

بررسی روند مکانی و زمانی بارش در حوضه خزر با استفاده از داده‌های مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهان

امیرحسین حلبیان^{۱*} و علی قاسمی سیانی^۲

^۱ دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران و ^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۱

چکیده

بارش در حوضه خزر به‌عنوان مهمترین سنج اقلیمی توزیع زمانی و مکانی خاص و پیچیده‌ای دارد. بدین دلیل، آگاهی از تغییرات مکانی و زمانی آن در این حوضه آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا، تغییرات آن می‌تواند پیامدهای مختلف زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به همراه داشته باشد. هدف از این پژوهش، واکاوی تغییرات مکانی و زمانی بارش در حوضه خزر است. بدین منظور، داده‌های ماهانه بارش از تارنمای مرکز آب و هواشناسی بارش جهانی (GPCC) با توان تفکیک ۰/۵ در ۰/۵ درجه قوسی در یک دوره آماری ۶۳ ساله (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۳) اخذ شد. برای ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی بارش، از داده‌های استخراج شده از این پایگاه داده بارشی میانگین سالانه، فصلی و ماهانه تهیه شد. آزمون ناپارامتری من-کندال با احتمال ۹۵ درصد بر روی داده‌های ماهانه، فصلی و سالانه اعمال و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، نقشه‌های ۱۷ گانه روند مکانی بارش در سطح حوضه ترسیم شد. نتایج نشان داد که بارش در ماه‌های مارس و آوریل در پهنه‌های غربی، شرقی و جنوب غربی حوضه خزر روند کاهشی معناداری با احتمال ۹۵ درصد دارد. در بازه زمانی فصلی، بارش تنها در فصول بهار و پاییز روندی معنی‌دار و کاهشی در بخش غربی حوضه دارد، این در حالی است که در فصول تابستان و زمستان، فرض وجود روند تأیید نشد. تحلیل تغییرات مکانی بارش سالانه نیز نشان از روند کاهشی معنی‌دار در پهنه غربی حوضه دارد. واکاوی تغییرات بارش حوضه خزر در سری‌های زمانی ماهانه نیز حکایت از روند کاهشی معنی‌دار با احتمال ۹۵ درصد در ماه مارس در این حوضه دارد.

واژه‌های کلیدی: پایگاه داده، تغییر اقلیم، سری زمانی، روند معنی‌دار، من-کندال

مقدمه

۲۰۱۰). بارش یکی از متغیرهای اساسی برای ارزیابی توان بالقوه منابع آب است، اما توزیع زمانی و مکانی آن بسیار ناهمگن بوده، به همین دلیل، توزیع منابع آب کشور نیز یکنواخت نیست (Masoodian, ۲۰۱۱). یکی از مباحث مطرح در محافل علوم طبیعی، تحلیل روند و مطالعه رفتار پدیده‌های طبیعی در بستر زمان است. عمده‌تاً برای تحلیل روند سنج‌های اقلیمی که از

از آن جایی که بحران منابع آب در جهان امروز به مسئله بسیار جدی بدل شده، لذا بر اهمیت ضرورت مدیریت منابع آبی کشور بیش از پیش افزوده شده است که مسلماً اجرای صحیح آن بدون شناخت و آگاهی دقیق و جامع از مسائل طبیعی حوضه‌های آبی کشور امکان‌پذیر نیست (Montazeri و Qayoor, ۲۰۱۰).

شدیدترین روند کاهش و ماه‌های جولای و نوامبر شدیدترین روند افزایشی را داشتند. Al-Tabbaa و Pal (۲۰۰۹) روند بارش‌های بیشینه‌ای فصول زمستان، بهار و پاییز را در طی دوره زمانی ۱۹۵۴ تا ۲۰۰۳ در هند با آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بارش‌های بیشینه‌ای فصل بهار روند کاهشی دارد.

Jiang و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات زمانی و مکانی بارش را در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ در حوضه رودخانه یانگ‌تسه با روش من-کندال و رگرسیون بررسی کردند. نتایج حاکی از افزایش قابل ملاحظه بارش در تابستان ۱۹۹۰ بود. Yoon و Chung (۲۰۰۰) به مطالعه روند تغییرات دما و بارش در کره پرداخته و گزارش دادند که متوسط دمای کره از ۱۹۷۴ تا ۱۹۹۷، ۰/۹۶ درجه افزایش یافته است و بارش فاقد روند خاصی بوده است.

De Luis و همکاران (۲۰۱۰) از داده‌های بارش ماهانه ۱۱۱۳ ایستگاه زمینی طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۰ برای تعیین روند سالانه بارش شبه جزیره ایبری و برای نمایش توزیع مکانی نتایج حاصل از روندهای شناسایی شده، از روش میان‌یابی به روش وزن‌دهی فاصله معکوس^۵ استفاده کردند. نتایج آشکار ساخت که تغییرات مکانی روند، بسیار زیاد و قابل توجه است. Hartman و Andresky (۲۰۱۳) با آزمون ناپارامتری من-کندال در دوره زمانی ۲۰۱۰-۱۹۵۱، روند بارش را در حوضه رودخانه ایندوس مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این بررسی افزایش روند بارش را در مناطق کوهستانی شمال غربی و شرقی و کاهش روند بارش را در شمال شرقی حوضه نشان داد.

در ایران، Kaviani و Asakareh (۲۰۰۲) در تحلیل روند بلندمدت بارش سالانه اصفهان، ضمن استفاده از روش من-کندال، عدم وجود روند را در سری زمانی ۱۰۳ ساله بارش اصفهان تأیید کردند. Khalili و Bazrafshan (۲۰۰۳) روند تغییرات بارندگی فصلی و ماهیانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در ۱۱۶ سال گذشته را تحلیل کردند. Montazeri (۲۰۰۷) در پژوهشی، روند بارش و خشکسالی در حوضه کارون را

مهمترین روش‌های آماری برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی فراسنج‌هایی نظیر دما و بارش است، از دو روش پارامتری رگرسیون خطی^۱ و ناپارامتری من-کندال^۲ و اسپیرمن^۳ استفاده می‌شود (Hejazizadeh و Javizadeh، ۲۰۰۹). چون در روش‌های ناپارامتری شرط نرمال بودن توزیع داده‌ها مطرح نیست، از این‌رو، اغلب مطالعات روند با بهره‌گیری از روش ناپارامتری صورت گرفته است. خوشبختانه ادبیات اقلیم‌شناسی در خصوص برآورد تغییرات بارش در گستره‌های جغرافیایی بسیار غنی است. در این زمینه می‌توان به پژوهش Mosmann و همکاران (۲۰۰۴) اشاره کرد که ضمن بررسی روند بارش تابستانه در اسپانیا در بازه زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ روند قابل ملاحظه‌ای را در منطقه وسیعی از مین‌لند اسپانیا نشان دادند. Gemmer و همکاران (۲۰۰۴) روندهای بارش ماهیانه در چین در طی دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۲ مورد بررسی قرار دادند. آنان مشخص کردند که روند در ماه‌های خاصی وجود دارد و به‌خوبی در قسمت‌های شرقی و شمال شرقی چین قابل مشاهده است. Ercan و Turgay (۲۰۰۵) میانگین روند سالانه و ماهیانه بارش را با آزمون ناپارامتری من-کندال و آزمون سن^۴ در ترکیه بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که روندهای قابل توجهی به خصوص در ماه‌های ژانویه، فوریه و سپتامبر و میانگین سالیانه در این منطقه وجود دارد.

