

## تحلیل فضایی بارش سالانه استان خوزستان، رویکردی از

### تحلیل رگرسیون های فضایی

دریافت مقاله: ۹۳/۸/۱۹ پذیرش نهایی: ۹۵/۹/۲۰

صفحات: ۱۴۷-۱۲۵

سعید بلیانی: دکتری اقلیم شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران<sup>۱</sup>

Email: ybalyani52@yahoo.com

#### چکیده

بارش از جمله عناصر اقلیمی است که در برنامه ریزی محیطی دارای اهمیت بسیار می باشد. در این راستا برای مدل سازی و پیش بینی مکانی بارش سالانه در استان خوزستان و ارتباط آن با عوامل مکانی از روش رگرسیون های فضایی استفاده شده است. لذا از آمار ۱۳ ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۰ میلادی جهت پیشگویی فضایی و ارتباط با عوامل جغرافیایی توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت دامنه ها) و طول - عرض جغرافیایی به روش رگرسیون های فضایی مربعات معمولی (OLS) و موزون جغرافیایی (GWR) بهره گرفته شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان دهنده یک ارتباط قوی بین بارش با عوامل جغرافیایی است. نتایج دو مدل رگرسیون عمومی و وزنی جغرافیایی برای پیش بینی بارش سالانه حاکی از برآورد مقادیر پیش بینی بهتر در مدل رگرسیون موزون جغرافیایی است. بطوری که میزان برآورد حاصل از روش رگرسیون موزونی جغرافیایی در استان خوزستان، نشان از مقادیر پایین باقیمانده های خطا، مقادیر بالای  $R^2$ ، عدم وجود خودهمبستگی فضایی و نرمال بودن مقادیر باقی مانده مدل را نمایش می دهد. میزان  $R^2$  در مدل رگرسیون مربعات معمولی ۷۵٪ تغییرات بارش را با عوامل مکانی تبیین می کند. در حالیکه در رگرسیون وزنی جغرافیایی این میزان در دامنه ۸۲٪ تا ۹۷٪ در روی پهنه بارش خوزستان در نوسان است و نشان دهنده برآورد بهتر این مدل می باشد. بر همین اساس مشخص شد که نقش ارتفاعات در شرق، شمالشرق و شمال استان، جهت دامنه ها در بخش های شرق، شمالشرق و در محدوده کوه های زاگرس، و شیب نیز در همین محدوده های ذکر شده مهم ترین عوامل مکانی موثر بر مقادیر بارش به شمار می آیند.

کلید واژگان: خودهمبستگی فضایی، رگرسیون موزون جغرافیایی، رگرسیون مربعات معمولی، بارش، خوزستان.

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول: تهران-خیابان شهید مفتح-دانشگاه خوارزمی-دانشکده علوم جغرافیایی-گروه آب و هواشناسی

## مقدمه

ارتباط عناصر مختلف اقلیمی خصوصا بارش با دیگر عناصر یا عوامل اقلیمی، تغییرات گسترده‌ای را در بعد زمان و مکان پدید آورده است؛ به طوری که بسیاری از محققان اقلیم‌شناسی، به تحلیل‌های زمانی و مکانی این متغیر پرداخته‌اند. یکی از رویکردهای مطالعاتی، تحلیل، تفسیر و ردیابی تغییرات مکانی بارش از طریق تعیین یک مدل بهینه است. در این میان مدل‌های آماری از توجه عمده‌ای برخوردار هستند. از رایج‌ترین مدل‌های آماری، روش‌های رگرسیونی چندمتغیره است که علاوه بر تبیین روابط موجود میان متغیرها، به عنوان ابزاری برای بازآفرینی، برآورد و پیش‌بینی به شمار می‌آیند. این مدل‌ها هم برای تحلیل‌های زمانی و بررسی سری‌های زمانی کارآمد هستند و هم برای ارزیابی تنوع مکانی از قابلیت برخوردارند (عساکره و سیفی پور، ۱۳۹۱). در زمینه مطالعه پراکندگی مکانی عناصر اقلیمی براساس رگرسیون چندمتغیری می‌توان به مطالعات هانسن و لبدف<sup>۱</sup> (۱۹۸۷) و جونس و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۸۶) اشاره نمود. در ایران و جهان نیز مطالعات متعددی از نظر رگرسیون‌های کلاسیک و عمومی چندمتغیره صورت گرفته است. از جمله این تحقیقات می‌توان موارد ذیل را برشمرد: سینگ و کومار<sup>۳</sup> (۱۸۳) با مطالعه رابطه بارش با ارتفاع در هیمالیای غربی شاهد افزایش بارش به ازای افزایش ارتفاع در دامنه‌های رو به باد این ارتفاعات بوده‌اند. کنراد<sup>۴</sup> (۱۹۹۶) در منطقه کوهستانی بلوریچ ایالات متحده و استور و فرگوسن<sup>۵</sup> (۱۹۷۲) در غرب کانادا نشان داده‌اند که به ازای افزایش ارتفاع، افزایش بارش داشته‌اند. باسیست و همکاران<sup>۶</sup> (۱۹۹۴) در مناطق بین‌المدارین، جانس و چن<sup>۷</sup> (۲۰۰۳) در سوئد و پرودهوم و رید<sup>۸</sup> (۱۹۹۸) نیز در اسکاتلند افزایش بارش با ارتفاع را تأیید می‌کنند. در ایران نیز تحقیقات عساکره و مازینی (۱۳۸۹) و علیجانی (۱۳۷۴) رابطه معکوس را بین میزان بارش و ارتفاع در نواحی شمال شرقی و غرب و برخی از نواحی دیگر ایران به اثبات رسانده‌اند. علیجانی (۱۳۸۱) براساس بررسی چندمتغیره بارندگی اذعان می‌دارد که تغییرات مکانی بارش ایران با ارتفاع و عرض جغرافیایی رابطه معنی‌داری ندارد. ولی رابطه بارش سالانه و تغییرات طول جغرافیایی به

1. Hansen and Lebedeff
2. Jones and et all
3. Singh and Kumar
4. Konrad
5. Storr and Ferguson
6. Basist and et all
7. Johansson and Chen
8. Prudhomme Reed and

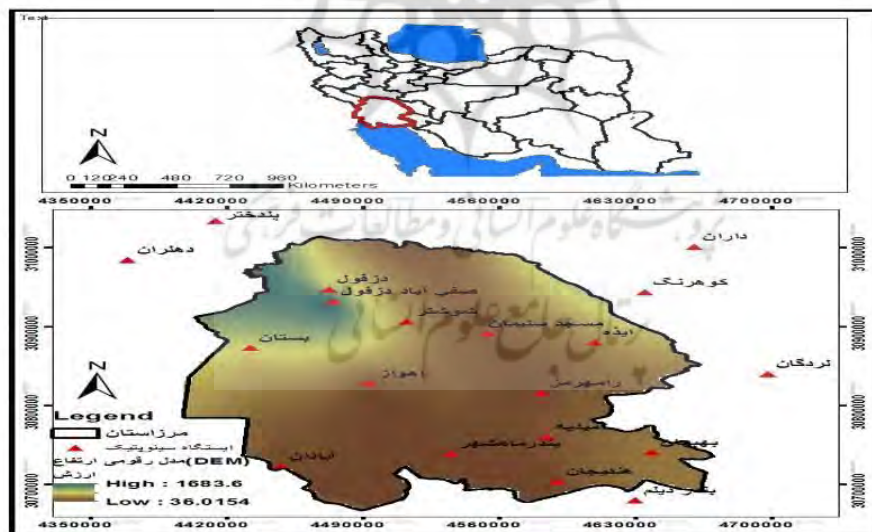
لحاظ آماری معنی دار بوده است. رگرسیون وزنی جغرافیایی یکی از رگرسیون های فضایی است که استفاده از آن در علوم جغرافیایی و سایر رشته هایی که از داده های فضایی و مانند آنها استفاده می کنند رو به افزایش است. یکی از روش های رگرسیونی که در تحلیل های مکانی قابل استفاده است، روشی موسوم به رگرسیون مربعات معمولی (OLS)<sup>۱</sup> و موزون جغرافیایی (RWG)<sup>۲</sup> است. بسط این روش ها در مراجع مربوط به رگرسیون مکانی معرفی شده است. این روشها در کشورهای جهان نزد جغرافیدانان شهری مورد توجه فراوان بوده است. اما بکارگیری این روشها در ایران و نزد جغرافیدانان کشور خصوصاً اقلیم شناسان به جز یک مورد شناخته شده از جمله تحقیق عساکره و سیفی پور (۱۳۹۱) کمتر مورد توجه واقع شده است. بسط این روشها را می توان با رجوع به مبانی نظری فوذرینگهام و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۲) به تفصیل مورد مطالعه قرار داد. برنسدون و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۱) براساس روش رگرسیون جغرافیایی موزون (GWR) رابطه مجموع بارش سالانه و ارتفاع در بریتانیا را بررسی نمودند. براین اساس فراسنج های رگرسیون را شناسایی کرده و برآورد و توزیع مکانی آنها را به شکل نقشه ارائه دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که میزان افزایش بارش به ازای افزایش ارتفاع (ضرایب ارتفاع) از حدود ۴/۵ میلی متر تا حدود صفر میلی متر در متر تغییر می کند. محمودی و علیجانی (۱۳۹۲) طی تحقیقی به بررسی رابطه بین بارش سالانه و فصلی با عوامل زمین اقلیم در استان کردستان با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره اقدام نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که ترکیب دو متغیر طول و عرض جغرافیایی، به ترتیب ۶۶ و ۴۶ درصد تغییرات مکانی بارش های فصل پاییز، بارش سالانه و بارش فصل بهار را توجیه می کنند. ترکیب دومتغیر عرض جغرافیایی و ارتفاع نیز حدود ۶۳ درصد تغییرات مکانی بارش فصل تابستان و ترکیب سه متغیر طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع نیز ۴۷ درصد تغییرات مکانی بارش را در فصل زمستان تبیین می کنند. عساکره و سیفی پور (۱۳۹۱) اقدام به مدل سازی بارش سالانه ایران نمودند. آنها با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی و رگرسیون موزون جغرافیایی رفتار بارش سالانه ایران را از نظر ارتباط مکانی با عوامل جغرافیایی ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که استفاده از رگرسیون های فضایی خصوصاً موزون جغرافیایی قادر به پیش بینی متغیر بارش سالانه ایران در ارتباط با عوامل جغرافیایی (طول، عرض، ارتفاع، شیب و جهت شیب) هستند.

