

## تغییرپذیری مکانی بارش ماهانه در حوضه کارون بزرگ با استفاده از روش آنتروپی شانون

رضا شاکریان چالشتی<sup>۱</sup>، محمدعلی نصر اصفهانی<sup>۲\*</sup>، احمدرضا قاسمی دستگردی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی

<sup>۲</sup>استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی\*

<sup>۳</sup>دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۸

### چکیده

در مطالعه حاضر تغییرات مکانی بارش ایستگاهی در حوضه کارون بزرگ با استفاده از روش آنتروپی شانون مورد بحث و بررسی قرار گرفت. برای بررسی بیشتر تغییرات بارش در حوضه هم‌بستگی بین مقدار آنتروپی محاسبه شده برای هر ایستگاه و بارش سالانه نیز محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد، بیشترین مقدار آنتروپی در ماه‌های مورد بررسی در نواحی جنوب غربی حوضه اتفاق افتاده است در حالی مناطق شمالی و به ویژه شمال غربی حوضه کمترین مقدار آنتروپی را نشان دادند. از آنجا که، مقدار آنتروپی با بی‌نظمی بارش رابطه مستقیم دارد، در نواحی جنوبی حوضه بی‌نظمی بارش نسبت به مناطق واقع در نیمه شمالی حوضه، بیشتر می‌باشد. به عبارت دیگر، در نواحی شمالی حوضه بارش‌ها در طول سال‌های مورد مطالعه به صورت منظم رخ داده‌اند، که در حالی که، در نواحی جنوبی حوضه نظم و پیوستگی کمتری مشاهده می‌شود. با این حال براساس توزیع مکانی آنتروپی در دو ماه ژانویه و فوریه می‌توان گفت بارش در همه مناطق یک پدیده غیر قابل انتظار نیست. تحلیل هم‌بستگی ماهانه آنتروپی با بارش تجمعی سالانه نشان می‌دهد، ماه‌های نوامبر تا فوریه در ایجاد ترسالی و یا خشکسالی در جنوب شرق و شرق حوضه حیاتی بوده ماه فوریه از این لحاظ برای غرب استان خوزستان اهمیت دارد. بی‌هنجاری بارش سالانه در نیمه شمالی حوضه به بارش‌های ماه مارس ارتباط پیدا می‌کند. بارش‌های ماه آوریل در بی‌هنجاری‌های بارش سالانه استان خوزستان نقشی ندارد ولی در بیشتر نقاط دیگر حوضه یک عامل تعیین کننده است.

کلمات کلیدی: بارش، اقلیم، عدم قطعیت، ضریب هم‌بستگی، کلموگروف اسمیرنوف

## مقدمه

تحلیل سری‌های زمانی پارامترهای آب‌شناختی و هواشناسی از روش‌های تعیین مقدار تغییر در مولفه‌های اقلیمی مربوط با آب می‌باشد (وفاخواه و همکاران، ۱۳۹۱). بارش، به‌منزله ورودی چرخه آب بیشترین نوسانات را در بین سایر عناصر اقلیمی دارد، بنابراین یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های اقلیمی، که باید بررسی شود، بارش است (فلاح‌قاله‌ری و بیاتانی، ۱۳۹۲). تغییر میزان و توزیع مکانی و زمانی بارش می‌تواند بر مقدار نیاز خالص آبیاری در کشت آبی و شدت وقوع خشکسالی و ترسالی تأثیر بسزایی داشته باشد.

در حقیقت، بارش از طریق تأمین رطوبت خاک به‌طور مستقیم میزان تولید محصولات کشاورزی در کشت دیم و از طریق تغذیه منابع آب سطحی و زیرزمینی، میزان تولید در اراضی فاریاب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲). بارندگی، یک متغیر تصادفی جزو آن دسته از عنصرهای اقلیمی می‌باشد، که تغییرات چشمگیری با زمان و مکان دارا می‌باشد و این تغییرات زمانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از شدت بیش‌تری برخوردار است.

بنابراین مطالعه نحوه تغییرات بارش برای پیش‌بینی آن برای سال‌های آینده ضروری است؛ برای اینکه، برنامه‌ریزی در بخش‌های مختلف از جمله، کشاورزی، منابع آب، زیرساخت‌ها و سایر بخش‌های اقتصادی بر اساس آن صورت گیرد؛ برای اینکه، از وقوع خسارات جبران‌ناپذیر جلوگیری شود (رسولی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین، شناخت پراکنش زمانی و مکانی بارش، ابزاری سودمند برای درک چگونگی پراکنش غیریکتواخت منابع آب و پوشش گیاهی در هر منطقه است (نوری و همکاران، ۱۳۹۰). خاک، در دسترس

بودن آب و افزایش خطر خشکسالی و سیل تأثیرگذار می‌باشد ترنبرث<sup>۱</sup> (۲۰۱۱).

تغییرات مکانی-زمانی در الگوهای بارندگی می‌تواند منجر به تغییر در شدت، فراوانی و مدت بارندگی شود، کههدر حالی‌که، برای الگوهای جریان رودخانه‌ها، رطوبت، این عنصر کلیدی در توصیف تغییرات اقلیمی، یک کمیت رایج هواشناسی می‌باشد.

بنابراین، تغییرات، روند و ویژگی‌های آن به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد، که اگرچه ممکن است به نظر برسد، که بارش به‌صورت تصادفی رخ می‌دهد، اما دیدبانی پیوسته آن در یک منطقه خاص، ویژگی‌های پایدار را آشکار می‌کند جیانگ و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۰). در کاری، که توسط جاوری<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) انجام شد، بیان نمود، که تنوع زیادی در الگوهای بارش فصلی در ایران وجود دارد و هم‌پستگی مکانی کمتری در رابطه با الگوهای زمانی در بارش فصلی مشاهده شد.

وی همچنین پیشنهاد کرد، که تغییرات بارش فصلی در مناطق مرکزی و شرقی روند کاهشی و در غرب و شمال روند افزایشی را نشان می‌دهد. عدل و همکاران (۱۳۸۳) براساس تحلیل آماری، روشی برای تعیین توزیع زمانی بارش برای محاسبه سیلاب طرح ارائه دادند. در این پژوهش روشی برای تنظیم راس سیلاب‌ها در بارش‌های فرودگاه مهرآباد تهران در حجم شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی ارائه می‌شود. در استان خراسان بزرگ توزیع زمانی بارش در پایه‌های زمانی مختلف حساب شده است.

طبق نتایج به‌دست آمده و با توجه به اینکه شرایط استان خراسان از لحاظ اقلیمی خشک و نیمه‌خشک است، بیش از ۵۰ درصد بارش در نیمه اول زمان بارش

<sup>۳</sup>Javari<sup>۱</sup>Trenberth<sup>۲</sup>Jiang et al

آب است، که نقش حیاتی در حفظ تعادل جوی، رشد محصولات کشاورزی و تامین آب شیرین دارد. بارش شدید می تواند به محصولات آسیب برساند و باعث سیل، رانش زمین، فرسایش خاک و غیره شود، کههدر حالی که، کمبود بارندگی می تواند منجر به خشکسالی و آتش سوزی در جنگل ها شود مارینو و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۲۳).

در مطالعه دیگر عساکره<sup>۶</sup> (۲۰۰۷) تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران را در طول دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳ با استفاده از آمار بارش ۱۵۲ ایستگاه همدید و ۱۷۰ ایستگاه اقلیم شناسی و کاربرد فنون ترسیم، مورد بحث و بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید، که تقریباً ۵۱/۴ درصد از مساحت کشور تحت تغییرات بارش قرار می گیرند.

این تغییرات به ازای هر سال از ۲۹/۶ میلی متر در کوهرنگ تا ۱۵/۷- میلی متر در سراب متغیر می باشد، که اغلب در مناطق با بارندگی بیشتر دیده می شود. فانی و همکاران (۱۳۹۱) از نظریه آنتروپی گسسته برای سنجش تراکم ایستگاه های باران سنجی حوضه آب خیز کارون بزرگ پرداختند.

ایشان به پهنه بندی ایستگاه های باران سنجی در حوضه آب خیز کارون بزرگ توسط شاخص انتقال اطلاعات پرداختند و دریافتند، که تراکم ۳۱ ایستگاه شبکه باران سنجی حوضه در وضعیت بهینه می باشد و دیگر ایستگاه های باران سنجی را از شبکه پایش حوضه می توان حذف نمود.

