نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و چهارم، شماره ۷۳، تابستان ۱۴۰۳

تحلیل روند دوره‌های بارشی ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۲/۱۰ **پذیرش نهایی**: ۱۴۰۱/۴/۱۲

صفحات:۵۳۹ -۵۲۱

قاسم عزیزی: استاد گروه جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.[۱]

Email: ghazizi@ut.ac.ir

بهلول علیجانی: استاد گروه جغرافیا، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Email: bralijani@gmail.com

زلیخا خضرلوی محمدیار: دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

Email: khezerluyizoleykha@yahoo.com

چکیده

هدف این مقاله آشکارسازی تغییرات در سری‌های زمانی شاخص‌های فراوانی و شدت بارش یک تا شش روزه ایران و خوشه‌بندی ایستگاه‌ها براساس تغییرات رخ‌داده در نیم‌قرن اخیر است. روند تغییرات فراوانی و شدت هر دوره با استفاده از آزمون من-کندال و برآوردگر شیب سن طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۶۸ شناسایی شد. سپس با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و روش تحلیل خوشه‌ای، کل ایستگاه‌ها براساس روند تغییرات سالانه شاخص‌های فراوانی و شدت بارش به ترتیب در پنج خوشه (فراوانی) و چهار خوشه (شدت) دسته‌بندی شدند. ایستگاه‌های خوشه ۱ و ۲ نمایانگر فراوانی دوره‌های بارشی با روند منفی شدید یا بدون روند هستند. این دو خوشه بیشتر در نیمه‌ی جنوبی ایران استقرار یافته‌اند. ایستگاه‌های خوشه ۴ و ۵ نمایانگر فراوانی دوره‌های بارشی با روند مثبت (ملایم) هستند که عمدتاً در بخش شمالی کشور واقع هستند. ایستگاه‌های خوشه ۳ نمایانگر فراوانی دوره‌های بارشی با روندهای کاهشی (ملایم) هستند که بیشتر در غرب و جنوب‌غرب ایران متمرکزند. نتایج خوشه‌بندی ایستگاه‌ها براساس شاخص شدت دوره‌های بارشی برخلاف نتایج فراوانی، الگوی خاصی را نشان نمی‌دهند؛ اما در خوشه‌ی ۱ روندهای کاهشی شدیدی در طول نیم قرن اخیر تجربه شده است. ایستگاه‌های این خوشه بیشتر در مناطق شمالی کشور متمرکزند. سایر خوشه‌ها تقریباً در تمام مناطق کشور پراکنده شده‌اند. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که فراوانی دوره‌های بارشی در عرض‌های شمالی کشور روندهای افزایشی (متوسط یا ضعیف) و شدت دوره‌های بارشی در این عرض‌ها روند کاهشی شدیدی داشته‌اند.

واژگان کلیدی: فراوانی بارش، شدت بارش، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، خوشه‌بندی، روند.

[۱] نویسنده مسئول:khezerluyizoleykha@yahoo.com

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

مقدمه

فصلی بودن بارش‌ها، کوتاه بودن دوره بارش و همچنین ریزش بارش به‌صورت رگبارهای شدید و کوتاه‌مدت، از ویژگی‌های اقلیمی بخش وسیعی از کشور است (بابایی فینی و فرج زاده اصل،۱۳۸۱، ۵۲). تنوع عوامل تأثیرگذار در ایجاد بارش در کشور و ترکیب پیچیده‌ی آن‌ها سبب تغییرپذیری زیاد بارش در ایران و در نتیجه بی‌نظمی زیاد در توزیع مکانی و زمانی آن است. این بی‌نظمی در سال‌های اخیر به جهت تغییر اقلیم شدیدتر شده است. منطقه‌بندی‌های اقلیمی اغلب بر مبنای استفاده از متغیرهای مختلف اقلیمی صورت می‌گیرد تا بدین‌وسیله نقش تمامی متغیرهای اقلیمی در تعیین اقلیم مناطق در نظر گرفته شود؛ اما در برخی موارد نیاز است تا تفاوت‌های مکانی موجود در یک منطقه از نظر تغییرات زمانی و مکانی تنها یک متغیر بررسی شود. برای مثال منطقه‌بندی یک کشور تنها براساس تغییرات بارش می‌تواند برای هدف‌های هیدرولوژی و مدیریت منابع آب بسیار سودمند باشد.

عبدلی و همکاران (۱۴۰۰) تغییرات دمای هوا و بارش در منطقه پربارش نیمه غربی ایران را با استفاده از داده‌های ۵۱ ایستگاه هواشناسی منطقه به‌عنوان داده‌های مبنا مورد تحلیل قرار دادند و نتیجه گرفتند که بارش روند کاهشی معنی‌دار در بیشتر مناطق و شیب منفی در تمامی ایستگاه‌ها داشته است. صفرراد و همکاران (۱۳۹۴) تغییرپذیری زمانی و مکانی شدت پرفشار سیبری (SHI)، در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه را از سال ۱۹۷۳ را نسبت به سال‌های قبل تا ۱۹۴۸ با داده‌های ماهانه SLP (NCEP/NCAR Reanalysis 1) مورد تحلیل قرار دادند و دریافتند که پرفشار سیبری نسبت به دوره قبل، کاهش محسوسی داشته است و مرکز این پرفشار به سمت N°۵۰ و E°۹۰ جابجا شده است. (رضیئی و عزیزی،۱۳۸۶، ۶۶). مناسب‌ترین روش برای گروه‌بندی روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی است. روش‌های متعددی برای تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی از جمله پیوند بین گروهی، پیوند درون‌گروهی، پیوند نزدیک‌ترین همسایه، پیوند دورترین فاصله و پیوند واریانس وجود دارد (علیجانی،۱۳۹۸: ۱۲۴)؛ که پیوند واریانس یا همان روش وارد[2] به‌طور گسترده برای طبقه‌بندی داده‌های مختلف آب و هوایی و هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. در این راستا بدرِالدین و فنگ پینگ (۲۰۱۲)، جکسون و ویناند (۱۹۹۵)، راموس (۲۰۰۱)، ناتان و مکمهان (۱۹۹۰)، مسعودیان (۱۹۹۸)، علیجانی (۲۰۰۲) و دومروس و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که روش وارد نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی می‌دهد. گاتسچاک (۱۹۸۵) روش تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه‌های اصلی را برای داده‌های سوئد به کار برد و بیان کرد تحلیل خوشه‌ای روشی مناسب برای استفاده در مقیاس ملی برای کشورهای با مناطق ناهمگن است. کِوین ای ترِنبرث (۲۰۱۱) به بررسی تغییرات بارش با تغییرات اقلیمی پرداخت. نتایج نشان داد که گرمایش جهانی تأثیر مستقیم بر میزان بارندگی دارد. کوفمن و همکاران (۱۹۹۰) طبقه‌بندی داده‌ها با استفاده از تحلیل خوشه‌ای را موردبررسی قرار داده‌اند. جکسون و همکاران (۱۹۹۸) به مقایسه نتایج به‌کارگیری روش‌های مختلف تحلیل خوشه‌ای در طبقه-بندی اقلیمی ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه حاره پرداخته‌اند. دومروس و کاویانی (۱۹۹۸) با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ۷۱ ایستگاه سینوپتیک و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای، پنج رژیم بارشی در ایران را شناسایی کردند. سینگ (۱۹۹۹) مؤلفه‌های اصلی سال‌های پربارش، عادی و کم بارش هند را به روش تحلیل

[2]. Ward Method

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

خوشه‌ای بررسی کرد. رومرو و همکاران (۱۹۹۹) به طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی پدیدآورنده بارش‌های سنگین در اسپانیا به روش تحلیل خوشه‌ای پرداختند. بدرِالدین و پینگ (۲۰۱۲) به تحلیل فراوانی بارش منطقه‌ای حوضه Luanhe در چین با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و L-moments برای بارش سالانه ۱۷ ایستگاه طی دوره ۱۹۷۰-۱۹۳۲ پرداختند. نتایج آن‌ها هفت منطقه‌ی بارش در حوضه‌ی Luanhe را نشان داد. بااین‌حال به دلیل مکانیسم‌های مختلف تولید بارندگی در این حوضه مانند ارتفاع، نزدیکی به دریا و سیستم‌های گردش جوی بزرگ هیچ توزیع اصلی نمی‌توان برای کل حوضه پیدا کرد. دونات و همکاران (۲۰۱۳) به تحلیل شاخص‌های دما و بارش حدی از آغاز قرن بیستم با استفاده از مجموعه داده HadEX2 در طول دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۰۱ پرداختند. نتایج نشان داد تغییرات معنادار مشاهده شده در دمای حدی با گرمایش مطابقت دارد و این معناداری در ماه‌های سرد سال بیشتر است. همچنین مناطق با روندهای افزایشی معنادار در مقدار، شدت و فراوانی بارش-های حدی بیشتر از مناطق با روندهای کاهشی است. ایران‌نژاد و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ی به بررسی روند تغییرات بارش روزانه در سه ایستگاه فنلاند در طول یک قرن پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بارش روزانه روند کاهشی را در طول دوره ۱۹۰۸-۲۰۰۸ نشان می‌دهد. سی.ام تفوالا و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی بارش و عدم قطعیت آن‌ها برای روی فلات غاپ در آفریقای جنوبی پرداخت. دوره زمانی این پژوهش از سال ۱۹۱۸ تا ۲۰۱۴ بود. نتایج حاصل از تحقیق حاضر این‌گونه بود: بارش شدید در فلات، روند متداولی را نشان می‌داد. طوفان‌های پرشدت که ریسک صدمه بیشتری به شالوده‌ی محیط دارند غیرمحتمل‌تر از طوفان‌های کم شدت هستند. بااین‌حال نگرانی‌ها جدی است که احتمال آن‌ها از آن حد تخمین بالاتر باشد. ضروری است که اثرات افزایش طوفان و سیل را بر سازه‌ها و حتی محیط‌زیست محدود کنیم. مخصوصاً در زمینه تغییر اقلیم، جایی که بارش شدید بیشتر رخ می‌دهد انتظار می‌رود فراوانی و شدت بارش نیز افزایش یابد.

