دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

بررسی روش‌های آماری و زمین آماری در تهیه نقشه هم‌بارش استان مازندران

علیرضا یوسفی کبریا[۱]، مهدی نادی[۲] و مژده جامعی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسوول: mehdi.nadi@gmail.com)
۳- دکتری هواشناسی کشاورزی، سازمان آب و برق خوزستان

تاریخ ارسال: ۹۹/۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۴/۲۲
صفحه: ۲۱۲ تا ۲۲۳

چکیده

تخمین بارش در حوضه‌های فاقد داده هواشناسی اهمیت زیادی در مطالعات هیدرولوژی و پیش‌بینی سیلاب دارد. با توجه به فقدان ایستگاه‌های هواشناسی با آمار بلندمدت در استان مازندران و همچنین ماهیت تصادفی‌بودن داده‌های بارش، استفاده از روش‌های آماری مبتنی‌بر متغیرهای کمکی و مقایسه آن‌ها با روش‌های زمین آماری برای درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه در این استان ضروری به‌نظر می‌رسد. به‌همین منظور در این تحقیق از داده‌های بارش ۲۱ ایستگاه هواشناسی طی دوره آماری ۱۳ساله (۲۰۱۶-۲۰۰۴) استفاده شد و شش روش درون‌یابی شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، وزنی عکس فاصله، اسپلاین، رگرسیون کریجینگ و گرادیان خطی سه‌بعدی با یکدیگر مقایسه شدند. ارزیابی روش‌ها نیز بر اساس میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب و تحلیل رگرسیونی انجام گرفت. تحلیل واریوگرافی مدل‌های کروی و نمایی را به‌عنوان بهترین مدل نظری نیم تغییرنما نشان داد. نتایج تحلیل شاخص‌های خطا نشان داد روش اسپلاین دارای بیشترین خطای برآورد بارش بوده و روش گرادیان خطی سه‌بعدی مناسب‌ترین روش تهیه نقشه‌های هم بارش معرفی شد که توانست خطای تخمین بارش را نسبت به‌روش‌های زمین آماری بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر و حدود ۴۰-۶۰ درصد کاهش دهد. البته دقت تخمین آن در ماه‌های گرم و کم بارش کاهش می‌یابد. بررسی نقشه‌های هم‌بارش به‌خوبی دقت روش‌های مبتنی بر متغیر کمکی در تشخیص حلقه‌های کم‌بارش و پر بارش استان را نشان می‌دهد به‌طوری‌که حلقه پر بارش استان در سواحل غربی وجود دارد و با حرکت به سمت شرق استان از حجم بارش کاسته می‌شود. با توجه به تبعیت نقشه هم‌بارش از نقشه پستی و بلندی، این نکته مورد توجه است که حجم بارش نزولی اختلاف زیادی با بارش ارتفاعات این استان دارد. نتایج این پژوهش اثبات کرد استفاده از متغیرهای کمکی منجر به افزایش قابل توجه دقت نقشه‌های هم‌بارش می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بارش، رگرسیون کریجینگ، زمین‌آمار، متغیرکمکی

مقدمه

بارش حاصل اندرکنش‌های جوی است و در میان رویدادهای اقلیمی با توجه به نقش حیاتی آن اهمیت ویژه‌ای دارد و نسبت به پدیده‌های اقلیمی دیگر از پیچیدگی رفتاری چشم‌گیری برخوردار است (۴). توزیع مکانی بارش نقش مهمی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، پیش‌بینی سوانح و آبخیزداری دارد. اما این عنصر اقلیمی تغییرات تصادفی زیادی در مکان دارد که می‌توان آن را در زمره تغییرپذیرترین عناصر جوی به‌حساب آورد (۲۳). به‌طوری‌که تنها برای اندازه‌گیری این متغیر ایستگاه‌های خاص هواشناسی به‌نام ایستگاه‌های باران‌سنجی تأسیس می‌شود. بسیاری از عوامل نامشخص، از جمله توپوگرافی، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و شیب دارای تأثیراتی در توزیع مکانی بارش هستند. بنابراین، برای بهبود صحّت چنین تحلیل‌هایی، لازم است یک مطالعه دقیق انجام شود (۹). در بسیاری از مطالعات اقلیمی و مدیریت منابع آب، مدل‌های هیدرولیکی، پیش‌بینی سیلاب، برآورد بیلان آب و برنامه‌ریزی‌های آبیاری، وجود داده‌های بارندگی و به‌خصوص توزیع مکانی آن (نقشه هم‌بارش)، اهمیت ویژه‌ای دارند (۲۰). نقشه‌های هم‌بارش و خطوط هم‌باران را به کمک روش‌های درون‌یابی می‌توان استخراج کرد.

تیل (۲۴) در کتاب خود در مورد درون‌یابی موضوع را به‌عنوان هنر خواندن بین سطرها در یک جدول (عددی) توصیف کرد. روش‌های درون‌یابی داده‌های مکانی، برای تخمین یک متغیر در یک نقطه خاص از روی داده‌های واقعی اندازه‌گیری‌شده در نقاط مجاور، به‌کار می‌روند (۲۰) که به‌طورکلی در دو دسته آماری و زمین‌آماری قرار می‌گیرند (۸).

زمین آمار شاخه ای از علم آمار کاربردی است که با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از نقاط نمونه‌برداری‌شده قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به‌منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در نقاط نمونه‌برداری‌نشده، است. در روش‌های زمین آماری برای برآورد یک متغیر از مقدار معلوم نقاط اطراف آن استفاده می‌شود به‌طوری‌که به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده، وزنی را نسبت می‌دهد که در معادله شماره ۱ نشان داده شده است (۱۹).

$$Z = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z_{V_i} \qquad (۱)$$

در معادله فوق z پارامتر تخمینی، λ_i وزن یا اهمیت کمیّت وابسته به نمونه iام و z_{v_i} پارامتر معلوم نمونه iام می‌باشد (۱۰). تفاوت روش‌های مختلف زمین‌آماری در نحوه تعیین ضرایب نقاط معلوم است. مثلا روش وزنی عکس فاصله بر این فرض استوار است که تأثیر نقاط مجاور با افزایش مسافت

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]

کاهش می‌یابد. در این روش از فاصله به‌عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری‌نشده استفاده می‌شود. از طرف دیگر تأثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می‌توان اعمال کرد (۴). مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش زمین‌آماری درون‌یابی روش کریجینگ می‌باشد (۱۰). این تخمین‌گر کریجینگ در مرحله اول به شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیر می‌پردازد که این کار را با تحلیل واریوگرافی و آنالیز نیم تغییرنما انجام می‌دهد. سپس در مرحله بعد ضرایب نقاط معلوم و تعداد نقاط همسایگی از روی نیم تغییرنما تعیین می‌گردد. درصورتی‌که به اندازه کافی از متغیر اصلی نمونه‌برداری نشده باشد و نتوان برآورد آماری را با دقت مورد نظر انجام داد از روش کوکریجینگ استفاده می‌شود. این روش بر مبنای همبستگی مکانی بین متغیر اصلی و یک متغیر کمکی که از آن به اندازه کافی نمونه‌برداری شده است، تخمین اصلی را اصلاح کرده و دقت آن را بالامی‌برد. این روش در مواقعی به‌کار می‌رود که ضریب همبستگی بین متغیر اصلی و کمکی، قوی و معنی‌دار باشد (۱۵).

در روش‌های آماری از توابع ریاضی و آماری برازش‌یافته بر داده‌های اندازه‌گیری شده برای درون‌یابی استفاده می‌کنند و مبنای ریاضی دارند. مانند روش اسپلاین که با برازش توابع چندجمله‌ای بر داده‌ها به تخمین آن در نقاط فاقد داده می‌پردازد. برای درون‌یابی بر اساس مدل اسپلاین از چندجمله‌ای‌ها استفاده می‌شود و از برازش یک تابع چندجمله‌ای بر اساس داده‌های نمونه، مقادیر نقاط نامعلوم برآورد می‌شوند. ویژگی اساسی اسپلاین این است که در سطح تغییرات ناگهانی وجود ندارد. در معادلات درجه دوم و سوم این انحناها به حداقل خود رسیده و درنتیجه یک سطح نسبتاً هموار به‌دست می‌آید. با توجه به تأثیر درجه بر دقت داده‌ها در درون‌یابی، هرچه درجه بالاتری انتخاب شود شکل حاصل هموارتر خواهد بود ولی به‌میزان قابل‌توجهی از دقت مدل کاسته می‌شود (۲۲). اما روش‌های گرادیان خطی بر مبنای رابطه رگرسیون خطی بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی بنا شده که فرض بر آن است که در راستای طول و عرض و ارتفاع منطقه، روند خطی وجود دارد که در روش گرادیان خطی سه‌بعدی با برازش یک رابطه‌ی رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی، می‌توان در نقاط مجهول با مشخص‌بودن طول و عرض و ارتفاع آن، مقدار متغیر اصلی را برآورد کرد (۲۰).

