کاربرد روش های رگرسیون وزن دارجغرافیایی(GWR) و حداقل مربعات معمولی (OLS) در برآورد مقادیر بارش حاصل از فعالیت سامانه بارشی مدیترانه ای بر اساس عامل ارتفاع درنواحی غربی ایران ؛ مطالعه موردی الگوی بارش با دوره تداوم دو روزه ۱تا ۲ دسامبر ۲۰۰۱

مهرداد کیانی [۱*]، داریوش ابوالفتحی [۲]

۱*- دکترای آب و هواشناسی سینوپتیک ، دانشکده علوم زمین ، دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور ایران

* ایمیل نویسنده مسئول : mhrddkiani@yahoo.com

تاریخ دریافت : ۹۹/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش : ۹۹/۰۹/۱۲

چکیده

روابط بین بارش و ارتفاع می تواند پیامدهای معنی داری برای مطالعات بارش، هیدرولوژی و مدیریت محیطی داشته باشد. طراحی یک مدل بارشی برای نواحی فاقد ایستگاه های کافی بویژه کوهستان ها می تواند یک نقش معنی دار در برنامه ریزی محیطی ایفاء نماید. هدف از این مقاله بررسی تغییرات مکانی بارش سامانه مدیترانه ای بر اساس متغیر ارتفاع در غرب ایران با استفاده از روش های رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR) و رگرسیون کلاسیک یا حداقل مربعات معمولی (OLS) می باشد.در این مطالعه ابتدا با انجام پردازش های آماری و انجام تحلیل عاملی مناسب ترین الگوی بارشی دو روزه مدیترانه ای برای مطالعه انتخاب گردید. در ادامه روابط فضایی بین متغیر بارش و متغیر ارتفاع با تکنیک های رگرسیون وزن دار جغرافیایی و رگرسیون کلاسیک مدلسازی شد. مقایسه این دو روش نشان داد که مقدار ضریب اعتبار سنجی آکائیک (〖AIC〗 _c) مدل GWR کمتر از مدل OLS می باشد که نشانه خطای کمتر و برازش بهتر مدل GWR نسبت به مدل OLS می باشد. نتایج حاصل از مدلسازی فضایی به شکل نمودار پراکنش نگار و نقشه های پهنه بندی نشان داد که روش GWR با یک برازش مناسب روابط فضایی بارش با ارتفاع را بخوبی مدلسازی نموده است. در مجموع مدل GWRافزایش مقادیر بارش با ارتفاع به سمت نواحی داخلی و شرقی منطقه یعنی در امتداد رشته کوه های مرتفع زاگرس و دامنه های داخلی آن را برآورد نمود.

کلمات کلیدی

" بارش" ، "مدیترانه ای "، "رگرسیون"، "مدلسازی"،"جغرافیایی،" GWR"، "OLS " "

The application of Geographically Weighted Regression (GWR) and Ordinary Least Squares (OLS) Models in estimation of Mediterranean system precipitation values based on altitude in Western Iran; Case study Precipitation pattern 1-2 Dec.2001

Mehrdad Kiani[1 *], Daryoush Abolfathei[2]

*1. Graduate Faculty of Earth Scincees, University of Shahid Beheshti, Teharn, Iran

2 .Assistant Professor of Geography, University of Paymnoor, Iran

*Email Address: mhrddkiani@yahoo.com

Abstract

Relationships between rainfall and altitude can have significant consequences for rainfall, hydrology and environmental management studies. Designing a rainfall model for areas lacking sufficient stations, especially mountains, can play a significant role in environmental planning. The objective of this paper is to investigate the spatial variations of the Mediterranean rainfall system based on the altitude variable in western Iran using GWR and classical or least squares regression (OLS). In this study, at first by processing Statistical analysis and factor analysis of the most suitable two-day Mediterranean rainfall pattern were selected for study. The spatial relationships between rainfall and altitude variables were modeled using Geographical Weighed regression techniques and classical regression. Comparison of these two methods showed that the 〖AIC〗 _c values of the GWR model is less than the OLS model, which indicates a lower error and better fit of the GWR model than the OLS model. The results of spatial modeling in the form of scatter plot and interpolation maps showed that the WGR method is well modeled with a suitable fit of spatial relationships of rainfall with altitude. In general, the GWR model estimates precipitation increases with altitude toward the central and eastern parts of the regions, along the Zagros high mountain range and its internal slopes

Keywords

“Rainfall”, “Mediterranean”, “regression”, “modelling”, “geographicall” , “GWR” , “OLS”