شانون، آنتروپی را تابعی بیان می کند، که مقدار آن برابر منفی امید ریاضی لگاریتم طبیعی تابع احتمال یک پیشامد تصادفی باشد شانون و ویور<sup>۷</sup> (۱۹۴۹).

رخ می دهد (حاتمی یزد و همکاران، ۱۳۸۴). داوودی راد و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از روش رتبه بندی، توزیع زمانی بارش در حوضه آب خیز دریاچه نمک را به دست آورده اند و به این نتیجه رسیدند، که در تمام تداوم های زمانی، بخش های میانی طول مدت بارش، مقادیر بارش بیشتری به خود اختصاص می دهد.

علی میرزایی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۸) تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی هواشناسی و آب شناختی در حوضه آبریز کارون شمالی را با استفاده از شاخص های مختلف بررسی کردند. در پژوهشی با هدف مرز بندی مناطق آبی ایران با استفاده از شاخص شانون نشان داده شد، که شاخص شانون مرز نواحی بارشی را به خوبی تفسیر می کند مسعودیان<sup>۲</sup> (۲۰۰۵). در پژوهش انجام شده توسط سهرانی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۸) در طول دوره آماری (۲۰۱۳-۱۹۰۱) بارندگی روزانه در هند را برای بررسی تنوع مکانی زمانی فصلی بارش در مقیاس زمانی ماهانه تحلیل نمودند.

تنوع مکانی و زمانی بارش می تواند شرایط آب شناختی منطقه ای را منعکس کند. بارش کوهستانی در شمال غربی چین دارای ویژگی های توزیع عمودی آشکار است و ارتفاع و کوهساری نقش تعیین کننده ای در توزیع آن ایفا می کند. در دو دهه گذشته، مطالعات زیادی با موضوع بررسی روند تغییرات بارندگی و تعیین الگوی تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران انجام شده است.

در بیشتر این مطالعات روند بارش کل سالانه، فصلی و ماهانه، همانند دیگر مناطق کره زمین بررسی شده است، که اهمیت این موضوع را نشان می دهد حنیف و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۲). بارش یکی از اجزای اصلی چرخه

<sup>۵</sup>Marino et al<sup>۶</sup>Asakereh<sup>۷</sup>Shannon & Weaver<sup>۱</sup>Alimirzaei et al<sup>۲</sup>Masoodian<sup>۳</sup>Sahany et al<sup>۴</sup>Hanif et al

به دلیل راحتی کار، درک ساده تر و محاسبات کارآمدتر آنتروپی شانون، این کمیت تاکنون در مطالعات مختلف آب و هواشناسی به صورت وسیعی از این نظریه استفاده شده است لی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۰). آنتروپی شانون، یک معیاری برای عدم قطعیت در توزیع احتمال هست. زمانی بیشترین عدم قطعیت یا بیشترین حداکثر آنتروپی شانون رخ می دهد، که در آن همه نتایج ممکن دارای احتمال یکسان باشند.

با استفاده از آنتروپی شانون، می توان تغییرپذیری یا عدم قطعیت یک توزیع احتمال به همراه آنتروپی اطلاعات را اندازه گیری نمود شانون<sup>۲</sup> (۱۹۴۸). در ارتباط با روش های مطالعه بارش پژوهش های فراوانی انجام شده است. فایز و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۱) از مفهوم بی نظمی بارش (عدم قطعیت بارش) در مطالعات خشکسالی استفاده نمودند و از این رو، از روش آنتروپی، که روشی سودمند و مؤثر در تحلیل عدم قطعیت پیشامدهای تصادفی می باشد، استفاده نمودند. لسن<sup>۴</sup> (۲۰۱۴) آنتروپی آماری معرفی شده توسط شانون را یک مفهوم اساسی در نظریه اطلاعات برای اندازه گیری میانگین اطلاعات گمشده در یک منبع تصادفی معرفی کرد. این مفهوم برای اولین بار توسط شانون در نظریه ارتباطات و انتقال اطلاعات معرفی شد شانون (۱۹۴۸).

در داخل ایران پژوهشگران بررسی تغییر سالانه بارش در ایران را با استفاده از روش تجزیه تابعی انجام دادند. با توجه به نتایج آنها، آنتروپی بارش با کاهش عرض جغرافیایی در جنوب کاهش یافت و روند کاهشی را نشان داد. آنها همچنین رابطه نزدیکی بین طول جغرافیایی و میانگین آنتروپی سالانه در ایران پیدا کردند روشنگر و عزیزاده<sup>۵</sup> (۲۰۱۸).

در مطالعه ای، کههدر کشور استرالیا با استفاده از آنتروپی شانون تأثیر تغییرات آب و هوایی را در بخش های مختلف قاره استرالیا با تجزیه و تحلیل تغییرپذیری بارش در دو مقیاس زمانی، یعنی بین سالانه و درون سالانه به صورت کمی درآوردند و دریافتند، که تأثیر تغییرات آب و هوایی به طور قابل توجهی در سراسر قاره متفاوت می باشد. برخی از مناطق استرالیا تغییرات قابل توجهی در مقدار بارش سالانه داشته اند، که ممکن است، با تغییرات آنتروپی نسبت بارش درون سالی توجیه شود هاینز و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۲۳).

کانگ و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۹) معیارهای مختلف آنتروپی را برای بیان بی نظمی در مجموعه داده آب شناختی در کشور برزیل تعیین کردند. در مطالعات خشکسالی نیز از مفهوم بی نظمی بارش (عدم قطعیت بارش) استفاده می شود، که روش آنتروپی از جمله روش های مفید و مؤثر برای تحلیل عدم قطعیت پیشامدهای تصادفی، مانند، خشکسالی است فایز و همکاران (۲۰۲۱). منظور از عدم قطعیت پیش بینی اندازه گیری پراکندگی بارش است و می تواند نشان داد، که مقدار بارش پیش بینی شده چقدر نسبت به میانگین نوسان دارد پاپاچارالامپوس و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۲۰). بنابراین، کهزمانی که، می خواهیم نتایج پیش بینی بارش را تولید (استخراج) کنیم، لازم است، که محدوده (برد) عدم قطعیت را داشته باشیم یانگ و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۲۲).

یانگ و برن<sup>۱۰</sup> (۱۹۹۴) برای طراحی شبکه پایش آبراهه ای از نظریه آنتروپی استفاده کردند. آن ها مقادیر آنتروپی مشترک و ضریب هم بستگی بین ایستگاه های پایش را تحلیل کردند. کاربرد روش کریجینگ و

<sup>۶</sup>Hines et al<sup>۷</sup>Kang et al<sup>۸</sup>Papacharalampous et al<sup>۹</sup>Yang et al<sup>۱۰</sup>Yang & Burn<sup>۱</sup>Li et al<sup>۲</sup>Shannon<sup>۳</sup>Faiz et al<sup>۴</sup>Lesne<sup>۵</sup>Roushangar & Alizadeh

می توان بی نظمی در یک سامانه را اندازه گیری کرد. وجود بی نظمی در یک سری از داده، مانند بارش، معیاری برای تغییرات زیاد و نامنظم بارش می باشد سانگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۸). حوضه آبریز کارون بزرگ به دلیل پتانسیل بالای آبدهی خود همواره مورد توجه برنامه ریزان بخش آب کشور بوده است. به صورتی، که در کنار بهره برداری از سدهای متعدد با هدف تولید انرژی برق آبی، تاکنون طرح های توسعه کشاورزی و انتقال بین حوضه ای متعددی در این حوضه مورد بهره برداری قرار گرفته اند و تعدادی نیز در دست مطالعه یا اجرا قرار دارند. بنابراین، مطالعه تغییرپذیری ماهانه بارش در این حوضه و سهم بارش هر ماه در ایجاد شرایط ترسالی، خشکسالی و نرمال سالانه می تواند به برنامه ریزی دقیق تر منابع آب این حوضه کمک کند. در این مطالعه تلاش شده است تا با محاسبه آنتروپی شانون و هم بستگی آن با بارش سالانه این موارد توضیح داده شود.