در شرایطی که در منطقه متغیر اصلی دارای روند باشد، می‌توان از روش رگرسیون کریجینگ استفاده کرد. در این روش، نخست یک تخمین اولیه از داده اصلی با استفاده از یک رابطه آماری انجام می‌شود سپس این تخمین اولیه از داده‌های اصلی اندازه‌گیری‌شده کم شده که بخش باقیمانده به‌دست می‌آید. سپس باقی‌مانده‌ها با یک روش زمین‌آماری درون‌یابی شده و به مقادیر تخمینی از معادله رگرسیونی اضافه می‌شود. اصولاً استفاده از روش فوق زمانی توصیه می‌شود که اولاً یک یا چند متغیر کمکی مستقل به تعداد زیاد در منطقه موجود باشد و ثانیاً بین متغیر وابسته و متغیرهای کمکی همبستگی خوبی وجود داشته باشد. البته موفقیت این روش مستلزم آن است که بخش باقیمانده قابلیت خوبی برای درون‌یابی داشته باشد. روش‌های درون‌یابی داده‌های بارش در ایران و جهان استفاده زیادی داشته است به‌عنوان مثال دلاوری و همکاران (۱۰) برای نقشه بارندگی استان ایلام از سه روش کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کریجینگ فراگیر استفاده کردند که دریافتند روش کریجینگ فراگیر دقیق‌تر از روش‌های دیگر است. عثمان و همکاران (۲۵)، با استفاده از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی برای پیدا کردند رابطه فضایی بین ارتفاع و آب و هوا (بارش، دما) در شمال نیجریه به این نتایج دست پیدا کردند که بین ارتفاع و متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه رابطه معنی‌داری وجود دارد. آن‌ها دریافتند که در مدل‌سازی مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی مشاهده شد که اثر ارتفاع بر متغیرهای اقلیمی به‌لحاظ جغرافیایی متفاوت است. نادی و همکاران (۲۰) روش‌های مختلف پهنه‌بندی داده‌های اقلیمی در چهارباغ گرگان را مقایسه نمودند و روش هیبرید خطی و غیرخطی را به‌عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه معرفی کردند. در این روش برای اولین بار تغییرات بارش با ارتفاع به‌صورت درجه سه در نظر گرفته شده است. اکبری و همکاران (۳) برای داده‌های سالانه متوسط دما و بارش در یک ناحیه آب و هوایی سرد و مرطوب شامل پنج استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل، زنجان و کردستان برای دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۰۰ میلادی، روش‌های درون‌یابی وزنی عکس فاصله و اسپلاین و کریجینگ، اعمال و مورد بررسی قرار گرفتند، که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش و مقایسه روش‌ها برای منطقه‌ی مورد مطالعه روش‌های کریجینگ و وزنی عکس فاصله به‌ترتیب برای داده‌های بارش و دما نتیجه مطلوبی نشان دادند. آروولو و همکاران (۵)، برای برآورد دما و بارندگی ماهانه در نیجریه از روش‌های کریجینگ روندار و اسپلاین استفاده کردند، نتایج نشان داد در منطقه مورد مطالعه روش‌های خانواده اسپلاین نسبت به روش کریجینگ روندار مناسب‌تر هستند. کوماری و همکاران (۱۷)، با استفاده از معکوس وزنی و روش‌های خانواده کریجینگ، به میان‌یابی بارش در کوه‌های هیمالیا پرداختند. نتایج نشان داد، روش کریجینگ ساده در برآورد بارش سالانه در مقایسه با بارش فصلی عملکرد بهتری دارد. ابوم‌ناصر و همکاران (۲)، روش کوکریجنگ را نسبت به روش‌های کریجینگ ساده و معکوس وزنی فاصله برای توزیع بارش در جنوب غرب کشور عربستان مناسب‌تر تشخیص دادند. قربانی (۱۳) تغییرات مکانی بارش سالانه استان گیلان را مورد بررسی قرار داد که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با روش‌های معمول درون‌یابی شامل چندجمله‌ای سراسری و موضعی، اسپلاین، وزن عکس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ مقایسه شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی دارای کمترین خطا بوده و روش کریجینگ در رتبه دوم قرارگرفته است. امینی و همکاران (۴) با استفاده از شش روش درون‌یابی شامل مربع عکس فاصله، وایازش خطی چندگانه، گرادیان سه‌بعدی به‌علاوه عکس

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]

مجذور فاصله، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کریجینگ جهانی، پهنه‌بندی بارش‌های میانگین ماهانه، فصلی و سالانه، کشور ایران را ارائه دادند، که با مقایسه این شش روش درون‌یابی، گرادیان به‌علاوه عکس مجذور فاصله نسبت به روش‌های دیگر دقت بالاتری در برآورد بارشی کشور ایران برخوردار بود. نادی و همکاران (۲۰) هفت روش درون‌یابی، شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی، رگرسیون کریجینگ، وزنی عکس فاصله، اسپلاین و گرادیان خط سه‌بعدی را برای داده‌های بارش سالانه و ماهانه استان خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، تمامی روش‌ها به‌جز روش گرادیان کریجینگ در برآورد مقادیر زیاد بارندگی دچار خطای کم برآوردی هستند. نبی‌پور و همکاران (۱۹) روش‌های زمین آمار شامل کریجینگ ساده و معمولی، کوکریجینگ ساده و معمولی و کوکریجینگ معمولی استاندارد شده و میانگین متحرک وزنی به‌صورت عکس فاصله با توان یک تا پنج به‌منظور برآورد مکانی بارندگی ماهانه، سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ساعته در حوضه قوشان، شمال شرقی ایران را مورد بررسی قرار دادند، که نتایج حاصل نشان داد برای بارش سالیانه در منطقه مورد نظر، روش کریجینگ معمولی و برای بارش ماه‌های مختلف و همچنین بارش ۲۴ ساعته، روش معکوس فاصله‌ی وزنی با توان پنج مناسب‌ترین روش می‌باشد. زندکریمی و همکاران (۲۷) به ارزیابی دقت ۱۰ روش مختلف درون‌یابی در تخمین بارش استان کردستان پرداخته‌اند که روش اوردیناری کریجینگ مناسب‌ترین روش انتخاب گردید. اسلامی (۱۱)، به‌منظور تهیه‌ی نقشه تغییرات مکانی بارش استان خوزستان، اطلاعات نقطه‌ای شاخص‌ها را با استفاده از روش‌های مختلف قطعی و زمین‌آماری به اطلاعات ناحیه‌ای تبدیل کرد که نتایج نشان داد، روش گریجینگ معمولی با نوع گوسی، بیشترین دقت را برای میان‌یابی شاخص تمرکز بارندگی دارد. یوسفی کبریا و همکاران (۲۶) به مقایسه چهار روش درون یابی، کریجینگ، کو کریجینگ، وزنی عکس فاصله و گرادیان خطی سه بعدی به‌منظور تخمین بارش استان مازندران پرداختند که بهترین روش مورد بررسی روش گرادیان خطی سه‌بعدی انتخاب شد. همچنین نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد، روش‌هایی که از متغیر ارتفاع به‌عنوان متغییر کمکی استفاده می‌کنند، نسبت به روش‌های دیگر از دقت بالاتری برخوردارند.