1. Ordinary Least Squares Regression
2. Geographically Weighted Regression
3. Fotheringham
4. Brunsdon at all

علیجانی و همکاران (۲۰۱۳) بارش سالانه ایران را در ۱۷۶ ایستگاه سینوپتیک به روش گریجینگ معمولی کروی پهنه بندی نمودند و بر روی پیکسل بارش سالانه ایران اقدام به تحلیل فضایی بارش سالانه با استفاده از آماره موران<sup>۱</sup> و آماره جی استار<sup>۲</sup> (لکه های داغ) نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بارش ایران از الگوی خوشه ای فضایی برخوردار می باشد. همچنین از طریق ارزیابی نقاط داغ و سرد، خوشه های بارش با ارزش بالا و خودهمبستگی فضایی را در نوار شمالی و کمربند شمالغرب ایران بر روی محور زاگرس تا حوالی شمال استان فارس شناسایی نمودند. همچنین لکه سرد و مناطق با بارش پایین را در قسمتهای ایران مرکزی، جنوب و جنوب شرق ایران مورد تایید قرار دادند. با توجه به مباحث فوق هدف از این تحقیق تحلیل فضایی بارش سالانه استان خوزستان با استفاده از روش های (رگرسیون مربعات عمومی (SLO) و موزون جغرافیایی (RWG) می باشد.

#### داده ها و روش ها

در این تحقیق از مجموع بارش سالانه ۱۳ ایستگاه سینوپتیک از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۰ میلادی و نقاط شاهد و مجاور با استان خوزستان که شامل ۶ ایستگاه همدید بودند جهت میان یابی استفاده شده است شکل ۱ و جدول ۱.



شکل (۱). نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاههای مورد مطالعه

1. Moran's I
2. G\* (Hot Spot Analysis)

جدول (۱) مشخصات جغرافیایی ایستگاههای مورد مطالعه

تعداد	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بارش سالانه	ارتفاع
۱	هندیجان	۴۹,۷۳	۳۰,۲۵	۲۵۳	۳
۲	آبادان	۴۸,۲۵	۳۰,۳۶	۱۵۵,۹۶	۶,۶
۳	بندرماهشهر	۴۹,۱۵	۳۰,۵۵	۲۱۳,۴	۶,۲
۴	بهبهان	۵۰,۲۳	۳۰,۶	۳۴۹,۹	۳۱۳
۵	امیدیه	۴۹,۶۵	۳۰,۷۶	۲۶۳,۱	۱۵۰,۵
۶	رامهرمز	۴۹,۶	۳۱,۲۶	۳۳۴,۵	۲۲,۵
۷	اهواز	۴۸,۶۶	۳۱,۳۳	۲۲۵,۹۲	۷,۸
۸	بستان	۴۸	۳۱,۷۱	۲۰۶,۸	۷۶۷
۹	ایذه	۴۹,۸۶	۳۱,۸۵	۶۹۴	۳۲۰,۵
۱۰	مسجدسلیمان	۴۹,۲۸	۳۱,۹۳	۴۶۴	۶۷
۱۱	شوشتر	۴۸,۸۳	۳۲,۰۵	۳۲۱,۴	۱۴۳
۱۲	صفی آباد دزفول	۴۸,۴۱	۳۲,۲۶	۳۴۱,۸	۱۸۷۱,۹
۱۳	دزفول	۴۸,۳۸	۳۲,۴	۴۰۴,۶	۷۱۳,۵
۱۴	پلدختر	۴۷,۷۱	۳۳,۱۵	۳۵۹,۹	۷۱۳
۱۵	بندر دلیلم	۵۰,۱۶	۳۰,۰۵	۳۲۹,۴	۴
۱۶	دهلران	۴۷,۳۶	۳۲,۶۸	۲۹۰,۸	۲۳۲
۱۷	داران	۵۰,۳۶	۳۲,۹۶	۳۳۱,۸	۲۳۹۰
۱۸	کوهرنک	۵۰,۱۱	۳۲,۴۳	۱۴۴۱,۸	۲۲۸۵
۱۹	لردگان	۵۰,۸۱	۳۱,۱۵	۵۶۷,۳	۱۵۸۰

برای تهیه یاخته های (پیکسل) بارش  $4 \times 4$  کیلومتر که در سیستم تصویر مخروطی لامبرت هم شکل نگاشته شده، از بین روش های درون یابی، درون یابی به روش کریجینگ معمولی کروی بعنوان کاندید مناسب برای پهنه بندی بارش استان خوزستان تشخیص داده شد. در ادامه سراسر پهنه مورد مطالعه در استان خوزستان با  $3997$  یاخته (پیکسل) پوشانده شدند. به منظور هماهنگی و همخوانی تعداد یاخته متغیرهای مستقل (عوامل توپوگرافی، طول و عرض جغرافیایی) به روش رگرسیون های فضایی با تعداد یاخته های ایجاد شده در پهنه بارش استان، نقشه مدل رقومی ارتفاع نیز با یاخته های  $4 \times 4$  کیلومتر تهیه شد. بدین ترتیب مختصات مکانی (طول و عرض جغرافیایی) و توپوگرافی (شیب و جهت دامنه) بر روی هر یاخته تهیه شد. سپس یک پایگاه داده اطلاعاتی از متغیر وابسته بارش و متغیرهای توضیحی برای

بسط و پیشگویی فضایی بارش سالانه استان خوزستان در قالب لایه اطلاعاتی شیپ فایل<sup>۱</sup> نقطه ای و گرید کد<sup>۲</sup> شده به همراه ارزش خصیصه ای بصورت مقادیر ۳۹۹۷ یاخته (مرکز هر پیکسل بصورت نقطه ای با مقادیر ارزشی بارش بودند) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. در نهایت با استفاده از دو روش رگرسیون کلی (عمومی یا معمولی) و موزون جغرافیایی پیشگویی فضایی بارش انجام شد. برای آشنایی اولیه با مفهوم رگرسیون فضایی، فرض کنید یک متغیر مثل Y را در طول زمان یا در بین واحدهای مختلف مشاهده کرده و داده‌های مربوط به آن را به دست آورده‌ایم. می‌خواهیم چگونگی تغییرات آن را تفسیر کنیم. برای این منظور باید متغیر یا متغیرهایی را در نظر بگیریم که بتوانند این تغییرات را توضیح دهند. فرض کنید رابطه زیر موجود است:

$$Y_t = f(x_{1,t}, \dots, x_{k,t}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

این مدل، یک مدل ریاضی است چرا که فقط رابطه ریاضی بین متغیر وابسته (Y) و متغیرهای مستقل (X ها) را منعکس کرده است. اگر تابع f نسبت به متغیرهای X تا Xk خطی باشد یعنی به صورت رابطه زیر باشد:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1,t} + \dots + \beta_k x_{k,t} \quad \text{رابطه (۲)}$$

