نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره هفتم، شماره ۲، آذر ماه ۱۳۹۶

توسعه راهکاری مکانمند به‌منظور تحلیل بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر مبنای آمار فضایی

فاطمه مشتاقی نژاد[۱]، حسین آقا محمدی[*۲]،سعید بهزادی[۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران
moshtagh_1980@yahoo.com

[۲] استادیار گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران
{[*]hossein.aghamohammadi, behzadi.iau}@gmail.com

(تاریخ دریافت مرداد ۱۳۹۵، تاریخ تصویب تیر ۱۳۹۶)

چکیده

بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که بحران آب و بارش در آنجا جدی است. به‌خاطر مقابله با این بحران‌ها، محققان در علم اقلیم‌شناسی به اطلاعات بارندگی، تحلیل الگوها و مدل‌سازی روابط فضایی، داده‌کاوی مکانی و همچنین برآورد و تخمین بارش به جهت مدیریت و مقابله با این شرایط به شدت نیازمندند. از طرفی دیگر، تنوع مکانی الگوهای بارش، حاصل عوامل متنوعی همچون موقعیت جغرافیایی، ارتفاع، ویژگی‌های توپوگرافی منطقه مانند شیب و... است که بررسی این پدیده را دشوارتر نموده و موجب شده که در مطالعات گذشته به‌طور جامع به آن پرداخته‌نشود یا تنها تاثیر برخی عوامل همانند ارتفاع بررسی‌گردد. از این‌رو در این مقاله قصد داریم تا با کمک ابزارها و تکنیک‌های مختلف علم زمین‌آمار و با درنظرگرفتن عوامل محیطی و مکانی مختلف موثر بر بارش، راهکار مکانمند جامعی برای توصیف این عارضه جغرافیایی توسعه دهیم. از این‌رو، حوضه آبریز دریاچه ارومیه به دلیل شرایط بحرانی که در سالیان اخیر با آن مواجه بوده‌است، به عنوان منطقه مطالعه موردی انتخاب گردید. ابتدا بارش ابتدا با کمک انواع روش‌های سنتی و زمین‌آمار، میان‌یابی شده و کریجینگ معمولی با کمک اعتبارسنجی تقاطعی و RMS برابر با ۴,۱۵ به عنوان بهترین روش انتخاب شد. سپس با کمک روش‌های مختلف آمار فضایی، ازجمله تحلیل‌خوشه‌ای، نواحی جنوب و جنوب‌غربی این دریاچه به عنوان قسمت‌های داغ و پربارش شناسایی شدند. در پایان نیز، از جهت مدل‌سازی روابط مکانی، رگرسیون عمومی بر بارش برازش داده‌شد و متغیر عرض جغرافیایی به عنوان تاثیرگزارترین متغیر وابسته بر بارش شناسایی گردید.

واژگان کلیدی: برآورد بارش، میان‌یابی، زمین‌آمار ، مدل‌سازی روابط مکانی، تحلیل خوشه‌ای

---

[*] نویسنده رابط

۱- مقدمه

بارش نقش مهمی در چرخه آب و انرژی جهانی دارد. بیش از ۴۰ درصد از جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که بحران آب در آنجا جدی است.[۱]. کشور ما ایران نیز در کمربند خشک جهانی واقع شده و بارشی تنها معادل یک‌سوم متوسط جهانی دارد[۲]. به گزارش فائو، درسال ۲۰۱۳ میلادی به‌طور میانگین ۸۹۰ میلی‌متر باران در جهان باریده‌است؛ درحالی‌که این میزان بارش باران در ایران به طور میانگین ۲۶۰ میلیمتر بوده و حکایت از یک بحران جدی در کشورمان دارد[۳]. به‌خاطر بحران‌های ناشی از کم‌آبی، محققان همواره به اطلاعات بارندگی برای پهنه‌بندی بارش، تحلیل الگوهای بارش و همچنین برآورد و تخمین آن به جهت مدیریت و مقابله با شرایط مختلف به شدت نیازمندند[۴].

به‌همین‌جهت، باتوجه به اهمیت این موضوع و اطلاع از میزان بارندگی به جهت انجام تحلیل‌ها، در کنار ایستگاه-های سینوپتیک و کلیماتولوژی در اکثر مناطق، شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی به‌طورفشرده‌تری این پارامتر را اندازه‌گیری می‌نمایند، ولی محققان، غالبا به‌دلیل تنوع مکانی و زمانی بارش، بویژه تغییرپذیری آن در اقلیم‌های مختلف، به مشکلاتی بویژه چگونگی میان‌یابی و پهنه‌ای کردن داده‌های نقطه‌ای بارش مواجهند[۵]. همچنین برآورد دقیق‌تر بارش به عنوان ورودی بسیاری از مدل‌های تحلیلی برای اهداف متعدد در اقلیم‌شناسی ضروری است. لیکن، با توجه به تغییرات قابل‌ملاحظه بارندگی در زمان و مکان از یک سو و کم‌بودن ایستگاه‌های باران‌سنجی برای ثبت میزان بارندگی روزانه از سوی دیگر، ضرورت تبیین مدل‌های دقیق‌تر تخمین بارندگی و همچنین تحلیل الگوهای بارش در زمان و مکان اجتناب‌ناپذیر است[۶].

از همین‌رو، محققان این حوزه برای برآورد و تخمین و تحلیل متغیرهایی از این دست، روش‌های مختلفی ابداع نموده‌اند که برخی از آنها مبتنی بر روش‌های زمین‌آمار و ژئومتری است. طی چند دهه اخیر مبانی علم زمین‌آمار به خوبی گسترش یافته و توانایی‌های این شاخه از آمار در بررسی و پیش‌بینی متغیرهای مکانی، آمار مکانی بارش نام نهاده شده‌است[۷].

برای فهم آمار مکانی بارش، می‌بایست تعامل عمیق، پیچیده و مداوم بارش را با سایر عناصر و عوامل اقلیمی در نظر گرفت که سبب تغییر و تنوع این عنصر در بعد زمان و مکان شده‌است. این تغییر و تنوع در رفتار آشکار و نهان بارش، توجه اقلیم‌شناسان و نیز اندیشمندان علوم مرتبط با اقلیم‌شناسی را به خود معطوف داشته‌است[۸]. یکی از رویکردهای مطالعاتی در مطالعه تنوع مکانی بارش، توصیف تنوع مکانی با استفاده از آماره‌های مکانی این عنصر اقلیمی است. کشف نظام حاکم بر تغییرات مکانی رویدادهایی نظیر بارش و هر عنصر اقلیمی دیگر، به‌منظور درک فرآیندهای مرتبط با آن و برآورد الگوها و مدل سازی رفتاری آن از شالوده‌های کاربرد آمار مکانی در اقلیم‌شناسی است[۹]. باید توجه داشت که تمامی رویدادهای مکانی، مؤلفه زمان را نیز درخود دارند[۳].

آمار مکانی برخلاف آمار کلاسیک، مشخصات آماری یعنی توزیع و پراکنش یک پدیده را نیز بر روی نقشه نشان می‌دهد. از این‌رو امکان توجه و تأکید بر تفاوت و شباهت‌های مکانی و نیز تشخیص نقاط خاص و منحصر به فرد یا مناطق همگن مهیا خواهدشد. در این راستا تعیین اندازه یا وسعت پدیده‌های مکانی امکان‌پذیر خواهدبود[۸].

با توجه به اهمیت و کاربرد تحلیل‌های مکانی، تاکنون محققین بسیاری در سطح جهان و ایران، به مطالعه و تحلیل مکانی عنصر اقلیمی بارش مبادرت ورزیده‌اند. از جمله، برآورد الگوهای رفتار بارش و مدل‌سازی آن از بنیادهای اصلی در تحقیقات مکانی اقلیمی است. دراین راستا، یک تلاش عمده مورد توجه اقلیم شناسان بوده و آن پهنه‌بندی، تخمین و همچنین تحلیل الگوهای بارش در مطالعات است تا با شناخت بیشتر پدیده موردنظر در مناطق مختلف، بتوان بهتر شرایط موجود را مدیریت‌نمود.

۲-۱- مبانی نظری

۱-۲-۱- میان‌یابی

از جمله روش‌هایی که در سالیان اخیر، به‌خصوص با توجه به توسعه سیستم اطلاعات جغرافیایی، در برآورد مکانی عناصر آب‌وهوایی به‌کار گرفته‌شده‌است، روش‌های میان‌یابی است[۳].