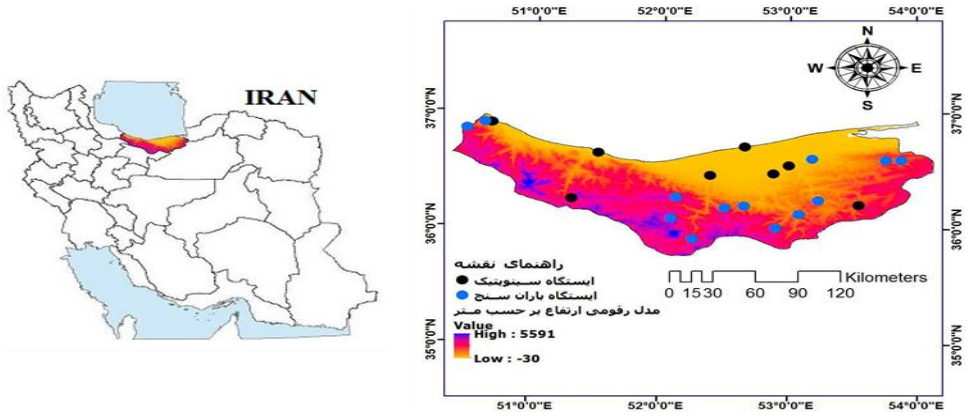
محدوده پستی و بلندی در استان مازندران بین ۲۸- تا ۵۶۱۰ متر نوسان می‌کند که باعث ایجاد اقلیم‌های گوناگون در این استان می‌شود. از سویی دیگر وجود دریای خزر در شمال و رشته کوه البرز در جنوب استان باعث پیچیدگی بیشتر تغییرات مکانی بارش در این استان می‌شود به‌طوری‌که تخمین بارش در مناطق فاقد ایستگاه هواشناسی به‌خصوص در ارتفاعات صعب‌العبور استان که منبع تغذیه رودخانه‌های بزرگی است، با خطای بیشتری همراه می‌شود (۲۰). با توجه به اینکه ارتفاع ایستگاه‌های موجود در استان بین ۲۱- تا ۲۳۰۰ متر است و از طرفی نقش مهم بارش ارتفاعات، بر دبی رودخانه‌ها و ایجاد سیلاب و عدم وجود اطلاعات و داده‌های بارش بالاتر از ارتفاع ۲۳۰۰ متر به‌همین منظور در این پژوهش سعی شد روش مناسب تهیه نقشه‌های هم‌بارش با مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی معرفی گردد. همچنین نقش متغیرهای کمکی در برآورد بارش در استان مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان مازندران با داشتن ۲۳۷۵۶/۴ کیلومترمربع مساحت، بین طول جغرافیایی '۳۴ °۵۰ و'۱۰ °۵۴ و عرض جغرافیایی '۴۷ °۳۵ و'۳۵ °۳۶ در جنوب دریای خزر و در شمال رشته کوه البرز قرار دارد. عوامل مؤثر در آب و هوای این منطقه را می‌توان به وجود کوه‌های البرز، جهت قرا گرفتن آن‌ها، ارتفاع، نزدیکی به دریا، پوشش گیاهی، بادهای محلی، عرض جغرافیایی متوسط و پیش‌آمدن توده هوای شمالی و غربی نسبت داد (۷). سواحل جنوبی دریای خزر همیشه از نظر ویژگی‌های طبیعی و فعالیت‌های اقتصادی به‌خصوص در یک سده اخیر جزء نواحی استراتژیکی در سیاست‌گذاری خرد و کلان کشور محسوب شده است. این ناحیه با قرار داشتن بین دو عارضه تعدیل‌کننده (دریای خزر) و محدودکننده (سلسله جبال البرز) توده‌های هوا، ارتباط اقلیمی مستقیمی با مناطق خشک پیرامون خود ندارد (۱). در این پژوهش و در راستای ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی بارش استان مازندران از داده‌های ۲۱ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی سازمان هواشناسی استفاده شد که در شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌ها نشان داده شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان مازندران
Figure 1. Location of meteorological stations used in Mazandaran province

با بررسی دوره آماری ایستگاه‌ها (۲۰۱۸-۱۹۹۱) از میانگین دوره ۱۳ساله (۲۰۱۶-۲۰۰۴) و داده‌های سال ۲۰۱۵، برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی استفاده شد. با توجه به نقش ارتفاع در پراکنش بارش و همچنین تغییرات عرضی و طولی بارش در استان مازندران در این پژوهش از متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع به‌عنوان متغیرهای کمکی استفاده شد که بتوان تخمین دقیق‌تری از نوسانات بارش داشت. در این تحقیق شش روش درون‌یابی شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، وزنی عکس فاصله، اسپلاین، رگرسیون کریجینگ و گرادیان خطی سه‌بعدی برای تعیین روش مناسب درون‌یابی داده‌های بارش با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

معیارهای ارزیابی روش‌ها

برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی و محاسبه مقدار خطا در این پژوهش از تحلیل رگرسیونی و میانگین مربعات خطا و خطای اریب استفاده شد، که به‌صورت روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شوند.

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}[\hat{Z}(x_i)-Z(x_i)]^2}{N}} \quad (۲)$$

$$MBE=\frac{1}{N}\sum_{i=}^{N}[\hat{Z}(Xi)-Z(Xi)] \quad (۳)$$

که در آن، $\hat{Z}(Xi)$ مقدار برآوردشده و $Z(Xi)$ مقدار مشاهده‌شده و N تعداد داده‌ها هستند. از تحلیل رگرسیونی برای درک میزان هم‌خوانی داده‌های اندازه‌گیری‌شده و تخمینی استفاده می‌شود که فرمول آن به‌صورت رابطه ۴ آورده شده است.

$$Y=a+bX \quad (۴)$$

که در آن Y مقدار برآوردی و X مقدار واقعی ، a عرض از مبدأ و b شیب‌خط می‌باشد. هر چه مقدار a به صفر و b به یک نزدیک‌تر باشد نتایج مدل دقیق‌تر است. در این پژوهش از نرم‌افزار GS+ و Mini tab و Arc Gis و Excel استفاده شده است.

نتایج و بحث

بررسی نیم تغییرنمای داده‌های بارش

در تحلیل واریوگرافی در این تحقیق پنج نوع مدل نیم‌تغییرنما شامل مدل‌های کروی[1]،گوسی[2]، نمایی[3]، خطی[4] و خطی دارای حد آستانه[5] بر داده‌ها برازش داده شد.

برای انتخاب بهترین نیم‌تغییرنما از ضریب تعیین و نسبت تغییرات ساختاردار به تغییرات کل استفاده شد، به‌گونه‌ای که هر چه این نسبت و همچنین ضریب تعیین به یک نزدیک‌تر باشد، مدل انتخابی بهتر است. نتایج بهترین مدل نیم‌تغییرنما در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. با توجه به این جداول ضریب تعیین در تمامی ماه‌ها هم در میانگین دوره ۱۳ساله و هم دوره یک‌ساله مناسب بوده، همچنین به‌جز ماه می، بقیه ماه‌ها نسبت تغییرات ساختاردار به تغییرات کل مناسبی دارند، با توجه به این جدول بهترین مدل‌ها در این پژوهش مدل‌های نمایی و کروی بوده است. علاوه‌بر این بررسی نتایج جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که دامنه تاثیر داده‌های بارش در این استان در میانگین دوره ۱۳ساله حدود ۱۸ کیلومتر و در دوره یک‌ساله (۲۰۱۵) حدود ۶ کیلومتر می‌باشد.

1- Spherical 2- Gaussian 3- exponential 4- linear
5- Linear to sill

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]

جدول ۱- پارامترهای نیم تغییرنما بارندگی استان مازندران

Table 1. Semivariogram analysis parameters of rainfall in Mazandaran province

	ماه	r^2	C/(C+C0)	دامنه تأثیر(deg)	آستانه (c+c0)	اثر قطعه‌ای (c0)	مدل منتخب
میانگین ۱۳ سال	ژانویه	۰/۹	۰/۹	۱۱/۴	۰/۴	۰/۰۲	نمایی
سال ۲۰۱۵		۰/۹	۰/۹	۶	۰/۸	۰/۰۶	کروی
میانگین ۱۳ سال	فوریه	۰/۸	۰/۸	۴	۰/۰۶	۰/۰۰۸	کروی
سال ۲۰۱۵		۰/۷	۰/۹	۶	۰/۴	۰/۰۱	کروی
میانگین ۱۳ سال	مارس	۰/۹	۰/۹	۵/۶	۰/۱۵	۰/۰۱	کروی
سال ۲۰۱۵		۰/۹	۰/۹	۶	۰/۳	۰/۰۰۷	کروی
میانگین ۱۳ سال	آوریل	۰/۹	۰/۹	۱۸	۰/۵	۰/۰۲	کروی
سال ۲۰۱۵		۰/۸	۰/۶	۶	۰/۱	۰/۰۵	کروی
میانگین ۱۳ سال	می	۰/۷	۰/۵	۶	۰/۲	۰/۱	نمایی
سال ۲۰۱۵		۰/۷	۰/۵	۶	۰/۱	۰/۰۷	کروی
میانگین ۱۳ سال	ژوئن	۰/۹	۰/۷	۴	۰/۳	۰/۰۸	کروی
سال ۲۰۱۵		۰/۸	۰/۶	۶	۰/۱	۰/۰۵	کروی
میانگین ۱۳ سال	ژوئیه	۰/۹	۰/۷	۴	۰/۳	۰/۱	کروی
سال ۲۰۱۵		۰/۸	۰/۸	۱	۰/۳	۰/۰۴	نمایی
میانگین ۱۳ سال	آگوست	۰/۷	۰/۶	۴	۰/۴	۰/۱	کروی
سال ۲۰۱۵		۰/۸	۰/۹	۰/۷	۰/۰۶	۰/۰۰۰۱	کروی
میانگین ۱۳ سال	سپتامبر	۰/۸	۰/۸	۴/۶	۰/۷۳	۰/۰۸	کروی
سال ۲۰۱۵		۰/۶	۰/۹	۴	۰/۹	۰/۰۸	کروی
میانگین ۱۳ سال	اُکتبر	۰/۹	۰/۷	۱/۷	۰/۴	۰/۰۹	کروی
سال ۲۰۱۵		۰/۹	۱	۶	۰/۲	۰/۰۰۰۱	کروی
میانگین ۱۳ سال	نوامبر	۰/۹	۰/۸	۲	۰/۲	۰/۰۳	کروی
سال ۲۰۱۵		۰/۹	۰/۸	۵	۰/۶	۰/۰۹	کروی
میانگین ۱۳ سال	دسامبر	۰/۸	۰/۷	۱	۰/۱۲	۰/۰۲	کروی
سال ۲۰۱۵		۰/۹	۰/۸	۶	۰/۴	۰/۰۵	کروی
میانگین ۱۳ سال	سالانه	۰/۸	۰/۸	۱/۷	۰/۱۱	۰/۰۱	کروی
سال ۲۰۱۵		۰/۸	۰/۸	۱	۰/۲	۰/۰۳	کروی

