



Geographic Notion

Vol. ۱۵. Spring ۲۰۱۷

Zanjan University

No. ۱۰۶

اندیشه جغرافیایی

سال هشتم، شماره پانزدهم، زمستان ۱۳۹۵

دانشگاه زنجان

مقاله شماره ۱۰۶

برآورد تغییرات مکانی بارش در زاگرس میانی با روش‌های میان‌یابی

بهروز 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 بارانسنجی (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

۱- Rain shadow

۲- Prudhomme and duncan

دلبری، ۱۳۸۸: ۱۴). از معروف‌ترین و پرکاربردترین روش‌های زمین‌آمار روش 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 زمین‌آمار 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 اسلونیوا^۶ روش زمین‌آمار 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 زمین‌آمار 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 زمین‌آمار به دست دادند. رانهو و همکاران^۸ (۲۰۰۸) به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی

۱- Martínez

۲- Modified residual kriging

۳- Mean Absolute Error (MAE)

۴- Root Mean Square Error (RMSE)

۵- Kastelec and kosmelj

۶- Slovenia

۷- Ninyerola et al

۸- Ranho

بارش در کوهستان داکینگ واقع در شمال چین، از تحلیل رگرسیون چند متغیره در 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.

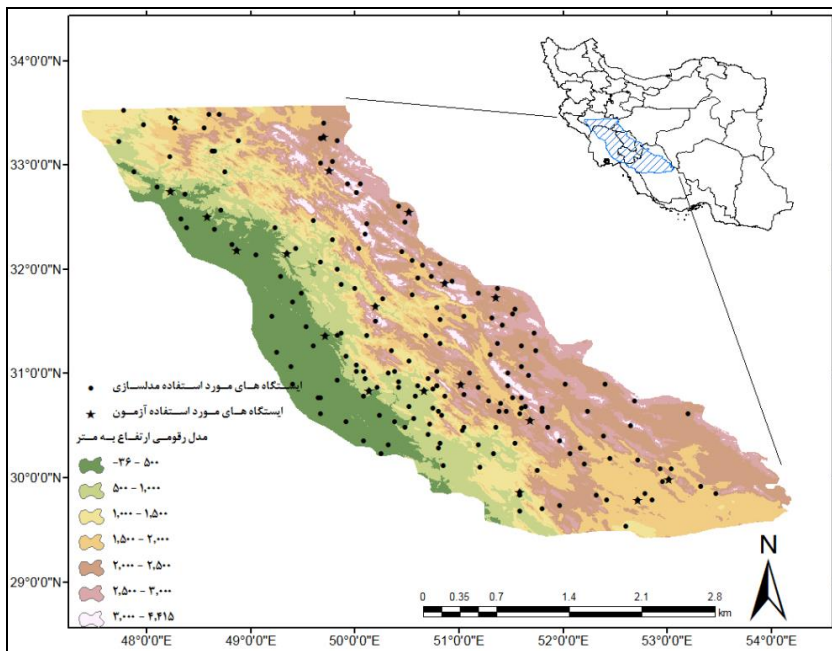
مجرد و مرادی فر (۱۳۸۲) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی خطی، لگاریتمی، توانی و نمایی دو متغیره و چند متغیره به مدل‌سازی رابطه‌ی بارش با ارتفاع در زاگرس پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که از بین مدل‌های چند متغیره، مدل چند متغیره خطی برای برآورد بارش مناسب می‌باشند. همچنین بیان کردند در ناحیه رو به باد، 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 اسپیلین 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 منای 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. ذیحی و همکاران (۱۳۹۰)، با بهره‌گیری از روش‌های زمین آماری کریجینگ 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 کریجینگ 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، کریجینگ 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 زمین آمار 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 شمال‌شرق 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 جنوب‌غربی 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 جنوب‌غربی 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

۱- Mean Absolute Error (MAE)

۲- Root Mean Square Error (RMSE)

تیین می کنند (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:

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

در این معادله X_1 ارتفاع ایستگاه‌ها، میانگین ارتفاعی به شعاع $2/5$ کیلومتری در داخل ایستگاه‌ها، X_2 طول جغرافیایی، X_3 عرض جغرافیایی، X_4 شیب و X_5 جهت شیب می باشد.