۱- مقدمه

اقلیم غرب ایران با یک دوره مشخص گرم و خشک و یک دوره سرد و مرطوب شناخته می شود. ناهمواری های زاگرس مهم ترین چشم انداز جغرافیایی در غرب ایران می باشد. گسترش عرضی ، ارتفاع زیاد ، وجود گسل ها و چین خوردگی های متنوع ، دشت ها و دره ها ازویژگی های زاگرس می باشد. همین ویژگی ها سبب شده است تا روابط این ناهمواری ها با اقلیم منطقه دارای پیچیدگی های خاصی شود. نمونه ای از این پیچیدگی های به روابط بین بارش با ارتفاع کوه های زاگرس مربوط می شود. در دوره سرد سال نفوذ جریانات مرطوب هوا سبب رخداد بارش های سنگین در غرب ایران می شود. حجم قابل توجهی از این بارش ها بر روی نواحی مرتفع ریزش می نماید. رواناب حاصل از بارش باران و یا ذوب برف ارتفاعات از طریق رودخانه های بزرگ منطقه همانند گاماسیاب ، سیمره و کشکان به سمت نواحی جنوب غربی ایران حرکت نموده و در نهایت به خلیج فارس می ریزد. از طرفی وجود درز و شکاف ها یا گسل ها بر روی ارتفاعات سبب می شود تا بخشی از بارش به صورت مستقیم و یا به شکل ذوب تدریجی برف در زمین نفوذ کند و سفره های آب زیر زمینی را تشکیل دهد. وجود چشمه های متعدد پرآب در دامنه کوه های زاگرس ماحصل تشکیل این سفره های آب زیر زمینی می باشد. بنابراین رخداد بارش های سنگین در غرب ایران اهمیت زیادی در بحث هیدرولوژی و منابع آب دارد. اما وقوع این بارش ها در نتیجه نفوذ و گسترش جریانات هوای مرطوب در نتیجه آرایش و استقرار الگوهای گردشی جو می باشد. این جریانات از سمت دریای مدیترانه ، دریای سرخ و سودان منشأ گرفته و پس از نفوذ به نوار غربی ایران و برخود با ناهمواری های زاگرس منجر به شکل گیری ابرهای همرفتی و وقوع بارش می شوند. بلندترین کوه های زاگرس در غرب ایران با امتداد شمال غربی به جنوب شرقی از شمال غربی کردستان تا جنوب شرقی لرستان کشیده شده است. در اشترانکوه لرستان ارتفاع زاگرس به بیش از ۴۰۰۰ متر می رسد. ارتفاع زیاد کوه های زاگرس سبب صعود جریانات هوای مرطوب و تخلیه رطوبتی آن ها می شوند. زیرا مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه های واقع در دامنه های شرقی باد پناه زاگرس قابل مقایسه با آمار ایستگاه های واقع در دامنه های رو به باد و داخلی این کوه ها نمی باشد. بنابراین عامل ارتفاع یک عامل تأثیرگذار بر اقلیم و رخداد بارش می باشد. برآوردهای دقیق از توزیع بارش در هیدرولوژی و مدل های محیطی اهمیت بسیار حیاتی دارد (ولدمسکل و همکاران،۲۰۱۳). چنین برآوردهایی برای ارزیابی آماری از شرایط هواشناسی (تارپانلی ،۲۰۱۲) و نفوذ عوامل مختلف در بحث تغییرات محیطی (مای،۲۰۱۴) نیز مهم می باشد. اندازه گیری مستقیم بارش توسط باران سنج ها دقیق ترین راه برای تعیین بارش های یک مکان می باشد. اندازه گیری های نقطه ای بارش فقط متوسط بارش بر روی یک ناحیه را نشان می دهد. میزان دقیق بارش یک ناحیه به وسیله تراکم ایستگاه های باران سنجی مشخص می شود (چاپل،۲۰۱۳). به دلیل وجود پیچیدگی در ویژگیهای متغیر بارش و تأثیر عوامل متعدد بر آن تخمین دقیقی از توزیع فضایی بارش مشکل می باشد(گایرولا،۲۰۱۵). روش های متعارف برای برآورد توزیع بارش به تعداد ایستگاه های باران سنجی و بکارگیری درون یابی های فضایی بارش بستگی دارد(ژائو،۲۰۱۵). بیش از ۱۰ نوع از روش های درون یابی فضایی بارش وجود دارد(موزیلو،۲۰۰۹). در بین آنها الگوریتم های درون یابی فضایی جغرافیایی از قبیل اسپیلاین، کریجینگ معمولی (نیکولوپولوس،۲۰۱۵)و تکنیک های وزن دهی معکوس فاصله (پیازا،۲۰۱۱)از روش های معمولی درون یابی می باشند. استفاده از روش های آماری بویژه رگرسیون برای بررسی روابط بین بارش و عوامل جغرافیایی همانند ارتفاع کاربرد زیادی در مطالعات آب و هوایی داشته است. باسیست (۱۹۹۴) روابط بین الگوهای بارشی و توپوگرافی بویژه ارتفاع را با روش رگرسیون چند متغیره بررسی کرد که مشخص شد قویترین ارتباط بین ارتفاع و توپوگرافی با بارش در نواحی ساحل غربی عرض های بالا و میانی جغرافیایی اتفاق افتاده است. دالی و همکاران (۱۹۹۴) ارتباط بارش و ارتفاع را به روش رگرسیون برای عرض های میانی بررسی کرد و مشخص نمود که میزان خطای حاصل از روش توزیع بارش با در نظر گرفتن معادله رگرسیون کمتر از توزیع بارش به روش کریجینگ است. تأثیر توپوگرافی و ارتفاع بر توزیع بارش در سوئد بوسیله یوهانسون و چن (۲۰۰۳) به روش رگرسیون گام به گام به آشکار سازی روابط ارتفاع و بارش منجر شده است . در این مطالعه مشخص شده است که با وجود تأثیر محلی ارتفاع بر بارش در جهت های رو به باد، در مجموع ارتفاع واریانس قابل توجهی را تبیین نکرده است و روابط مشخص و معناداری بین ارتفاع و بارش مشاهده نشده است. در بین مطالعات داخلی نیز می توان به چند مورد اشاره نمود از جمله به تحقیق فلاح قالهری (۱۳۸۸) می توان اشاره کرد. در این پژوهش مدل رگرسیونی با مدل های دیگر برای پیش بینی بارش مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج کار ایشان نشان داد که می توان از روش رگرسیونی برای پیش بینی بارش های فصلی مطابق با الگوهای سینوپتیکی فوقانی جو استفاده کرد. همچین ساری صراف (۱۳۸۸) به روش رگرسیون گام به گام ، بارش در دامنه های شرقی و غربی کوهستان تالش در شمال ایران را مورد بررسی قرار داد و مشخص نمود که متغیر ارتفاع در دامنه های غربی این کوهستان رابطه مثبتی با وقوع بارش ها دارد . در حالیکه این رابطه در دامنه های غربی کوهستان منفی بوده است. ایشان در مطالعه ای دیگر در سال ۱۳۸۹ تغییرات مکانی بارش در زاگرس میانی را با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و زمین آمار انجام داد. در این مطالعه آمده است که روش رگرسیون برای مدلسازی بارش سطوح ارتفاعی بالاتر که دارای ایستگاه نمی باشندنتایج بهتری را نسبت به روش های زمین آمار ارائه می دهد. عزیزی (۱۳۸۹) نیز در مطالعه خود با استفاده از مدل رگرسیونی، بارش در منطقه زاگرس میانی را مورد ارزیابی قرارداد. در این مطالعه بارش به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و نتایج نشان داد که رابطه معنی داری بین فاصله از خط الرأس به عنوان یکی از متغیرهای مستقل و بارش وجود داشته است. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی، از روش رگرسیون چند متغیره برای مدلسازی سیلاب حوضه آبریز رودخانه جاجرود به عنوان پیامد مهم بارش های سنگین استفاده نمود. در این پژوهش عوامل جغرافیایی به عنوان متغیرهای مستقل ، دبی سیلاب را به عنوان متغیر وابسته مورد پیش بینی قرار داده اند. مظفری (۱۳۹۱) نیز در مطالعه خود تابع رگرسیون چند جمله ای و کریجینگ معمولی را روش های مناسب در توزیع مکانی بارش در استان بوشهر معرفی نمود. یکی از تکنیک های رایج در مطالعات اقلیمی استفاده از مدل های رگرسیونی می باشد. مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی (Geographically Weighted Regression) و رگرسیون حداقل مربعات معمولی (Ordinary

least squares) تکنیک های شناخته شده ای هستند که امروزه در مطالعات آب و هواشناسی برای نشان دادن میزان اثر گذاری یک یا چند متغیر مستقل برمتغیر وابسته بکار می روند. رگرسیون وزن دار جغرافیایی یک الگوریتم قوی می باشد که برای تجزیه و تحلی فضایی بارش در پژوهش ها به صورت موفق عمل نموده است (ایکسیو،۲۰۱۵). این مدل به صورت نظری می تواند موقعیت جغرافیایی و فاکتورهای دیگر را برای برآورد های فضایی بارش ادغام نموده و روابط تغییر کننده فضایی بین این عوامل و بارش را منعکس می نماید(کاماریاناکیس،۲۰۰۸). از این مدل می توان برای برآورد مقدار بارش بر اساس عامل ارتفاع بر اساس داده های ارتفاعی زمین و بارش ثبت شده در سطح منطقه استفاده کرد. در سطح جهانی مطالعات زیادی با استفاده از مدل های رگرسیونی برای بررسی میزان اثرگذاری متغیرهای مستقل همانند ارتفاع بر متغیر بارش انجام شده است. بسیاری از این نوع مطالعات با استفاده از تکنیک های رگرسیون خطی ، رگرسیون وزن دار جغرافیایی (WGR) و رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) صورت پذیرفته است. در این مطالعات از داده های ارتفاعی زمین ، داده های بارش ثبت شده در ایستگاه ها ، داده های بارش ماهواره مبنا ، داده های دما و سایر اطلاعات متغیرهای مستقل استفاده شده است. در مطالعه آیفنگ و همکاران (۲۰۱۶) برای تخمین بارش بر روی حوضه خشک کایدام در چین از داده های بارش زمین مبنا و ماهواره مبنا استفاده شده و یک مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی با کمترین میزان خطا ارائه شده است. بوستَن (۲۰۰۹) توزیع فضایی بارش و دما را با استفاده از تکنیک های درون یابی Co-Criging ، OLS و WGR انجام داده است. در این مطالعه از متغیرهای مستقلی همانند ارتفاع ، جهت دامنه فاصله تا رودخانه برای نشان دادن میزان اثر گذاری بر متغیرهای وابسته استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته مربوط به تکنیک GWR بوده است. برتری روش GWR نسبت به روش OLS در تحقیق الاحمدی (۲۰۱۳) نیز مشاهده می شود. در این تحقیق که برای نشان دادن روابط بین بارش فصلی و سالیانه و ارتفاع در عربستان صورت پذیرفته است ، تکنیک OLS فقط یک همبستگی معنی دار بین بارش فصل بهار و ارتفاع را مشخص نمود اما استفاده از تکنیک GWR به تعیین یک همبستگی قوی بین بارش های چهار فصل و سالیانه با ارتفاع منجر گردید. در مطالعه انجام شده توسط سعادت خان و همکاران (۲۰۱۴) در مورد توزیع بارش با ارتفاع در مالزی نیز مشخص گردیده است که مدل رگرسیون نتایج بهتری نسبت به سایر روش ها برای نمایش تغییرات فضایی بارش ارائه می نماید. در بین پژوهش های داخلی نیز به روش های تحلیل فضایی جهت بررسی تغییرات بارش با متغیرهای مستقل همانند ارتفاع پرداخته شده است.پورزیدی و همکارن(۱۳۹۸) برای بدست آوردن روند بارشی در استان مازندران از روش تحلیل رگرسیونی و برای شناسایی رفتار محلی بارش نیز از روش آمار فضایی استفاده نمودند. در پژوهش ایشان نتایج رگرسیون موزون جغرافیایی نشان داد که بارش استان مازندران و ارتفاع دارای یک رابطه معنا دار می باشند. نظری پور و همکاران (۱۳۹۴) الگوهای توزیع فضایی بارش در ایران مرکزی را به روش رگرسیونی مورد بررسی قرار دادند و مشخص نمودند که مدل خطی رگرسیون برازش یافته برای پیش بینی مقادیر بارش با ارتفاع مناسب می باشد. قربانی (۱۳۹۱) نیز در مطالعه خود روش رگرسیون جغرافیایی وزن دار را مناسب ترین روش برای ترسیم منحنی های هم بارش در استان گیلان معرفی می نماید و اشاره نموده است که این روش در مقایسه با سایر روش های درون یابی دارای کمترین خطا می باشد.در پژوهش حاضر با توجه به نقش با اهمیت بارش های مدیترانه ای در اقلیم غرب ایران و وجود ناهمواری های زاگرس پس از انتخاب یکی از رخدادهای بارش سنگین مدیترانه ای ، میزان ارتباط فضایی بین بارش حاصل از این سامانه با ارتفاع نواحی غربی ایران با دو تکنیک رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR) و حداقل مربعات معمولی (OLS) مدلسازی شده است. یکی از اهداف این مطالعه تعیین روش مناسب برای بررسی روابط فضایی بارش و ارتفاع در غرب ایران می باشد.رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR) و رگرسیون کلاسیک یا حداقل مربعات معمولی یا خطی(OLS) روش شناخته شده ای برای تخمین ارتباط بین یک متغیر وابسته و مجموعه ای از یک یا چند متغیر مستقل می باشد.رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR) می تواند در یک حالت به صورت رابطه شماره ۱ نوشته شود (چارلتون و همکاران ،۲۰۰۹)