بررسی رابطه گرادیان خطی بارش با متغیرهای کمکی

با توجه به اینکه در روش‌های آماری باید از متغیرهای کمکی استفاده نمود در این تحقیق همبستگی داده های بارش با متغیرهای ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی محاسبه شد که نتایج نشان داد پارامتر کمکی ارتفاع نسبت به طول و عرض جغرافیایی دارای همبستگی معنادارتری است، به‌علاوه طول جغرافیایی نسبت به عرض جغرافیایی همبستگی بیشتری دارد. همچنین ضریب همبستگی طول جغرافیایی و ارتفاع با داده‌های بارش منفی و معنادار است به‌عبارتی با افزایش ارتفاع و همچنین با حرکت از سمت غرب به شرق استان از مقدار بارش کاسته می‌شود. بنابراین برای استفاده در معادله گرادیان سه‌بعدی از متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع استفاده شد که معادلات ماهانه برآورد میانگین بارش در جدول ۲ نشان داده شده است. با مشاهده این جدول مشخص می‌شود که ضریب تعیین معادلات گرادیانی در ماه‌های سرد بیشتر از ماه‌های گرم است که نشان‌دهنده کارایی بهتر این معادلات در ماه‌های پربارش است. همچنین در میانگین دوره ۱۳ساله، ماه‌های ژوئن، ژوئیه و آگوست (ماه‌های گرم) و در دوره یک‌ساله علاوه‌بر ماه‌های ذکرشده، ماه‌های مارس و سپتامبر نیز، کمتر می‌شود که ممکن است به‌علت افزایش اثرات محلی و کاهش اثرات سیستمی در ماه‌های خشک باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]

جدول ۲- معادله گرادیان خطی سه بعدی بارش استان مازندران
Table 2. Equation of three-dimensional linear gradient of precipitation in Mazandaran province

ضریب تعیین	معادله رگرسیونی گرادیان سه بعدی	ماه	
۰/۲۹	p = ۵ – ۴/۸۵ LONG + ۸/۸ LAT – ۰/۰۱۰۹ z	ژانویه	میانگین ۱۳ سال
۰/۵	p = ۳۸ – ۲۱/۴ LONG + ۳۱/۷ LAT – ۰/۰۱۵۱ z		سال ۲۰۱۵
۰/۳	p =۱۷۳– ۵/۴۸ LONG+۵/۱ LAT – ۰/۰۰۴۷۲ z	فوریه	میانگین ۱۳ سال
۰/۴	p = ۶۸۰ – ۱۷/۹ LONG + ۹/۳ LAT – ۰/۰۱۰۲ z		سال ۲۰۱۵
۰/۵	p =۱۰۹۳ – ۱۲/۱ LONG –۱۰/۵ LAT – ۰/۰۱۰۷ z	مارس	میانگین ۱۳ سال
۰/۱	p =۱۳۸۰ – ۹/۷۲ LONG – ۲۷/۴ LAT – ۰/۰۱۴۴z		سال ۲۰۱۵
۰/۶	p = ۱۰۹۵ – ۱۳/۹ LONG – ۸/۷ LAT + ۰/۰۰۲۱۷z	آوریل	میانگین ۱۳ سال
۰/۴	p =۱۲۶۶ – ۱۷/۵ LONG – ۸/۸ LAT + ۰/۰۰۸۱۶z		سال ۲۰۱۵
۰/۴۴	p = ۱۱۲۷ - ۹ LONG – ۱۷/۱ LAT + ۰/۰۰۴۹۵ z	می	میانگین ۱۳ سال
۰/۳	p = ۸۴۹ – ۸/۳۵ LONG – ۱۰/۸ LAT + ۰/۰۰۲۶۲z		سال ۲۰۱۵
۰/۱۶	p = ۱۵۸۷ – ۹/۲۸ LONG - ۲۹ LAT – ۰/۰۰۵۸۱ z	ژوئن	میانگین ۱۳ سال
۰/۰۳	p =۱۲۳۸ – ۳/۳۴ LONG – ۲۸/۶ LAT + ۰/۰۰۲۲۶ z		سال ۲۰۱۵
۰/۱۹	p=۱۷۷۵ – ۱۰/۶ LONG – ۳۲/۲ LAT – ۰/۰۰۲۵۹z	ژوئیه	میانگین ۱۳ سال
۰/۲	p = ۱۴۷۰ – ۱۰/۸ LONG – ۲۲/۲LAT – ۰/۰۲۹۰ z		سال ۲۰۱۵
۰/۰۱	p = ۸۸۹ – ۸/۰۳ LONG – ۱۱/۴ LAT – ۰/۰۰۸۸۲z	اگوست	میانگین ۱۳ سال
۰/۰۵	p = –۳۴۵۲ + ۱۳/۸LONG + ۷۸ LAT – ۰/۰۳۶۹ z		سال ۲۰۱۵
۰/۳۲	p = ۹۸۸ – ۱۴/۲ LONG – ۴/۳ LAT – ۰/۰۲۰۹ z	سپتامبر	میانگین ۱۳ سال
۰/۰۵	p = ۱۲۷۰ – ۱۵/۳ LONG – ۱۰/۴ LAT – ۰/۰۰۴۱ z		سال ۲۰۱۵
۰/۵	p = ۱۰۱۵ – ۲۵/۲ LONG + ۱۲ LAT – ۰/۰۴۳۲z	اُکتبر	میانگین ۱۳ سال
۰/۵	p = ۲۳۴۲ – ۷۸ LONG + ۵۳/۷ LAT – ۰/۰۷۸۱ z		سال ۲۰۱۵
۰/۶۳	p = ۴۳۲ – ۱۹/۳ LONG + ۱۹/۲ LAT – ۰/۰۲۷۲ z	نوامبر	میانگین ۱۳ سال
۰/۶	p = ۴۹۳ – ۲۷/۹ LONG + ۲۹/۵ LAT – ۰/۰۲۳۶ z		سال ۲۰۱۵
۰/۴	p = - ۳۱۸ - ۶ LONG + ۱۹/۷ LAT – ۰/۰۱۳۸ z	دسامبر	میانگین ۱۳ سال
۰/۲	p = - ۱۳۳۰ – ۶/۲۲ LONG + ۴۶/۹ LAT + ۰/۰۰۸۳۹z		سال ۲۰۱۵
۰/۴۳	p = ۹۸۶۰ - ۱۳۸ LONG - ۴۸ LAT – ۰/۱۴۲ z	سالانه	میانگین ۱۳ سال
۰/۵	P = ۶۲۴۴ - ۲۰۳ LONG + ۱۴۷ LAT – ۰/۱۹۳ z		سال ۲۰۱۵