این مدل، یک مدل ریاضی خطی نامیده می‌شود. اینکه چه متغیرهایی باید به عنوان متغیرهای توضیح دهنده استفاده شوند، می‌تواند به تئوری‌های بکارگرفته شده و یا برداشت شخصی مدل ساز بستگی داشته باشد (درخشان: ۵۴:۱۳۸۵). هر گاه به مدل‌های ریاضی یک جمله خطا که یقیناً تصادفی است، اضافه کنیم به یک مدل رگرسیون تبدیل خواهد شد رابطه (۳):

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1,t} + \dots + \beta_k x_{k,t} + \varepsilon_t \quad \text{رابطه (۳)}$$

به متغیر Y که در سمت چپ معادله قرار دارد، متغیر وابسته و به (X ها) متغیرهای توضیح دهنده یا رگرورها گفته می‌شود. رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) یک شکل از رگرسیون خطی برای پیش بینی عمومی یا برای مدل سازی متغیر وابسته در ارتباط با مجموعه ای از متغیرهای مستقل یا توضیحی می‌باشد. تحلیل رگرسیون احتمالاً عمومی ترین آماره

1. Shape file points  
2. sGrid cod.

مورد استفاده در علوم مختلف است. شناخت و ارزیابی ارتباط بین دو متغیر باعث فهم بهتر ارتباط بین متغیر وابسته و مستقل می شود، و نشان می دهد که در یک مکان چه چیزی در حال رخداد است؛ و پیش بینی می کند که چگونه این رخدادها در یک جا و در یک مکان مورد آزمون قرار می گیرند. رگرسیون مربعات عمومی شناخته شده ترین تکنیک رگرسیون ها می باشد. این مدل رگرسیون، همچنین شروعی برای نقاط مورد آزمون برای همه تحلیل های رگرسیون فضایی فراهم می کند. لذا یک مدل جهانی از متغیرها یا فرایندی که ما در صد پیش بینی و فهم ارتباط بین متغیرها هستیم ایجاد می کند. این مدل رگرسیون تنها یک معادله رگرسیون را برای نشان دادن این فرایند نشان می دهد. اما رگرسیون موزون جغرافیایی این کار را از طریق تهیه معادلات رگرسیون جداگانه برای هر عارضه با ملاحظه ی متغیرهای وابسته و مستقلی که در طول باند (محدوده) عارضه قرار می گیرند، انجام می دهد. شکل و اندازه این محدوده بستگی به ورودی هایی دارد که کاربر تعیین می نماید و معمولاً یکی از روش های کرنل<sup>۱</sup>، روش طول باند<sup>۲</sup>، فاصله و تعداد عوارض می باشد (عسگری، ۱۳۹۰: ۶۹). رگرسیون وزنی جغرافیایی تکنیکی است که برای تحلیل های توصیفی بر روی آمار فضایی مورد استفاده قرار می گیرد. در رگرسیونهای معمولی فرض ما بر آن است که رابطه ای که می خواهیم بین یک متغیر وابسته و مستقل مدل سازی کنیم در سراسر محدوده مورد مطالعه یکسان است. در بسیاری از موارد چنین فرضی صحیح نیست. برای اینگونه موارد راه حل های مختلفی ارائه می شود. رگرسیون وزنی جغرافیایی یکی از روشهای کارا و ساده برای انجام این تحلیل هاست. روش رگرسیون جغرافیایی موزن (GWR)، روش آماری-محلی است که اساس آن بر پایه قانون جغرافیایی اصل نزدیکی همانندی می باشد (عساکره و سیفی پور ۱۳۹۰: ۵). در رگرسیون معمولی که در آن فقط یک متغیر توضیحی وجود دارد، بصورت زیر نوشته می شود:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_1 + e \quad \text{رابطه (۴)}$$

در اینجا  $Y_t$  متغیر وابسته و  $X_1$  متغیر مستقل و  $\beta_0$  و  $\beta_1$  ضرایبی هستند که باید تخمین زده شوند و  $e$  جز خطا است، و فرض می شود که بصورت نرمال توزیع شده است. در این نوع رگرسیون همچنین فرض می شود که مقادیر ضرایب در طول محدوده مورد مطالعه یکسان می باشند. بنابراین اگر هرگونه نوسانات جغرافیایی در روابط وجود داشته باشد باید در جزء خطا منعکس گردد. انواع مختلف آماره ها نیز وجود دارند که به کمک آنها می توان برای بررسی خوبی مدل رگرسیون برآورد شده از آنها استفاده نمود. برخی از این آماره ها برای برآورد

1. Kernel
2. Bandwidth method

مناسب در مدل رگرسیون عمومی (OLS) می توان به آزمون های تشخیص بروچ- پاگان<sup>۱</sup>، جارکو - برا<sup>۲</sup> برای بررسی واریانس همسانی و نرمال بودن خطای باقی مانده ها و آزمون خودهمبستگی فضایی با محاسبه آماره موران I اشاره نمود. مهم ترین آزمونی که باید مورد توجه قرار گیرد آزمون خودهمبستگی فضایی است. اگر آماره I موران وجود خودهمبستگی فضایی را تایید کند، نتایج رگرسیون استاندارد تخمینی با (OLS) دیگر اعتماد کردنی نیست، بنابراین باید مشکل خودهمبستگی فضایی رفع گردد. مدل رگرسیون موزون جغرافیایی به صورت رابطه (۵) تعریف می شود (انسلین، ۱۹۹۹: ۲۳۴):

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه  $(u_i, v_i)$  مختصات i امین نقطه در فضا و  $\beta K(u_i, v_i)$  مقداری تحقق یافته از تابع پیوسته  $\beta K(u, v)$  نقطه i می باشد. قابل ذکر است که اگر پارامترها در تمامی نقاط ثابت در نظر گرفته شوند معادله رگرسیون موزون جغرافیایی همان فرم معادله رگرسیون معمولی خواهد بود. این روش وجود تغییر در پارامترها و در مکان های مختلف را می پذیرد و روشی را برای برآورد آنها ارائه می دهد. روش رگرسیون موزون جغرافیایی همان روش حداقل مربعات وزنی است با این تفاوت که به مشاهدات براساس مکانشان نسبت به نقطه مرجع i وزن داده می شود. وزن دهی مشاهدات در فرایند تخمین ثابت نیست و با توجه به مکان مشاهده از نقطه i تغییر می کند. مشاهده نزدیک به نقطه i، وزن بیشتری نسبت به مشاهدات دورتر از نقطه i دریافت می کند (بلیانی و حکیم دوست، ۱۳۹۳: ۱۲۴).

### بحث و نتایج

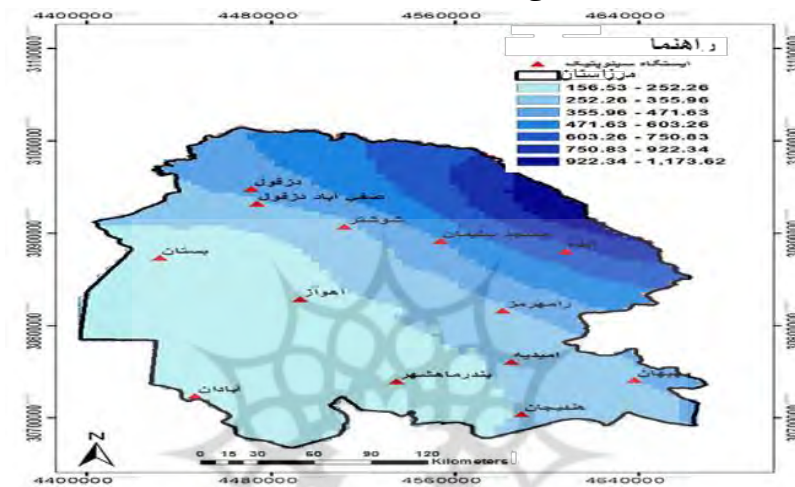
شکل (۲) توزیع فضایی مجموع بارش سالانه استان خوزستان را نشان می دهد. بطوری که ملاحظه می شود بارش سالانه در استان خوزستان بطور یکسان پراکنده نشده است، لذا می توان بخوبی دریافت که مناطق غرب، جنوبغرب استان مناطق کم بارش و مناطق شرق و شمالشرق استان به سمت شمال استان و مجاور با دامنه های روبه باد در کوه های زاگرس مناطق پربارش را تشکیل می دهند. یکی از موارد اساسی و لازم برای مدل سازی مکانی، برآوردی اولیه و آگاهی از وجود همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته است. جدول (۲) ماتریس ضرایب همبستگی بین پیکسل های مربوط به عوامل مکانی با پیکسل های متناظر با

5. Breush- Pagan test

6. Jarque- Bera



بارش سالانه در استان خوزستان را نشان می دهد. علی رغم کوچک بودن برخی از ضرایب همبستگی ارائه شده در جدول، که به دلیل فراوانی تعداد پیکسل های نقشه بوده، تمامی ضرایب ارائه شده در این جدول در سطح ۹۵ درصد اطمینان، معنی دار هستند. لذا می توان شناخت اولیه از وجود رابطه منطقی بین متغیر مستقل و وابسته بدست آورد.