نخستین طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تحلیل‌های چند متغیره توسط حیدری و علیجانی (۱۳۷۸) با انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ۴۹ متغیر اقلیمی دیده‌بانی شده در ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور صورت گرفت و ایران را به شش منطقه و ۱۲ زیر منطقه همگن اقلیمی تقسیم کردند. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) به واکاوی روند بارش شش دهه گذشته ایران در ۳۱ ایستگاه در دوره آماری (۱۹۵۸-۲۰۱۸) با استفاده از آزمون من کندال و شیب سن پرداختند. نتایج روند کاهشی معنی‌داری در بارش سالانه در اکثر ایستگاه‌های موردمطالعه را نشان داد. علیجانی و زاهدی (۱۳۸۱) با بررسی بارش روزانه ایستگاه تبریز به‌عنوان نماینده منطقه آذربایجان و ارتباط آن با الگوهای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان دادند که ۱) بارش‌های با تداوم دو روزه بیشترین فراوانی را در این منطقه دارند ۲) بارش‌های با تداوم بیش از سه روز بیشتر در فصل زمستان روی می‌دهند و ۳) بیشتر بارش‌های یک روزه در دوره گرم سال رخ می‌دهند. آن‌ها همچنین با تعیین تیپ‌های هوای مؤثر بر آب‌وهوای منطقه مشخص کردند که تیپ مداری و تیپ پرفشار غربی بیشترین فراوانی را در میان تیپ‌های هوایی دارند. جهانبخش و ترابی (۱۳۸۳) با استفاده از داده‌های دما و بارش ماهانه ۴۱ ایستگاه سینوپتیک کشور و روش تحلیل خوشه‌ای، پنج منطقه اقلیمی همگون را شناسایی کردند. مسعودیان (۱۳۸۴) با تهیه نقشه‌های رقومی بارش ماهانه کشور و تحلیل خوشه‌ای، سه رژیم بارش پاییزی، زمستانی، زمستانی-بهاری را برای ایران تعریف نمود. رضیئی و عزیزی (۱۳۸۸) با تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی بارش روزانه ۱۴۰ ایستگاه هواشناسی پراکنده در

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

غرب ایران توانستند این بخش از کشور را از نظر ویژگی‌های بارش روزانه به چهار زیر منطقه همگن بارشی تقسیم نمایند. غیور و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از داده‌های بارش ۴۶ ایستگاه هواشناسی در طی دوره ۱۳۳۶ تا ۱۳۸۳ و روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی(PCA) و تحلیل خوشه‌ای(CA) به تحلیل زمانی و مکانی رویدادهای بارشی در سواحل جنوبی خزر پرداختند. نتایج نشان داد که به‌طورکلی در سواحل جنوبی خزر، شش ناحیه همگن بارشی وجود دارد، به‌طوری‌که تغییرات نواحی در بخش میانی و همگنی نواحی در بخش‌های شرقی و غربی بیش‌تر است. مریانجی (۱۳۹۱) با استفاده از داده‌های میانیابی شده روزانه بارش ۴۴ ساله (۱۳۴۰-۱۳۸۳) ایستگاه‌های هواشناسی به مطالعه اقلیم‌شناسی بارش کشور از طریق تحلیل همسازها و تحلیل خوشه‌ای و تغییرات روند و رژیم بارش کشور پرداخت و تغییرپذیری رژیم بارش در کشور را به ۵ گروه عمده طبقه‌بندی کرد. صادقی نیا (۱۴۰۰) با استفاده از روش خوشه‌بندی، گستره ایران را از لحاظ روند تغییرات سالانه شاخص‌های فرین به چهار خوشه دسته‌بندی کرد. بر این اساس ایستگاه‌هایی که در نواحی پست و کم ارتفاع قرار گرفته‌اند نسبت به نواحی مرتفع، تغییرات اقلیمی شدیدتری را تجربه کرده‌اند. همچنین تغییرات اقلیمی شاخص‌های حدی گرم قوی‌تر از شاخص‌های حدی سرد و روند افزایش دماهای کمینه بیشتر از دماهای بیشینه است. علاوه بر این، تعداد شب‌های گرم با شیب بیشتری نسبت به تعداد روزهای گرم افزایش یافته است.

مرور ادبیات و پیشینه تحقیق در زمینه تغییرات روند بارش در ایران نشان می‌دهد که علی‌رغم انجام پژوهش‌های ارزشمند در گذشته، نیازمند درک عمیق‌تر تغییرات فضایی شاخص‌های فراوانی و شدت دوره‌های بارشی در پهنه ایران هستیم؛ بنابراین با توجه به گستردگی و توپوگرافی پیچیده ایران، نیاز است تا با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، ایستگاه‌ها را براساس نوع و شدت روندها خوشه‌بندی کرد تا به نواحی همگنی از نظر نوع و شدت تغییرات دست‌یافت. همچنین بررسی ارتباط میزان تغییرات اقلیمی با عوامل مختلف جغرافیایی مانند ارتفاع و عرض جغرافیایی به فهم بیشتر الگوی فضایی تغییرات اقلیمی در ایران کمک می‌کند. ازاین‌رو، هدف اصلی این پژوهش تحلیل فضایی تغییرات اقلیمی شاخص‌های فراوانی و شدت دوره‌های بارشی در ایران است. نتایج این پژوهش به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا تغییرات اقلیمی بارش را به‌صورت منطقه‌ای بشناسند و در زمینه کاهش و سازگاری با این تغییرات تصمیمات مناسب‌تری اتخاذ کنند.

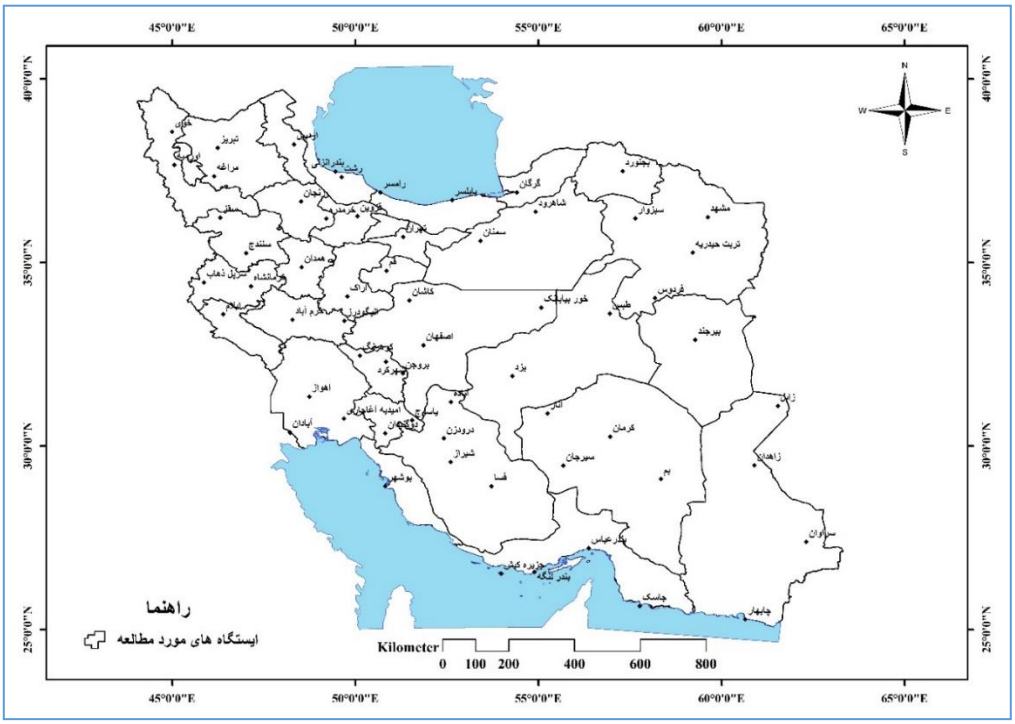
روش تحقیق

معرفی محدوده موردمطالعه

ایران کشوری در جنوب غربی آسیا و با وسعتی معادل ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع مابین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرق در منطقه خشک و نیمه‌خشک خاورمیانه واقع شده است. کشور ایران سرزمینی بسیار متنوع است. این گوناگونی در تمام ویژگی‌های جغرافیایی آن از مسائل انسانی گرفته تا خصوصیات طبیعی به چشم می‌خورد. شاید بتوان گفت که بهترین جلوه‌گاه این‌همه تنوع و گوناگونی، آب‌وهوای کشور می‌باشد. هیچ‌کدام از ویژگی‌های جغرافیایی به‌اندازه پراکندگی مکانی و زمانی عناصر آب و هوایی، تنوع نشان نمی‌دهند (علیجانی، ۱۳۷۴، ۱). ویژگی نسبتاً ثابتی که در آب‌وهوای نواحی مختلف ایران دیده می‌شود عمدتاً به سبب عرض جغرافیایی، ناهمواری و همسایگی با توده‌های بزرگ آب شکل‌گرفته‌اند و ویژگی‌های متغیر و بی‌ثبات آن بیشتر ناشی از چگونگی عملکرد سامانه‌های جوی می‌باشد. عرض جغرافیایی از یک‌سو تعیین‌کننده موقعیت