مقایسه روش‌های درون‌یابی

برای مقایسه روش‌های درون‌یابی مورد بررسی از میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب استفاده شد. بررسی میانگین مربعات خطای روش‌های درون‌یابی در این تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین خطای برآورد تخمین میانگین بارش در میانگین دوره ۱۳ساله مربوط به ماه اکتبر و بیشترین خطا برآورد تخمین بارش یک‌ساله مربوط به ماه‌های آگوست و اکتبر، می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد خطای روش اسپلاین نسبت به روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و وزنی عکس فاصله بیشتر است. مقایسه روش‌های مورد بررسی در ماه‌های مختلف با یکدیگر نشان داد که در بین ۶ روش درون یابی روش‌های رگرسیون کریجینگ و گرادیان خطی سه‌بعدی در همه ماه‌های سال دارای کمترین خطای برآورد داده‌های بارش می‌باشند و به‌نظر می‌رسد دیگر روش‌های درون‌یابی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند، همچنین روش گرادیان سه‌بعدی خطای تخمین بارش روش‌های اسپلاین، کریجینگ، کوکریجینگ و وزنی عکس فاصله را در برخی از ماه ۵۰ درصد کاهش داده است که نشان از برتری این روش در استان مازندران نسبت به سایر روش‌ها دارد. در مورد مجموع میانگین بارش دوره ۱۳ساله و مجموع بارش یک‌ساله (۲۰۱۵)، نیز نتایج نشان داد روش گرادیانی خطای تخمین را در مقایسه با روش کوکریجینگ بیش از ۴۰ درصد کاهش داده و در مقایسه با روش‌های وزنی عکس فاصله و کریجینگ بیش از ۳۵ درصد کاهش داده و در مقایسه با روش اسپلاین ۵۷ درصد کاهش داده است. همچنین روش رگرسیون کریجینگ نیز به‌طور متوسط خطای تخمین را در مقایسه با روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و وزنی عکس فاصله بیشتر از ۲۷ درصد کاهش داده و در مقایسه با روش اسپلاین ۴۶ درصد کاهش داده است. با توجه به توضیحات فوق و جداول ۴ و ۵ بهترین روش درون‌یابی برای استان مازندران طبق شاخص میانگین مربعات خطا، روش گرادیان سه بعدی دارا می‌باشد. به‌علاوه بررسی میانگین خطای اریب روش‌های درون‌یابی این پژوهش نشان داد که بیشترین خطا را روش اسپلاین و کوکریجینگ دارا هستند و خطای روش‌های وزنی عکس فاصله و کریجینگ تفاوت چندانی ندارد. کمترین میزان اریبی خطا در بین روش‌های مورد بررسی مربوط به روش‌های رگرسیون کریجینگ و گرادیان خطی سه‌بعدی دارا می‌باشد، که در جداول شماره ۳ و ۴ نشان داده شده است. همچنین با توجه به جداول زیر روش گرادیان سه‌بعدی دارای کمترین خطا می‌باشد، که تقریبا برابر صفر می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]

جدول ۳- مقادیر RMSE و MBE روش‌های درون یابی برای میانگین دوره ۱۳ساله بارندگی ماهانه و سالانه
Table 3. RMSE and MBE values of induction methods for the average 13-year period of monthly and annual rainfall

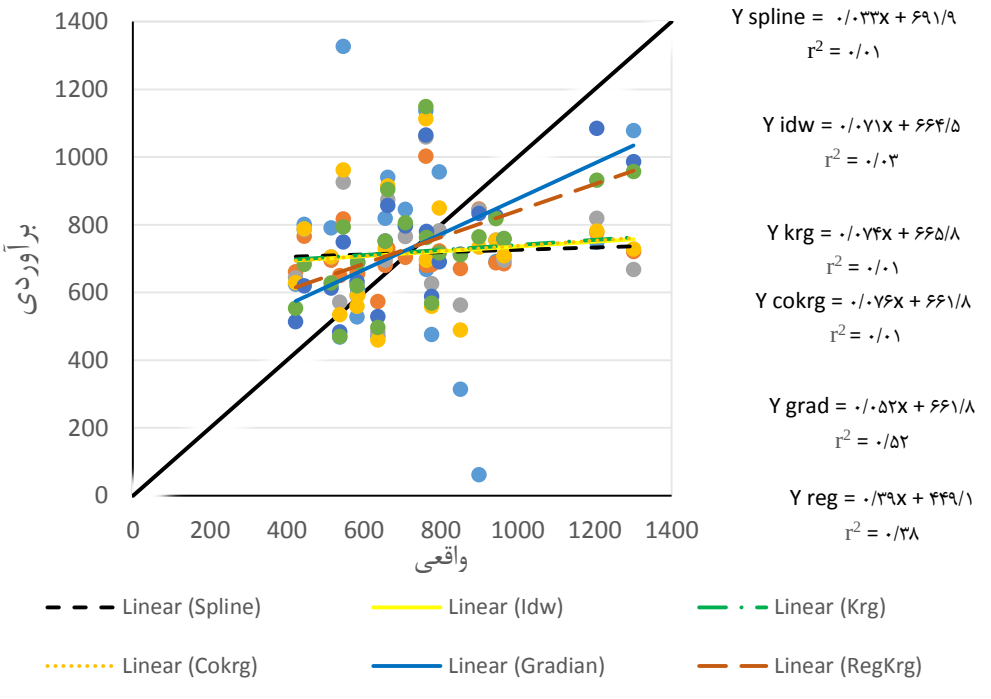
ماه	گرادیان سه بعدی		کو-کریجینگ		وزنی عکس فاصله		کریجینگ		رگرسیون کریجینگ		اسپلاین	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
ژانویه	۰	۱۴/۲	−۲	۱۸/۶	−۱/۷	۱۸/۷	−۱/۹	۱۸/۲	۰/۲۸	۱۵/۱	−۳/۴	۱۸/۵
فوریه	۰	۸/۹	−۰/۴	۱۲/۳	−۰/۸	۱۱/۱	−۰/۵	۱۲/۲	۰/۱	۱۰/۱	−۰/۳	۱۲/۳
مارس	۰	۱۰/۷	−۱/۳	۱۶/۷	−۱/۸	۱۵/۹	−۱/۲	۱۵	−۰/۵۶	۱۳/۳	−۰/۹	۲۵/۵
آوریل	۰	۹/۵	−۱/۲	۱۳/۱	-۳	۱۳/۳	−۱/۲	۱۲/۱	−۰/۲۸	۱۰/۷	−۰/۵	۱۶/۵
می	۰	۹/۹	−۰/۹	۱۳/۸	-۳	۱۴	−۲/۶	۱۳/۴	۰/۱۱	۱۱/۲	۰/۲	۱۷/۶
ژوئن	۰	۱۳	−۱/۱	۱۸	−۱/۷	۱۵/۸	−۱/۹	۱۵/۸	۰/۴	۱۴/۵	−۰/۴	۲۴/۴
ژوئیه	۰	۱۴/۷	-۱	۲۰/۶	−۲/۵	۱۷/۷	−۲/۴	۱۷/۴	۰/۶۳	۱۶/۳	−۰/۳	۲۶/۸
اگوست	۰	۱۹/۲	−۳/۳	۲۵/۹	−۳/۶	۲۲	−۳/۶	۲۲/۵	۰/۰۱	۲۰/۸	-۳	۳۲/۶
سپتامبر	۰	۲۳/۷	−۴/۶	۴۰/۲	-۵	۳۳/۹	−۵/۱	۳۶/۸	۰/۰۹	۲۸	−۲/۵	۴۸/۴
اُکتبر	۰	۳۶/۹	−۸/۳	۶۲/۲	−۱۰/۶	۶۱/۶	−۹/۳	۶۱/۵	−۱/۰۱	۴۸/۵	۱۱/۷	۷۳/۲
نوامبر	۰	۲۱/۵	-۴	۳۵/۹	−۵/۵	۳۸	-۴	۳۵/۷	−۰/۶۱	۲۷/۶	−۰/۳	۴۲/۸
دسامبر	۰	۱۶/۴	−۳/۴	۲۴/۲	−۳/۱	۲۴/۴	−۲/۶	۲۴/۸	−۰/۴۱	۱۸/۷	−۳/۹	۳۱/۹
سالانه	۰	۱۵۵	−۲۲/۸	۲۶۰/۵	−۲۳/۷	۲۲۶/۵	−۱۹/۸	۲۴۷	−۱/۲۸	۱۸۹/۲	-۲۴	۳۵۵/۷

جدول ۴- مقادیر RMSE و MBE روش‌های درون یابی برای داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه سال ۲۰۱۵
Table 4. RMSE and MBE values of interpolation method for monthly and annual rainfall data for 2015