میان‌یابی به فرایند برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط بدون داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم (که به نام پیمونگاه، نمونه و یا مشاهده موسوم‌اند) گویند. این فرایند به دلیل محدودیت داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه

از کل یک پهنه، به‌منظور تهیه نقشه‌های هم‌ارزش (همباران، همدما و...) انجام می‌گیرد. این کار معمولا برای یک شبکه، گره، یا تمامی سلول‌های یک پهنه صورت می‌پذیرد. بنابراین، میان‌یابی به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است. در تعیین ارزش یک نقطه تمامی نقاط مجاور و معلوم به گونه‌ای یکسان و همسان موثر نیستند. لذا، هر یک از نقاط یادشده به تناسب تاثیرشان بر ارزش نقطه مجهول، حامل وزنی خواهندبود. روش‌های تعیین وزن‌های مرتبط با هر یک از نقاط، سبب تکوین روش‌های گوناگونی در درون‌یابی شده‌است[۱۰].

روش‌های‌درون‌یابی از هر نوع، می‌توانند به صورت معادله‌ای خطی یا غیرخطی باشند. معادله کلی میان‌یابی به‌صورت معادله (۱) است و تفاوت روش‌های مختلف نیز در نحوه برآورد فاکتور وزنی معادله می‌باشد[۱۰]:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z(s_i) \qquad (۱)$$

که در آن $\hat{Z}(s_0)$ مقدار برآوردشده در موقعیت s_0، $Z(s_i)$ مقدار اندازه‌گیری‌شده در موقعیت s_i i معرف نقاط اندازه‌گیری‌شده و N تعداد گل ایستگاه‌هاست.

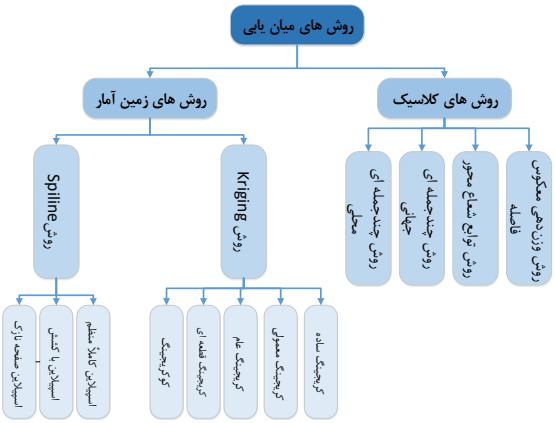
درون‌یابی را به چندین شیوه می‌توان طبقه‌بندی نمود. در ابتدا می‌توان این روش‌ها را به دو گروه جهانی[۱] (یا همگانی) و محلی[۲] (یا موضعی) طبقه‌بندی کرد. درون‌یابی جهانی، تمامی نقاط معلوم را برای برآورد ارزش نقاط نامعلوم بکار می‌گیرد. درحالی‌که روش محلی برای برآورد هر نقطه نامعلوم، تنها نمونه‌هایی از نقاط معلوم را بکار می‌برد[۱۱]. در طبقه‌بندی دیگر، دقت روش، ملاک طبقه‌بندی است. در روش‌های دقیق[۳] مقادیر برآوردشده به مشاهدات نزدیکتر است، درحالی‌که در روش‌های غیر‌دقیق[۴]، تقریبی از ارزش‌ها بوده و سطحی را برآورد می‌کند که از پیمونگاه می‌گذرد[۱۲].

سومین ملاک طبقه‌بندی روش‌های درون‌یابی، مبتنی بر قطعی[۵] یا احتمالی[۶] بودن تخمین است. در روش‌های قطعی، مقادیر تخمینی فاقد خطاست، ولی در روش‌های احتمالی، برآورد حاوی خطاست[۱۱].

محققان در یک دسته‌بندی کلی‌تر دیگر، روش‌های میان‌یابی را به دو دسته روش‌های کلاسیک و روش‌های زمین‌آمارتقسیم می‌نمایند[۱۲]. در روش‌های آمار کلاسیک نمونه‌هایی که از کل جامعه به‌منظور شناخت برداشت می‌شوند، فاقد داده‌های موقعیت مکانی هستند. درحالی‌که در روش‌های زمین‌آمار که یک درون‌یابی غیردقیق یا احتمالاتی است، افزون بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، در روش‌های کلاسیک که از آمار سنتی برای تخمین استفاده می‌نمایند، به‌دلیل عدم کفایت اطلاعات و آمار موجود و دقت پایین اندازه‌گیری‌ها، تخمین حاصله چندان رضایت‌بخش نیست؛ درصورتی‌که در روش‌های زمین آمار، تخمین بر اساس ساختار فضایی موجود در محیط موردنظر صورت می‌پذیرد. از آنجا که آمار کلاسیک قادر به درنظرگرفتن توزیع مکانی پارامترها نبوده لذا زمین آمار به عنوان تکنیکی مناسب برای این هدف استفاده می‌شود[۱۲]. در این روش‌ها، از مدلی به نام واریوگرام یا پراش‌نگار[۷] برای توصیف پیوستگی فضایی داده‌های ورودی و تخمین مقدار مکان‌های اندازه‌گیری‌نشده یا برای مدل‌نمودن همبستگی مکانی متغیرهای مورد بررسی استفاده می‌نمایند[۱۳]. از جمله مهمترین روش‌های زمین آمار روش کریجینگ[۸] است. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار بوده و بهترین تخمین‌گر خطی نا اریب با کمترین پراش تخمین است. این تخمین‌گر اختلالات ناشی از تمرکز زیاد نقاط اندازه‌گیری را به‌طور خودکار رفع می‌نماید. همچنین این روش یکی از تکنیک‌های بسیار مناسب و پیشرفته برای تحلیل فضایی و توزیع منطقه‌ای داده‌های مکانی بوده و یک روش برآورد بهینه است که متغیرهای استفاده‌شده در آن تا حدودی تصادفی است و از تابع هندسی مشخصی نیز تبعیت نمی‌نماید[۱۲]. با توضیحات فوق، می‌توان انواع روش‌های میان‌یابی را مطابق شکل تقسیم بندی نمود:

۱ Global
۲ Local
۳ Exact
۴ Inexact
۵ Deterministic
۶ Stochastic

۷ Variogram
۸ Kriging



شکل۱- انواع روش‌های میان‌یابی

روش‌های میان‌یابی کلاسیک مانند روش وزن‌دهی معکوس فاصله،[۱] توابع شعاع محور[۲]، چند جمله‌ای جهانی[۳] و چند جمله‌ای محلی[۴] همگی جز روش‌های قطعی هستند. روش‌های زمین‌آمار همانند روش کریجینگ ساده[۵]، معمولی[۶]، عام[۷]، قطعه‌ای[۸]، کوکریجینگ[۹] ، همچنین روش‌های اسپلاین[۱۰] کاملا منظم، با کشش و صفحه نازک همگی جز روش‌های احتمالی و غیرقطعی طبقه‌بندی می‌شوند[۱۱]،[۱۳]،[۱۴].

برای شروع درون‌یابی پیش‌نیازهایی لازم است. بدین‌منظور، ابتدا باید بررسی‌های ذیل بروی داده‌ها صورت پذیرد[۱۴]:

۱. آیا داده‌ها توزیع نرمال دارند؟ اگر داده‌ها توزیع نرمال ندارند، باید با استفاده از توابع موجود به توزیع نرمال تبدیل شوند.
۲. آیا در داده‌ها روند وجود دارد؟ اگر در داده‌ها روند مشاهده شود می‌بایست با توابع موجود روندزدایی صورت پذیرد. قابل‌ذکراست برخی روش‌های میان‌یابی، تنها در صورت وجود روند در داده‌ها، قابل بکارگیری هستند.

همچنین می‌بایست بعد از بکارگیری تکنیک‌های میان‌یابی، این روش‌ها از این منظر که بتوانند مقادیر یک نقطه اندازه‌گیری‌شده را با دقت بالایی تخمین بزنند، مورد-بررسی و ارزیابی قرارگیرند[۱۵]. به‌همین‌منظور، برای مقایسه نتایج بدست‌آمده از میان‌یابی، روش‌های پرشماری وجود دارند. یکی از روش‌های مناسب و پرکاربرد، روش اعتبارسنجی تقاطعی[۱۱] است. در این روش با حذف هر یک از نقاط اندازه‌گیری‌شده (در اینجا ایستگاه باران‌سنجی)، که معمولاً تنها ابزار مقایسه می‌باشند، عملیات میان‌یابی مجددا انجام می‌گیرد و تفاوت مقدار برآوردشده و مقدار واقعی به عنوان معیاری از خطا محاسبه می‌شود. به‌همین-ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌پذیرد و خطای حاصل برای کلیه نقاط بدست می‌آید[۱۶]. روش اعتبارسنجی نقاطعی از پارامترهای مختلفی جهت مقایسه بهره می‌برد. در این مقاله، از روش RMS[۱۲] که در تمامی روش‌های میان‌یابی قابل محاسبه است، استفاده می‌شود.

