



برآورد تغییرات مکانی بارش در زاگرس میانی با روش‌های میان‌یابی

بهرز ساری صراف^۱، کامل آزر^۲

چکیده

پیچیدگی الگوها و سازوکارهای بارشی متفاوت و عدم پراکنش مناسب ایستگاه‌های اندازه‌گیری در نواحی کوهستانی، ضرورت ارائه‌ی مدل بارشی مناسب برای هر ناحیه را طلب می‌نماید. در این پژوهش با استفاده از داده‌های بارش سالانه مربوط به ۲۱۸ ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و بارانسجی (۲۰۰۵-۲۰۰۰) با بهره‌گیری از روش رگرسیون چند متغیره و زمین آمار اقدام به برآورد تغییرات مکانی بارش در دامنه‌های غربی زاگرس مرکزی شد. از تعداد ۲۰ ایستگاه به منظور ارزیابی و آزمون روش‌ها استفاده شد و با بهره‌گیری از دو شاخص آماری MAE و RMSE، عملکرد مدل‌های مورد استفاده و تعیین میزان دقت هر یک از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج حاصل از ارزیابی معیارهای خطا نشان داد که کریجینگ عام با کمترین میزان خطا نسبت به بقیه روش‌های زمین آمار و مدل رگرسیونی، به عنوان بهترین روش مدل‌سازی معرفی شد. بر اساس نتایج حاصل، هسته‌های اصلی بارش تقریباً به صورت نواری منطبق بر ناهمواری‌ها از سمت شمال‌غرب-جنوب شرق می‌باشد که در نیمه‌ی شمالی، این هسته‌های بارش منطبق بر ارتفاعات کوه‌رنگ و در نیمه‌ی جنوبی کمی پایین‌تر از خط‌الراس کوه‌ها می‌باشند. روش‌های زمین آمار نتایج بهتری را نسبت به مدل رگرسیون چند متغیره بدست آوردند ولی از این جهت که روش رگرسیون چند متغیره با توجه به همبستگی و از طریق متغیرهای مستقل، متغیر وابسته را برآورد می‌نماید، برای مدل‌سازی سطوح ارتفاعی بالاتر که فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری می‌باشند نتایج قابل قبول‌تری را به دست می‌آورد.

واژگان کلیدی: بارش، زاگرس مرکزی، رگرسیون چند متغیره، زمین آمار، میان‌یابی.

۱. استاد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز

۲. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز

مقدمه

تغییرات مکانی بارندگی به شدت تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و عوامل مورفولوژی زمین است. مسئله مهم در برآورد بارش، دسترسی یا عدم کفایت داده‌های گذشته از یک سو و پراکندگی ایستگاه‌ها از سوی دیگر است. نواحی کوهستانی دارای الگوهای پیچیده‌ی بارشی هستند. ویژگی‌هایی مانند افزایش بارش در دامنه‌های رو به باد (اثر اوروگرافیک) و یا اثر سایه‌باران^۱ در دامنه‌های پشت به باد، از مشخصه‌های بارز این نواحی است. پیچیدگی سازوکار بارش نه تنها ناشی از این ارتباط است بلکه نبود اندازه-گیری‌های مناسب و دقیق در این نواحی نیز به آن دامن زده است. ایستگاه‌های ثبت بارش در نواحی کوهستانی عموماً در مناطق با ارتفاع کمتر احداث می‌گردند. در نتیجه اطلاعات پژوهشگر از بارش نواحی کوهستانی بر پایه‌ی اطلاعات ثبت شده در ارتفاعات پایین‌تر است که این امر سبب پیچیده‌تر شدن مدل‌سازی بارش در این نواحی می‌گردد (پرودهوم و دانکن^۲، ۱۹۹۹: ۱۳۴۲). با پیچیدگی الگوها و سازوکارهای بارشی و عدم پراکنش مناسب ایستگاه‌های اندازه‌گیری در نواحی کوهستانی، تعیین الگوی برآورد مکانی بارش می‌تواند بسیار مهم باشد. از سویی برآورد تغییرات مکانی بارندگی به منظور ارزیابی منابع آب و پیش‌بینی حوادث طبیعی ناشی از بارندگی‌های سنگین از اهمیت زیادی برخوردار است.

روش‌های گوناگونی در برآورد توزیع مکانی فراسنج‌های اقلیمی وجود دارد. روش‌های آمار کلاسیک از معمول‌ترین این روش‌ها بشمار می‌روند. در این روش‌ها، نمونه‌ها فاقد بعد مکانی هستند. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به رگرسیون چند متغیره اشاره نمود. ولی در روش‌های زمین‌آماری، افزون بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد، بدین لحاظ می‌توان موقعیت مکانی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر یک‌جا مورد تحلیل قرار داد (جهانی و دلبری، ۱۳۸۸: ۱۴).

1- Rain shadow

2- Prudhomme and duncan

کریجینگ می‌باشد که امروزه در زمینه‌های گسترده و متنوعی از علوم نظیر جغرافیا، زمین‌شناسی، نقشه‌برداری و منابع آب کاربرد دارد. مطالعات مختلفی در این زمینه چه در خارج و چه در داخل ایران صورت گرفته است. از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: مارتینز^۱ (۱۹۹۶) با استفاده از روش‌های زمین آمار کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و کریجینگ باقیمانده‌های پیرایش شده^۲ مقدار بارش و تبخیر و تعرق را در مناطق کوهستانی شمال اسپانیا درونیابی نمودند. ارزیابی روش‌های فوق از طریق شاخص‌های متوسط قدر مطلق خطا^۳ و ریشه دوم مربع خطا^۴ حاکی از مناسب‌تر بودن روش کوکریجینگ نسبت به دو روش دیگر بود. کاستلیک و کاسملج^۵ (۲۰۰۲) با هدف یافتن روشی مناسب برای درونیابی فضایی میانگین بارش سالانه در شبکه‌ای منظم با تفکیک ۱ کیلومتر برای اسلوانیا^۶ روش زمین آماری کریجینگ عام را انتخاب کردند و در تجزیه و تحلیل‌ها وابستگی میانگین سالانه‌ی بارش و متغیرهای جغرافیایی مانند ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی را مد نظر قرار داده و در آن همبستگی مثبت میانگین بارش سالانه با ارتفاع و همبستگی منفی آن با طول جغرافیایی را در درونیابی-های فضایی لحاظ کردند. نینیورلا و همکاران^۷ (۲۰۰۷) با استفاده از روش‌های زمین آمار و رگرسیون چند متغیره به برآورد بارش ماهانه در شبه جزیره ایبری واقع در جنوب غربی اروپا پرداختند. آن‌ها از متغیرهای ارتفاع و ناهمواری، عرض جغرافیایی، ضریب بری بودن و تابش خورشید به عنوان متغیرهای مستقل بهره گرفته و در نهایت نتیجه گرفتند که روش‌های رگرسیون چند متغیره نتایج قابل قبول‌تری را نسبت به روش‌های زمین آمار به دست دادند. رانهو و همکاران^۸ (۲۰۰۸) به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش در کوهستان داکینگ واقع در شمال چین، از تحلیل رگرسیون چند متغیره در