$$y_i = \beta_O + \sum_K \beta_K x_{ik} + \varepsilon_{i.} \qquad (۱)$$

از آنجایی که این مدل ساختار رگرسیونی OLS یا حداقل مربعات معمولی را با استفاده از پارامترهای محلی برای تخمین ارتباط بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل را درنظر می گیرد . بنابراین معادله رگرسیون وزن دار جغرافیایی به صورت رابطه شماره ۲ نیز نوشته می شود.

$$y_i = \beta_O(u_i, v_i) + \sum_K \beta_K(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_{i.} \qquad (۲)$$

در روابط فوق y متغیر وابسته ،x_i متغیر مستقل، β_O و β_K ضرایبی می باشند که باید تخمین زده شوند، ε جزء خطا و u_i, v_i به ترتیب طول و عرض جغرافیایی نقطه iام می باشند. $\beta_K(u_i, v_i)$ نیز پیاده سازی فاکتور مورد بررسی روی یک سطح پیوسته می باشد. در مدلسازی رگرسیون وزن دار جغرافیایی مشاهدات مجاور یکدیگر اثر بیشتر و از سوی دیگر تخمین بهنجارتری روی یکدیگر خواهند داشت. انتخاب روش مناسب برای برآورد مقدار متغیر وابسته با متغیر مستقل بر اساس معیارهای اعتبار سنجی صورت می گیرد. این معیارها می توانند مقدار خطای هر کدام از مدل ها در برآورد مقدار متغیر وابسته با متغیر مستقل یا پیش بین را نشان دهند. معیار آکائیک (AIC) برازشی است که به طور گسترده از سوی پژوهشگران مورد استفاده قرار می گیرد(چارلتون و همکاران،۲۰۰۹) . این معیار با استفاده از رابطه شماره ۳ محاسبه می شود(هورویچ و همکاران،۱۹۹۸).

$$AIC_c = 2nlog_e(\hat{\sigma}) + nlog_e(2\pi) + n\left\{\frac{n+tr(s)}{n-2-tr(s)}\right\} \qquad (۳)$$

هرچه مقادیر حاصل از این معیار کوچک تر باشد خطای مدل کاهش می یابد و دقت آن بیشتر می شود. همچنین میزان تأثیر متغیر مستقل بر متغیر وابسته در مدل رگرسیون جغرافیایی وزن دار از طریق ضریب تعیین (R^2) مشخص می شود.ضریب تعیین مشخص می نماید که چه نسبتی از تغییرات متغیر وابسته به وسیله متغیر مستقل تبیین می

شود.یکی دیگر از خروجی های مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی ضریب تعیین تعدیل شده ($R^2_{Adjusted}$) می باشد. تفاوت بین ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل شده این است که ضریب تعیین فرض میکند که هر متغیر مستقل مشاهده شده در مدل ، تغییرات موجود در متغیر وابسته را تبیین میکند . بنابراین درصد نشان داده شده توسط ضریب تعیین با فرض تاثیر همه متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته میباشد. در صورتی که درصد نشان داده شده توسط ضریب تعیین تعدیل شده فقط حاصل از تاثیر واقعی متغیرهای مستقل مدل بر وابسته است و نه همه متغیرهای مستقل . تفاوت دیگراین است که مناسب بودن متغیرها برای مدل توسط ضریب تعیین حتی با وجود مقدار بالا قابل مشخص نیست در صورتی که می توان به مقدار برآورد شده ضریب تعیین تعدیل شده اعتماد کرد. مقدارضریب تعیین تعدیل شده از رابطه زیر بدست می آید:

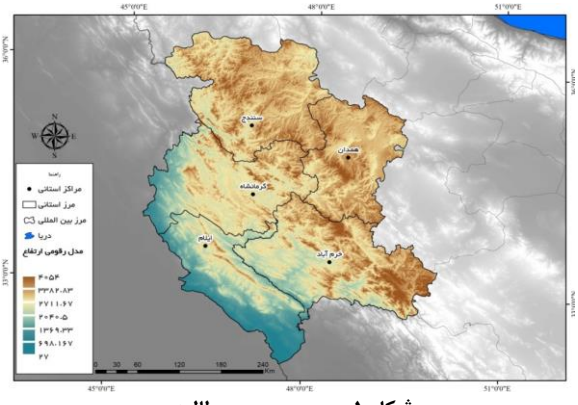
$$R^2_{Adjusted} = 1 - \frac{(1-R^2)(N-1)}{N-p-1} \qquad (٤)$$

در این معادله ، N تعداد کل مشاهدات، p تعداد متغیرهای پیش بین و R^2 ضریب تعیین می باشد. خروجی حاصل از مقادیر برآورد شده متغیر وابسته در مدل های (WGR) و (OLS) به صورت نقشه توزیع پهنه بندی در محیط ArcGIS قابل ترسیم است. این خروجی ها با مدل مشاهده شده یا واقعی متغیر وابسته مورد مقایسه قرار می گیرد و میزان تأثیرات متغیر مستقل بر متغیر وابسته آشکارسازی می شود.

۲- روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

منطقه مورد مطالعه برای این تحقیق نواحی غربی ایران و محدوده ناهمواری های زاگرس شامل استان های همدان ، کردستان ، کرمانشاه ، ایلام و لرستان می باشد.به سبب تنوع ناهمواری و تغییرات گسترده ارتفاع این منطقه محدوده ویژه ای برای مطالعه روابط بین بارش و عوامل محلی همانند ارتفاع می باشد. غرب ایران دارای ویژگی بارش فصلی دوره سرد سال و بارش کوهستانی می باشد و ارتفاع ناحیه از سطح دریا در بخش هایی از آن (بخش شرقی) به بیش از ۴۰۰۰ متر نیز می رسد . در این منطقه روند عمومی ناهمواری های زاگرس و رشته کوه های آن امتداد شمال غربی به جنوب شرقی دارد. بزرگترین و پیوسته ترین ارتفاعات در محدوده زاگرس شکسته در استان های همدان ، کردستان و شرق لرستان یافت می شود. جایی که ارتفاع رشته کوه های بزرگ به بالای ۳۰۰۰ متر می رسد (شکل۱).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

مواد و روش ها :

