

ارزیابی تخمینگر کریجینگ در میانبایی بارش (مطالعه موردی: استان اصفهان)

سعیده موسوی خواه^۱، اردلان ذوالفقاران^{۲*}، هدیه احمدپری^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد هیدرولوژی و منابع آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- عضو هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران (نویسنده مسئول)

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران

چکیده

داده‌های مربوط به بارندگی در هر منطقه نقش بسیار مهمی در بررسی مسائل منابع آبی دارند. اما به دلیل نبود ایستگاه‌های بارانسنجی در تمام محدوده مورد مطالعه نیاز به میانبایی و بازسازی داده‌ها می‌باشد. از آنجا که روش‌های درونبایی متعددی وجود دارد، تعیین بهترین روش درونبایی مشکل خواهد بود و انتخاب بهترین روش و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی بارش بستگی به شرایط جغرافیایی منطقه دارد و بایستی برای هر منطقه بصورت جداگانه بررسی شود. روش‌های زمین آماری به دلیل در نظر گرفتن موقعیت و آرایش داده‌ها و همچنین همبستگی مکانی آنها معمولاً دقت مناسبی را ارائه می‌کنند. در این پژوهش، به ارزیابی تخمینگر کریجینگ در میانبایی بارش در استان اصفهان پرداخته شده است. بررسی نرمال بودن داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام شده است. در تمامی ماه‌ها داده‌های اولیه نرمال نبوده است. نرمال‌سازی و بررسی سطح اعتمادپذیری نرمال بودن داده‌ها توسط دو آزمون شاپیرو ویلک و کلموگراف اسمیرنوف انجام شد. پس از نرمال‌سازی و بررسی سطح اعتمادپذیری نرمال بودن داده‌ها، داده‌ها وارد محیط نرم‌افزار GIS شد و آنالیزها جهت تعیین مدل مناسب انجام شد. نتایج نشان داد که در اکثر ماه‌ها مدل گوسین، بهترین مدل است که دلیل آن پیوستگی مکانی بالای داده‌های بارش در محدوده مورد مطالعه بوده است. پس از انتخاب مدل مناسب، نقشه‌های پهنه‌بندی استخراج شده و RMSE پایین بدست آمده در تمامی ماه‌ها نشان از مطلوب بودن روش کریجینگ در پهنه‌بندی بارش در استان اصفهان می‌باشد. نتایج آزمون t برای داده‌های مشاهداتی و تخمینی در تمامی ماه‌ها نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و تخمینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زمین آمار، کریجینگ، GIS، SPSS، نرمال‌سازی، پهنه‌بندی، میانبایی، مدل گوسین

۱-مقدمه

یکی از متغیرهای اساسی برای ارزیابی منابع آب کشور، بارش است ولی توزیع زمانی و مکانی بارش در کشور یکنواخت نیست پس توزیع منابع آب کشور نیز یکنواخت نخواهد بود. ولی به دلیل عدم امکان پوشش کامل منطقه توسط ایستگاه‌های اندازه‌گیری، برآورد داده‌های نقطه‌ای در مناطق بین ایستگاه‌ها مطرح می‌گردد. پس با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی و پهنه‌بندی می‌توان به شناخت قابل قبولی از رفتار پهنه‌ای بارندگی دست یافت. روش‌های متفاوتی برای درونیابی مکانی وجود دارد که برخی از آنها مبتنی بر روش‌های زمین آماری می‌باشند. به رغم تمام پیشرفت‌هایی که چند دهه اخیر به ویژه با توسعه نرم افزار GIS در زمینه مدل‌سازی فضایی به وجود آمده است، اما باید در استفاده از نتایج حاصل از این مدل‌ها دقت کافی داشت. زمین آمار بر اساس ساده‌ترین تعریف، یک روش درونیابی است که معیار مورد استفاده در آن برای درونیابی یا تخمین، کمینه شدن مقدار واریانس تخمین است [۱]. تخمین زمین آماری یکی از دقیق‌ترین تخمین‌ها است، چرا که عوامل زیادی نظیر فاصله نقاط، ناهمسانگردی و تغییر پذیری فضایی در فرآیند تخمین مورد بررسی قرار می‌گیرد [۲]. صفوی گردینی (۱۳۹۵)، به بررسی مدل‌های میانابی کریجینگ معمولی (OK)، کریجینگ ساده (SK)، کریجینگ عام (UK)، کریجینگ رگرسیونی (RK) و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) در تخمین بارندگی ماهانه و سالانه مناطق جنوب شرقی ایران پرداختند. نتایج نشان داد، نیم‌تغییرنمای نمای برای ماه‌های آذر تا اسفندماه با نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه ۰/۵۰ بهترین برازش را دارد. کمترین تناسب ساختار مکانی که بیان‌کننده بزرگی نسبی اثر قطعه‌ای است، در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند دیده شد. حداکثر آستانه نیم‌تغییرنما در فصل زمستان مربوط به ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند می‌باشند که نشان‌دهنده بالا بودن واریانس داده‌های بارندگی و هم‌چنین حداکثر مقدار بارندگی در این ماه‌ها است. برای ارزیابی عملکرد روش‌های میانابی از فن اعتبارسنجی متقابل و معیارهای ضریب تعیین (R^2)، میانگین مربعات خطای نسبی (MSRE)، میانگین مطلق خطا (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص نکویی (d) و میانگین خطای تقریبی (MBE) استفاده شد. نتایج نشان داد روش RK دقت بالاتری نسبت به روش‌های تک متغیره دارد. بیشترین مقدار R^2 مربوط به روش RK در ماه‌های دی، بهمن و اسفند به ترتیب با مقادیر ۰/۸۸، ۰/۸۷ و ۰/۸۸ بدست آمد و مقدار RMSE در این ماه‌ها به ترتیب برابر با ۴/۸۶، ۴/۸۹ و ۳/۴۰ میلی‌متر بدست آمده است [۳]. دلبری و همکاران (۱۳۹۱) به میانابی بارندگی ماهانه و سالانه در استان گلستان پرداختند. آنها روش‌های معکوس مربع فاصله، کریجینگ معمولی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی و کریجینگ ساده را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند روش کوکریجینگ برای ماه‌های اردیبهشت تا مهر بجز در خرداد ماه، روش کریجینگ برای خرداد ماه و روش کریجینگ معمولی برای سایر ماه‌ها و بارندگی سالانه مناسب است. بدترین روش میانابی روش معکوس مربع فاصله بود که در آن هم متغیر کمکی و هم همبستگی مکانی بین داده‌ها در فرآیند تخمین مورد توجه قرار نمی‌گیرد [۴]. مظفری و همکاران (۱۳۹۱) روش‌های کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و رگرسیون خطی بر پایه مدل رقومی ارتفاعی را جهت برآورد بارش سالیانه مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نشان دادند مناسب‌ترین روش جهت میانابی بارش سالیانه استان بوشهر روش رگرسیون با تابع چند جمله‌ای درجه چهارم می‌باشد [۵]. رحیمی بندرآبادی و مهدیان (۱۳۸۴) جهت تخمین بارندگی روزانه و ماهانه حوضه دریای خزر سه روش کریجینگ معمولی، میانگین متحرک وزنی (WMA) و TPSS را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج کار آنها برتری روش TPSS با توان ۲ را جهت برآورد بارندگی روزانه و ماهانه نشان داد [۶]. مهدیان و همکاران (۱۳۸۲) به منظور تعیین روش مناسب برآورد بارندگی ماهیانه در ناحیه مرکزی ایران روش‌های کریجینگ معمولی با لگاریتم داده‌ها و با متغیر کمکی، میانگین متحرک وزنی (با توان‌های ۱ تا ۵) و TPSS (با توان‌های ۲ و ۳، با و بدون متغیر کمکی) را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نشان دادند که شعاع تاثیر بارندگی ماهیانه در ناحیه مرکزی ایران در حدود ۴۵۰ کیلومتر است. هم‌چنین روش TPSS با توان ۲ و با متغیر کمکی ارتفاع، مناسب‌ترین روش برای تولید داده‌های بارندگی ماهیانه است [۷]. نبی‌پور و وفا خواه (۱۳۹۵) به منظور مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آمار برای برآورد بارندگی در حوزه آبخیز حاجی قوشان آمار بارندگی ۲۲ ایستگاه هواشناسی در داخل و اطراف حوضه با طول دوره آماری مشترک ۳۰ ساله انتخاب و از روش‌های کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کوکریجینگ ساده، کوکریجینگ معمولی، کوکریجینگ استاندارد شده و میانگین متحرک وزنی به صورت عکس فاصله با توان یک تا پنج به منظور برآورد بارندگی ماهانه، سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته

استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که برای بارش سالیانه در منطقه مورد مطالعه، روش کریجینگ معمولی با میانگین مطلق خطای برآورد ۳۴/۲۶ و برای بارش ماه‌های مختلف و همچنین بارش حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته، روش معکوس فاصله وزنی با توان پنج مناسب‌ترین روش و در رابطه با مدل واریوگرام، مدل گوسی برای تحلیل داده‌های ماهانه و سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته مناسب تشخیص داده شد [۸]. مرادی و همکاران (۱۳۹۲) جهت تهیه نقشه هم بارش در استان ایلام به مقایسه روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW پرداختند. نتایج کار آنها برتری روش کریجینگ با کمترین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و بالاترین ضریب تبیین (R^2) به ترتیب به میزان ۹۳/۹ و ۰/۴۱۴ را نشان داد [۹]. امینی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از آمار ۳۵۴ ایستگاه همدیدی اصلی و تکمیلی و فرودگاهی کشور در بازه زمانی تیر ۱۳۹۳ الی خرداد ۱۳۹۴ به پهنه‌بندی بارش با استفاده از روش‌های عکس مجذور فاصله، گرادیان به علاوه عکس مجذور فاصله، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ جهانی، پهنه‌بندی بارش‌های میانگین ماهانه، فصلی و سالانه پرداختند. آنها نشان دادند روش گرادیان به علاوه 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 داشته است. در اندازه‌گیری بارش با مقادیر زیاد روش گرادیان به علاوه 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. همچنین طبق نتایج پهنه‌بندی بارش تجمعی سالانه روی کشور نشان دادند بیشترین بارش روی مناطق شمالی، شمال غرب و سلسله جبال زاگرس بوده است [۱۰]. هدف از این پژوهش، ارزیابی تخمینگر کریجینگ در میانبایی بارش در استان اصفهان است.

۲- مواد و روش‌ها

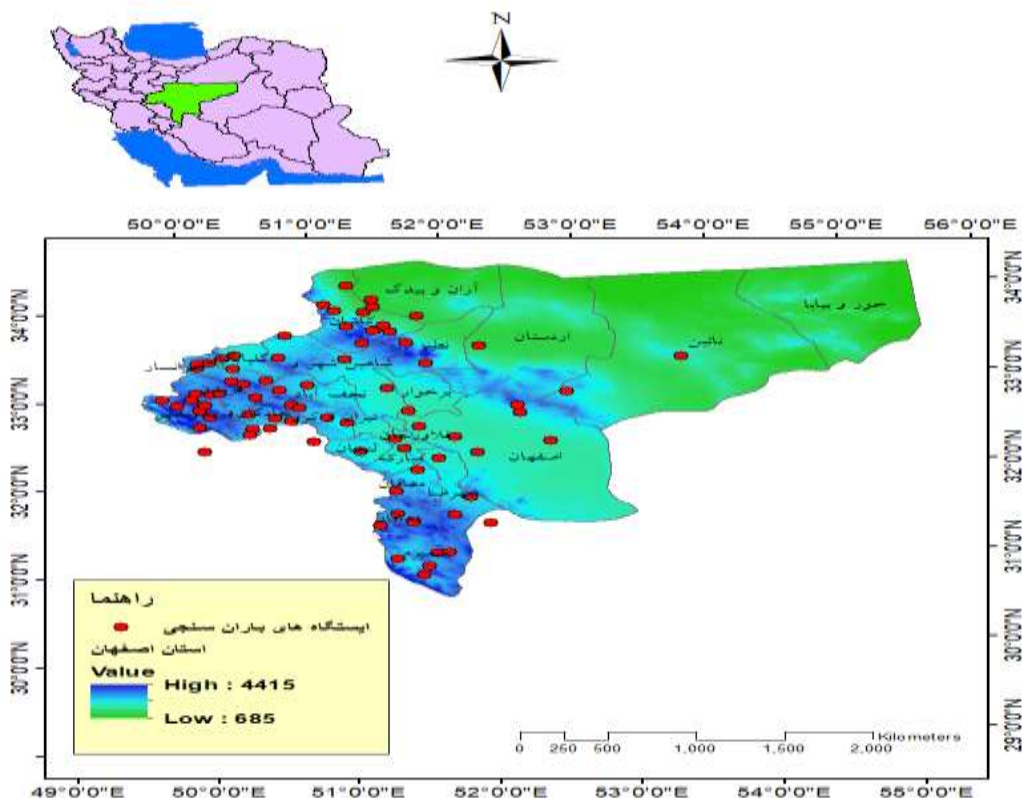
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

بخش وسیعی از استان اصفهان را اقلیم خشک در بر گرفته است. و این امر بیش از همه معلول کم بودن باران سالیانه در بسیاری از مناطق استان و بالا بودن نرمال سالیانه دما در گستره‌های وسیعی از استان اصفهان می‌باشد. با توجه به وجود ناهمواری‌های استان که در بخش‌های غربی و جنوب غربی توزیع شده است، مسلماً این نواحی دارای دمای کمتر بوده در حالی که نواحی پست شرقی و شمال شرقی استان دارای درجه حرارت بالاتری می‌باشد. در این استان مقدار بارش از غرب به شرق و جنوب به شمال کاهش می‌یابد. بطوریکه در مناطق مرتفعی مثل ارتفاعات کوهرنگ (در مجاورت استان) به بیش از ۱۰۰۰ میلی متر و حتی ۱۳۰۰ میلی متر هم می‌رسید. با استفاده از روش‌های متداول جهانی تعیین اقلیم استان اصفهان به سه ناحیه عمده تقسیم می‌شود.

(۱) ناحیه آب و هوای مدیترانه‌ای با زمستان‌های سرد (نواحی کوهستانی در غرب و جنوب غرب) شامل شهرستان‌های گلپایگان، خوانسار، فریدن، فریدون شهر و سمیرم با میانگین بارندگی سالانه بین ۳۰۰ الی ۶۰۰ میلی متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۸ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد.

(۲) ناحیه آب و هوای نیمه خشک با زمستان‌های نسبتاً سرد (نواحی جلگه ای در مرکز و کویری در شمال) شامل شهرستان‌های اصفهان، نجف آباد، خمینی شهر، لنجان، مبارکه، فلاورجان و شهرضا با میانگین بارندگی سالانه بین ۱۱۰ الی ۱۶۰ میلی متر و میانگین درجه حرارت سالانه بین ۱۰ الی ۱۶ درجه سانتی‌گراد.