### مواد و روش ها

#### منطقه مورد مطالعه

یکی از مهم ترین حوضه های آبریز کشور از نظر منابع آبی حوضه آبریز کارون بزرگ می باشد و فراوانی ریزش های جوی به ویژه در بخش های این حوضه پتانسیل قابل توجهی از منابع آب سطحی و زیرزمینی را تشکیل داده است.

حوزه آبریز کارون بزرگ از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده "۲۲'۹۵" تا "۳۸'۳۸" ۵۲° طول شرقی و "۱۶'۷۱" تا "۳۰'۰۱" ۳۲° واقع شده است، این حوضه از لحاظ تقسیمات استانی شامل بیشتر مساحت استان چهارمحال و بختیاری، بخش های بزرگی از استان های لرستان

شاخص آنتروپی مشترک در زمینه سنجش ایستگاه های اندازه گیری بارش را مقایسه کردند.

در تحقیقاتی، که در کشور برزیل انجام شده است روش آنتروپی نمونه (Sample Entropy) در مطالعات بارندگی با موفقیت به کار گرفته شد و اطلاعات به روزی شامل تنوع مکانی، زمانی و پیچیدگی دینامیک بارندگی به دست آمد ژانگ و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۰). ژائو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) در پژوهشی بیان نمودند، که آنتروپی یک شاخص مفید برای اندازه گیری عدم قطعیت موجود در توزیع ماهانه بارش است.

در مطالعه ای داراند و پژوه<sup>۳</sup> (۲۰۲۴) مناطق منابع آب ایران را با استفاده از شاخص آنتروپی بارش از سال ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۹ و روش های تحلیل آماری برای تحلیل مجموعه داده مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد، که این شاخص می تواند ویژگی های بارندگی در کشور را بیان کند. علاوه بر این شاخص آنتروپی با بارندگی سالانه ایران ترکیب شد؛ برای اینکه، منطقه بندی کشور را از نظر پتانسیل در دسترس بودن منابع آبی امکان پذیر کند و مشخص شد، که چهار منطقه در دسترس منابع آب در ایران وجود دارد.

به طور کلی تغییرپذیری بارش در تمام مقیاس های زمانی می تواند سرمنشأ خطرات و اثرات اجتماعی بزرگی باشد. این خطرات ممکن است، به طور ماهانه یا بیشتر باشد، که منجر به خشکسالی هایی می شود، که بر عملکرد محصول مؤثرند. به صورت هفتگی، در مقیاس های بزرگتر برای وقوع سیل و با مقیاس ساعتی و کوتاه تر منجر به طوفان های شدید، که عامل خسارت در سطح مزرعه یا تلفات جانی می شوند مویر و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۱).

از دیدگاه دیگر آنتروپی معیاری از بی نظمی و غیریکنواختی در یک سامانه است، که با استفاده از آن

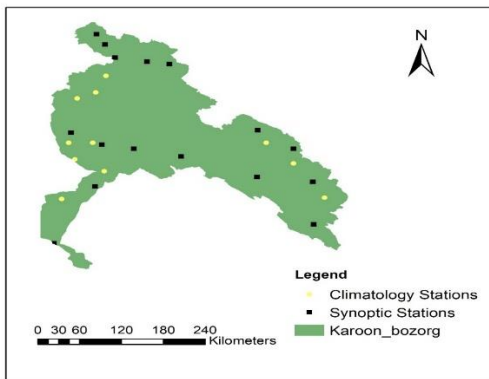
<sup>4</sup>Moyer et al

<sup>5</sup>Sang et al

<sup>1</sup>Zhang et al

<sup>2</sup>Zhao et al

<sup>3</sup>Darand & Pazhoh



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های همدید و اقلیم‌شناسی مورد بررسی در حوضه آبریز کارون بزرگ

#### روش پژوهش

در این پژوهش برای بررسی بی‌نظمی‌های بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه از کمیت آنتروپی شانون استفاده می‌شود. آنتروپی را می‌توان یک مفهوم علمی و یکی از ویژگی‌های قابل‌اندازه‌گیری فیزیکی شمرد، که کاربرد آن برای بررسی ویژگی بی‌نظمی، تصادفی یا عدم قطعیت می‌باشد. علم آنتروپی کاربردهای فراوانی علوم مختلف از جمله در علوم آب و هوا، تغییرات آب و هوایی دارد و هرل<sup>۲</sup> (۱۹۷۸).

در سال ۱۹۴۸ شانون نوعی مفهوم آنتروپی را بیان نمود، که در آن معیاری برای عدم قطعیت رخداد یک رویداد خاص، با توجه به اطلاعات جزئی در مورد یک سامانه، معرفی می‌شود. آنتروپی شانون برای کمی کردن مجموعه داده آماری، که به‌طور کامل برای بیان فرایندهای پیچیده استفاده می‌شود، به‌کار می‌رود (رابطه ۱).

$$H(P(X)) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log P(x_i) \quad (1)$$

که در این رابطه  $P(X)$  تابع جرم احتمال و  $x_i$ ها رویدادهای ممکن ( $i=1, \dots, n$ ) را نشان می‌دهد. به‌طور کلی آنتروپی بیانگر مقدار نظم در یک سامانه است.

و خوزستان و بخش‌هایی از استان‌های اصفهان و، کهکیلویه و بویراحمد است. حوضه آبریز کارون بزرگ از نظر تقسیم‌بندی بخشی از حوضه آبریز خلیج فارس می‌باشد. مساحت حوضه آبریز کارون بزرگ برابر ۶۷۲۵۷ کیلومتر مربع می‌باشد، که ۳۳ درصد آن را دشت و کوهپایه و ۶۷ درصد آن را کوهستان تشکیل می‌دهد رحمتی و مساح‌بوانی<sup>۱</sup> (۲۰۱۹).

شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی و همدید در حوضه مورد مطالعه آورده شده است. در این شکل نقاط سیاه‌رنگ ایستگاه‌های همدید و نقاط زرد رنگ ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی را نشان می‌دهند.

#### مجموعه داده

در این پژوهش از مجموعه داده بارش ماهانه ایستگاه‌های همدید و اقلیم‌شناسی حوضه مورد مطالعه، که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شدند، استفاده شده است. دوره زمانی این مجموعه داده متفاوت بوده و طولانی‌ترین آنها از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۳ می‌باشند. پس از راستی‌آزمایی و بررسی مجموعه داده، ایستگاه‌هایی، که طول آماری مناسبی داشتند، انتخاب و به‌کار گرفته شد. از میان ۱۲ ماه میلادی نیز تمرکز اصلی مطالعه حاضر بر ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر به‌منزله ماه‌های مؤثر در بارش سالانه حوضه کارون بزرگ انتخاب شدند. در مجموع تعداد ۲۸ ایستگاه با حداقل دوره آماری ۲۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت، که توزیع مکانی آنها در شکل ۱ نشان داده شده است.

<sup>2</sup>Wehrel

<sup>1</sup>Rahmati & MasahBoani

ترسالی و یا خشکسالی، ضریب هم‌بستگی بین مقدار جزئی آنتروپی در هر ماه از سال‌های مورد مطالعه و مقدار بارش سال متناظر برای هر ماه به صورت جداگانه محاسبه شده است.

ضریب هم‌بستگی بیانگر این است، که تغییرات این دو کمیت چقدر به یکدیگر وابسته هستند. به عبارت دیگر بالا بودن ضریب هم‌بستگی بین این دو کمیت نشان می‌دهد، که آنتروپی شاخص مناسبی برای توصیف تغییرات بارش است. در واقع در چنین مناطقی توصیف رفتار بارش قابل اعتماد است. ضریب هم‌بستگی طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

تغییرات آنتروپی رفتار بارش در هر ماه را نشان می‌دهد به این صورت، که افزایش آن مترادف با عدم رخداد بارش غیر منتظره و کاهش آن به معنی رخداد بارش بر خلاف نظم ماهانه است. هم‌بستگی منفی این دو کمیت نشان می‌دهد، که افزایش بارش سالانه (ترسالی) با کاهش آنتروپی همراه است، که بیانگر رخداد‌های بارشی غیر منتظره و برخلاف نظم طولانی مدت آن رخ داده است. بزرگی این هم‌بستگی میزان تأثیرگذاری بارش ماه مورد نظر در مجموع بارش سالانه آن را نشان می‌دهد.