در این تحقیق برای انجام مدلسازی رابطه بارش با ارتفاع از داده های بارش روزانه ثبت شده در ۲۲ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان های غربی ایران در دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ میلادی استفاده شده است . انتخاب نوع سامانه مدیترانه ای بوسیله داده های فشار تراز دریا مربوط به پایگاه داده های باز تحلیل شده NCEP/NCAR انجام پذیرفته است . همچنین داده های ارتفاع ایستگاه ها و داده های لایه ارتفاعی زمین (DEM) برای مشخص نمودن مقادیر متغیر مستقل در فرایند مدلسازی بکار رفته است. در پژوهش حاضر از روش آماری برای بررسی روابط بین بارش مدیترانه ای و ارتفاع استفاده شده است. در ابتداروش تحلیل عاملی برای انتخاب مناسب ترین الگوی مطالعاتی در بین سامانه های مدیترانه ای بکار رفته است. سپس با استفاده از آمار بارش روزانه ایستگاه های سینوپتیک غرب ایران و داده های مدل ارتفاعی با روش های رگرسیون موزون جغرافیایی (WGR) و رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) میزان روابط فضایی بین بارش و ارتفاع مشخص شده است. در ادامه با استفاده از تحلیل درون یابی در محیط GIS، نقشه پهندی بندی بارش واقعی (مشاهده شده) ، بارش برآورد شده و ضریب تعیین ترسیم شده است. در این پژوهش با هدف بررسی روابط فضایی بین بارش های شدید مدیترانه ای و ارتفاع ، الگوی بارش دو روزه اول و دوم دسامبر ۲۰۰۱ میلادی براساس معیارها و روش هایی انتخاب گردید. علت انتخاب بارش های دو روزه ، فراگیرشدن بارش بر مساحت گسترده ای از نواحی غربی ایران در مدت زمان بیشتری از ۲۴ ساعت بوده است.ابتدا آماربارش روزانه ۲۲ ایستگاه سینوپتیک غرب ایران در دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷ میلادی برای هفت ماه مرطوب ایران (اکتبر تا می) مورد پردازش قرار گرفت. سپس بارش هایی که در دو روز متوالی و در حداقل نیمی از ایستگاه های منطقه اتفاق افتاده بوده مشخص شدند. بر این اساس تعداد ۲۰۵ مورد بارش دو روزه شناسایی شد. با توجه به نقش آفرینی سامانه بارشی مدیترانه ای در دوره مرطوب سال و گسترش آن برتمام محدوده غرب ایران، نیاز به الگویابی سامانه های مدیترانه ای و جداسازی آن ها از سایر سامانه ها بود. برای این منظور میانگین بارش ایستگاه ها برای همه بارش های دو روزه تعیین شد. با روش دهکها داده های میانگین بارش دو روزه در دهک های اول تا دهم قرار گرفت. در مجموع تعداد ۲۱ مورد از بارش های دو روزه با دامنه میانگین بارش ۱۱/۰۹ تا ۲۷/۵۳ میلیمتر در دهک بالا یا دهم قرار گرفتند که بارش های سنگین را شامل می شدند. با هدف جداسازی الگوهای مدیترانه ای نقشه های فشار تراز دریا برای ۲۱ مورد بارش دو روزه تهیه و ترسیم گردید و به روش توصیفی منشا سامانه های ورودی به ایران مشخص گردید. از مجموع ۲۱ مورد بارش دو روزه تعداد ۶ مورد از آن ها ماهیتی مدیترانه ای داشتند. برای تعیین بهترین الگوی مناسب مدیترانه ای ، یک ماتریس به ابعاد ۱۲در ۹۵۷ تشکیل شد. زیرا هر کدام از بارش های دو روزه دو مورد بارش روزانه را تشکیل دادند و در مجموع ۱۲ مورد بارش روزانه وارد ماتریس شدند. هرمورد بارش روزانه به عنوان یک متغیر در نظر گرفته شد و ۹۵۷ پیکسل یا داده فشار برای این متغیرها تعریف شد. با استفاده از تحلیل عاملی و چرخش واریماکس مشخص شد که سه عامل اصلی ۸۶ درصد واریانس داده های فشار را تبیین نموده است. عامل اول با حدود ۳۴/۴۹ درصد

در حالت چرخشی (۴۲/۹۸ درصد در حالت بدون چرخش) بیشتر از سایر عوامل در واریانس داده ها نقش داشته است (جدول۱).

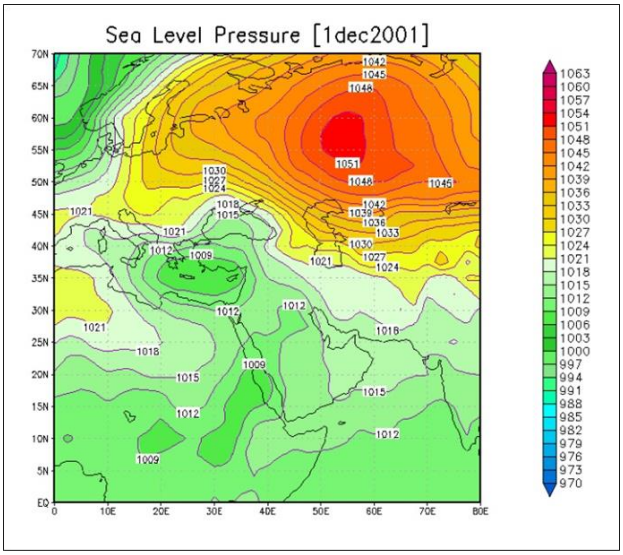
جدول ۱. میزان واریانس تبیین شده توسط عامل ها در بارش های دو روزه مدیترانه ای

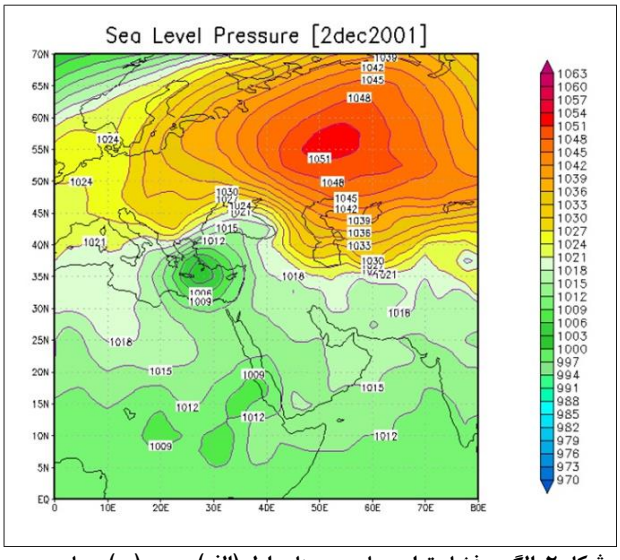
عامل	بار عاملی	واریانس	واریانس تجمعی	بار عاملی با چرخش	واریانس با چرخش	واریانس تجمعی با چرخش
عامل اول	۵/۱	۴۲/۹	۴۲/۹	۴/۱	۳۴/۴	۳۴/۴
عامل دوم	۳/۱	۲۶/۳	۶۹/۳	۳/۱	۲۵/۹	۶۰/۴
عامل سوم	۲/۰	۱۶/۸	۸۶/۱	۳/۰	۲۵/۷	۸۶/۱

چرخش عامل ها به منظور افزایش بارعاملی عامل های کم اثرتر و اینکه متغیرها در هر عامل دارای بیشترین وزن یا بار عاملی باشداعمال شده است. این عامل ها بر اساس داده های فشار مشخص شده و در حقیقت عامل اول دارای پرتکرارترین مقادیر فشار در شرایط وقوع بارش های مدیترانه ای بوده است هر کدام از تاریخ های بارش روزانه به عنوان یک متغیر در عامل اول دارای یک وزن یا اثر عاملی بوده که بارش روزانه ۲ دسامبر ۲۰۰۱ میلادی با وزن عاملی ۰/۹۶ و بارش روزانه ۱ دسامبر ۲۰۰۱ میلادی با وزن عاملی ۰/۹۴بیشترین وزن یا همبستگی را با عامل اول داشته است. (جدول ۲). وزن یا بار عاملی ، همبستگی بین متغیرها با هر عامل را نشان می دهد که رقمی بین ۱+ و ۱- متغیر می باشد. به این ترتیب با انجام روش تحلیل عاملی ، عامل اول به عنوان پرتکرارترین آرایش الگوهای فشار در زمان رخداد سامانه های بارشی مدیترانه ای و سامانه بارش دو روزه ۱ و ۲ دسامبر ۲۰۰۱ میلادی با بیشترین تأثیرپذیری از عامل اول در مقایسه با سایر بارش های مدیترانه ای دو روزه مشخص گردید. بنابراین بارش دو روزه ۱و۲ دسامبر ۲۰۰۱ میلادی با میانگین ۱۵/۶۴ میلیمتر به عنوان نماینده سامانه های بارشی مدیترانه ای به عنوان الگوی مطالعاتی سامانه های مدیترانه ای برای مطالعه جاری انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفته است. پس از انجام روش های پردازش آماری، برای انجام فرایند مدلسازی با استفاده از داده های ارتفاعی زمین (DEM) و مقادیر اطلاعات محلی ایستگاه های منطقه همانند ارتفاع و میانگین بارش های دو روزه در محیط GIS Arc تحلیل های GWR و OLS اجرایی شد. به این ترتیب پس از مدلسازی روابط بین بارش و ارتفاع با دو تکنیک رگرسیون جغرافیایی وزن دار (GWR) و حداقل مربعات معمولی (OLS) خروجی مدل به صورت جدول و نقشه درون یابی ارائه شد. بر این اساس در مطالعه حاضرنقشه درون یابی مقدار بارش مشاهده شده ، مقدار بارش برآورد شده توسط هر دو مدل و مقدارR^2 به روش درون یابی کریجینگ ترسیم شده است. مقایسه نتایج حاصل از دو مدل GWR وOLS مشخص نموده است که کدام روش تغییرات توزیع فضایی بارش با ارتفاع را بهتر تبیین نموده و از دقت بیشتر و مقدار خطای کمتری برخورداراست.

