نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱.

صفحات ۱۷۷ – ۱۹۸

واکاوی آماری و تحلیل فضایی بارش‌های فرین دشت کاشان

نسرین نیک اندیش[۱]؛ استادیار گروه آب و هواشناسی، دانشگاه پیام نور، ایران.

دریافت مقاله :۱۴۰۰/۱۲/۰۷ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۸/۳۰

چکیده

واکاوی آماری و تحلیل فضایی بارش‌های فرین بعنوان یکی از مؤلفه‌های ابزار مدیریت برای پیشگیری یا کنترل خطرات ناشی از این پدیده مورد توجه قرار می‌گیرد. هدف این پژوهش، بررسی آماری و تحلیل فضایی بارش‌های فرین در دشت کاشان است. بارش‌های فرین ایستگاه همدید کاشان به صورت نقطه‌ای در مقطع زمانی ۱۹۷۱-۲۰۲۲ میلادی و سال آبی ۱۳۵۱-۱۳۵۰ تا ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مجموع ۱۸۶۱۸ روز تحلیل آماری شد. سپس شش مورد بارش فرین فراگیر انتخاب و با داده‌های بارش ۱۳ ایستگاه همدید و ۱۱ ایستگاه باران سنجی با روش‌های زمین‌آمار و تحلیل فضایی مورد واکاوی قرار گرفت. با استفاده از مدل‌های واریوگرام و روش کریجینگ، نقشه‌های پهنه‌بندی بارش فرین دشت کاشان تهیه گردید. نتایج نشان داد فراوانی وقوع بارش‌های سنگین و ابرسنگین در فصل زمستان و بارش‌های بسیار سنگین در فصل بهار بیش از سایر فصول است. همبستگی بسیار بالای بارش سالانه با مجموع و فراوانی بارش‌های فرین نشان می‌دهد حجم بارش سالانه بیش از آنکه از توزیع بارش در طول سال تأثیر پذیرد از تمرکز بارش در مقاطع کوتاه چند روزه متأثر می‌شود. از این رو مشخص شد بارش های فرین در بارش کل و رواناب سطحی و در نتیجه بیلان آب منطقه نقش مهمی را ایفا می کند. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد بارش ۲۰ فروردین ۱۳۹۹، که تمرکز آن بر نوار غربی و ارتفاعات حوضه است سبب فرسایش ارتفاعات و ایجاد سیلاب در پایکوه‌ها و نواحی کم ارتفاع دشت می‌گردد. همچنین بارش‌هایی مانند بارش ۱۷ اسفند ۱۳۹۷ که بیشترین تمرکز آن در نواحی مرکزی است، برای ایجاد آبگرفتگی توان بالایی دارند .

واژه‌های کلیدی: دشت کاشان، بارش فرین، تحلیل آماری، تحلیل فضایی، نقشه‌های ورونوی، نقشه پهنه‌بندی.

[۱] . نویسنده مسئول Email:niknasrin@pnu.ac.ir

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

مقدمه

بارش‌های سنگین، طوفان و سیلاب‌ها از مهمترین فرآیندهای جوی هستند که ضمن توزیع و انتقال انرژی، سبب ایجاد هنجارها و ناهنجاری‌های محیطی می‌گردند. در این میان بارش‌های فرین بدین جهت که از یک سو، بعنوان یک پدیده طبیعی، باعث تغذیه جریان‌های سطحی و سفره‌های آب زیرزمینی، و از سوی دیگر، بعنوان بلیه طبیعی، باعث ایجاد و تحریک بلایایی نظیر سیل و زمین‌لغزش‌ها می‌شوند از اهمیت ویژه‌ای در سطح جهان، بخصوص ایران برخوردارند. تحت چنین شرایطی اتخاذ راهکارهای مدیریت خطر برای حفاظت محیط، اجتناب‌ناپذیر است. در زمینه بررسی بارش‌های فرین و همچنین تحلیل فضایی این پدیده، پژوهش هایی از سوی محققان صورت گرفته است. سوین و همکاران (Swain et al, ۲۰۱۸) ویژگی‌های بارش‌های سنگین در اودیشا که از مناطق سیل خیز منطقه موسمی هند است را بررسی نمودند. آنها بارش‌های سنگین (۶۴/۵-۱۱۵/۴ میلی متر در روز)، بسیار سنگین (۱۱۵/۵-۲۰۴/۴ میلی متر در روز) و بارش‌های فوق العاده سنگین (بیش از ۲۰۴/۵ میلیمتر در روز) را در فصل تابستان برای مدت ۱۱۳ سال (۱۹۰۱-۲۰۱۳) مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که روزهای با بارش‌های مزبور روند افزایشی را در طول دوره مطالعه نشان می‌دهد. بیش از ۶۰ درصد این روزها در ماه جولای و آگوست مشاهده شدند. مازرکا و همکاران (Masereka et al, ۲۰۱۸) با تأکید بر نقش بارش‌های بیشینه روزانه در سال، در رخداد سیل‌های سنگین در نلس پرت در آفریقای جنوبی، داده‌های بارش روزانه سال‌های (۱۹۶۱-۲۰۱۵) را مورد بررسی قرار دادند. بارش‌های بیش از ۱۰۰ میلیمتر را که سبب سیل‌های سنگین می‌شوند، به عنوان بارش‌های فرین انتخاب نموده و با استفاده از توابع توزیع احتمالاتی دوره بازگشت این بارش‌ها را ۱۰ سال برآورد کردند. فلاوناس و همکاران (Flaounas et al, ۲۰۱۹) بارش‌های سنگین ناشی از چرخندهای مدیترانه‌ای را مطالعه کردند. آنها از بین ۵۰۰ چرخند، ۱۰۰ چرخند را برای یک دوره ۱۱ ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۵) انتخاب نموده، که این چرخندها در مرحله بلوغ در ۵ درجه غربی تا ۴۰ درجه شرقی و ۳۰ درجه شمالی تا ۴۶ درجه شمالی قرار می‌گیرند. نتایج نشان داد محل بارش‌ها با منطقه همگرایی شار رطوبتی انطباق دارد. دی مولیشو و همکاران (Deumlich et al, ۲۰۲۰)، با استفاده از داده‌های روزانه بیش از ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلیمتر در مقطع زمانی ۱۹۵۱-۲۰۱۹ و کاربرد روش من کندال، روند بارش‌های سنگین را برای آلمان بدست آوردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد در جنوب آلمان روند مثبت و در مرکز آن روند منفی وجود دارد. اما به طور کلی در آلمان یک روند دراز مدت وجود ندارد. چن و همکارانش (Chen et al, ۲۰۲۱) ویژگی‌های فضایی و زمانی بارش‌های سنگین جنوب غرب چین را در مقطع زمانی ۱۹۸۱-۲۰۱۷ بررسی نمودند. از نظر آنان بارش سنگین ناگهانی، بارش سه ساعتی است که مقدار آن برابر یا بیش از ۵۰ میلمتر بوده و در این مدت حداقل یکبار بارش یک ساعته برابر یا بیش از ۲۰ میلیمتر نازل شده باشد. در نهایت به این نتیجه رسیدند که میزان بارش حاصل از بارش‌های سنگین بیشتر از شدت، با مدت آن همبستگی نزدیکی دارد. این بارش‌ها در ماه‌های می و اگوست نازل شده و در جولای به اوج خود می‌رسند. د اولیویرا رگوئرا و واندرلی (de Oliveira Regueira, & Wanderley ۲۰۲۲) تغییرات میزان بارندگی و افزایش تعداد رخدادهای فرین را در شهر ریودوژانیرو در یک دوره ۲۰ ساله از ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷ بررسی نمودند. این محققان، داده های روزانه بارش پانزده ایستگاه هواشناسی را با آزمون من- کندال و نرم افزار Rclimdex تحلیل نمودند. تحقیق آنها نشان داد که میزان بارش در ده سال اول افزایش و پس از آن کاهش یافته است. پس از سال ۲۰۰۵ شدت بارندگی در تمام فصول کاهش یافته است. اما با وجود کاهش بارش سالانه و تعداد روزهای مرطوب در میزان بارش یک روزه و مجموع بارش ۵ روز متوالی، روند افزایشی مشاهده شد. در نتیجه، افزایش

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

رخداد بارش‌های فرین در ریودوژانیرو سبب وقوع سیل، طغیان رودخانه‌ها، رانش زمین و تلفات جانی گردیده است. مسعودیان (۱۴۰۱) خداد بارش‌های سنگین بهار ۱۳۹۸ که سبب وقوع سیل در حوضه‌های کرخه و کارون بزرگ گردیده اند را از دیدگاه آب‌وهواشناختی بررسی نموده است. این محقق به کمک پایگاه داده بارش اسفزاری، میانگین بلند مدت بارش را به روش کریجینگ تعیین نموده و با بارش سال ۱۳۹۸ که با داده‌های ۴۵۷ ایستگاه تهیه گردیده است، مقایسه نمود. از این بررسی نتیجه گرفته شد که بارش سنگین و موقعیت هسته بارش، مهمترین نقش را در رخداد سیلاب داشته اند. میرمریدی و همکاران (۱۴۰۰) برای بررسی تغییرپذیری فضایی-زمانی بارش سالانه و بیشینهٔ بارش روزانه در غرب ایران، از داده‌های بارش شش ایستگاه سینوپتیک واقع در منطقه در مقطع زمانی ۱۹۶۱- ۲۰۱۹ استفاده نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد در سری زمانی بارش‌های سالانهٔ ایستگاه‌های خرم‌آباد و همدان، روند غیریکنواختی وجود دارد. اما در ایستگاه‌های کرمانشاه، دزفول، اهواز و آبادان روند مشخص شده در همهٔ طبقات، کاهشی و یکنواخت بود. عساکره و همکاران (۱۳۹۹) جهت واکاوی الگوی مکانی بارش‌های بهاره شمال غرب ایران، با روش‌های تحلیل فضایی، با استفاده از فراسنج‌های واریوگرام و رگرسیون جغرافیایی وزن دار، الگوی بارش‌های ۱۲۱ ایستگاه هواشناسی شمال غرب ایران در دوره آماری ۱۹۹۴- ۲۰۱۴ در فصل بهار را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از آماره واریوگرام نشان داد، توزیع مکانی بارش از ماه آوریل به سمت ماه ژوئن کاهش یافته است. همچنین در تمام منطقه، ناهمواری‌ها بیشترین اثر را در کنترل بارش دارند. حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۹) برای بررسی تغییرات مقادیر حدی بارش ایران، از داده‌های روزانه ۷۶ ایستگاه همدید در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۱۶ استفاده نمودند. نتایج تحقیق فوق نشان دهنده روند منفی تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در ۷ درصد کشور است. همچنین روند روزهای متوالی خشک در ۲۸ درصد کشور مثبت و در ۳۷ درصد منفی بود. کیانی و همکاران (۱۳۹۸)، شدیدترین بارش‌های روزانه غرب ایران را در دوره زمانی ۱۹۹۶-۲۰۱۷ از نظر همدید و آماری تحلیل نمودند. این محققان، روزهای بارانی با بیشینه برابر یا بیشتر از ۷۰ میلیمتر را انتخاب و شدیدترین رخداد هر فصل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد هسته اصلی بارش‌های شدید در دامنه‌های غربی زاگرس واقع شده است. در فصل زمستان گسترش سامانهٔ مدیترانه‌ای با بهره‌گیری از رطوبت دریای سرخ عامل اصلی رخداد فرین بارشی بوده است. در فصل بهار استقرار چرخند مدیترانه‌ای بر روی دریای خزر و شمال‌غربی ایران عامل ایجاد بارش سنگین شده است. خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی تحت عنوان پیش بینی بارش‌های سنگین سواحل جنوبی دریای خزر تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره‌ی ۱۴۰۸-۱۳۸۹، تغییرات آتی بارش‌های سنگین سواحل جنوبی دریای خزر را با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی جهانی در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ بررسی نموده اند. تغییرات الگوی بارش‌های ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلیمتر و بیشتر از آن بر اساس داده‌های روزانه‌ی هفت ایستگاه سینوپتیک انزلی، آستارا، بابلسر، گرگان، نوشهر، رامسر و رشت بررسی نمودند. نتایج نشان داد در دوره‌ی آتی در تمام ایستگاه‌های منطقه، از تعداد روزهای همراه با بارش سنگین ۱۰ میلیمتر کاسته و بر تعداد روزهای با بارش بسیار سنگین ۲۰ میلیمتر و بیشتر از آن افزوده خواهد شد. واکاوی آماری و تحلیل فضایی بارش‌های فرین بعنوان یکی از مؤلفه‌های ابزار مدیریت برای پیشگیری از خطرات ناشی از این پدیده و یا کنترل آن مورد توجه قرار می‌گیرد. تپه‌های سیلک دشت کاشان به گواهی مطالعات گریشمن یکی از نمونه های تمدن کهن کشاورزی است که در حاشیه کویر شکل گرفته است (گریشمن، ۱۳۷۹). غنای تمدن کشاورزی زمانی که در کنار غنای معماری کهن و همساز با اقلیم شهرهای دشت کاشان قرار گیرد، بر انجام این پژوهش صحه می‌گذارد. زیرا بارش‌های فرین می توانند برای هر دو مظهر تمدن دشت کاشان، خطر جدی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