در این پژوهش برای رسم نقشه‌های پهنه‌بندی از نرم افزار ArcGis استفاده شد. این نرم افزار در تحلیل مجموعه داده جغرافیایی، تفسیر نقشه، تولید و به اشتراک‌گذاری اطلاعات جغرافیایی می‌شود. در شکل ۲ مراحل کار به صورت یک روندنامه ارائه شده است.

### بحث و نتایج

در این بخش نقشه‌های پهنه‌بندی میانگین آنتروپی و ضرایب هم‌بستگی به صورت ماهانه برای ماه‌های مؤثر در بارش حوضه رودخانه کارون ارائه و مورد بحث قرار

کمترین مقدار آنتروپی صفر است، که بیانگر یک رخداد شگفت (تصادفی) است و مقادیر بزرگ‌تر آن نشان می‌دهد، که رویداد منحصر به فردی رخ نداده است. به عبارت دیگر، پدیده مورد نظر به طور منظم رخ داده است و اطلاعات جدیدی به ما نمی‌دهد.

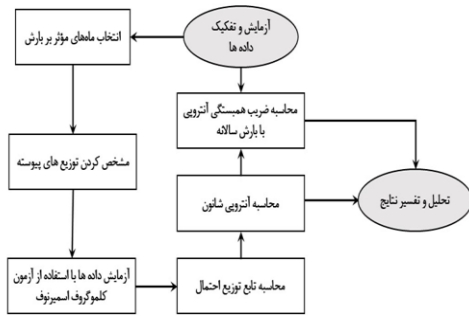
در مطالعات مشابه، آنتروپی شانون برای نسبت بارش هر ماه به کل بارش سالانه و برای هر سال محاسبه می‌شود. در این مطالعه به منظور بررسی تغییرات مکانی نظم بارش در حوضه کارون در هر ماه، توزیع آماری رابطه (۱) به بارش هر ماه در طول دوره مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزارهای Minitab و Easyfit برازش داده شده است و آنتروپی شانون در هر ایستگاه برای هر ماه به طور جداگانه محاسبه شده است. برای انتخاب توزیع آماری برتر آزمون کلموگروف به کار گرفته شد.

آزمون کولموگروف اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov test):

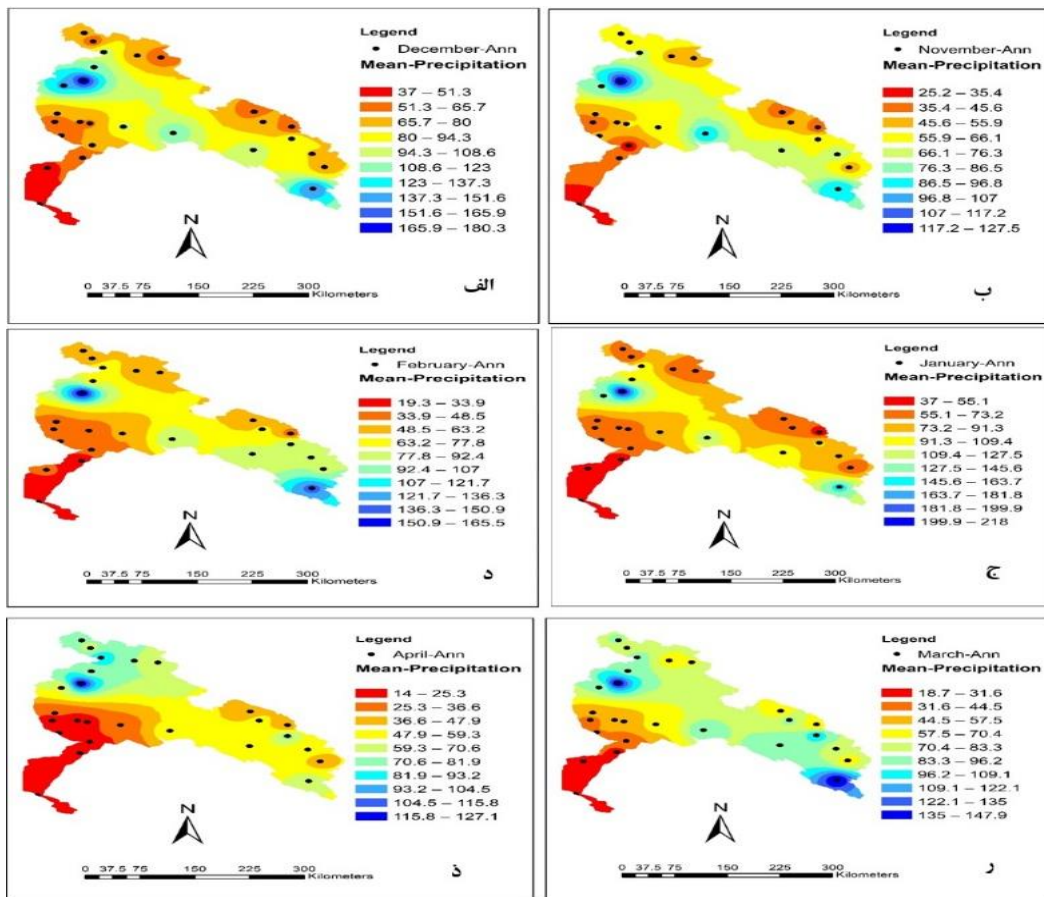
آزمون‌های آماری مورد استفاده در یک پژوهش به دو دسته پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم می‌شوند. آزمون‌های آماری پارامتریک عمدتاً برای آن دسته از مجموعه داده به کار می‌رود، که فرض‌های استنباطی محکمی درباره آنها برقرار است. از جمله، این فرض‌ها تبعیت جامعه آماری از توزیع نرمال است. در صورتی که، جامعه آماری از توزیع نرمال پیروی نکند و یا فرض‌های قوی درباره آن برقرار نباشد برای تحلیل و تفسیر آنها باید از آزمون‌های ناپارامتریک استفاده شود.

یکی از اصلی‌ترین ملاک‌ها برای انتخاب نوع آزمون، انجام آزمون کولموگروف اسمیرنوف است. آزمون کولموگروف اسمیرنوف برازش توزیع آماری روی مجموعه داده را نشان می‌دهد. اگر فرض آزمون کولموگروف اسمیرنوف تایید شود؛ مجموعه داده دارای توزیع مناسب می‌باشند. به منظور محاسبه کارایی کمیت آنتروپی در بیان تغییرات بارش ماهانه و سهم آن در وقوع

گرفت. شکل ۳ مقادیر میانگین بارش در هر یک از ماه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق مورد مطالعه