جدول ۲. میزان اثر عاملی یا وزن هر متغیر در عامل اول در حالت چرخشی

تاریخ	وزن یا اثر عاملی	میانگین بارش روزانه	میانگین بارش دو روزه
۲ دسامبر ۲۰۰۱	۰/۹۶۰	۷/۵۵	۱۵/۶۴
۱دسامبر ۲۰۰۱	۰/۹۴۱	۲۳/۷۲	
۵ دسامبر ۲۰۰۱	۰/۹۳۳	۱۰/۰۰	۱۶/۱۲
۴ دسامبر ۲۰۰۱	۰/۹۲۳	۲۲/۲۳	
۵ فوریه ۲۰۰۳	۰/۳۹۸	۱۱/۷۱	۱۳/۴۰
۴ فوریه ۲۰۰۳	۰/۱۸۱	۱۵/۰۹	
۴ فوریه ۲۰۰۷	۰/۳۴۵	۳۰/۹۸	۱۵/۸۴
۳ فوریه ۲۰۰۷	۰/۰۹۱	۰/۷۰۹	
۱۳ ژانویه ۲۰۰۴	۰/۱۹۸	۱۹/۷۷	۱۲/۰۰
۱۲ ژانویه ۲۰۰۴	۰/۱۷۰	۴/۲۲	
۱۵ ژانویه ۱۹۹۷	-۰/۰۸۱	۷/۹۸	۱۴/۹۲
۱۶ ژانویه ۱۹۹۷	-۰/۴۶۵	۲۱/۸۷	





شکل ۲. الگوی فشار تراز دریا در روزهای اول (الف) و دوم (ب) دسامبر سال ۲۰۰۱ میلادی

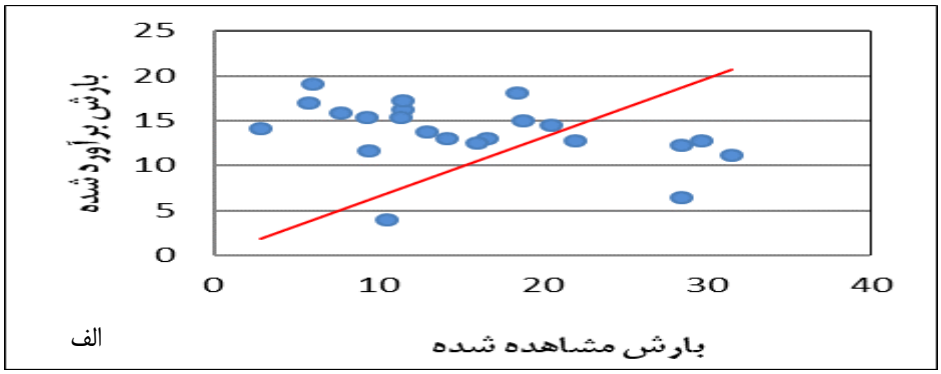
۳- نتایج

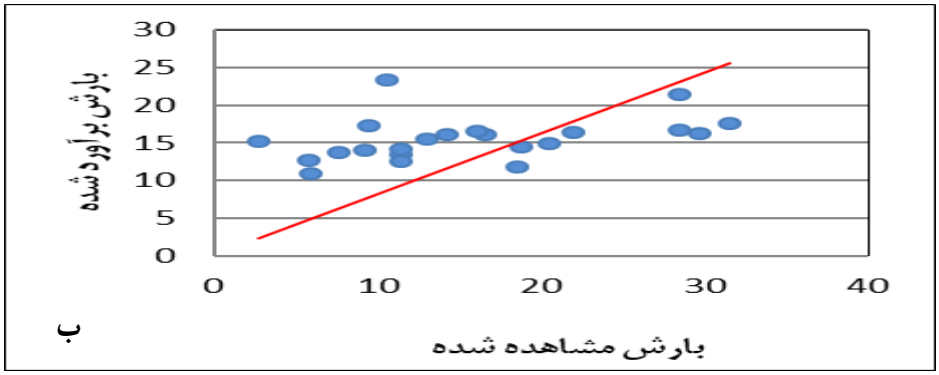
شکل ۲ آرایش الگوهای فشار تراز دریا در روزهای اول (الف) و دوم (ب) دسامبر۲۰۰۱ میلادی را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود یک هسته کم فشار روی بخش های شرقی دریای مدیترانه تشکیل شده است. دامنه این هسته کم فشار به سمت نواحی غربی ایران کشیده شده است. بر روی این نقشه فعالیت مرکز کم فشار سودانی بیشتر به بخش های جنوبی و تا حدوی جنوب غربی ایران محدود شده است.هسته پرفشار سیبری با فشار مرکزی ۱۰۲۱ هکتوپاسکال در شمال دریای خزر و بایکال تشکیل شده و زبانه آن در روز اول دسامبر (الف) بیشتر بخش های شمال شرقی را تحت تأثیر قرار داده است. در روز دوم دسامبر زبانه ای از پرفشار سیبری از روی دریای خزر عبور نموده و به سوی قسمت های مرکزی کشور نفوذ کرده است اما بخش های غربی ایران تحت تأثیر فعالیت سامانه کم فشار مدیترانه ای بوده است. در جدول شماره ۳ مقادیر محاسبه شده R^2 و 〖R^2〗_Adjusted و 〖AIC〗_c مربوط به دو روش رگرسیون جغرافیایی وزن دار ورگرسیون کلاسیک یا حداقل مربعات معمولی (ols) ارائه شده است. این مقادیر ماحصل ارتباط بارش با ارتفاع برای کل منطقه است. همان طور که مشاهده می شود مقدار آکائیک (〖AIC〗_c) مدل GWR کمتر از مدل OLS می باشد. همچنین مقادیر R^2 و 〖R^2〗_Adjusted مدل GWR نسبت به مدل OLS بیشتر است. این امر نشان دهنده کاهش خطا و افزایش دقت در برآورد متغیروابسته (میانگین بارش دو روزه) نسبت به متغیر مستقل (ارتفاع) و همچنین بیانگر برتری مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR) در این خصوص می باشد. همچنین مقادیر بارش برآورد شده و ضریب تعیین محلی برای همه ایستگاه های منطقه در جدول ۴ارائه گردیده است. همانطور که مشاهده می شود بیشترین مقادیر ضریب تعیین محلی مربوط به ایستگاه های مرتفع در بخش جنوب شرقی و شرقی زاگرس همانند همدان ، الیگودرز ، ملایر و بیجار می باشد . در این ایستگاه ها همبستگی بین بارش با ارتفاع بیشتر می باشد. از طرفی مقادیر بارش برآورد شده به روش GWR در مقایسه با روش OLS به مقادیر مشاهده شده یا واقعی نزدیک تر است. یکی از مراحل بررسی رابطه بین دو متغیر بارش و ارتفاع ترسیم داده ها بر روی یک دستگاه مختصات متعامد به صورت نقطه ای می باشد.نمودار حاصل از این دستگاه مختصات نمودار پراکنش نگار یا اسکاتر می باشد. یکی از اهداف این پژوهش مشخص نمودن رابطه بین متغیرها و چگونگی تأثیر پذیری آنها از یکدیگر می باشد. از این رو تغییرات ارتفاع به عنوان یک متغیر مستقل در سطح منطقه می تواند موجب تغییرات بارش به عنوان یک متغیر وابسته شود . از طریق مشخص بودن مقادیر ارتفاع می توان متغیر وابسته یعنی بارش را پیش بینی نمود.برای این منظور می توان خط برازش یافته رگرسیون را مورد استفاده قرار داد. نتایج حاصل از برازش رگرسیونی بین بارش واقعی یا مشاهده شده و بارش برآورد شده با ارتفاع بر اساس شکل ۳ مشخص نموده است که روش GWR (الف) برازش مناسب تری نسبت به روش OLS (ب)نشان داده است. این بیانگر خطای کمتر روش GWR نسبت به روش OLS می باشد.