1- Martínez

2- Modified residual kriging

3- Mean Absolute Error (MAE)

4- Root Mean Square Error (RMSE)

5- Kastelec and kosmelj

6 - Slovenia

7 - Ninyerola et al

8- Ranho

ترکیب با باقیمانده‌های تصحیح استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از داده‌های بارش ۵۶ ایستگاه، از عامل‌های ناهمواری ارتفاع، شیب، جهت شیب و طول و عرض جغرافیایی برای تخمین و توسعه‌ی مدل بهره گرفتند که مدل رگرسیون چند متغیره قادر به تبیین ۷۲/۶ درصد تغییرپذیری فضایی بارش در کل سال و ۷۴/۴ درصد تغییرپذیری بارش در فصل مرطوب شد.

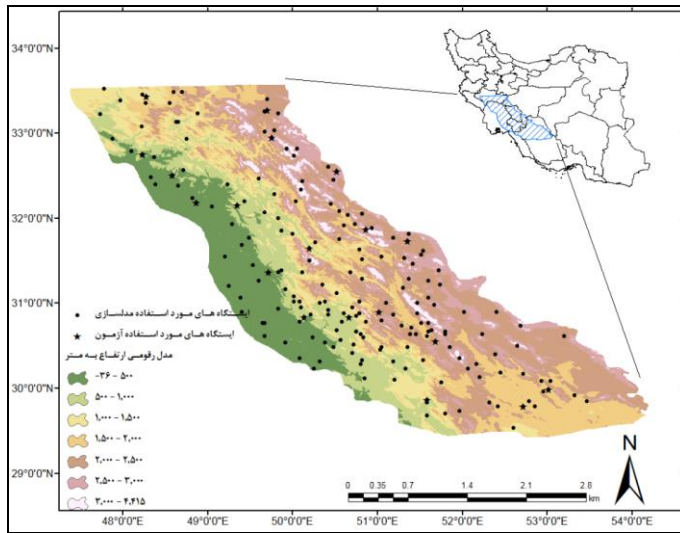
مجرد و مرادی فر (۱۳۸۲) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی خطی، لگاریتمی، توانی و نمایی دو متغیره و چند متغیره به مدل‌سازی رابطه‌ی بارش با ارتفاع در زاگرس پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که از بین مدل‌های چند متغیره، مدل چند متغیره خطی برای برآورد بارش مناسب می‌باشند. همچنین بیان کردند در ناحیه رو به باد، با افزایش ارتفاع، میزان بارش کاهش می‌یابد و همچنین افزایش طول و عرض جغرافیایی در غالب دوره‌های زمانی (فصل‌ها) باعث کاهش بارش می‌شود. عساکره (۱۳۸۴) تغییرات مکانی بارش استان اصفهان را در ارتباط با ارتفاع، عرض و طول جغرافیایی مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که نقش طول جغرافیایی و ارتفاع در توجیه بارش بسیار بیشتر از نقش عرض جغرافیایی است. مهدی‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) به منظور پهنه‌بندی بارش سالانه از روش‌های زمین‌آماری کریجینگ، میانگین متحرک وزنی و روش آماری اسپیلاین استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش‌های زمین‌آمار نسبت به روش‌های آمار کلاسیک، نتایجی بهتر ارائه دادند. عزیزی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی با استفاده از مدل رگرسیونی چند متغیره به مدل‌سازی تغییرات مکانی بارش در زاگرس میانی اقدام کردند. در پژوهش مذکور، ارتفاع، شیب، جهت شیب، طول و عرض جغرافیایی، فاصله از خط منبای غربی و فاصله از خط الراس به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. مدل‌سازی از طریق متغیرهای مستقل معنادار انجام پذیرفت و با تقسیم منطقه به دو بخش دامنه‌ی رو به باد و پشت به باد، نحوه‌ی تغییرپذیری مکانی بارش بررسی شد. ایشان نتیجه گرفتند با وجود هماهنگی نسبی بین بارندگی و ناهمواری، هسته‌ی بیشینه بارندگی بر محور مرتفع ناهمواری منطبق نیست. ذبیحی و

همکاران (۱۳۹۰)، با بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آماري کريجينگ و عکس فاصله با توان‌های (۱ تا ۳) به برآورد بارش سالانه استان قم پرداختند. با ارزیابی روش‌های میان-یابی بر اساس روش ارزیابی متقابل و دو عامل MAE و MBE مشخص شد که تغییرات بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه، بیشتر از مدل گوسی تبعیت می‌کند و روش کريجينگ به عنوان مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی انتخاب شد. سبحانی و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از روش‌های درونیابی فضایی به الگوسازی بارندگی در غرب و جنوب غرب دریای خزر پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد، روش‌های معکوس وزنی فاصله، کريجينگ آستانه خطی، دایره‌ای و نمایی در محدوده مورد مطالعه، به ترتیب نتایج درونیابی بهتری را نسبت به سایر روش‌ها به دست آوردند. لذا مطالعات صورت گرفته بر اساس معکوس وزنی فاصله نشان دادند که سامانه‌های خزری در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر بیشترین تأثیر و نفوذ را در محدوده مورد مطالعه داشته که منجر به بارش‌های زیاد منطقه می‌گردد.

هر گونه برنامه‌ریزی یا طراحی در خصوص منابع آب در حوضه‌های آبریز بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های هیدرولوژیکی امری مهم به نظر می‌رسد. بارش نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین پدیده‌های اقلیم‌شناسی از این امر مستثنی نبوده و مورد توجه محققان قرار گرفته است. با توجه به پیچیدگی الگوهای بارندگی در مناطق کوهستانی، ضرورت ارائه‌ی مدلی مناسب برای هر ناحیه‌ی کوهستانی احساس می‌شود. در این پژوهش سعی می‌شود با استفاده از داده‌های بارندگی مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی و بارانسنجی در ارتباط با عوامل ناهمواری ارتفاع، شیب، جهت شیب و فراسنج‌های مکانی طول و عرض جغرافیایی و با بهره‌گیری از روش رگرسیون چند متغیره و زمین‌آمار اقدام به برآورد و مدل‌سازی تغییرات مکانی بارش در ناحیه‌ی کوهستانی زاگرس مرکزی شود.