(۳) ناحیه آب و هوای نیمه خشک با تابستان‌های گرم (نواحی کویری در شمال شرق و شرق) شامل شهرستان‌های آران و بیدگل، کاشان، نایین، اردستان، قسمتی از شهرستان برخوار و میمه با میانگین بارندگی سالانه بین ۷۵ الی ۱۱۰ میلی متر و میانگین درجه حرارت سالیانه بین ۱۶ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های بارانسنجی در استان اصفهان

۲-۲- آمار کلاسیک

در این مطالعه جهت کاربرد داده‌ها برای پهنه‌بندی بارش، شاخص‌های آماری از قبیل مینیمم، ماکزیمم، میانگین، واریانس، چولگی، کشیدگی، میانه، چارک اول و چارک سوم داده‌های بارش، برای آزمون نرمال بودن داده‌ها محاسبه شده است. در این مطالعه برای بررسی آزمون نرمال بودن از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است.

۲-۳- روش‌های زمین آماری

در استفاده از روش‌های زمین آماری برای هر نوع تخمینی، ابتدا نیاز به محاسبه نیم تغییرنما می‌باشد. رسم نیم تغییرنما نیز مستلزم تعیین نوع توزیع داده‌ها و نرمال کردن آنها می‌باشد. مرحله بعد برای رسم نیم تغییرنما مستلزم بررسی همسانگردی داده‌ها می‌باشد. در واقع با مشخص کردن مدل نیم تغییرنمای مناسب برای داده‌ها و تعیین شاخص‌های آنها، ارتباط مکانی داده‌ها با هم و نحوه‌ی اختصاص عامل وزنی به آنها تعیین گردیده است و به فرمول‌های ریاضی مربوطه تبدیل شده و سپس عملیات تخمین انجام می‌شود. قبل از اینکه نیم تغییرنمای تجربی در تخمین بکار رود، لازم است که مناسب‌ترین مدل تئوری به آن برآزش داده شود و سپس آن را در فرآیند تخمین بکار برد. در این راستا تعداد محدودی مدل تئوری شناخته شده است که می‌توان آنها را در دو گروه فاقد آستانه و حاوی آستانه تقسیم‌بندی کرد. گروه‌های فاقد آستانه شامل مدل خطی، مدل سهمی و مدل دویسن می‌باشند که در صورت وجود روند و یا عدم ایستایی در داده‌ها پدیدار می‌شوند. گروه‌های حاوی آستانه عبارتند از مدل کروی، مدل نمایی و مدل گوسی اشاره کرد. انتخاب هر یک از مدل‌های تئوریک نیم تغییرنما بستگی به حرکت نیم تغییرنما در نزدیکی مبدا دارد. اگر پدیده مورد کاملاً پیوسته باشد، نیم تغییرنمای تجربی دارای حرکتی سهمی گونه در نزدیکی مبدا خواهد بود. در چنین شرایطی معمولاً مدل گوسی مناسب است. اگر نیم تغییرنمای تجربی در نزدیکی مبدا حرکت خطی داشته باشد، هم مدل کروی و هم مدل نمایی مناسب خواهد بود [۱۱].

۲-۴-کریجینگ

کریجینگ تخمینگری ناریب با کمترین مقدار واریانس تخمین است. شرط ناریب بودن در سایر روشهای تخمین نظیر روش چند ضلعی و عکس مجذور فاصله نیز اعمال می شود ولی ویژگی کریجینگ در آن است که در عین ناریب بودن، واریانس تخمین نیز حداقل می باشد. بنابراین کریجینگ همراه هر تخمین مقدار خطای آن را نیز می دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد کریجینگ می توان قسمت هایی که در آنجا خطا بالاست و برای کاهش آن به داده های بیشتری نیاز است را مشخص کرد [۱۲]. بنابراین کریجینگ یک تخمین گر زمین آماری است که دارای ویژگی های زیر است [۱۳]:

۱) داده ها باید نرمال بوده و در صورت نرمال نبودن داده ها، باید با استفاده از روش های موجود داده ها را به داده های نرمال تبدیل کرد.

۲) ناریب بودن داده ها

۳) مقادیر برآوردی برای نقاط نامعلوم ترکیب خطی از مقادیر نمونه های مجاور آن است.

۲-۵-نرمال سازی داده ها

جهت اعمال روش های زمین آمار، در گام اول توزیع داده های موجود مورد بررسی قرار می گیرد و شاخص های آماری از قبیل مینیمم، ماکزیمم، میانگین، واریانس، چولگی، کشیدگی، میانه، چارک اول و چارک سوم پارامتر مورد مطالعه تعیین می شود. جهت بررسی نرمال بودن داده ها از طریق نرم افزار SPSS یا اکسل پارامترهای چولگی (Skewness) و کشیدگی (Kurtosis) را محاسبه کرده، چنانچه چولگی و کشیدگی در بازه (۲، -۲) نباشند داده ها از توزیع نرمال بسیار دور بوده است. پس از بررسی عادی یا نرمال بودن کشیدگی و یا چولگی توزیع داده ها، باید با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک از نرمال بودن دادن داده ها اطمینان حاصل کرد. چنانچه سطح معنی داری در آزمون شاپیرو ویلک بیشتر از ۰/۰۵ باشد می توان داده ها را با اطمینان بالایی نرمال فرض کرد. در غیر این صورت نمی توان گفت که داده ها توزیعشان نرمال است و می بایست قبل از هرگونه آزمونی که برای انجامشان باید فرض نرمال بودن داده ها برقرار باشد، اصلاح گردند.

۲-۶-نمودار پراکندگی

تحلیل های چند متغیره (و همبستگی دو متغیره) بر این فرض استوار هستند که رابطه علی بین متغیر مستقل و وابسته خطی است. چون پیش فرض برخی آزمون های آماری (مانند همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی) خطی بودن رابطه متغیرها با یکدیگر است؛ در نتیجه قبل از اجرای این آزمون ها باید از خطی بودن رابطه متغیرها مطمئن شد. یکی از روش های پرکاربرد برای بررسی خطی بودن رابطه استفاده از نمودار پراکندگی است. نمودار پراکندگی روشی مفید برای ترسیم ارتباط بین داده ها است. نمودار پراکندگی یکی از ساده ترین روش ها برای بررسی همبستگی و ارتباط بین دو متغیر است. این نوع از نمودار، نوع و جهت رابطه را بطور بصری ارائه می دهد و می توان با مشاهده نمودار از نوع رابطه بین دو متغیر و جهت (خطی یا غیرخطی و مثبت و منفی) و شدت رابطه آگاهی تقریبی یافت. این نوع نمودار، معنی داری رابطه را نشان نمی دهد و برای بررسی دقیق معنی داری و شدت رابطه باید از آزمون های همبستگی (همبستگی پیرسون یا اسپیرمن) استفاده کرد [۱۴].

۲-۷-ضریب تبیین

ضریب تبیین یا Coefficient Of Determination قدرت توضیح دهنده مدل را نشان می دهد. این ضریب نشان می دهد که چند درصد از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل توضیح داده می شود. تغییرات کل متغیر وابسته برابر است با تغییرات توضیح داده شده توسط رگرسیون بعلاوه تغییرات توضیح داده نشده است. ضریب تبیین همیشه بین ۰٪ و ۱۰۰٪ است. ۰٪ نشان می دهد که مدل هیچ یک از تغییرپذیری داده های پاسخ در اطراف میانگین را تبیین نمی کند. ۱۰۰٪ نشان می دهد که مدل همه تغییرپذیری داده های پاسخ در اطراف میانگین آن را تبیین می کند. دو دلیل مهم که چرا مقادیر ضریب تبیین پایین

می‌تواند بد نباشد، وجود دارد. در برخی از زمینه‌ها مانند پیش‌بینی رفتار انسان بطور کلی انتظار می‌رود که مقادیر ضریب تبیین پایین باشد. به علاوه، ممکن است ضریب تبیین پایین باشند، اما متغیرهای پیش‌بینی معنی‌دار از نظر آماری وجود داشته باشد. در این صورت هنوز می‌توان نتیجه‌گیری مهمی در مورد چگونگی تغییر در مقدار متغیر پاسخ در ارتباط به متغیر ورودی ترسیم نمود. همچنین ضریب تبیین لزوماً نشان نمی‌دهد که صحت یک مدل مناسب است. به همین دلیل برای بررسی مناسب بودن صحت یک مدل برازش شده باید روندها در نمودار باقیمانده‌ها را نیز بررسی نمود. ضریب تبیین برای اینکه تعیین کند چقدر خوب یک معادله رگرسیونی داده‌ها را برازش می‌کند مفید است. اما به تنهایی برای بررسی صحت مدل کفایت نمی‌کند و بایستی علاوه بر ضریب تبیین، نرمال بودن داده‌ها یا باقیمانده‌ها، ثابت بودن واریانس در سطوح مختلف، استقلال داده‌ها نسبت به زمان و اریب نبودن مشاهدات برای صحت مدل برازش شده مورد ارزیابی قرار گیرند. برای بررسی این موضوع که آیا مدل برازش شده مناسب است یا خیر باید از آزمون معنی‌داری استفاده کرد.