جدول ۳. مقایسه نتایج حاصل از مدل OLS وGWR برای متغیر وابسته (بارش) و متغیر مستقل (ارتفاع)

مدل	$R^2_{Adjusted}$	R^2	AIC_c
wgr	۰/۶۸۰	۰/۶۹۵	۲۶۹/۶۳
ols	۰/۳۹۸	۰/۴۱۳	۲۹۴/۸۸

شکل ۳. برازش خط رگرسیون برای مقادیر واقعی (مشاهده شده) و برآورد شده به روش های WGR (الف) و OLS (ب) در منطقه مورد مطالعه



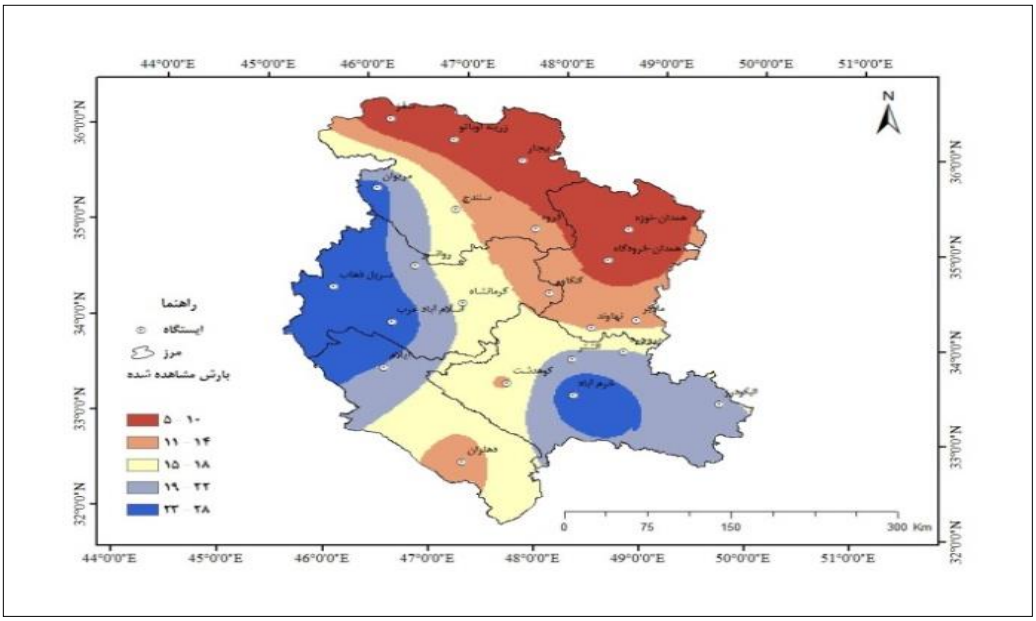


جدول ٤.نتایج حاصل از تکنیک های رگرسیونی (GWR) و (OLS) در برآورد مقدار بارش میتنی بر ارتفاع برای ایستگاه های منطقه مورد مطالعه

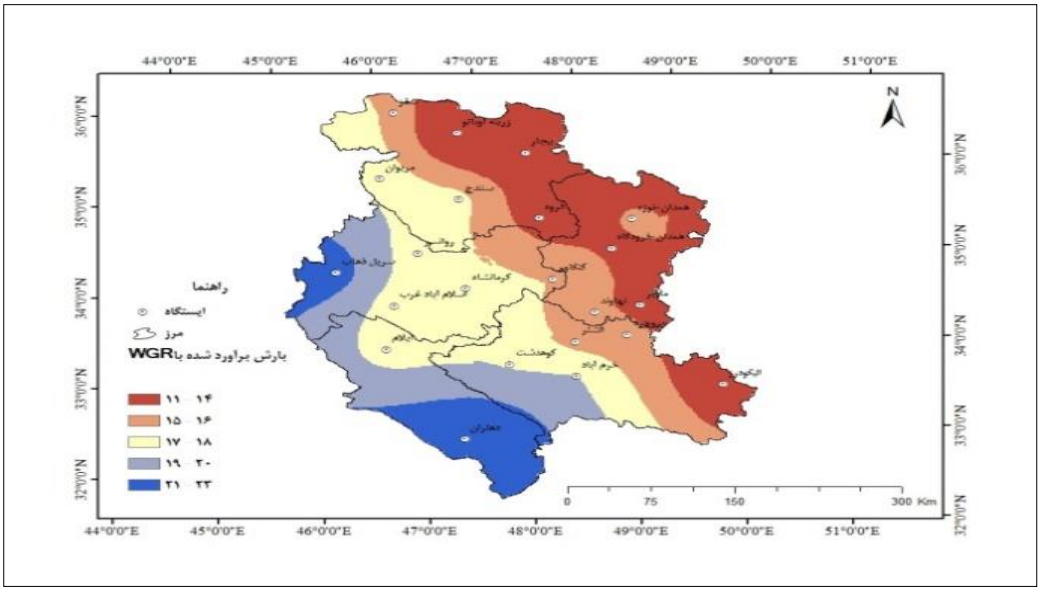
ایستگاه	ارتفاع	بارش مشاهده شده	بارش برآورد شده با GWR	R^2	بارش برآورد شده با OLS
ملایر	۱۷۷۷	۱۱/۵	۱۳/۴۴	۰/۱۳۰۸	۱۶/۱۸
نهاوند	۱۶۸۰	۱۱/۴	۱۴/۱	۰/۱۲۹۲	۱۵/۴۲
همدان – فرودگاه	۱۷۴۱	۷/۷	۱۳/۶۷	۰/۱۳۲	۱۵/۹
نوژه	۱۶۷۹	۹/۳	۱۴/۰۸	۰/۱۳۳۶	۱۵/۴۱
روانسر	۱۳۷۹	۱۶/۶	۱۶/۰۸	۰/۱۲۵۴	۱۳/۰۴
سرپل ذهاب	۵۴۵	۲۸/۵	۲۱/۴۳	۰/۱۲۱۲	۶/۴۴
کرمانشاه	۱۳۱۸	۱۶/۱	۱۶/۴۸	۰/۱۲۵۸	۱۲/۵۵
کنگاور	۱۴۶۸	۱۳	۱۵/۵۱	۰/۱۲۹۱	۱۳/۷۳
اسلام آباد غرب	۱۳۴۸	۲۹/۷	۱۶/۲۶	۰/۱۲۲۳	۱۲/۷۹
ایلام	۱۳۳۷	۲۲	۱۶/۳۳	۰/۱۲۰۱	۱۲/۷
دهلران	۲۳۲	۱۰/۶	۲۳/۳۸	۰/۱۱۹۶	۳/۹۶
بروجرد	۱۶۲۹	۱۸/۸۵	۱۴/۴۴	۰/۱۲۹۴	۱۵/۰۱
الشتر	۱۵۶۷	۲۰/۵	۱۴/۸۶	۰/۱۲۷۵	۱۴/۵۲
خرم آباد	۱۱۴۷	۳۱/۵	۱۷/۶۲	۰/۱۲۶۳	۱۱/۲۰
الیگودرز	۲۰۲۲	۱۸/۵	۱۱/۸۱	۰/۱۳۰۴	۱۸/۱۱
کوهدشت	۱۱۹۹	۹/۵	۱۷/۲۶	۰/۱۲۴۴	۱۱/۶۱
سقز	۱۵۲۲	۲/۸	۱۵/۱۳	۰/۱۲۹۹	۱۴/۱۷
سنندج	۱۳۷۳	۱۴/۲۵	۱۶/۱۴	۰/۱۲۹۰	۱۲/۹۹
بیجار	۱۸۸۸۳	۵/۸	۱۲/۶۹	۰/۱۳۲۸	۱۷/۰۲
زرینه	۲۱۴۲	۶	۱۰/۹۵	۰/۱۳۱۳	۱۹/۰۷
مریوان	۱۲۸۶	۲۸/۵	۱۶/۶۹	۰/۱۲۶۹	۱۲/۳۰
قروه	۱۹۰۶	۱۱/۵	۱۲/۵۷	۰/۱۳۰۹	۱۷/۲۰

همانطور که بیان شد روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی از لحاظ نیکویی و برازش در مقایسه با روش حداقل مربعات معمولی برای تحلیل فضایی روابط بین بارش سامانه دو روزه مدیترانه ای و ارتفاع مناسب تر می باشد و خطای آن کمتر است. نتیجه اجرا و پردازش این روش ها ارائه نقشه های مدلسازی روابط فضایی بارش و ارتفاع می باشد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود مقادیر بارش مشاهده شده با مقادیر بارش بر آرود شده (شکل۵) سبب ارائه الگوهای پهنه بندی بارشی متفاوتی در سطح منطقه شده است. در نقشه مقادیر بارش مشاهده شده (شکل ۴) ، بیشینه بارش ها در بخش غربی و جنوب شرقی اتفاق افتاده است. در حالیکه به سمت شمال و شمال شرقی از مقدار بارش کاسته شده است. نقشه توزیع بارش برآورد شده با ارتفاع به روش GWR (شکل۵) بخوبی نشان داده است که ارتفاع می تواند در بخش های مرکزی در امتداد شمال غربی به جنوب شرقی کوه های زاگرس سبب افزایش میزان بارش توسط سامانه مدیترانه ای شود. این امتداد منطبق بر امتداد رشته کوه های زاگرس مرتفع و دامنه های داخلی زاگرس می شود. همچنین با دخالت دادن عامل ارتفاع مقدار بارش پیش بینی شده بخش های غربی در مقایسه با مقدار واقعی روند کاهشی را نشان داده است.این نتایج بر روی نقشه توزیع مقادیر ضریب تعیین (شکل ۶) نیز قابل مشاهده است. بر این اساس به سمت نواحی مرکزی و شمال شرقی عامل ارتفاع واریانس بیشتری را در ارتباط با رخداد بارش تبیین نموده است.