۱-۲-۲- خوشه‌بندی و تحلیل الگوهای بارش

در این پژوهش قصد داریم که از میان‌یابی به عنوان یک پیش‌نیاز برای انجام برخی دیگر از تحلیل‌های الگوهای بارش و همچنین برآورد و مدل‌سازی بارش استفاده نماییم. محققان برای تحلیل الگوهای بارش، از الگوریتم‌های متنوعی شامل شاخص میانگین نزدیکترین همسایگی، آماره عمومی جی[۱۳] یا خوشه‌های بالا/پایین، تحلیل خوشه فضایی چندفضایی چندفاصله‌ای یا تابع k ریپلی[۱۴]، تحلیل خود همبستگی فضایی آماره موران عمومی[۱۵] استفاده می‌نمایند.

با کمک این تحلیل‌ها می‌توان رفتار خوشه‌ای پدیده‌ها را بررسی نمود[۱۷]. برخی از این تحلیل‌ها نوع رفتار خوشه‌ای یا متمرکز و تصادفی بودن عوارض جغرافیایی با مقدار خصیصه ارزشی آنها را به شکل یک گزارش آماری و برخی دیگر بر روی نقشه ارایه می‌نمایند[۱].

بعد از تحلیل الگوی پراکنش پدیده‌ها و نحوه توزیع فضایی آنها به صورت آماره‌های فضایی و توزیع z استاندارد، محققان همچنین نیاز دارند تا نحوه توزیع خوشه‌ای یا متمرکز و نیز الگوی پراکندگی عوارض با مقدار خصیصه آنها را بر روی نقشه نشان دهند[۳]. ابزارهای متعددی جهت تهیه نقشه خوشه‌ها وجود دارند که پرکاربردترین آنها عبارتند از:

۱ Inverse Distance Weighting
۲ Radial Basis Functions
۳ Global Polynomial Interpolation
٤ Local Polynomial Interpolation
٥ Simple Kriging
٦ Ordinary Kriging
٧ Universal Kriging
٨ Block Kriging
٩ Co-Kriging
١٠ Spline

١١ Cross Validation
١٢ Root Mean Square
١٣ Getis Ord General G
١٤ Multi Distance Spatial Cluster Analysis (K Function)
١٥ Moran I

- تحلیل خوشه با شاخص موران محلی انسلین
- تحلیل لکه‌های داغ[۱] یا آماره جی استار

همان‌گونه که بیان‌شد آماره موران عمومی تنها رفتار خوشه‌ای را بر روی بارش سالانه نشان می‌دهد و نمی‌تواند بیانگر نوع رفتار فضایی پدیده موردنظر ضمن شناخت از رفتار خوشه‌ای بارش سالانه بر روی نقشه باشد؛ لذا برای آشکارسازی نحوه رفتار بارش سالانه از نظر الگوی توزیع پراکندگی‌های فضایی بر روی نقشه از آماره محلی موران استفاده‌می‌شود. تحلیل لکه‌های داغ نیز به عنوان یکی دیگر از روش‌های تهیه نقشه خوشه‌ها، آماره جی استار را برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها محاسبه می‌نماید. امتیاز یا آماره Z محاسبه‌شده، نشان می‌دهد که در کجای ناحیه مورد مطالعه یا داده‌ها مقادیر زیاد یا کم به صورت خوشه‌های داغ یا سرد تجمع یافته‌اند[۳].

۱-۲-۳- مدل‌سازی روابط فضایی

یکی از روش‌های پرکاربرد و محبوب برای مدل‌سازی روابط فضایی عوارض جغرافیایی از جمله بارش، روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی[۲] (OLS) است [۱]،[۳]،[۱۷]. در مفهوم رگرسیون، فرض می‌شود که یک متغیر مثل Y را در طول زمان یا در بین واحدهای مختلف مشاهده کرده و داده‌های مربوط به آن را به‌دست آورده‌ایم، می‌خواهیم چگونگی تغییرات آن را تفسیر کنیم[۱]. برای این متغیر وابسته، متغیر یا متغیرهایی را در نظر بگیریم که بتوانند این تغییرات را توضیح دهند. فرض کنید[۱۹]:

$$y_t = f(x_{1,t}, \dots x_{k,t}) \qquad (۲)$$

معادله (۲)، یک مدل ریاضی است چرا که فقط رابطه ریاضی بین متغیر وابسته (Y) و متغیرهای مستقل (X ها) را منعکس کرده‌است. اگر تابع f نسبت به متغیرهای X_1 تا X_K خطی باشد یعنی به فرم:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1,t} + \cdots + \beta_k x_{k,t} \qquad (۳)$$

معادله (۳)، یک مدل ریاضی خطی نامیده می‌شود. اینکه چه متغیرهایی باید به عنوان متغیرهای توضیح-دهنده استفاده شوند، می‌تواند به تئوری‌های به‌کار گرفته-شده و با برداشت شخصی مدل‌ساز بستگی داشته‌باشد[۱].

روش رگرسیون حداقل مربعات عمومی، یک شکل از رگرسیون خطی برای پیش‌بینی یا برای مدل‌سازی متغیر وابسته در ارتباط با مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل یا توضیحی می‌باشد. شناخت و ارزیابی ارتباط بین دو دسته متغیر باعث فهم بهتر ارتباط بین متغیرهای وابسته و مستقل می‌شود، و نشان می‌دهد که در یک مکان چه چیزی درحال رخداد است. رگرسیون مربعات عمومی شناخته‌شده‌ترین تکنیک رگرسیون‌هاست [۱۸]،[۱۹]. رگرسیون با فراهم‌نمودن یک مدل جهانی از متغیرها یا فرآیندی که ما درصدد پیش‌بینی و فهم ارتباط بین متغیرها هستیم، تنها یک معادله را برای نشان‌دادن این فرآیند نمایش می‌دهد [۱]،[۳].

۱-۳- مرور ادبیات

در زمینه میان‌یابی، تحلیل و برآورد بارش در سطح ملی و بین‌اللملی مطالعات فراوانی صورت پذیرفته است که اغلب آنها کاربردهای GIS و روش‌های زمین آماری را در تهیه نقشه‌های همباران و همچنین نقشه‌های برآورد بارش ارائه نموده‌اند؛ برای مثال کارایوسف اوقلو و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی و تخمین پارامترها و توزیع مکانی بارش در حوضه سولاکلی کشور ترکیه با استفاده از روش‌های میان‌یابی از جمله وزن‌دهی عکس فاصله، توابع پایه شعاعی و کریجینگ پرداختند که روش کریجینگ از دقت بالاتری نسبت به بقیه روش‌ها برخوردار بوده‌است. یاوز و اردوغان (۲۰۱۲)، به دلیل همبستگی معنی‌دار بارندگی با ارتفاع، مناسب‌ترین روش برای برآورد میانگین بارندگی‌های روزانه، ماهانه و سالانه را روش کوکریجینگ معمولی تشخیص داده و بیان نمودند که در زمینه برآورد بارش، متغیر ارتفاع بهتر از متغیر فاصله از ساحل عمل می‌نماید. ابوماشر و همکاران (۲۰۱۴) نیز برای میان‌یابی بارش از داده‌های ۶۸۴ ایستگاه هواشناسی در چین و از روش‌های رگرسیون خطی عمومی و روش کریجینگ استفاده‌نمودند. برای انتخاب شش متغیر کمکی از جمله طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، شیب، زبری سطح و تراکم رودخانه از روش رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد و با بررسی دقت پیش‌بینی روش‌های مورد استفاده، روش کریجینگ عملکرد بهتری داشته‌است.