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

جغرافیایی ایران نسبت به محل استقرار و مسیر جابجایی سامانه‌های همدید و از سوی دیگر تعیین‌کننده اندازه تابش دریافتی است. اهمیت عرض جغرافیایی در شکل‌گیری اقلیم ایران و مرزبندی نواحی اقلیمی در ایران به دلیل ارتباط آن با زاویه تابش خورشید و در نتیجه مقدار تابش دریافتی کشور در ایام مختلف سال است. یکی از دلایلی که گرم‌ترین نواحی ایران در کمربند ساحلی جنوب ایران استقرار یافته‌اند همین است. نقش ارتفاعات در شکل‌گیری نواحی گرمایی ایران صد برابر نقش عرض جغرافیایی می‌باشد. ازآنجاکه سرزمین ایران در منطقهٔ خشک واقع‌شده و متوسط بارندگی سالانه در ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد که این میزان در مقایسه با میانگین بارش جهانی ناچیز است، پراکنش مکانی و زمانی آن تأثیر بسزایی در شکل‌گیری چشم‌اندازهای جغرافیایی کشور داشته و بنیادهای زندگی را در این گستره متأثر می‌سازد. در این پژوهش از آمار بارش روزانه ۶۲ ایستگاه سینوپتیک در سطح کشور استفاده شد که موقعیت جغرافیایی آن‌ها در شکل (۱) آورده شده است.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی موردبررسی

داده‌ها و روش کار

در این پژوهش برای بررسی روند دوره‌های بارشی ایران از آمار روزانه بارش نیم‌قرن اخیر، ۶۲ ایستگاه سینوپتیک در طول دوره آماری ۱۹۶۸ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. داده‌های موردنیاز از سازمان هواشناسی کشور و به‌صورت همگن و کنترل‌شده دریافت شد. ابتدا فراوانی دوره‌های بارشی در نرم‌افزار اکسل استخراج شد. در ادامه با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال و تخمین‌گر شیب سن در مقیاس سالانه روند تغییرات فراوانی و شدت بارش شناسایی شد. آزمون من – کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) توسعه یافت (Serrano et al., 1999). مراحل محاسبه این آزمون به شرح زیر است:

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

۱. محاسبه اختلاف تک‌تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر s به شرح رابطه (۱) (Kumar et al., 2009):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \mathrm{sgn}(x_j - x_i)$$ رابطه (۱)

در رابطه (۱) n طول دوره آماری، x_j و x_i مقدار داده j ام و i ام سری زمانی و sgn (xj – xi) تابع علامت بوده و به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$\mathrm{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$ رابطه (۲)

۲. محاسبه واریانس s از رابطه (۳):

$$V(S) = \frac{\mathbf{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{n} t(t-1)(2t+5)}}{\mathbf{18}}$$ رابطه (۳)

که n تعداد داده‌ها و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است.

۳. استخراج آماره z به کمک رابطه (۴):

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{(\mathrm{var}(s))^{\frac{1}{2}}} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \dfrac{s+1}{(\mathrm{var}(s))^{\frac{1}{2}}} & s < 0 \end{cases}$$ رابطه (۴)

در این آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه (۵) برقرار باشد:

$$|Z| =\leq Z \propto/2$$ رابطه (۵)

که α سطح معناداری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود. درصورتی‌که آماره‌ی z مثبت (منفی) باشد، روند سری داده‌ها افزایشی (کاهشی) در نظر گرفته می‌شود.

برای محاسبه شیب‌خط روند سری داده‌ها از تخمینگر سن استفاده شد که از طریق رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$\beta = Median \left[\frac{x_j - x_i}{j-i}\right] (\forall j > i)$$ رابطه (۶)

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و x_j و x_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی j ام و i ام می‌باشند. مقدار مثبت (منفی) β نشان‌دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری است.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

به‌منظور خوشه‌بندی ایستگاه‌ها براساس شیب روند شاخص‌های فراوانی و شدت دوره‌های بارش سالانه در طی دوره موردمطالعه (۱۹۶۸-۲۰۱۸)، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و خوشه‌بندی (CL) استفاده شد. با توجه به اینکه نمره Z من کندال و شیب روند دو شاخص فراوانی و شدت بارش برای ۶۲ ایستگاه با استفاده از آماره شیب سن محاسبه شد، در مجموع ۱۲ متغیر حاصل شد. ۱۲ متغیر محاسبه شده شامل نمره Z من کندال و شیب روند فراوانی و شدت بارش یک تا شش روزه است. با توجه به ۶ متغیر فراوانی دوره‌های بارش، ۶ متغیر شدت دوره‌های بارش و ۶۲ ایستگاه مطالعه، دو ماتریس جداگانه ۶*۶۲ حاصل شد. در این مطالعه از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد که نتایج آن تطابق بیشتری با واقعیات جغرافیایی طبیعی ایران داشت، استفاده شد. نتیجه فرآیند فوق با نمودار درختی و نقشه نشان داده می‌شود. براساس نمودار درختی، ناحیه صورت می‌گیرد. با توجه به این‌که تعداد ایستگاه‌های دارای آمار درازمدت در کشور محدود می‌باشد، لذا برای ناحیه‌بندی اقلیمی از عواملی چون میانگین فاصله بین ایستگاهی و نیز توپوگرافی و توجه به نقشه‌های مربوط به امتیازات عاملی استفاده گردید.

یافته‌های پژوهش

روند شاخص‌های فراوانی بارش‌های یک تا شش روزه

براساس نتایج حاصل مندرج در جدول (۱)، فراوانی بارش‌های یک روزه در بخش اعظم سرزمین ایران دارای روند افزایشی است. البته روندهای مشاهده شده در تمامی ایستگاه‌ها معنادار نبوده است. فراوانی بارش‌های یک روزه به ترتیب در ۱۰ درصد از ایستگاه‌های موردمطالعه افزایش معنادار و در ۵ درصد از ایستگاه‌ها کاهش معنادار داشته است. فراوانی بارش‌های یک‌روزه در ایستگاه‌های اراک، بندرعباس، بجنورد، مشهد، یزد و سقز به ترتیب با مقادیر شیب سن برابر با ۰/۰۹، ۰/۰۸۷، ۰/۱۷، ۰/۰۹، ۰/۰۸۷ و ۰/۱۰۳ افزایش معنادار ($p <$ ۰/۰۵) داشته است. برخلاف ایستگاه‌های نامبرده، فراوانی بارش‌های یک‌روزه در ایستگاه‌های اصفهان، فسا و خوروبیابانک به ترتیب با شیب سن برابر با ۰/۱۲-، ۰/۰۷- و ۰/۲۱- کاهش معنادار ($p <$ ۰/۰۵) داشته است. فراوانی بارش‌های دو روزه در بیشتر ایستگاه‌های موردمطالعه روندهای کاهشی را نشان می‌دهد. روند کاهشی فراوانی بارش‌های دو روزه ضعیف است و در اغلب ایستگاه‌ها نیز معنادار نیست. فراوانی بارش‌های دو روزه فقط در دو ایستگاه روند معنادار داشته است. این شاخص در ایستگاه بابلسر افزایش معنادار ($p <$ ۰/۰۵) و در ایستگاه فسا کاهش معنادار ($p <$ ۰/۰۵) داشته است. فراوانی بارش‌های سه روزه در بخش اعظم سرزمین ایران روند کاهشی داشته است. فراوانی بارش‌های سه روزه در ۱۳ درصد ایستگاه‌ها کاهش معنادار و در ۲ درصد از ایستگاه‌ها و افزایش معنادار داشته است. ایستگاه‌های دارای روند کاهش معنی‌دار در جدول۱ نشان داده‌شده‌اند. فراوانی بارش‌های سه‌روزه فقط در ایستگاه سمنان با شیب سن ۰/۰۷۹ افزایش معنادار ($p <$ ۰/۰۵) داشته است.