محسوب شوند. در این راستا علاوه بر پایش آماری که می‌تواند تصویری روشن از ویژگی‌های بارش‌های فرین ارائه نمایند، تحلیل فضایی نیز ضرورت پیدا می‌کند. هدف تحلیل فضایی بعنوان یکی از دیدگاه‌های اصلی جغرافیا، تحلیل پراکندگی‌ها یعنی توصیف ساختار فضایی و استدلال این ساختارها از طریق روابط فضایی و سرانجام برنامه‌ریزی فضایی فعالیت‌های انسان است (علیجانی، ۱۳۹۴). یکی از بخش‌های اصلی تحلیل فضایی، شناخت عوامل مؤثر در هر پراکندگی است (علیجانی، ۱۳۹۸). الگوی توزیع بارش‌های فرین در دشت کاشان نه تنها بیانگر تأثیر ویژگی‌های مکانی بلکه اثرگذاری مکان‌های مجاور و همسایه را می تواند آشکار نماید. در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی شده بارش‌های فرین با دامنه‌های مختلف، که حاصل درونیابی تحلیل‌های فضایی است می تواند سهم مهمی را ایفا کند. همچنین به مدیران و کاربران کمک کند تا با استفاده از آنها بتوانند تهدیدهای ناشی از این پدیده را به فرصت‌های با ارزش تبدیل کنند. با توجه به توضیحات ارائه شده هدف این پژوهش، واکاوی آماری بارش‌های فرین دشت کاشان و بررسی سهم آنها در بارش سالانه، و نیز تحلیل فضایی و تعیین پهنه‌های بارش‌های فرین از طریق تحلیل واریوگرام و مدل نمودن تغییرات مکانی است.

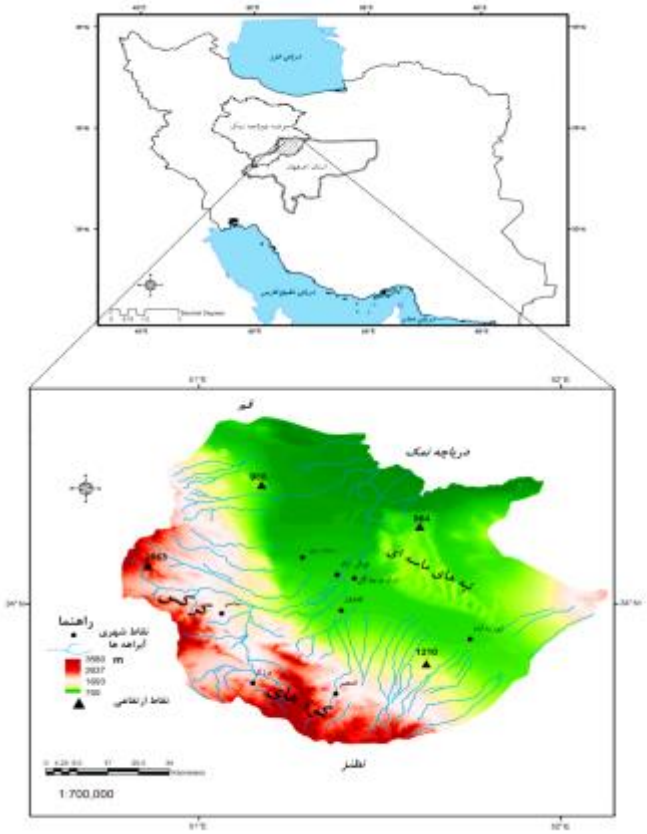
داده‌ها و روش کار

الف) معرفی قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

حوضه دشت کاشان با مساحت ۶۹۵۰ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۵۰/۹ تا ۵۲/۱ درجه طول شرقی و ۳۳/۶ تا ۳۴/۵ درجه عرض شمالی قرار دارد و یکی از زیر حوضه‌های آبریز دریاچه نمک می‌باشد (است). از نظر اداری در استان اصفهان و شمال آن، از شمال به دشت قم و دریاچه نمک، از شرق به قسمت‌های شرقی شهرستان آران‌وبیدگل، در جنوب به ارتفاعات منطقه نطنز و از غرب به ارتفاعات کرکس محدود می‌شود. حدود ۷۰ درصد حوضه ارتفاع کمتر ۱۵۰۰ متر دارد (شکل ۱).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]



شکل (۱): موقعیت حوضه دشت کاشان در استان اصفهان و حوضه دریاچه نمک

ب) روش کار

روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش روش توصیفی- تحلیلی است که با استفاده از تحلیل‌های آماری و فضایی، ماهیت و ویژگی‌های بارش‌های فرین ایستگاه همدید کاشان آشکارسازی و پهنه‌های بارشی دشت کاشان تعیین و تحلیل گردیده است. در این پژوهش در مرحله اول برای واکاوی آماری بارش‌های فرین دشت کاشان، داده‌های روزانه بارش ایستگاه همدید کاشان مربوط به سال‌های ۱۹۷۱-۲۰۲۱ میلادی مطابق با سال آبی ۱۳۵۱-۱۳۵۰ تا ۱۴۰۱- ۱۳۹۹ به صورت نقطه‌ای تحلیل گردید. در ابتدا آزمون همگنی و تصادفی بودن داده‌ها با آزمون ران انجام شد . پس از تحلیل آماری بارش‌های روزانه ایستگاه همدید کاشان، مقدار آستانه بارش‌های فرین تعیین گردید. این آستانه معمولاً یا به صورت مطلق مانند ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلیمتر و یا به صورت نسبی بر حسب صدک‌ها تعیین می‌گردد. در این پژوهش با توجه به تنوع مناطق جغرافیایی، نمایه‌های صدک ۹۰، ۹۵ و ۹۹ با استفاده از تابع PERCENTILE.EXC در نرم‌افزار اکسل محاسبه گردید. صدک ۹۵ نمایه بارش بسیار سنگین[۱] و صدک ۹۹ نمایه بارش ابر سنگین[۲] است(وارنر ۲۰۲۱[۳]). با توجه به ماهیت خشک اقلیم ایران، روزهای بالای صدک۹۵ چندان زیاد نیست، بنابر این از صدک۹۰ نیز استفاده می‌گردد (علیجانی ۱۳۹۰). از نمایه صدک ۹۰ با آستانه ۹ میلیمتر، صدک ۹۵ با آستانه ۱۳/۲۶ میلیمتر و صدک ۹۹ با آستانه ۲۴ میلیمتر

۱ -Heavy Rainfall
۲ - Extreme Rainfall
۳ - Warren

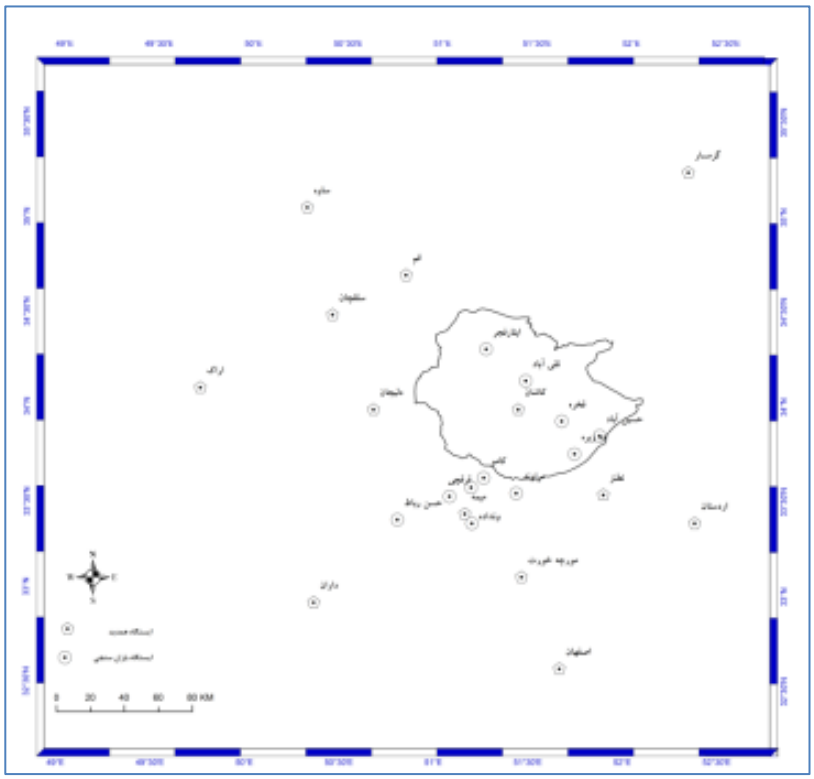
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

بعنوان تمایز بارش‌های فرین شامل بارش‌های سنگین (۹-۱۳/۲۵)، بسیار سنگین (۱۳/۲۶-۲۴) و ابر سنگین (بیش از ۲۴) استفاده شد. سپس هر کدام از بارش‌ها تحلیل گردیدند.

در مرحله دوم پژوهش، با استفاده از بارش روزانه ۱۳ ایستگاه همدید و ۱۱ ایستگاه باران سنجی (جدول۱)، شش مورد بارش فرین ایستگاه همدید کاشان بر اساس رخداد فراگیر (جدول۲) مورد تحلیل فضایی قرار گرفت. با بکارگیری روش‌های زمین‌آمار، پراکنش مکانی شش مورد بارش فرین بررسی و روند مکانی آنها تحلیل گردید. پهنه‌های بارشی روزهای مزبور با استفاده از نقشه‌های ورونوی و نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس روش کریجینگ که مبتنی بر تحلیل واریوگرام و مدل نمودن تغییرات مکانی بارش‌ها است، تعیین و تحلیل گردیدند.

جدول (۱): مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه (همدید)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ایستگاه (باران سنجی)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
کاشان	۵۱/۴۵	۳۳/۹۸	فخره	۵۱/۶۸	۳۳/۹۲
داران	۵۰/۳۷	۳۲/۹۷	ایثارفجر	۵۱/۲۸	۳۴/۳۰
اصفهان	۵۱/۶۷	۳۲/۶۲	تقی آباد	۵۱/۴۹	۳۴/۱۳
اراک	۴۹/۷۷	۳۴/۱۰	ده زیره	۵۱/۷۵	۳۳/۷۵
میمه	۵۱/۱۷	۳۳/۴۳	حسین آباد	۵۱/۸۸	۳۳/۸۴
نطنز	۵۱/۹۰	۳۳/۵۳	کامو	۵۱/۲۷	۳۳/۶۲
اردستان	۵۲/۳۸	۳۳/۳۸	جوشقان قالی	۵۱/۲۰	۳۳/۵۷
گرمسار	۵۲/۳۵	۳۵/۲۳	قرقچی	۵۱/۰۹	۳۳/۵۲
ساوه	۵۰/۳۳	۳۵/۰۵	مراوند	۵۱/۴۴	۳۳/۵۴
مورچه خورت	۵۱/۴۷	۳۳/۱۰	حسن رباط	۵۰/۸۱	۳۳/۴۰
قم	۵۰/۸۵	۳۴/۷۰	ونداده	۵۱/۲۰	۳۳/۳۸
دلیجان	۵۰/۶۸	۳۳/۹۸			
سلفچگان	۵۰/۴۷	۳۴/۴۸			