Jayawardene و همکاران (۲۰۰۵) روند بارش سالانه در سریلانکا طی قرن اخیر با استفاده از داده‌های ثبت شده در ۱۵ ایستگاه هواشناسی را بررسی کردند. در این بررسی، یک روند افزایشی قابل توجه با نرخ ۳/۱۵ میلی‌متر در سال در کلومبر و یک روند کاهشی با نرخ ۲/۸۸ و ۴/۸۷ میلی‌متر در سال به ترتیب در کندی و نووآرا الیا مشاهده شد. Guo و Ampitiyawatta (۲۰۰۹) روند بارشی سالیانه و ماهیانه را با آزمون آماری من-کندال در حوضه کالوگنگا در سریلانکا بررسی کردند. بر اساس این پژوهش، روند منفی بارش سالانه در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی، نمودی آشکار داشت. در این منطقه ماه‌های آوریل و آگست

¹ Linear regression

² Mann-Kendall

³ Spearman

⁴ Sen

⁵ Inverse distance weighted

نوع پوشش‌های سطح زمین، وجود پهنه آبی و ... از ناهمگنی درونی برخوردار است که این ناهمگنی درونی در نوع، مقدار، رژیم بارش و رفتار زمانی-مکانی آن در این حوضه تأثیر دارد. به بیان دیگر، موقعیت جغرافیایی ویژه این حوضه به‌خصوص استقرار در جنوب توده آبی خزر، وجود کوهستان‌های مرتفع، ناهمواری متنوع و پیچیده و تغییرات مکانی مداوم فرودها و فرازهای امواج غربی بر روی این پهنه و اطراف آن سبب شده که بارش به‌عنوان یکی از مهمترین نهاده‌های اقلیمی از توزیع مکانی و زمانی پیچیده‌ای برخوردار باشد. از این‌رو، بررسی و تحلیل روند مکانی و زمانی بارش در این حوضه به‌عنوان هدف پژوهش مورد توجه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

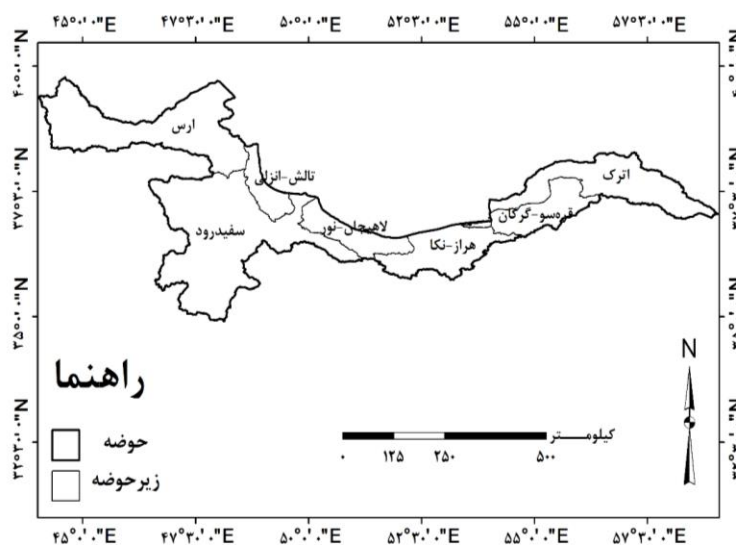
محدوده مطالعاتی: حوزه آبخیز خزر با ۱۷۲۱۲۲ کیلومتر مربع وسعت (۱۱ درصد مساحت کشور)، در گستره‌ای میان آرات در شمال غربی کشور تا سرچشمه‌های اترک و گرگان در نزدیکی شیروان (خراسان شمالی) و خط الرأس‌های رشته‌های تالش و البرز واقع است. از نظر جغرافیایی این حوضه بین مدار 35° تا $45^{\circ} 45'$ عرض شمالی از استوا و $44^{\circ} 5'$ تا 59° طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ قرار گرفته است. وجود ارتفاعات البرز و سایر ارتفاعات حوضه باعث شده که اقلیم خاصی بر این محدوده حاکم باشد که ناحیه معتدل خزری، ناحیه سرد و مرطوب کوهستانی از آن جمله است. نزدیکی و دوری دریا و کوه در جلگه خزر از آستارا تا گرگان باعث به‌وجود آمدن اقلیم مرطوب در قسمت شمالی البرز شده است. متوسط بارش سالانه در انزلی، قائم‌شهر و گرگان به‌ترتیب حدود ۱۸۶۲/۷، ۷۱۶/۶ و ۵۹۴/۸ میلی‌متر است. البته این بارندگی در ساحل دریا و داخل خشکی (جلگه) یکسان نیست (Afshin, ۱۹۹۵). بنابراین، غرب ناحیه خزری نسبت به شرق و مرکز آن دارای آب و هوای ملایم، معتدل، مرطوب و بارش بیشتری است. حوضه خزر در تقسیمات حوضه‌های کشور، شامل هفت زیرحوضه ارس، تالش-مرداب انزلی، سفیدرود، لاهیجان-نور، هراز-نکا، قره‌سو-گرگان و اترک به‌ترتیب از غرب به شرق است (شکل ۱).

با استفاده از شاخص بارش استاندارد مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که بارش حوضه در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس دارای روند مثبت بوده است.

Gandomkar و همکاران (۲۰۱۱) ضمن بررسی سه پارامتر بارش سالانه، درجه حرارت کیمنه و بیشینه در ۳۶ ایستگاه سینوپتیک و اقلیم‌شناسی طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۶ در حوضه سفیدرود با روش من-کندال به این نتیجه رسیدند که دماهای متوسط دارای روند افزایشی و متوسط بارش دارای روند کاهشی است. Mohammadi (۲۰۱۲) روند بارش ایران را با استفاده از داده‌های ۱۴۳۷ ایستگاه همدید اقلیمی و باران‌سنجی طی یک دوره ۴۰ ساله (۲۰۰۳-۱۹۶۵) بررسی کرد و با استفاده از روش آماری ناپارامتریک من-کندال معنی‌داری روند میانگین بارش را آزمون کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که در سری‌های زمانی میانگین ایستگاهی و یاخته‌ای بارش ایران، روند افزایشی یا کاهشی معنی‌داری وجود ندارد.

Halabian (۲۰۱۷) ضمن استفاده از داده‌های بارش پایگاه داده GPCC در یک دوره ۴۰ ساله (۲۰۱۳-۱۹۷۴) با استفاده از روش درون‌یابی IDW و آزمون ناپارامتری من-کندال به بررسی تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران پرداخت. نتایج نشان داد که در سری زمانی بارش سالانه ایران، بارش روندی کاهشی و معنادار از خود نشان می‌دهد. در سری‌های زمانی فصلی، زمستان روند کاهشی معنی‌دار دارد، ولی در سه فصل بهار، تابستان و پاییز و در سری‌های زمانی ماهیانه فرض وجود روند تأیید نشد. بررسی پژوهش‌های فوق که عمدتاً با داده‌های ایستگاهی انجام شده است، وجود روند را در عنصر اقلیمی بارش در مناطق متعدد جهان و به‌ویژه ایران نشان می‌دهد که در این بین روند کاهشی بارش بیشتر به چشم می‌خورد. از نقاط قوت پژوهش حاضر که با هدف واکاوی روند مکانی و زمانی بارش در حوضه خزر انجام شده، استفاده از داده‌های شبکه‌ای با تفکیک مکانی مناسب پایگاه داده GPCC است که آن را از پژوهش‌های فوق متمایز می‌کند.

