

مقایسه پهنه‌بندی بارش بر روی ایران با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی در یک حالت موردی

محمد امینی^۱، اکرم هدایتی دزفولی^{۲*}، مجید آزادی^۳

۱- کارشناس هواشناسی استان مرکزی

۲- مربی پژوهشکده هواشناسی

۳- دانشیار پژوهشکده هواشناسی

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۲۹)

چکیده

بارش یکی از عناصر مهم اقلیمی است که از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار است. از آن‌جا که تغییرات مکانی و زمانی این عنصر مهم اقلیمی بسیار با اهمیت است تقاضا برای تهیه اطلس‌های اقلیمی و بلند مدت آن اهمیت چشمگیری پیدا می‌کند. آگاهی از مقادیر این کمیت در کلیه مناطق کشور، ضرورت انجام فرآیند درون‌یابی را برای نقاط بدون داده (ایستگاه) آشکار می‌سازد. از اینرو ضمن مرور شش روش متداول درون‌یابی، شامل عکس مجذور فاصله، وایزش خطی چندگانه، گرادیان بعلاوه عکس مجذور فاصله، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کریجینگ جهانی، پهنه‌بندی بارش‌های میانگین ماهانه، فصلی و سالانه برای ۳۵۴ ایستگاه همدیدی اصلی، تکمیلی و فرودگاهی کشور در بازه زمانی تیر ۱۳۹۳ الی خرداد ۱۳۹۴ ارائه می‌شود. شایان گفتن است که این مطالعه با در نظر گرفتن تأثیر ناهمواری انجام شده است. با مقایسه این شش روش یاد شده درون‌یابی و نیز محاسبات میانگین مطلق خطا و ریشه میانگین مربع خطا مشاهده شد که روش گرادیان بعلاوه عکس مجذور فاصله نسبت به روش‌های دیگر از دقت بالاتری در برآورد بارش در نقاط مختلف کشور برخوردار است. همچنین روش عکس مجذور فاصله کمترین دقت را نیز داشته است. در اندازه‌گیری‌های بارش با مقادیر زیاد روش گرادیان بعلاوه عکس مجذور فاصله نسبت به سایر روش‌ها بهترین تخمین را داشته حال آن‌که در مناطق یا فصول با بارش کم روش کریجینگ جهانی بهترین برآورد را داشته و بقیه روش‌ها تقریباً از یک میزان خطا برخوردار بوده‌اند. محاسبات پهنه‌بندی بارش تجمعی سالانه روی کشور نشان دهنده بیشترین بارش روی مناطق شمالی، شمال غرب و سلسله جبال زاگرس بوده است.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی، روش‌های درون‌یابی، بارش، ایران.

مقدمه

بسیاری از کشورهای جهان برنامه‌ریزی‌های کلان و نیز بسیاری از پروژه‌های اقتصادی و عمرانی با استفاده از الگوهای طولانی مدت بارش انجام می‌شود. بررسی ویژگی بارش و پهنه‌بندی آن نقش عمده‌ای در استفاده از منابع آب دارد. گرچه پهنه‌بندی بارش کمک زیادی به پژوهندگان برای شناخت علل نوسانات آن می‌کند اما استفاده از روش‌های جدید علمی برای پهنه‌بندی بارش در ایران مورد توجه قرار گرفته است (ناظم السادات، ۱۳۸۲). این روش‌ها می‌تواند در برگیرنده عوامل مکانی نظیر موقعیت جغرافیایی و ارتفاع باشد. چگونگی هر یک از این ویژگی‌ها قادر است الگوهای رفتار مکانی و ساز و کار بارش را که از جنبه‌های مهم مطالعات اقلیم‌شناختی است، تعیین کند. در سال‌های اخیر پژوهندگان داخل و خارج از کشور مطالعاتی در مورد اقلیم بارش و پهنه‌بندی آن انجام داده‌اند. دین پژوه و

کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد، از اینرو بارش‌های جوی به عنوان منبع اصلی و عمده تأمین آب کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آن‌جا که تغییرات مکانی و زمانی این عنصر مهم اقلیمی از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار است از اینرو آگاهی از توزیع جغرافیایی الگوهای بارش به دلیل استفاده گسترده آن در کشاورزی، منابع آب، صنعت، توریسم و بهره‌برداری از سدها می‌تواند ما را در طراحی و مدیریت پروژه‌های مختلف یاری کند (صمدی، ۱۳۸۹). بدین لحاظ از چند دهه پیش نیاز به تهیه اطلس اقلیمی این فراسنج مهم مورد توجه محققان هواشناسی قرار گرفته است. بر این اساس تقاضا برای آگاهی آن روز بروز بیشتر شده و از اهمیت چشمگیری برخوردار شده است. در

فاصله (GIDS) روشی آسان و در عین حال دقیق برای درون‌یابی دمای سطح زمین است به گونه‌ای که اثرات ناهمواری به خوبی در این روش لحاظ می‌شود.

تانگ و همکاران (۲۰۱۲) از روش جدیدی به نام وایزش بر مبنای خوشه بندی (CAR)^۴ و GIDS^۵ در برآورد دمای میانگین ماهانه و بارش ماهانه در منطقه اصلی چین استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که دقت روش درون‌یابی دمای میانگین ماهانه در تابستان بیشتر از زمستان بوده در حالی که دقت روش درون‌یابی برای میانگین بارش در زمستان بهتر از تابستان بوده است.

یانگ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی بر روی استرالیا روش‌های درون‌یابی فضایی را از داده‌های روزانه بارش بررسی کردند. آنها چهار روش درون‌یابی (ANUDEM, SPLINE, IDW, KRIGING) را با هم مقایسه و صحت‌سنجی آن‌ها را توسط میانگین مطلق خطا^۶ (MAE)، میانگین نسبی خطا^۷ (MRE) و ریشه میانگین مربع خطا^۸ (RMSE) ارزیابی نمودند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که نتایج (IDW) از سه روش دیگر دقیق‌تر بوده و در فضای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۹ به آسانی اجرا شده است.

هدف از این پژوهش پهنه‌بندی میانگین سالانه و ماهانه بارش در ایران با استفاده از شش روش میان‌یابی می‌باشد. با وجود ناهمواری پیچیده منطقه، در بسیاری از مطالعات انجام شده اثر ناهمواری در هر گونه پهنه‌بندی کمیت‌های هواشناختی سطح زمین، لحاظ نشده است. در این مطالعه نتایج پهنه‌بندی بارش با در نظر گرفتن اثر ناهمواری و برآوردی از خطای آن ارائه می‌شود. البته پهنه‌بندی بارش کشور نیازمند درون‌یابی‌های فضایی داده‌های بارش است که از ایستگاه‌های مختلف گزارش می‌شوند. با توجه به پراکندگی جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی ضروری است با انجام محاسبات درون‌یابی مقادیر کمیت بارش را برای نقاط و یا مناطقی که در آن‌ها ایستگاهی نداریم، بیایم. به بیان دیگر انجام محاسبات درون‌یابی به منظور دستیابی به مقدار کمیت در یک نقطه فاقد اطلاعات و نیز

همکاران (۱۳۸۲) با انتخاب متغیرهای مرتبط با اقلیم بارش و نیز روش تجزیه به عامل‌ها و تجزیه خوشه‌ای اقلیم بارش را پهنه‌بندی نمودند. ناظم السادات و همکاران (۱۳۸۲) پهنه‌بندی بارش زمستانه استان‌های فارس، بوشهر و کهگیلویه و بویر احمد را با استفاده از روش تحلیل مولفه‌ای اصلی انجام دادند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که در بخش گسترده‌ای از این سه استان بارش‌های زمستانه از یک الگو پیروی می‌کند. همچنین استفاده از روش پیشرفته مولفه‌های اصلی^۱ (PCA) طی چند دهه اخیر مورد توجه بسیاری از هواشناسان و اقلیم‌شناسان قرار گرفته است.

صمدی و محمدی (۱۳۸۹) پهنه‌بندی بارش پاییزه نیمه غربی ایران را با استفاده از کاربرد توابع متعامد تجربی^۲ (EOF) انجام دادند. نتایج نشان داد که این مولفه‌ها واریانس بارش در استان‌های گیلان و اردبیل را توجیه می‌کنند. همچنین گویای کارایی خوب روش یاد شده در مطالعات اقلیم‌شناسان می‌باشد. نادری و همکاران (۱۳۹۲) روش‌های مختلف پهنه‌بندی داده‌های اقلیمی را مقایسه نمودند. آن‌ها روش هیبرید خطی و غیرخطی را بعنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه معرفی کردند. در این روش برای اولین بار تغییرات بارش با ارتفاع به صورت درجه سه در نظر گرفته شده است.