شکل (۲): موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

جدول (۲): میزان شش بارش فرین منتخب در ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه	بارش ۱۴ /۸۱/۱	بارش ۸۸/۱/۱۱	بارش۹۷/۱۲/۱۷	بارش ۵ /۹۸/۱	بارش ۳ /۹۹/۱	بارش ۹۹/۱/۲۰
کاشان	۵۸	۲۱/۸	۳۲/۶	۲۴/۲	۲۴/۴	۳۴/۶
داران	۱۹	۹	۱/۱	۶۲/۶	۶/۱	۱
اصفهان	۱۶	۶	۰/۱	۳۹/۹	۱۰/۱	۵
اراک	۱۸/۱	۳۷	۱۴/۹	۳۰/۶	۱۰/۴	۶۴/۱
میمه	۴۶	۲۵	۳	۴۴/۴	۱۵/۹	۱۰
نطنز	۵۰	۱۰	۲۶	۴۶/۱	۲۱/۴	۲۵/۵
اردستان	۱۳	۸	۲۷	۳۰/۲	۹	۲۲/۷
گرمسار	۲۱	۲۳	۱	۱۷/۷	۵۲/۵	۱۱/۲
ساوه	۱۳	۵۹	۱	۱۸/۲	۲۶/۲	۱۲/۹
مورچه خورت	۲۳	۱۳	۲	۲۹/۶	۴/۵	۴/۷
قم	۱۴/۲	۴۳	۱۳	۲۲/۶	۳۳/۵	۹/۹
دلیجان	_	۲۱	۰/۱	۲۶/۸	۲۲/۴	۳۸/۷
سلفچگان	_	۷۰/۶	۱۱	۲۶/۴	۲۹/۶	۲۴/۷
فخره	_	_	۱۰	۱۰/۵	۹/۸	۱۶
ایثارفجر	_	_	۱۶	۳۰	۲۴/۵	۲۸/۳
تقی آباد	_	_	۱۷/۱	۲۲/۶	۲۶/۷	۳۱
ده زیره	_	_	۲۷/۵	۱۰/۵	۱۸/۲	۳۵
حسین آباد	_	_	۱۶	۲۳	۲۵	۲۳/۵
کامو	_	_	۱	۳۵	۲۴	۲۰
معادله ۱	_	_	۲	۴۸/۵	۱۵	۱۱
قرقچی	_	_	۴	۵۵	۱۲	۲۲
مراوند	_	_	۳	۵۵	۱۵	۲۰
حسن رباط	_	_	۵	۲۶	۲۶	۱۷
ونداده	_	_	۴	۵۲	۲۷	۱۸

تحلیل روند مکانی بارش‌های فرین دشت کاشان بر اساس معادله چند جمله ای درجه دو در محیط سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد. نقشه‌های ورونوی بر اساس درون یابی مثلث بندی تیسن، پهنه‌هایی که تحت تأثیر نزدیکترین نقطه قرار می‌گیرند را تعیین می کنند (Kim et al, ۲۰۱۸). بنابراین پهنه ها متأثر از فاصله ایستگاه‌های همدید یا باران سنجی هستند. با استفاده از این نقشه‌ها می توان محدوده اثر متغیرهای فضایی و شعاع عملکرد آنها را تعیین نمود. در این نقشه‌ها برای هر پهنه فقط یک عدد که میزان بارش ایستگاه همدید یا باران سنجی است، نسبت داده می‌شود. تا زمانی که تعداد و مکان ایستگاه‌ها تغییر نکند، مساحت‌های متناظر با هر ایستگاه ثابت می‌باشد و فقط مقادیر بارندگی متناظر با هر مساحت در هر بارش فرینی تغییر می‌کند.

روش کریجینگ که برای پهنه‌بندی بارش‌های فرین استفاده گردیده است، یک روش زمین‌آماری برای درونیابی و پهنه‌بندی داده‌ها است که متکی بر واریانس فضایی آنهاست. اولین گام در این روش نرمال نمودن داده‌ها بر اساس روش لوگ نرمال (معادله ۱) است (حسنی پاک، ۱۳۸۶).

معادله ۱

$$f(x) = \frac{1}{x\beta\sqrt{2\pi}\, e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{lnx-\alpha}{\beta}\right)2}} \qquad x > 0$$

β و α به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های تبدیل یافته اند.

در گام دوم بهترین مدل‌های واریوگرام تعیین گردیدند. واریوگرام تابعی است که ساختار تغییرات مکانی یک متغیر را توصیف می نماید (معادله ۲) و دارای سه فراسنج اثر قطعه‌ای، آستانه و شعاع تأثیر است. نمونه‌های برداشت شده تا

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

فاصله معینی که دامنه یا شعاع تأثیر نامیده می‌شوند در قالب ساختار مکانی به هم وابسته هستند (صدق آمیز ۱۴۰۰). بعد از آن نمونه‌ها مستقل از هم رفتار می‌کنند (عساکره ۱۳۹۸). در این فاصله منحنی واریوگرام به آستانه یا حد ثابتی می‌رسد که نشان دهنده کل تغییرپذیری متغیر مورد نظر تا دامنه تأثیر می‌باشد. اثر قطعه‌ای یکی از اجزای واریوگرام محسوب شده که در واقع همان عرض از مبدأ است و بیانگر مؤلفه‌های تصادفی بدون ساختار می‌باشد (خسروی، ۱۳۹۵). بنابراین هر چقدر به صفر نزدیک باشد ایده آل‌تر است.

معادله ۲

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

در معادله فوق γ(h) واریانس جفت نقاطی که در فاصله h از یکدیگر قرار گرفته‌اند، h فاصله بین نقاط نمونه‌برداری شده، n تعداد جفت نقاطی که در یک راستا به فاصله h از یکدیگر قرار دارند، Z(xi) مقدار متغیر در نقطه xi و Z(xi+h) مقدار متغیر در نقطه xi+h است.

سپس با استفاده از معیارهای ریشه میانگین مربع خطای استاندارد (RMSE)، میانگین خطای استاندارد(MSE) و ریشه میانگین مربع خطا (RMS)، برای سه مدل نمایی، کروی و گوسین (معادله ۳)، بهترین مدل واریوگرام بر اساس روش اعتبارسنجی متقابل انتخاب شد. مدلی که ریشه میانگین مربع خطای استاندارد به یک نزدیکتر، میانگین خطای استاندار به صفر نزدیکتر و ریشه میانگین مربع خطا آن کوچکتر باشد (Ezugwu et al ۲۰۲۱)، به عنوان بهترین مدل واریوگرام انتخاب شد.

معادله ۳

$$\gamma(h) = \sigma^2 \left| 1 - e^{\left|-3\left|\frac{h}{\varphi}\right|\right.} \right| \quad \text{مدل نمایی}$$

$$\gamma(h) = \left\{ \sigma^2 \left| \frac{3}{2} \left[\frac{h}{\varphi}\right] - \frac{1}{2} \left[\frac{h}{\varphi}\right]^3 \right\} \right. \quad \text{مدل کروی}$$

$$\gamma(h) = \sigma^2 \left| 1 - e^{\left|-3\left|\frac{h^2}{\varphi}\right|\right.} \right| \quad \text{مدل گوسین}$$

در فرمول فوق $\gamma(h)$ واریوگرام، h فاصله، σ^2 آستانه و φ شعاع تأثیر است.

سپس مؤلفه‌های هر مدل واریوگرام محاسبه و بر اساس آن معادله واریوگرام و معادله رگرسیون برای هر بارش تعیین گردید.

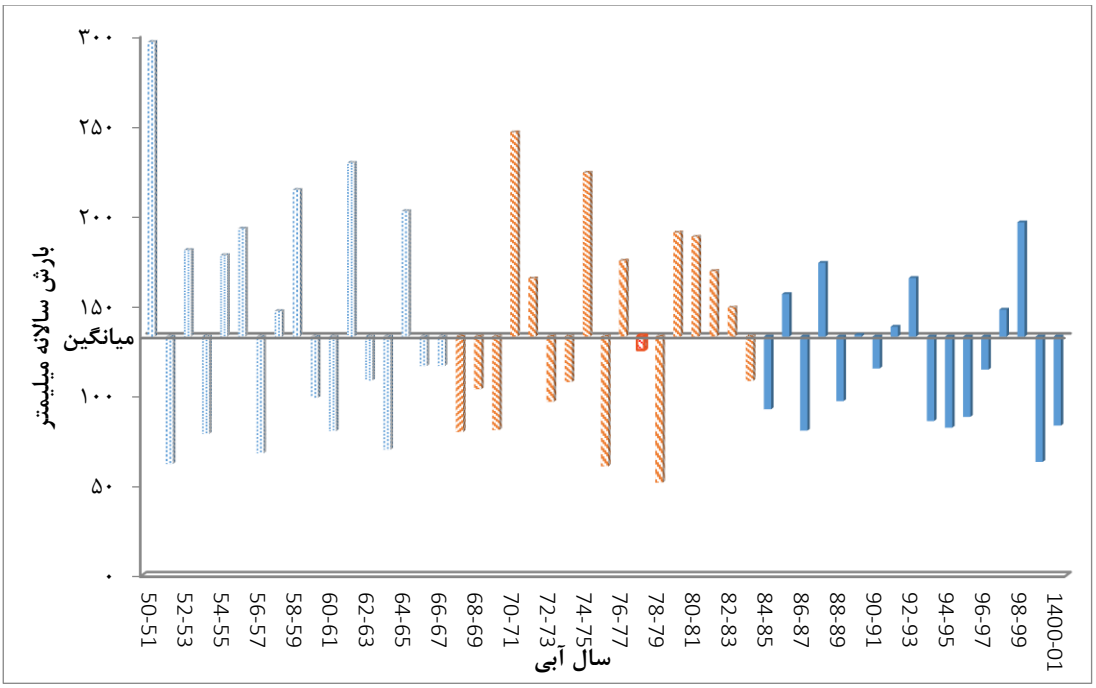
شرح و تفسیر نتایج

- **ویژگی‌های آماری بارش‌های سالانه**

همگنی و تصادفی بودن داده‌های بارش سالانه ایستگاه همدید کاشان در ۵۱ سال آبی با سطح خطای ۰/۵ اثبات گردید. میانگین بارش سالانه ۱۳۲/۸۲ میلیمتر به دست آمد که در مقایسه با میانگین ۲۵۰ میلیمتری کشور در شرایط اقلیمی بسیار کم‌بارشی قرار دارد. ضریب تغییرات ۴۲٪ نشان دهنده نوسان شدید بارش سالانه است. ۲۸ سال یعنی ۵۵ درصد دوره، سال‌های دارای بارش کمتر از میانگین و ۲۳ سال یعنی ۴۴ درصد دوره سال‌های دارای بارش بالاتر از میانگین بودند. بررسی الگوی رفتاری سری زمانی بارش‌های سالانه، سه الگوی رفتاری شاخص را نشان داد. الگوی اول از سال ۵۰-۵۱ تا ۶۶-۶۷ حاکم است. در این دوره بیشترین بارش سالانه رخ داده است، سال‌های خشک فراوانی بیشتر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

داشته و تداوم سال‌های خشک و مرطوب حداکثر دو ساله است. الگوی دوم از سال ۶۷-۶۸ تا ۸۳-۸۴ با کمترین بارش سالانه، فراوانی بیشتر سال‌های خشک و تداوم بیشتر سال‌های خشک و مرطوب نسبت به الگوی اول، مشخص می‌شوند. الگوی سوم از سال ۸۴-۸۵ تا ۱۴۰۰-۱۴۰۱ دارای افت و خیز کمتری بوده و دوره‌های خشک فراوانی وتداوم بیشتری دارند (شکل ۳).



شکل (۳) الگوی رفتاری سری زمانی بارش سالانه ایستگاه همدید کاشان

۸۹/۵ درصد سال فاقد باران بوده و بیشتر بارش نازل شده (۹/۳ درصد) در طبقات بارشی کمتر از ۹ میلیمتر قرار دارند (جدول۳).