جدول (۱). مقادیر شیب سن و ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار

نام ایستگاه	شیب سن	نام ایستگاه	شیب سن	نام ایستگاه	شیب سن	نام ایستگاه	شیب سن
آبادان	-۰,۰۷۵	بندر انزلی	-۰,۱۸۸	بوشهر	-۰,۲۴۵	اصفهان	-۰,۰۹۴
کرمانشاه	-۰,۱۶۷	بندر لنگه	۰	آباده	-۰,۱۱	جزیره کیش	۰

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

فراوانی بارش‌های چهار روزه روندهای آشکاری را نشان نمی‌دهد. فراوانی بارش‌های چهار روزه فقط در دو ایستگاه روند معنادار داشته است به‌طوری‌که در ایستگاه اردبیل افزایش معنادار (p <۰/۰۵) و در ایستگاه سرپل ذهاب کاهش معنادار (p <۰/۰۵) داشته است. فراوانی بارش‌های پنج روزه همانند فراوانی بارش‌های چهار روزه فاقد روند آشکار است و فقط در ایستگاه زاهدان افزایش معنادار (p <۰/۰۵) و در ایستگاه قزوین کاهش معنادار (p <۰/۰۵) داشته است. فروانی بارش‌های شش روزه در اکثر ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته است. فراوانی بارش‌های شش روزه فقط در ایستگاه‌های اردبیل، تهران، رشت و تربت‌حیدریه افزایش معنادار (p <۰/۰۵) داشته است.

روند شاخص‌های شدت بارش‌های یک تا شش روزه

براساس نتایج، شدت بارش‌های یک روزه در بخش اعظم سرزمین ایران روند کاهشی داشته است به‌طوری‌که شدت بارش‌های یک روزه در ۴۰ درصد از ایستگاه‌ها کاهش معنادار داشته است. ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲). مقادیر شیب سن و ایستگاه‌های دارای روند معنادار

نام ایستگاه	شیب سن	نام ایستگاه	شیب سن	نام ایستگاه	شیب سن	نام ایستگاه	شیب سن
اهواز	-۰,۰۹۷	اردبیل	-۰,۰۳۷	بابلسر	-۰,۰۶۶	گرگان	-۰,۰۵۶
کرمان	-۰,۰۲۴	کرمانشاه	-۰,۰۴۷	مشهد	-۰,۰۲۶	سنندج	-۰,۰۵۴
شهرکرد	-۰,۰۴۶	تبریز	-۰,۰۲۴	تهران	-۰,۰۱۸	ارومیه	-۰,۰۲۱
یزد	-۰,۰۳۲	زاهدان	-۰,۰۴۲	زنجان	-۰,۰۳۰	رشت	-۰,۰۶۸
زابل	-۰,۰۲۴	تربت‌حیدریه	-۰,۰۳۹	سقز	-۰,۰۳۵	الیگودرز	-۰,۰۸۵
انار	-۰,۰۴۸	بروجن	-۰,۰۶۶	جزیره کیش	-۰,۰۷۲	سبزوار	-۰,۰۲۲
خوی	-۰,۰۲۳						

شدت بارش‌های دو روزه در بیشتر ایستگاه‌های مطالعه شده روندهای کاهشی را نشان می‌دهد. روند شدت بارش‌های دو روزه در ۱۸ ایستگاه (۲۹ درصد) کاهش معنادار داشته است. ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول (۳). مقادیر شیب سن و ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار

نام ایستگاه	شیب سن	نام ایستگاه	شیب سن	نام ایستگاه	شیب سن
اهواز	-۰,۰۱۲	اردبیل	-۰,۰۴۹	بجنورد	-۰,۰۳۲
گرگان	-۰,۰۳۶	کرمان	-۰,۰۳۸	سنندج	-۰,۰۶۸
شهرکرد	-۰,۰۳۹	تبریز	-۰,۰۳۷	یزد	-۰,۰۳۲
زاهدان	-۰,۰۳۷	زنجان	-۰,۰۲۴	رشت	-۰,۰۸۸
فردوس	-۰,۰۶۷	تربت‌حیدریه	-۰,۰۴۳	سقز	-۰,۰۴۹
جاسک	-۰,۰۱۴۶	سبزوار	-۰,۰۳۹	مراغه	-۰,۰۱۰۱

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

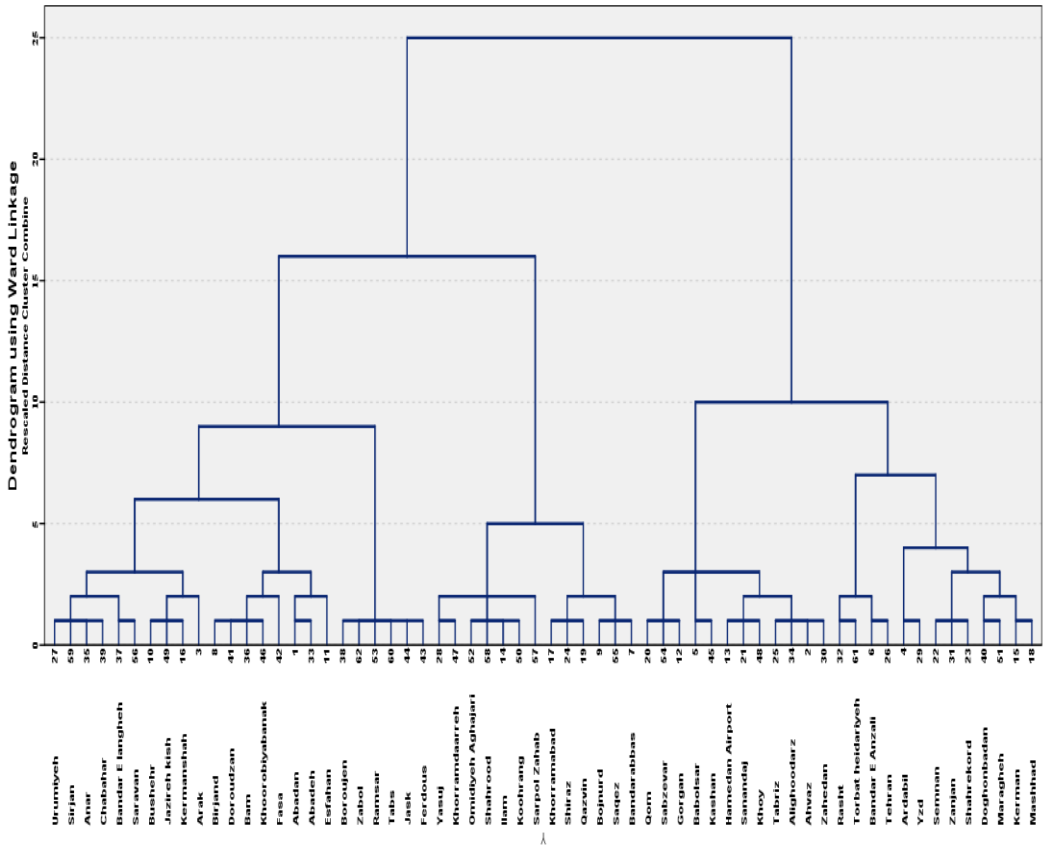
شدت بارش‌های سه روزه نیز در بخش اعظم سرزمین ایران روند کاهشی داشته است اما این روند کاهشی فقط در ۱۵ درصد از ایستگاه‌ها معنادار بوده است که شامل ایستگاه‌های اراک، اردبیل، بندرانزلی، گرگان، تربت‌حیدریه، شاهرود، سرپل ذهاب، جزیره کیش و سراوان به ترتیب با مقادیر شیب سن ۰٫۰۴۷- ، ۰٫۰۴۰- ، ۰٫۰۹۲- ، ۰٫۰۴۲- ، ۰٫۰۵۳- ، ۰٫۰۲۶- ، ۰٫۱۸۹- ، ۰٫۰۶۷- ، ۰٫۰۲۳- است. همچنین ایستگاه فسا در شدت بارش‌های سه روزه دارای روند مثبت معنادار است. شدت بارش‌های چهار روزه در بیشتر ایستگاه‌های مطالعه شده روند کاهشی ضعیف داشته است و فقط در ایستگاه‌های بندر انزلی، زنجان، رشت و کوهرنگ معنادار شده است. شدت بارش‌های پنج روزه و شش روزه نیز روند کاهشی داشته‌اند، اما روندهای کاهشی مذکور در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها معنادار نشده است. جدول (۳).