۲-۸- سطح معنی‌داری

سطح معنی‌داری، میزان یا معیاری است که به عنوان پایه‌ی معنی‌داری شناخته می‌شود و همچنین به عنوان خطای نوع اول نیز معروف است. اگر نتایج بررسی تفاوت یا رابطه متغیرها کمتر از $0/05$ باشد، می‌گوییم احتمال شانس بودن این تفاوت یا رابطه خیلی کم است و می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت یا رابطه موردنظر معنی‌دار است و در صورتیکه بیشتر از $0/05$ باشد، احتمال شانس بودن نتیجه زیاد است و رابطه یا تفاوت متغیرها معنی‌دار نیست. در صورتیکه احتمال ایجاد نتایج در اثر خطای تصادفی کمتر از $0/01$ یا $0/05$ باشد نتایج معنی‌دار هستند و در صورتی که بیشتر از این سطح باشد نتایج معنی‌دار نیست. در این صورت فرضیه صفر تایید و فرضیه پژوهش رد می‌شود. پس هرچه سطح معنی‌داری پایین‌تر باشد، می‌توان اطمینان بیشتری به واقعی بودن نتایج داشت. طبق قاعده تجربی برای نمونه‌های کوچک از سطح معنی‌داری $0/05$ و برای نمونه‌های بزرگ از سطح $0/01$ یا کمتر استفاده می‌کنیم [۱۴].

۲-۹- آزمون T-test

آزمون t برای تعیین اختلاف معنی‌داری میانگین یک گروه با یک مقدار پیش فرض و یا میانگین‌های دو گروه بکار می‌روند. برای انجام آزمون‌های t برخی فرضیات مشترک و کلی وجود دارند که بصورت زیر است:

- (۱) داده‌های تحلیل باید کمی باشند.
 - (۲) مشاهدات باید بصورت تصادفی از جامعه، نمونه‌برداری شده باشند.
 - (۳) مشاهدات باید بطور نرمال در جامعه توزیع شده باشند.
- انواع آزمون‌های t بصورت زیر می‌باشد:
- (۱) آزمون t یک نمونه‌ای: این آزمون برای بررسی میانگین یک جامعه استفاده می‌شود.
 - (۲) آزمون t جفت نمونه‌ای: این آزمون برای بررسی دو میانگین از یک جامعه استفاده می‌شود.
 - (۳) آزمون t گروه‌های مستقل: این آزمون برای بررسی میانگین دو جامعه مستقل استفاده می‌شود.
- در آزمون t چنانچه سطح معنی‌داری کمتر از $0/05$ یا $0/01$ (بسته به سطح انتخاب شده برای آزمون) به دست آید یعنی اختلاف معنی‌داری در میانگین داده‌های مشاهداتی و تخمینی وجود دارد ولی چنانچه سطح معنی‌داری از $0/05$ یا $0/01$ بیشتر باشد اختلاف معنی‌داری بین داده‌های تخمینی و مشاهداتی وجود ندارد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱- نرمال سازی داده ها

نتایج آزمون های آماری داده های بارش قبل از نرمال سازی در جدول ۱ آمده است. داده های بارش مورد مطالعه در هیچ کدام از ماه ها در ابتدا در سطوح معناداری ۵ درصد نرمال نبوده است. با توجه به نرمال نبودن داده ها با استفاده از روش لگاریتمی داده های بارش نرمال سازی شد، آماره های محاسبه شده پس از نرمال سازی در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین سطوح معناداری نرمال بودن داده ها در دو آزمون شاپیرو ویلک و کلموگراف اسمیرنوف در جدول ۳ پس از نرمال سازی داده ارائه شده است.

جدول ۱- آمار توصیفی بارش ایستگاه های بارانسنجی در ماه های مختلف سال قبل از نرمال سازی

بارش	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	میانه	چارک اول	چارک سوم
فروردین	15.14	158.6	48	27	1.375	2.933	44.364	25.192	60.017
ارابهشت	6.25	78.53	23.378	14.56	1.407	2.131	19	12.384	29.293
خرداد	0	9.35	3.173	2.1	0.626	0.158	2.928	1.598	4.506
تیر	0	4.08	1.356	1.034	0.95	0.173	1.074	0.633	1.953
مرداد	0	4.54	0.95	0.89	1.23	1.93	0.75	0.22	1.59
شهریور	0	4.19	1.2	0.98	1	0.42	0.97	0.37	1.78
مهر	0.36	19.1	3.88	3.19	1.862	5.42	3.01	1.56	5.12
آبان	6.25	123.73	33.43	21.73	1.54	3.48	29.64	15.76	44.61
آذر	11.39	103.6	39.67	22.34	0.678	-0.417	33.87	20.26	56.82
دی	10.78	110.6	34.17	20.28	1.29	1.80	27.94	18.86	44.86
بهمن	10.53	149.8	37.31	26.03	1.66	3.71	27.55	17.53	51.27
اسفند	11.19	105.87	35.78	18.72	1.06	1.18	29.67	20.10	48.40

جدول ۲- آمار توصیفی بارش ایستگاه های بارانسنجی در ماه های مختلف سال بعد از نرمال سازی

بارش	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	میانه	چارک اول	چارک سوم
فروردین	1.18	2.2	1.62	0.24	-0.04	-0.68	1.65	1.40	1.78
ارابهشت	0.8	1.9	1.29	0.25	0.19	-0.69	1.28	1.1	1.47
خرداد	-0.92	0.97	0.4	0.37	-1.26	1.71	0.47	0.22	0.66
تیر	-0.81	0.61	0.03	0.35	-0.47	-0.22	0.04	-0.15	0.30
مرداد	-1.66	0.66	-0.16	0.48	-0.89	0.65	-0.07	-0.45	0.22
شهریور	-1.04	0.62	-0.08	0.43	-0.49	-0.62	-0.01	-0.41	0.25
مهر	-0.44	1.28	0.45	0.37	-0.21	-0.57	0.48	0.19	0.71
آبان	0.8	2.09	1.44	0.28	-0.107	-0.60	1.47	1.19	1.65
آذر	1.06	2.02	1.53	0.26	-0.08	-1.15	1.53	1.31	1.75
دی	1.03	2.04	1.46	0.24	0.20	0.27	1.45	1.27	1.65
بهمن	1.02	2.18	1.48	0.28	0.25	-0.86	1.44	1.24	1.71
اسفند	1.05	2.02	1.49	0.22	0.11	-0.93	1.47	1.30	1.68

جدول ۳- نتایج آزمون های شاپیرو ویلک و کلموگراف اسمیرنوف در بررسی نرمال بودن داده ها پس از نرمال سازی داده ها