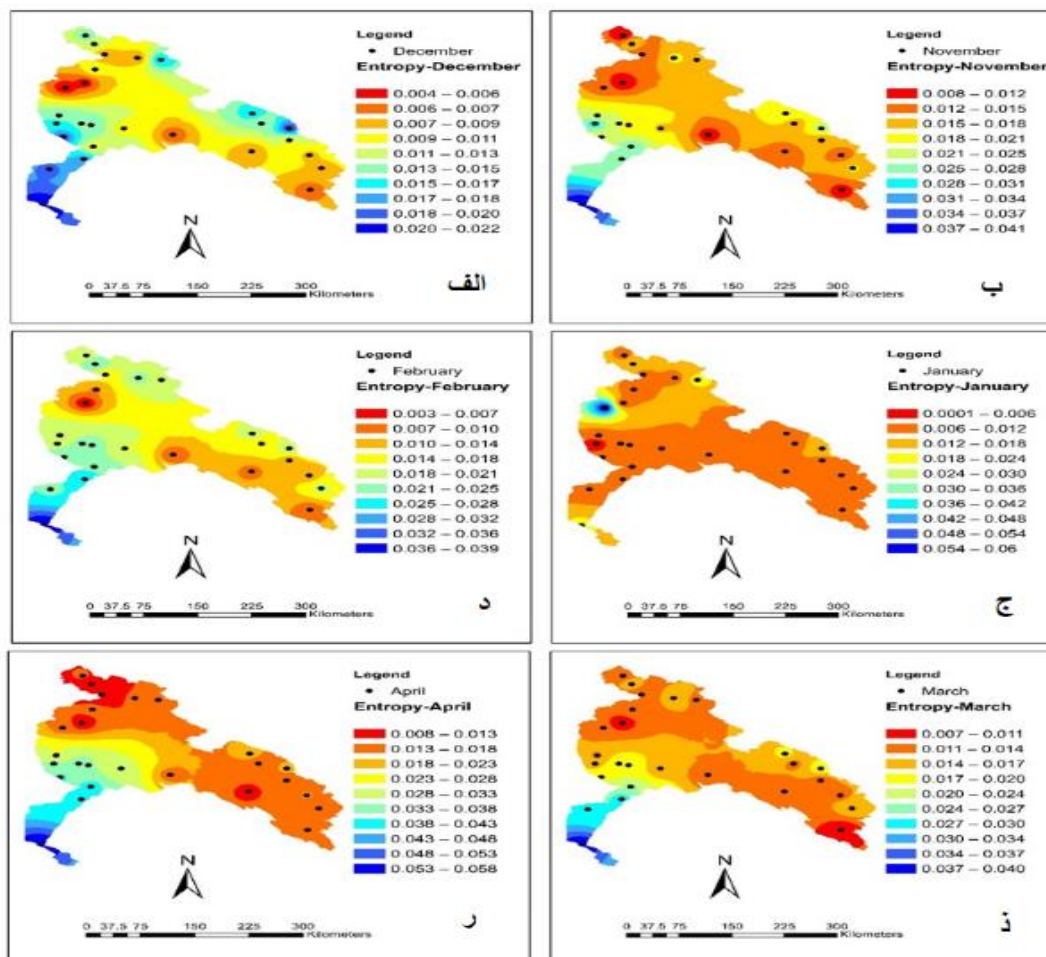
شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی میانگین بارش ماه‌های مورد بررسی

دیده می‌شود و پس از آن در شرق حوضه مجدداً مقدار بارش کم می‌شود. نقشه آنتروپی (شکل ۴) نشان می‌دهد، که بیشترین مقدار آنتروپی بارش در حوضه کارون بزرگ در نواحی جنوب غربی حوضه مشاهده می‌شود،

با توجه به شکل کمترین مقادیر بارش در تمامی ماه‌ها در جنوب و جنوب غرب حوضه رخ داده است، که شامل استان خوزستان می‌شود. بیشترین مقدار بارش در ایستگاه‌های واقع در دامنه‌های رو به باد رشته کوه زاگرس

حوضه قرار دارند؛ دارای آنتروپی کمتر هستند و می‌تواند به معنای وجود بارش سامان‌مند بیشتر در این مناطق باشد، که باعث شده است، بی‌نظمی بارش‌ها کمتر شود.

که نشان دهنده تغییرپذیری بالای بارش در این مناطق و بی‌نظمی آن است. این مناطق از نظر بارش جزو کم بارش‌ترین مناطق حوضه هستند. در مقابل مناطق با بارش زیاد، که در اغلب ماه‌ها در نواحی غربی و جنوب شرقی



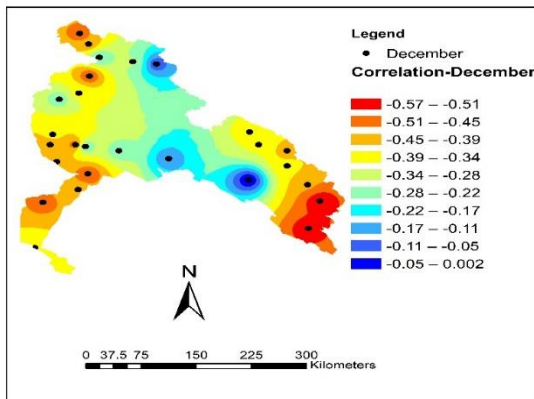
شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی میانگین آنتروپی ماه‌های مورد بررسی

عبارت دیگر در این مناطق رخداد بارش در ماه نوامبر یک رخداد عادی نیست.

میزان هم‌بستگی بین آنتروپی و بارش در ماه نوامبر (شکل ۵) نشان می‌دهد، در قسمت شرقی منطقه مورد مطالعه و در قسمت کوچکی از غرب بزرگی هم‌بستگی بیشتر است؛ هرچند این هم‌بستگی تنها در بخشی از نواحی شرقی معنی‌دار است. در مقابل در قسمت‌های شمالی،

بررسی دقیق‌تر هر ماه نشان می‌دهد در ماه نوامبر (شکل ۳ب) در قسمت‌های غرب و جنوبی مناطق بارش کمتر (در حدود ۳۰ میلی‌متر) و بیشترین مقدار آنتروپی مشاهده می‌شود، که نشان می‌دهد، در این ماه، که همزمان با آغاز بارش‌های پاییزی در کشور است، وقوع رخداد بارش در پهنه استان خوزستان کمتر محتمل است. به

است. در قسمت‌های شمالی، جنوبی و بخش‌هایی از نواحی مرکزی هم‌بستگی کمتر و غیر معنی‌دار می‌باشد، که حاکی از آن است، که بی‌هنجاری‌های بارش در این مناطق نقش کمتری در ایجاد بی‌هنجاری سالانه بارش دارند.

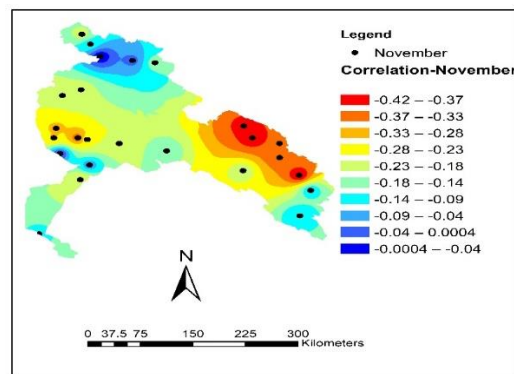


شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی هم‌بستگی بین بارش و آنتروپی در ماه دسامبر

شکل ۴ ج میانگین آنتروپی در ماه ژانویه را نشان می‌دهد. در این ماه نیز بیشترین مقدار بارش در قسمت‌های غربی حوضه اتفاق افتاده است. میانگین بارش ماهانه در این ماه در اغلب ایستگاه‌ها در این ماه بیشترین مقدار است و پیرو آن مقدار آنتروپی نیز در مقایسه با ماه‌های دیگر کمتر شده است و به جز ایستگاه بروجرد در کل منطقه مورد مطالعه به صورت تقریباً یکنواخت توزیع شده است، که نشان می‌دهد، که بارش در همه مناطق مورد مطالعه در این ماه در طول سال‌های مورد بررسی در ژانویه رخ داده است و یک رخداد دور از انتظار محسوب نمی‌شود. (شکل ۳ ج).

هم‌بستگی بارش این ماه با آنتروپی در اغلب مناطق حوضه معنی‌دار است (شکل ۷). در بعضی از قسمت‌های زاگرس، اصفهان و بخشی از لرستان ضریب هم‌بستگی بالا مشاهده می‌شود و در مقابل در قسمت‌های بیشتری از استان خوزستان و ایستگاه بروجرد مقدار حداقلی از ضریب هم‌بستگی مشاهده می‌شود، که نشان می‌دهد سهم

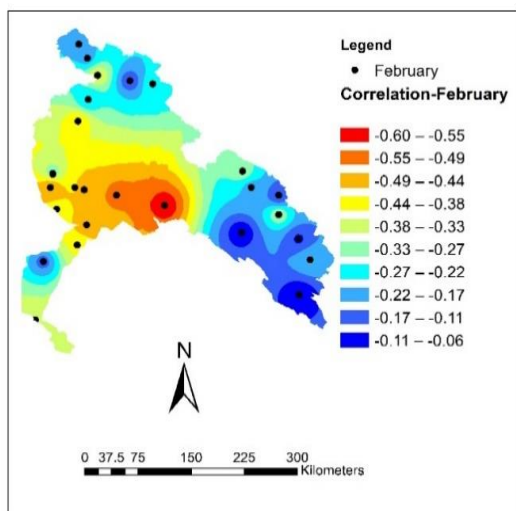
غربی، مرکزی و حتی جنوب شرقی هم‌بستگی کمتر و غیر معنی‌دار است. معنی‌داری هم‌بستگی بارش با آنتروپی در شرق منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد، در این مناطق تغییرات بارش ماه نوامبر سهم زیادی در وقوع ترسالی و یا خشکسالی دارد. به عبارت دیگر، در ماه‌های نوامبر بر بارش احتمال رخداد ترسالی در شرق حوضه با اطمینان بیشتری وجود دارد و در سایر مناطق ماه نوامبر تعیین کننده نمی‌باشد.