عساکره (2008) به کاربرد روش کریجینگ در درون‌یابی بارش برای تهیه نقشه همباران کشور ایران پرداخته و از ۱۱ روش زمین‌آماری مختلف با سه فرض

[۱] Hot Spot Analysis
[۲] Ordinary Least Square

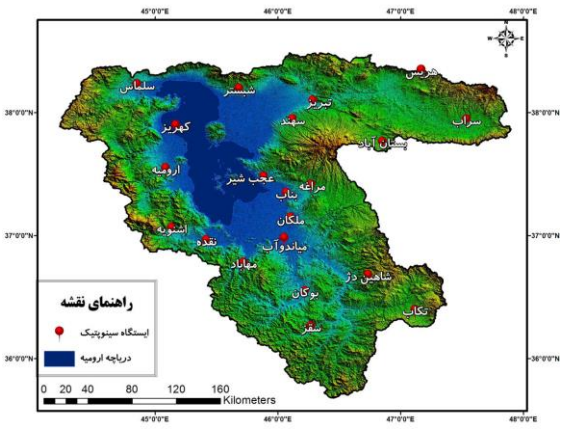
نبود روند در داده‌ها، وجود روند خطی و روند درجه دو بررسی شد. او با بررسی میزان خطای برآوردی و درصد آن و انحراف استاندارد نقشه ها نشان داد که برازش مدل خطی بر نیمه‌پراش‌نگار، بهترین الگو برای میان‌یابی بارش بر اساس روش کریجینگ است. عیوضی و همکاران (۲۰۱۲)، در منطقه گلستان، تغییرات بارش را با استفاده از روش‌های کریجینگ ساده، معمولی و عام با بهره‌گیری از متغیرهای ارتفاع، عرض جغرافیایی، شیب و فاصله از خطالرأس بررسی و بیان نمودند که با وجود هماهنگی نسبی بین بارش و ناهمواری، بیشینه بارش بر حداکثر ارتفاع ناهمواری‌ها منطبق نیست. در این مقاله، کریجینگ معمولی با متغیرهای کمکی عرض‌جغرافیایی و فاصله از خطالرأس بهترین روش برای برآورد تشخیص داده‌شد.

با بررسی مقالات پیشین می‌توان دریافت که دو تلاش عمده در این حوزه مورد توجه محققان پیشین بوده‌است؛ یکی پهنه‌بندی بارش و دیگری تحلیل تغییرات زمانی-مکانی بارش. در مجموع، در اغلب مقالات، برای میان‌یابی بارش غالبا از متغیر ارتفاع به عنوان متغیر کمکی استفاده شده‌است که این یک نقیصه است؛ چرا که میزان بارش در هر ناحیه، تابع عوامل زیادی است و اگر چه ارتفاع عاملی مهم در بارش محسوب می‌شود، ولی عامل کافی نمی‌تواند باشد. همچنین مطالعات اخیر در مورد انتخاب بهترین روش میان‌یابی و تهیه نقشه‌های اقلیمی نشان می‌دهد که انتخاب نوع میان‌یابی بستگی به شرایط جغرافیایی منطقه دارد و برای هر منطقه بایستی به‌طور جداگانه بررسی شود تا یکی از روش‌های میان‌یابی به عنوان روشی با عملکرد بهتر شناسایی شود. به‌همین‌منظور برای رفع کاستی‌های مطالعات پیشین، در این مقاله، هم پهنه‌بندی بارش و هم تحلیل آمار فضایی و تخمین بارش مورد توجه خواهد بود. همچنین برای بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر بارش، علاوه بر ارتفاع، از متغیرهای توپوگرافیک دیگری همچون طول و عرض جغرافیایی، شیب، میزان وزش باد و میانگین دمای هوا نیز به طورهمزمان در مدل تخمین بهره خواهیم‌برد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران و جهان به شمار می‌آید. اکوسیستم این دریاچه نمونه‌ای شاخص از یک حوضه آبریز بسته است که کلیه رواناب‌های جاری در رودخانه‌های حوضه به آن تخلیه می‌گردد. این دریاچه با مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع، یکی از شش حوضه آبریز اصلی کشور است که بین استان‌های آذربایجان غربی (۴۶٪)، آذربایجان شرقی (۴۳٪) و کردستان (۱۱٪) قرار دارد. همچنین این دریاچه، در ردیف ۲۵ امین دریاچه بزرگ دنیا از نظر مساحت قرار گرفته، بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و دومین دریاچه بزرگ آب‌شور دنیاست. وضعیت توپوگرافی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شکل نمایش داده‌شده‌است:



شکل۲- منطقه مورد مطالعه

با وجود اهمیت منحصر به فرد این دریاچه در کشورمان، متاسفانه از اواسط دهه ۱۳۸۰ شروع به خشک شدن نموده‌است و امروزه در خطر خشک شدن کامل قراردارد. عوامل متعددی از جمله میزان بارش، جریان رودخانه‌ها، تبخیر و دما بر این فرآیند تاثیرگذارند. به‌همین-جهت، این حوضه به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب و بارش به عنوان یکی از عوامل موثر بر این رخداد خشکی این دریاچه، میان‌یابی، پهنه‌بندی، بررسی و تحلیل خواهدشد.

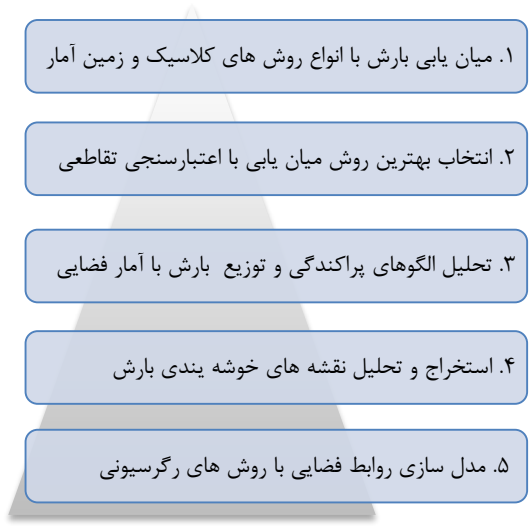
۲-۲- داده های مورد نیاز

برای انجام این پژوهش، از داده‌های سالیانه بارش ۲۱ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی و بارانسنجی وزارت نیرو طی دورهٔ مشترک آماری ۶۳ ساله از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۴ میلادی استفاده و سپس بر مبنای این آمار، میانگین بارش سالیانه ایستگاه‌ها به عنوان متغیر وابسته محاسبه شده‌است. (لازم به ذکر است که برای برخی از ایستگاه‌های جدیدالتاسیس، برای دوره ۶۳ ساله داده موجود نبوده‌است، لذا از میانگین تعداد داده‌های در

دسترس برای آن ایستگاه‌ها استفاده‌شده‌است.) علاوه بر این داده‌ها، طول و عرض جغرافیایی به همراه ارتفاع و شیب هر ایستگاه و همچنین متوسط دمای سالیانه و متوسط سالیانه سرعت باد به عنوان متغیرهای مستقل استخراج گردیده‌است. شکل محدوده مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های مورداستفاده را نمایش می‌دهد.

۲-۳- روشگان اجرای پژوهش

با توجه به مطالب بیان‌شده در بخش‌های قبلی، می‌توان روشگان و گام‌های اجرای این پژوهش که دربرگیرنده یک راهکار مکانمند برای تحلیل عارضه جغرافیایی بارش است را در شکل خلاصه نمود. انجام هر مرحله از این درختواره، می‌تواند به پژوهشگران، چارچوب و راهکاری مکانمند با ابزارهای مختلف بر پایه تحلیل‌های آمار فضایی در اختیار دهد تا عارضه بارش را با دیدی همه‌جانبه و جامع بررسی نمایند. این چارچوب نه تنها برای بارش، بلکه برای تحلیل و بررسی سایر عوارض جغرافیایی نیز قابل بکارگیری است. در این چارچوب ابتدا داده‌های بارش با کمک روش‌های مختلف زمین‌آمار و کلاسیک میان‌یابی شده و سپس با استفاده از اعتبارسنجی تقاطعی بهترین روش به عنوان ورودی سایر تحلیل‌ها انتخاب خواهدشد. در گام سوم، الگوهای بارش با کمک چهار شاخص میانگین نزدیکترین همسایگی، آماره عمومی جی یا خوشه‌های بالا/پایین، تحلیل خوشه فضایی چندفضایی چندفاصله‌ای یا تابع k ریپلی و تحلیل خود همبستگی فضایی آماره موران عمومی تحلیل و بررسی می‌شود. بعد از تحلیل الگوی پراکنش پدیده‌ها و نحوه توزیع فضایی آنها به صورت آماره‌های فضایی و توزیع z استاندارد، برای نمایش نحوه توزیع خوشه‌ای یا متمرکز و نیز الگوی پراکندگی عوارض با مقدار خصیصه آنها را بر روی نقشه از دو تحلیل تحلیل خوشه با شاخص موران محلی انسلین و تحلیل لکه‌های داغ درگام چهارم بهره برده خواهد شد. سپس در گام نهایی با کمک روش رگرسیون حداقل مربعات عمومی، روابط فضایی عارضه بارش مدل‌سازی خواهدشد. این رابطه فضایی به صورت یک معادله خطی و همچنین بر روی نقشه ارائه می‌شود. همان‌طورکه قابل رویت است، گام‌های این راهکار، دیدی همه‌جانبه و جامع از عارضه بارش ارائه می‌دهد.