آزمون شاپیرو ویلک	سطح معناداری	آزمون کلموگراف اسمیرنوف	سطح معناداری
فروردین	0.128	فروردین	۰.۰۲
اردیبهشت	0.23	اردیبهشت	۰.۰۶
خرداد	0.02	خرداد	۰.۱

۰.۲	تیر	0.051	تیر
۰.۰۲	مرداد	0.002	مرداد
۰.۰۷	شهریور	0.009	شهریور
۰.۲	مهر	0.44	مهر
۰.۲	آبان	0.3	آبان
۰.۰۳۴	آذر	0.012	آذر
۰.۰۹	دی	0.1	دی
۰.۲	بهمن	0.3	بهمن
۰.۲	اسفند	0.09	اسفند

۳-۲- میانیابی

در این تحقیق از نرم افزار Arc GIS 10.4.1 و روش میانیابی کریجینگ جهت پهنه‌بندی داده‌های بارش استفاده شده است. مدل کاربردی و خطاهای درونیابی هر کدام از ماه‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

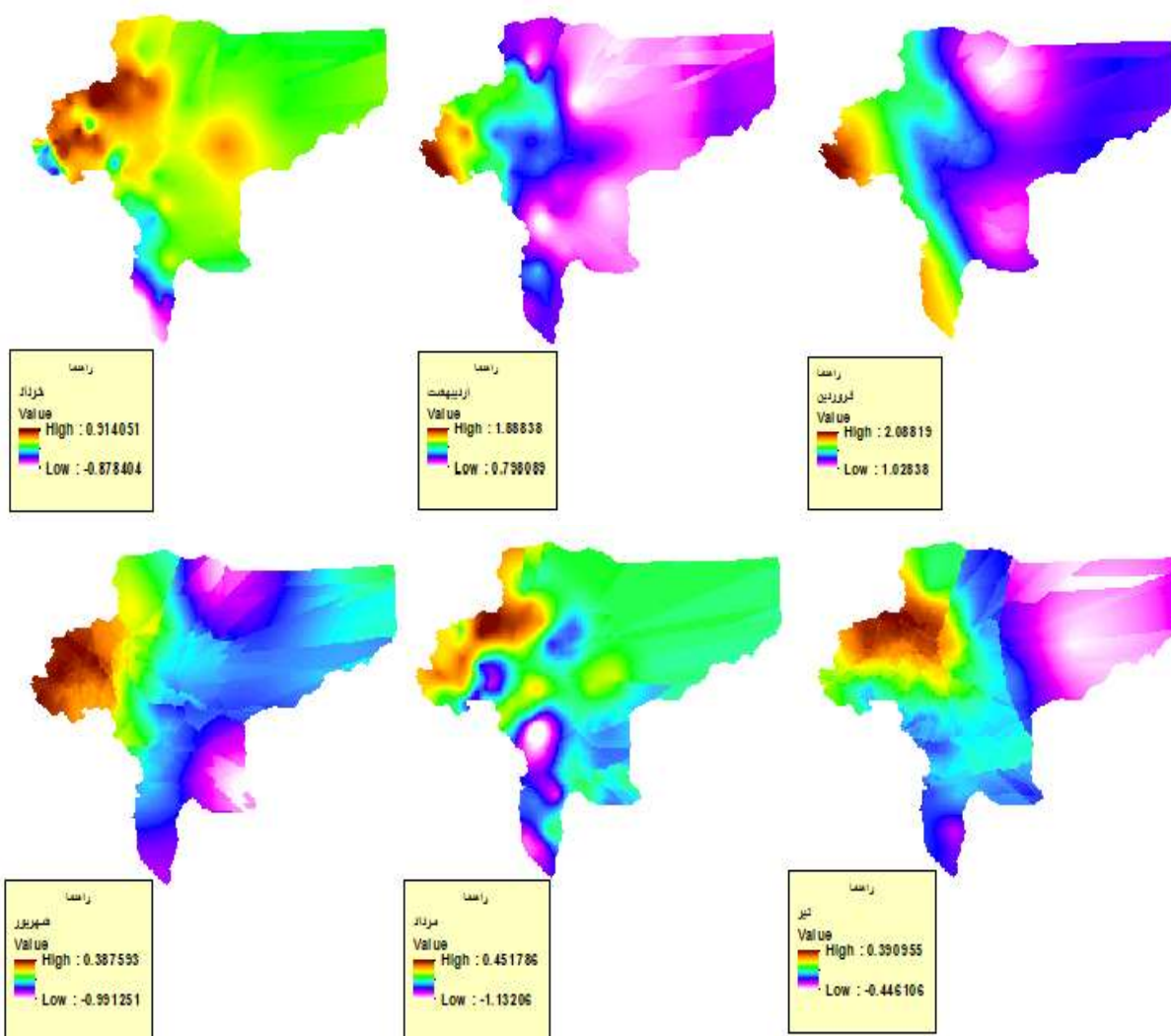
جدول ۴- مدل‌های مورد استفاده و خطای تخمین در هر کدام از ماه‌ها با روش کریجینگ

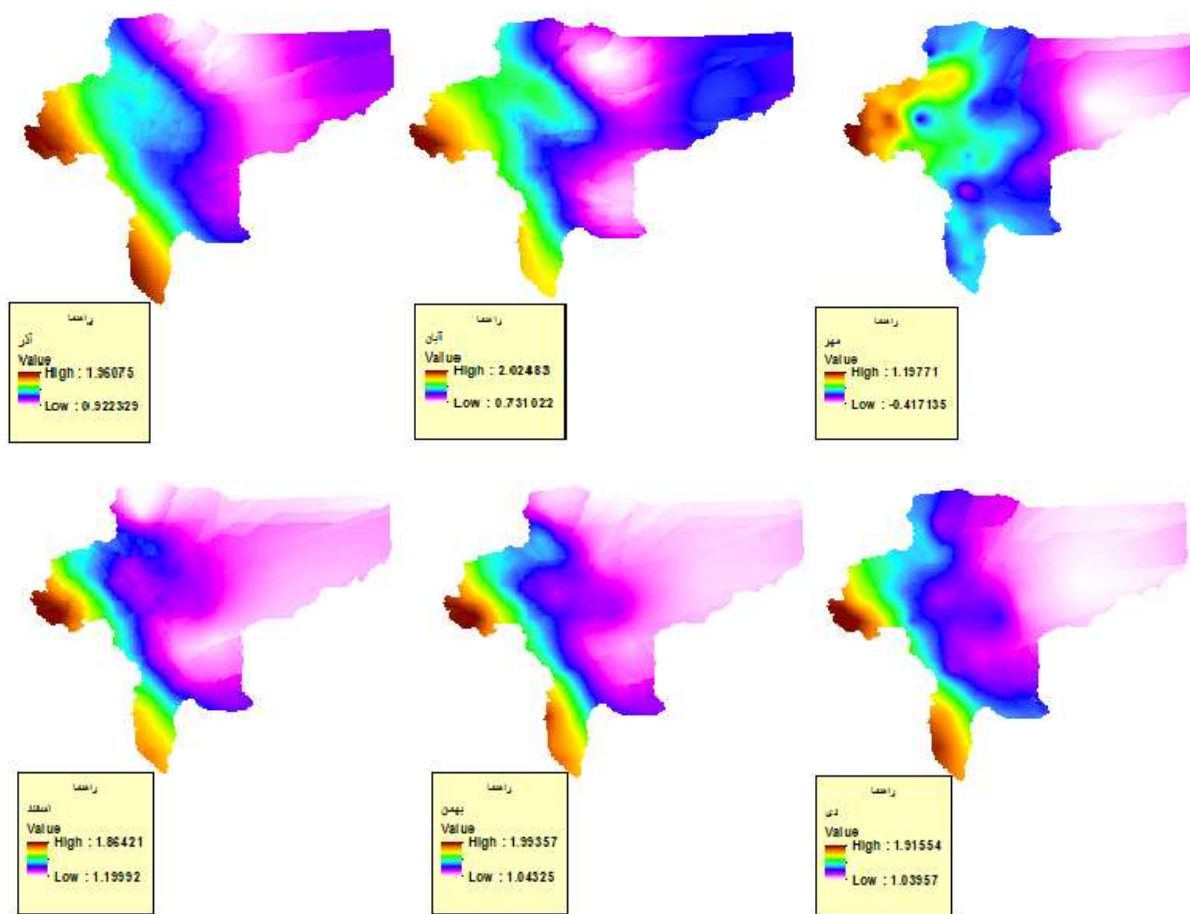
ماه	مدل	RMSE(mm)	ماه	مدل	RMSE(mm)
فروردین	Gaussian	۰.۱۲	مهر	Circular	۰.۲۵
اردیبهشت	Circular	۰.۱۳	آبان	Gaussian	۰.۱۵
خرداد	Gaussian	۰.۳۲	آذر	Gaussian Circular	۰.۱۲
تیر	Circular	۰.۳۲	دی	Circular	۰.۱۲
مرداد	Gaussian	۰.۴۵	بهمن	Gaussian Circular	۰.۱۴
شهریور	Gaussian Circular	۰.۳۲	اسفند	Circular	۰.۱۲