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی هم‌بستگی بارش با آنتروپی در ماه نوامبر

در ماه دسامبر قسمت‌های غربی، جنوبی و جنوب شرقی دارای بارش بیشتر هستند (شکل ۳ الف)، که انتظار می‌رود میزان آنتروپی نیز کمتر باشد. مقایسه نقشه آنتروپی با بارش به خوبی این موضوع را نشان می‌دهد (شکل ۴ ب). به بیان دیگر در این مناطق بی‌نظمی سامانه بارشی کمتر رخ داده است و بارش یک رخداد نادر در این مناطق در ماه دسامبر محسوب نمی‌شود.

اما در مناطق جنوب غربی و در قسمتی از شرق، که رخدادهای بارشی کمتر بوده است، حالت عکس دیده می‌شود. شکل ۶ مقدار هم‌بستگی آنتروپی و بارش در ماه دسامبر می‌باشد. با توجه به شکل در قسمت‌های شمال غربی، جنوب غربی و جنوب شرقی هم‌بستگی بیشتری در این مناطق مشاهده می‌شود، که در آن مقدار آنتروپی نیز کمتر بوده است. این نکته نشان می‌دهد، سهم بارش‌های دسامبر در ایجاد خشکسالی و ترسالی در این مناطق زیاد



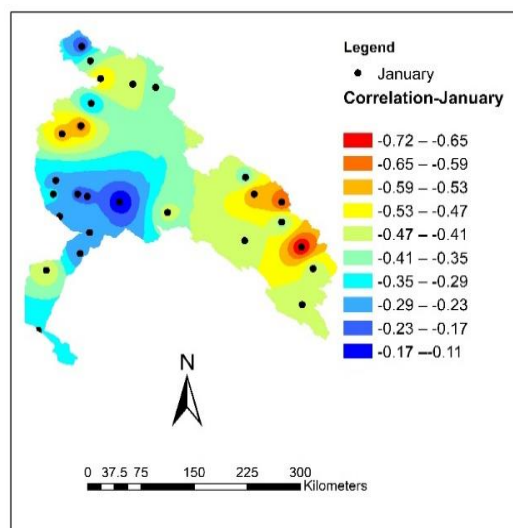
شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی همبستگی بارش و آنتروپی در ماه فوریه

با ورود به ماه‌های معتدل سال، الگوی تغییرات آنتروپی در دو ماه باقیمانده یعنی مارس و آوریل (شکل ۴-ذ) مشابه است. هم‌زمان با کاهش مقدار بارش ماهانه در نواحی جنوبی منطقه مورد مطالعه (شکل ۳-ذ) مشاهده می‌شود، که در نواحی شمالی منطقه در هر دو ماه آنتروپی کم و در جنوب آنتروپی زیاد است (شکل ۴-ذ). توزیع آنتروپی به این معنی است، که در نواحی شمالی منطقه همچنان سامانه‌های بارشی بیشتر و منظم‌تر رخ داده‌اند (میزان بی‌نظمی یا آنتروپی کمتر بوده است)، که در حالی که، در قسمت‌های جنوبی رخداد بارش در این دو ماه به پدیده‌ای با احتمال رخداد کمتر و تصادفی تبدیل شده است.

بررسی نتایج ما با نتایج ساکی مالچی و همکاران (۲۰۲۲) در ارتباط با تغییرپذیری بارش و آنتروپی مطابقت دارد. به‌طوری، که در ماه‌های پربارش سال، که همه ایستگاه‌ها سهم زیادی از بارش سالانه را دریافت می‌کنند، مقدار آنتروپی در منطقه مورد مطالعه یکنواخت‌تر بوده است.

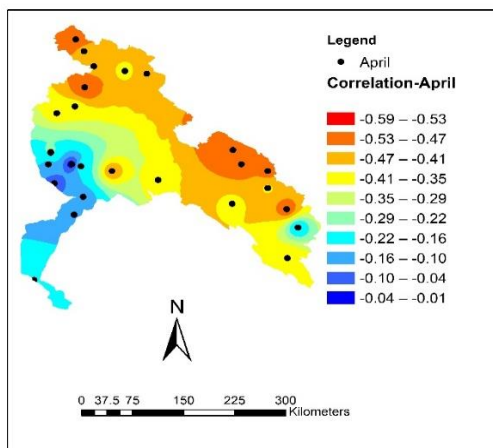
بارش‌های سرد زمستانه در تعیین ترسالی و خشکسالی در این مناطق تعیین‌کننده نیست. برعکس ضریب همبستگی بالا در بخش‌های شرقی منطقه مورد مطالعه را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد، که سهم بارش‌های این ماه در تعیین بی‌هنجاری‌های بارش سالانه تعیین‌کننده است. چنانچه به مقادیر ضریب همبستگی دقت شود این ماه بیشترین مقدار مطلق ضریب همبستگی را دارا می‌باشد. به بیان دیگر در تمامی مناطق سهم بارش‌های ژانویه در بارش تجمعی سالانه ایجاد ترسالی و خشکسالی افزایش یافته است.

در ماه فوریه حداکثر بارش در نواحی جنوب‌شرقی و غربی در دو ایستگاه تنگ‌پنج و یاسوج قابل مشاهده است (شکل ۳-ذ). میزان آنتروپی نیز با ساختار تغییرات بارش تطبیق نسبتاً خوبی دیده می‌شود و بیشترین مقدار آنتروپی در غرب و جنوب حوضه وجود دارد، که به معنای بی‌نظمی کمتر بارش در این نواحی در فوریه می‌باشد. در جنوب غرب حوضه (استان خوزستان) نسبت به ماه قبل مقدار آنتروپی بیشتر شده است، که نشان می‌دهد وقوع بارش در این ماه نسبت به ماه ژانویه از نظم کمتری برخوردار بوده است. همبستگی بارش ماهانه و آنتروپی در ماه فوریه درای دو رفتار متفاوت است (شکل ۸).



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی همبستگی بارش و آنتروپی در ماه ژانویه

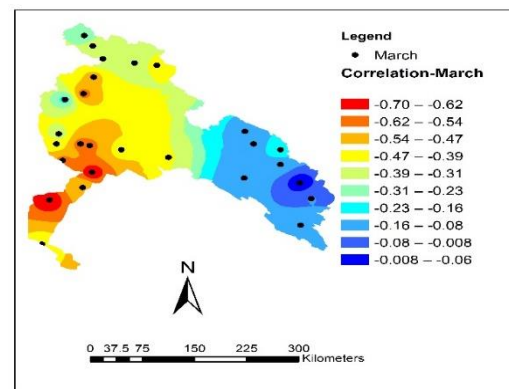
بر اساس مقدار ضریب همبستگی در شکل ۱۰، مناطق نارنجی رنگ و قرمز میزان بیشینه همبستگی ماه آوریل را نشان می‌دهد و بارش‌های این ماه سهم زیادی در تعیین بی‌هنجاری‌های سالانه بارش دارند. در سوی دیگر و ایستگاه حمزوی حنا و قسمت‌های آبی رنگ حداقل میزان همبستگی را نشان می‌دهد. به دلیل ناچیز بودن مقدار بارش در این ماه در ایستگاه‌های واقع در دشت استان خوزستان فزونی و یا کمبود بارش در این مناطق نمی‌تواند منجر به ترسالی و یا خشکسالی شود. نتایج ما با نتایج هاینس و همکاران (۲۰۲۳)، که در استرالیا انجام دادند مبنی بر اینکه بی‌نظمی سامانه‌ی بارشی (آنترویی) در قسمت‌های جنوبی منطقه از قسمت‌های شمالی بیشتر می‌باشد مطابقت دارد.