شکل (۲). توزیع فضایی مجموع بارش سالانه استان خوزستان

همانطور که از جدول (۲) ملاحظه می شود بیشترین ارتباط و هماهنگی مکانی بارش سالانه با عوامل مکانی برای پیشگویی اولیه در مقادیر یاخته های بارش با آنها در متغیر طول و عرض جغرافیایی به میزان ۰/۴۱ و ۰/۶۸ و متغیر مکانی شیب به میزان ۰/۳۲ دارای بالاترین تاثیر مکانی شناخته می شوند.

جدول (۲). ماتریس ضرایب همبستگی بارش سالانه با متغیرهای مکانی

عوامل مکانی	بارش	طول جغرافیایی (متریک)	عرض جغرافیایی (متریک)	ارتفاع	شیب	جهت دامنه
بارش	۱	۰/۴۱	۰/۶۸	۰/۱۴	۰/۳۲	۰/۱۹
طول جغرافیایی (متریک)	-	۱	-۰/۱۶	-۰/۳۶	-۰/۲۶	۰/۴۵
عرض جغرافیایی (متریک)	-	-	۱	۰/۵۶	۰/۶۴	-۰/۱۲
ارتفاع	-	-	-	۱	۰/۶۵	-۰/۱۱
شیب	-	-	-	-	۱	-۰/۲۵
جهت دامنه	-	-	-	-	-	۱

## الف: رگرسیون کلی

مدل برازش یافته و ضریب تعیین  $R^2$  برای شناخت رفتار مکانی متغیر بارش سالانه با عوامل جغرافیایی توپوگرافیک (ارتفاع-شیب و جهت دامنه ها) و طول و عرض جغرافیایی به قرار زیر است:

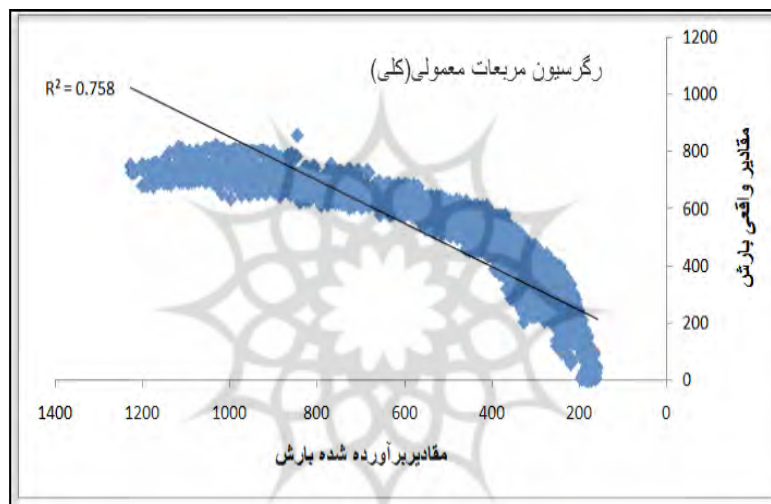
$$R = - 752 + 0.0019X + 0.0022 Y + 0.016 \text{ Elevation} - 12.1 \text{ Slope} + 1.30 \text{ Aspect}$$

(56.94)      (75.95)      (2.86)      (-3.92)      (5.31)

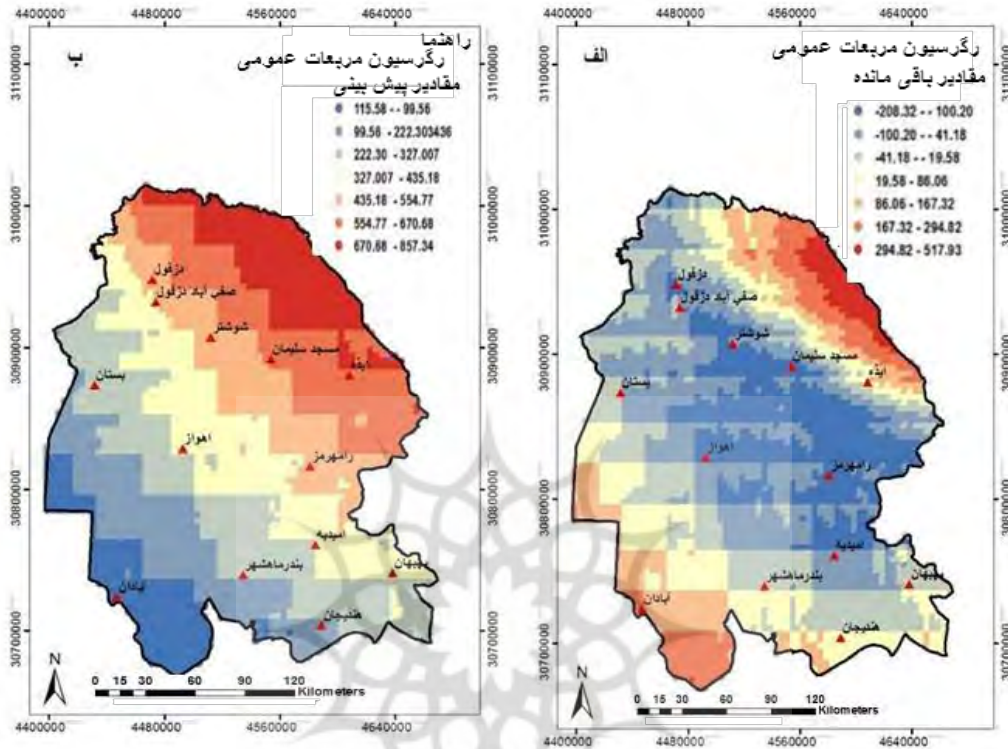
باتوجه به جدول (۲) مشاهده شد که تمامی متغیرها برای بیان یک رابطه اولیه در پیشگویی فضایی بارش سالانه استان خوزستان معنی دار بودند. لذا در رگرسیون عمومی برازش شده در رابطه بالا بر متغیرهای فضایی برازش داده شده، مشاهده می شود که تمامی متغیرها در هر سطح، معنی دار و مورد تایید می باشند. اعداد داخل پرانتز در زیر هر یک از فراسنج ها به ترتیب مقادیر آماره  $t$  در سطح معناداری ۹۵ درصد اطمینان با خطای  $\alpha = 5\%$  است. در این رابطه عوامل مکانی طول و عرض جغرافیایی به همراه ارتفاع و جهت دامنه رابطه مثبت را با بارش سالانه نشان می دهند، و تنها عامل شیب با داشتن بالاترین ضریب به میزان  $12\%$  - بعنوان بالاترین عامل مکانی تاثیر گذار شناخته می شود. بطوری که با ثابت انگاشتن سایر متغیرها این عامل تاثیری اساسی در کاهش بارش دارد. شکل (۳) پراکنش نگار مقادیر واقعی و برآورد شده بارش توسط مدل رگرسیونی (OLS) را نشان می دهد. بر اساس این شکل عدم هماهنگی بین اندازه های واقعی و مقادیر برآورد شده، قابل استنباط است. بطوری که مشاهده می شود، برآوردها در نواحی پربارش و کم بارش عموماً بیش از مقدار واقعی بوده است. در بین دو ناحیه نیز محدوده دیگری قرار می گیرد که اندازه های برآورد شده بارش برای آن معمولاً کم تر از مقادیر مشاهده شده است. این موضوع در شکل (۴ الف) نیز قابل مشاهده است. بر پایه این شکل می توان دریافت که انحرافات مقادیر واقعی و مشاهده شده در پهنه استان خوزستان، دارای انحرافات مثبت از مقدار بارش در پرباران ترین ناحیه استان یعنی شمال شرق و ناحیه کم بارش یعنی جنوب و به ویژه جنوب غرب متمرکز شده اند. همچنین بیش ترین خطای مثبت در پربارش ترین ناحیه رخ داده است. در دیگر نواحی استان مدل رگرسیونی (OLS)، عموماً اندازه بارش را کم تر از مقدار واقعی آن برآورد کرده است. این نواحی با اندازه های منفی بر روی شکل (۴ الف)، قابل مشاهده است. شکل (۴ ب)، برآورد و پیش بینی مقادیر بارش استان خوزستان توسط مدل یاد شده را نشان می دهد. می توان دید که در یک روند کلی بارش از جنوب غرب به سمت شمال شرق افزایش یافته است. به این ترتیب بیش ترین اندازه های برآورد

### تحلیل فضایی بارش سالانه استان خوزستان، رویکردی از تحلیل ... ۱۳۵

شده در شمال - شمال شرق و کمترین برآوردها در جنوب غرب منطقه تمرکز یافته‌اند. بنابراین این موضع با واقعیت توزیع مکانی بارش در پهنه استان خوزستان هماهنگ می‌باشد. بنابراین هرچند که مدل رگرسیونی (OLS) تنها ۷۵/۸ درصد از تغییرات مکانی بارش را توجیه می‌کند، اما اندازه خطا در برآوردهای آن در برخی نواحی استان بسیار زیاد است. بنابراین برآوردهای حاصل از مدل (OLS) برای داده‌های فضایی که خودهمبستگی فضایی را در مقادیر خطا نمایش می‌دهند، زیاد کارآمد نمی‌باشند.