۳-۳- پهنه‌بندی

نقشه‌های پهنه‌بندی ماه‌های فروردین تا اسفند در شکل ۲ آورده شده است. طبق نقشه‌های ترسیم شده در فروردین ماه حداکثر بارش مربوط به شهرهای فریدون شهر، فریدن، چادگان، خوانسار، سمیرم، دهاقان و گلپایگان و کمترین میزان بارش مربوط به شهرهای اردستان، آران و بیدگل و شهر اصفهان می‌باشد. طبق نقشه بارش فروردین ماه بیشترین میزان بارش مربوط به قسمت‌های شمال غرب، غرب و جنوب غرب می‌باشد و هرچه از غرب به سمت شرق می‌رویم میزان بارش کاهش می‌یابد و حداقل بارش در شمال و جنوب استان رخ می‌دهد. طبق نقشه مدل رقومی استان اصفهان و نقشه بارش فروردین ماه در این ماه از مناطق مرتفع به سمت مناطق پست میزان بارش کاهش می‌یابد. طبق نقشه اردیبهشت ماه در شهرهای فریدون شهر، فریدن، خوانسار و قسمتی از چادگان میزان بارش حداکثر و در شهرهای گلپایگان، شمال شاهین شهر، جنوب غربی کاشان، قسمتی از تیران و کرو و قسمتی از چادگان میزان بارش متوسط اما در سایر قسمت‌های استان میزان بارش در حداقل مقدار قرار دارد. یعنی قسمت‌های شمالی و جنوبی و از غرب به شرق استان بارش حداقل می‌شود. در خرداد ماه میزان بارش در منطقه سمیرم، دهاقان و قسمتی از فریدون شهر حداقل است و در شهرهای فریدن، چادگان، شاهین شهر، گلپایگان، کاشان، خمینی شهر، برخوار، نجف آباد، قسمتی از نطنز، قسمتی از نایین و قسمتی از اصفهان در قسمت حداکثر بارش قرار دارند. سایر مناطق استان نیز در محدوده بارش متوسط است. در خرداد ماه حداقل بارش مربوط به قسمت‌های جنوب غربی استان می‌باشد. در تیر ماه در شاهین شهر، گلپایگان، خوانسار و قسمتی از کاشان، نطنز، نجف آباد، برخوار و فریدن بارش حداکثر و سایر قسمت‌های استان در قسمت بارش حداقل قرار دارند. کمترین میزان بارش نیز مربوط به قسمت‌های خور و بیابانک، نایین و سمیرم است. در مرداد ماه بارش در قسمتی از شهرهای شاهین شهر، کاشان، گلپایگان، خوانسار، فریدن و فریدون شهر حداکثر و در مبارکه، دهاقان،

فلاورجان، شهرضا، سمیرم حداقل است. در این ماه از غرب به شرق و از شمال به جنوب میزان بارش کاهشی است. در شهریور ماه میزان بارش در شهرهای فریدون شهر، فریدن، چادگان، خوانسار، گلپایگان، قسمتی از شاهین شهر، نجف آباد و تیران و کرو میزان بارش حداکثر و در اردستان، اصفهان و سمیرم بارش در این ماه حداقل است. در مهرماه میزان بارش در فریدون شهر، فریدن، خوانسار، گلپایگان، و قسمتی از شاهین شهر و کاشان حداکثر و در خور و بیابانک و نایین و اصفهان و اردستان بارش حداقل است. در آبان ماه در فریدون شهر، فریدن، چادگان و قسمت هایی از خوانسار، گلپایگان و سمیرم بارش حداکثر و در اصفهان، اردستان، آران و بیدگل، خور و بیابانک و نایین بارش حداقل است. در این ماه حداقل بارش در قسمت های شمالی و جنوبی استان رخ می دهد. در آذرماه در فریدون شهر و فریدن، چادگان، سمیرم و دهاقان و قسمت هایی از خوانسار و گلپایگان بارش حداکثر و در خور و بیابانک، نایین، اصفهان، اردستان و آران و بیدگل بارش حداقل می باشد. در دی ماه در فریدون شهر، دهاقان و سمیرم و بخش هایی از فریدن و چادگان میزان بارش حداکثر و در خور و بیابانک و نایین و اردستان، اصفهان، نطنز، برخوار، خمینی شهر، فلاورجان، شاهین شهر و کاشان میزان بارش حداقل است. در این ماه قسمت های غربی و جنوب غربی استان حداکثر میزان بارش را داشته و قسمت های شرقی استان کمترین میزان بارش را داشته اند. در بهمن ماه نیز مانند دی ماه حداکثر بارش مربوط به شهرهای فریدون شهر، دهاقان، سمیرم و بخش هایی از فریدن و چادگان می باشد و حداقل بارش در خور و بیابانک، نایین، اردستان، اصفهان، نطنز، برخوار، کاشان و آران و بیدگل است. نتایج اسفند ماه نیز مانند بهمن ماه می باشد.