شمس‌الدینی (۱۳۷۹) با استفاده از روش کریجینگ تغییرات منطقه‌ای بارندگی را در استان‌های شمالی ایران انجام داد.

لی و همکاران (۲۰۱۱) درون‌یابی با ساختار فضایی برای داده‌های بارش در یک مدل آبشناسی را مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها برای محاسبات خود از روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)^۳ و نیز از مدل سمی-واریوگرام استفاده نمودند. نالدرو وین (۱۹۹۸) با استفاده از ۴ روش شامل یک روش کریجینگ^۳ و ۳ روش درون‌یابی ساده دیگر میانگین سالانه دما و بارش را روی منطقه غرب کانادا پهنه‌بندی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش گرادیان به علاوه عکس مجذور

4- Clustering-Assisted Regression

5- Gradient-plus-Inverse-Distance-squared

6- Mean Absolute Error

7- Mean Relative Error

8- Root Mean Square Error

9- Geographical Information System

1- Principal Component Analysis

2- Empirical Orthogonal Function

3- Inverse Distance Weighted

سراسر کشور می‌باشد که از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است. در این بررسی پس از کنترل کیفی داده‌ها تعداد ۱۰ ایستگاه شامل ۵ ایستگاه همدیدی اصلی و ۵ ایستگاه تکمیلی که دارای داده‌های ناقص بود، حذف شدند. سپس بارش‌های میانگین ماهانه مربوط به ۱۲ ماه برای ماه‌های تیر الی اسفند سال ۱۳۹۳ و همچنین فروردین الی خرداد سال ۱۳۹۴ از داده‌های بارش روزانه از مجموع ۳۵۴ ایستگاه باقی مانده به دست آمد. این ایستگاه‌ها در کشور بصورت تقریباً ناهمگون توزیع شده‌اند. از آن جا که کشور ایران دارای پهنه‌ای کوهستانی است و سلسله جبال البرز و زاگرس در شمال و غرب کشور وجود دارد و نیز بعلاوه عدم وجود ایستگاه‌های سنجش در ارتفاعات خیلی زیاد، ضرورت یافتن رابطه‌ای به منظور برآورد مقادیر کمیت بارش در این مناطق ضروری است. همانطور که در مقدمه ذکر شد با توجه به پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی، ضروری است تا با انجام محاسباتی مقادیر بارش را در نقاطی که فاقد داده هستند بیابیم. از این رو به منظور دست‌یابی به مقادیر داده در نقاط شبکه و نیز دست‌یابی به پهنه‌بندی بارش کشور در این مطالعه مبادرت به فرآیند درون‌یابی شد. تاکنون روش‌های مختلفی برای درون‌یابی داده‌های هواشناسی گسترش داده شده که از بین آن‌ها در دهه‌های اخیر روش کریجینگ به عنوان روشی معمول مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. از برتری‌های این روش، دقت زیاد و خطای کم آن نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی است. اساس این روش یک وزن دهی خطی است که با ساختار تغییرات مکانی تعیین می‌شود و انواع مختلف آن عبارتند از: روش کریجینگ عادی، ساده و عمومی (اسلویتز، ۲۰۰۸) و (هاتیس و همکاران، ۲۰۱۲).

در ادامه ابتدا کلیات مربوط به روش‌های درون‌یابی مرور می‌شود و سپس نتایج هر روش ارزیابی خواهد شد.