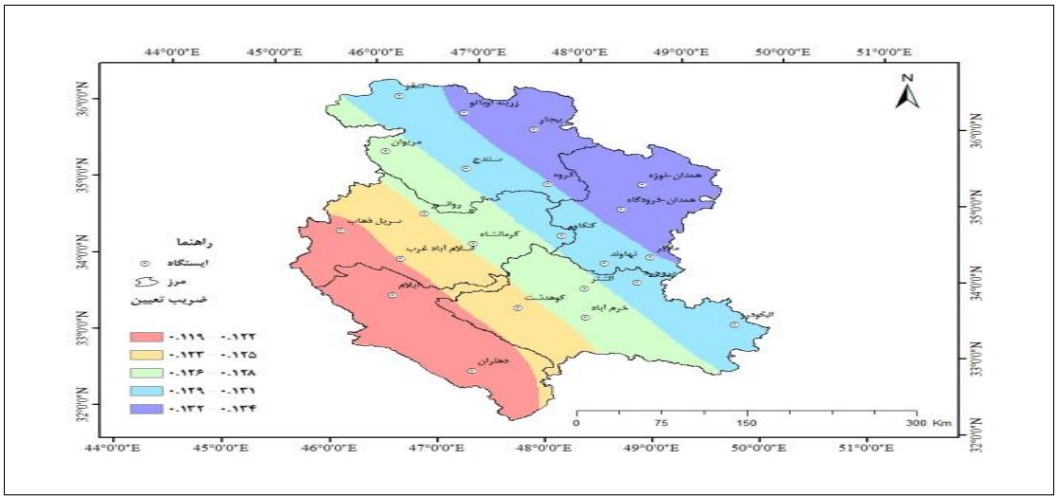
شکل ٤. درون یابی بارش مشاهده شده (واقعی)



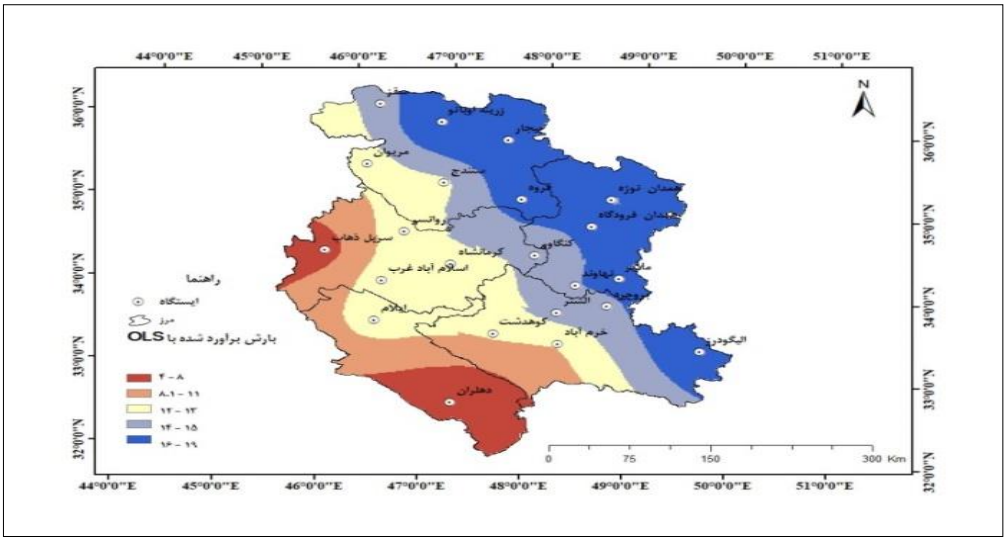
شکل ٥. درون یابی بارش برآورد شده به روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی GWR



شکل ٦. نقشه درون یابی مقادیر ضریب تعیین محلی حاصل از مدلسازی بارش و ارتفاع به روش GWR



شکل ۷. درون یابی بارش برآورد شده با روش حداقل مربعات معمولی OLS



نقشه توزیع بارش برآورد شده (شکل ۷) با روش OLS تفاوت های چشمگیری را با نقشه توزیع بارش واقعی نشان می دهد. از آنجایی که ارتفاع نواحی شرقی منطقه بسیار بالاتر از نواحی غربی آن می باشد از این رو دخالت عامل ارتفاع سبب شده است که بیشینه بارش ها بر روی نواحی شرقی منطقه واقع شود . در این منطقه برآورد شده است که با استقرار سامانه مدیترانه ای ارتفاع سبب افزایش بارش ها از سمت جنوب غربی به سمت شمال شرقی منطقه می شود. در این پژوهش آنچه که اهمیت دارد دقت بیشتر روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی برای برآورد مقدار بارش با دخالت دادن عامل ارتفاع می باشد. بنابراین در زمان فعالیت سامانه های بارشی مدیترانه ای با دوره فعالیت دو روزه عامل ارتفاع به نوبه خود در بخش های مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه و در راستای امتداد رشته کوه های مرتفع زاگرس می تواند سبب افزایش مقدار بارش شود.

٤- نتیجه‌گیری

روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی یک روش آماری است که برای بررسی روابط فضایی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته بکار می رود و روش مناسبی برای پهنه بندی و تخمین داده های مکانی همانند بارش به حساب می آید. نتایجی که از این تحقیق بدست آمد نشان داد که روش رگرسیون جغرافیایی وزن دار نسبت به روش رگرسیون کلاسیک یا حداقل مربعات معمولی دارای برازش مناسب تر و خطای کمتر بوده و برتری نسبی در تحلیل مکانی تغییرات بارش در غرب ایران و محدوده ناهمواری های زاگرس داشته است. همچنین بیشترین مقدار همبستگی بین متغیرهای بارش و ارتفاع مربوط به ایستگاه های مرتفع زاگرس در بخش جنوب شرقی و شرقی آن بود که روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی برای این ایستگاه ها برازش مناسب تری را نشان داد. در هر دوی این روش ها با دخالت دادن پارامتر ارتفاع بارش در سطح منطقه پهنه بندی شد. نتایج نشان می دهد که در شرایط رخداد بارش واقعی یا مشاهده شده بطور میانگین با فعالیت دو روزه سامانه مدیترانه ای بیشینه بارش ها در بخش هایی از غرب و جنوب شرقی منطقه اتفاق افتاده است. با ارائه مدل فضایی روابط بارش با ارتفاع به روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی مشخص شد که در بخش مرکزی ، جنوب شرقی و شرقی منطقه که منطبق بر امتداد شمال غربی رشته کوه های زاگرس مرتفع و دامنه های داخلی آن می شود ارتفاع می تواند سبب افزایش بارش شود. زیرا به سمت نواحی مرکزی ، جنوب شرقی و شرقی مطابق با نقشه توزیع ضریب تعیین ، ارتفاع واریانس بیشتری از بارش را تبیین نموده است. در مجموع مشخص شد که مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی برای پیش بینی بارش با ارتفاع در غرب ایران می تواند نتایج مناسب تری را ارائه نماید.

منابع

- پورزیدی،ع.، علیجانی، ب.، سلیقه ، م.،گرامی، م.(۱۳۹۸).تحلیل فضایی بارش استان مازندران ، نشریه تحقیقات علوم جغرافیایی سال ۱۹، شماره ۵۲ ، ۲۰-۱.
- رضایی مقدم ، م. ، اصغری ، ص. و فیض اله پور ، م . (۱۳۹۰). مدل سازی جریان سیلاب حوضه آبریز رودخانه جاجرود با استفاده از رگرسیون چند متغیره ، جغرافیا ؛ فصلنامه علمی و پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران ، سال نهم ، شماره ۳۰، صص ۱۷۶-۱۶۳.
- ساری صراف ، ب.، آزرم ، ک .(۱۳۸۹). برآورد تغییرات مکانی بارش در زاگرس میانی با روش های میان یابی ، مجله اندیشه جغرافیایی ، سال هشتم ، شماره ۱۵ ، ۶۷- ۵۴.
- ساری صراف، ب.، رجایی ، ع.، مصری علمداری، پ .(۱۳۸۸). بررسی رابطه بین بارش و توپوگرافی در دامنه های شرقی و غربی منطقه کوهستانی تالش ، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی ، سال ۲۰ ، شماره ۳۵ ، ۸۴ – ۶۳.
- عزیزی، ق. ؛ عباسپور، ر .؛ صفرراد، ط . (۱۳۸۹). مدل تغییرات مکانی بارش در زاگرس میانی ، پژوهش های جغرافیای طبیعی ، شماره ۷۲ ، ۵۱ – ۳۵.
- فلاح قالهری ، غ. ، موسوی بایگی ، م. ، حبیبی نوخندان ، م. (۱۳۸۸). پیش بینی بارش فصلی براساس الگوهای سینوپتیکی فوقانی جو با استفاده از مدل های آماری ، مجله دانش آب و خاک ، جلد ۱۹ ، شماره ۱، سال ۱۳۸۸ ۱۴۶ – ۱۲۵.