شکل۳- روشگان اجرای پژوهش

۳- نتایج

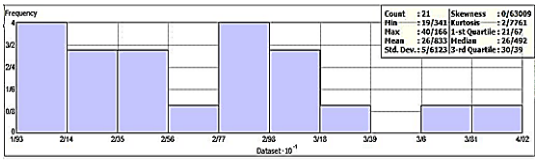
۳-۱- میان‌یابی بارش

برای انجام بسیاری از روش‌های میان‌یابی، ابتدا نیاز است یک سری آزمون‌های آماری اولیه را بر روی داده‌ها بررسی نماییم. این تست های آماری عبارتند از:

- بررسی نرمال بودن داده‌های بارش در ایستگاه‌ها و نرمال‌سازی آنها در صورت نیاز
- بررسی روند و حذف آن در صورت وجود

۳-۱-۱- بررسی نرمال بودن داده‌ها

نرمال بودن داده‌های بارش در ایستگاه‌ها را با کمک آزمون کلموگروف-اسمیرنوف بررسی می‌نماییم؛ با توجه به نتایج شکل۱ که میزان .Sig را بیشتر از 0.05 نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های مزبور نرمال بوده و نیازی به نرمال‌سازی داده‌ها وجود ندارد.



Tests of Normality

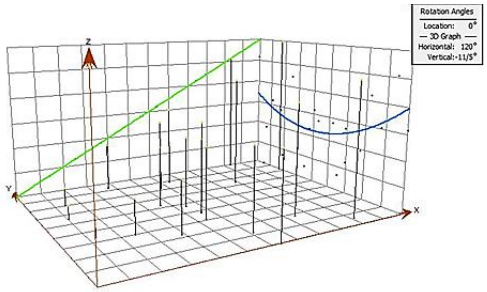
	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
متوسط بارش سالیانه به میلیمتر	.122	21	.200*	.941	21	.226

شکل۱- بررسی نرمال بودن داده‌های بارش حوضه دریاچه ارومیه

۳-۱-۲- بررسی وجود روند در داده‌ها

شرط دیگر برآورد با برخی روش‌های زمین‌آمار، عدم وجود روند در داده‌های متغیر مورد برآورد (در اینجا بارش)

است. در صورت وجود روند، باید با استفاده از روش‌های مناسب آنرا حذف نمود. با کمک ابزار Trend Analysis در نرم‌افزار ArcGIS، همان‌طور که در شکل۲ مشاهده می‌شود، از غرب به شرق روند مشاهده نمی‌شود و از شمال به جنوب، روند از نوع چندجمله‌ای درجه دو وجود دارد که لازم است در برخی از روش‌های میان‌یابی از جمله کریجینگ و کوکریجینگ عام روندزدایی صورت پذیرد.



شکل۲- بررسی روند در داده‌های بارش حوضه دریاچه ارومیه

۳-۱-۳- میان‌یابی بارش در حوضه دریاچه ارومیه

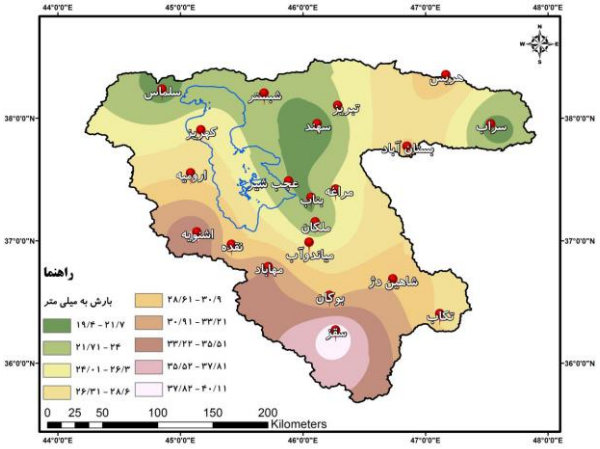
بعد از بررسی آزمون‌های اولیه آماری بر روی داده‌ها، در این بخش انواع روش‌های میان‌یابی کلاسیک و زمین-آمار را بر روی داده‌ها اعمال نموده و با کمک اعتبار سنجی تقاطعی بهترین نقشه هم‌باران را استخراج می‌نماییم.

قابل ذکر است در روش IDW، توان بهینه مورد استفاده ۲ و نوع همسایگی، استاندارد در نظر گرفته‌شده‌است. در روش RBF از توابع کرنل مختلفی استفاده نموده و آن تابعی که کمترین خطا را ایجاد نموده، به عنوان بهترین برآورد انتخاب شده‌است. در روش‌های زمین‌آمار نیز انواع مدل‌های نیم‌پراش‌نگار، مورداستفاده قرارگرفته و آنکه کمترین خطا را ایجاد کرده، انتخاب گردیده‌است. نتایج پیاده‌سازی این روش‌ها به همراه برآورد دقت هر روش به کمک اعتبارسنجی تقاطعی در جدول۱ ارائه می‌شود:

جدول۱- پیاده‌سازی روش‌های مختلف میان یابی بارش برای حوضه دریاچه ارومیه

روش میان‌یابی مورد استفاده	RMS
IDW	4.63
RBF با تابع کرنل Inverse Multi Quadric	4.43
GPI	4.62
LPI با تابع کرنل Exponential	5.02
کریجینگ معمولی با تابع نیم‌تغییرنمای Hole Effect	4.15
کریجینگ ساده با تابع نیم‌تغییرنمای Stable	4.31
کریجینگ عام با تابع نیم‌تغییرنمای Circle	5.67
کوکریجینگ معمولی با تابع نیم‌تغییرنمای Exponential	4.31
کوکریجینگ ساده با تابع نیم‌تغییرنمای Hole Effect	4.33
کوکریجینگ عام با تابع نیم‌تغییرنمای Spherical	4.72

با توجه به نتایج بدست‌آمده، روش کریجینگ معمولی با تابع نیم تغییر نمای Holl Effect و با کمترین RMS، به عنوان بهترین روش میان‌یابی بارش در حوضه دریاچه ارومیه انتخاب می‌شود. بدین‌ترتیب، نقشه میان‌یابی مربوط به آن در شکل۳ نمایش داده می‌شود:



شکل۳- نقشه میان‌یابی بارش حوضه دریاچه ارومیه به روش کریجینگ معمولی

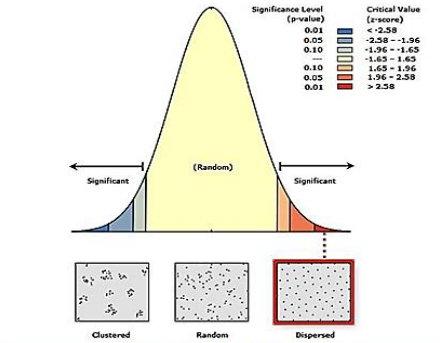
۳-۲- داده‌کاوی مکانی و تحلیل آمار فضایی بارش در حوضه دریاچه ارومیه

بعد از میان‌یابی بارش در بخش قبل، در این قسمت با کمک تحلیل‌های آمار فضایی به بررسی نحوه توزیع بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه خواهیم پرداخت. این بخش، گام‌های سه و چهار چارچوب شکل را پوشش خواهد داد. برای بکارگیری این تحلیل‌ها ابتدا لازم است، داده‌های مورد استفاده در آنها که شامل داده‌های نقطه‌ای (پیکسل مبنا) است، از نقشه پهنه‌بندی بارش حوضه دریاچه ارومیه (شکل۳)تهیه گردد.

۳-۲-۱- تحلیل الگوی بارش با شاخص میانگین نزدیکترن همسایگی

تحلیل الگوی بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به روش میانگین نزدیکترین همسایگی، مبین این واقعیت می-باشد که با توجه به مقدار $Z > 1/96$ و بزرگتر بودن این مقدار که در دنباله توزیع z در ناحیه قرمز رنگ شکل۴ قرارگرفته و مقدار آن ۱۸۷,۸۳۲ می‌باشد و آماره P-Value صفر، نشان‌دهنده این است که الگوی بارش سالانه حوضه دریاچه ارومیه از الگوی پراکنده با مقدار بالای میانگین

نزدیکترین همسایگی به میزان ۱,۴۷۶ برخوردار است. همچنین مقدار میانگین فاصله موردمشاهده از مقدار میانگین فاصله مورد انتظار بزرگتر بوده که خود گواهی دیگر از الگوی پراکندگی بارش سالانه حوضه دریاچه ارومیه به روش میانگین نزدیکترین همسایگی است.