شکل ۱۰. نقشه پهنه‌بندی همبستگی بین بارش و آنترویی در ماه آوریل

از نظر همبستگی بین بارش و آنترویی شرایط در این دو ماه متفاوت است. در ماه مارس مناطق مرکزی، غربی و جنوب غربی (نیمه غربی حوضه) مقدار بیشینه همبستگی را دارا می‌باشند و در نیمه شرقی کمینه میزان همبستگی دیده می‌شود و به این معنی است، که در نیمه شرقی سهم زیادی در تعیین ترسالی و خشکسالی سال ندارد. در ماه آوریل همبستگی‌ها در نیمه شمالی نسبت به نیمه جنوبی بیشتر و معنی دار است، که همگام با کاهش بارش در نیمه جنوبی می‌باشد.

این نتیجه چندان دور از انتظار هم نیست؛ زیرا، رخدادهای بارش در ماه آوریل در نیمه جنوبی کاهش یافته و سهم اندکی از بارش سالانه دارند. مناطق با همبستگی معنی دار نشان می‌دهد، که بارش‌های این ماه در بی‌هنجاری‌های بارش سالانه نقش اساسی دارند.



شکل ۹. نقشه پهنه‌بندی همبستگی بین بارش و آنترویی در ماه مارس

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از مجموعه داده ۲۸ ایستگاه اقلیم‌شناسی و همدید در بازه زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۳ به بررسی تغییرات مکانی و زمانی بارش با استفاده از کمیت آنترویی اطلاعات در حوضه آبریز کارون بزرگ پرداخته شد.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، که در ماه نوامبر در استان خوزستان نسبت به سایر استان‌های واقع در

علاوه بر این در شکل ۱۰ می‌توان مشاهده کرد، که در قسمت‌های شمالی، جنوبی، شرقی و قسمت‌هایی از غرب از همبستگی بالایی برخوردار می‌باشند و برعکس این مناطق در قسمت‌های جنوب غربی و قسمت کوچکی از شرق همبستگی کمتری را دارا می‌باشد. طبق اصل همبستگی منفی، که زمانی که، یک متغیر افزایش پیدا می‌کند متغیر دیگر کاهش می‌یابد و بالعکس.

حوضه کارون بزرگ میانگین آنتروپی بیشتری مشاهده شده است، که نشان دهنده منفرد بودن رخداد بارش در ماه نوامبر در این استان می‌باشد. در سایر استان‌ها بارش بیشتری دیده شده است و این به معنای آنتروپی کمینه می‌باشد. در ماه بعدی یعنی دسامبر در بعضی از قسمت‌های استان چهارمحال و بختیاری، شمال استان لرستان و بیشتر استان خوزستان مقدار آنتروپی بیشینه به دست آمده است. با توجه به نقشه‌های بارش، میزان بارش در این مناطق نسبت سایر مناطق دیگر کمتر بوده است و به این معنی است، که بارش در این مناطق از نظم کمتری در دسامبر برخوردار است. در ماه ژانویه در قسمت غرب استان خوزستان میزان بارش کمتر از دیگر نواحی است و میانگین آنتروپی نیز در این مناطق بیشتر است. در ماه فوریه مقدار آنتروپی بیشینه در شمال استان لرستان، شمال استان چهارمحال و بختیاری و ایستگاه حمزوی حنا از استان اصفهان و قسمت‌های غربی و جنوبی استان خوزستان دیده می‌شود و در بقیه نقاط میزان آنتروپی کمینه می‌باشند. در دو ماه ژانویه و فوریه توزیع آنتروپی در منطقه مورد مطالعه یکنواخت‌تر بوده است و به نسبت مقادیر کمتری را دارا می‌باشد و بیانگر این است، که در این دو ماه همه مناطق در همه سال‌ها بارش دریافت کرده‌اند و بارش یک رخداد غیر منتظره نمی‌باشد.

در ماه مارس در ایستگاه‌های شهرکرد و بروجن و در بیشتر استان خوزستان میانگین آنتروپی در این نقاط بیشتر از سایر نقاط دیگر بوده است و میزان بارش در مناطق کمتر بوده است. در ماه آوریل براساس نقشه پهنه‌بندی، میانگین بیشینه آنتروپی در استان‌های چهارمحال و بختیاری، اصفهان، کهگیلویه و بویراحمد و لرستان نسبت به استان خوزستان کمتر بوده است. از آنجاکه مقدار آنتروپی با بی‌نظمی بارش رابطه مستقیم دارد، در نواحی جنوبی حوضه بی‌نظمی بارش نسبت به مناطق واقع در نیمه شمالی حوضه، در ماه‌های بهار بیشتر شده است. به عبارت دیگر در نواحی شمالی حوضه بارش‌ها بیشتر

به صورت سامان‌مند و هر ساله رخ داده‌اند و در نواحی جنوبی حوضه بارش بیشتر به صورت رگباری و در طول سال‌های مورد مطالعه به صورت نامنظم رخ داده‌اند.

تحلیل هم‌بستگی ماهانه آنتروپی با بارش تجمعی سالانه نشان می‌دهد ماه‌های نوامبر تا فوریه در ایجاد ترسالی و یا خشکسالی در جنوب شرق و شرق حوضه حیاتی بوده و فزونی و یا کمبود بارش در این ماه‌ها در نهایت منجر به بی‌هنجاری سال به لحاظ مقدار بارش خواهد شد. ماه فوریه از این لحاظ برای غرب استان خوزستان اهمیت دارد و بی‌هنجاری بارش سالانه در نیمه شمالی حوضه به بارش‌های ماه مارس ارتباط پیدا می‌کند. بارش‌های ماه آوریل به منزله آخرین ماه بررسی شده در این مطالعه در بی‌هنجاری‌های بارش سالانه استان خوزستان نقشی ندارد ولی در بیشتر نقاط دیگر حوضه یک عامل تعیین کننده است.

### منابع

۱. حاتمی‌یزد، ا.، تقوایی ابریشمی، ع.ا.، قهرمان، ب. (۱۳۸۴). الگوی توزیع زمانی بارش استان خراسان بزرگ. دو فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران، ۳(۱)، ۶۴-۵۴.
۲. داوودی‌راد، ع.ا.، تلوری، ع.ا.، عرفانیان، م. (۱۳۸۶). الگوی توزیع بارش در حوضه آب‌خیز دریاچه نمک. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۱(۲۸)، ۱۹۹-۱۹۳.
۳. رسولی، ع.ا.، جلالی، ط.، سرافروزه، ف.، اسمعیل‌پور، م. (۱۳۹۲). بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های نیشان و پیش‌بینی آن در استان آذربایجان شرقی. نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۹(۵۱)، ۱۹۱-۱۷۱.
۴. عدل، ا.، اسکندری، ع. (۱۳۸۳). تعیین الگوی زمانی بارندگی برای محاسبه سیلاب طرح. اولین کنگره ملی مهندسی عمران. ۲ تا ۳ اردیبهشت‌ماه. دانشگاه صنعتی شریف، ایران.
۵. علیزاده، ا.، ن. صالح‌نیا، ن.، سیاری، ن.، نصیرص فیلاورگانی، م.، داوری، ک. (۱۳۹۲). پیش‌بینی تغییرات احتمالی بارش مؤثر در پهنه‌های اقلیمی ایران برای زراعت گندم. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۷)، ۵۸۴-۵۷۵.
۶. فانی، م.، افلاطونی، م.، جاهدی، غ. (۱۳۹۱). ارزیابی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه آب‌خیز کارون بزرگ با استفاده