ماه	گرادیان سه بعدی		کو-کریجینگ		وزنی عکس فاصله		کریجینگ		رگرسیون کریجینگ		اسپلاین	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
ژانویه	۰	۲۶/۳	−۴/۸	۴۶/۴	−۶/۶	۴۰/۸	−۴/۸	۴۰	۰/۲	۳۷/۹	۱۱/۹	۶۲/۷
فوریه	۰	۲۱/۶	−۰/۵	۲۸/۳	−۳/۱	۲۷	−۰/۷	۲۷/۸	۰/۷	۲۷/۳	۶/۵	۳۸/۹
مارس	۰	۱۸/۸	−۲/۸	۲۱/۲	−۳/۶	۲۲/۷	−۲/۳	۲۰/۱	−۱/۷	۲۰/۵	−۱/۶	۳۰/۱
آوریل	۰	۱۹	۱	۲۹/۴	−۲/۲	۲۶/۵	۰/۴	۲۷/۷	−۰/۶	۲۳/۳	۱/۳	۴۳/۳
می	۰	۱۰/۷	۱/۴	۱۴/۳	۰/۱	۱۳/۲	−۰/۲	۱۲/۵	۱/۳	۹/۶	۶/۶	۲۲/۱
ژوئن	۰	۱۹/۱	۱/۷	۲۶/۱	۱/۲	۲۳/۴	−۰/۲	۲۲/۳	۱	۲۱/۹	۱۳/۸	۳۵/۴
ژوئیه	۰	۳۱/۱	−۸/۸	۴۷/۸	−۸/۷	۴۳/۶	−۷/۶	۴۶/۶	−۲/۳	۳۷	۱۵	۶۲/۱
اگوست	۰	۲۶/۵	−۱۲/۷	۳۶/۳	۱/۳	۳۱/۱	−۳/۲	۳۰/۶	−۰/۹	۴۳/۶	−۰/۸	۴۴/۱
سپتامبر	۰	۴۱/۲	−۶/۹	۵۳/۷	−۷/۳	۴۶/۷	−۷/۵	۵۰/۳	۱/۹	۴۶	−۶/۵	۶۵/۴
اُکتبر	۰	۸۵	−۵/۴	۱۴۶/۲	−۴	۱۴۳	−۵/۱	۱۴۶/۱	۰/۱	۱۱۸/۱	۵۱/۳	۱۸۸/۶
نوامبر	۰	۲۴/۲	−۳/۲	۴۰/۳	−۸/۱	۳۷/۷	−۵/۳	۳۶/۵	۰	۲۹/۹	−۰/۲	۵۴
دسامبر	۰	۲۲/۴	−۶/۵	۳۹/۴	−۵/۶	۳۲/۲	−۴/۳	۳۳/۱	−۰/۶	۲۸/۱	۰/۱	۴۷/۷
سالانه	۰	۱۸۹/۹	−۱۵/۳	۳۳۹/۶	−۸/۶	۲۹۱/۴	−۱۴/۶	۳۳۹/۱	۰/۲۵	۲۳۸/۲	−۳۱/۲	۵۲۱/۷

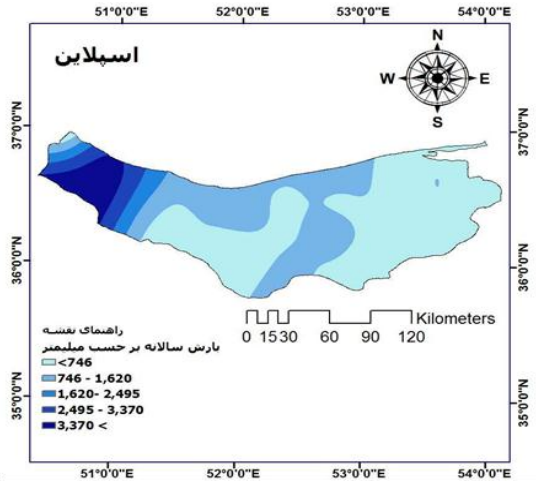
علاوه-بر شاخص‌های خطا تحلیل رگرسیونی نتایج نیز انجام شد که بای داده‌های میانگین دوره ۱۳ساله در شکل ۲ قابل مشاهده است. نمودار برآورد و مقدار واقعی بارش در مقابل یکدیگر ترسیم شد به‌علاوه، معادله خط برای روش‌های مختلف درون‌یابی نیز بر داده‌ها برازش یافت. با توجه به معادلات و نمودار حاصل، بهترین معادله خط مربوط به روش گرادیان سه‌بعدی می‌باشد که نزدیک‌ترین خط نسبت به دیگر روش‌ها به خط ۱:۱ می‌باشد. همچنین روش رگرسیون کریجینگ نیز نسبت به دیگر روش‌ها (به‌جز گرادیان سه بعدی) معادله خط بهتری ارائه داد. تحلیل نتایج شاخص‌های خطا و تحلیل رگرسیونی روش گرادیان سه‌بعدی را به‌عنوان روش برتر معرفی نمود اما به‌منظور مقایسه و درک بهتر عملکرد روش‌های مورد بررسی در برآورد بارش ماهانه و سالانه استان مازندران، نقشه‌های هم بارش سالانه میانگین دوره ۱۳ساله با شش روش مورد بررسی در این پژوهش رسم شد که در شکل ۳ نشان داده شده است. نقشه‌های موجود در نرم‌افزار ArcMap ترسیم شد که برای ترسیم نقشه گرادیان سه‌بعدی، از معادلات جدول شماره ۲ استفاده شد. همچنین برای ترسم نقشه هم بارش با روش رگرسیون کریجینگ، پس از محاسبه باقیمانده‌های حاصل از معادله رگرسیونی، نقشه باقیمانده‌ها با استفاده از روش کریجینگ رسم شد، سپس با ترکیب این نقشه و نقشه گرادیان سه‌بعدی، نقشه نهایی ترسیم گردید.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]

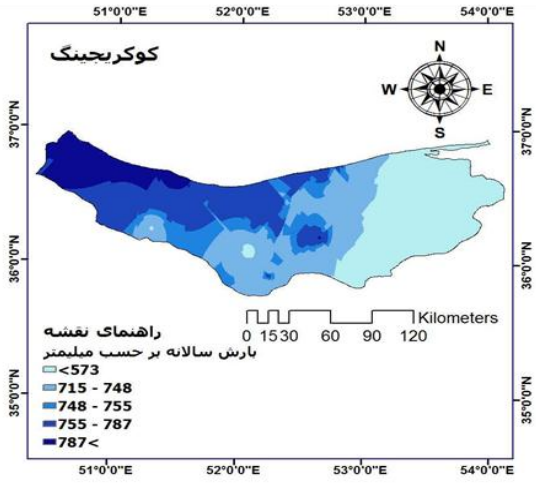


شکل۲- تحلیل رگرسیونی روش‌های مختلف مکانی کردن داده‌های میانگین بارش دوره ۱۳ساله
Figure 2. Regression analysis of different methods of locating the mean rainfall data of the 13-year period

بررسی نقشه هم‌بارش با روش اسپلاین در شکل ۳، نشان می‌دهد این روش برآورد مناسبی از بارش سالانه در استان نشان نداده است به گونه‌ای که بیشترین بارش استان را بیش از ۳۰۰۰ میلی‌متر برآورد کرده به‌علاوه تفکیک بارشی خوبی برای سواحل و ارتفاعات استان در نظر نگرفته است. همچنین نقشه هم‌بارش روش‌های وزنی عکس فاصله و کوکریجینگ که به‌ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده، نیز تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته و با بررسی هر دو شکل می‌توان به این نتیجه رسید که این دو روش پراکندگی بارش را با توجه به اقلیم خاص و متنوع استان مازندران، به‌خوبی نشان نداده‌اند.



شکل ۳- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ ساله استان مازندران با روش اسپلاین
Figure 3. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the spline methods

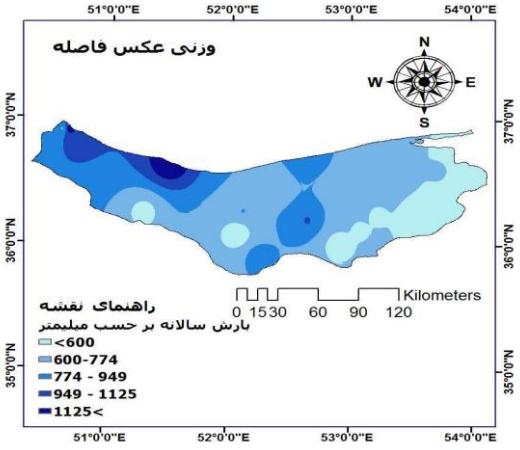


شکل ۴- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ ساله استان مازندران با روش کوکریجینگ
Figure 4. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the studied co kriging methods

نقشه هم‌بارش به‌دست‌آمده از روش کریجینگ که در شکل ۶ قابل مشاهده است، نسبت به نقشه‌های عکس فاصله و کوکریجینگ بهتر بوده و پراکندگی بارش را در سواحل به‌خوبی نشان داده است، همچنین هرچه از غرب به شرق

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]

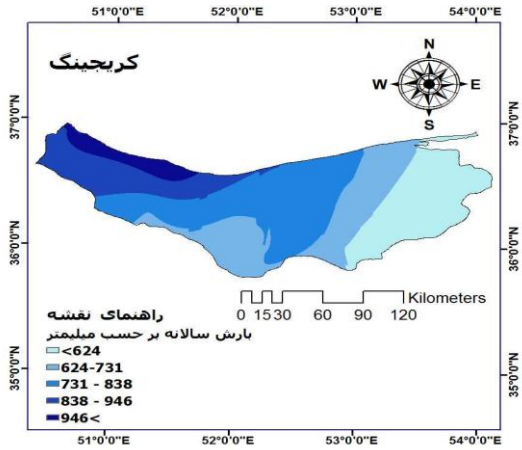
استان پیش می‌رویم میزان بارش استان کاهش می‌یابد، اما این روش تفکیک بارشی مناسبی برای ارتفاعات استان



شکل ۵- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ساله استان مازندران با روش وزنی عکس فاصله

Figure 5. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the idw methods

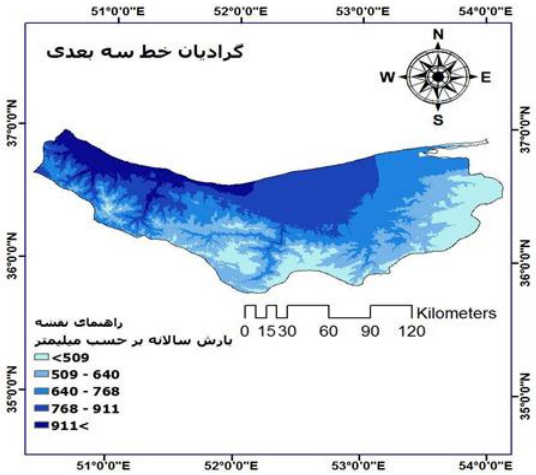
به‌خصوص ارتفاعات غربی استان در نظر نگرفته است.