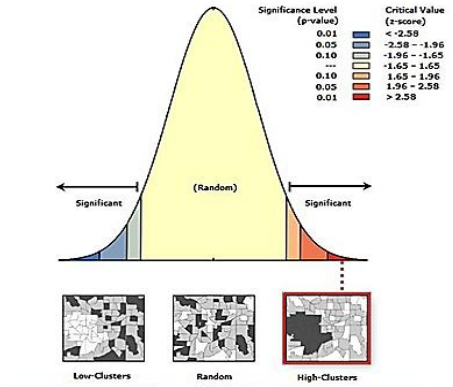


Average Nearest Neighbor Summary	
Observed Mean Distance:	0/0112 Degrees
Expected Mean Distance:	0/0076 Degrees
Nearest Neighbor Ratio:	1/476257
z-score:	187/832839
p-value:	0/000000

شکل۴- تحلیل الگوی بارش حوضه دریاچه ارومیه با شاخص میانگین نزدیکترین همسایگی

۳-۲-۲- آماره عمومی جی یا خوشه‌های بالا/پایین

تحلیل الگوی بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از آماره عمومی جی نشان می‌دهد که با توجه به اینکه مقدار آماره استاندارد z>1/96 در سطح ۱ درصد بزرگتر از عدد 1/96 می‌باشد و در دنباله توزیع در ناحیه قرمز رنگ واقع شده‌است (شکل۵)، رفتار بارش سالانه حوضه دریاچه ارومیه از الگوی خوشه‌ای با تمرکز بالا برخوردار است. به‌طوری‌که مقدار p-value و همچنین واریانس صفر نشان از یک الگوی خوشه‌ای با تمرکز بالا را می‌دهد. آماره عمومی جی نیز بسیار نزدیک به صفر به دست آمده و مقادیر مورد انتظار و مشاهده شده نیز تقریبا صفر است. چنانچه مقدار آماره z استاندارد در دنباله چپ توزیع با مقدار منفی قرار می‌گرفت این نوع الگو از یک رفتار با تمرکز خوشه‌ای پایین پیروی می‌کرد. میانه نمودار زنگوله‌ای شکل، حاکی از یک الگوی تصافی و غیر معنی‌دار آماری است.

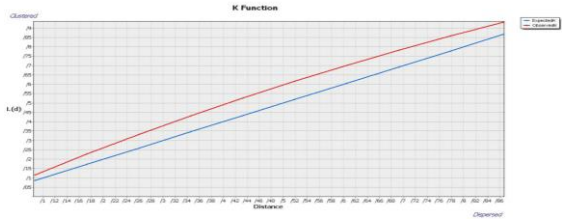


General G Summary	
Observed General G:	0/000098
Expected General G:	0/000093
Variance:	0/000000
z-score:	221/826193
p-value:	0/000000

شکل۵- تحلیل الگوی بارش حوضه دریاچه ارومیه با آماره جی

۳-۲-۳- شاخص تحلیل خوشه فضایی چندفاصله‌ای

برای تفسیر نتایج این تحلیل و با توجه به شکل۶، چنانچه ملاحظه می‌شود خط قرمز رنگ داده‌های مشاهده‌شده در تمامی فواصل بالاتر از خط آبی رنگ موردانتظار واقع شده که مبین یک الگوی خوشه‌ای در رفتار بارش حوضه دریاچه ارومیه را نشان‌می‌دهد.

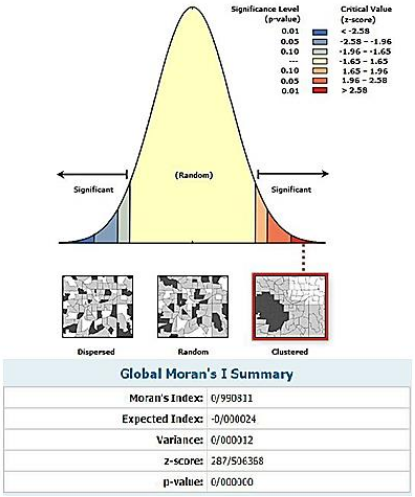


شکل۶- تحلیل خوشه فضایی چند فاصله ای یا تابع K ریپلی برای داده‌های بارش حوضه دریاچه ارومیه

۳-۲-۴- تحلیل خودهمبستگی فضایی آماره موران عمومی

برای تفسیر نتایج تحلیل خودهمبستگی فضایی با کمک آماره موران (شکل۷) باتوجه به‌اینکه مقدار آماره استاندارد z >۱/۹۶ در سطح ۱ درصد بزرگتر از عدد ۱/۹۶ می باشد و در دنباله توزیع در ناحیه قرمز رنگ واقع شده‌است، رفتار بارش سالانه حوضه دریاچه ارومیه از الگوی خوشه‌ای با تمرکز بالا برخوردار است. به طوری که مقدار p-value صفر نشان از یک الگوی خوشه‌ای با تمرکز بالا را می‌دهد. آماره عمومی موران جهانی نیز ۰/۹۹ درصد به‌دست‌آمد. آماره موران با استفاده از یک ضریب همبستگی بیان می‌شود و مقدار آن بین اعداد ۱+ تا ۱- در

نوسان است. به‌طوری‌که اگر مقدار آماره موران به سمت ۱+ حرکت کند نشان از یک الگوی خوشه‌ای بالا و متمرکز در بیشتر ناحیه موردمطالعه دارد. اگر آماره موران به سمت ۱- حرکت نماید مبین یک الگوی پراکنده برروی عارضه جغرافیایی که در اینجا بارش سالانه خواهد بود، می‌باشد. مقدار نزدیک به صفر گویای یک الگوی تصادفی و غیرمعنی‌دار در سطح اطمینان مورد نظر است.

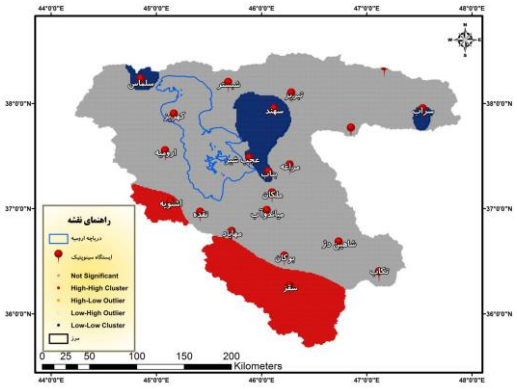


شکل۷- تحلیل خودهمبستگی فضایی داده‌های بارش حوضه دریاچه ارومیه با آماره موران عمومی

۳-۲-۵- تهیه نقشه خوشه‌ها و تحلیل آنها

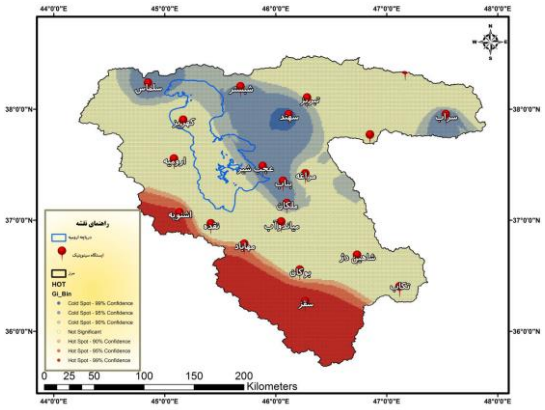
در بخش‌های قبلی، انواع روش‌های تحلیل الگوی پراکنش پدیده‌ها و نحوه توزیع فضایی آنها به صورت آماره‌های فضایی و توزیع z استاندارد بررسی‌شد، ولی نحوه توزیع خوشه‌ای یا متمرکز و الگوی پراکندگی عوارض با مقدار خصیصه آنها برروی نقشه نشان داده‌نشده‌است. به همین‌منظور در این بخش، با کمک دو روش تحلیل شامل روش خوشه و تکدانه یا شاخص موران محلی انسلین و تحلیل لکه‌های داغ یا آماره جی استار، نقشه خوشه‌ها را استخراج می‌نماییم. هر دو نوع این روش‌ها برای شناخت و آگاهی از نحوه رفتار فضایی داده‌های جغرافیایی به همراه خصایص آنها بر روی نقشه با توزیع‌های آماری، معنی‌داری و عدم معنی‌داری است.