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش ناحیه‌ی کوهستانی است که دامنه‌های غربی زاگرس مرکزی (استان‌های خوزستان، کهگیلویه و بویر احمد، فارس، چهارمحال و بختیاری، اصفهان و لرستان) را در بر می‌گیرد که در بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی واقع شده است. کم‌ارتفاع‌ترین ایستگاه، ایستگاه چم خلفه با ارتفاع ۱۵ متر در استان خوزستان و مرتفع‌ترین آن ایستگاه ویست خونسا با ارتفاع ۳۶۸۷ متر در استان اصفهان واقع شده است. میانگین ارتفاعی منطقه ۱۵۸۹/۳ متر می‌باشد. رشته کوه زاگرس به عنوان مانعی در برابر توده‌های هوای وارد شده از غرب و جنوب غرب عمل می‌کند بنابراین قسمت‌های واقع شده در شمال و شمال شرق کوه زاگرس بارش کمتری را نسبت به سایر نقاط دریافت می‌کنند. تاثیر رشته کوه زاگرس در دامنه‌های غربی آشکارتر از سایر نقاط می‌باشد که دلیل آن فاصله‌ی کمتر نسبت به منبع رطوبتی خلیج فارس و قرار گرفتن در مسیر توده‌های هوای وارد شده به منطقه می‌باشد. حداکثر بارش منطقه در فصل سرد و در دامنه‌های غربی و کمی پایین‌تر از چکاد کوه‌ها واقع شده است. در حالیکه مقدار حداکثر بارش فصل گرم به صورت پراکنده در سطح کوهستان رخ می‌دهد. تاثیر رشته کوه زاگرس بر توزیع فضایی بارش در فصل سرد بیشتر از فصل گرم است (علیجانی، ۲۰۰۸؛ ۲۳۰-۲۱۸). زاگرس با واقع شدن بر روی مسیرهای سیکلونی که خاورمیانه را تحت تاثیر قرار می‌دهند، بیشترین رطوبت و بارندگی را در دامنه‌های غربی خود دریافت می‌دارد. این سیکلون‌ها عمدتاً در دوره‌ی سرد سال با دو منشاء غربی و جنوب غربی به عنوان سیکلون‌های مدیترانه و سودان منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. شکل (۱) موقعیت منطقه و پراکنش سطوح ارتفاعی و ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت منطقه و پراکنش سطوح ارتفاعی و ایستگاه‌های مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از داده‌های بارش سالانه مربوط به ۲۱۸ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی و بارانسنجی (۲۰۰۵-۲۰۰۰) با بهره‌گیری از روش رگرسیون چند متغیره و زمین آمار اقدام به برآورد و مدل‌سازی تغییرات مکانی بارش در دامنه‌های غربی زاگرس جنوب غربی شد. از تعداد ۱۹۸ ایستگاه برای مدل‌سازی بارش و از تعداد ۲۰ ایستگاه به منظور ارزیابی و آزمون روش‌های مختلف استفاده شد. جهت بررسی عملکرد مدل‌های مورد استفاده و تعیین میزان دقت هر یک از آنها از دو شاخص آماری قدر مطلق خطا^۱ و ریشه دوم مربع خطا^۲ استفاده شد.

رگرسیون چند متغیره: رگرسیون چند متغیره روشی برای تحلیل مشارکت جمعی و فردی دو یا چند متغیر مستقل (X_{ik}) در تغییرات یک متغیر وابسته (Y_i) به شمار می‌رود. رگرسیون چند متغیره از طریق مشارکت دو یا چند متغیر مستقل، پراش متغیر وابسته را تبیین می‌کنند (عساکره، ۱۳۹۰: ۲۳۸). اگر k متغیر مستقل (X_{ik}) برای توجیه Y_i در معادله استفاده شود، معادله رگرسیون چند متغیره به صورت زیر خواهد بود:

1- Mean Absolute Error (MAE)
2- Root Mean Square Error (RMSE)

$$y = b_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 \quad (1)$$

در این معادله X_1 ارتفاع ایستگاه‌ها، میانگین ارتفاعی به شعاع $2/5$ کیلومتری در داخل ایستگاه‌ها، X_3 طول جغرافیایی، X_4 عرض جغرافیایی، X_5 شیب و X_6 جهت شیب می‌باشد.

زمین آمار: زمین آمار مجموعه‌ای از تکنیک‌ها و تخمین‌گرهای مورد استفاده در تغییرپذیری مکانی و همبستگی پدیده‌های توزیع شده در فضای پیوسته برای برآورد در مکان‌های نمونه‌برداری نشده را در بر می‌گیرد که به طور کلی شامل دو مرحله بررسی داده‌ها و تحلیل ساختاری اطلاعات، مطابق با تشریح تغییرپذیری فضای متغیر و برآورد فضایی نقاط نمونه‌برداری نشده می‌باشند (بناویدس^۱ و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۷۶). تفاوت اصلی آمار کلاسیک و زمین آمار این است که در آمار کلاسیک نمونه‌ها مستقل از همدیگرند، در حالیکه در زمین آمار نمونه‌های مجاور تا فاصله معینی به هم وابسته‌اند (مدنی، ۱۳۷۷: ۲۴۵). یکی از تخمین‌گرهای زمین آمار روش کریجینگ می‌باشد که در تحقیق حاضر از آن استفاده شد. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد و بهترین تخمین‌گر خطی نااریب است که مقدار یک ویژگی را در نقاطی که نمونه‌برداری نشده بر اساس نقاط نمونه‌برداری شده برآورد می‌نماید (یه^۲ و همکاران، ۱۹۹۵: ۳۷). این روش دارای سه مشخصه زیر است (حسینی پاک، ۱۳۸۶: ۱۸۲): ۱- اثر قطعه‌ای (بخش توجیه نشده‌ی تغییرنا (C_0) ، ۲- آستانه (حداکثر مقدار نیم تغییرنا که برابر است با مجموع بخش بخش با ساختار (C) و بدون ساختار (C_0))، ۳- دامنه‌ی تاثیر (فاصله‌ای که در آن نیم تغییرنا به حد ثابتی می‌رسد). روش کریجینگ برای داده‌هایی که پراکنش نامنظم دارند به کار می‌رود. این روش میان‌یابی بسته به کیفیت همبستگی و نحوه‌ی تغییرات مکانی پدیده‌ها و بر حسب ارزش‌های موجود و همچنین ارتباط بین متغیر مورد بررسی و متغیرهای توضیحی دیگر

1 -Benavides

2 -Yeh et all

به انواع مختلفی تقسیم می‌شود (عساکره، ۱۳۸۷: ۲۷-۳۰). در این پژوهش از سه روش کریجینگ ساده، معمولی و عام استفاده شد.