- قربانی، خ.(۱۳۹۱). رگرسیون وزن دار جغرافیایی روشی برای ترسیم نقشه های هم بارش در استان گیلان ، نشریه آب و خاک ، جلد ۲۶، شماره۳ ، ۷۴۳-۷۵۲.
- مظفری، غ،میرموسوی،ح،،خسروی،ی.(۱۳۹۱. ارزیابی روش های زمین آمار و رگرسیون خطی در تعیین توزیع مکانی بارش؛ مطالعه موردی استان بوشهر، جغرافیا و توسعه شماره ۲۷، ۷۶-۶۳.
- نظری پور، ح.، دوستکامیان، م. ، علیزاده، س.(۱۳۹۴). بررسی الگوهای توزیع فضایی دما، بارش و رطوبت با استفاده از تحلیل اکتشافی زمین آمار، مجله فزیک زمین وفضا، دوره ۴۱، شماره ۱، ۱۱۷-۹۹.

- Pourzeidi, A., Alijani, B., Tilakha M., Ghorami M. (2019). Spatial Analysis of precipitation in Mazandaran province, Journal of Geographic Sciences Research, 2010, No. 52, 20-1.
- Rezaei Moghaddam, M. , Asghari, p. And Faizollahpour, M. (2011). Modeling the Flood of Jajrood River Basin Using Multivariate Regression; Geography; Journal of the Iranian Geographical Society, Ninth Year, No. 17, pp. 176-163.
- Sari Sarraf, B., Azrom, K. (2010). Estimation of spatial variations of precipitation in middle Zagros with interpolation methods, Geospatial Magazine, Eighth, No. 15, pp. 67- 54.
- Sari Sarraf, B., Rajai, A., Masri Alamdari, P. (2009). Investigation of the relationship between rainfall and topography in the eastern and western slopes of the Talesh mountainous region, Geography Magazine and Environmental Planning, Vol. 20, No. 35, 84-63.
- Azizi, AH. ; Abbaspour, R.; Safarrad, T. (2010). Model of spatial variation of rainfall in middle Zagros, natural geographic research, No. 72, 51-35.
- Fallah Qaleri, Gh. , Mousavi Baghi, M. , Habibi Nokhandan, M. (2009). Seasonal precipitation prediction based on upper synoptic pattern of barley using statistical models, Journal of Water and Soil Science, Volume 19, Number 1, 2009 146-125.
- Ghorbani, h. (2012). Geographic Weighted Regression A Method for Drawing Mapping Precipitation in Guilan Province, Vol. 26, No. 3, 752-743.
- Mozafari, G, Mirmosavi, H., Khosravi, Y. (2012). Estimation of Land Statistics and Linear Regression Methods in Determination of Spatial Distribution of Precipitation; Case Study of Bushehr Province, Geography and Development No. 27, 63-76.
- Nazari Pour, H., Dostamakyan, M. , Alizadeh, S. (2015). Investigation of Temporal Distribution Patterns of Temperature, Rainfall and Humidity Using Exploratory Analysis of Earth Stats, Journal of earth and space physic, Volume 41, Issue 1, pp. 117-99.
- Di Piazza, A.; Conti, F.L.; Noto, L.V.; Viola, F.; la Loggia, G..2011,Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., 13, 396–408.
- Kamarianakis, Y.; Feidas, H.; Kokolatos, G.; Chrysoulakis, N.; Karatzias, V.,2008, Evaluating remotely sensed
- rainfall estimates using nonlinear mixed models and geographically weighted regression. Environ. Model. Softw.
- , 23, 1438–1447.
- Jha, S.K.; Zhao, H.; Woldemeskel, F.M.; Sivakumar, B. ,2015,Network theory and spatial rainfall connections: An interpretation. J. Hydrol, 527, 13–19.
- Muzylo, A.; Llorens, P.; Valente, F.; Keizer, J.J.; Domingo, F.; Gash, J.H.C.,2009, A review of rainfall interception modelling.J. Hydrol, 370, 191–206.
- Xu, S.; Wu, C.; Wang, L.; Gonsamo, A.; Shen, Y.; Niu, Z.,2015, A new satellite-based monthly precipitation downscaling algorithm with non-stationary relationship between precipitation and land surface characteristics.Remote Sens. Environ., 162, 119–140.
- Nikolopoulos, E.I.; Borga, M.; Creutin, J.D.; Marra, F.,2015, Estimation of debris flow triggering rainfall: Influence of rain gauge density and interpolation methods. Geomorphology, 243, 40–50.
- Gairola, R.M.; Prakash, S.; Pal, P.K.,2015, Improved rainfall estimation over the Indian monsoon region by synergistic use of Kalpana-1 and rain gauge data. Atmósfera, 28, 51–61.
- Charlton,M. and A. S. Fotheringham, 2009, Geographically Weighted Regression, National Centre For Geocomputation, National University of Ireland Maynooth, Maynooth, CoKildare, Ireland.

- Hurvich,C. M. , Simonoff,J. S. and Tsai,C. L., 1998, "Smoothing parameter selection in nonparametric regression using an improved Akaike information criterion," Journal of the Royal Statistical Society Series B, vol. 60, no. 2, pp. 271–293
- Fotheringham,A. S, Brunsdon. C., and M. Charlton, 2002,Geographically Weighted Regression: the Analysis of Spatially Varying Relationships, Wiley, Chichester, UK.
- Saadatkhan,N.,Kassim,A.and Lee,M.,L.,2014,Spatial patterns of precipitation ,altitude and monsoon directions in Hulu Kelang area;Malasia,EJGE,vol.19,Bund.C,521-534.
- Alhmadi,K. and Alahmadi,S.,2013,Rainfall-Altitude relationship in Saudi Arabia,Advences in meteorology ,vol.2013,1-17.
- Aifeng,L.,V. and Zhou,L.,2016,A rainfall model Based on a geographically weighted regression algorithm for rainfall estimations over the arid Qaidam basin in China,Remote sens,8(11):2-17.
- Bostan,P.,A. and Akyurek,Z.,2009,Spatio-Temporal analysis of precipitation and temperature distribution over Turkey,The international archives of the photogrammetry ,Remote and Spatial information Sciences,vol.38,part 2.
- Alan,Basist;Grald,D,Bell;Veron,Meentemeyer, 1994,Statistical relationships between topography and precipitation patterns , journal of climate , volume.7,1305-1315.
- Christopher, Daly;Ronald,P.Nilson,and Donald,L.phillips, 1994,A statistical – Topographical model for mapping climatological precipitation over Mountainous ,journal of applied meteorology,vol.33,pp.145-158.
- Barbro Johansson; Deliang Chen ,(2003), The influence of wind and topography on prccipitation distribution in Sweden : statistical analysis and modeling , international journal of climatology (Int .J.Climatolo)23;1523-1535.
- Woldemeskel, F.M.; Sivakumar, B.; Sharma, A. 2013, Merging gauge and satellite rainfall with specification of associated uncertainty across Australia. J. Hydrol. 499, 167–176.
- Tarpanelli, A.; Franchini, M.; Brocca, L.; Camici, S.; Melone, F.; Moramarco, T., 2012, A simple approach for stochastic generation of spatial rainfall patterns. J. Hydrol.472–473,63–76.
- Chappell, A.; Renzullo, L.J.; Raupach, T.H.; Haylock, M., 2013, Evaluating geostatistical methods of blending satellite and gauge data to estimate near real-time daily rainfall for Australia. J. Hydrol., 493, 105–114.
- Ma, X.; He, Y.; Xu, J.; van Noordwijk, M.; Lu, X., 2014, Spatial and temporal variation in rainfall erosivity in a Himalayan watershed. CATENA, 121, 248–259.
- Hu, Q., 2013, Rainfall Spatial Estimation Using Multi-Source Information and Its Hydrological Application; Tsinghua University: Beijing, China.