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 (حسنی پاک، ۱۳۸۶: ۱۸۲): ۱- اثر قطعه‌ای (بخش توجیه نشده‌ی تغییرنا (C) ، ۲- آستانه (حداکثر مقدار نیم تغییرنا که برابر است با مجموع بخش بخش با ساختار (C) و بدون ساختار (C))، 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

۱ -Benavides

۲ -Yeh et all

ارزش‌های موجود و همچنین ارتباط بین متغیر مورد بررسی و متغیرهای توضیحی دیگر به انواع مختلفی تقسیم می‌شود (عساکره، ۱۳۸۷: ۳۰-۲۷). 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 نمونه برداری 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 $M = b_1x_i + b_2y_i + b_3x_i^2 + b_4x_iy_i + b_5y_i^2$ به مدل اضافه می‌شود. در اینجا M

روند، X_i و Y_i مختصات نقاط نمونه i و b_i ها ضرایب روند می باشند (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	۰/۵۳۷ ^{**}	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲	۰/۸۸۷
جهت شیب	۰/۰۵۳	۰/۶۷۳	۰/۳۷۷ ^{**}	۰/۰۰۰
میانگین ارتفاع شعاع ۲/۵ کیلومتری	۰/۷۷۳ ^{**}	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 فرض‌های رگرسیون خطی این است که توزیع داده‌های متغیر وابسته نرمال یا نزدیک به نرمال باشد. در این پژوهش برای پی بردن به نرمال بودن یا نبودن داده‌ها، 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 می‌باشد به عبارتی توزیع داده‌ها نرمال می‌باشد. 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 می‌باشد. جدول (۲) آماره‌های 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.	عدد ثابت
۰/۳۱۱	۰/۱۳۴	۰/۶۷۵	۰/۵۲۴	β_{1X_1}	ارتفاع
-	-	-	-	β_{2X_2}	میانگین ارتفاع
-۱/۰۲	-۱۸۷/۰۱	-	-	β_{3X_3}	طول جغرافیایی
-۰/۷۷۵	-۱۶۶/۳۸	-	-	β_{4X_4}	عرض جغرافیایی
-	-	۰/۲۵۸	۷/۷۵۷	β_{5X_5}	شیب
۰/۲۱۹	۴/۶۲	-	-	β_{6X_6}	جهت شیب
	۰/۲۹۰		۰/۶۶۶	R ^۲	ضریب تعیین
	۰/۲۶۸		۰/۶۵۶	Adj - R ^۲	ضریب تعیین تعدیل شده
	۱۲/۸۸		۶۲/۸۹	F(sig < ۰,۰۱)	آماره F
	۱/۸۷		۱/۶۳۶	DW	آماره دورین-واتسون

همچنین به منظور آزمون استقلال اجزای خطا در مدل برازش شده از آزمون دورین-واتسون استفاده شد که برای بررسی وجود خودهمبستگی بین باقیمانده‌ها در تحلیل رگرسیون استفاده می‌گردد. مقدار این آماره همواره بین ۰ تا ۴ قرار می‌گیرد. 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:

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

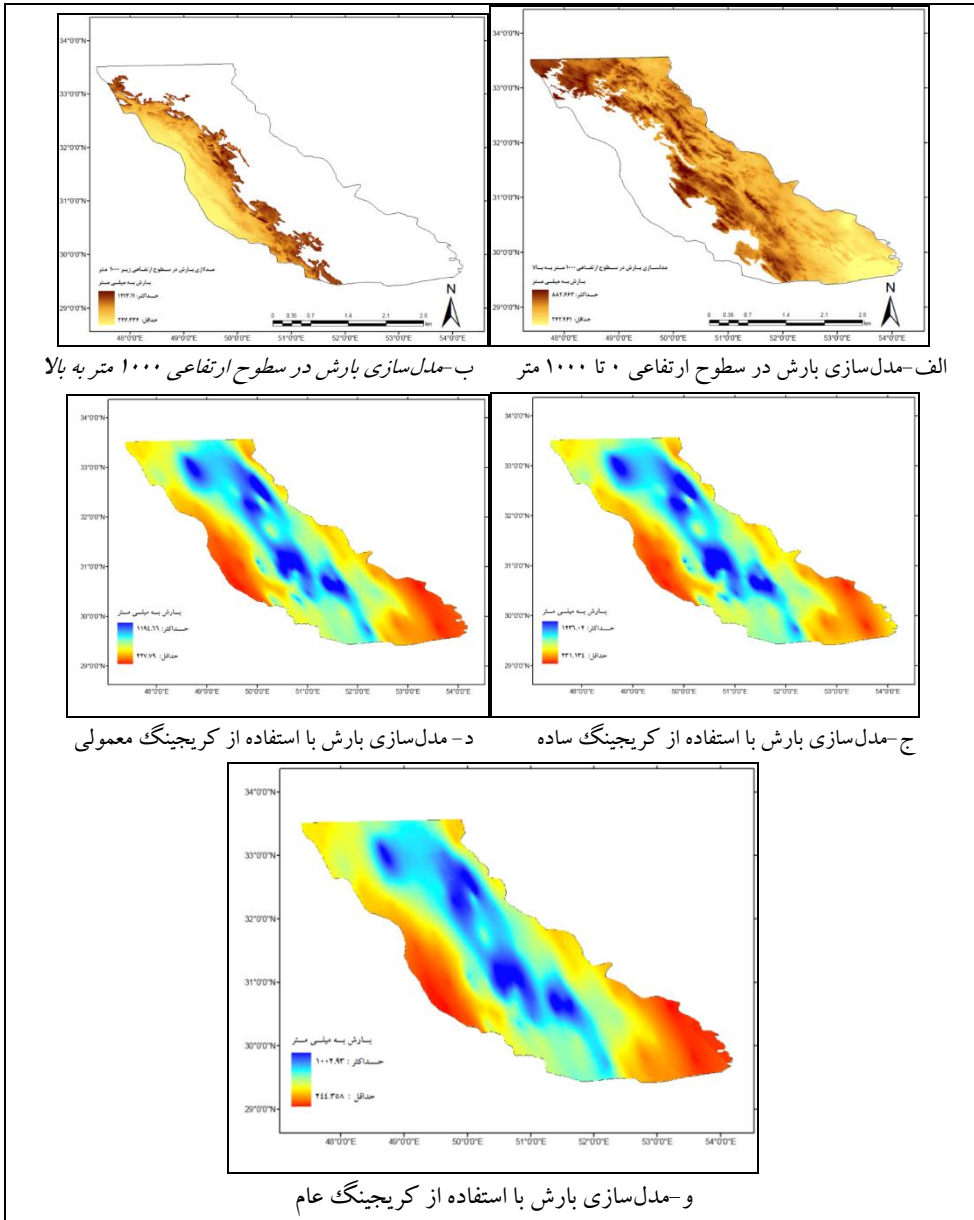
$$y_2 = 15049.66 + 0.134(x_1) - 187.01(x_3) - 166.38(x_4) + 4.62(x_6)$$

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 ۹/۲ ARCGIS 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، 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	۳۲۳/۳	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 روش‌های 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 زمین‌آمار 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 تفاوت بودن دو روش مذکور، مقایسه‌ی نتایج را ایجاب می‌نماید. بر اساس نتایج بدست آمده از دو رابطه‌ی مربوطه، روش‌های زمین‌آمار 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.

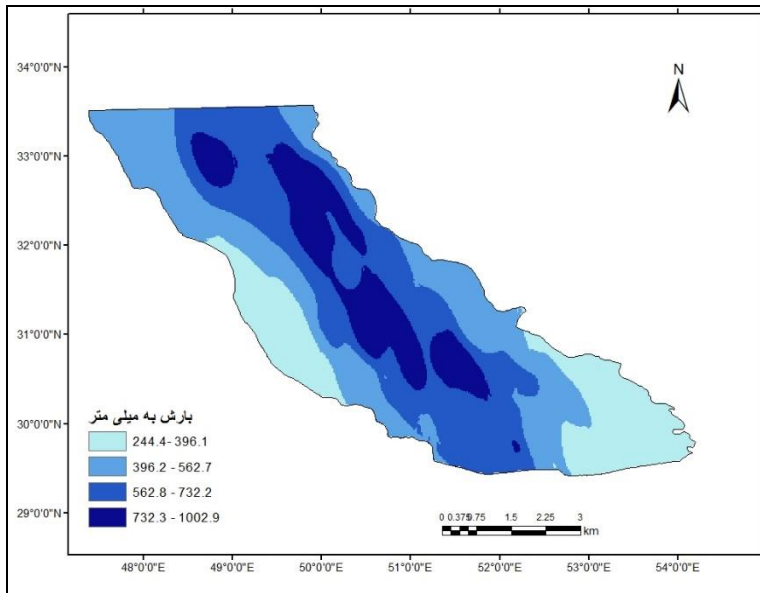
جدول (۴) نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های برآورد و مدل‌سازی بارش سالانه