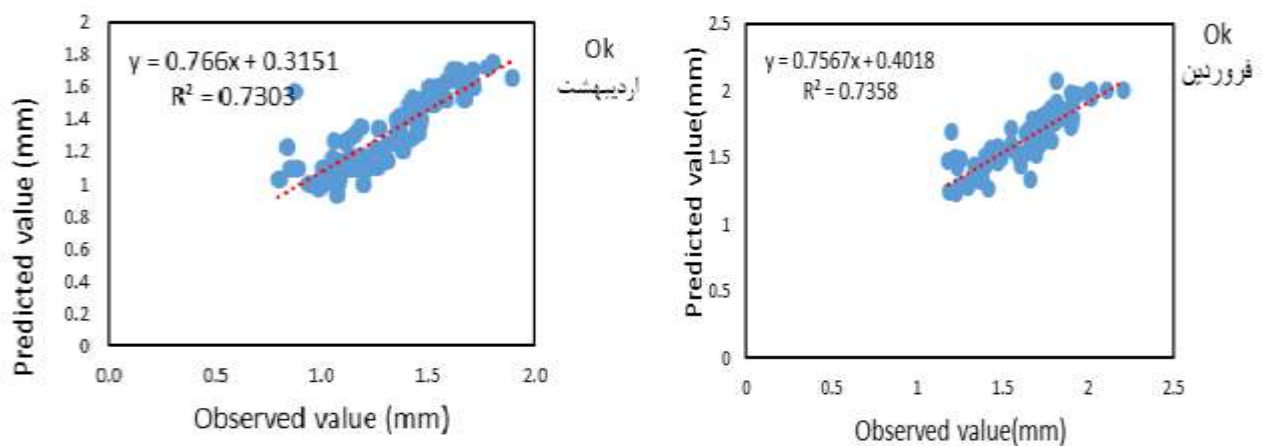


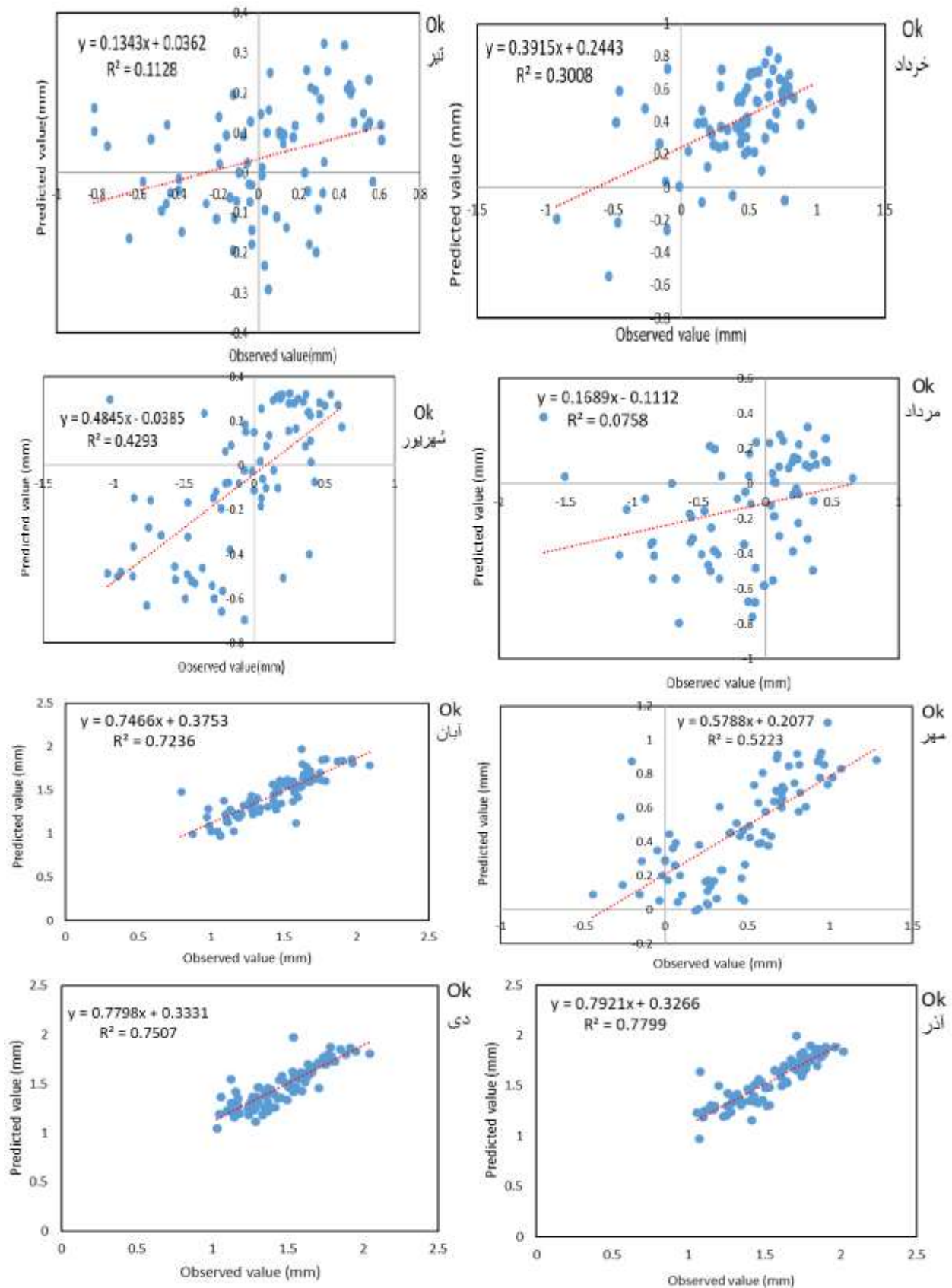


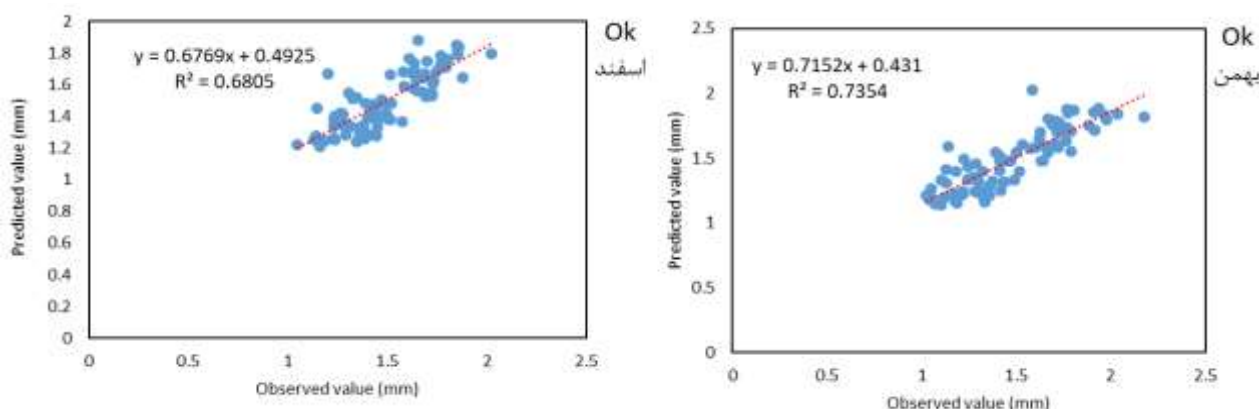
شکل ۲- نقشه‌های پهنه‌بندی بارش از فروردین ماه تا اسفند ماه

۳-۴- نمودارهای پراکندگی

نتایج نمودارهای پراکندگی بصورت شکل ۳ است و با توجه به نمودارهای زیر مشخص می‌شود که در فصول کم بارش ضریب تبیین پایین می‌باشد و باید برای بررسی خوب یا بد بودن مدل استفاده شده از آزمون معنی‌داری نیز استفاده کرد.







شکل ۳- نمودارهای پراکندگی برای تمامی ماه‌های سال

۳-۵- آزمون معنی‌داری

نتایج آزمون t برای ماه‌های مختلف در جدول ۵ آمده است. در تمامی ماه‌ها سطح معنی‌داری بیش از ۰/۰۱ می‌باشد پس بین داده‌های مشاهداتی و تخمینی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

ماه	سطح معنی‌داری
فروردین	۰.۶
اردیبهشت	۰.۶
خرداد	۰.۹
تیر	۰.۸
مرداد	۰.۷
شهریور	۰.۸
مهر	۰.۵
آبان	۰.۵
آذر	۰.۵
دی	۰.۴
بهمن	۰.۶
اسفند	۰.۵