کریجینگ ساده: در این روش با فرض آگاهی از میانگین متغیر تصادفی، برآورد به صورت بهینه انجام می‌گیرد. البته به طور معمول مقدار میانگین مجهول است، اما به طور تقریبی قابل پیش‌بینی است. در این نوع کریجینگ مقدار متغیر در نقطه‌ی مورد تخمین به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z(x_0) = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i [z(x_i) - m] \quad (2)$$

که در آن m میانگین متغیر، λ_i اوزان کریجینگ ساده و $z(x_i)$ مقدار متغیر در نقاط نمونه‌برداری شده و $Z(x_0)$ مقدار متغیر برآورد شده می‌باشد (صفرراد و همکاران، ۱۳۹۲، ۱۵۱).

کریجینگ معمولی: در این روش برای بیان تغییرات فضایی از واریوگرام استفاده می‌شود و خطای مقادیر پیش‌بینی شده را با توجه به توزیع فضایی داده‌های پیش‌بینی کمینه می‌کنند. روش عمومی محاسبه کریجینگ براساس رابطه زیر می‌باشد.

$$Z'_0 = \sum_{i=1}^N w_i z_i \quad (3)$$

در رابطه بالا Z'_0 برابر با مقدار برآورد شده، w_i برابر با وزن و z_i برابر با مقادیر نمونه است. وزن‌ها به درجه همبستگی بین نقاط نمونه و نقاط برآورد شده بستگی دارد و همیشه جمع آن‌ها برابر با ۱ است (فرجی سبکبار و عزیزی، ۱۳۸۵، ۷).

کریجینگ عام: در این روش فرض بر این است که علاوه بر مولفه‌ی همبستگی مکانی بین نقاط، انحراف یا روند نیز در مقادیر Z وجود دارد. در این صورت، کریجینگ با یک چند جمله‌ای مرتبه اول یا دوم ترکیب می‌شود. برای مثال چند جمله‌ای مرتبه اول به صورت $M = b_1x_1 + b_2x_2$ و یک چند جمله‌ای مرتبه دوم به صورت $M = b_1x_i + b_2y_i + b_3x_i^2 + b_4x_iy_i + b_5y_i^2$ در اینجا M

روند، X_i و Y_i مختصات نقاط نمونه i و b_i ها ضرایب روند می‌باشند (عساکره، ۱۳۸۷، ۳۰-۳۱).

یافته‌ها

به دلیل تنوع توپوگرافیک منطقه و دخالت تاثیر متغیرهای موثر در نواحی با توپوگرافی متفاوت در مدل‌سازی، منطقه‌ی مورد مطالعه به سطوح ارتفاعی پایین‌تر از ۱۰۰۰ متر و بالاتر از ۱۰۰۰ متر تقسیم شد. سطوح ارتفاعی پایین‌تر از ۱۰۰۰ متر که نیمه-ی غربی منطقه را در بر می‌گیرد از توپوگرافی همگن‌تری برخوردار است. تقریباً از خط غربی مرزی با افزایش طول جغرافیایی بر ارتفاع منطقه افزوده می‌شود. اما نیمه‌ی شرقی منطقه که نیمه‌ی کوهستانی زاگرس را شامل می‌شود با وجود ارتفاعات و دامنه‌هایی با مورفولوژی و جهات متفاوت و رشته رشته بودن آن از توپوگرافی ناهمگن‌تری برخوردار است. این مهم با بررسی سیر روند پللی نومیال درجه ۶ برای داده‌های بارش و داده‌های ارتفاعی صورت گرفت و مشخص شد که این روند تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری به صورت افزایشی و از سطح ارتفاعی ۱۰۰۰ متر به بالا، روند فراز و فرودهای متوالی را به خود می‌گیرد. در این تحقیق به منظور بررسی وجود رابطه معنادار بین متغیر وابسته (بارندگی سالانه) و متغیر مستقل (ارتفاع ایستگاه، میانگین ارتفاعی به شعاع ۲/۵ کیلومتر برای هر ایستگاه، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، شیب، جهت شیب) از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. مقدار ضرایب بدست آمده برای هر یک از متغیرها در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱) ضریب همبستگی پیرسون برای داده‌های بارش و متغیرهای مستقل

متغیرها	سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ - ۰	میزان خطا	سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ متر به بالا	میزان خطا
ارتفاع ایستگاه	۰/۷۸۲ ^{°°}	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۵	۰/۹۵۹
عرض جغرافیایی	۰/۰۹۷	۰/۴۳۸	۰/۱۴۲	۰/۱۰۶
طول جغرافیایی	۰/۱۹۵	۰/۱۱۷	°°-۰/۳۱۳	۰/۰۰۰
شیب	°°/۰۵۳۷	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲	۰/۸۸۷
جهت شیب	۰/۰۵۳	۰/۶۷۳	°°-۰/۳۷۷	۰/۰۰۰
میانگین ارتفاع شعاع ۲/۵ کیلومتری	°°/۰۷۷۳	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۳	۰/۷۹۸

* همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی دار است * همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی دار است

یکی از پیش فرض های رگرسیون خطی این است که توزیع داده های متغیر وابسته نرمال یا نزدیک به نرمال باشد. در این پژوهش برای پی بردن به نرمال بودن یا نبودن داده ها، از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده مقدار Sig در این آزمون ۰/۰۸ بدست آمد که دلیلی بر پذیرش فرض صفر می باشد به عبارتی توزیع داده ها نرمال می باشد. نتایج حاصل از رگرسیون زمانی قابل اتکا است که مدل رگرسیونی برازش شده در کل معنی دار باشد. آماره F و سطح معنی دار مربوطه بیانگر معنی دار بودن این مدل در سطح اطمینان ۹۹ درصد می باشد.