شکل ۶- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ساله استان مازندران با روش کریجینگ

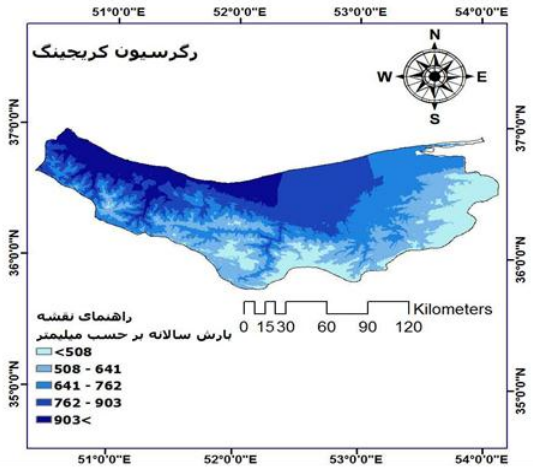
Figure 6. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the studied co kriging methods

نقشه حاصل از روش‌های گرادیان سه‌بعدی و رگرسیون کریجینگ که در شکل‌های ۷ و ۸ آمده است، تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و نسبت به سایر روش‌ها نقشه هم‌بارش بهتری را برای استان رسم کرده است. نقشه‌های حاصل از این دو روش به‌خوبی نشان می‌دهند که حلقه پر بارش استان از امتداد انتهای سواحل غربی استان تا سواحل مرکزی استان تا شهرستان سرخرود و فریدون کنار تشکیل می‌شود. همچنین هرچه از ساحل دور می‌شویم و به ارتفاعات پیش می‌رویم مقدار بارش کاهش می‌یابد. به‌علاوه شیب تغییرات بارش-ارتفاع در غرب استان بیشتر از شرق می‌باشد که دلیل آن توپوگرافی خاص و پیچیده غرب استان مازندران است. به‌علاوه بخش غربی استان را به چند بخش بارشی تفکیک کرده، همچنین با بررسی نقشه‌ها می‌توان به این نتیجه دست یافت که بارش نزولی در دره‌ها و نقاط پست اطراف کوه‌های، غرب استان، بیشتر از ۹۰۰ میلی‌متر است، اما در مرکز استان و دره‌ها و نقاط پست تر اطراف قله دماوند این حجم بارش کاهش یافته و تقریباً بیش‌تر از ۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد و هر چه به شرق می‌رویم از حجم بارش کاسته می‌شود.



شکل ۷- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ ساله استان مازندران با روش گرادیان خط سه بعدی

Figure 7. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the Gradian3D methods



شکل ۸- نقشه هم‌بارش میانگین دوره ۱۳ساله استان مازندران با روش رگرسیون کریجینگ

Figure 8. Map of the average rainfall of 13 years of Mazandaran province with the studied Reg-krg methods

در این پژوهش به‌منظور تعیین بهترین روش درون‌یابی داده‌های بارش ماهانه و سالانه استان مازندران، از دو دوره آماری شامل میانگین بارش ۱۳ساله و مجموع بارش یک‌ساله ۲۰۱۵ استفاده شد و شش روش درون‌یابی شامل اسپلاین،

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]

وزنی عکس فاصله، کریجینگ، کوکریجینگ، گرادیان خطی سه‌بعدی و رگرسیون کریجینگ با یکدیگر مقایسه شدند. به‌نظر می‌رسد در ماه‌های گرم مؤلفه غیر ساختاردار بزرگتر شده و ساختار مکانی داده‌های بارش ۲۰ الی ۳۰ درصد کاهش می‌یابد که ممکن است به‌دلیل ماهیت محلی سیستم‌های بارش‌زا باشد. البته این مطلب قبلاً نیز توسط نادی و همکاران (۲۰) گزارش شده است. بر اساس نمودار تغییرات بارش- ارتفاع به‌نظر می‌رسد در این استان با افزایش ارتفاع از حجم بارش سالانه کاسته می‌شود، بررسی میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب نشان داد. بهترین روش درون‌یابی برای بارش‌های درازمدت و کوتاه مدت ماهانه روش گرادیان خطی سه‌بعدی است که انتظار می‌رفت روش رگرسیون کریجینگ تخمین دقیق‌تری نسبت به روش گرادیانی داشته باشد چرا که این روش در واقع منشعب از روش گرادیانی است با این تفاوت که به لایه رگرسیونی یک لایه برای کاهش خطای معادله گرادیانی اضافه می‌شود. اما این گونه به‌نظر می‌رسد که لایه خطا اصلاً دقت مناسبی در تشخیص خطای روش گرادیانی ندارد. به‌عبارتی نتایج نشان داد لزوماً افزایش یک لایه منجر به کاهش خطا نمی‌شود و ممکن است نتیجه عکس همراه داشته باشد.

علاوه‌بر شاخص‌های خطا، تحلیل رگرسیونی نیز نشان داد که روش گرادیان سه‌بعدی مناسب‌ترین روش درون‌یابی داده‌های بارش در استان مازندران است. نقش مؤثر متغیرهای کمکی قبلاً توسط عثمان و همکاران (۲۵) نیز گزارش شده است ایشان در تحلیل رابطه فضایی بین ارتفاع و دما و بارش در شمال نیجریه دریافتند که در مدل‌سازی مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی اثر ارتفاع بر متغیرهای اقلیمی بسیار حائز اهمیت است. همچنین حکیم دوست و همکاران (۱۴) نیز دریافتند که ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی، بیشترین تأثیر را در توزیع بارش مازندران دارند. البته در بین روش‌های زمین آماری نیز کلاه‌چی و همکاران (۱۶) در مازندران و مظفری و همکاران (۱۸) در بوشهر روش کریجینگ را نسبت به سایر روش توصیه کردند.

تحلیل نقشه‌های هم‌بارش با روش‌های مختلف نیز نشان داد که روش‌های رگرسیون کریجینگ و گرادیان خطی سه‌بعدی تخمین منطقی‌تری از تغییرات مکانی بارش در استان دارند. به‌طوریکه در ارتفاع بالاتر از ۲۰۰۰ متر مقدار بارش بین ۹۰۰-۴۰۰ میلی‌متر در نوسان است که نشان از توپوگرافی پیچیده و خاص استان دارد. از بررسی نقشه هم‌بارش سالانه با روش منتخب می‌توان دریافت که تنها سواحل غربی استان بارش بیش از ۹۰۰ میلی‌متر در سال را در استان تجربه می‌کنند. به‌علاوه شیب تغییرات بارش با ارتفاع در غرب استان بیشتر از شرق بوده و به‌دلیل توپوگرافی پیچیده غرب استان، سواحل غربی دارای بارش بیشتری نسبت به ارتفاعات غرب می‌باشد. همچنین به‌نظر میزان بارش نزولی در کف دره‌های استان برابر بارش مناطق کم ارتفاع می‌باشد که این مطلب نقش مهمی در دبی رودخانه‌های جاری در دره‌های استان دارد. به‌علاوه در این پژوهش از دو دوره میانگین ۱۳ساله و کوتاه‌مدت یک‌ساله استفاده شد و نشان داده شد که روش‌های به‌کار برده شده هم در دوره ۱۳ساله و هم دوره کوتاه‌مدت نتایج مشابهی داده است و روش گرادیان خط سه‌بعدی با متغیر کمکی ارتفاع، هم برای دوره درازمدت و هم برای دوره کوتاه‌مدت کابرد مناسبی دارند. مطالعات انجام شده در تهیه نقشه هم‌بارش استان مازندران نشان داد که اغلب به بررسی روش‌های زمین‌آماری پرداخته‌اند. این پژوهش با مقایسه روش‌های آماری و زمین‌آماری نشان داد اولاً روش‌های آماری دقت بالاتری در تخمین بارش دارند و همچنین استفاده از متغیرهای کمکی باعث افزایش دقت تخمین خواهد شد. بنابراین روش گرادیان خط سه‌بعدی به‌عنوان روش برگزیده معرفی می‌گردد که خطای تخمین بارش را تا بین ۴۰ تا ۶۰ درصد کاهش داده است.