شکل (۳). پراکنش نگار مقادیر واقعی و برآورده شده بارش سالانه در رگرسیون موزون جغرافیایی (OLS)



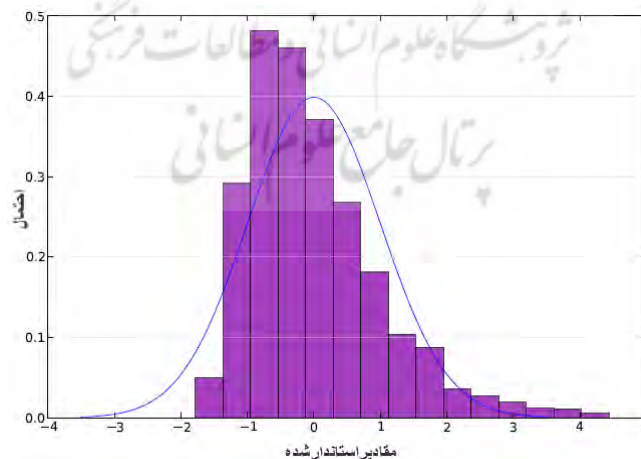
شکل (۴) الف) نقشه باقی مانده و ب) میزان برآورد شده بارش سالانه استان خوزستان مدل رگرسیون OLS

در همین راستا و براساس جدول (۳)، آزمون های بروج ° پاگان و جارکو ° برا فرضیات همسانی واریانس و نرمال بودن باقی مانده مدل OLS رد می شود. همچنین آماره I موران ۰/۹۷ + درصد بدست آمده و در سطح ۰/۱٪ معنی دار، و نشان دهنده وجود خودهمبستگی فضایی در باقی مانده مدل OLS است. این آماره از معتبرترین آماره ها جهت جایگزینی یک مدل رگرسیون فضایی مناسب با برآورد OLS می باشد. چنانچه آماره های بروج ° پاگان و جارکو- برا معنی دار شوند و آماره موران نیز وضعیت خود همبستگی فضایی بین باقی مانده ها را تایید نمایند، جایگزین نمودن یک روش مناسب رگرسیون فضایی (از جمله تاخیر، خطا و موزون جغرافیایی) لازم بنظر می آید (زیبایی، باقری ۱۳۹۰: ۱۳). لذا گاهی اوقات یکی از راههای تشخیص استفاده از رگرسیون موزون جغرافیایی، آگاهی از میزان خودهمبستگی فضایی باقی مانده خطای برآورد شده توسط خطای فضایی آماره موران می باشد.

جدول (۳) آزمون تشخیص صحت مدل رگرسیون مربعات معمولی (OLS) (همسانی واریانس، نرمال بودن باقی مانده ها و خودهمبستگی فضایی باقی مانده ها)

آزمون	نرمال بودن باقی مانده ها (OLS)	همسانی واریانس باقی مانده ها (OLS)	مقدار آماره	آماره - valuep سطح معناداری (٪۹۵)
چارکو- برا	ناهمبسته و نرمال		۱۴۵۴/۸۱۸	$P > 0.05$
خطای فضایی موران	خودهمبستگی فضایی باقی مانده ها		۰/۹۷	$P > 0.05$
بروج ° پاگان	همسانی واریانس باقی مانده ها		۲۱۴/۰۶	$P > 0.05$

همچنین با توجه به شکل ۵، بافتنگار حاصل از توزیع باقی مانده مدل (OLS)، می توان دریافت که باقی مانده های حاصل از مدل رگرسیون عمومی نشان دهنده یک توزیع تقریباً چوله به راست و غیر نرمال است. در نهایت برای تخمین مدل سازی مکانی بارش سالانه به روش رگرسیون موزون جغرافیایی، ابتدا مدل مورد نظر را از روش حداقل مربعات عمومی برآورد نمودیم. همانطور که مشاهده می شود با انجام آزمون های تشخیص و ترسیم بافتنگار باقی مانده مدل به همراه آماره خطای فضایی موران که معنی دار بود، مسیر یافتن مدل مناسب دنبال می شود. با توجه به بررسی مورد نظر اگر در رگرسیون عمومی خطای خود همبستگی فضایی و یا ناهمگنی فضایی دیده شود، لازم است تا از مدل های خطای فضایی دیگر از جمله رگرسیون موزون جغرافیایی استفاده گردد و با استفاده از این روش، مدل دوباره تخمین زده شود و در انتها معادله مناسب جهت توضیح متغیر وابسته انتخاب شود.



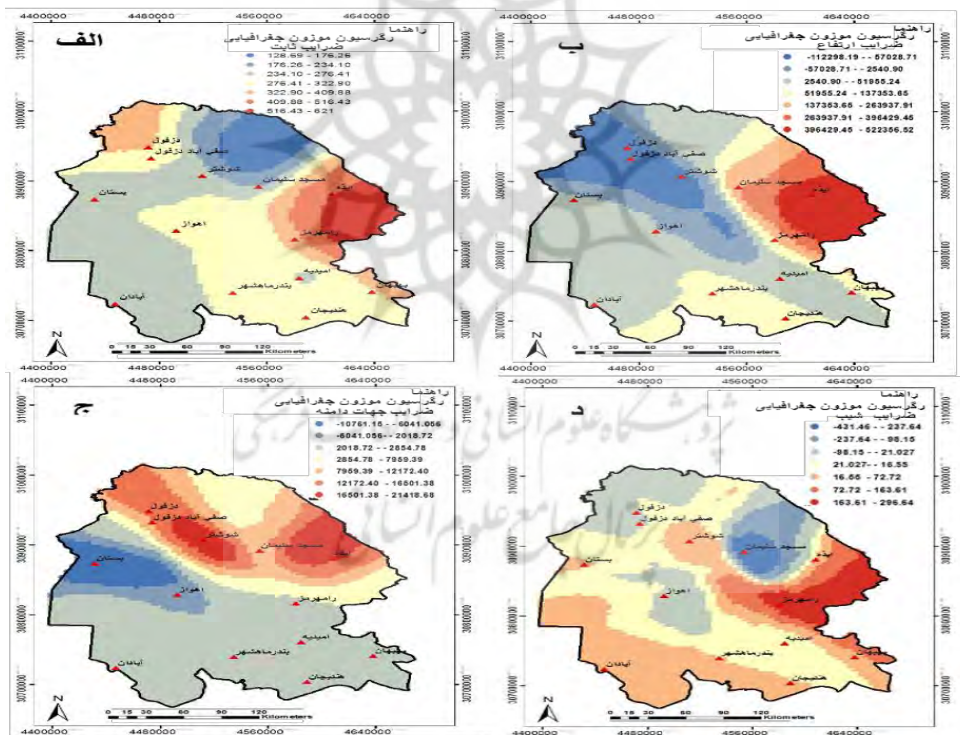
شکل (۵). بافتنگار مقادیر استاندارد شده باقی مانده های مدل رگرسیون مربعات معمولی (OLS)