جدول (۲) آماره های رگرسیون و ارزیابی مدل رگرسیونی چند متغیره

سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ متر به بالا		سطوح ارتفاعی ۰ - ۱۰۰۰ متر			
معادله رگرسیون استاندارد	معادله رگرسیون غیر استاندارد	معادله رگرسیون استاندارد	معادله رگرسیون غیر استاندارد		
	۱۵۰۴۹/۶۶		۲۳۴/۶۵۶	b_0	عدد ثابت
۰/۳۱۱	۰/۱۳۴	۰/۶۷۵	۰/۵۲۴	$\beta_1 X_1$	ارتفاع
-	-	-	-	$\beta_2 X_2$	میانگین ارتفاع
-۱/۰۲	-۱۸۷/۰۱	-	-	$\beta_3 X_3$	طول جغرافیایی
-۰/۷۷۵	-۱۶۶/۳۸	-	-	$\beta_4 X_4$	عرض جغرافیایی
-	-	۰/۲۵۸	۷/۷۵۷	$\beta_5 X_5$	شیب
۰/۲۱۹	۴/۶۲	-	-	$\beta_6 X_6$	جهت شیب
	۰/۲۹۰		۰/۶۶۶	R^2	ضریب تعیین
	۰/۲۶۸		۰/۶۵۶	Adj - R^2	ضریب تعیین تعدیل شده
	۱۲/۸۸		۶۲/۸۹	F(sig < 0.01)	آماره F
	۱/۸۷		۱/۶۳۶	DW	آماره دوربین- واتسون

همچنین به منظور آزمون استقلال اجزای خطا در مدل برازش شده از آزمون دوربین- واتسون استفاده شد که برای بررسی وجود خودهمبستگی بین باقیمانده ها در تحلیل رگرسیون استفاده می گردد. مقدار این آماره همواره بین ۰ تا ۴ قرار می گیرد. بر اساس نتایج بدست آمده مقدار این آماره ۱/۶۳ و ۱/۷۳ بدست آمد. بنابراین استقلال اجزای خطا در هر دو مدل برازش شده رگرسیون تأیید شد.

بر اساس نتایج بدست آمده ضریب تعیین (R^2) برای معادله‌ی مربوط به سطوح ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر ۶۶ درصد و برای معادله‌ی مربوط به سطوح ارتفاعی بالاتر از ۱۰۰۰ متر ۲۹ درصد بدست آمد که حاکی از آن است که حدود ۶۶ درصد و ۲۹ درصد از تغییرات بارش در هر یک از سطوح ناشی از تغییرات متغیرهای مستقل می-باشند. همچنین بر اساس سطح خطای ۱ درصد، معنی‌دار بودن ضرایب هر یک از متغیرهای دخیل در معادله تأیید گردیدند. جدول (۲) آماره‌های رگرسیون چندمتغیره را برای دو سطوح ارتفاعی متفاوت نشان می‌دهد.

بر اساس ضرایب رگرسیون چند متغیره، معادله‌ی پیش‌بینی تغییرات بارش را می‌توان

چنین نوشت:

$$y_1 = 234.656 + 0.524(x_1) + 7.757(x_5)$$

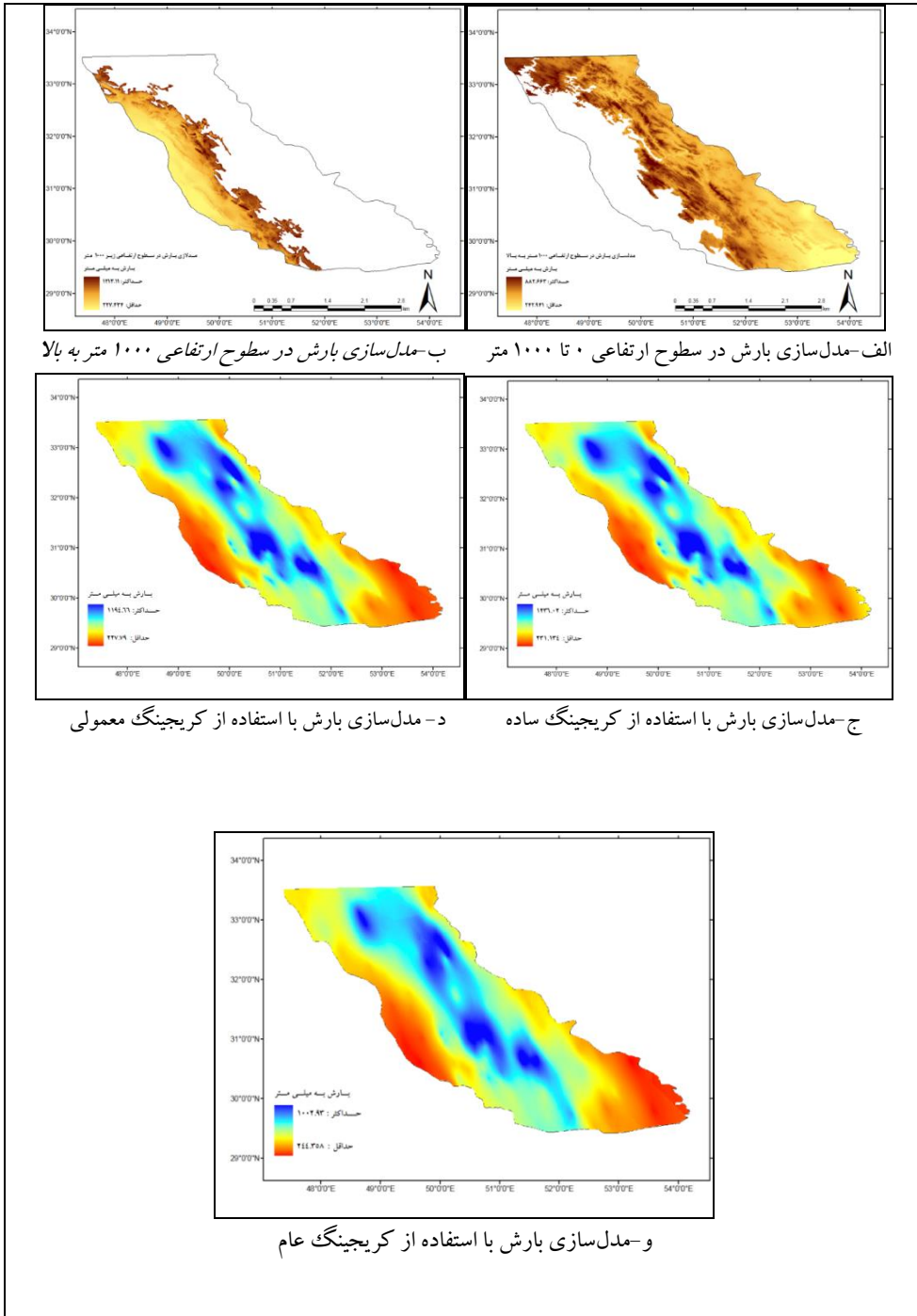
$$y_2 = 15049.66 + 0.134(x_1) - 187.01(x_3) - 166.38(x_4) + 4.62(x_6)$$