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

نتیجه‌گیری

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 هوای 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 کوه‌رنگ 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 خط الرأس‌های غربی‌تر هستند و خط-الرأس‌های 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 زمین آماری کریجینگ، میانگین متحرک وزنی و روش آماری اسپیلاین استفاده کردند، نتایج آن‌ها نشان داد که روش‌های زمین آماری نسبت به روش‌های آمار کلاسیک، نتایجی بهتر ارائه دادند. همچنین بر اساس نتایج حاصل از کاستلیک و کاسملج (۲۰۰۲)، ذبیحی و همکاران (۱۳۹۰)، کریجینگ معمولی به عنوان یکی از مناسب‌ترین روش‌های میان-یابی زمین آماری به حساب می‌آید که برتری نسبی نسبت به دیگر روش‌های میان‌یابی زمین آماری 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 نینیورلا و همکاران^۱ (۲۰۰۷) می‌باشد؛ زیرا آن‌ها با مقایسه‌ی روش‌های زمین آمار و رگرسیون چند متغیره در برآورد بارش ماهانه نتیجه گرفتند که روش‌های رگرسیون چند متغیره نتایج قابل قبول‌تری را نسبت به روش‌های زمین آمار 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 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 بارش در سطوح ارتفاعی بالاتر که فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری می‌باشند نتایج قابل قبول‌تری را به دست می‌آورد.

فهرست 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، رحیم علی، 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 ۹۱-۱۱۶.
- 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 جنوب غرب دریای خزر با استفاده از روش های درونیایی فضایی در محیط GIS، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۰، ص ۲۳-۳۴.
- ۸- صفرراد، طاهر، فرجی سبکبار، حسنعلی، عزیزی، قاسم، عباسپور، رحیم علی (۱۳۹۲)، تحلیل مکانی تغییرات بارش در زاگرس میانی از طریق روش های زمین آمار (۲۰۰۴-۱۹۹۵)، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۱، ص ۱۶۴-۱۴۹.
- ۹- فرجی سبکبار، حسنعلی و عزیزی، قاسم (۱۳۸۵)، ارزیابی میزان دقت روش های درونیایی فضایی: مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد، پژوهش های جغرافیایی، ش ۵۸، ص ۱۵-۱.
- ۱۰- مجرد، فیروز و مرادی فر، حاجیمراد (۱۳۸۲)، مدل سازی رابطه بارش با ارتفاع در منطقه زاگرس، مدرس، دوره ۷، ش ۲، صص ۱۸۲-۱۶۳.
- ۱۱- مدنی، حسن (۱۳۷۷). مبانی زمین آمار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد تفرش، ۶۵۹ ص.
- ۱۲- مهدی زاده، مهیار، مهدیان، محمد حسین، حجام، سهراب (۱۳۸۵)، کارایی روش های زمین آماری در پهنه بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۲۳، شماره ۱، ص ۱۱۶-۱۰۳.

- ۱۳- Alijani, B. (۲۰۰۸), Effect of the Zagros Mountains on the Spatial Distribution of Precipitation, Journal of Mountain Science, Vol۵, No ۳, ۲۱۸-۲۳۱.
- ۱۴- Benavides, R., Montes, F., Rubio, A., Osoro, K. (۲۰۰۷), Geostatistical Modeling of AirTemperature in a Mountainous Region of Northern Spain." Agricultural and Forest Meteorology, ۱۴۶, ۱۷۳-۱۸۸.
- ۱۵- Kastelec, D. and K. Košmelj. (۲۰۰۲), Spatial interpolation of mean yearly precipitation using universal kriging. Developments in statistics ۱۷: ۱۴۹-۱۶۲.
- ۱۶- Ninyerola, M., X. Pons and J. M. Roure (۲۰۰۷). "Monthly precipitation mapping of the Iberian Peninsula using spatial interpolation tools implemented in a Geographic Information System. Theoretical and Applied Climatology ۸۹(۳-۴): ۱۹۵-۲۰۹

methods of Geostatistical and regression. Although Geostatistical methods obtained better results than the multiple regression model, therefore the multiple regression method estimated the dependent variable according to the correlation of the independent variables, can obtain better results for modeling higher levels that are lack of measurement stations.

Key words: Precipitation, Central Zagros, Multiple Regression, Geostatistical, Interpolation