روش وزن دهی عکس فاصله (IDW)

این روش بر این فرض استوار است که تأثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. در این روش از فاصله به

پهنه‌بندی منطقه بر اساس آن کمیت می‌باشد. در مطالعات مختلف با توجه به مقیاس منطقه مورد بررسی تغییرات مکانی فراسنج‌های هواشناسی با ویژگی‌های فیزیکی منطقه اصلاح شده است (دالی، ۲۰۰۶). در واقع در مناطق کوهستانی که بارشی بیشتر از مناطق مجاور دارند با محاسبات درون‌یابی نمی‌توان برآوردی از بارش واقعی به دست آورد. با توجه به وجود رشته کوه‌های بلند مانند البرز و زاگرس، توجه به این مسئله از اهمیت زیادی برخوردار است. اما سعی می‌شود تا با افزایش دقت این روش‌ها و با در نظر گرفتن تأثیرات جغرافیایی خطای آن‌ها کاهش یابد. به همین دلیل روش‌های مختلفی به منظور درون‌یابی داده‌های هواشناسی گسترش داده شده است. در این مقاله روش‌های درون‌یابی فضایی داده‌های بارش را به طور اختصار مرور خواهیم کرد. روش‌های میان‌یابی از هر نوعی، می‌تواند به صورت معادله‌ای خطی یا غیر خطی باشد. روش‌های میان‌یابی مورد استفاده در این مطالعه عبارتند از: ۱- عکس مجذور فاصله (IDW) ۲- وایزش خطی چندگانه (MLR) ۳- گرادیان به علاوه عکس مجذور فاصله (GIDS) ۴- کریجینگ ساده (SIMPLE KRIGING) ۵- کریجینگ معمولی (ORDINARY KRIGING) ۶- کریجینگ جهانی (UNIVERSAL KRIGING).

این روش‌ها در مطالعات زیادی در پهنه‌بندی بارش با موفقیت نسبی انجام شده است (بلیانی، ۱۳۹۳). در این مقاله نتایج حاصل از پهنه‌بندی بارش با شش روش یاد شده با استفاده از شاخص‌های آماری شامل ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) ارزیابی و مقایسه می‌شوند.

در ادامه به توصیف روش‌های مورد استفاده در درون‌یابی و سپس به نتایج و ارزیابی این روش‌ها پرداخته می‌شود و در نهایت نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها ارائه خواهد شد.

روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل دیدبانی‌های ۲۴ ساعته بارش از ۳۶۴ ایستگاه شامل ۱۷۴ ایستگاه همدیدی اصلی، ۱۸۲ ایستگاه همدیدی تکمیلی و ۸ ایستگاه فرودگاهی در

$$Tp = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i} \right)^2 \right]^{-1} * \sum_{i=1}^n \left\{ [T_i + b_1(\text{long}_p - \text{long}_i) + b_2(\text{Lat}_p - \text{Lat}_i) + b_3(h_p - h_i)] \left(\frac{1}{d_i} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

که در آن اندیس p و i به ترتیب نمایشگر مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها هستند. همچنین d_i فاصله هر نقطه تا ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشد.

روش کریجینگ

در دهه‌های اخیر این روش به عنوان روشی معمول برای درون‌یابی مورد توجه قرار گرفته است. مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های آماری ساختار آن است که دارای گسترده‌ترین روش درون‌یابی زمین آماری بوده و اساس آن کمینه کردن واریانس برآورد می‌باشد. میزان خطای آن تابع مشخصات واریوگرام (ساختار فضایی) است (آلتو و همکاران، ۲۰۱۳). در این تحقیق سه روش کریجینگ ساده، عادی و فراگیر بکار رفته است. در کریجینگ ساده فرض بر این است که یک میانگین کلی و ثابت برای داده‌ها وجود دارد، اما کریجینگ عادی در شرایطی استفاده می‌شود که این میانگین کلی مشخص نیست و هنگام درون‌یابی، برای هر نقطه یک میانگین محلی از همسایگان نزدیک محاسبه می‌شود. کریجینگ فراگیر زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در داده‌ها یک روند وجود داشته باشد. در این پژوهش یک وابستگی خطی به طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع برای میانگین بارش در نظر گرفته شده است. داده‌های زمین آمار توسط رابطه (۴) محاسبه می‌شوند:

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s) \quad (4)$$

که در آن $Z(s)$ متغیر مورد نظر، $\mu(s)$ روند قطعی و $\varepsilon(s)$ روند تصادفی یا خطای خود همبستگی است. متغیرها در این معادله اساس روش‌های مختلف کریجینگ را تشکیل می‌دهند.