### ب: رگرسیون موزون جغرافیایی

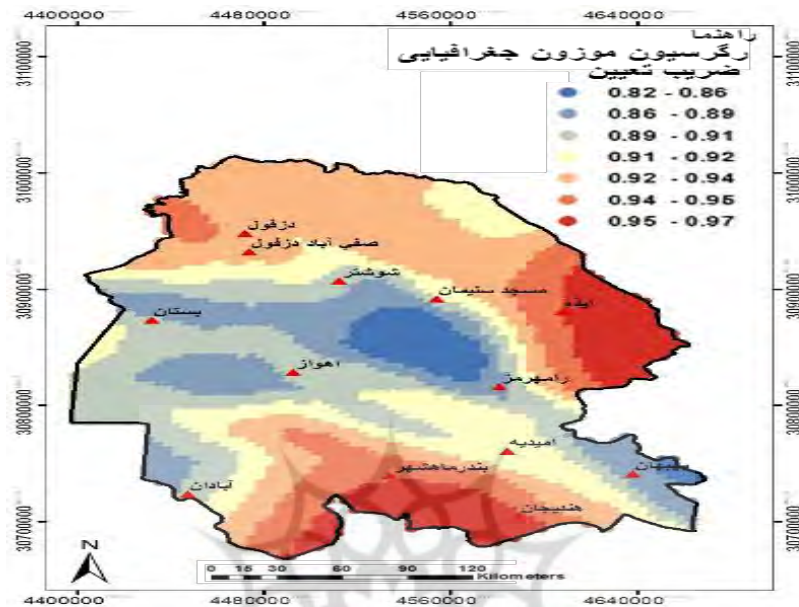
نتایج حاصل از مدل رگرسیون موزون جغرافیایی در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد. همانگونه که در شکل (۶ الف) مشاهده می‌کنیم مقادیر توزیع فضایی ضرایب ثابت در هر پیکسل ( $b_0$ )، در قسمتهای شرق و حتی شمال شرق استان دارای بالاترین ضرایب ثابت می‌باشند. همچنین میزان ضرایب ثابت کم نیز در قسمتهای دیگر استان بصورت غیر یکنواخت پراکنده می‌باشد. بطوریکه کمترین این ضرایب در میانه و پهنه‌های غرب و جنوبغرب قابل رویت است. براساس نقشه مربوط به توزیع ارتفاعی (شکل ۶ ب)، ارتفاعات نیز دارای ضرایب منفی و مثبت برای پیشگویی فضایی بارش خوزستان است. همانطور که مشاهده می‌شود میزان ضرایب منفی نیز در قسمت شمالشرق استان و حوالی دزفول و صفی آباد رویت می‌شود و میزان ضرایب مثبت ارتفاع و تاثیر این عامل مکانی در بارش بصورت مستقیم با مقادیر بالا در بهبان و مجاور با ارتفاعات زاگرس قابل مشاهده است. پس با این اوصاف نقش کوه‌های زاگرس در میزان بارش دریافتی می‌تواند بخوبی درک شود. لذا بالاترین جای گیری ضرایب ارتفاعی حاصل از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی منطبق بر مناطق شرقی کوه‌های زاگرس است. این امر گویا، می‌تواند حاصل تأثیر توأمان ارتفاع و جهت گیری بادهای باران آور به این ناحیه می‌باشد. ضرایب حاصل از مدل GWR برای جهات دامنه (شکل ۶ ج) نشان دهنده تاثیر بیشتر دامنه‌های مرکزی زاگرس در استان است که در دامنه‌های شرقی، غرب، جنوب و جنوبغرب کوه‌های زاگرس به مرکزیت شهرهای ایذه، بهبهان، مسجد سلیمان و دزفول در جهات (۶۷،۵-۱۱۲،۵، ۱۵۷،۵-۲۰۲،۵، ۲۴۷،۵-۲۹۲،۵) می‌باشند، واقع شده‌اند. لذا این دامنه‌ها و جهت گیری آنها در این مناطق باعث تاثیر بیشتر دامنه‌ها در برآورد و تاثیر آن بصورت مثبت برای بارش دریافتی می‌باشد. (شکل ۶ د) توزیع فضایی ضرایب شیب را نشان می‌دهد. ضرایب شیب نیز به مقدار منفی و مثبت در جای جای استان پراکنده می‌باشد. در این نقشه شهرستان مسجدسلیمان و محدوده‌های مجاور با این شهرستان یک رابطه معکوسی را از نظر شیب بروی بارش از خود نشان می‌دهد. بعبارتی دیگر در جاهایی که ارتفاع و جهات دامنه رابطه مثبت را از خود نشان می‌دادند، این عامل مکانی در این بخش رابطه منفی دارد. سایر مناطق استان خوزستان برای تاثیر پذیری از عوامل مکانی در پیشگویی فضایی بارش سالانه مقادیر منفی و یا مثبت کمتری را نسبت به مناطق شرق استان که همجوار با کوه‌های زاگرس است، به خود اختصاص داده‌اند. همانگونه که از شکل و پراکنش ایستگاه‌های تحت مطالعه مشاهده شد می‌توان به ارتفاع پایین و ناهمواری از سطح دریا در قسمتهای غرب استان و مناطق جنوبی از جمله شهرستانهای آبادان، هندیجان، بستان و اهواز در انعکاس تاثیر پذیری



کمتر از عوامل توپوگرافیک در میزان بارش دریافتی پی برد. لذا با تمامی اوصاف ملاحظه می شود که عوامل مکانی در دامنه های روبه باد در کوه های زاگرس تاثیر مثبتی بر بارش سالانه دارند. از جمله دستاوردهای جالب روش های (آمار فضایی) در مدل GWR نسبت به رگرسیون کلی این است که می توان برای هر نقطه یک ضریب تعیین و نقشه های تخمین حاصل از مدل تهیه نمود. شکل (۷) نقشه توزیع فضایی ضرایب تعیین  $R^2$  مدل GWR است. چنانچه مشاهده می شود مقادیر بالای  $R^2$  در قسمتهای جنوب و شرق استان با ضرایب بالای مدل حادث شده است و نشان از یک تخمین خوب مدل در برآورد متغیر وابسته و متغیر توضیحی پیش بینی کننده است. همچنین مقادیر نسبتا پایین تر نیز در قسمتهای میانه استان جای گرفته اند. بطور کلی آنچه قصد برآورد متغیرهای مستقل برای پیش بینی متغیر بارش سالانه رخ داده با تخمین مدل و ضرایب  $R^2$  مناسب بوده و در تمامی پهنه مورد بررسی بخوبی برآورد شده است.



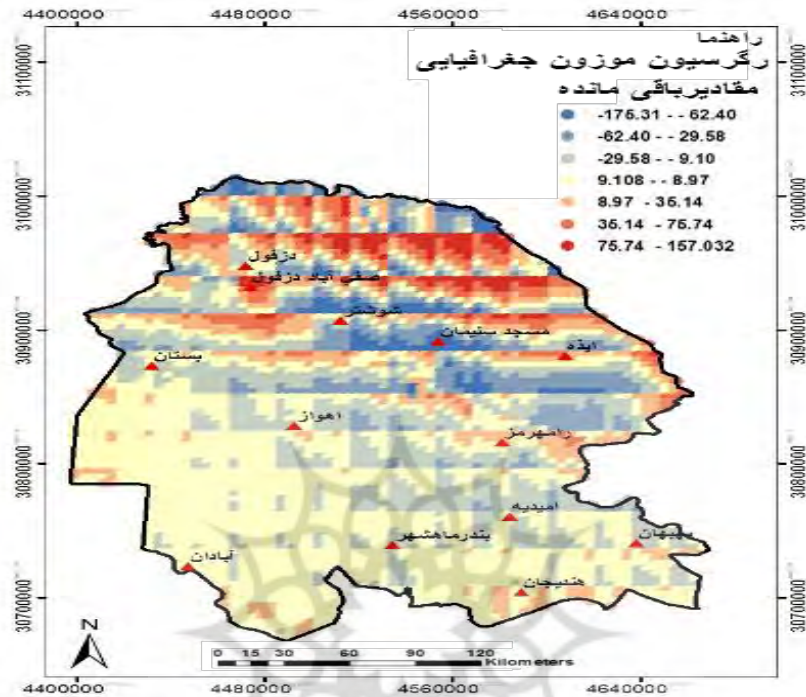
شکل (۶). نقشه های ضرایب مدل رگرسیون موزون جغرافیایی (GWR) به ترتیب الف: توزیع فضایی ضرایب ثابت ب: توزیع فضایی ضرایب ارتفاع ج: توزیع فضایی ضرایب جهت دامنه د: توزیع فضایی ضرایب شیب