در این پژوهش، حوضه خزر به‌عنوان یک واحد مطالعاتی در نظر گرفته شد. این حوضه وسیع از نظر گستردگی طول و عرض جغرافیایی، تنوع ناهمواری،



شکل ۱- موقعیت حوضه خزر و زیرحوضه‌های آن

و ماتریسی در ابعاد 756×619 تهیه شد که سطرها نشان‌دهنده زمان و ستون‌ها نشان‌دهنده پیکسل‌های مکانی پایگاه یادشده است. در مرحله بعدی، از روی Shapefile حوضه خزر، داده‌های بارش بر روی این حوضه استخراج و ماتریسی در ابعاد 756×70 تهیه شد. همچنین، از آن‌جا که مقیاس زمانی داده‌های این پایگاه بارشی، ماهانه است، با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط Matlab، داده‌ها در دو مقیاس زمانی فصلی و سالانه نیز تهیه و مرتب شد. در ادامه، به‌منظور ارزیابی روند مکانی و زمانی بارش با برنامه‌نویسی در محیط این نرم‌افزار از داده‌های استخراج شده از این پایگاه بارشی میزان آماره من-کندال در مقیاس ماهیانه، فصلی و سالانه محاسبه و در محیط نرم‌افزار ArcGIS نقشه‌های ۱۷ گانه (یک سال، چهار فصل و ۱۲ ماه) روند مکانی بارش برای ۷۰ پیکسل حوضه خزر تهیه و معناداری روند سری‌های زمانی نیز از طریق این آزمون ناپارامتری با احتمال ۹۵ درصد آزمون شد.

از آنجایی که بارش به‌عنوان یک عنصر اقلیمی رفتاری غیرخطی دارد و نیز از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند، روش‌های آماری ناپارامتری ابزاری مفید برای بررسی این عنصر اقلیمی است (Asakereh, 2007). در عین حال، به پیشنهاد سازمان جهانی هواشناسی (WMO, 1996؛ Zbigniew, 2000) تحلیل روند غیرخطی بر داده‌های اقلیمی (به‌خصوص داده‌های غیرنرمال مانند بارش) برازش مناسب‌تری پیدا می‌کند.

روش پژوهش: در این پژوهش، برای بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی بارش از داده‌های پایگاه داده جهانی GPCC^۱ (مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهان) استفاده شد. صحت داده‌های این پایگاه داده شبکه‌ای بارش قبلا به‌وسیله Masoodian و همکاران (2014) و Keykhosravi Kiani (2012) مورد بررسی قرار گرفته که نشان می‌دهد، داده‌های GPCC از ضریب اطمینان بالایی برخوردار بوده، به‌گونه‌ای که ضریب همبستگی حاصل از مقایسه داده‌های بارش GPCC و داده‌های ایستگاهی ایران موسوم به اسفزاری^۲ بیش از ۸۰ درصد است. بنابراین، با توجه به این همبستگی بالا و تعدد بسیار زیاد ایستگاه‌های استفاده شده در پایگاه داده شبکه‌ای بارش GPCC با اطمینان بیشتری می‌توان از داده‌های شبکه‌ای این پایگاه استفاده کرد. در مرحله نخست داده‌های این پایگاه بارش در بازه زمانی ۶۳ ساله (۱۹۵۱ تا ۲۰۱۳) که به‌صورت ماهانه و در تفکیک مکانی ۰/۵ در ۰/۵ درجه قوسی موجود است، با برنامه‌نویسی در نرم‌افزار Matlab و با بهره‌گیری از تابع اینپولیگون^۳ بر روی مرز جغرافیایی ایران اخذ شد

^۱ Global Precipitation Climatology Center

^۲ این پایگاه داده شبکه‌ای به‌وسیله Masoodian برای سنجش‌های هواشناسی نظیر دما، بارش و رطوبت جوی و برخی عناصر اقلیمی دیگر تهیه شده و به افتخار اقلیم‌شناس برجسته ایرانی حکیم ابوحاتم اسفزاری نام‌گذاری شده است. داده‌های شبکه‌ای بارش این پایگاه داده براساس دیده‌بانی‌های ۱۴۳۷ ایستگاه باران‌سنجی، کلیماتولوژی و سینوپتیکی تهیه شده است.

^۳ In polygon

که در آن، α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌دار α است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است. در پژوهش حاضر، این آزمون برای احتمال ۹۵ درصد به کار گرفته شد. فرض مقابل یا یک بر وجود روند دلالت دارد و به این معنی است که Z از نظر آماری معنادار است. وقتی این فرض تأیید می‌شود که $Z < -Z_{\alpha/2}$ یا $Z > Z_{\alpha/2}$ باشد. مقادیر مثبت Z روند صعودی و مقادیر منفی روند نزولی را در داده‌ها نشان می‌دهد (Vivekanandan, 2007).

نتایج و بحث

روند مکانی بارش ماهانه: بررسی روند مکانی بارش در حوضه خزر نشان می‌دهد که این نهاد اقلیمی در ماه ژانویه در زیرحوضه‌های ارس، تالش-انزلی، سفیدرود، لاهیجان-نور، قره‌سو-گرگان و اترک فاقد روند معنی‌دار بوده است. این در حالی است که در ارتفاعات و دامنه‌های البرز در زیرحوضه هراز-نکا از شرق تا غرب و در نیمه شرقی کرانه‌های پست ساحلی این زیرحوضه، روند افزایشی معنادار داشته است (شکل ۲). بارش در ماه فوریه در زیرحوضه‌های ارس، تالش-انزلی، لاهیجان-نور، هراز-نکا، قره‌سو-گرگان و اترک فاقد روند معنی‌دار بوده است. در بخش‌های مرکزی، جنوبی و شرقی زیرحوضه سفیدرود نیز بارش در دوره آماری مورد بحث فاقد روند بوده، در مقابل، این سنجه مهم اقلیمی در پهنه شمال غربی زیرحوضه سفیدرود روند کاهشی معنی‌دار داشته است (شکل ۳). تحلیل تغییرات مکانی بارش حوضه خزر در ماه مارس نشان می‌دهد که این نهاد مهم اقلیمی در زیرحوضه‌های لاهیجان-نور و هراز-نکا فاقد روند معنی‌دار بوده است. در عین حال، در بخش‌های جنوب شرقی زیرحوضه ارس از جمله ارتفاعات، دامنه‌ها، دشت‌ها و سواحل جانب دریای خزر در این زیرحوضه، پهنه غربی زیرحوضه تالش-انزلی مشتمل بر ارتفاعات و دامنه‌های غربی و کرانه‌ها و پس‌کرانه‌های این زیرحوضه، نیمه شمالی و بخش مرکزی زیرحوضه سفیدرود شامل ارتفاعات و دامنه‌ها، دره‌ها و دشت‌های این زیرحوضه، تقریباً تمام سطح زیرحوضه قره‌سو-

آزمون من-کندال یک آزمون آماری است که برای بررسی تصادفی بودن و تعیین روند در سری‌ها استفاده می‌شود. این آزمون روش مناسب تجزیه و تحلیل نوسانات اقلیمی در سری‌های زمانی در اقلیم‌شناسی به‌شمار می‌رود. این آزمون در سال ۱۹۸۸ به‌وسیله سازمان جهانی هواشناسی (Zbigniew, 2000) پیشنهاد شد و در بررسی معنی‌داری روند سری‌های اقلیمی به کرات و در موارد مختلف استفاده شده است. مراحل محاسبه آزمون ناپارامتری من-کندال به شرح زیر است.