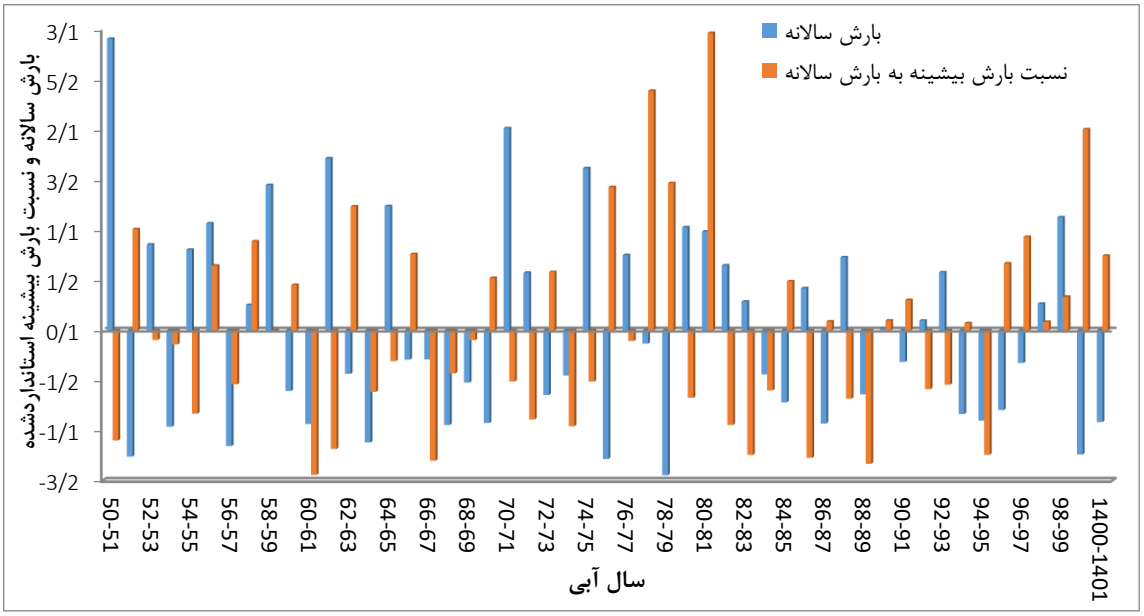
جدول (۳): فراوانی طبقات بارش در ایستگاه همدید کاشان

طبقات بارش (میلیمتر)	بدون بارش	۰-۹ (غیرفرین)	۱۳/۹-۲۶ (سنگین)	۱۳/۲۶- ۲۴ (بسیار سنگین)	بیش از۲۴ (ابرسنگین)	مجموع
روز	۱۶۶۶۸	۱۷۳۴	۱۱۹	۷۵	۲۲	۱۸۶۱۸
درصد	۸۹/۵	۹/۳	۰/۷	۰/۴	۰/۱	۱۰۰

نسبت بارش‌های بیشینه به بارش‌های سالانه، معیاری برای شناسایی شدت بارش‌های روزانه، تمرکز یا توزیع بارش می‌باشد (عساکره ۱۳۹۱). برای تحلیل بهتر اثربخشی این نسبت بر بارش، هر دو متغیر استاندارد گردید (شکل ۴). بالا بودن نسبت بارش‌های بیشینه به بارش‌های سالانه، به ویژه در سال‌هایی که بارش کمتر از میانگین دراز مدت دریافت کرده اند، مانند سال ۹۹-۱۴۰۰، نشان داد بیش از ۲۵ درصد بارش سال در یک روز نازل گردیده است. تحت چنین شرایطی کاهش فراوانی روزهای بارانی سبب افزایش شدت بارش‌ها می‌گردد. برعکس آن یعنی، پایین بودن این نسبت در حدود ۱۰ درصد، به ویژه در سال‌هایی مانند ۶۲-۶۱ و ۵۱-۵۰ که بارش بیش از میانگین درازمدت دریافت شده، نشان دهنده فراوانی بیشتر روزهای بارانی و شدت کم بارندگی می‌باشد. بطور میانگین بارش بیشینه ۱۵/۸ درصد از بارش

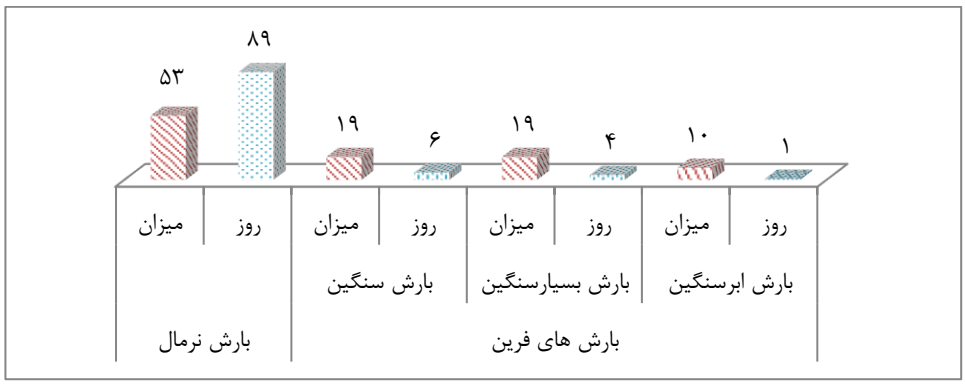
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

سالانه را به خود اختصاص داده است. پایین‌ترین سهم بارش بیشینه با ۸/۷ درصد متعلق به سال ۶۰-۶۱ و بالاترین آن با ۳۰/۸ درصد متعلق به سال ۸۰- ۸۱ می‌باشد. مقدار این فراسنج از ۷ میلیمتر در تاریخ ۶۱/۳/۳ تا ۵۸ میلیمتر در تاریخ ۸۱/۱/۱۴ متفاوت است.



شکل (۴):بارش سالانه و نسبت بارش بیشینه به بارش سالانه ایستگاه همدید کاشان

بررسی‌ها نشان داد ۸۹ درصد روزهای بارانی بارش کمتر از ۹ میلیمتر دریافت می‌کنند. ۵۳ درصد بارش سال در این روزها نازل می‌شوند. در حالی که ۴۸ درصد بارش سال، شامل ۱۱ درصد روزهای بارانی به صورت بارش بیش از ۹ میلیمتر یعنی بارش‌های فرین هستند. پس از تفکیک بارش های فرین مشخص شد ۱۹ درصد بارش‌های سالانه و ۶ درصد روزهای بارانی به صورت بارش‌های سنگین و روزهای مرطوب بودند. بارش‌های بسیار سنگین با روزهای بسیار مرطوب، ۱۹ درصد بارش‌های سالانه و ۴ درصد روزهای بارانی را به خود اختصاص داده اند. در یک درصد روزهای بارانی، ۱۰ درصد بارش سالانه به صورت بارش‌های ابر سنگین نازل شده است (شکل۵).

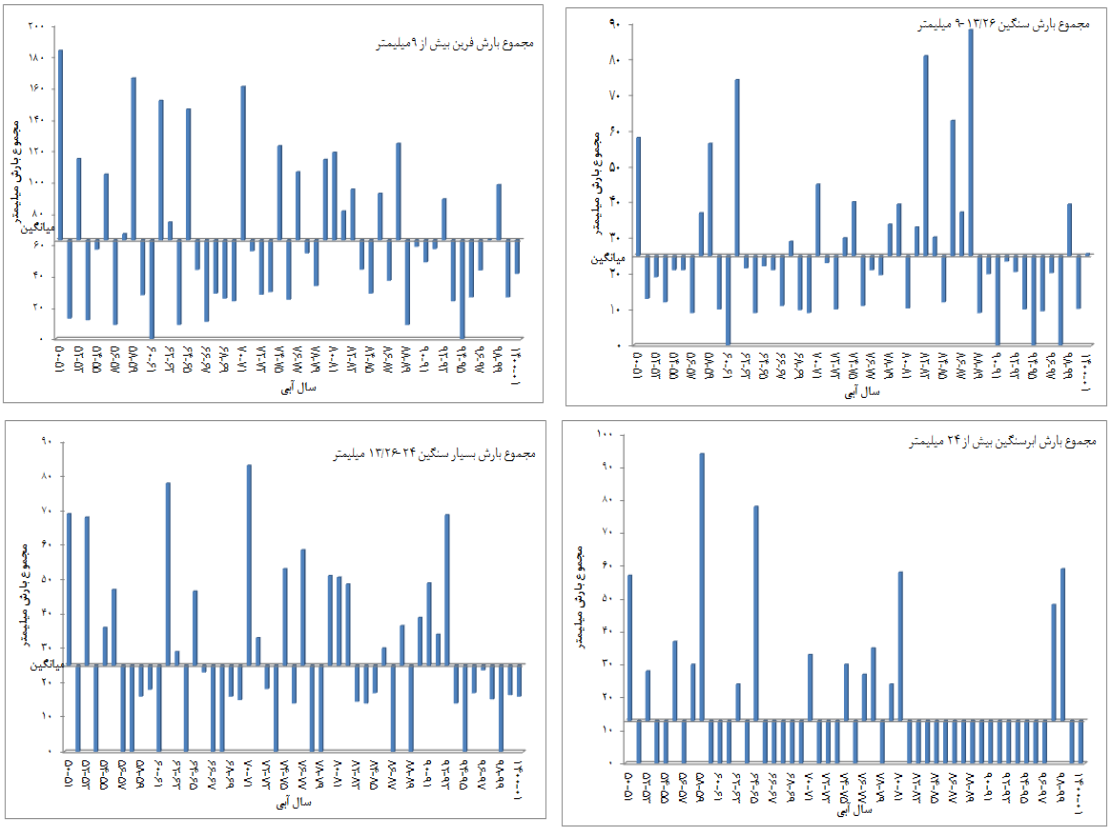


شکل (۵): درصد روزهای بارانی و میزان بارش های فرین و نرمال در بارش سالانه ایستگاه همدید کاشان

مجموع بارش‌های فرین در دوره آماری ۵۱ ساله از نوسانات بالایی برخوردار است. میانگین این بارش‌ها ۶۳ میلیمتر با تغییر پذیری ۷۶/۵ درصد می‌باشد. بدین معنا که مجموع بارش‌های فرین در ایستگاه همدید کاشان، به طور متوسط در دامنه ۱۵ تا ۱۱۱ میلیمتر در هر سال در نوسان است. همچنین فراوانی بارش‌های فرین با میانگین ۴/۲۶ روز و ضریب

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

تغییرات ۷۰ درصد و دامنه نوسان ۱ تا ۷ روز در سال، از تغییر پذیری بالایی برخوردار است. سال ۵۰-۵۱ با ۱۸۴ میلیمتر (۶۲ درصد بارش سالانه) و ۱۱ روز (۲۱ درصد روزهای بارانی سال) بیشترین بارش فرین را دریافت نموده است. به استثنای سال‌های ۶۰-۶۱ و ۹۴-۹۵، تمام سال‌های دوره آماری این بارش‌ها را تجربه کردند. میانگین مجموع بارش‌های سنگین ۲۵ میلیمتر و میانگین فراوانی روزهای مرطوب آن ۲/۵ روز است. به استثنای چهار سال آماری تمام سال‌های دوره آماری این بارش را تجربه کرده اند. میانگین مجموع بارش‌های بسیار سنگین ۲۵/۲ میلیمتر و میانگین فراوانی روزهای خیلی مرطوب ۲/۳۴ روز است. ۳۰ درصد دوره آماری این بارش را تجربه نکرده اند. مجموع بارش‌های ابر سنگین بطور میانگین ۱۳/۲ میلیمتر و حداکثر فراوانی روزهای فوق العاده مرطوب دو روز است. سال ۵۹-۵۸ با ۹۴ میلیمتر (۴۴/۵ درصد بارش سالانه) و ۲ روز (۵/۷ درصد روزهای بارانی سال) بیشترین بارش ابرسنگین و روزهای فوق العاده مرطوب را داشته است. به منظور ارزیابی الگوی رفتاری سری زمانی بارش‌های فرین ایستگاه همدید کاشان، از میانگین دراز مدت استفاده شد. بیشترین افت و خیزها در ۱۵ سال اول، ۵۰-۵۱ تا ۶۴-۶۵، وجود دارد. به طوری که بیشترین فراوانی (۱۱ روز) در سال‌های ۵۰-۵۱ و ۶۱-۶۲ و بیشترین مجموع بارش‌های فرین (۱۸۴ میلیمتر) در سال ۵۰-۵۱ دیده می‌شود. در حالی که در سال ۶۰-۶۱ بارش فرین رخ نداده است، در دوره ۱۵ سال دوم میزان افت ها بر خیزها غلبه دارد. اما از دو دهه اخیر یعنی از ابتدای دهه ۸۰ سیر نزولی بارش‌های فرین آغاز گردیده است. به طوری که از سال ۸۹-۸۸ تا ۹۹-۱۴۰۰ به استثنای سال ۹۸-۹۹ بارش سنگین بیش از میانگین، و از سال ۹۳- ۹۴ تا ۹۹-۱۴۰۰ بارش بسیار سنگین بیش از میانگین رخ نداده است. در دو دهه اخیر تنها در سال‌های ۹۷--۹۹، بارش‌های ابرسنگین رخ داده است (شکل ۶).