شکل (۷). توزیع فضایی ضرایب تعیین

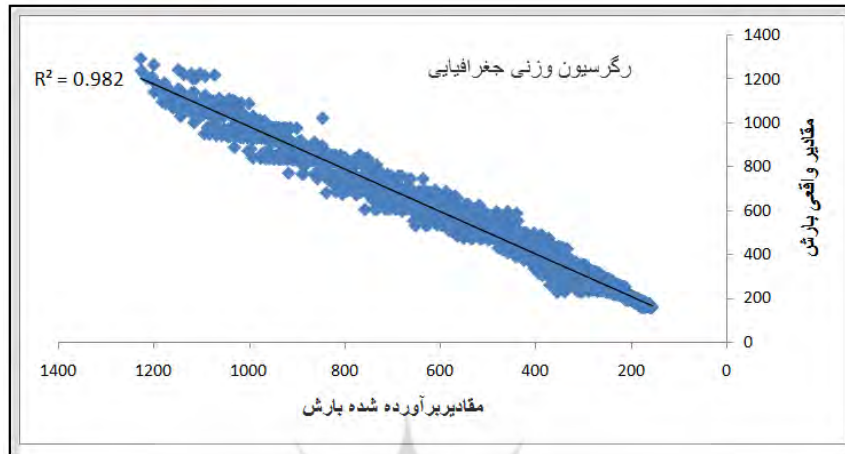
بنابراین باتوجه به شکل (۸) نقشه مقادیر باقی مانده ها در مدل رگرسیون موزون ، می توان دریافت که میزان بارش سالانه در بسیاری از مناطق نزدیک به واقعیت پیش بینی شده است. چنانچه مقادیر باقیمانده ها در بسیاری از مناطق کمتر از حد واقعی یا بیشتر از حد واقعی پیش بینی شده باشد وجود رخداد خودهمبستگی فضایی در آنها دور از تصور نخواهد بود. توزیع فضایی مانده خطاهای مدل GWR در شکل (۸) دو نکته را نشان می دهد. اول اینکه در مقایسه با شکل (۴ الف) می توان کاهش دامنه های خطا را دید. دامنه خطاها در شکل (۴ الف) در مدل رگرسیون OLS، از  $208/32-$  تا  $517/93$ ، و در شکل (۸) از مدل GWR از  $175/31-$  تا  $157$  در نوسان است. بعبارت دیگر برآوردهای حاصل از مدل GWR به مقادیر واقعی نزدیک تر هستند. دوم اینکه نقشه حاصل نشان دهنده مناطق وسیع نزدیک به مقادیر پایین خطا می باشد، که از این نظر در مدل مذکور حاکی از توزیع نرمال در باقی مانده های خطای مدل GWR است. اما نکته جالب توجه مکان گزینی باقی مانده های بزرگ و کوچک در مناطق پربارش استان است که در این مناطق مانده های بیشتر و کمتر از حد واقعی در آنجا قرار گرفته اند.





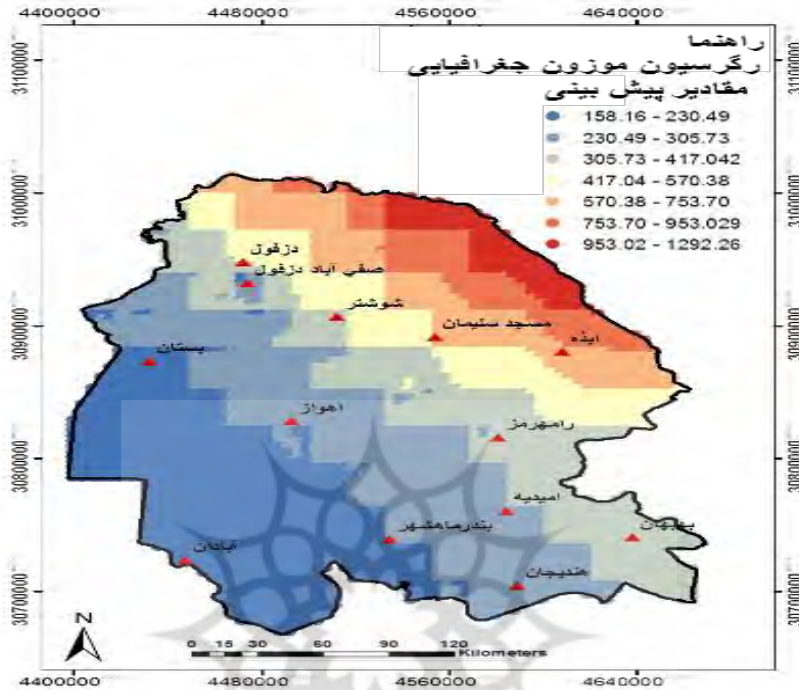
شکل (۸). توزیع فضایی مقادیر باقی مانده ها

شکل (۹) نمودار برازش بین مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده در مدل GWR،  $R^2 = 98$  درصد برآورد را نشان می دهد، یعنی اینکه مدل مزبور توانسته ۹۸ درصد رابطه موجود را ارزیابی کند و نسبت بالای این ضریب از کفایت و مناسب بودن مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی در پیش بینی بارش سالانه خبر می دهد. این میزان رابطه و نزدیک بودن میزان مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش بینی نشان از عدم وجود خودهمبستگی فضایی در مقادیر باقی مانده مدل رگرسیون موزون دارد. در حالی که در مدل رگرسیون عمومی  $R^2 = 75$  درصد بدست آمد که تنها توان تبیین ۷۵ درصد از تغییرات بارش استان خوزستان در ارتباط با عوامل مکانی ارائه می نماید. همچنین ترسیم پراکنش نگار و مقادیر برآورد شده شکل (۹) بیانگر برازش نیکوتر مدل GWR نسبت به رگرسیون OSL است.



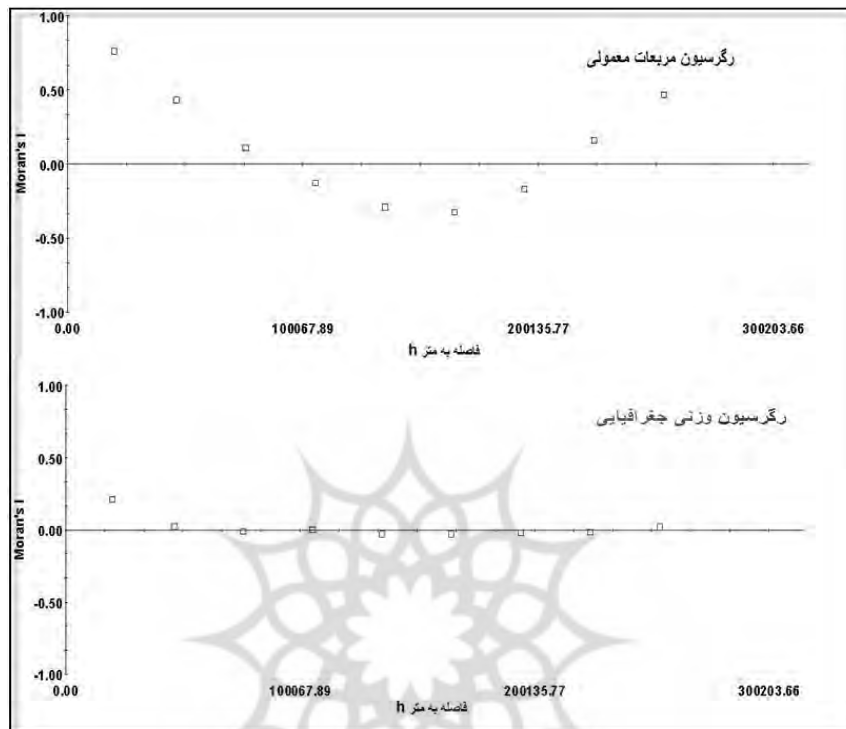
شکل (۹). پراکنش نگار مقادیر واقعی و برآورده شده بارش سالانه در رگرسیون موزون جغرافیایی (GWR)

همانگونه که بیان شد از دیگر نقشه هایی که می توان از مدل GWR تهیه نمود، نقشه پیش بینی حاصل از مقدار بارش سالانه بر اساس متغیرهای توضیحی دخالت داده شده برای پیشگویی فضایی می باشد. در شکل (۱۰) نقشه پیش بینی بارش سالانه نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود مناطق شرق و شمالشرق استان خوزستان براساس پیشگویی فضایی حاصل از مدل GWR دارای مقادیر بالای بارش سالانه می باشند. مناطق جنوب، جنوبغرب، غرب و میانه استان خوزستان نیز حاکی از میزان پیش بینی فضایی بارش سالانه پایین هستند. این مهم نیز در توزیع فضایی مجموع بارش سالانه استان خوزستان کاملاً نمایان بود. عبارتی عوامل مکانی و توپوگرافی مقادیر این برآوردها را توانسته اند در مدل رگرسیون موزون جغرافیایی برای پیش بینی بارش انجام دهند. به واقع نقش این عوامل در مناطق پربارش استان نمایان تر و موثرتر می باشد. در نهایت با ترسیم نمودار پراکنش نگار (شکل ۹) و نقشه های باقی مانده دو مدل رگرسیون کلی و GWR پراکندگی و تمرکز و یا عدم تمرکز مکانی باقی مانده ها در مدل ها را نمایش می دهند. چنانچه باقی مانده ها دارای همبستگی مکانی نباشند می توان از روش های ارزیابی استقلال مکانی استفاده نمود. به عبارتی دیگر باقی مانده های حاصل از مدل نباید در بعد مکان حاوی خودهمبستگی باشند. در این وضعیت روشی که مانده های خطای آن نرمال و حداقل باشد روشی مناسب برای برآورد متغیر وابسته است.