۴- نتیجه‌گیری

یکی از مهمترین متغیرهای ورودی برای محاسبه‌های بیلان آب و تهیه مدل‌های هیدرولوژیکی، توزیع مکانی بارش می‌باشد. درحقیقت آگاهی از توزیع زمانی و مکانی بارندگی یکی از مهم‌ترین عوامل در اجرای طرح‌های حفاظت آب و خاک، مهار کردن سیلاب‌ها و مبارزه با خشکسالی است. نقشه‌های پهنه‌بندی باران و آگاهی از میزان تغییرات آن، نقش مهمی را در تهیه طرح‌های حفاظت خاک، جلوگیری از فرسایش و مدیریت اراضی یک منطقه ایفا می‌کنند. با توجه به اندازه‌گیری نقطه‌ای بارش و عدم پوشش تمام سطح حوزه‌ها، پیش‌بینی این نوع داده‌ها ضروری است. تکنیک‌های مختلفی جهت برآورد داده‌های بارندگی در نقاط فاقد داده وجود دارد. به طور کلی روش‌های زمین آماری در مقایسه با روش‌های آمار کلاسیک برای برآورد بارش دقیق‌تر هستند. در این پژوهش، به ارزیابی تخمینگر کریجینگ در میانمایی بارش در استان اصفهان پرداخته شده است. بررسی نرمال بودن داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام شده است. در تمامی ماه‌ها داده‌های اولیه نرمال نبوده پس از نرمال‌سازی و بررسی سطح اعتمادپذیری نرمال بودن داده‌ها که توسط دو آزمون شاپیرو ویلک و کلموگراف اسمیرنوف انجام شده است، داده‌ها وارد محیط نرم‌افزاری GIS شده و پس از انتخاب مدل مناسب که در اکثر ماه‌ها مدل گوسین به عنوان مدل برتر انتخاب شده که دلیل آن پیوستگی مکانی

بالای داده‌های بارش در محدوده مورد مطالعه بوده است، نقشه‌های پهنه‌بندی استخراج شده و RMSE پایین بدست آمده در تمامی ماه‌ها نشان از مطلوب بودن روش کریجینگ در پهنه‌بندی بارش در استان اصفهان می‌باشد. نتایج آزمون t برای داده‌های مشاهداتی و تخمینی در تمامی ماه‌ها نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و تخمینی می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از این مطالعه می‌توان گفت به منظور جمع‌آوری اطلاعات صحیح و دقیق برای استفاده در تجزیه و تحلیل‌های آماری، شایسته است نسبت به توسعه‌ی شبکه‌ی بارانسنجی با استفاده از روش‌های زمین آماری در مناطق مختلف اقدام شود.

منابع

۱. Hohn, ME., (1988), "Geostatistic and Petroleum Geology", Kluwer Academic Publisher, Netherlands. pp. 250.
- ۱) صفوی گردینی، مریم؛ احمدپری، هدیه؛ دلبری، معصومه؛ ریگی لادز، بهنام. (۱۳۹۷). تحلیل مکانی تغییرات بارش با استفاده از روش‌های زمین آماری (منطقه مورد مطالعه: استان بوشهر). کنفرانس بین المللی جامعه و محیط زیست، دانشگاه تهران.
- ۲) صفوی گردینی، مریم. (۱۳۹۵). واسنجی و استفاده از داده‌های ماهواره TRMM در برآورد بارندگی ماهانه و سالانه مناطق جنوب و جنوب شرقی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه زابل.
- ۳) دلبری، معصومه؛ افراسیاب، پیمان؛ جهانی، سمیه. (۱۳۹۱). ارزیابی اثر استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) در تخمین بارش ماهانه و سالانه در استان گلستان. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۶(۲)، ۱۱۸-۱۳۲.
- ۴) مظفری، غلامعلی؛ میرموسوی، سید حسین؛ خسروی، یونس. (۱۳۹۱). ارزیابی روش‌های زمین آمار و رگرسیون خطی در تعیین توزیع مکانی بارش (مطالعه موردی: استان بوشهر). مجله جغرافیا و توسعه، ۲۷، ۶۳-۷۶.
- ۵) رحیمی بندرآبادی، سیما؛ مهدیان، محمدحسین. (۱۳۸۴). بررسی روش‌های توزیع مکانی بارندگی روزانه و ماهانه در حوضه دریای خزر، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، زمستان ۱۳۸۴، ۱۸(۴)، ۷۲-۶۳.
- ۶) مهدیان، محمدحسین؛ غیاثی، نجفقلی؛ موسوی نژاد، سید محمود. (۱۳۸۲). بررسی روش‌های مختلف میانابایی در تخمین داده‌های بارندگی ماهیانه در ناحیه مرکزی ایران، نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷(۱)، ۴۵-۳۳.
- ۷) نبی پور، یوسف؛ وفاخواه، مهدی. (۱۳۹۵) مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آمار برای برآورد بارندگی در حوزه آبخیز حاجی قوشان، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۹(۲)، ۴۸۷-۵۰۲.
- ۸) مرادی، حمیدرضا؛ شریفی مقدم، احسان؛ امیدی پور، رضا. (۱۳۹۲). مقایسه روش‌های مختلف زمین آمار در تهیه نقشه هم بارش استان ایلام. فصلنامه علمی پژوهشی اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۴(۲)، ۸۷-۹۷.
- ۹) امینی، محمد؛ هدایتی دزفولی، اکرم؛ آزادی، مجید. (۱۳۹۷) مقایسه پهنه‌بندی بارش بر روی ایران با استفاده از روش‌های مختلف درونیابی در یک حالت موردی، مجله علمی و ترویجی نیوار، شماره ۱۰۱-۱۰۰، ۷۴-۶۷.
- ۱۰) موسوی خواه، سعیده؛ نوری، حسن؛ احمدپری، هدیه. (۱۳۹۹). بررسی مدل‌های مختلف درونیابی در پهنه‌بندی مکانی بارش، فصلنامه علمی تخصصی ایده‌های نو در علوم، مهندسی و فناوری. دوره ۲، شماره ۴.
- ۱۱) مهدوی، محمد؛ حسینی چگینی، ابراهیم؛ مهدیان، محمد حسین؛ رحیمی بندرآبادی، سیما. (۱۳۸۳). مقایسه روش‌های زمین آمار در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرقی ایران، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷(۲)، ۲۱۱-۲۲۴.
- ۱۲) دولت آبادی، نرگس خاتون؛ احمدپری، هدیه؛ کرمی عفت. (۱۳۹۴). بررسی و ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از دو شاخص کیفیت EC و SAR در دشت فسا. دومین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران، تهران.
- ۱۳) کریمی، رامین. (۱۳۹۴). راهنمای آسان تحلیل آماری با SPSS، انتشارات هنگام.

Evaluation of Kriging Estimator in Precipitation Interpolation (Case Study: Isfahan Province)

Saeide Mousavikhah¹, Ardalan Zolfagharan^{2*}, Hedieh Ahmadpari³

1-M.Sc. Graduate of Hydrology and Water Resources, Shahid Chamran University of Ahvaz.

2-Academic member of Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

3-M.Sc. Graduate of Irrigation and Drainage, College of Aburaihan, University of Tehran.

Abstract

Rainfall data in each region play a very important role in investigating water resources issues. However, due to the lack of rain gauge stations in all the studied areas, data needs to be interpolated and reconstructed. Because there are several interpolation methods, it will be difficult to determine the best interpolation method, and the selection of the best method and the preparation of precipitation zoning maps depend on the geographical conditions of the region and should be considered separately for each region. Geostatistical methods usually provide good accuracy due to consider the position and arrangement of data as well as their spatial correlation. In this study, kriging estimator has been evaluated in precipitation interpolation in Isfahan province. The normality of the data was checked by SPSS software. Initial data were not normal in all months. Normalization and check of the reliability level of data normality were performed by Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov tests. After normalization and checking the reliability level of data normality, the data entered the GIS software environment and analyzes were performed to determine the appropriate model. The results showed that in most months, the Gaussian model is the best model due to the high spatial continuity of precipitation data in the study area. After selecting the appropriate model, the zoning maps were extracted and the low RMSE obtained in all months indicates the desirability of the kriging method in precipitation zoning in Isfahan province. The results of t-test for observational and estimated data in all months show no significant difference between observational and estimated data.

Keywords: Geostatistics, Kriging, GIS, SPSS, Normalization, Zoning, Interpolation, Gaussian Model