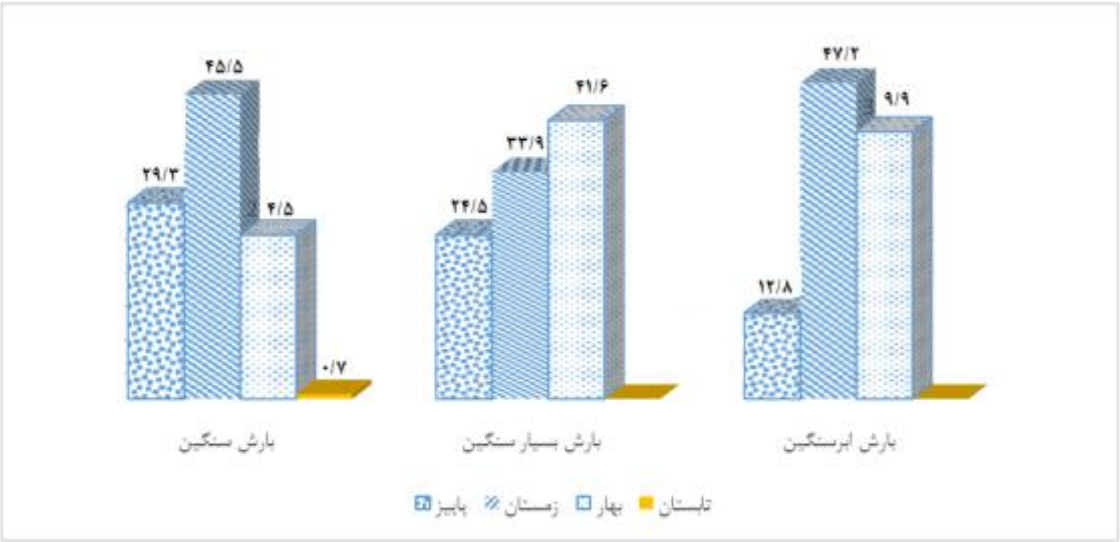


شکل (۶): الگوی سری زمانی انواع بارش‌های فرین ایستگاه همدید کاشان

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

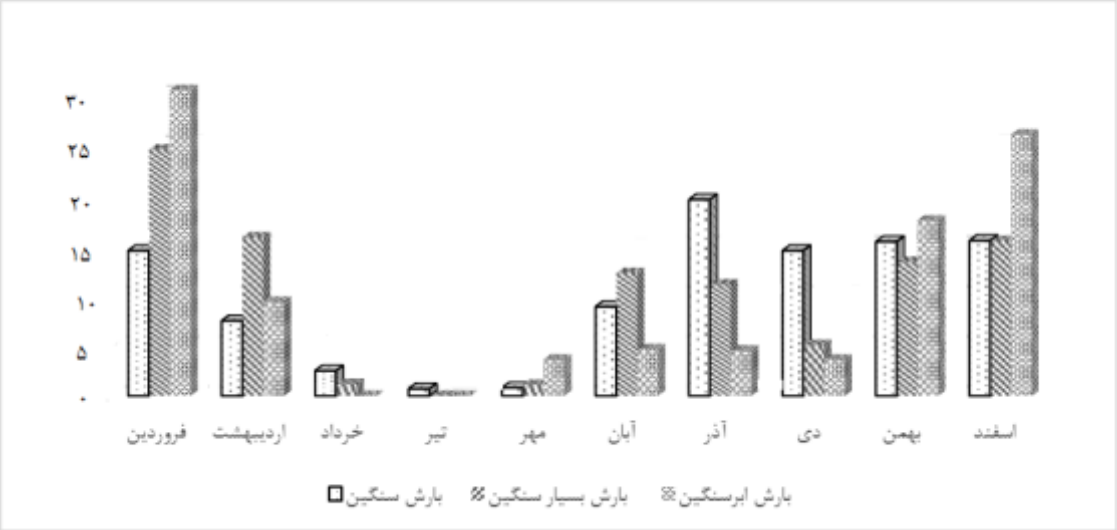
برای تحلیل همبستگی، ارتباط بارش سالانه با چهار متغیر روزهای بارانی، بارش بیشینه، مجموع بارش فرین و فراوانی بارش فرین، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از ماتریس ضریب همبستگی پیرسون نشان داد بارش سالانه با متغیرهای مزبور دارای همبستگی مثبت، قوی و بسیار قوی است که در سطح ۰/۰۱ معنادار می‌باشد. بیشترین ضریب همبستگی بارش سالانه با مجموع و فراوانی بارش‌های فرین به ترتیب با ۰/۹۳۱ و ۰/۸۸۳ می‌باشد. این بارش‌ها به میزان زیاد و در مدت کوتاه ۱ تا حداکثر ۱۱ روز نازل شده اند. کمترین ضریب همبستگی بارش سالانه با بارش بیشینه با ۰/۷۰۸ و روزهای بارانی با ۰/۶۸۷ بوده است. به نظر می رسد حجم بارش سالانه بیش از آنکه از توزیع بارش در طول سال تأثیر پذیرد از تمرکز بارش در مقاطع کوتاه چند روزه متأثر می‌شود. این امر نقش بارش‌های فرین را در بارش کل و رواناب سطحی و در نتیجه بیلان آب منطقه نشان می‌دهد. از دیگر ویژگی‌های بارش فرین، که در برنامه‌ریزی پایش و مدیریت این بارش‌ها می بایست مورد توجه قرار گیرد، توزیع فراوانی آنها در طول سال است. در فصل تابستان فقط یک مورد بارش سنگین به میزان ۹ میلیمتر رخ داده است. فراوانی وقوع بارش‌های سنگین و ابرسنگین در فصل زمستان و بارش‌های بسیار سنگین در فصل بهار بیش از سایر فصول است (شکل۷). به استثنای ماه‌های مرداد و شهریور، تمام ماه‌های سال احتمال دارد که بارش‌های فرین را دریافت نمایند. فراوانی بارش‌های ابرسنگین و بسیار سنگین در ماه فروردین و پس از آن در اسفند بیش از ماه‌های دیگر است. در حالی که فراوانی بارش‌های سنگین در آذر و پس از آن در ماه‌های بهمن و اسفند بیشتر مشاهده شده است (شکل ۸). این بارش‌ها خارج از فصل رشد گیاهان نازل می‌شوند. در نتیجه با کاهش دریافت توسط پوشش گیاهی و کاهش نفوذ به درون زمین، ضریب رواناب افزایش پیدا می کند و رخداد سیلاب و خسارت های ناشی از آن دور از انتظار نخواهد بود.



شکل (۷): درصد توزیع فصلی بارش‌های فرین ایستگاه همدید کاشان

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]



شکل (۸): درصد توزیع ماهانه بارش‌های فرین ایستگاه همدید کاشان

- **تحلیل فضایی**

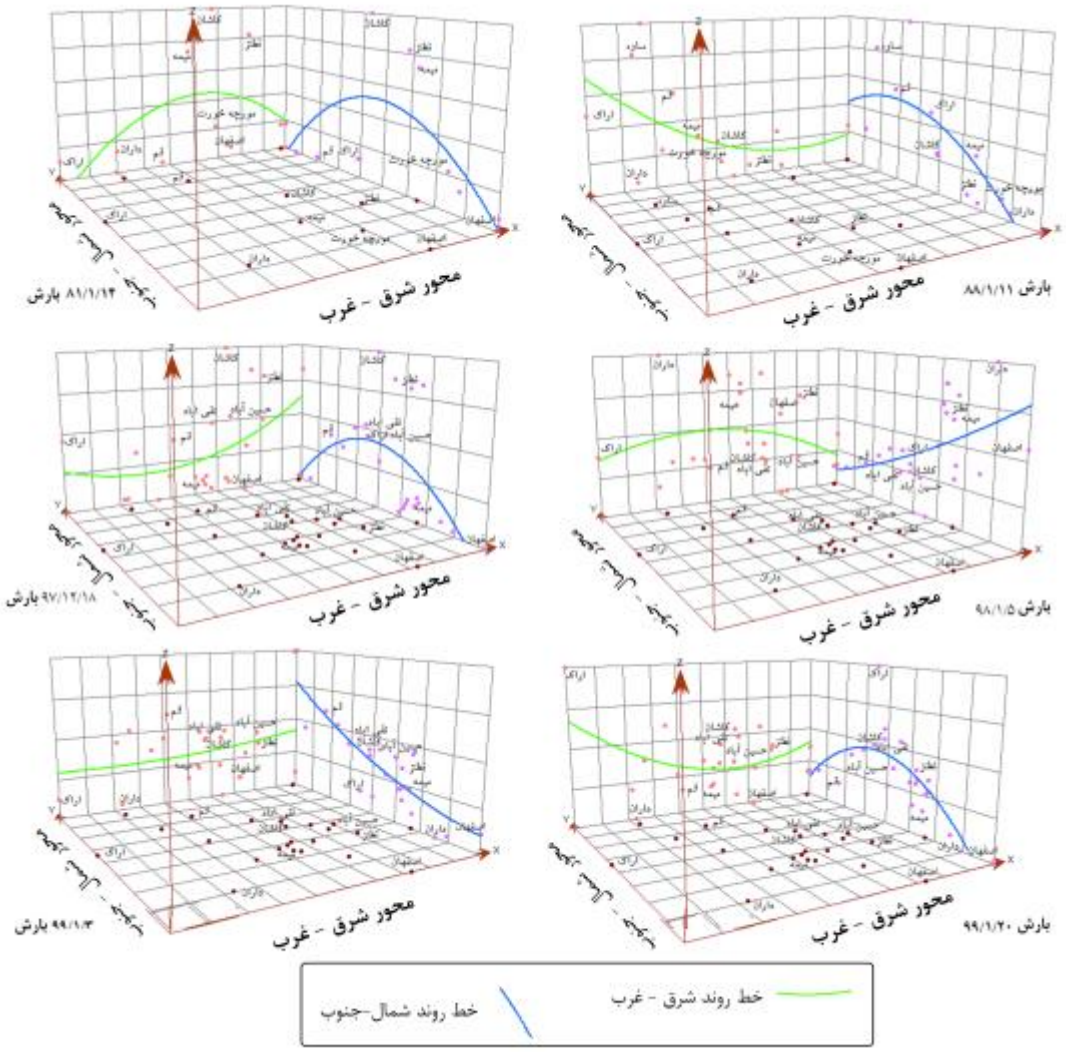
در این بخش از پژوهش، با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۱۳ ایستگاه همدید و ۱۱ ایستگاه باران‌سنجی، شش بارش فرین منتخب، از نظر فضایی تحلیل گردید. روند مکانی، پراکنش فضایی و مدل‌سازی فضایی بارش‌های فرین منتخب، از مواردی است که در این قسمت به آنها پرداخته شده است.

- **روند مکانی بارش‌های فرین**

روند مکانی بارش‌های فرین منتخب، در طول و عرض جغرافیایی، بر اساس معادله چند جمله ای درجه دو، مورد تحلیل قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد تمرکز بارش سنگین، در تاریخ ۱۴ فروردین ۱۳۸۱، در ایستگاه‌های همدید کاشان، نطنز و میمه در محدوده میانی منطقه، روند را تحت تأثیر قرار داده است. بطوری که باعث شده است میزان و شدت بارش‌ها از غرب به شرق از یکسو و از جنوب به شمال از سوی دیگر افزایش یافته و سپس روند آن کاهشی گردد. در تاریخ ۱۱ فروردین ۱۳۸۸، تمرکز بارش‌های سنگین بر شمال‌غربی منطقه، یعنی ایستگاه‌های همدید سلفچگان، ساوه، قم و اراک بوده است. این مورد باعث شده بارش‌های سنگین روند غربی- شرقی با شیب تند کاهشی آغاز کنند و با عبور از دشت کاشان شیب آن ملایم گردد. اما خط روند جنوبی - شمالی دارای شیب تند افزایشی است. در تاریخ ۱۸ اسفند ۱۳۹۷ تمرکز بارش‌های سنگین به صورت نواری در ایستگاه‌های همدید و باران سنجی دشت کاشان و جنوب آن سبب گردیده است روند غربی-شرقی ابتدا با شیب ملایم کاهشی آغاز، و با رسیدن به دشت کاشان به شیب تند افزایشی تبدیل گردد. روند جنوبی-شمالی نیز ابتدا دارای شیب تند افزایشی و پس از عبور از دشت کاشان به روند با شیب تند کاهشی تغییر یافته است. در تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۸ تمرکز بارش‌های سنگین در جنوب و جنوب غربی منطقه روند توزیع بارش را تحت تأثیر قرار داده است و روند افزایشی با شیب تند از شمال به جنوب و روند افزایشی با شیب ملایم از غرب به شرق غالب می‌باشد. این خط روند پس از عبور از دشت کاشان با شیب نسبتاً تندی کاهش می یابد. تمرکز بارش‌های سنگین، در تاریخ ۳ فروردین ۱۳۹۹ بر قسمت‌های داخلی شمال غربی می‌باشد. تحت چنین شرایطی خط روند توزیع بارش از غرب به شرق دارای شیب ملایم افزایشی، و از جنوب به شمال دارای شیب تند افزایشی است. در بارش سنگین

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

۲۰ فروردین سال ۱۳۹۹، تمرکز بارش در قسمت‌های داخلی باعث شده است خط روند غرب به شرق ابتدا با شیب تند کاهشی شروع، و پس از عبور از دشت کاشان به شیب ملایم افزایشی تغییر یابد. همچنین خط روند جنوب به شمال با شیب تند افزایشی پس از عبور از دشت کاشان با شیب ملایم کاهش گردیده است (شکل۹).