تحلیل خوشه و ناخوشه برای داده‌های بارش حوضه دریاچه ارومیه با شاخص آماره موران محلی انسلین در شکل۸ نشان می‌دهد که خوشه‌های بالا-بالا یعنی همان قسمت‌های پربارش، نواحی جنوب و جنوب‌غربی این دریاچه را تشکیل می‌دهند. مرکز حوضه دریاچه ارومیه و همچنین دو لکه جدا افتاده در نواحی ایستگاه‌های سراب و سلماس جز خوشه های پایین-پایین و نقاط کم‌بارش محسوب می‌شوند. سایر مناطق که به صورت نقاط خاکستری رنگ در نقشه توزیع شده‌اند، نیز از حیث نقاط بالا-بالا ، پایین-پایین، بالا-پایین و پایین-بالا الگویی را نشان نداده و از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشند.



شکل۸- تحلیل خوشه و ناخوشه برای داده‌های بارش حوضه دریاچه ارومیه با شاخص آماره موران محلی انسلین

همچنین با کمک تحلیل لکه‌های داغ یا جی‌استار که نقشه مربوط به آن در شکل۹ مشاهده می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که لکه‌های داغ محدوده‌های بیشتری از جنوب و جنوب‌غربی منطقه موردمطالعه را از نظر مقادیر با خوشه-های بالا که نشان‌دهنده بارش بالا از نظر خودهمبستگی فضایی بوده‌اند، تشکیل می‌دهند. تمرکز خوشه‌های با تمرکز نسبتا کمتر از خوشه‌های بالا نیز در دامنه قرمز رنگ پراکنش بارش، نیز در برخی از نواحی فوق نمایان است. لکه‌های سرد واقع‌شده که از نظر امتیاز ۹۹ تا ۹۰ درصد معنی‌دار می باشند در ناحیه شمال و مرکزی حوضه دریاچه ارومیه و دو لکه جاافتاده در مناطق سراب و سلماس دیده می‌شود که لکه‌های سرد با تمرکز پایین مقدار بارش و الگوی خوشه‌ای را تشکیل می‌دهند. سایر مناطق نیز از الگوی فضایی خاصی پیروی نکرده و از نظر آماری معنی‌دار نیستند.



شکل۹- تحلیل لکه‌های داغ داده‌های بارش حوضه دریاچه ارومیه

۳-۳- مدل‌سازی روابط فضایی بارش

در گام پنجم، برای مدل‌سازی روابط فضایی بارش در حوضه دریاچه ارومیه از روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی استفاده می‌شود. به‌همین‌منظور در این بخش، ابتدا با کمک داده‌های گریدکدشده، مدل رگرسیون را با کمک نرم‌افزار SPSS23 استخراج می‌نماییم. متغیرهای وابسته در نظر گرفته‌شده شامل، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، شیب، متوسط دما و وزش باد سالیانه و متغیر وابسته نیز بارش است.

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول۲، مقدار R^2 که دنشان می‌دهد چه مقدار از متغیر وابسته بارش، می‌تواند توسط متغیرهای مستقل تبیین شود، برابر با مقدار ۶۰ درصد است که در واقع مقدار نسبتا مناسب و چشم‌گیری است. همچنین با توجه به نتایج جدول ANOVA ، میزان معناداری (sig) در مسئله ما کمتر از ۰.۰۵ بدست‌آمده و بیان‌گر این است که مدل رگرسیونی می‌تواند به‌طور معناداری تغییرات متغیر وابسته را پیش‌بینی نماید.

جدول۲- خلاصه و جدول ANOVA مدل رگرسیون بارش در حوضه دریاچه ارومیه

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.778[a]	.605	.605	3.695688455

a. Predictors: (Constant), شیب, سرعت_باد, Y, X, دمای_متوسط, ارتفاع

ANOVA[a]

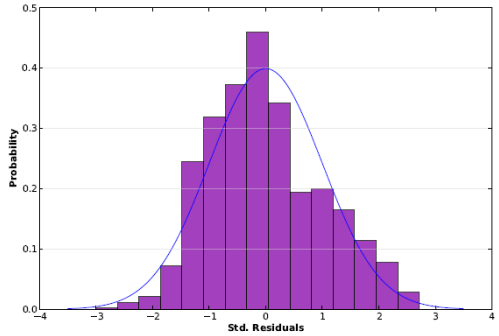
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	861111.438	6	143518.573	10507.936	.000[b]
	Residual	562891.818	41213	13.658		
	Total	1424003.255	41219			

همچنین مطابق نتایج جدول۳، مشاهده می‌شود که مقدار ثابت و همه متغیرهای مستقل در مدل با توجه به مقدار .Sig معنادار شده‌اند. با کمک ستون بتا می‌توانیم سهم نسبی هر متغیر را در پیش‌بینی متغیر وابسته مقایسه کرده و تعیین نماییم که کدام متغیرها بیش‌ترین تاثیر را بر متغیر وابسته دارند. همان‌طورکه مشخص است متغیر عرض جغرافیایی بیشترین سهم و متغیرهای طول جغرافیایی و سرعت وزش باد کمترین تاثیر را در میزان بارش در حوضه دریاچه ارومیه داشته‌اند.

جدول۳- ضرایب مدل رگرسیون برای پیش‌بینی بارش در حوضه دریاچه ارومیه

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	302.952	3.432		88.277	.000
	X	-.545	.039	-.072	-13.915	.000
	Y	-6.724	.056	-.801	-119.851	.000
	ارتفاع	.002	.000	.147	43.564	.000
	شیب	-6.278E-8	.000	-.018	-5.404	.000
	سرعت_باد	.674	.105	.047	6.447	.000
	دمای_متوسط	-.354	.008	-.145	-43.979	.000

همچنین شکل۱۰ نشان‌دهنده توزیع تقریبا نرمال در باقی‌مانده‌های حاصل از مدل OLS است و نشان می‌دهد که مدل رگرسیون برای مسئله پژوهش ما، قابل بکارگیری است.

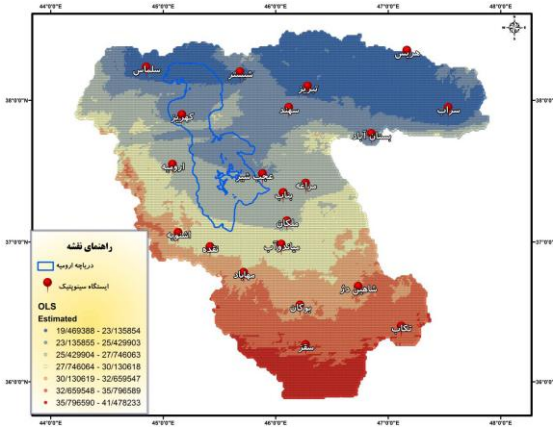


شکل۱۰- نمودار هیستوگرام باقی‌مانده‌های حاصل از مدل OLS

در نتیجه با کمک ستون B در جدول۳ که همان ضرایب مدل رگرسیونی را نشان می‌دهد، معادله رگرسیونی پیش‌بینی بارش در حوضه دریاچه ارومیه عبارتند از:

$$\text{بارش} = 302.952 - 0.545 * (\text{طول}) - 6.724 * (\text{عرض}) + 0.002 * (\text{ارتفاع}) - 6.278E-8 * (\text{شیب}) + 0.674 * (\text{باد}) - 0.354 * (\text{دما})$$

حال نقشه برآورد یا تخمین بارش در حوضه دریاچه ارومیه با روش OLS مطابق شکل۱۱ ارائه می‌شود. چنانچه مشاهده می‌شود، میزان برآورد تخمین مدل به صورت پیش‌بینی بیشتر از حد واقعی یا کمتر از حد واقعی در تمامی مناطق پراکنده می‌باشد. اما میزان برآورد کمتر از حد واقعی نسبت به مقادیر بیشتر از حد واقعی در سطح منطقه، نسبت‌های بیشتری را به خود اختصاص د



شکل۱۱- نقشه برآورد یا تخمین مدل با کمک OLS

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با بکارگیری انواع روش‌های داده‌کاوی مکانی و آمار فضایی، به تحلیل همه‌جانبه و جامعی از عارضه بارش در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته‌شده‌است. ابتدا با کمک اعتبارسنجی تقاطعی، از میان انواع روش‌های میان‌یابی کلاسیک و زمین‌آمار، بهترین روش‌میان یابی بارش انتخاب گردید. سپس با کمک تحلیل‌های متنوع، نحوه توزیع، خوشه و الگوهای بارش در این منطقه بررسی و ارزیابی و تحلیل شد. سپس با کمک روش رگرسیون حداقل مربعات عمومی، روابط فضایی آنها مدل‌سازی گردید که با دستاوردهای زیر همراه بوده‌است:

- میان‌یابی داده‌های بارش حوضه دریاچه ارومیه و انتخاب روش کریجینگ معمولی به عنوان بهترین روش میان‌یابی در این منطقه
- تحلیل الگو و خوشه‌بندی داده‌های بارش حوضه دریاچه ارومیه
- شناسایی نواحی جنوبی و جنوب‌غربی به عنوان خوشه های بالا-بالا (لکه‌های داغ) و قسمت‌های پربارش حوضه دریاچه ارومیه
- شناسایی ناحیه شمالی و مرکزی حوضه دریاچه ارومیه و همچنین دو لکه جدا افتاده در نواحی ایستگاه‌های سراب و سلماس جز خوشه‌های پایین-پایین (لکه‌های سرد) و نقاط کم‌بارش در این منطقه
- مدل‌سازی روابط فضایی داده‌های بارش حوضه دریاچه ارومیه با کمک روش رگرسیونی
- بررسی میزان همبستگی متغیرهای وابسته به بارش مانند طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، شیب، دما و میزان وزش باد بر روی میزان بارش حوضه دریاچه ارومیه به عنوان متغیر مستقل.
- شناسایی متغیر "عرض جغرافیایی" به عنوان تاثیرگذارترین متغیر وابسته به بارش در حوضه دریاچه ارومیه
- شناسایی متغیرهای طول جغرافیایی و سرعت وزش باد به عنوان کم تاثیرترین متغیرها بر میزان بارش در حوضه دریاچه ارومیه

با شناسایی خوشه‌های پربارش و کم‌بارش در این منطقه، مدیران می‌توانند برنامه‌ریزی‌های متعددی را جهت مدیریت بهینه منابع آب اتخاذ نمایند. علاوه بر دستاوردهای ذکر شده، باید اذعان نمود که اکثر روش‌هایی که در مقالات متعدد پیشین برای میان‌یابی و تخمین بارش به‌کار گرفته‌شده‌است، بر پایه تحلیل‌های آماری است؛ درحالی‌که در این مطالعه هدف اصلی نویسندگان، استفاده از روش‌ها و بررسی‌های مکانمند در کنار روش‌های آماری برای تحلیل بهتر و دقیق‌تر موضوع پژوهش بوده‌است. نتایج این پژوهش نیز ثابت کرده‌است که روش‌های زمین‌آمار دقت بهتری را نسبت به روش‌های سنتی در میان‌یابی بارش در حوضه دریاچه ارومیه دارند. از سوی دیگر متغیرهای وابسته و عوامل محیطی در نظرگرفته شده در مقالات پیشین عمدتا شامل متغیر ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی بوده‌است؛ درحالی‌که در این پژوهش، علاوه بر فاکتورهای فوق، متغیرهای شیب، دما و سرعت باد نیز به عنوان متغیرهای وابسته به بارش درنظرگرفته‌شده و عامل عرض جغرافیایی بیشترین اثرگذاری بر میزان بارش را داشته-است. علاوه‌براین در این مقاله، به مدل‌سازی روابط فضایی داده‌های بارش، داده‌کاوی مکانی، تحلیل الگو و بررسی و تحلیل میزان همبستگی بارش با متغیرهای وابسته پرداختیم که جر نوآوری‌های این تحقیق محسوب می‌شود. از جمله مهمترین پیشنهاداتی که برای انجام تحقیقات آتی می‌تواند در نظر گرفته‌شود، عبارتند از:

- شناسایی و استفاده از سایر متغیرهای وابسته به بارش در مدل رگرسیون برای برآورد بهتر
- جمع‌آوری داده‌های بیشتر از سایر ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک در منطقه موردمطالعه به منظور دقت بیشتر نتایج
- استفاده از تبدیلات پیچیده ریاضی به‌منظور حذف هم‌خطی و خودهمبستگی در داده‌ها و امکان به کارگیری روش رگرسیون موزون جغرافیایی به منظور مدل‌سازی دقیق‌تر روابط فضایی داده‌های بارش نسبت به مدل OLS.

مراجع

[1] Bostan, P. A.,Heuvelink, G. B. M. and Akyurek, S. Z. (2012), "Comparison of Regression and Kriging Techniques for Mapping the Average Annual Precipitation of Turkey." International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 19, PP.115-126.

[2] Eivazi, M. and Mosaedi, A. (2012), "An Investigation on Spatial Pattern of Annual Precipitation in Golestan Province by Using Deterministic and Geostatistics Models." Journal of Water and Soil, Vol. 26. PP. 53-64, (in Persian).

[3] Maris, F., Kitikidou, K., Angelidis, P. and Potouridis, S. (2013), "Kriging Interpolation Method for Estimation of Continuous Spatial Distribution of Precipitation in Cyprus." British Journal of Applied Science and Technology, Vol. 3, No.4, PP.126-1300.

[4] Moral, F.J. (2010), "Comparison of Different Geostatistical Approaches to Map Climate Variables: Application to Precipitation." International Journal of Climatology. Vol.30, No. 4, PP. 620-631.

[5] Saghafiyan, B. (2011), "Investigation of Annual Rain Regional Variability by Geostatistic Methods Application. (Case Study: Fars Province)." Journal of Water Resource Engineering. Vol. 4, PP.118-132,(in Persian).

[6] Subyani, A.M. and Al-Dakheel, A.M. (2009), "Multivariate Geostatistical Methods of Mean Annual and Seasonal Rainfall in Southwest Saudi Arabia." Arabian Journal of Geosciences, Vol. 2, No. 1, PP. 19-27.

[7] Yavuz, H and Saffet, E. (2012), "Spatial Analysis of Monthly and Annual Precipitation Trends in Turkey." Water Resources Management, Vol. 26, No. 3, PP. 609-621.

[8] Sun, Y., Kang, S., Li, F. and Lu, Z. (2009), "Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China." Environmental Modelling & Software, Vol.24, PP.1163–1170.

[9] Abo-Monasar, A. and Al-Zahrani, M.A. (2014), "Estimation of Rainfall Distribution for the Southwestern Region of Saudi Arabia." Hydrological Sciences Journal, Vol.59, No.2, PP. 420-431.

[10] Angulo-Martínez, M., López-Vicente, M., Vicente-Serrano, S. M., and Beguería, S. (2009), "Mapping Rainfall Erosivity at a Regional Scale: A Comparison Of Interpolation Methods in The Ebro Basin (NE Spain)." Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 13, PP.1907-1920.

[11] Bajat, B., Pejović, M., Luković, J., Manojlović, P., Ducić, V and Mustafić, S. (2013), "Mapping Average Annual Precipitation in Serbia (1961-1990) by Using Regression Kriging." Theoretical and Applied Climatology, Vol. 112, No (12), PP.1-13.

[12] Cheng, K.-S., Lin, Y.-C. and Liou, J.-J. (2008), "Rain-Gauge Network Evaluation and Augmentation Using Geostatistics." Hydrological Processes, Vol. 22, PP.2554–2564.

[13] Crochet, P., Jóhannesson, T., Jónsson, O., Sigurðsson, H., Björnsson, F and Barstad I. (2007), "Estimating the Spatial Distribution of Precipitation in Iceland Using a Linear Model of Orographic Precipitation." Journal of Hydrometeorology, Vol. 8, PP.1285–1306.

[14] Diodato, N. and Ceccarelli, M. (2005), "Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation mean in the Sannio Mountains (southern Italy)." Earth Surface Processes and Landforms, Vol.30, PP. 259–268.

[15] Krishna, M. (2007), "Geostatistical analysis for estimation of mean rainfalls in Andhra Pradesh India." International journal of geology. Vol. 3, No.1, PP. 35-51.

[16] Taesombat, W. and Sriwongsitanon, N. (2009), "A real Rainfall Estimation Using Spatial Interpolation Techniques.", Science Asia. Vol. 35, PP.268-275.

[17] Feng-guang, Y., Shu-you, C., Xing-nian, L. and Ke-jun, Y. (2008), "Design of groundwater level monitoring network with ordinary kriging." Journal of Hydrodynamics. Vol. 20, No.3, PP.339-346.

[18] Karayusufoglu, S. (2010), "Estimation of basin parameters and precipitation distribution of solalki basin, turkey." Wseas Transactions on Environment and Development. Vol. 5, No. 6.

[19] Asakereh, H. (2008). "Kriging interpolation method for Estimation of Precipitation in Iran", Geography and Development, Vol. 12, PP. 25-42. (In Persian).