۱. محاسبه اختلاف بین تک تک جملات سری با هم و اعمال تابع علامت^۱ و استخراج پارامتر s به شرح رابطه (۱) می‌باشد.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (1)$$

که در آن، n تعداد جملات سری، X_k و X_j به ترتیب داده‌های k ام و j ام سری هستند. تابع علامت نیز به شرح رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$\text{sgn}(X_j - X_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

۲. محاسبه واریانس با استفاده از یکی از روابط (۳) و (۴):

اگر $n > 10$

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (3)$$

اگر $n \leq 10$

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (4)$$

که در آن، n تعداد داده‌ها و m معرف تعداد سری-هایی است که در آن‌ها دست کم یک داده‌ی تکراری وجود دارد و t بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است.

۳. استخراج آماره Z به کمک رابطه (۵):

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

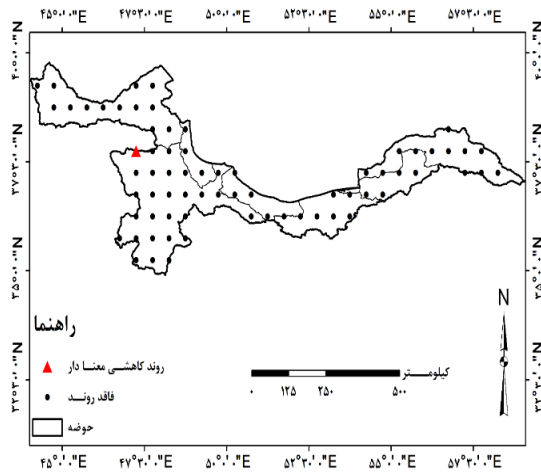
در یک آزمون دو دامنه برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه (۶) برقرار باشد.

$$|Z_s| \leq Z_{\alpha/2} \quad (6)$$

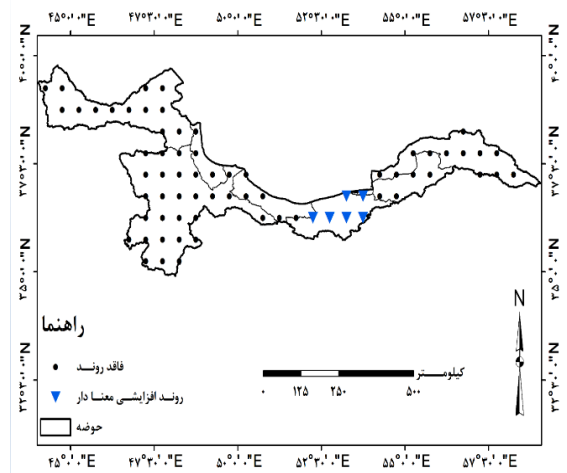
¹ Sign function

بخش‌هایی از غرب و جنوب غربی زیرحوضه سفیدرود به‌ویژه ارتفاعات و دامنه‌های غربی و ارتفاعات، دامنه‌ها و دشت‌های جنوب غربی این زیرحوضه روند معنادار کاهشی بارش مشاهده می‌شود. در سایر بخش‌های این زیرحوضه نیز بارش فاقد روند بوده است (شکل ۵).

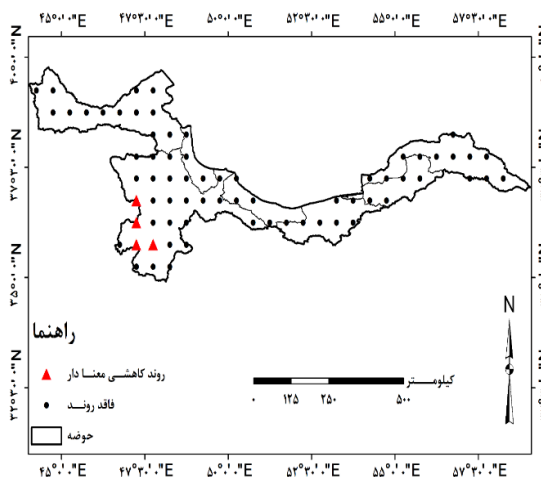
گرگان به جز حاشیه جنوبی آن و کرانه‌ها و پسرکرانه‌های غربی زیرحوضه اترک روند معنی‌دار کاهشی بارش مشاهده می‌شود (شکل ۴). در ماه آوریل تغییرات مکانی بارش در زیرحوضه‌های ارس، تالش-انزلی، لاهیجان-نور، هراز-نکا، قره‌سو-گرگان و اترک فاقد روند معنادار است. این در حالی است که در



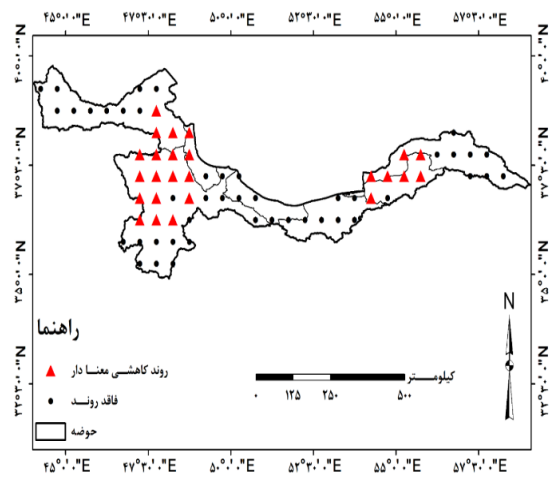
شکل ۳- روند مکانی بارش در ماه فوریه



شکل ۲- روند مکانی بارش در ماه ژانویه



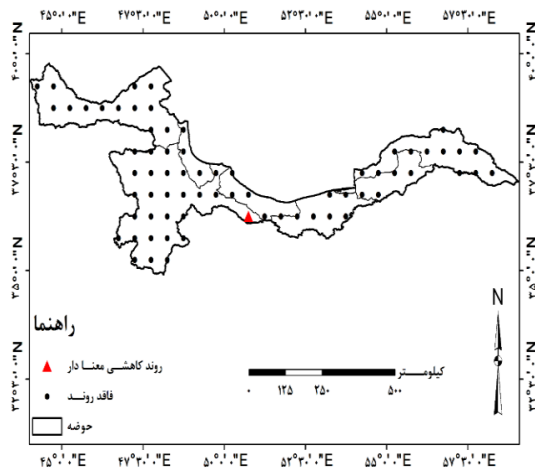
شکل ۵- روند مکانی بارش در ماه آوریل



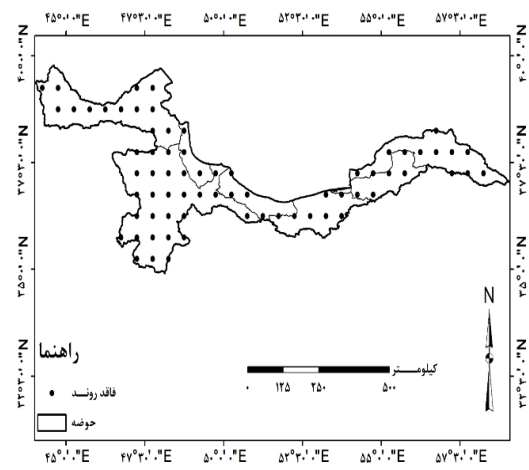
شکل ۴- روند مکانی بارش در ماه مارس

لاهیجان-نور، هراز-نکا، قره‌سو-گرگان و اترک فاقد روند معنی‌دار بوده است. تقریباً در تمامی بخش‌های زیرحوضه سفیدرود نیز بارش این ماه فاقد روند معنی‌دار بوده است. این در حالی است که بارش در ارتفاعات و دامنه‌های البرز در شرق این زیرحوضه روند کاهشی معنی‌دار دارد.