در این رابطه‌ها y_1 مدل پیش‌بینی تغییرات بارش در سطوح ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر و y_2 مدل پیش‌بینی تغییرات بارش در سطوح ارتفاعی بالاتر از ۱۰۰۰ متر را نشان می‌دهد. برای مثال بر اساس اولین مدل می‌توان گفت اگر شیب ثابت باشد به ازای هر متر افزایش ارتفاع، بارش ۰/۵۲۴ میلی‌متر افزایش می‌یابد و با ثابت بودن ارتفاع، به ازای هر درجه افزایش شیب، بارش ۷/۷۵۷ میلی‌متر افزایش می‌یابد. با توجه به دو معادله‌ی مربوطه تغییرات مکانی بارش در منطقه پیش‌بینی و مدل‌سازی شد (شکل-۲، الف و ب). روش‌های زمین آمار زمانی بهینه می‌باشند که داده‌ها به صورت نرمال توزیع شده باشند. بنابراین تمام داده‌های مربوط به بارندگی سالانه از نظر نرمال بودن با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف بررسی شدند. همچنان که گفتیم بر اساس نتایج بدست آمده دلیلی بر رد فرض H_0 وجود ندارد و داده‌ها از توزیع نرمال برخوردارند. سپس جهت تبدیل داده‌های نقطه‌ای (ایستگاه‌ها) یاد شده به داده‌های مکانی از روش‌های زمین آمار کریجینگ ساده، معمولی و عام در محیط نرم‌افزار ARCGIS 9/2 استفاده شد. در

روش‌های زمین آمار، واریوگرام اساسی‌ترین ابزار برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر می‌باشد. با توجه به انواع مختلف واریوگرام، محقق باید بهینه‌ترین آن را انتخاب و برآورد و مدل‌سازی را از طریق آن به انجام برساند. برای برازش بهترین واریوگرام روش‌های متفاوتی توسط محققان ارائه شده است. در این تحقیق از نسبت $\frac{C}{C+C}$ استفاده شد (ماییت و برنارد ۱، ۲۰۰۷، ۲۱۰). برای انتخاب مدل بهینه واریوگرام، مقدار این نسبت باید نزدیک به ۱ باشد، بنابراین از مدل‌های بکار گرفته شده در تحقیق، مدلی که مقدار نسبت $\frac{C}{C+C}$ آن به ۱ نزدیک باشد به عنوان مدل بهینه انتخاب شد. در نسبت فوق C اثر قطعه‌ای و $C+C$ برابر با سقف واریوگرام می‌باشد. مشخصات مدل‌های واریوگرام استفاده شده هر یک از روش‌های کریجینگ در جدول (۳) آورده شده است. با توجه به جدول (۳) در هر سه روش کریجینگ مدل واریوگرام نمایی به عنوان مدل بهینه انتخاب شد.

جدول (۳) مشخصات پارامترها و مدل‌های واریوگرام مورد استفاده در هر یک از روش‌ها

RMSS	MS	ASE	RMS	$\frac{C}{C+C}$	راستا	کمترین دامنه تاثیر	پیشینه‌ی دامنه تاثیر	اثر قطعه‌ای	سقف	مدل	
				۰/۷۶۴	۳۲۳/۳	۰/۹۶۵	۱/۹۹۳	۰/۰۴۲	۰/۱۳۶۹	دایره‌ای	کریجینگ ساده
				۰/۷۷۲	۳۲۳/۴	۱/۰۵۴	۱/۹۹۳	۰/۰۴۰	۰/۱۳۵۷	کره‌ای	
۱/۲۱۹	۰/۰۱۱	۱۵۵/۸	۱۷۱/۵	۰/۹۴	۳۲۳/۷	۰/۹۸۵	۱/۹۹۳	۰/۰۱۰۵	۰/۱۶۶۶	نمایی	
				۰/۷۰۷	۳۲۳/۰	۰/۸۸۲	۱/۹۹۳	۰/۰۵۳	۰/۱۲۹۴	گوسن	
				۰/۷۷۸	۳۲۳/۴	۹/۰۲۳	۲/۴۷۶	۰/۰۴۱	۰/۱۴۷۶	دایره‌ای	کریجینگ معمولی
				۰/۷۷۹	۳۲۳/۶	۱/۱۳	۲/۴۷۶	۰/۰۴۱	۰/۱۴۴۷	کره‌ای	
۱/۱۹	۰/۰۲۴۷	۱۶۱/۹	۱۶۸/۷	۰/۹۲۶	۳۲۳/۳	۱/۰۹۸	۲/۴۷۶	۰/۰۱۳	۰/۱۷۳۰	نمایی	
				۰/۷۰۹	۳۲۱/۸	۰/۹۴۳	۲/۴۷۶	۰/۰۵۶	۰/۱۳۷۰	گوسن	
				۰/۷۷۸	۳۲۲/۴	۱/۰۲۳	۲/۴۷۶	۰/۰۴۱	۰/۱۴۷۶	دایره‌ای	کریجینگ عام
				۰/۷۷۹	۳۲۲/۶	۱/۱۳	۲/۴۷۶	۰/۰۴۱	۰/۱۴۴۷	کره‌ای	
۰/۸۹۹	۰/۰۴۴۵	۱۸۶/۸	۱۶۲/۳	۰/۹۴۹	۳۳۳/۳	۱/۰۹۸	۲/۴۷۶	۰/۰۰۹	۰/۱۷۷۶	نمایی	
				۰/۶۹۵	۳۳۱/۷	۱/۰۹۸	۲/۴۷۶	۰/۰۵۹	۰/۱۳۶۸	گوسن	



شکل (۲) برآورد مکانی بارش بر اساس روش های رگرسیون چند متغیره و زمین آمار

ارزیابی روش‌های برآورد و مدل‌سازی

به منظور ارزیابی روش‌های برآورد و مدل‌سازی معیارهای ارزیابی متفاوتی وجود دارد. در تحقیق حاضر از شاخص آماری متوسط قدر مطلق خطا و ریشه دوم مربع خطا به شرح زیر استفاده شد:

$$MAE = \frac{1}{n} + \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - y_i)^2}{n}} \quad (6)$$