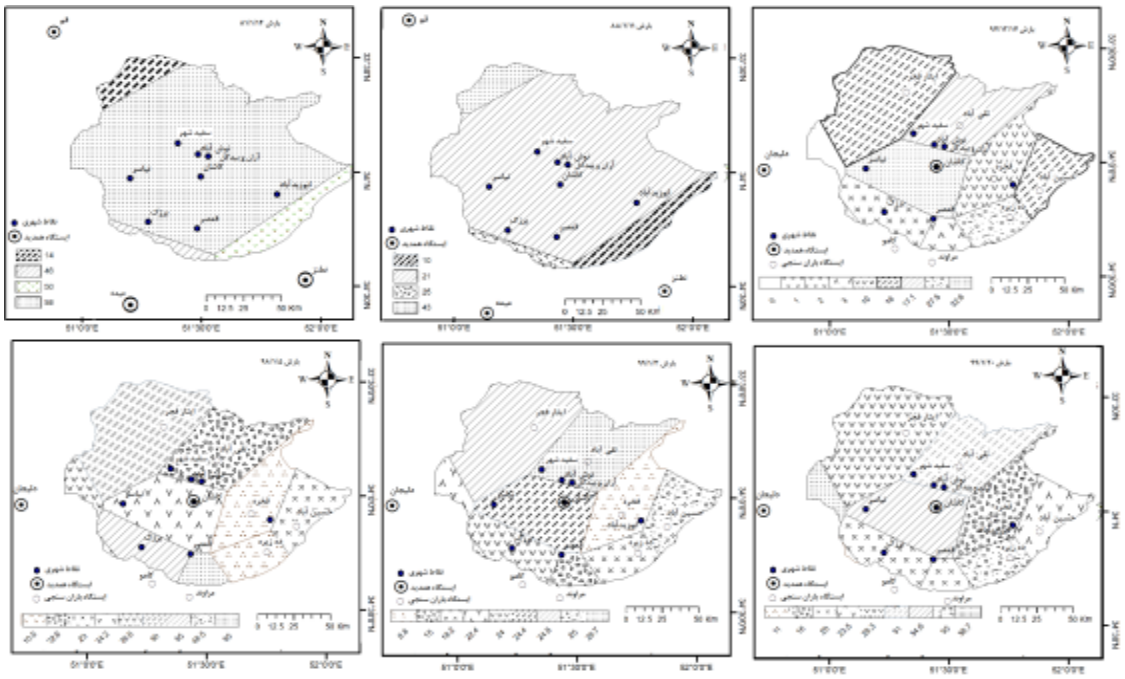
شکل (۹): روند مکانی بارش‌های فرین منتخب.

- **پراکندگی فضایی بارش‌های فرین**

با استفاده از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های همدید و باران سنجی موجود در دشت کاشان و اطراف آن و به کارگیری نقشه‌های ورونوی (تیسن)، محدوده تحت پوشش هر یک از ایستگاه‌ها، ترسیم گردید. تا پراکندگی فضایی پهنه‌های بارشی در دشت کاشان، به هنگام رخداد بارش‌های فرین، مشخص گردد. لازم به ذکر است روش ورونوی یا پلیگون تیسن، یکی از روش‌های درونیابی است که ارزش یک ایستگاه به کلیه نقاطی که در مساحت منطقه ای آن قرار گیرند، نسبت داده می شود. پراکندگی فضایی پهنه ها برای بارش‌های فرین ۸۱/۱/۱۴ و ۸۸/۱/۱۱ که بر اساس ایستگاه‌های همدید تهیه گردیده اند با سایر بارش‌های فرین متفاوت است. بر اساس نقشه ورنوی تهیه شده برای بارش‌های

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

مزبور، ۸۴/۴ درصد سطح حوضه در محدوده عملکرد ایستگاه همدید کاشان است. جنوب حوضه با ۸ درصد، شمال غربی با ۵/۴ و جنوب غربی با ۲/۲ درصد سطح حوضه به ترتیب تحت نفوذ ایستگاه‌های همدید نطنز، قم و میمه قرار دارند. بر اساس نقشه‌های ورونوی، در تاریخ ۱/۱۴/ ۸۱ بیش از ۹۲ درصد حوضه دشت کاشان بارش بیش از ۵۰ میلیمتر و پهنه محدودی در شمال غربی حوضه کمترین بارش را دریافت نموده اند. در حالی که در تاریخ ۸۸/۱/۱۱ پهنه شمال‌غربی با بارش بیش از ۴۰ میلیمتر، بیشترین بارش را دریافت نموده است. برای تهیه نقشه‌های ورونویی چهار بارش فرین دیگر علاوه بر ایستگاه‌های همدید از ایستگاه‌های باران سنجی نیز استفاده گردید. این نقشه‌ها دارای ۹ پهنه بارشی هستند که هر کدام در محدوده عملکرد یکی از ایستگاه‌ها قرار دارند. ۱۹ درصد سطح حوضه در شعاع تأثیر دو ایستگاه همدید و ۸۱ درصد در محدوده عملکرد ۷ ایستگاه باران سنجی قرار دارند. شمال و شمال غرب حوضه را ایستگاه باران سنجی شرکت ایثار فجر و همدید دلیجان، قسمت‌های مرکزی، شمال‌شرقی و شرق حوضه را دو ایستگاه باران سنجی تقی آباد و فخره و یک ایستگاه همدید کاشان، جنوب حوضه را ایستگاه‌های باران سنجی حسین‌آباد، ده‌زیره و جنوب‌غرب و غرب حوضه را ایستگاه باران سنجی کامو و جوشقان قالی تحت تأثیر شعاع خود قرار می‌دهند. با رصد ایستگاه‌های باران سنجی و همدید، می توان رفتار سیل‌خیزی قسمت‌های مختلف حوضه را به هنگام وقوع بارش‌های فرین پیش بینی نمود. در تاریخ ۹۷/۱۲/۱۷ حدود ۲۲ درصد حوضه در قسمت مرکزی و جنوبی با تأثیر پذیری از بارش ۳۴/۵ میلیمتر ایستگاه کاشان و ۲۷/۵ میلیمتر ایستگاه ده‌زیره بیشترین بارش و غرب حوضه کمترین بارش را دریافت نموده اند. در تاریخ ۹۸/۱/۵ بیشترین بارش‌ها در پهنه جنوب و جنوب‌غربی با بارش ۳۵ تا ۵۵ میلیمتر و کمترین بارش‌ها در جنوب‌شرق و شرق حوضه رخ داده اند. در تاریخ ۹۹/۱/۳ بیشترین بارش‌ها در محدوده شمال، مرکز و جنوب‌شرقی حوضه با بارش بیش از ۲۴ میلیمتر و کمترین بارش‌ها در شرق حوضه رخ داده است. در تاریخ ۹۹/۱/۲۰ بیشترین بارش‌ها در محدوده شمال‌غرب، مرکز، شمال‌شرق و جنوب حوضه با بارش بین ۳۱ تا ۳۸ میلیمتر و کمترین بارش‌ها در شرق و غرب حوضه رخ داده است (شکل ۱۰).



شکل (۱۰): نقشه‌های ورونوی بارش‌های فرین منتخب

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

- **مدل سازی فضایی بارش‌های فرین**

واریوگرام بارش ۸۱/۱/۱۴ بر اساس مدل واریوگرام کروی تهیه شده است. اثر قطعه این بارش بیش از سایر بارش‌هاست، یعنی همبستگی و شباهت بین بارش ایستگاه‌ها اندک می‌باشد (شکل۱۱). فاصله بین جفت ایستگاه‌ها نقش کمی در تغییر بارش و مقدار واریوگرام دارد. حد آستانه و اثر قطعه به هم نزدیک هستند. این ویژگی دلالت بر غلبه بخش بدون ساختار مؤلفه تصادفی متغیر ناحیه‌ای به بخش ساختاردار آن است. واریوگرام بارش ۸۸/۱/۱۱ بر مدل گوسین بهترین برازش را دارد. این مدل در نزدیکی مبدأ به جای رفتار خطی، رفتار منحنی سهمی‌گون دارد. اثر قطعه ۰/۰۸۱۹ می‌باشد. میزان واریانس در مبدأ بر طبق معادله درجه ۲ به تدریج افزایش یافته تا در محدوده ۳۱۸/۹۹۲ کیلومتری به حد آستانه ۰/۹۱۹ رسیده است. به واسطه شیب ملایم در قسمت میانی، محدوده نیز افزایش یافته و در فاصله بیشتری به حد آستانه می رسد. این مدل معرف درجه پیوستگی بالای متغیر مکانی بارش در این روز است. بهترین مدل واریوگرام بارش‌های ۹۷/۱۲/۱۸ و ۹۹/۱/۳ مدل نمایی است. این مدل از مبداء مختصات آغاز گردیده و فاقد اثر قطعه می‌باشد یا مقدار آن بسیار اندک است. در نزدیکی مبداء رفتار خطی آن مشهود می‌باشد (جدول ۴).

جدول (۴): مؤلفه ها و معادله مدل‌های واریوگرام و معادله رگرسیون بارش‌های فرین

زمان بارش	محدوده	اثر قطعه (واریانس تصادفی)	واریانس ساختار فضایی	آستانه	معادله واریوگرام	معادله رگرسیون
۸۱/۱/۱۴	۲۳۴۹۵۷/۳	۰/۲۲۶	۰/۰۷۹	۰/۳۰۵	(۲۳۴۹۶۰) ۰/۲۲۶*Nugget+۰/۳۰۵*Spherical	۰/۱۶۴*x+۲۳/۰۸
۸۸/۱/۱۱	۳۱۸۹۹۲	۰/۰۸۱۹	۰/۹۱۹	۱	۰/۰۸۲*Nugget+۰/۹۱۹ *Gaussian(۳۱۸۹۹۰)	۸/۳۷*x+۰/۷۴
۹۷/۱۲/۱۸	۴۱۱۲۵/۵۳	۰	۱/۱۳	۱/۱۳	۰*Nugget+۱/۳۷۴ *Exponential(۴۱۱۲۶)	۴/۸۶*x+۰/۲۶۳
۹۸/۱/۵	۴۰۲۵۰/۲۳	۰	۰/۲۷۰	۰/۲۷۰	۰*Nugget+۰/۲۷ *Spherical(۴۰۲۵۰)	۲۱/۱۲*x+۰/۳۶۴
۹۹/۱/۳	۱۰۴۴۶۸/۷	۰/۰۳۵۶	۰/۲۵۳	۰/۲۸۸	(۱۰۴۴۷۰) ۰/۰۳۵*Nugget+۰/۲۵۲*Exponential	۱۴/۴۳*x+۰/۲۹۸
۹۹/۱/۲۰	۲۴۸۷۸۸/۹	۰/۰۲۱۱	۱/۱۶۹	۱/۱۹	(۲۴۸۷۹۰) ۰/۰۲۱*Nugget+۱/۱۶۹*Spherical	۱۶/۹۱*x+۰/۲