تحلیل روند مکانی بارش ماه می در حوضه خزر نشان می‌دهد که بارش در این ماه در تمام سطح زیرحوضه‌های هفت‌گانه ارس، تالش-انزلی، سفیدرود، هراز-نکا، لاهیجان-نور، قره‌سو-گرگان و اترک از شرق تا غرب حوضه فاقد روند معنادار بوده است. در ماه ژوئن بارش در زیرحوضه‌های ارس، تالش-انزلی،



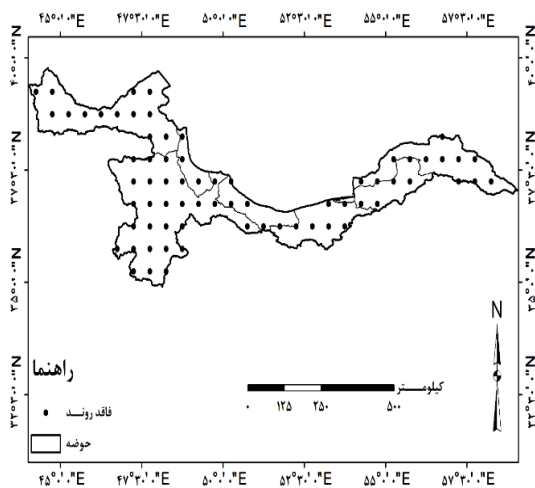
شکل ۷- روند مکانی بارش در ماه ژوئن



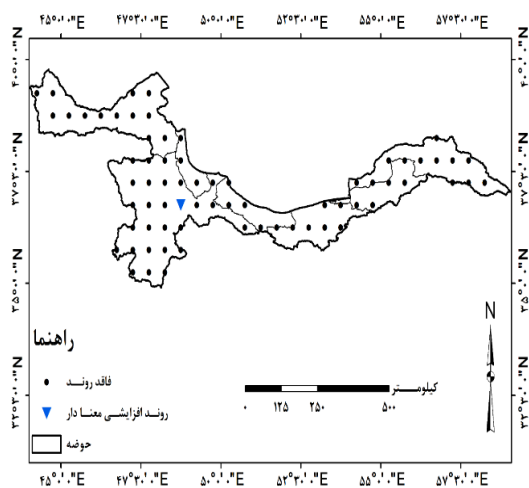
شکل ۶- روند مکانی بارش در ماه می

زیرحوضه نیز بارش ماه جولای فاقد روند بوده است (شکل ۸). تحلیل روند مکانی بارش ماه آگوست در حوضه خزر نیز حکایت از این موضوع دارد که بارش در تمامی زیرحوضه‌های هفت‌گانه ارس، تالش-انزلی، سفیدرود، هراز-نکا، لاهیجان-نور، قره‌سو-گرگان و اترک از شرق تا غرب فاقد روند معنی‌دار بوده است (شکل ۹).

بررسی تغییرات مکانی بارش در ماه جولای نشانگر این است که در زیرحوضه‌های ارس، تالش-انزلی، لاهیجان-نور، هراز-نکا، قره‌سو-گرگان و اترک، بارش فاقد روند معنی‌دار است. این در حالی است که این سنجه مهم اقلیمی در زیرحوضه سفیدرود در پهنه کوچکی از مرکز این زیرحوضه که دربر گیرنده ارتفاعات مشرف به دره سفیدرود است، روند افزایشی معنی‌دار در این ماه دارد. در سایر قسمت‌های این



شکل ۹- روند مکانی بارش در ماه آگوست



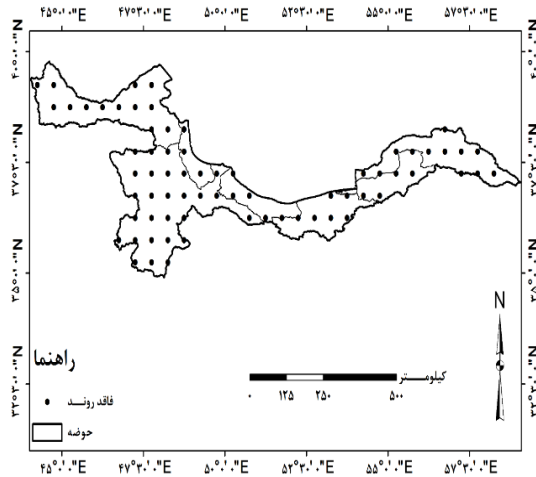
شکل ۸- روند مکانی بارش در ماه جولای

در ماه نوامبر بارش در تمامی زیرحوضه‌های ارس، تالش-انزلی، لاهیجان-نور، سفیدرود، قره‌سو-گرگان و اترک فاقد روند معنی‌دار است. این در حالی است که در ارتفاعات البرز در جنوب شرقی و بخش غربی زیرحوضه هراز-نکا روند افزایشی معنی‌دار بارش مشاهده می‌شود. بارش در نواحی ساحلی، مرکزی و ارتفاعات البرز در

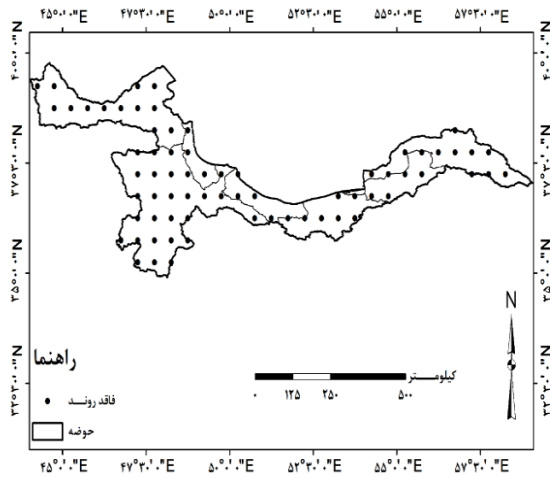
تحلیل تغییرات مکانی بارش در حوضه خزر نشان می‌دهد که این سنجه مهم اقلیمی در ماه‌های سپتامبر و اکتبر در تمامی زیرحوضه‌های هفت‌گانه ارس، تالش-انزلی، سفیدرود، هراز-نکا، لاهیجان-نور، قره‌سو-گرگان و اترک از شرق تا غرب حوضه فاقد روند معنی‌دار بوده است (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

سفيدرود نيز بارش فاقد روند معنی دار بوده است. بررسی های کلی روند مکانی بارش ماهانه حوضه خزر نشان می دهد که بارش در زیرحوضه های سفیدرود و قره سو-گرگان بیشترین روند کاهشی و در زیرحوضه هراز-نکا بیشترین روند افزایشی را داشته است (شکل ۱۳).