خوشه‌بندی ایستگاه‌ها براساس روند تغییرات شاخص فراوانی بارش یک تا شش روزه

برای تصمیم‌گیری نهایی در مورد تعداد خوشه‌ها، ایستگاه‌ها براساس نمره‌های شش مؤلفه اصلی (شش متغیر) به‌وسیله روش وارد خوشه‌بندی شدند. شکل (۲) نمودار درختی حاصل از روش خوشه‌بندی وارد را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در روش وارد، ایستگاه‌ها در چهار خوشه اصلی گروه‌بندی شده‌اند. برای تشخیص تفاوت خوشه‌های فرعی، مقادیر شیب سن و نمره z من کندال خوشه‌های فرعی مقایسه شدند. مقایسه خوشه‌های فرعی هر شاخه اصلی نشان داد که علی‌رغم قرار گرفتن ۲۴ ایستگاه در خوشه چپ، سه خوشه فرعی آن تفاوت‌های معناداری از نظر مقادیر شیب سن و نمره z من کندال دارند. ۱۸ ایستگاه که در دو خوشه فرعی چپ قرار گرفته‌اند، ۱۸ ایستگاه روندهای معناداری را نشان می‌دهند و تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای با ۶ ایستگاه بروجن، زابل، رامسر، طبس، جاسک و فردوس که در خوشه فرعی سوم قرار گرفته‌اند، تقریباً روندهای آشکاری را نشان نمی-دهند؛ بنابراین خوشه سمت چپ به دو خوشه تقسیم شد. در نهایت پس از انجام فرایند خوشه‌بندی، گستره‌ی ایران از لحاظ روند تغییرات سالانه شاخص‌های فراوانی بارش‌های یک تا شش روزه به پنج خوشه تفکیک شد. شکل (۳).

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]



شکل (۳). درخت خوشه‌بندی روند تغییرات بارش شاخص‌های فراوانی بارش‌های یک تا شش روزه ایران

خوشه ۱ با روند کاهشی شدید: در این خوشه، ۱۸ ایستگاه قرار گرفته است که روندهای کاهشی شدیدی را در طول نیم قرن اخیر تجربه کرده‌اند. میانگین ارتفاع و عرض جغرافیایی این ۱۸ ایستگاه، ۱۰۳۵ متر و ۳۰ درجه به پایین است؛ بنابراین شدیدترین روندهای کاهشی در نواحی پست و جلگه‌ای جنوب و جنوب شرق، نواحی مرکزی و غرب ایران رخ داده است. ایستگاه‌های این خوشه شامل ارومیه، سیرجان، انار، چابهار، بندرلنگه، سراوان، بوشهر، جزیره کیش، کرمانشاه، اراک، بیرجند، درودزن، بم، خور و بیابانک، فسا، آبادان، آباده و اصفهان است. شکل (۳). در مجموع ۲۹ درصد از ایستگاه‌ها روند کاهشی شدیدی را تجربه کرده‌اند. با توجه به داده‌های جدول (۱)، به‌طور متوسط شاخص فراوانی بارش یک تا شش روزه به ترتیب در هر دهه ۰٫۰۳۲-، ۰٫۰۶۷- ، ۰٫۰۳۸-، ۰، ۰ و ۰ روز کاهش یافته است؛ بنابراین یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خوشه ۱ وجود روندهای منفی شدید در برخی شاخص‌های فراوانی بارش مانند فراوانی بارش‌های یک تا سه روزه است.

خوشه ۲ بدون روند آشکار: ایستگاه‌های بروجن، زابل، رامسر، طبس، جاسک و فردوس در خوشه ۲ قرار دارند شکل (۳). ایستگاه‌های خوشه ۲ برخلاف ایستگاه‌های خوشه یک، روندهای آشکاری را نشان نمی‌دهند. به‌طورکلی میانگین شیب سن شش ایستگاه شاخص‌های فراوانی بارش برای ایستگاه‌های خوشه ۲ به ترتیب برابر با ۰٫۰۴۵-

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

، ۰٫۰۱۲-، ۰، ۰، ۰ و ۰٫۰۰۴ است. میانگین ارتفاع ایستگاه‌های خوشه ۲، برابر با ۷۹۰ متر است. ایستگاه‌های این خوشه تقریباً در نیمه جنوبی کشور متمرکز هستند.

خوشه ۳ با روند کاهشی متوسط: در این خوشه، ۱۳ ایستگاه قرار گرفته است که در مقایسه با ایستگاه‌های خوشه ۱ روند کاهشی متوسطی را تجربه کرده‌اند. ۲۱ درصد از ایستگاه‌ها در خوشه سه قرار گرفته‌اند. میانگین شیب سن شاخص‌های فراوانی بارش برای ایستگاه‌های خوشه ۳، برابر با ۰٫۰۶۲، ۰٫۰۲۸، ۰٫۰۴۵- ، ۰٫۰۶۳- ، ۰ و ۰٫۰۴۱- است. ارتفاع و عرض جغرافیایی متوسط ایستگاه‌های خوشه ۳، برابر با ۱۱۹۵ متر و ۳۳ درجه است. ایستگاه‌های خوشه ۳ از نظر تراکم، به ترتیب در نواحی جنوب غرب (یاسوج، امیدیه آغاجاری و کوهرنگ)، غرب (خرمدره، ایلام، سرپل ذهاب، خرم‌آباد و سقز)، مرکز (شاهرود، شیراز و قزوین)، ایستگاه بجنورد در شمال شرق و ایستگاه بندرعباس در جنوب استقرار یافته‌اند شکل (۳). در مجموع خوشه سه بیشتر بر نواحی غرب و جنوب غرب ایران متمرکز هستند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خوشه ۳ وجود روندهای مثبت متوسط در شاخص فراوانی بارش یک روزه و روندهای منفی متوسط در سایر شاخص‌های فراوانی مانند فراوانی بارش‌های سه تا شش روزه است.

خوشه ۴ با روند افزایشی ضعیف: در این خوشه، ۱۲ ایستگاه (۱۹ درصد) قرار گرفته است. میانگین عرض جغرافیایی ایستگاه‌های خوشه ۴، بالای ۳۴ درجه است. ایستگاه‌های خوشه ۴ از نظر تراکم، به ترتیب در مرکز (قم و کاشان)، شمال (گرگان و بابلسر)، غرب (همدان، سنندج و الیگودرز)، شمال غرب (خوی و تبریز)، ایستگاه اهواز در جنوب غرب، ایستگاه سبزوار در شمال شرق و ایستگاه زاهدان در جنوب شرق استقرار یافته‌اند. در مجموع ایستگاه‌های خوشه ۴ تقریباً در نیمه شمالی کشور متمرکز است و این نواحی روندهای افزایشی ضعیفی داشته‌اند. به‌طور متوسط شاخص‌های فراوانی بارش یک روزه، دو روزه و سه روزه به ترتیب در هر دهه برابر با ۰٫۰۰۵، ۰٫۰۴۹، ۰٫۰۱۳ روز افزایش یافته است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خوشه ۴ وجود روندهای مثبت متوسط در شاخص فراوانی بارش پنج روزه است.

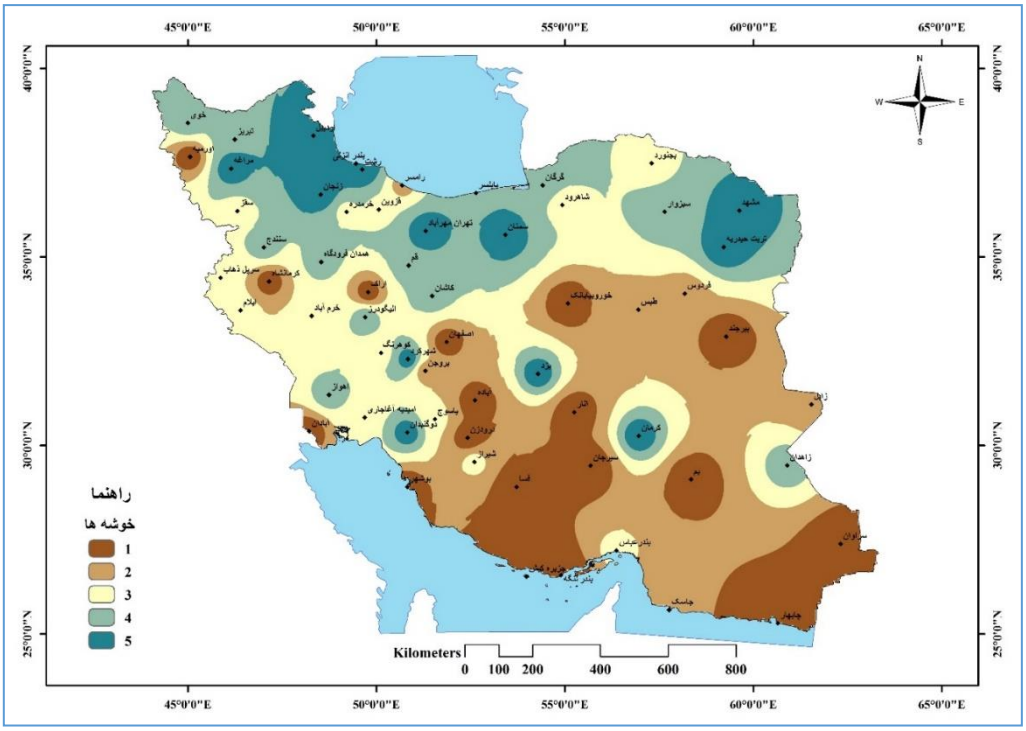
خوشه ۵ با روند افزایشی متوسط: در این خوشه، ۱۳ ایستگاه قرار گرفته است که در مقایسه با ایستگاه‌های خوشه ۴ روندهای افزایشی متوسطی را تجربه کرده‌اند. ۲۱ درصد از ایستگاه‌ها در خوشه ۵ قرار گرفته‌اند. داده‌های جدول ۴ نشان می‌دهد که به‌طور متوسط شاخص‌های فراوانی دوره‌های بارش به ترتیب در هر دهه برابر با ۰٫۰۵۱، ۰٫۰۲۳، ۰٫۰۱۹، ۰٫۰۱۵ و ۰٫۱۱۴ روز افزایش‌یافته است. ارتفاع و عرض جغرافیایی متوسط ایستگاه‌های خوشه ۵، ۱۱۴۱ متر و ۳۴ درجه است که با ایستگاه‌های ۴ تقریباً در یک عرض جغرافیایی قرار دارند. ایستگاه‌های خوشه ۵ از نظر تراکم، به ترتیب در شمال (رشت و بندر انزلی)، شمال شرق (تربت‌حیدریه و مشهد)، شمال غرب (اردبیل، زنجان و مراغه)، جنوب غرب (شهرکرد و دوگنبدان)، مرکز (تهران، یزد، سمنان و کرمان) استقرار یافته‌اند شکل (۳). در مجموع خوشه ۵ بیشتر بر نیمه شمالی کشور متمرکز است و یک سری هسته‌های کوچکی در نواحی مرکزی ایران مشاهده می‌شود. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خوشه ۵ وجود روندهای مثبت شدید در برخی شاخص‌های فراوانی مانند فراوانی بارش شش روزه است.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