شکل (۱۰). توزیع فضایی مقادیر پیش بینی

یکی از آزمون‌هایی که می‌توان برای بررسی خطای مانده‌ها از آنها برای آگاهی از وجود خود همبستگی فضایی باقی مانده مدل استفاده نمود، آماره I موران و ترسیم کرولوگرام همسانگرد باقی مانده خطا است. شایان توضیح است که میزان خطای فضایی در روش رگرسیون کلی درجه خودهمبستگی فضایی باقی مانده خطا را نشان داد. لذا اشکال زیر جهت تصویر واقعی تر در باقی مانده خطا در هر دو مدل فضایی ترسیم شده است. همانطور که از شکل (۱۱) ملاحظه می‌شود، باقی مانده‌ها در مدل رگرسیون کلی دارای خودهمبستگی مکانی بوده و با افزایش فاصله نیز نوسان منظمی را نشان می‌دهد. اما در مدل GWR باقی مانده‌ها خودهمبستگی مکانی نداشته و مقدار آن نزدیک به صفر و رفتار خاصی را از خود نشان نمی‌دهند.



شکل (۱۱). خودهمبستگی نگار باقی مانده های مدل رگرسیون کلی (OLS) و موزون جغرافیایی (GWR)

### نتیجه گیری

استفاده از تکنیک های آمار فضایی ابزاری سودمند برای رد یابی تغییرات زمانی و مکانی عناصر اقلیمی می باشد. در این راستا کاربرد تکنیک های آمار فضایی نیز در سال های اخیر رویکردی نوین و بسیار کارآمد برای مدل سازی تغییرات زمانی و مکانی عناصر اقلیمی می باشد. در این پژوهش نیز با استفاده از رویکرد رگرسیون فضایی OLS و GWR جهت مدل سازی مکانی بارش سالانه استفاده شد. لذا برای توجیه تغییرات مکانی بارش سالانه استان خوزستان با در نظر گرفتن عوامل مکانی و با بهره گیری از تعداد ۱۳ ایستگاه سینوپتیک از یک مدل بهینه به نام رگرسیون جغرافیایی موزون (GWR) استفاده شد. نتایج حاصل از کاربرد رگرسیون فضایی نشان داد که نتایج تخمین حاصل از مدل رگرسیون موزون جغرافیایی مناسب تر از مدل رگرسیون مربعات معمولی است. بر همین اساس مشخص شد که عوامل مکانی ارتفاع در قسمتهای شرق، شمال و جنوب شرق استان خوزستان نقش چشم گیری در میزان بارش

دریافتی نسبت به نواحی جغرافیایی دیگر در استان خوزستان دارد. این تاثیر قوی و مستقیم عامل ارتفاع نتیجه توأمان جای گیری شهرستان های واقع در دامنه روبه باد و جهت گیری دامنه های رو به سیستم های باران آور نسبت به سایر مناطق استان می باشد. لذا باتوجه با اینکه استان خوزستان یک منطقه حاصلخیز و دارای دشت و جلگه های مناسب جهت فعالیتهای اقتصادی و کشاورزی است، میزان بارش دریافتی در مناطق همجوار با ارتفاعات زاگرس بیشتر می باشد. ضرایب حاصل از مدل GWR برای جهات دامنه نشان دهنده تاثیر بیشتر دامنه های مرکزی زاگرس در جهات شرق، غرب، جنوب و جنوبغرب کوه های زاگرس به مرکزیت شهرهای ایذه، بهبهان، مسجدسلیمان و دزفول در آزمون (۵،۶۷-۵،۱۵۷،۵-۱۱۲،۵-۵،۲۴۷،۵-۲۰۲،۵) بر روی بارش سالانه می باشند. لذا جهت این دامنه ها اثر مثبتی بر دریافت بارش بیشتر در این مناطق دارد. بررسی توزیع فضایی ضرایب شیب نیز نشان داد مقادیر منفی و مثبت در تمامی پهنه استان پراکنده می باشد. در این مورد شهرستان مسجد سلیمان و محدوده های مجاور با این شهرستان یک رابطه معکوسی را از نظر شیب بر روی بارش از خود نشان می دهد. عبارتی دیگر در جاهایی که ارتفاع و جهت دامنه رابطه مثبت را از خود نشان می دادند این عامل مکانی در این بخش رابطه منفی دارد. سایر مناطق استان خوزستان برای تاثیر پذیری از عوامل مکانی در پیشگویی فضایی بارش سالانه مقادیر منفی و یا مثبت کمتری را نسبت به مناطق شرق استان که همجوار با کوه های زاگرس است، به خود اختصاص داده اند. لذا با تمامی اوصاف ملاحظه شد که عوامل مکانی در دامنه های روبه باد در کوه های زاگرس در قسمتهای شرق، شمال، شمالشرق و جنوبشرق تاثیر اساسی بر مقدار بارش سالانه دارند.

منابع و مأخذ

۱. بلیانی، یدالله، حکیم دوست، یاسر (۱۳۹۳). اصول و مبانی پردازش داده های مکانی فضایی با استفاده از روش های تحلیل فضایی، انتشارات آزاد پیم، چاپ اول، ۴۳۶ صفحه.
۲. درخشان، مسعود (۱۳۸۵) اقتصاد سنجی، جلد اول، انتشارات سمت.
۳. زیبایی، منصور، باقری و مهرداد (۱۳۹۱). تعیین عوامل موثر بر فقر در استان فارس: کاربرد روش اقتصاد سنجی فضایی، مجله اقتصاد کشاورزی، جلد ۶، شماره ۱، صص ۲۳-۱.
۴. عساکره، حسین، سیفی پور، زهره (۱۳۹۱). مدل سازی مکانی بارش سالانه ی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۹، صص ۳۰ ° ۱۵.
۵. عساکره، حسین، مازینی، فرشته (۱۳۸۹). احتمال بررسی وقوع روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از زنجیره مارکوف، جغرافیا و توسعه، سال هشتم، شماره ۱۷، ۱۳۸۹، ۴۴-۲۹.
۶. عسگری، علی، (۱۳۹۰). تحلیل های آمار فضایی با ARC/GIS، انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، چاپ اول.
۷. علیجانی، بهلول (۱۳۸۱). نقش آمار در توسعه علم جغرافیا، ششمین کنفرانس بین المللی آمار ایران، ۴ تا ۶ شهریور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۸. علیجانی، بهلول (۱۳۷۴). نقش کوه های البرز بر توزیع ارتفاعی بارش، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۳، ۵۴-۳۷.
۹. محمودی، پیمان، علیجانی، بهلول (۱۳۹۲). مدل بندی رابطه بارش های سالانه و فصلی با عوامل زمین اقلیم در کردستان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۳۱، ۱۳۹۲، ۱۱۲-۹۳.

Alijani, B., Bayat.,A.,Y .,Balyani., Doostkamian .,M and Javanmard,A. (2013). *Spatial Analysis of Annual Precipitation of Iran*; Second International Conference On Environmental Hazard.,Kharazmi University ° Tehran,Oct29&30.

Anselin, L. (1999). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic.

Basist, A., Bell, G. D. and Meentemeyer, V. (1994). *Statistical relationship between topography and precipitation pattern*. J.Climate. (7): 1305-1315.

Bird, R.M. (2001). *Substantial Revenues: Realities and Prospects*, Working paper, Washington, D.C.; World Bank Institute.

Brunsdon C, McClatchey. J and Unwin. D. J, (2001). *Spatial Variation in the Average Rainfall–Altitude Relationship in Great Britain:An Approach Using Geographically Weighted Regression*. Int. J. Climatol. 21.455-466.

Fotheringham, A.S., Brunsdon, C, and Martin Charlton, (2002). *geographically weighted regression*, Chichester, Wiley and Sons Ltd.

Hansen, James and Lebedeff, serget (1987). *Global Trend of Measured Surface irTemperature*. *Journal of Geophysical Research*.92: 13345-13372.

Johansson, B. and Chen, D. (2003). *The influence of wind and topography on precipitation in Sweden: statistical analysis and modeling*. Int. J. Climatology, (23): 1523-1535.

Jones, P. D. ,Raper, S. C. B. , Bradley. R. S ,Diaz. .F.,Kelly,P.M. and Wigley,T.M.L (1986). *a:NorthernHemishere Surface emperature Variation: 1851-1984*. *J.clim.Appl . Meteorol*. 25: 161-175.

Konrad II, C. E. (1996). *Relationships between precipitation event types and topography in the southern Blue Ridge Mountains of the southeastern USA*. Int. J. Climatology. 16: 49-62.

Prudhomme, G. and Reed, D. W. (1998). *Relationships between extreme daily precipitation and topography in the mountainous region: A case study in Scotland*. Int. J. Climatology. 18(1): 1439-1453.

Singh Pratap, Kumar Naresh (1997). *Effect of orography on precipitation in the western Himalayan region*", *Journal of Hydrology*,199: 183-206.

Storr, D. and Ferguson, H. L. (1972). *the distribution of precipitation in some mountainous Canadian watershed. Proceedings on symposium of distribution of precipitation in mountainous areas*, 31July ° 2 August, Gelio, Norway: 243-263.