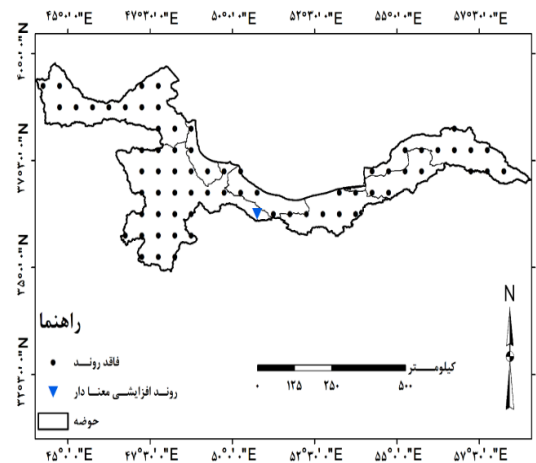
جنوب این زیرحوضه نیز فاقد روند بوده است (شکل ۱۲). در ماه دسامبر بارش در تمامی زیرحوضه های ارس، تالش-انزلی، لاهیجان-نور، هراز-نکا، قره سو-گرگان و اترک فاقد روند معنی دار است. این در حالی است که در ارتفاعات و دامنه های البرز در منتهی الیه شرقی زیرحوضه سفیدرود روند افزایشی معنادار بارش نمودی آشکار دارد. در سایر بخش های زیرحوضه



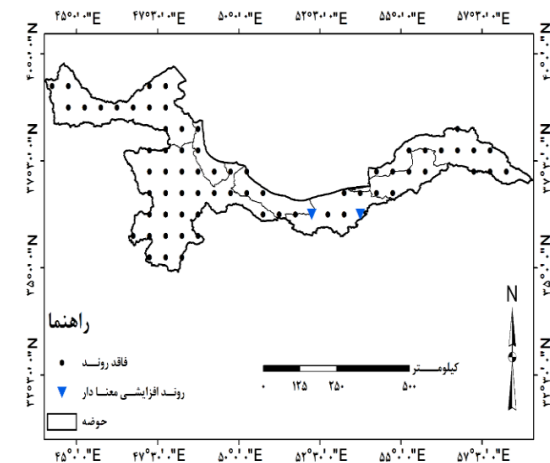
شکل ۱۱- روند مکانی بارش در ماه اکتبر



شکل ۱۰- روند مکانی بارش در ماه سپتامبر



شکل ۱۳- روند مکانی بارش در ماه دسامبر

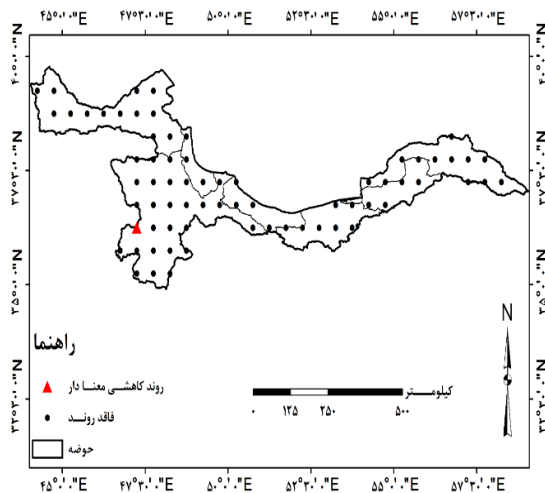


شکل ۱۲- روند مکانی بارش در ماه نوامبر

تمامی بخش های زیرحوضه تالش-انزلی فاقد روند بوده ولی شواهد در ارتفاعات و دامنه های واقع در حاشیه غربی زیرحوضه، حاکی از روند کاهشی معنادار بارش است. بررسی تغییرات مکانی بارش زمستانه در زیرحوضه سفیدرود نیز نشان از روند کاهشی معنی دار بارش در سراسر این زیرحوضه به جز بخش های شرقی و جنوبی آن که فاقد روند بوده دارد. بارش زمستانه تقریباً در نیمه جنوبی زیرحوضه

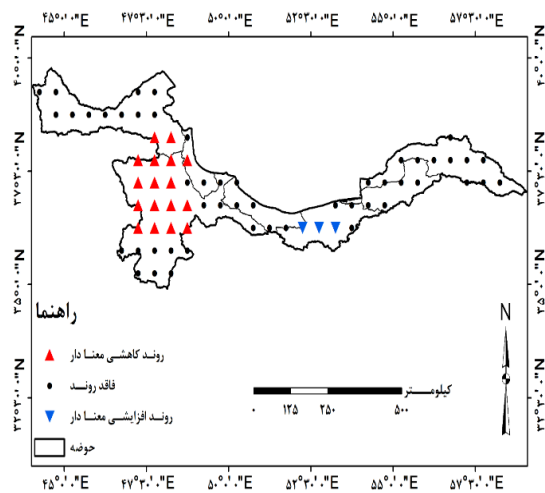
روند مکانی بارش فصلی: تحلیل روند مکانی بارش زمستانه حوضه خزر نشان می دهد که در این فصل بارش در تمامی بخش های زیرحوضه های لاهیجان-نور، قره سو-گرگان و اترک فاقد روند معنی دار است. این در حالی است که این نهاده مهم اقلیمی در بخش های غربی، مرکزی و شمال شرقی زیرحوضه ارس فاقد روند، ولی در پهنه جنوب شرقی آن روند کاهشی معنی دار دارد. بارش در تقریباً

قره‌سو-گرگان و اترک فاقد روند معنی‌دار است. در عین حال، این سنجه اقلیمی تنها در منتهی‌الیه غربی زیرحوضه سفیدرود که ارتفاعات و دامنه‌های غربی را در بر می‌گیرد، روند کاهشی معنی‌دار دارد. در سایر بخش‌های این زیرحوضه نیز بارش فاقد روند بوده است (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- روند مکانی بارش در فصل بهار

هراز-نکا مشتمل بر ارتفاعات و دامنه‌های غربی و جنوبی روند افزایشی معنی‌دار را نشان می‌دهد. این در حالی است که بارش زمستانه در کرانه‌ها و پس‌کرانه‌های ساحلی، ارتفاعات و دامنه‌های شرقی این زیرحوضه نیز فاقد روند بوده است (شکل ۱۴). در فصل بهار بارش در تمامی زیرحوضه‌های ارس، تالش-انزلی، لاهیجان-نور، هراز-نکا،



شکل ۱۴- روند مکانی بارش در فصل زمستان

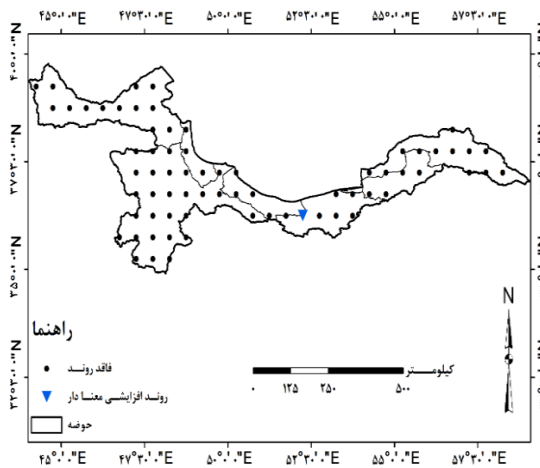
داشته است (شکل ۱۷).