جدول (۴). میانگین شیب سن شاخص‌های فراوانی بارش برای ایستگاه‌های هر خوشه

شاخص‌های فراوانی	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	خوشه ۴	خوشه ۵
فراوانی بارش یک روزه	-۰,۰۳۲	-۰,۰۴۵	۰,۰۶۲	۰,۰۰۵	۰,۰۵۱
فراوانی بارش دو روزه	-۰,۰۶۷	-۰,۰۱۲	۰,۰۲۸	۰,۰۴۹	۰,۰۲۳
فراوانی بارش سه روزه	-۰,۰۳۸	۰	-۰,۰۴۵	۰,۰۱۳	۰,۰۱۹
فراوانی بارش چهار روزه	۰	۰	-۰,۰۶۳	۰	۰,۰۱۵
فراوانی بارش پنج روزه	۰	۰	۰	۰	۰
فراوانی بارش شش روزه	۰	۰,۰۰۴	-۰,۰۴۱	-۰,۰۱۴	۰,۱۱۴



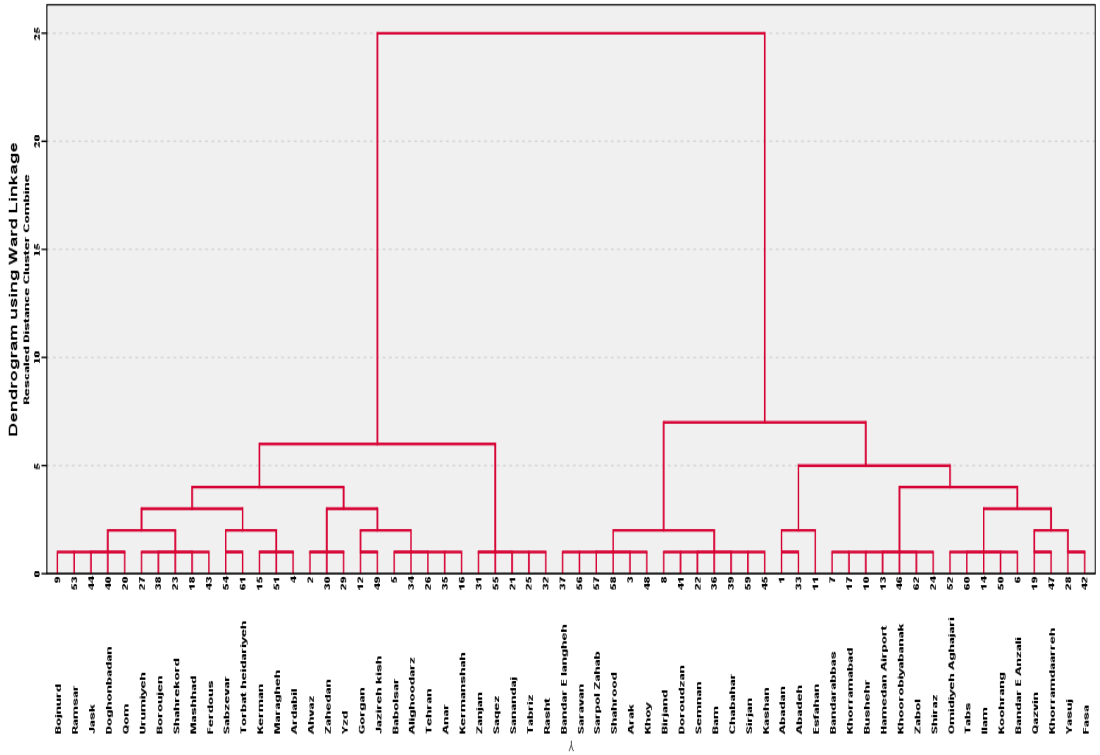
شکل (۳). پراکندگی فضایی ایستگاه‌های خوشه ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ در ایران

خوشه‌بندی ایستگاه‌ها براساس روند تغییرات شاخص شدت بارش یک تا شش روزه

برای تصمیم‌گیری نهایی در مورد تعداد خوشه‌ها، ایستگاه‌ها براساس نمره‌های شش مؤلفه اصلی (شش متغیر) به‌وسیله روش وارد خوشه‌بندی شدند. شکل (۴) نمودار درختی حاصل از روش خوشه‌بندی وارد را نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل، ایستگاه‌ها در چهار خوشه اصلی گروه‌بندی شدند. برای تشخیص تفاوت خوشه‌های فرعی، مقادیر شیب سن و نمره z من کندال خوشه‌های فرعی مقایسه شدند. مقایسه خوشه‌های فرعی هر شاخه اصلی نشان داد که علی‌رغم قرار گرفتن ۱۳ ایستگاه در خوشه اصلی دو، دو خوشه فرعی آن تفاوت‌های معناداری از نظر مقادیر شیب سن و نمره z من کندال دارند. شش ایستگاه بندر لنگه، سراوان، سرپل ذهاب، شاهرود، اراک و خوی که در خوشه فرعی اول قرار گرفته‌اند، روندهای معناداری در برخی شاخص‌های شدت بارش مانند شدت

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

بارش یک روزه و سه روزه نشان می‌دهند و تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای با ۷ ایستگاه دیگر دارند؛ بنابراین خوشه فوق به دو خوشه تقسیم شد. در نهایت پس از انجام فرایند خوشه‌بندی، گستره ایران از لحاظ روند تغییرات سالانه شاخص‌های شدت بارش‌های یک تا شش روزه به چهار خوشه تفکیک شدند. شکل (۵).



شکل (۴). درخت خوشه‌بندی روند تغییرات بارش شاخص‌های شدت بارش‌های یک تا شش روزه ایران

خوشه ۱ با روند کاهشی شدید: در خوشه یک، ۳۰ ایستگاه قرار گرفته است که روند کاهشی شدیدی را در طول نیم قرن اخیر تجربه کرده‌اند. میانگین ارتفاع و عرض جغرافیایی این ۳۰ ایستگاه، ۱۰۶۵ متر و ۳۴ درجه است؛ بنابراین شدیدترین روندهای کاهشی شدت بارش ایران در مناطق شمال غرب، شمال شرق، سواحل خزر و یک سری هسته‌های کوچک در مرکز رخ داده است. ایستگاه‌های این خوشه شامل بجنورد، رامسر، جاسک، دوگنبدان، قم، ارومیه، بروجن، شهرکرد، مشهد، فردوس، سبزوار، تربت‌حیدریه، کرمان، مراغه، اردبیل، اهواز، زاهدان، یزد، گرگان، جزیره کیش، بابلسر، الیگودرز، تهران، انار، کرمانشاه، زنجان، سقز، سنندج، تبریز و رشت است. شکل (۵). در مجموع ۴۸ درصد از ایستگاه‌ها روند کاهشی شدیدی دارند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خوشه ۱ وجود روندهای منفی شدید در برخی شاخص‌های شدت مانند شدت بارش یک روزه و دو روزه است. با توجه به داده‌های جدول ۵، به‌طور متوسط شدت بارش یک تا شش روزه به ترتیب در هر دهه برابر با ۰٫۰۴۳-، ۰٫۰۵۰-، ۰٫۰۲۸- ، ۰٫۰۱۸-، ۰٫۰۰۲- و ۰٫۰۰۵- میلی‌متر در خوشه ۱ کاهش یافته است.

