارش های پایه ی زمانی مختلف به شماره ثبت ۱۲-۰۵۰۳۳۵۰۰۰-۸۲ در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور می باشد، بدین وسیله از مدیریت و تمامی کارکنان آن مرکز به خاطر حمایت مادی و معنوی طرح

منابع

۱- پرهت، ج. ۱۳۸۲. ارزیابی مدل های درون یابی و برون یابی در توزیع مکانی بارش روزانه و سالانه، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس بین المللی عمران، JCCE2003، اصفهان، اردیبهشت ۸۲.

۲- ثقفیان، ب. رحیمی بندرآبادی، س. طاهری شهرآئینی، ح. و غیومیان، ج. ۱۳۸۳. اثر تراکم ایستگاه و تفکیک منطقه ای در برآورد توزیع مکانی بارندگی روزانه (مطالعه موردی بر روی بارندگی جنوب غرب ایران). مجله استقلال، شماره ۱، جلد اول، ۷۵-۵۹.

۳- رحیمی بندرآبادی، س. ۱۳۷۹. بررسی کاربرد روش های ژئواستاتستیک در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. ص ۱۵۰.

۴- رحیمی بندرآبادی، س. و مهدیان، م. ح. ۱۳۸۳. بررسی روش های توزیع مکانی بارندگی روزانه و ماهانه در حوضه دریای خزر. نشریه پژوهش و سازندگی (پذیرفته شده برای چاپ در شماره ۶۸).

۵- مهدوی، م. حسینی، ا. مهدیان، م. ح. و رحیمی بندرآبادی، س. ا. ۱۳۸۳. بررسی کاربرد روش های زمین آماری در برآورد بارندگی سالانه مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران. مجله منابع طبیعی، دانشگاه تهران، جلد ۵۷، شماره ۲، ۲۱۱-۳۲۴.

6- Goovaerts, P. 2000. Geostatistical Approach for Incorporating Elevation into Spatial Interpolation of Rainfall. Journal of Hydrology. 228(1-2):113-129.

7- Hargrove, W.W. 2001. Interpolation of Rainfall in Switzerland Using a Regularized Splines with Tension. Geographic Information and Spatial Technologies Group, Oak Ridge National Laboratory. Research. Esd. Ornl. Gov/~hnw/sic97.

8- Kestevn, J. and Hutchinson, M.F. 2001. Spatial Modeling of Climate Variable on a Continental Scale. Center for Resource and Environmental Studies Institute of Advanced Studies. Australian National University. jlk@cres.anu.edu.au.

9- Price, D.T., Mckenny, D.W., Nelder, I.A. Hutchinson, M.F. and J.L. A. Kestevn. 2000. Comparison of Two Statistical Methods for

13- Renard, F., Soto, D. and Sarr, A. 2007. Evaluation of rainfall spatial interpolation methods. Assessment on different places and times: a small urban area (France) a large rural water catchments (Senegal) and the northern Atlantic region, 7th EMS Annual Meeting, EMS 7, vol.4, EMS2007-A-00099.

14- Segond, M. L., Onof, C. and Wheater, H.S. 2006. Spatial temporal disaggregation of daily rainfall from a generalized linear model, Journal of Hydrology, No. 331, 674-689.

Interpolation. Canadian Monthly Mean Climate Data. Agriculture and Forest. 101(2-3):81-94.

10- Brown, D.P and Comrie, A.C. 2002. Spatial Modeling of winter temperature and precipitation in Arizona and New Mexico, Climate Research, Vol. 22, 115-128.

11- Lupikasza, E. 2006. Interpolation methods for precipitation fields in Europe, European Geosciences Union 2006, Vol.8, 06493.

12- Renard, F. and Comby, J. 2006. Evaluation of rainfall spatial interpolation methods: The case of The urban area of greater Lyon (France). URL:<http://www.cosis.net/abstracts/EMS05/0029>

Archive of SID