روند مکانی بارش سالانه: واکاوی روند مکانی بارش سالانه در حوضه خزر نشان می‌دهد که تغییرات مکانی بارش در زیرحوضه‌های لاهیجان-نور، هراز-نکا، قره‌سو-گرگان و اترک فاقد روند معنی‌دار بوده است. بارش در نیمه غربی، بخش مرکزی و شمال‌شرقی زیرحوضه ارس نیز فاقد روند بوده ولی در ارتفاعات، دامنه‌ها، کرانه‌ها و پس‌کرانه‌های ساحلی جنوب‌شرقی این زیرحوضه روند کاهشی معنی‌دار بارش نمودی آشکار دارد. در عین حال، بررسی تغییرات مکانی بارش سالانه در زیرحوضه تالش-انزلی نشان از روند کاهشی معنی‌دار این نهاد مهم اقلیمی در جانب غربی این زیرحوضه مشتمل بر ارتفاعات، دامنه‌ها و کرانه‌ها و پس‌کرانه‌های ساحلی دارد. در نیمه جنوبی این زیرحوضه نیز بارش فاقد روند بوده است. بارش سالانه در زیرحوضه سفیدرود در ارتفاعات، دامنه‌ها، دره‌ها و نواحی کم ارتفاع و پست شمالی و مرکزی روند کاهشی معنی‌دار را نشان می‌دهد. این در حالی است که بارش در ارتفاعات، دامنه‌ها و نواحی کم ارتفاع

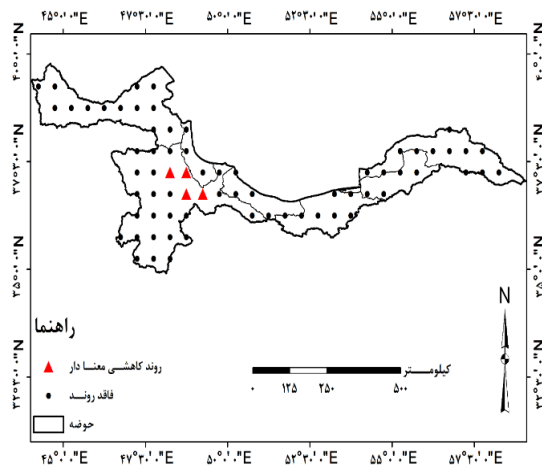
در فصل تابستان بارش در تمامی زیرحوضه‌های ارس، تالش-انزلی، لاهیجان-نور، هراز-نکا، قره‌سو-گرگان و اترک فاقد روند معنی‌دار است. این در حالی است که بارش در بخش‌هایی از پهنه‌های شمال شرقی و شرقی زیرحوضه سفیدرود که عمدتاً نواحی مرتفع و دامنه‌ای را در بر می‌گیرد، دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده است. بارش تابستانه در ارتفاعات و دامنه‌های شمالی، مرکزی، غربی، جنوبی، ارتفاعات البرز در شرق و کرانه‌های و پس‌کرانه‌های ساحلی در شمال شرق این زیرحوضه نیز فاقد روند بوده است (شکل ۱۶). در فصل پاییز بارش در تمامی زیرحوضه‌های ارس، تالش-انزلی، لاهیجان-نور، سفیدرود، قره‌سو-گرگان و اترک فاقد روند معنی‌دار است. این در حالی است که در ارتفاعات و دامنه‌های غربی زیرحوضه هراز-نکا روند افزایشی معنی‌دار بارش مشهود است. در ارتفاعات جنوبی (نوار البرز)، دامنه‌های مرکزی، ارتفاعات و دامنه‌های شرقی، کرانه‌ها و پس‌کرانه‌های ساحلی این زیرحوضه نیز بارش فاقد روند معنی‌دار بوده است. بررسی‌های کلی روند مکانی بارش فصلی حوضه خزر نشان می‌دهد که بارش در زیرحوضه سفیدرود بیشترین روند کاهشی و در زیرحوضه هراز-نکا بیشترین روند افزایشی را

شاهد روند کاهشی معنی‌دار بارش و یا در بخش‌هایی فاقد روند بوده، این در حالی است که بخش‌های مرکزی و نیمه شرقی حوضه فاقد روند بوده است.

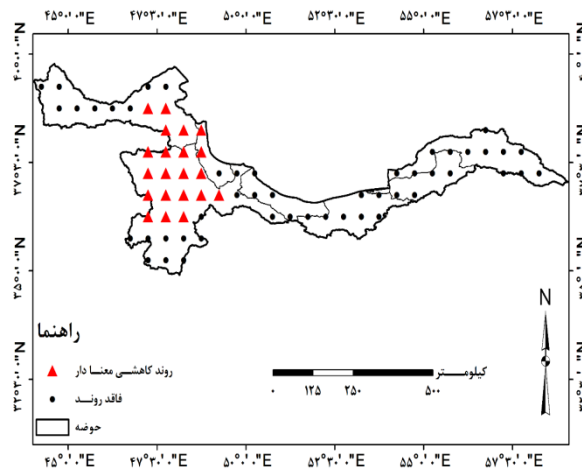
جنوبی و شرقی و کرانه‌ها و پس‌کرانه‌های ساحلی این زیرحوضه نیز فاقد روند بوده است. به‌طور کلی، بررسی نقشه روند مکانی بارش سالانه حوضه خزر نشان می‌دهد که نیمه غربی آن در طول دوره آماری مورد بحث



شکل ۱۷- روند مکانی بارش در فصل پاییز



شکل ۱۶- روند مکانی بارش در فصل تابستان



شکل ۱۸- روند مکانی بارش سالانه حوضه خزر

نیز آشکار ساخت که بارش در فصول چهارگانه سال نیز روندی نزولی به‌جز در پاییز داشته؛ اما این روند در هیچ یک از این فصول معنی‌دار نبوده است. بدین ترتیب، فرض وجود روند با احتمال ۹۵ درصد در این فصول تأیید نمی‌شود. بررسی و تحلیل روند بارش حوضه خزر در سری‌های زمانی ماهانه نیز حکایت از روند کاهشی و معنی‌دار بارش در ماه مارس در تمامی سطح حوضه طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۳ میلادی دارد. این در حالی است که در بقیه ماه‌های سال روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود و فقط تغییرات ناگهانی بارش آن هم عمدتاً در جهت نزولی رخ داده است.

روند زمانی بارش: به‌منظور واکاوی روند زمانی بارش در حوضه خزر سری‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه، محاسبه و با روش ناپارامتری من-کندال روند افزایشی یا کاهشی با احتمال ۹۵ درصد آزمون شد. در سری زمانی سالانه حوضه خزر، بارش روندی کاهشی از خود نشان می‌دهد. مقدار عددی تقریباً $-1/96$ برای رخداد بارش سالانه نشان‌دهنده این است که حوضه خزر در دوره آماری مورد بحث با کاهش بارش روبرو بوده، اما فاقد روند معنی‌دار است. واکاوی سری‌های زمانی فصلی در حوضه خزر پس از انجام آزمون من-کندال

جدول ۱- مقادیر عددی آزمون من-کندال

دوره	سری زمانی بارش	نتیجه آماره من-کندال	روند
ماه‌بانه	ژانویه	+۰/۶۲۸۶۹۵	فاقد روند
	فوریه	+۰/۲۴۹۱۰۶	فاقد روند
	مارس	-۲/۵۰۲۹۲	روند کاهشی معنادار
	آوریل	-۱/۵۸۹۵۳	فاقد روند
	می	-۰/۵۶۹۳۸	فاقد روند
	ژوئن	-۱/۱۱۵۰۴	فاقد روند
	جولای	+۰/۰۳۵۵۸۷	فاقد روند
	آگوست	-۰/۱۱۸۶۲	فاقد روند
	سپتامبر	-۰/۸۶۵۹۴	فاقد روند
	اکتبر	-۰/۰۹۴۹	فاقد روند
	نوامبر	+۰/۰۳۵۵۸۷	فاقد روند
	دسامبر	+۱/۰۰۸۲۸۵	فاقد روند
فصلی	زمستان	-۱/۱۸۶۲۲	فاقد روند
	بهار	-۱/۴۲۳۴۶	فاقد روند
	تابستان	-۱/۱۰۳۱۸	فاقد روند
	پاییز	+۰/۲۴۹۱۰۶	فاقد روند
سالانه	سالانه	-۱/۹۵۷۲۶	فاقد روند