نتایج و بحث

به منظور صحت سنجی روش‌های ارائه شده، پس از برآورد بارش ماهانه، فصلی و سالانه روی یک شبکه ۱۰ کیلومتری روی ایران با استفاده از روش‌های درون‌یابی، خطای

عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده می‌شود. به بیان دیگر فرض می‌شود که نقش متغیر پیوسته در تأثیرگذاری با فاصله از مکان نقطه مجهول کاهش می‌یابد. از طرف دیگر تأثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می‌توان اعمال کرد. درون‌یابی در این شیوه به این ترتیب برآورد می‌شود که محدوده مورد نظر تبدیل به ماتریسی با سلول‌های هم اندازه می‌شود. سلول‌هایی که ارزش آن نامعلوم است، سپس با استفاده از سلول‌های اطراف در یک شعاع مشخص بر اساس فرمول زیر برآورد می‌شود.

$$Tp = \sum N_i = \lambda_i T_i \quad (1)$$

که در آن T_p و T_i به ترتیب نشان دهنده کمیت مورد نظر در نقطه شبکه p و نقطه دیدبانی i ام و λ_i وزن اندازه‌گیری شده در موقعیت ایستگاه i ام و تعداد نقاط اندازه‌گیری شده در موقعیت i ام است. λ_i تابعی از فاصله بین آن‌ها می‌باشد، یا به عبارتی هر چه فاصله کمتر باشد تأثیر نقطه مجهول بیشتر است. لذا مربع معکوس فواصل بین آن‌ها به عنوان وزن در مدل به کار می‌رود.

روش وایزش خطی چندگانه (MLR)

در این روش ابتدا با استفاده از داده‌های کمیت مورد نظر، ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها یک وایزش خطی چندمتغیره به صورت معادله زیر انجام می‌شود:

$$T = b_0 + b_1 \text{Long} + b_2 \text{Lat} + b_3 h \quad (2)$$

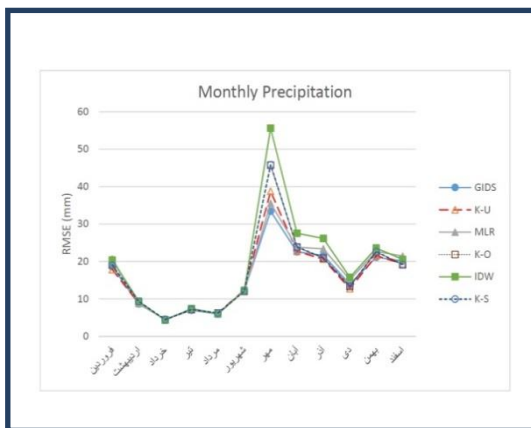
که در آن T کمیت مورد نظر و b_0, b_1, b_2, b_3 ضرایب وایزی هستند. سپس با استفاده از این ضرایب کمیت مورد نظر برای هر نقطه دیگری شامل نقاط شبکه منظم قابل محاسبه است.

روش گرادیان به علاوه وزن دهی عکس فاصله (GIDS)

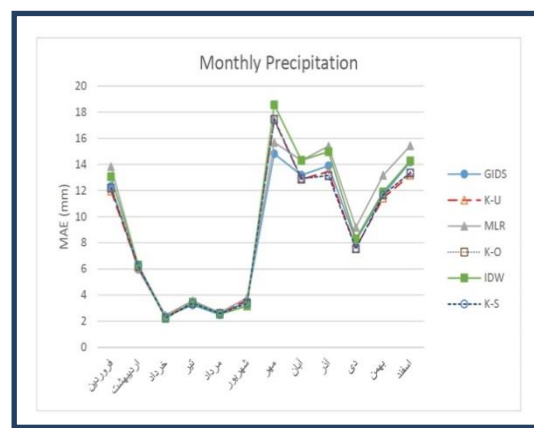
این روش ترکیبی از دو روش وایزش خطی و روش وزن دهی عکس فاصله است (نالدر و وین ۱۹۹۸). این روش ابتدا شامل وایزش خطی مطابق رابطه (۲) بوده، سپس با استفاده از شیب $b_1 - b_2$ دما را از ایستگاه‌های معلوم برای ایستگاه‌های شبکه بدست می‌آورند. این روش بر اساس رابطه زیر بیان می‌شود:

روش‌ها کماکان مشاهده گردید که بارش مقادیر زیاد واقعی در دو ماه مهر و اسفند رخ داده و برای ایستگاه‌هایی که در این دو ماه بیشترین بارش را ثبت کرده‌اند روش GIDS نسبت به سایر روش‌ها بهترین برآورد را داشته است. در بارش‌های با مقادیر کم روش K-U بهترین برآورد را داشته است و بقیه روش‌ها تقریباً از یک میزان خطا برخوردار بوده‌اند. شکل (۲) گویای همین مطلب است. شکل (۳)، شکل (۴) و شکل (۵) پهنه‌بندی بارش تجمعی سالانه ایران را با استفاده از روش‌های GIDS، K-U و IDW نشان می‌دهد. بیشترین بارندگی در شمال استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، گیلان و غرب مازندران رخ داده است. با توجه به مقادیر واقعی گزارش شده و مقادیر برآورد شده از روش‌های درون‌یابی، روش GIDS بهترین برآورد را داشته است.

(ب)

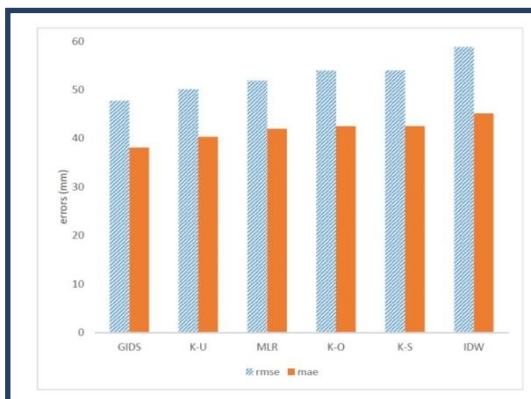


(الف)

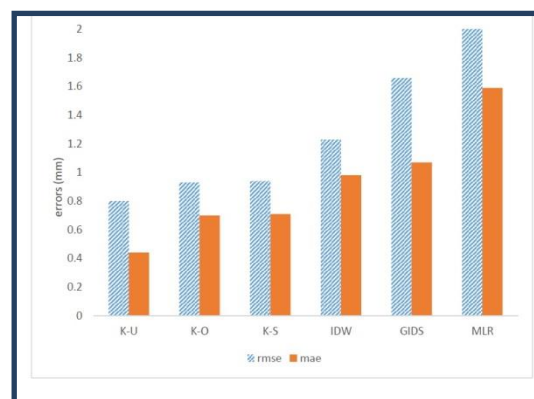


شکل ۱- میزان خطای مقادیر الف) MAE و ب) RMSE برای شش روش درون‌یابی مورد بررسی

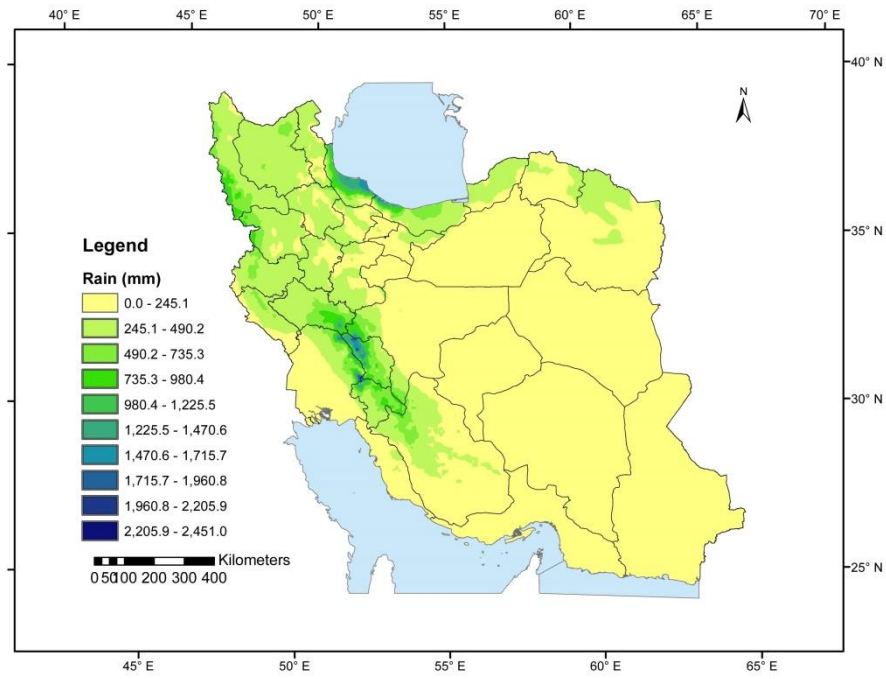
(ب)