تشکر و قدردانی

این تحقیق برگرفته از نتایج پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد. از اداره کل هواشناسی استان مازندران به جهت در اختیار نهادن داده‌های هواشناسی استان تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Abdollahi, P., M. Habibnejad and K. Solaimani. 2015. Investigation of Precipitation and Temperature Changes in Caspian Sea Southern Coasts and Its Comparison with Changes in Northern Hemisphere and Global Scales. Journal of Watershed Management Research, 6(11): 90-100.
2. Abo-Monasar, A. and M.A. Al-Zahrani. 2014. Estimation of rainfall distribution for the southwestern region of Saudi Arabia. Hydrological Sciences Journal, 59(2): 420-431.
3. Akbari, M., H. Mostafaie and T. Mohammadzadeh. 2015. Error assessment and measurement, interpolation efficiency in estimating northwestern Iran temperature and precipitation data. International Conference on Geographical Seinces (ICG 2015), Kharazmi Institute of Higher Science and Technology, Shiraz, Iran, (In Persian).
4. Amini, M., A. Hedayati and M. Azadi. 2019. A Case study of comparing some interpolation methods for precipitation analysis over Iran. Nivar, (100-101): 67-74.
5. Arowolo, A.O., A.K. Bhowmik and W. Qi and X. Deng. 2017. Comparison of spatial interpolation techniques to generate high-resolution climate surfaces for Nigeria. International Journal of Climatology, 37(1): 179-192.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]

6. Arzumandi, L. and F. Tirgar Fakhri. 2013. Synoptic analysis of heavy rainfall in Mazandaran province (Case study November 11, 1996). International Conference on Geography,Urban Planning and Sustainable Development, Tehran (In Persian).
7. Ataei, H., M. Tavana. and L. Parsa. 2014. Climate Analysis of Mazandaran Province and Mazandaran Province's Climate Zoning Using Gis. The Second national conference of Tourism, Geography and Stable Environment, (In Persian).
8. Carratal A., A. Gomez and J. Bellot. 1998. Mapping Rain Compostion in the East of Spain by Applying Kriging. Water, Air and soil Pollution, 104(12): 9-27.
9. Chen, T., L. Yan, F. Yang, X. Jiang, S.H. Tang, T. Liu, Y. Zaho and C.H. Zhang. 2017. Comparison of Spatial Interpolation Schemes for Rainfall Data and Application in Hydrological Modeling. Water, 9(342); doi:10.3390-9050342.
10. Dellavari, D., M. Mirzai zade and M. Tarek. 2014. Evaluation of Different Kriging Methods in Ilam Province Rain Zone. Second National Conference on Architecture, Civil and Urban Environment, Hamadan, Martyr Mofteh Callege, (In Persian).
11. Eslami, H. 2019. Investigation of Spatial Variability of Precipitation Concentration and Rainfall Erosivity Indices in Khuzestan Province. Journal of Watershed Management, 9(17): 109-118. (In Persian).
12. Ghahroudi Tali, M. and Sh. Mohammadi. 2002. Relief Management and Necessity of Domain Instability Zoning in Sanandaj. 1st Conference on Search and Rescue Management, Iran Crescent Applied Higher Education Institute, Tehran, (In Persian).
13. Ghorbani, Kh. 2011. Geographically Weighted Regression: A Method for Mapping Isohyets in Gilan Province. Journal of Water and Soil, 3(66): 743-752.
14. Hakim Doost, Y., A. Mohammad Pour zidi and M.S. Gerami. 2015. Spatial analysis of rainfall in Mazandaran province, in the environment of geographic information system. Journal of Geographical Information Scientific Quarterly, 26(102):191-203.
15. Jamei, M. and M. Mousavi Baigi. 2013. Spatial and zoning estimation of reference evapotranspiration in Khuzestan province. Journal of Geography and Regional Development (Research Journal), 11(21): 23-43.
16. Kolahchi, A., B. Nazari and B. Karimi. 2007. Study of Monthly Rainfall in Mazandaran Province and Comparison of GIS Statistical Methods with Gis. 4th National Conference on Iranian Watershed Management Science and Engineering, Karaj, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, (In Persian).
17. Kumari, M., A. Basistha, O. Bakimchandra and C.K. Singh. 2016. Comparison of spatial interpolation methods for mapping rainfall in Indian Himalayas of Uttarakhand region. In: Raju N. (Ed.), Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment. Springer, Cham, Switzerland, PP. 159-168.
18. Mozafari, G., S. Shafiee and R. Behnoosh. 2014. Statistical Spatial Analysis of the Precipitated Rainfall of Iran by the atmosphere-Ocean HADCM3 General Cycle Round. Agricultural Meteorological Journal, 2(2): 45-36.
19. NabiPur, Y. and M. VafaKhah. 2017. Comparison of Different Geostatistical Methods for Estimating Rainfall in Haji Ghoshan Watershed. Journal of Range and Watershed Management, 2(69): 487-502.
20. Nadi, M., A. Khalili, K. Pour Tahmasi and J. Bazrafshan. 2013. Comparison of different climatological zoning techniques to determine the most important factors affecting the growth of Chahar Bagh area trees, Journal of Forest and Wood Products. Iranian journal of natural recources, 1(66): 95-83 (In Persian).
21. Nadi, M., M. Jamei. J. Bazrafshan and S. Janat Rostami. 2012. Evaluation of Different Methods for Interpolation of Mean Monthly and Annual Precipitation Data (Case Study: Khuzestan Province). Physical Geography Research, 4(44): 130-117 (In Persian).
22. Niknejad, M., A. Mahdavi and A. Karimi. 2013. Evaluation of drop rate of different interpolation methods in preparing rainfall map of Khorramabad city. The first national conference of Tourism, Geography and Stable Environment, Venue of Shahid Mofteh Faculty of Hamadan, (In Persian).
23. Rasooli, A., T. Jalali, F. Serafrouz and M. Ismail Pour. 2015. Investigation of temporal and spatial variations of precipitation and its prediction in East Azarbaijan province. Journal of geography and planning, (51): 171-191.
24. Thiele, T.N. 1909. Interpolationsrechnung, B.G. Teubner, Leipzig.
25. Usman, U., M.L. Aliyu and M.K. Aminu. 2015. Study of the Geographically Weighted Regression Application on Climate Data. Mathematical Theory and Modeling, 5(8): 62-66.
26. Yousefi Kabria, A., M. Nadi and Sh. Sheikh Arjanki. 2019. Increasing the accuracy of monthly and annual precipitation maps using covariates in Mazandaran province. 3th Iranian National Conference on Hydrology, University of Tabriz, (In Persian).
27. Zand Karimi, A. and D. Mokhtari. 2015. Evaluating the accuracy of different interpolation methods in estimating precipitation values for selecting the best algorithm in Kurdistan province. Physical Geography Research, 2(50): 323-338.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]

Investigation of Statistical and Geostatistical Methods in Preparing The Rainfall Map of Mazandaran Province

Alireza Yousefi Kebriya[1], Mehdi Nadi[2] and Mozhdeh Jamei[3]

1- M.Sc Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(corresponding auther: mehdi.nadi@gmail.com)
3- Ph.D, Khuzestan Water and Power Organization
Received: 19 June, 2020 Accepted: 12 July, 2020

Abstract

Precipitation estimation in areas without recorded meteorological data is of great importance in hydrological studies and flood forecasting. Due to the lack of high-altitude meteorological stations with long-term recorded data in Mazandaran province as well as stochastic attribute of rainfall data, using statistical methods based on covariates and comparison with geostatistical methods for interpolating monthly and annual rainfall data in this province is Inevitable. For this purpose, precipitation data from 21 meteorological stations over a 13-years recorded period (2004-2013) were used. In order to determination of appropriate interpolation method of rainfall data, six models including Ordinary Kriging, Cokriging, Inverse Distance Weighting, spline, three-dimensional linear gradient and regression-kriging were investigated. Evaluation of the methods was also performed on the basis of root mean square error, mean bias error and regression analysis. Variography analysis showed spherical and exponential models as the best theoretical semivariogram models. The results of error indices analysis showed the Spline model has the lowest efficiency and the three-dimensional linear gradient was found as the most appropriate interpolation model of rainfall data which in comparison with other models reduced the rainfall estimation error from 100 to 200 mm(about 40 to 60 percent). However, its accuracy is reduced in hot and humid months. Investication of rainfall maps illustrates the accuracy of covariate based interpolation methods in detecting low rainfall and high rainfall points of the province. So that high rainfall district is located on the west coast of the province and by moving east the amount of rainfall decrease. Due to the similarity of the rainfall map and the digital elevation model, it is noted that the amount of precipitation in valleys is very different from precipitation in the highlands of this province. The results of this study showed that in areas with complex topography, the use of covariates leads to a significant increase in the accuracy of rainfall maps.

Keywords: Covariate, Geostatistic, Precipitation, Regression-Kriging

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.19.4]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.212]