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روند مکانی-زمانی بارش در حوضه خزر با استفاده از آماره من-کندال با کدنویسی در محیط Matlab واکاوی و الگوهای روند مکانی بارش در بازه‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه به کمک ArcGIS استخراج شد. با بررسی نقشه‌های روند مکانی بارش مشخص شد که در ماه‌های می، آگست، سپتامبر و اکتبر بارش در تمام سطح حوضه خزر فاقد روند معنی‌دار بوده است. این نتیجه با تحقیقات Montazeri و Qayoor (۲۰۱۰) که بارش زیرحوضه‌های خزر را در ماه‌های ژانویه، می و دسامبر فاقد روند معنی‌دار تشخیص داده‌اند به استثناء ماه می متفاوت هست. در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، ژوئن، جولای، نوامبر و دسامبر و چهار فصل سال فقط در مناطق محدودی از حوضه، بارش روند معنی‌دار کاهشی یا افزایشی داشته که در این میان روند کاهشی معنی‌دار بارش بیشتر مشاهده می‌شود. در بین ماه‌های سال، روند معنی‌دار افزایشی بارش بیشتر در ماه‌های ژانویه و نوامبر به چشم می‌خورد که این موضوع نیز با پژوهش

Montazeri و Qayoor (۲۰۱۰) که معتقد به روند افزایشی بارش در ماه‌های فوریه و جولای هستند، متفاوت است. در بازه زمانی سالانه نیز بارش در بخش‌های شرقی زیرحوضه ارس، بخش‌های مرکزی و شمالی زیرحوضه سفیدرود و جانب غربی زیرحوضه تالش-انزلی دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده و در سایر بخش‌های حوضه و سایر زیرحوضه‌ها فاقد روند مشخص بوده است. نتایج حاصل از واکاوی روند زمانی بارش در حوضه خزر نیز نشان داد که تغییرات زمانی بارش در طول دوره آماری در سطح این حوضه فقط در ماه مارس با میزان آماره کندال -۲/۵۰۲۹۲ دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده، در سایر ماه‌های سال و بازه زمانی فصلی و سالانه فاقد روند معنی‌دار بوده است. در مجموع، واکاوی تغییرات مکانی و زمانی بارش در حوضه خزر نشان از ظهور روند نزولی بارش در اغلب بازه‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در این گستره جغرافیایی است که می‌تواند عوارض زیست‌محیطی ناگواری را در این پهنه به دنبال داشته باشد.

منابع مورد استفاده

1. Ampitiyawatta, A. and Sh. Guo. 2009. Precipitation trends in the Kalu Ganga Basin in Sri Lanka.

- Journal of Agricultural Science, 4(1): 10-18.
2. Afshin, Y. 1995. Iranian rivers. Ministry of Energy, Jamab Consulting Engineers, 1187 pages (in Persian).
 3. Asakereh, H. 2007. Spatio-temporal changes of Iran inland precipitation during recent decades. *Geography and Development Iranian Journal*, 5(10): 145-164 (in Persian).
 4. Chung, Y.S. and M.B. Yoon. 2000. Interpretation of recent temperature and precipitation trends observed in Korea. *Theoretical and Applied Climatology*, 67: 171-180.
 5. De Luis, M., J.C. Gonzalez-Hidalgo and L.A. Longares. 2010. Is rainfall erosivity increasing in the Mediterranean Iberian Peninsula? *Land Degradation and Development*, 21: 139-144.
 6. Gandomkar, A., T. Soltani Gord faramarzi, P. Safaripour Chafi, and A.R. Amani. 2011. Analysis of precipitation and temperature trends in Sefid-Roud Basin. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 5(11):723-727.
 7. Gemmer, M., S. Becker and T. Jiang. 2004. Observed monthly precipitation trends in China 1951–2002. *Theoretical and Applied Climatology*, 77: 39–45.
 8. Halabian, A.H. 2017. Assessment of spatial-temporal changes of precipitation in Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 5(13): 101-116 (in Persian).
 9. Hejazizadeh, Z. and S. Javizadeh. 2009. Introduction to drought and its indicators. SAMT Publication, Tehran, 376 pages (in Persian).
 10. Hartman, H. and L. Andresky. 2013. Flooding in Indus River Basin, a spatio-temporal analysis of precipitation records. *Global and Planetary Change*, available online 12 April 2013.
 11. Jayawardene, H.K.W.I., D.U.J. Sonnadara and D.R. Jayewardene. 2005. Trends of rainfall in Sri Lanka over the last century. *Sri Lankan Journal of Physics*, 6: 7-17.
 12. Jiang, T., B. Su and H. Hartmann. 2007. Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, 1961–2000. *Geomorphology*, 85(3–4): 143–154.
 13. Keykhosravi Kiani, M.S. 2012. Comparative analysis of gird data of Asfezari precipitation and GPCC and GPCP. MSc Thesis, University of Isfahan, 88 pages (in Persian).
 14. Khalili, A. and J. Bazrafshan. 2003. Seasonal and monthly rainfall trend analysis in the five old Iranian stations in the last sixteen years. *Desert*, 9(1): 201- 209 (in Persian).
 15. Kundzewicz, Z.W. and A. Robson. 2000. Detecting trend and other changes in hydrological data. Geneva, WMO, WMO/TD, No. 1013, WCDMP, No. 45: 168 pages.
 16. Montazeri, M. 2007. Identification of precipitation and drought trend in Karoon Basin. 2nd National Conference on Drought Effects and Management Approaches, Isfahan (in Persian).
 17. Mohamadi, B. 2012. Trend analysis of annual rainfall over Iran. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 22(3): 95-106.
 18. Masoodian, A. 2011. Climate of Iran. Mashhad, Sharieh Toos, 191 pages (in Persian).
 19. Masoodian, A., M.S. Keykhosravi Kiani and F. Rayatpishe. 2014. Introduction and comparison of Asfezari precipitation database and GPCC, GPCP and CMAP databases. *Journal of Geographical Research*, 112: 73-87 (in Persian).
 20. Montazeri, M. and H.A. Qayoor. 2010. A comparative analysis of precipitation and drought trends in Caspian Basin. *Geography and Development Iranian Journal*, 16: 71-92 (in Persian).
 21. Mosmann, V., A. Castro, R. Fraile, J. Dessens and J. Sanchez. 2004. Detection of statistically trends in summer precipitation of mainland Spain. *Atmospheric Research*, 70(1): 43-53.
 22. Pal, I. and A. Al-Tabbaa. 2009. Trends in seasonal precipitation extremes, an indicator of 'climate change' in Kerala, India. *Journal of Hydrology*, 367: 62–69.
 23. Turgay, P. and K. Ercan. 2005. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20(9): 2011-2026.
 24. Vivekanandan, N. 2007. Analysis of trend in rainfall using non parametric statistical methods. *International Symposium on Rainfall Rate and Radio Wave Propagation*. American Institute of Physics, 101-113.