خوشه ۲ با روند کاهشی متوسط: در این خوشه، ۶ ایستگاه قرار گرفته است که در مقایسه با ایستگاه‌های خوشه ۱ روند کاهشی متوسطی را تجربه کرده‌اند. ۱۰ درصد از ایستگاه‌های موردمطالعه در خوشه ۲ قرار گرفته‌اند.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

میانگین شیب سن شدت بارش یک تا شش روزه به ترتیب در هر دهه ۰٫۰۲۲-، ۰٫۰۰۹-، ۰٫۰۵۱-، ۰٫۰۲۰-، ۰٫۰۰۵ و۰٫۰۳۰- میلی‌متر کاهش یافته است. جدول (۲). ایستگاه‌های خوشه ۲ از نظر جغرافیایی تمرکز خاصی را به نمایش نمی‌گذارند و در همه بخش‌های کشور پراکنده هستند. ایستگاه‌های بندر لنگه، سراوان، سرپل ذهاب، شاهرود، اراک و خوی در این خوشه قرار گرفته‌اند. شکل (۵). یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خوشه ۲ وجود روندهای منفی شدید در برخی شاخص‌های شدت مانند شدت بارش‌های سه روزه است.

خوشه ۳ بدون روند آشکار: ایستگاه‌های بیرجند، درودزن، سمنان، بم، چابهار، سیرجان و کاشان در خوشه ۳ قرار می‌گیرند شکل (۵). ایستگاه‌های خوشه ۳ برخلاف دو خوشه دیگر، روندهای آشکاری را نشان نمی‌دهند. به‌طورکلی میانگین شیب سن دو شاخص شدت بارش یک روزه و سه روزه به ترتیب در هر دهه ۰٫۰۱۳- و ۰٫۰۴۱- میلی‌متر کاهش یافته است. یا توجه به میانگین‌ها، متوسط شیب سن بقیه شاخص‌ها در ایستگاه‌های خوشه ۳ صفر است. میانگین عرض جغرافیایی ایستگاه‌های خوشه ۳، ۳۰ درجه است. در مجموع خوشه ۳ بیشتر بر نواحی مرکزی ایران متمرکز است.

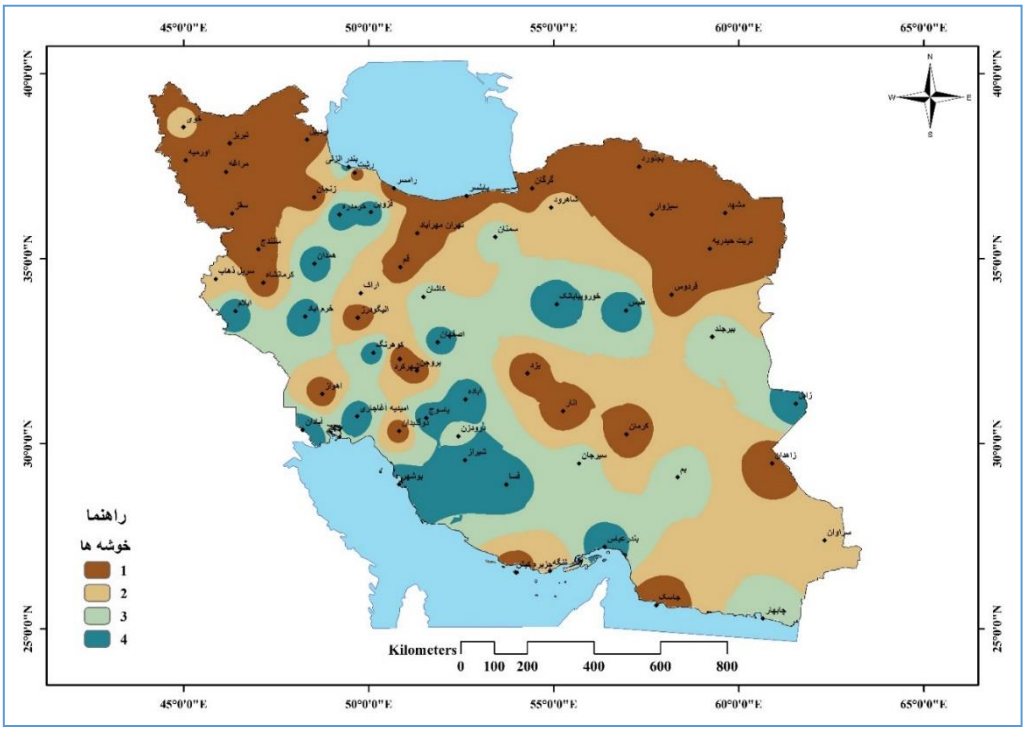
خوشه ۴ با روند کاهشی ضعیف: ایستگاه‌های خوشه ۴، روندهای کاهشی ضعیفی را در طول نیم قرن اخیر داشته‌اند و از نظر جغرافیایی تمرکز خاصی را به نمایش نمی‌گذارند و در همه بخش‌های ایران پراکنده هستند. ۳۱ درصد از ایستگاه‌های موردمطالعه (۱۹ ایستگاه) در خوشه ۴ قرار دارند که شامل ایستگاه‌های آبادان، بندرعباس، بوشهر، آباده، اصفهان، خور و بیابانک، شیراز، طبس، قزوین، فسا، خرم‌آباد، همدان، ایلام، خرمدره، امیدیه آغاجاری، کوهرنگ، یاسوج، زابل و بندر انزلی است شکل (۴). میانگین ارتفاع ایستگاه‌های خوشه ۴، برابر با ۱۰۳۶ متر است. داده‌های جدول (۵) نشان می‌دهد که به‌طور متوسط شاخص‌های شدت دوره‌های بارش به ترتیب در هر دهه ۰٫۰۰۸-، ۰٫۰۱۱-، ۰٫۰۳۱-، ۰٫۰۰۷- و ۰٫۰۱۲- میلی‌متر کاهش یافته است. با توجه به میانگین شیب سن تنها شدت بارش سه روزه در هر دهه با نرخ ۰٫۰۱۵ میلی‌متر روند افزایشی داشته است جدول (۲). ایستگاه‌های اصفهان (دو روزه و چهار روزه) و فسا (سه روزه) روند مثبت شدید تجربه کرده‌اند.

جدول (۵). میانگین شیب سن شاخص‌های شدت بارش برای ایستگاه‌های هر خوشه

شاخص‌های شدت	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	خوشه ۴
شدت بارش یک روزه	-۰٫۰۴۳	-۰٫۰۲۲	-۰٫۰۱۳	-۰٫۰۰۸
شدت بارش دو روزه	-۰٫۰۵۰	-۰٫۰۰۹	۰٫۰۱۰	-۰٫۰۱۱
شدت بارش سه روزه	-۰٫۰۲۸	-۰٫۰۵۱	-۰٫۰۴۱	۰٫۰۱۵
شدت بارش چهار روزه	-۰٫۰۱۸	-۰٫۰۲۰	۰	-۰٫۰۳۱
شدت بارش پنج روزه	-۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۵	۰	-۰٫۰۰۷
شدت بارش شش روزه	-۰٫۰۰۵	-۰٫۰۰۳	۰	-۰٫۰۱۲

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]



شکل (۵). پراکندگی فضایی ایستگاه‌های خوشه ۱، ۲، ۳ و ۴ در ایران

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تحلیل تغییرات در سری‌های زمانی شاخص‌های فراوانی و شدت بارش یک تا شش روزه ایران در نیم قرن اخیر انجام شد. نتایج آزمون من کندال و شیب سن، شواهدی از تغییرات در دوره‌های بارشی ایران را طی ۵۰ سال اخیر نشان می‌دهد. فراوانی بارش‌های یک روزه در بیشتر ایستگاه‌ها افزایش‌یافته، اما فراوانی بارش‌های دو تا شش روزه در غالب ایستگاه‌ها کاهش یافته است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تداوم بارش در ایران کاهش یافته است.

در مورد تغییرات شدت نیز ملاحظه شد که شدت بارش‌های یک تا شش روزه در بخش اعظم ایران روند کاهشی داشته است. شدت کاهش بارش‌های یک روزه و دو روزه نسبت به شدت کاهش بارش‌های سه روزه و چهار روزه قوی‌تر بوده است؛ بنابراین از تداوم و شدت بارش‌ها در ایران کاسته شده و ایران به سمت خشک‌تر شدن پیش رفته است.

مقایسه شیب سن شاخص‌های فراوانی و شدت در بارش‌های یک تا شش روزه نیز نشان داد که ضمن کاهشی بودن روندهای شدت و افزایشی بودن روندهای فراوانی، روندهای شدت قوی‌تر از روندهای فراوانی بوده است. از لحاظ توزیع فضایی نیز، تغییرات معنادار در شاخص شدت دوره‌های بارشی از گستره فضایی بیشتری نسبت به شاخص فراوانی برخوردار است.