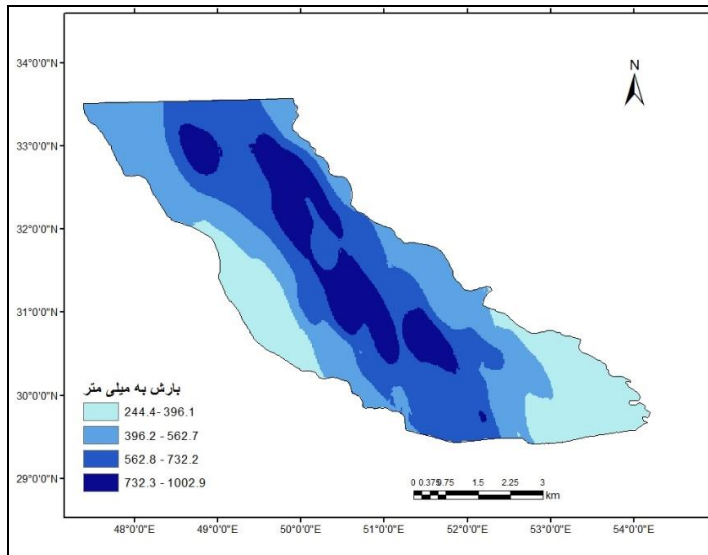
در این رابطه‌ها f_i مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر، y_i مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر و n تعداد ایستگاه‌های استفاده شده در برآورد می‌باشد. نحوه‌ی ارزیابی از طریق این شاخص‌ها بدین صورت است که مقادیر نزدیک به صفر در شاخص RMSE و مقادیر کمتر MAE نشان از دقت آماری بیشتر روش مورد نظر می‌باشد. روش‌های زمین آمار با در نظر گرفتن ساختار فضایی و روابط مکانی بین ایستگاه‌ها به برآورد و مدل‌سازی اقدام می‌کنند. در حالی که روش رگرسیون چند متغیره با توجه به همبستگی بین متغیرهای وابسته و مستقل و از طریق متغیرهای مستقل، متغیر وابسته را برآورد می‌نمایند. بنابراین متفاوت بودن دو روش مذکور، مقایسه‌ی نتایج را ایجاب می‌نماید. بر اساس نتایج بدست آمده از دو رابطه‌ی مربوطه، روش‌های زمین آمار نتایج بهتری را نسبت به رگرسیون چند متغیره بدست آوردند. روش کریجینگ عام با مدل واریوگرام نمایی با حداقل خطا به عنوان مناسب‌ترین روش مدل‌سازی بارش در منطقه شناخته شد.

جدول (۴) نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های برآورد و مدل‌سازی بارش سالانه

MAE	RMSE		
۱۳۱/۲	۱۵۴/۳۶	رگرسیون چند متغیره	آمار کلاسیک
۷۷/۴	۹۴/۶	کریجینگ ساده	زمین آمار
۷۷/۳	۹۵/۴	کریجینگ معمولی	
۷۴/۳	۹۳/۱	کریجینگ عام	

نتیجه گیری

بر اساس نتایج بدست آمده، روش‌های زمین آمار نتایج بهتری را نسبت به مدل رگرسیونی چند متغیره بدست آوردند. نتایج حاصل از توزیع پراکندگی بارش بر اساس مدل رگرسیونی (شکل-۲) نشان داد، از غرب منطقه به طرف شرق، افزایش بارش با افزایش ارتفاع هماهنگ می‌باشد، یعنی ناهمواری‌ها با تاثیر مکانیکی که بر توده هواهای وارد شده دارند با صعود اجباری سبب تقویت بارشی آن‌ها می‌شوند، ولی هسته‌های اصلی بارش بر خط‌الراس‌ها منطبق نیست بلکه کمی پایین‌تر از محور ناهمواری‌ها قرار دارند. دلیل این امر این است که هر توده‌هوایی با داشتن پتانسیل بارشی مشخص، قبل از رسیدن به بالاترین ارتفاعات آن را تخلیه می‌نماید. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی معیارهای خطا نشان داد که کریجینگ عام با مدل واریوگرام نمایی با کمترین میزان خطا نسبت به بقیه روش‌های زمین آمار و مدل رگرسیونی، به عنوان بهترین روش درون-یابی معرفی شد. با توجه به نتایج حاصل شده از روش کریجینگ عام (شکل-۳) مشخص شد، هسته‌های اصلی بارش تقریباً به صورت نواری منطبق بر ناهمواری‌ها از سمت شمال غرب-جنوب شرق می‌باشند که در نیمه‌ی شمالی این هسته‌های بارش منطبق بر ارتفاعات کوه‌رننگ و در نیمه‌ی جنوبی کمی پایین‌تر از خط‌الراس کوها هستند. از خط غربی مرزی با افزایش طول جغرافیایی بر ارتفاع منطقه و به تبع آن بر میزان بارش نیز افزوده می‌شود. اما نیمه‌ی شرقی منطقه که نیمه‌ی کوهستانی زاگرس را شامل می‌شود با توپوگرافی ناهمگن‌تر، دارای دامنه‌هایی با مورفولوژی متفاوت و رشته-ای است که در جهت شمال غرب - جنوب شرق کشیده شده‌اند. با واقع شدن این دامنه-های رشته‌ای بر روی مسیرهای سیکلونی که منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند، باعث می‌شوند بیشترین رطوبت و بارندگی در دامنه‌های غربی‌تر دریافت شود، همانطور که مشاهده می‌شود چهار هسته‌ی پرباران منطبق بر خط‌الراس‌های غربی‌تر هستند و خط-الراس‌های شرقی از دریافت بارش بیشتر محروم مانده‌اند. زیرا محتوای رطوبتی توده‌های وارده به منطقه به اندازه‌ای نیست که بتواند با عبور از چندین دامنه رشته‌ای همچنان سبب تدام افزایش بارش گردد.