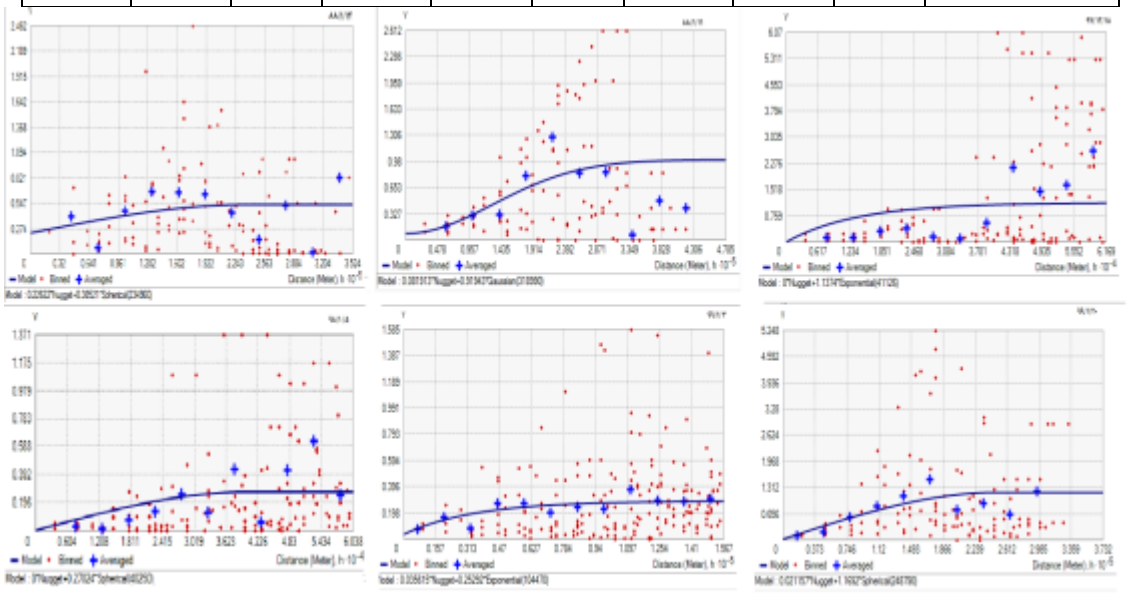
با توجه به اینکه مجانب شدن تابع نمایی و رسیدن به حد آستانه بسیار آهسته و بطئی صورت می‌گیرد، مدل نمایی فاقد محدوده ی معین و قطعی است. در این مدل محدوده، فاصله‌ای است که برابر ۹۵ درصد آستانه است. در بارش ۹۷/۱۲/۱۸ آستانه ۱/۱۳ و محدوه معادل ۴۱/۱۲۶ کیلومتر می‌باشد. آستانه بالا و محدوده کمتر نشان دهنده پراش بیشتر می‌باشد که کاهش درجه پیوستگی بارش‌های دشت کاشان و اطراف آن را نشان می‌دهد. اما بارش ۹۹/۱/۳ دارای اثر قطعه‌ای اندکی می‌باشد. حد آستانه پایین در حدود ۰/۲۸۸ و محدوده ۱۰۴/۸ کیلومتر پیوستگی بیشتری را نسبت به بارش ۹۷/۱۲/۱۸ نشان می‌دهد. بهترین مدل واریوگرام بارش‌های ۹۸/۱/۵ و ۹۹/۱/۲۰ مدل کروی است (جدول ۵). این مدل از مبداء مختصات آغاز گردیده و فاقد قطعه می‌باشد. در نزدیکی مبداء رفتار خطی دارد. در گام های ابتدایی با افزایش فاصله، منحنی بسرعت به سمت مقادیر بیشتر پراش صعود می کند. آنگاه تا رسیدن به آستانه و محدوده بتدریج از شیب آن کم می‌شود. در مورد بارش ۹۸/۱/۵ با وجود شیب، در محدوده کمتری (۴۰/۲۵ کیلومتر) به آستانه ۰/۲۷۰

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

می رسد که حکایت از کاهش درجه پیوستگی بین ایستگاه‌ها دارد. اما در بارش ۹۹/۱/۲۰ با وجود حد آستانه با پراش ۱/۱۸ و محدوده حدود ۲۴۸/۸ پیوستگی بیشتری وجود دارد.

جدول (۵): تعیین بهترین مدل واریوگرام از طریق اعتبارسنجی متقابل

زمان بارش فرین	واریو گرام نمایی			واریو گرام کروی			واریو گرام گوسین		
	RMS	MSE	RMSE	RMS	MSE	RMSE	RMS	MSE	RMSE
۸۱/۱/۱۴	۱۴/۱	۰/۱۰۹	۰/۶۵۶	۱۳/۹۳	۰/۱	۰/۷	۱۵/۱۵	۰/۱۱	۰/۶۹
۸۸/۱/۱۱	۱۱/۲	۰/۱	۰/۴۸۵	۱۰/۸	۰/۰۸	۰/۶۶۵	۱۰/۱۳	۰/۰۲۳	۰/۹
۹۷/۱۲/۱۸	۱۰/۴	-۰/۲۴	۰/۹۲۷	۱۰/۸	-۰/۲۸	۰/۹۲	۱۰/۳۹	-۰/۴۵	۱/۸۶
۹۸/۱/۵	۱۱/۵۴	۰/۰۶	۰/۵۸۶	۱۱/۵۳	۰/۰۳۹	۰/۶۶	۱۱/۹۶	۰/۰۶	۰/۶۵
۹۹/۱/۳	۸/۴۷	-۰/۰۱۵	۰/۸۹۱	۸/۷۸	-۰/۰۴۲	۰/۹۴۷	۸/۷۸	-۰/۰۱۶	۰/۸۷
۹۹/۱/۱۲	۱۳/۴۵	-۰/۰۸۱	۰/۹۰۸	۱۲/۵۲	-۰/۰۷	۰/۹۸	۱۲/۶	-۰/۱	۱/۰۵

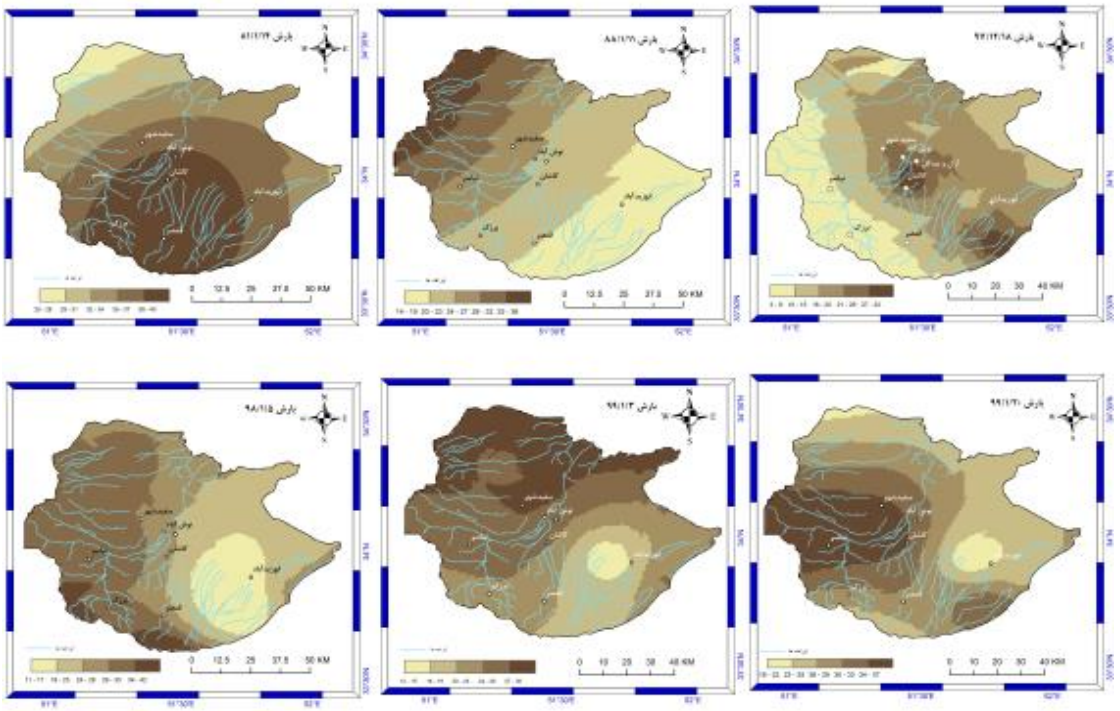


شکل (۱۱): مدل‌های واریوگرام بارش‌های فرین منتخب

پس از بررسی واریوگرام های بارش‌های فرین و تحلیل ساختار مکانی دشت کاشان، برای بارش‌ها، نقشه پهنه‌بندی بر اساس روش کریجینگ معمولی ترسیم گردید (شکل ۱۲). نقشه پهنه‌بندی بارش ۱۴ فروردین ۱۳۸۱ نشان می‌دهد بارش‌های فرین با دامنه ۴۰-۳۸ میلیمتر بر مرکز و جنوب حوضه متمرکز بوده، و به سمت اطراف از میزان آن کاسته می‌شود. به واسطه بارش کم در ایستگاه‌های قم و اراک، روند کاهشی به سمت شمال بیشتر می‌باشد. وقوع حداکثر بارش‌های فرین در ایستگاه‌های کاشان، نطنز و میمه سبب چنین آرایش پهنه‌ای گردیده است. تمرکز بارش‌ها در این روز بر ارتفاعات پرشیب حوضه سبب سیل‌خیزی جریان‌های آبی به ویژه در قمصر، برزک و نیاسر و فرسایندگی دامنه‌ها و سیل‌گیری و آبگرفتگی پایکوه‌ها و قسمت‌های مرکز دشت مانند کاشان و سفیدشهر گردیده است. نقشه پهنه‌بندی بارش ۱۱ فروردین ۱۳۸۸ نشان می‌دهد بارش‌های فرین با دامنه ۳۳-۳۶ میلیمتر بر نوار کم پهنای ارتفاعات غرب و شمال‌غرب حوضه متمرکز می‌باشد و به سمت جنوب و جنوب شرق از میزان آن کاسته می شود. وقوع حداکثر بارش‌های فرین در ایستگاه‌های سلفچگان، ساوه، قم و اراک سبب چنین آرایش پهنه‌ای گردیده است. تحت چنین شرایط بارشی، نواحی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

پایکوه‌ها و سازه‌های مستقر بر آنها مانند باغات، اراضی زراعی و راه‌های ارتباطی در معرض خطر سیل می باشند. شهرهایی مانند نیاسر و سفید شهر که در دامنه و پایکوه واقع گردیده‌اند نیز در معرض خطر سیل هستند. با این وجود بخش وسیعی از حوضه در اینگونه بارش‌ها آسیب نمی بینند. در تاریخ ۱۷ اسفند ۱۳۹۷ بارش‌های فرین با دامنه ۲۷-۳۳ میلیمتر بر مرکز و جنوب شرقی حوضه متمرکزند و به سمت اطراف از میزان آن کاسته می‌شود. روند کاهشی در نوار غربی حوضه شدید تر است. رخداد حداکثر بارش‌های فرین این روز در ایستگاه همدید کاشان و ایستگاه باران سنجی ده زیره روند و چینش پهنه ای بارش را تحت تأثیر قرار داده اند. این بارش بیش از همه سبب آب‌گرفتگی قسمت‌های مرکزی دشت مانند کاشان، آران‌وبیدگل، نوش‌آباد و سفیدشهر، گردیده است. در تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۸ بارش‌های فرین با دامنه ۳۴-۴۲ میلیمتر بر بخشی از جنوب غرب و غرب حوضه متمرکز، و به سمت شرق از شدت بارش‌ها کاسته می‌شود. ریزش بارش‌های فرین بالا بر ارتفاعات غرب و جنوب حوضه، سیل‌خیزی نواحی مرتفع و سیل‌گیری نواحی پایکوهی و مرکزی دشت را افزایش می‌دهد. با وجودی که ریزش کمترین بارش‌ها در ایستگاه باران سنجی ده زیره و فخره در جنوب حوضه باعث شده است پهنه ای با کمترین بارش در جنوب قرار گیرد، اما تحت تأثیر جریان‌های آبی ارتفاعات جنوبی، با آب‌گرفتگی مواجه می باشد. در تاریخ ۳ فروردین ۱۳۹۹، بارش‌های فرین با دامنه ۲۷-۳۰ میلیمتر بر نوار شمالی حوضه متمرکز، و به سمت جنوب از میزان آنها کاسته شده است. این پهنه‌بندی متأثر از دریافت بیشترین بارش حداکثر در ایستگاه‌های همدید گرمسار و قم که در خارج از حوضه در شمال آن قرار دارند از یکسو و دریافت کمترین بارش در ایستگاه باران سنجی فخره از سوی دیگر می‌باشد. در تاریخ ۲۰ فروردین ۱۳۹۹ وقوع حداکثر بارش‌های فرین در ایستگاه‌های همدید دلیجان و اراک سبب گردیده، بارش‌های فرین با دامنه ۳۴-۳۷ میلیمتر در غرب حوضه متمرکز باشند. به این ترتیب میزان بارش‌ها از غرب به شرق کاسته می‌شود. نتایج حاصل از نقشه‌های پهنه‌بندی بارش‌های فرین با نقشه‌های ورونوی هماهنگ می‌باشند.