## Computer

Science, doi:10.1017/S0960129512000783

20. Li, Y., Wen, Y., Lai, H., & Zhao, Q. (2020). Drought response analysis based on cross wavelet transform and mutual entropy. *Alexandria Engineering Journal*, 59(3), 1223-1231. doi:org/10.1016/j.aej.2020.01.050
  21. Ma, W., Kang, Y., & Song, S. (2019). Analysis of Streamflow Complexity Based on Entropies in the Weie River Basin China. *Entropy*, 22(1), 22-38. doi:org/10.3390/e22010038
  22. Marino, D., Palmieri, M., Marucci, A., Soraci, M., Barone, A., & Pili, S. (2023). Linking flood risk mitigation and food security: An analysis of land-use change in the metropolitan area of Rome. *Land*, doi:10.3390/12020366
  23. Masoodian, S.A. (2005). The zooming of the Iran irrigated areas by the precipitation turbulence index. University of Isfahan Research. doi:10.30495/jest.2020.32551.4044
  24. Moyer, E. J., Poppick, A., Rugenstein, M., Bloch-Johnson, J., Wang, J., McInerney, D., & Schwarzwald, K. (2021). Changes in future precipitation mean and variability across scales. *Journal of Climate*, 34(7), 2741-2758.
  25. Papacharalampous, G., Tyrallis, H., Koutsyoiannis, D., & Montanari, A. (2020). Quantification of predictive uncertainty in hydrological modelling by harnessing the wisdom of the crowd: A large-sample experiment at monthly timescale. *Advances in Water Resources*, doi: /10.1016/103470
  26. Rahmati, A., & MasahBoani, A. (2019). Comparative Evaluation of Global Rainfall Datasets with Observation Rainfall Values. *Iran Water Resources Research*, 15(1), 178-192.
  27. Roushangar, K., & Alizadeh, F. (2018). Entropy-based analysis and regionalization of annual precipitation variation in Iran using ensemble empirical mode decomposition. *Journal of Hydroinformatics*, 20(2), 468-485.
  28. Sahany, S., Mishra, S. K., Pathak, R., & Rajagopalan, B. (2018). Spatiotemporal variability of seasonality of rainfall over India. *Geophysical Research Letters*, 45(14), 7140-7147.
  29. Saki Malehi, E., Ghafouri, H., & Ashrafi, S. M. (2022). Precipitation Deficit Threshold Zoning Based on Shannon Entropy in Karkheh Basin. *Iran-Water Resources Research*, 18(2), 19-40.
  30. Sang, Y. F., Singh, V. P., Hu, Z., Xie, P., & Li, X. (2018). EntropyAided evaluation of meteorological droughts over China. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 123(2), 740-749.
  31. Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423. doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
  32. Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication by CE Shannon (and recent contributions to the mathematical theory of communication). W. Weaver. University of Illinois Press. doi: 10.4236/chnstd.2023.124021
- از نظریه آنتروپی گسسته. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی. شیراز.
  ۷. فلاح‌قاهره، غ، بیاتانی، ف. (۱۳۹۲). بررسی روند تغییرات فصلی و سالانه بارش و دبی در حوزه آبخیز هلیل رود کرمان. چهارمین همایش منطقه ای چالش‌ها و راهکارهای توسعه در مناطق محروم. ۱۳ اسفندماه. دانشگاه آزاد اسلامی واحد، کهنوج، ایران.
  ۸. نوری، ح، آزادی، م، مسعودیان، ا، غیور، ح. (۱۳۹۰). تحلیل زمانی و مکانی رویدادهای بارشی سواحل جنوبی خزر. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، (۲۵)، ۱۰۰، ۱۶۸۰۲-۱۶۷۷۲.
  ۹. وفاخواه، م، بخشی تیرگانی، م، خزائی، م. (۱۳۹۱). تشکیل روند بارندگی و دبی در حوزه‌ی آبخیز کشف رود. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۰(۲۹)، ۷۷-۹۰.
  10. Alimirzaei, Z., ZareBidaki, R., Zamani, R., & Mamahmoodi, A. (2018). Monitoring Hydrological and Meteorological Drought in the North Karun Basin. *Hydrogeomorphology*, 4(15), 115-133. doi: 20.1001.1.23833254.1397.5.15.7.3
  11. Asakereh, H. (2007). Spatio-temporal changes of Iran inland precipitation during recent decades. *Geography and Development*, 5(10), 145-164. doi: 10.22111/gdij.2007.3669
  12. Darand, M., & Pazhoh, F. (2024). Spatiotemporal analysis of precipitation variability based on entropy over Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 15(3), 1018-1033.
  13. Faiz, M. A., Zahnd, Y., Ma, N., Baig, F., Naz, F., & Niaz, Y. (2021). Drought indices: Aggregation is necessary of it is only the researcher's choice. *Water Supply*, 21(8), 3987-4002. doi.org/10.2166/ws.2021.163
  14. Haan, C.T. 1979. Statistical Methods in Hydrology. The Iowa State University, pp 378.
  15. Hanif, M. F., Mustafa, M. R. U., Liaqat, M. U., Hashim, A. M., & Yousof, K. W. (2022). Evaluation of Long-Term Trends of Rainfall in Perak *Malaysia.Climate*, doi:10.1088/2752-5295/acb5b8
  16. Hines, B., Qian, G., Chu, T., & Tordesillas, A. (2023). Variability analysis of monthly precipitation vector time series in Australia by a new spatiotemporal entropy statistic. *Environmental Research Climate*, doi 10.1088/2752-5295/acb5b8
  17. Javari, M. (2016). Trend and homogeneity analysis of precipitation in Iran. *Climate*, 4(3), 40-44.
  18. Jiang, Q., Li, W., Fan, Z., He, X., Sun, W., Chen, S., & Wang, J. (2020). Evaluation of the ERA5 reanalysis precipitation dataset over Chinese Mainland. *Journal of hydrology*, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125660
  19. Lesne, A. (2014). Shannon entropy a rigorous notion at the crossroads between probability, information theory, dynamical systems and statistical physics. *Mathematical Structures in*

37. Zhao, C., Ding, Y., Ye, B., Yao, S., Zhao, Q., & Wang, Y. (2011). An analyses of long-term precipitation variability based on entropy over Xinjiang. Northwestern China. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(2), 2975-2999.
38. Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate research*, 47(1), 123-138. doi: 10.3354/cr00953
39. Wehrl, A. (1978). General properties of entropy. *Reviews of Modern Physics*, 50(2), 221-260.
40. Yang, Y., & Burn, D. (1994). An entropy approach to data collection network design. *Journal of Hydrology*, 157(1), 307-324. doi.org/10.1016/0022-1694(94)90111-2
41. Zhang, L., Li, T., Liu, D., Fu, Q., Li, M., Faiz, M. A., Alo, S., & Khan, M. I. (2020). Spatial variability and possible cause analysis of regional precipitation complexity based on optimized sample entropy. *Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(732), 3384-3398.

## Spatial variability of monthly precipitation in the Great Karun basin using Shannon's entropy method

Reza Shakerian Chaleshtori<sup>1</sup>, Mohammad Ali Nasr Esfahani<sup>2\*</sup>, Ahmad Reza Ghasemi Dastgerdi

<sup>1</sup> Master of Science in Water Resources, Shahrekord University, Faculty of Agriculture

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Shahrekord University, Faculty of Agriculture\*

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Shahrekord University, Faculty of Agriculture

\*Corresponding Author Email: [mnasr@sku.ac.ir](mailto:mnasr@sku.ac.ir)

Received: 23 October 2024, Accepted: 29 May 2025

### ABSTRACT

In this study, the spatial changes of precipitation in the Great Karun basin were discussed and investigated using the Shannon entropy method. In order to further investigate the changes of precipitation in the basin, the correlation between the entropy value and the annual precipitation for each station was calculated and evaluated. Results indicate that the highest entropy occurs in the southwestern areas of the basin across the studied months, while the northern and particularly northwestern areas of the basin exhibit the lowest entropy. As entropy is directly related to precipitation irregularity, rainfall patterns are more irregular in the southern regions compared to the northern half of the basin. In other words, precipitation was more regular over the study period in the northern area, whereas the southern areas exhibit less regularity and continuity. However, based on the spatial distribution of entropy in January and February, precipitation occurs more across all regions during these months. Monthly correlation analysis of entropy with cumulative annual precipitation reveals that precipitation from November to February is crucial in establishing wet or dry annual conditions in the southeast and east of the basin. Specifically, February precipitation is most significant for the western Khuzestan province. Further results show that the annual precipitation anomalies in the northern half of the basin is linked to March precipitation. Conversely, April precipitation does not influence annual rainfall anomalies in Khuzestan Province, but is a determining factor in most other parts of the basin.

**Keywords:** Precipitation, uncertainty, correlation coefficient, Kolmogorov-Smirnov

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Shakerian Chaleshtori, R., Nasr Esfahani, M.A., Ghasemi Dastgerdi, A.R. (2025). Spatial variability of monthly precipitation in the Great Karun basin using Shannon's entropy method. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 7(1): 21-36. Doi: 10.22034/jmas.2025.485095.1235

### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