شکل (۳) برآورد بارش با استفاده از روش کریجینگ عام

در مقایسه با نتایج پژوهشگران دیگر، نتایج این پژوهش با نتایج مهدی‌زاده و همکاران (۱۳۸۵)، مطابقت دارد؛ آن‌ها به منظور پهنه‌بندی بارش سالانه از روش‌های زمین‌آماري کریجینگ، میانگین متحرک وزنی و روش آماری اسپیلین استفاده کردند، نتایج آن‌ها نشان داد که روش‌های زمین‌آمار نسبت به روش‌های آمار کلاسیک، نتایجی بهتر ارائه دادند. همچنین بر اساس نتایج حاصل از کاستلیک و کاسملج^۱ (۲۰۰۲)، ذیحی و همکاران (۱۳۹۰)، کریجینگ معمولی به عنوان یکی از مناسب‌ترین روش‌های میان-یابی زمین‌آمار به حساب می‌آید که برتری نسبی نسبت به دیگر روش‌های میان‌یابی زمین‌آمار دارد. همچنین عزیززی و همکاران (۱۳۸۹) که از طریق مدل رگرسیونی چند متغیره به مدل‌سازی تغییرات مکانی بارش در زاگرس میانی اقدام کردند، نتیجه گرفتند با وجود هماهنگی نسبی بین بارندگی و ناهمواری، هسته‌ی بیشینه بارندگی بر محور مرتفع ناهمواری منطبق نیست که مطابق با نتایج بدست آمده از این پژوهش می‌باشد. اما از جهتی دیگر نتایج این پژوهش مغایر با نتایج نینیورولا و همکاران^۲ (۲۰۰۷) می‌باشد؛ زیرا آن‌ها با مقایسه‌ی روش‌های زمین‌آمار و رگرسیون چند متغیره در برآورد بارش ماهانه

1- Kastelec and kosmelj

2 - Ninyerola et al

نتیجه گرفتند که روش‌های رگرسیون چند متغیره نتایج قابل قبول‌تری را نسبت به روش‌های زمین‌آمار به دست دادند. مهمترین دلیل در بدست آمدن نتایج متفاوت می‌تواند تنوع در توپوگرافی مناطق مورد مطالعه و همچنین تفاوت در متغیرهای دخالت داده شده در برآورد بارش این مناطق باشد. از آنجا که روش‌های زمین‌آمار نتایج بهتری را نسبت به مدل رگرسیون چند متغیره بدست آوردند ولی از این جهت که روش رگرسیون چند متغیره با توجه به همبستگی و از طریق متغیرهای مستقل، متغیر وابسته را برآورد می‌نماید، برای مدل‌سازی بارش در سطوح ارتفاعی بالاتر که فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری می‌باشند نتایج قابل قبول‌تری را به دست می‌آورد.

منابع

- ۱- جهانی، سمانه و دلبری، معصومه (۱۳۸۸)، ارزیابی و برآورد بیشترین بارش ۲۴ ساعته در استان گلستان، مجله‌ی مهندسی آب، سال دوم، تابستان، ص ۲۲-۱۳.
- ۲- ذبیحی، علیرضا، سلیمانی، کریم، شعبانی، مرتضی، آبروش، صادق (۱۳۹۰)، بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه‌ی موردی: استان قم)، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ش ۷۸، ص ۱۱۲-۱۰۱.
- ۳- عزیزی، قاسم، عباسپور، رحیم‌علی، صفرراد، طاهر (۱۳۸۹)، مدل تغییرات مکانی بارش در زاگرس میانی، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ش ۷۲، ص ۵۱-۳۵.
- ۴- عساکره، حسین (۱۳۸۴)، تغییرات زمانی مکانی بارش استان اصفهان طی دهه‌های اخیر، مجله‌ی پژوهشی دانشگاه اصفهان، جلد ۱۸، ش ۱، ص ۱۱۶-۹۱.
- ۵- عساکره، حسین (۱۳۸۷)، کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش، جغرافیا و توسعه، ش ۱۲، ص ۴۲-۲۵.
- ۶- عساکره، حسین (۱۳۹۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، دانشگاه زنجان، چاپ اول، زنجان
- ۷- سبحانی، بهروز، ساری صراف، بهروز، آزادی مبارکی، محمد، حسینی، سید اسعد (۱۳۹۲)، الگوسازی بارندگی غرب و جنوب‌غرب دریای خزر با استفاده از روش‌های درونیابی فضایی در محیط GIS، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۰، ص ۳۴-۲۳.

۸- صفرراد، طاهر، فرجی سبکبار، حسنعلی، عزیزی، قاسم، عباسپور، رحیم‌علی (۱۳۹۲)، تحلیل مکانی تغییرات بارش در زاگرس میانی از طریق روش‌های زمین‌آمار (۲۰۰۴-۱۹۹۵)، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۱، ص ۱۶۴-۱۴۹.

۹- فرجی سبکبار، حسنعلی و عزیزی، قاسم (۱۳۸۵)، ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی: مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد، پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۵۸، ص ۱-۱۵.

۱۰- مجرد، فیروز و مرادی‌فر، حاجیمراد (۱۳۸۲)، مدل‌سازی رابطه بارش با ارتفاع در منطقه زاگرس، مدرس، دوره ۷، ش ۲، صص ۱۸۲-۱۶۳.

۱۱- مدنی، حسن (۱۳۷۷). مبانی زمین‌آمار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد تفرش، ۶۵۹ ص.

۱۲- مهدی‌زاده، مهیار، مهدیان، محمد حسین، حجام، سهراب (۱۳۸۵)، کارایی روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۲۳، شماره ۱، صص ۱۱۶-۱۰۳.

13- Alijani, B. (2008), Effect of the Zagros Mountains on the Spatial Distribution of Precipitation, Journal of Mountain Science, Vol5, No ۳, 218-231.

14- Benavides, R., Montes, F., Rubio, A., Osoro, K. (2007), Geostatistical Modeling of Air Temperature in a Mountainous Region of Northern Spain." Agricultural and Forest Meteorology, 146, 173-188.

15- Kastelec, D. and K. Košmelj. (2002), Spatial interpolation of mean yearly precipitation using universal kriging. Developments in statistics 17: 149-162.

16- Ninyerola, M., X. Pons and J. M. Roure (2007). "Monthly precipitation mapping of the Iberian Peninsula using spatial interpolation tools implemented in a Geographic Information System. Theoretical and Applied Climatology 89(3-4): 195-209

17- Mabit, L., Bernard, C. (2007), Assessment of spatial distribution of fallout radionuclides through geostatistics concept. Journal of Environmental Radioactivity, 97, 206-219.

18- Martínez-Cob, A. (1996), Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. Journal of Hydrology 174(1): 19-35.

19- Prudhomme, C and Duncan, W. R. (1999), Mapping Extreme Rainfall in a Mountainous Region using Geostatistical Techniques: a case study in Scotland. International journal of climatology, 19, 1337-1356

- 20- Ranhao, S., Z. Baiping and T. Jing. (2008), A multivariate regression model for predicting precipitation in the Daqing Mountains." *Mountain Research and Development* **28** (3): 318-325.
- 21- Yeh, T. C. J., Gutjahr, A. L., & Jin, M. (1995). An iterative cokriging like technique for groundwater flow modeling. *Groundwater*, 33(1), 33-41.