شکل (۱۲): نقشه‌های پهنه‌بندی بارش‌های فرین منتخب

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

نتیجه گیری

بارش‌های فرین از جمله رخدادهای حدی هستند که همواره با تهدیدها و فرصت‌هایی همراهند. واکاوی آماری و تحلیل فضایی آنها می توانند به عنوان ابزاری توانمند در مدیریت محیط مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این پژوهش نشان داد با وجود میانگین بارش سالانه ۱۳۲/۸ میلیمتری کاشان در برابر میانگین بارش سالانه ۲۵۰ میلیمتری کشور، اقلیمی خشک و شکننده بر دشت کاشان حاکم است. ۴۸ درصد بارش سالانه در ۱۱ درصد روزهای بارانی به صورت فرین نازل می‌گردد. ضریب تغییرات ۴۲ درصد بارش سالانه و ۷۶/۵ درصد بارش‌های فرین، تغییرپذیری و نوسان شدید آنها را نشان می‌دهد. فراوانی بیشتر بارش‌های سنگین و ابرسنگین در فصل زمستان (به ویژه اواخر ماه اسفند) و بارش‌های بسیار سنگین در فصل بهار (به ویژه در اوایل ماه فروردین)، گویای این واقعیت است که حجم زیادی از نزولات جوی در مقطع زمانی کوتاه اتفاق می افتد. همبستگی بالای بارش سالانه با مجموع و فراوانی بارش‌های فرین نشان می‌دهد حجم بارش سالانه بیش از آنکه از توزیع بارش در طول سال تأثیر پذیرد از تمرکز بارش در مقاطع کوتاه چند روزه متأثر می‌شود. این امر، نقش بارش‌های فرین را در بارش کل و رواناب سطحی و در نتیجه بیلان آب منطقه نشان می‌دهد. از طرف دیگر گرچه بارش های بیشینه به طور میانگین ۱۵/۸ درصد بارش سالانه را به خود اختصاص می‌دهند، اما نزول بیش از ۲۵ درصد بارش سالانه در سال کم‌باران ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در یک روز نشان می‌دهد اگر این گونه بارش‌ها واکاوی و مدیریت نگردند به مخاطراتی تبدیل می‌گردند که نه تنها سبب هدررفت آب و خاک می‌شوند بلکه خسارت‌هایی را نیز به بار می‌آورند. تحت چنین شرایطی توسعه دشت کاشان نیز مختل می‌گردد. نقشه‌های ورونوی و مدل‌های واریوگرام و نقشه‌های پهنه های بارش‌های فرین منتخب نشان داد رخدادهای بارش فرین، الگو و روند مکانی منحصر به خود را دارند. زیرا سامانه های جوی مولد آنها متفاوت بوده و پیوستگی بارش ایستگاه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بطور کلی بررسی آمار بارش‌های فرین منطقه مطالعاتی نشان داد، این بارش‌ها ۲ تا ۳ روز تداوم داشته و تمام حوضه را تحت تأثیر قرار داده اند. لذا سامانه های جوی مسبب آنها قابل پیش بینی و ردیابی هستند. با رصد سامانه و پایش بارش ایستگاه‌های همدید و باران سنجی دشت کاشان و مجاور آن، می توان این پدیده را در جهت تغذیه آبخوان ها و ذخیره آب های زیرزمینی از یک سو و مهار سیلاب ها و کاهش خسارت های ناشی از آنها از سوی دیگر، مدیریت نمود.

منابع

جهانبخش اصل، سعید؛ بهروز ساری صراف، حسین عساکره و سهیلا شیرمحمدی. ۲۰۲۰. واکاوی تغییرات زمانی–مکانی بارش‌های بحرانی (فرین بالا) در غرب ایران طی سال‌های ۲۰۱۶–۱۹۶۵. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۷(۱):** ۱۰۶-۸۹.

حجازی زاده، زهرا؛ امیرحسین حلبیان، علیرضا کربلایی درئی و میثم طولابی نژاد.۲۰۲۰. واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش در گستره ی ایران زمین. *مخاطرات محیط طبیعی*، **۲۳(۹):** ۱۵۰-۱۳۵.

خسروی، یونس ؛ اسماعیل عباسی. ۱۳۹۵. *تحلیل فضایی داد ه های محیطی با زمین‌آمار*، چاپ اول. انتشارات آذر کلک. زنجان.

خورشید دوست؛ علی محمد، بهروز ساری صراف، باقر قرمز چشمه، فاطمه جعفرزاده، پیش بینی بارش‌های سنگین سواحل جنوبی دریای خزر تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره‌ی ۱۴۰۸-۱۳۸۹. *مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران*، **۱۲(۴۲):** ۱۲۹-۱۲۱

صدق آمیز،عباس. ۲۰۲۱. تخمین عمق آب زیرزمینی بر اساس داده‌های بارش با استفاده از روش‌های زمین‌آماری. مجله علمی سامانه های سطوح آبگیر باران، **۹(۲):** ۸۳-۷۱

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

عساکره، حسین؛ سپیده بارزمان، علی شاهبایی کوتنایی. ۱۳۹۹. واکاوی الگوی مکانی بارش‌های بهاره شمال غرب ایران با روش‌های تحلیل فضایی. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، **۷۴**: ۱۵۳-۱۶۴

عساکره، حسین. ۲۰۱۲. تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، **۲۳(۱)**: ۵۱-۶۶

علیجانی، بهلول.۲۰۱۱. تحلیل فضایی دما ها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۱۱(۲۰)**: ۱-۲۹.

علیجانی، بهلول. ۱۳۹۴. تحلیل فضایی در مطالعات جغرافیایی. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۲(۳)**: ۱-۱۴

علیجانی، بهلول. ۱۴۰۰. جغرافیا و پارادایم توسعه پایدار. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۳(۸)**: ۱۵-۲۰.

کیانی، مهرداد؛ حسن لشکری، هوشنگ قائمی. ۱۳۹۸. تحلیل آماری – همدیدی رخداد شدیدترین بارشهای غرب ایران. *جغرافیا و پایداری محیط*، **۴**: ۱۷-۳۸.

گیرشمن، رومن.۱۳۷۹. *سیلک کاشان*، ترجمهٔ اصغر کریمی، جلد اول. پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی کشور، تهران .

مسعودیان، سیدابوالفضل. ۱۴۰۱.بررسی آب و هواشناختی بارش های سیل زای بهار ۱۳۹۸ در غرب ایران. *مخاطرات محیط طبیعی*، (در نوبت انتشار).

مسعودیان، ابوالفضل؛ بختیار محمدی. ۱۳۸۹. تحلیل فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در زمان رخداد بارش‌های ابرسنگین ایران . *چهارمین کنگرهٔ بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام*. زاهدان.

Al-Baldawi, T. H.; and Z. Z. A. Al-Zuabidi. ۲۰۱٦. Statistical analysis of extreme rainfall data in Baghdad city. *Iraqi Journal of Science*, ***57*****(۱C):** ۷۱۳-۷۱۸. https://doi.org/۱۰,۲۱۲۰۳/rs.۳.rs-۱۰۲۳۲٦۷/v۱

Bhatti, A. S.; G. Wang, W. Ullah, S.Ullah, D.Fiifi Tawia Hagan, I.Kwesi Nooni and I.Ullah. ۲۰۲۰. Trend in extreme precipitation indices based on long term in situ precipitation records over Pakistan. *Water*, ***12*****(۳):** ۷۹۷. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/w۱۲۰۳۰۷۹۷

Chen, C. S.; Y. L. Chen, Liu, C. L. Lin, P. L. and W. C. Chen. ۲۰۰۷. Statistics of heavy rainfall occurrences in Taiwan. *Weather and Forecasting*, ***22*****(۵):** ۹۸۱-۱۰۰۲. https://doi.org/۱۰,۱۱۷۵/WAF۱۰۳۳,۱

Chen, Y.; X.Wang, L. Huang, and Y.Luo.۲۰۲۱. Spatial and temporal characteristics of abrupt heavy rainfall events over Southwest China during ۱۹۸۱–۲۰۱۷. *International Journal of Climatology*, ***41*****(۵):** ۳۲۸٦-۳۲۹۹. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۲/joc.۷۰۱۹

de Oliveira Regueira, A., & Wanderley, H. S. (۲۰۲۲). Changes in rainfall rates and increased number of extreme rainfall events in Rio de Janeiro city. https://www.researchsquare.com/article/rs-۱٦٥٤۲۱۳/latest.pdf

De Bodas Terassi, P. M.; A. C. da Silva Oscar-Júnior, E.Galvani, J. F. de Oliveira-Júnior, B. S.Sobral, V. H. R.Biffi and G.de Gois. ۲۰۲۲. Daily rainfall intensity and temporal trends in eastern Paraná state–Brazil. *Urban Climate*, ***42***: ۱۰۱۰۹۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.uclim.۲۰۲۲,۱۰۱۰۹۰

Deumlich, D.; and A.Gericke. ۲۰۲۰. Frequency trend analysis of heavy rainfall days for Germany. *Water*, ***۱۲*****(۷),** ۱۹۵۰. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/w۱۲۰۷۱۹۵۰

Ezugwu, M. O.; and E.Atikpo.۲۰۲۱. Spatial dependency of groundwater quality in Benin City, Edo State, Nigeria using semi-variogram models. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, ***2*****(۲),** ۰۲۹-۰٤۱. https://doi.org/۱۰,۳۰٥۷٤/wjaets.۲۰۲۱,۲,۲,۰۰۳٤

Flaounas, E.; L. Fita, K.Lagouvardos and V.Kotroni.۲۰۱۹. Heavy rainfall in Mediterranean cyclones, Part II: Water budget, precipitation efficiency and remote water sources. *Climate Dynamics*, ***53*****(۵),** ۲٥۳۹-۲٥٥٥. https://link.springer.com/article/۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۳۸۲-۰۱۹-۰٤٦۳۹-x#:~:text=DOI-,https%۳A//doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۳۸۲٪۲D۰۱۹٪۲D۰٤٦۳۹٪۲Dx,-Access%۲۰options

Kang, C.; Z. Luo, W. Zong, and J.Hua. ۲۰۲۱. Impacts of Urbanization on Variations of Extreme Precipitation over the Yangtze River Delta. *Water*, ***13*****(۲),** ۱٥۰. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/w۱۳۰۲۰۱٥۰.

Kim, K. H., E. H.Lee, and S. Y Hong. . ۲۰۱۸. Potential of voronoi diagram for the conserved remapping of precipitation. *Monthly Weather Review*, *146*(۷), ۲۲۳۷-۲۲٤٦. https://doi.org/۱۰,۱۱۷٥/MWR-D-۱۷-۰۳٥۰,۱.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

Masereka, E. M., Ochieng, G. M., & J.Snyman, (۲۰۱۸). Statistical analysis of annual maximum daily rainfall for Nelspruit and its environs. *Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies*, ***10*****(۱),** ۱-۱۰. https://doi.org/۱۰,٤۱۰۲/jamba.v۱۰i۱,٤۹۹

Samrin, F., I. Irwana, and N.Hasanah. ۲۰۱۹. Analysis of the Meteorological Condition of Tropical Cyclone Cempaka and Its Effect on Heavy Rainfall in Java Island. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. ۳۰۳, No. ۱, p. ۰۱۲۰٦٥). IOP PublishSwain, M., S. Pattanayak, and U. C. Mohanty ۲۰۱۸. Characteristics of occurrence of heavy rainfall events over Odisha during summer monsoon season. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, ***82,*** ۱۰۷-۱۱۸. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.dynatmoce.۲۰۱۸,۰٥,۰۰٤

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.11.1]