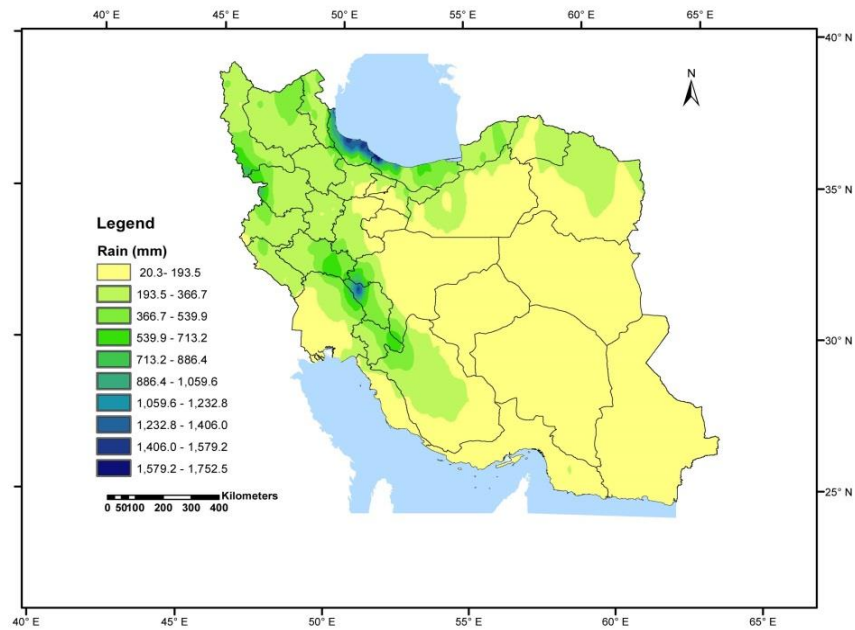
(الف)



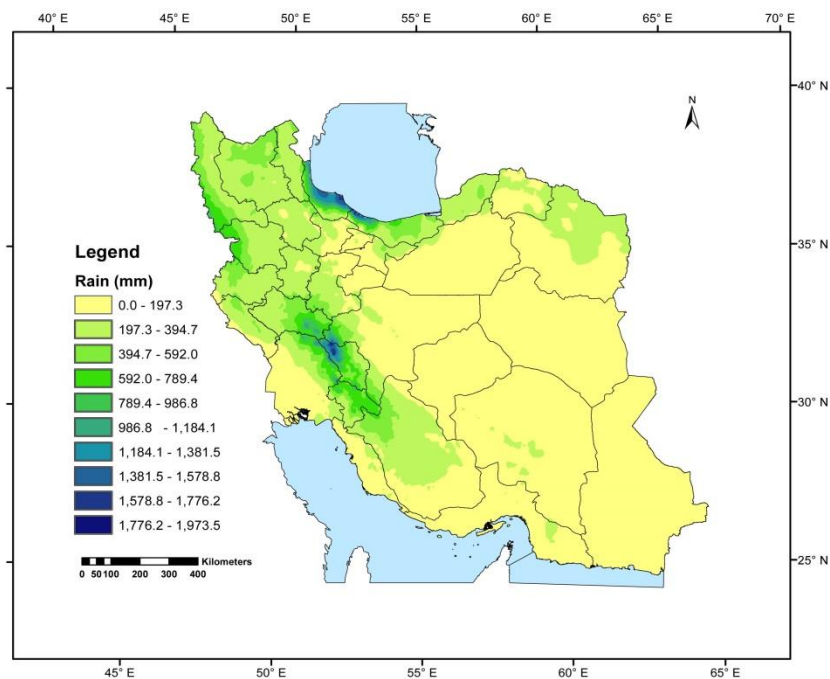
شکل ۲- مقایسه مقادیر MAE و RMSE در بارش الف) مقادیر کم و ب) مقادیر زیاد