نتایج خوشه‌بندی روند تغییرات سالانه شاخص‌های فراوانی و شدت در بارش‌های یک تا شش روزه نشان داد که به ترتیب فراوانی در پنج خوشه و شدت در چهار خوشه قرار می‌گیرند. ایستگاه‌هایی که در خوشه ۱ و ۲ قرار

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

گرفته‌اند، از نظر شاخص فراوانی، دارای روندهای منفی شدید یا بدون روند هستند. این دو خوشه بیشتر در نیمه جنوبی ایران استقرار یافته‌اند. در ایستگاه‌های خوشه ۴ و ۵ روندهایی مثبت در شاخص فراوانی بارش یک تا شش روزه مشاهده می‌شود. این روندها متوسط هستند. ایستگاه‌های خوشه‌های ۴ و ۵ از نظر فضایی بیشتر در نیمه شمالی ایران استقرار یافته‌اند. ایستگاه‌های خوشه ۳ نمایانگر فراوانی دوره‌های بارشی در مناطقی است که روندهای کاهشی متوسطی را تجربه کرده‌اند، این ایستگاه‌ها بیشتر در مناطق غرب و جنوب غرب ایران متمرکز هستند.

نتایج خوشه‌بندی ایستگاه‌ها براساس شاخص شدت دوره‌های بارشی برخلاف نتایج خوشه‌بندی شاخص فراوانی، الگوی خاصی را نشان نمی‌دهند و فقط در خوشه ۱ روندهای کاهشی شدیدی در طول نیم قرن اخیر تجربه شده است. ایستگاه‌های این خوشه بیشتر در عرض‌های جغرافیایی بالا متمرکز هستند. سایر خوشه‌ها تقریباً در تمام عرض‌های جغرافیایی کشور پراکنده شده‌اند.

به‌طورکلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که فراوانی دوره‌های بارشی در عرض‌های جغرافیایی شمالی روندهای افزایشی (متوسط یا ضعیف) را تجربه کرده‌اند درحالی‌که شدت دوره‌های بارشی در این عرض‌ها (شمالی کشور) روندهای کاهشی شدیدی داشته‌اند. نتایج این پژوهش، یافته‌های رضیئی و عزیزی (۱۳۸۸)، غیور و همکاران (۱۳۹۰)، مریانجی (۱۳۹۱)، جهانبخش و ترابی (۱۳۸۳) و مسعودیان (۱۳۸۴) را مورد تأیید قرار می‌دهد. به‌طورکلی، نتایج پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که مشخصات بارش در بیشتر پهنه فلات ایران در دهه‌های اخیر روند کاهشی داشته است، اما میزان تغییرات کاهشی در مناطق مختلف یکسان نبوده است. نتایج پژوهش‌های قبلی به دلیل تفاوت در تعداد ایستگاه‌های مطالعه شده، دوره زمانی موردمطالعه، نوع پایگاه داده‌های استفاده شده و روش مطالعه تفاوت‌های اندکی را نشان می‌دهند. نتایج این پژوهش به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا تأثیر تغییرات اقلیمی بارش را به‌صورت منطقه‌ای بشناسند و در زمینه کاهش و سازگاری با این تغییرات تصمیمات مناسب‌تری اتخاذ کنند.

منابع

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

بابائی فینی ام السلمه، منوچهر فرج زاده اصل. (۱۳۸۱). **الگوهای تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران**، نشریه مدرس علوم انسانی، ۴، ۷۰-۵۱.

جهانبخش سعید، سیما ترابی. (۱۳۸۳). **بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران**. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۷۴: ۱۰۴-۱۲۵.

حیدری حسن، بهلول علیجانی. (۱۳۷۸). **طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره**، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۷، ۷۴-۵۷.

حجازی زاده زهرا، علیرضا کربلائی، میثم طولابی نژاد و سیدمحمد حسینی. (۱۳۹۸). **واکاوی روند بارش شش دهه گذشته ایران**، چهاردهمین کنگره انجمن جغرافیایی، ایران، تهران،https://civilika.com/doc/876508

رضیئی طیب و قاسم عزیزی. (۱۳۸۶). **شناخت مناطق همگن بارشی در غرب ایران**، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۴، ۸۶-۶۵.

صادقی نیا علیرضا، رفعتی سمیه و مهدی صداقت. (۱۴۰۰). **تحلیل فضایی تغییرات اقلیمی در ایران**، فصلنامه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. دوره ۸، شماره ۴، ص ۷۰-۵۵.

صفرراد طاهر، عزیزی قاسم، محمدی حسین، فرجی سبکبار و حسنعلی. (۱۳۹۴). **تغییرپذیری شدت پرفشار سیبری در دوره تشدید گرمایش جهانی**. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۴(۱)، صص ۷۷-۹۴. doi:10.22067/geo.v4i1.38964.

عبدلی سعدی، عزیزی قاسم و برنا رضا. (۱۴۰۰). **ارزیابی تغییرات دمای هوا و بارش در منطقه پربارش نیمه غربی ایران تحت شرایط تغییر اقلیم**. جغرافیای طبیعی، ۱۴(۵۳)، pp. 1-18.

علیجانی بهلول و مجید زاهدی. ۱۳۸۱. **تحلیل آماری و سینوپتیکی بارندگی آذربایجان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی**، ۶۵ و ۶۶، ۲۰۲-۲۱۷.

علیجانی، بهلول. (۱۳۹۸). **روش‌شناسی کمّی در جغرافیا**، تهران، انتشارات سمت.

علیجانی، بهلول. (۱۳۷۴). **آب‌وهوای ایران، تهران**، انتشارات دانشگاه پیام نور.

غیور حسنعلی، ابوالفضل مسعودیان، مجید آزادی و حمید نوری. (۱۳۹۰). **تحلیل زمانی و مکانی رویدادهای بارشی سواحل جنوبی خزر**، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۰۰، ۱۶۸۰۲-۱۶۷۷۲.

مریانجی، زهره. (۱۳۹۱). **تغییرپذیری رژیم بارش در ایران، پایان‌نامه‌ی دکتری رشته‌ی جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی**، استادان راهنما: سعید موحدی، حسین عساکره و علی‌اکبر سبزی پرور، دانشگاه اصفهان.

مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۸۲). **شناسایی رژیم‌های بارشی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای**، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۲، ۵۹-۴۷.

مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۹۰). **آب‌وهوای ایران**، مشهد، انتشارات شریعه توس.

Alijani, B(2002) **Variations of 500 hpa flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with climate of Iran**, International Journal of Climatology 72:41-54.

Badreldin, G., H., Hassan, Feng Ping(2012). **Regional Rainfall Frequency Analysis for the Luanhe Basin by using L-moments and cluster techniques**, ICESD 2012: 5-7 January 2012, Hong Kong.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]

C.M. Tfwala, L.D. van Rensburg, R. Schall, S.M. Mosia, P. Dlamini (2017), **Precipitation intensity-duration-frequency curves and their uncertainties for Ghaap plateau**, Climate Risk Management,16: 1-9.

Domroes, M., Kaviani, M., Schaefer, D., 1998. **An analysis of regional and intraaual precipitation variability over Iran using Multivariate Statistical Methods**. Theor.

Gottschalk, L., 1985. **Hydrological regionalization of Sweden**. Hydrol. Sci. J. 30, 65-83.

Jackson, I.J., Weinand, H., 1995. **Classification of tropical rainfall stations: a comparison of clustering techniques.** Int. J. Climatol. 15, 985-994.

IRANNEZHAD Masoud, Hannu MARTTIL, Deliang CHEN, BjØrn KLØVE (2016), **Century-long variability and trends in daily precipitation characteristics at three Finnish stations**,Ke Ai Advances in Climate Change Research 7: 54-69.

Kumar, S. V. Merwade, J. Kam, and K.Thurner. 2009. **Stream flow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains**. Journal of Hydrology, 374:171-183.

Donat M.G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R.J.H., Willett, K.M., Aguilar, E., Brunet, M., Caesar, J., Hewitson, B., Jack,C., Klein Tank,A.M.G., Kruger.A.C., Marengo.J., Peterson.T.C., Renom.M., Oria Rojas.C., Rusticucci.M., Salinger.J., Elrayah.A.S., Sekele.S.S., Srivastava.A.K., Trewin.B., Villarroel.C., Vincent.L.A., Zhai.P., Zhang.X., and Kitcing.S. 2013. **Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset**: Journal of Geophysical Reaserch: Atmospheres, 118, 2098-2118.

Kaufman, L., Rousseuw, P,J., 1990. **Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis.** Wiley, New York, 344pp.

Nathan, R.J., McMahon, T.A., 1990**. Identification of homogeneous regions for the purpose of regionalization**. J. Hydrol. 121, 217-238.

Ramos, M.C., 2001.**Divisive and hierarchical clustering techniques to analyze variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region**. J. Hydrol. 57, 123-138.

Romero, R., Sumner, G., Ramis, C., Genoves, A., 1999. **A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area**. Int. J. Climatol. 19, 765-785.

Singh, C. V., 1999. **Principal components of monsoon rainfall in normal, flood and drought years over India.** Int. J. Climatol. 19, 639-952.

Serrano, A., V.L. Mateos, and J.A. Garcia. 1999. **Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology,** Oceans and Atmosphere.24(1-2): 85-90.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.61186/jgs.24.73.521]