شکل ۳- پهنه‌بندی بارش تجمعی سالانه ایران با استفاده از روش GDS



شکل ۴- پهنه‌بندی بارش تجمعی سالانه ایران با استفاده از روش IDW



شکل ۵- پهنه‌بندی بارش تجمعی سالانه ایران با استفاده از روش k-universal

نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها

در این مطالعه از شش روش K-O، MRL، IDW، GIDS، K-U و K-S برای درون‌یابی بارش ایستگاه‌های هم‌مدیدی کشور استفاده شده است. این روش‌ها در محاسبه میانگین وزنی با هم متفاوت هستند. سه روش Kriging با استفاده از کمینه‌سازی مقدار واریانس خطا و دو روش GIDS و IDW با استفاده از مجذور کردن عکس فاصله، بارش را درون‌یابی می‌کنند. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که همه روش‌ها روی منطقه ایران درون‌یابی نسبتاً خوبی داشته‌اند، با این حال روش GIDS نسبت به سایر روش‌ها کمترین خطا را دارا است. همان‌طور که از نقشه‌های پهنه‌بندی تجمعی سالانه بارش پیداست روش GIDS نسبت به سایر روش‌ها بیشترین برآورد را روی این مناطق داشته است. در انتها نویسندگان مقاله پیشنهاد می‌کنند که محققان گرامی روش‌های پیشرفته محاسبات را که توسط کارشناسان سازمان هواشناسی کشور و سایر مراکز تحقیقاتی انجام گرفته بررسی و نتایج را مقایسه نمایند.

منابع

- ۱- ناظم السادات، س.، ب. بیگی و س. امین، ۱۳۸۲ پهنه‌بندی بارندگی زمستانه استان‌های بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره اول.
- ۲- دین پژوه، ی.، ا. فاخری فرد، م. مقدم واحد، س. جهانبخش و م. میرنیا. ۱۳۸۲ انتخاب متغیرها به منظور پهنه‌بندی اقلیم بارش ایران با روش‌های چند متغیره. مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۳۴: ص ۸۲۳-۸۰۹.
- ۳- صمدی، س. و ح. محمدی، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی بارش پاییزه نیمه غربی ایران: کاربرد توابع متعامد تجربی در مطالعات اقلیم‌شناسی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. جلد ۱۶ شماره ۱۹: ۲۷-۴۴.
- ۴- نادری، م.، ع. خلیلی، ک. پورطهماسبی، ج. بذرافشان، ۱۳۹۲. مقایسه تکنیک‌های مختلف پهنه‌بندی داده‌های اقلیمی برای

- 9- Sluiter, R., 2008, Interpolation methods for climate data: literature review. De Bilt, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI).
- 10- Hattis, D., Y. Ogneva - Himmelberger, and S. Ratck, 2012, The spatial variability of heat - related mortality in Massachusetts. *Applied Geography*, 33: p. 45-52.
- 11- Daly, C., 2006, Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets. *International journal of climatology*, 26(6): p. 707-721.
- 12- Yang, X., X. Xiaojin, D. Liu, F. Ji, and L. Wang. 2015, Spatial Interpolation of Daily Rainfall Data for Local Climate Impact Assessment over Greater Sydney Region, *Advances in Meteorology*
- 13- Tang, L., X. Su, G. Shao, H. Zhang, and J. Zhao. 2012, A Clustering - Assisted Regression (CAR) Approach for Developing Spatial Climate Data Sets in China. *Environmental Modeling and Software*. 38. p. 122-128.
- 14- Ly, S., C. Charles and A. Degre. 2011, Geostatistical Interpolation of Daily Rainfall at catchment Scale: The Use of Several Variogram Models in the Ourthe and Ambleve catchments. Belgium. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15. P. 2259-2274.
- تعیین مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر رویش درختان ناحیه مرتفع چهارباغ گرگان. مجله منابع طبیعی ایران دوره ۶۶ شماره ۱.
- ۵- شمس‌الدینی، علی ۱۳۷۹. تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ در استان‌های شمالی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.
- ۶- بلیانی، ی. س. حکیم دوست، ۱۳۹۳، اصول و مبانی پردازش داده‌های مکانی (فضایی) با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی، انتشارات آزاده پیمان.
- 7- Nalder, I. A. and R. W. Wein, 1998, Spatial interpolation of climatic normal: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and forest meteorology*, 92(4): p. 211-225.
- 8- Aalto, J., et al., 2013, Spatial interpolation of monthly climate data for Finland: comparing the performance of kriging and generalized additive models. *Theoretical and Applied Climatology*, 112 (1-2): p. 99-111.