



Frequency Analysis of Dangerous Extreme Rainy Days in IRAN

Sayyed Mohamm Hosseini^{a*}, Sirus Nabiuni^b

^a Assistant Professor in Climatology, Sayyed Jamaledin Asadabadi University, Asadabad, Iran

^b PhD in Climatology, National Geographical Organization, Tehran, Iran

Received: 21 July 2021

Revised: 4 October 2021

Accepted: 20 October 2021

Abstract

Today, rainfall hazards create wide crisis in terms of military, security and social issues, because the tensions in rural and social destruction of the natural environment have led to violent conflicts. For analyzing the extreme rainy days in Iran, daily data of extreme rainy days in 235 synoptic stations in the period from 3/21/1961 to 03/20/2019 (21549 days) were used. Therefore, a database of a matrix of 21549×235 was created. Rows show time and columns show the stations. Using Euclidean distance and Ward linkage, extreme rainy days were classified into four regular rain clusters. The results showed that the first cluster (days with relatively heavy rain) with a frequency of 87% of the stations is widely distributed in Iran. The second cluster (semi-heavy rain) with 9 percent is limited to a few stations in the eastern coast of the Caspian Sea and the western side of the Zagros Mountains. The third cluster (heavy rain) with 3% of stations is located on the shore of the Caspian Sea and western Zagros mountains stations in Astara, Baboulsar, Noushahr, Ramsar, Rasht, Kouhrang and Yasouj. Finally, the fourth cluster (super heavy rain) with 1 percent, occurs only in Bandar Anzali station. It seems that the frequency of extreme rainy days in Iran tends to cluster and comply with topography and distance or proximity to the sea. The results of the present study showed that the stations located in western Iran have many rainy days due to their special geographical location in the Zagros Mountains and the influence of westerly winds.

Keywords: Rain Hazards, Cluster Analysis, Extreme Rainy Days, IRAN

* Corresponding author: Sayyed Mohamm Hosseini

E-mail: h.climate@yahoo.com

Tel: + 989384694588

How to cite this Article: Hosseini, S., & Nabiuni, S. (2022). Frequency Analysis of Dangerous Extreme Rainy Days in IRAN. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(1), 141-162.

DOI: 10.22067/geoeh.2021.71591.1091



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant with open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 1 - Number 41, Spring 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71591.1091>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و یکم، بهار ۱۴۰۱، صص ۱۶۲-۱۴۱

مقاله پژوهشی

واکاوی فراوانی روزهای باران فرین مخاطره‌آمیز در ایران

سید محمد حسینی^۱ - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران.

سیروس نبیونی - دکتری آب و هواشناسی، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۷/۱۲ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۷/۲۸

چکیده

امروزه مخاطرات بارشی، بحران‌های گسترده‌ای را به لحاظ نظامی، امنیتی و اجتماعی ایجاد می‌کنند؛ چراکه این تنش‌ها، در قالب فرسایشی و تخریب محیط طبیعی گاه به تعارضات خشونت‌بار اجتماعی نیز می‌انجامد. در این راستا، برای واکاوی روزهای باران فرین در ایران از داده‌های روزانه باران در ۲۳۵ ایستگاه همدید در بازه زمانی ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۸/۱۲/۲۹ خورشیدی (۲۱۵۴۹ روز) استفاده شده است. بنابراین پایگاه داده‌ای با آرایه‌ای به ابعاد ۲۱۵۴۹×۲۳۵ ایجاد شد که سطرها نماینده زمان و ستون‌ها نماینده ایستگاه‌ها هستند. با استفاده از فاصله اقلیدسی و پیوند وارد، روزهای باران فرین ایران در چهارخوشه بارش منظم قرار گرفت. نتایج نشان داد خوشه اول (روزهای همراه با باران نسبتاً سنگین) با فراوانی ۸۷ درصد ایستگاه‌ها، پراکنش سراسری در کشور دارد. خوشه دوم (باران‌های نیمه سنگین) با ۹ درصد، محدود به چند ایستگاه در کرانه‌های شرقی دریای خزر و نیمه غربی ارتفاعات زاگرس است. خوشه سوم (باران‌های سنگین) با ۳ درصد ایستگاه‌ها در کرانه‌های جنوبی دریای خزر و غرب ارتفاعات زاگرس در ایستگاه‌های آستارا، بابلسر، نوشهر، رامسر، رشت، کوه‌رنگ و یاسوج واقع شده است و در نهایت، خوشه چهارم (باران‌های ابرسنگین) با ۱ درصد، فقط در ایستگاه بندرانزلی رخ می‌دهند. به نظر می‌رسد فراوانی روزهای باران فرین در ایران، میل به خوشه‌ای شدن و لانه‌گزینی دارد و در تبعیت با توپوگرافی و دوری یا نزدیکی به دریا است.

Email: h.climate@sjau.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۸۴۶۹۴۵۸۸

نحوه ارجاع به این مقاله:

حسینی، سید محمد؛ نبیونی، سیروس. (۱۴۰۱). واکاوی فراوانی روزهای باران فرین مخاطره‌آمیز در ایران. *جغرافیا و*

مخاطرات محیطی, ۱۱(۱). صص ۱۶۲-۱۴۱

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71591.1091>

کلیدواژه‌ها: مخاطرات باران، واکاوی خوشه‌ای، روزهای باران فرین، ایران.

۱- مقدمه

از دیدگاه اصول و استراتژی‌های پایه در پدافند غیرعامل، ملاحظات نظامی و راهکارهای امنیتی، موقعیت نسبی ایران با کشورهای همسایه به‌گونه‌ای است که وسعت زیاد، شاهراه‌های ارتباطی متراکم، گسترش شرقی- غربی ناهموازی‌های البرز و شمال غربی- جنوب شرقی زاگرس و همچنین ریخت و توپوگرافی ویژه آن، سبب شده است که جمهوری اسلامی ایران از اهمیت اقلیمی، استراتژیکی و ژئوپولیتیکی چشمگیری برخوردار شود. در این میان، نقش مخاطرات بارشی و پراکنش ناهمگون آن در کشور از یک سو و رخداد باران‌های شدید و سیل‌زا از سوی دیگر، از اهمیت خاصی در ایران برخوردار است؛ به طوری که گاهی این گونه رخدادها، می‌توانند شرایط امنیتی و دفاعی یک کشور را به شدت تحت تأثیر قرار دهند (علیچانی و هوشیار، ۱۳۸۷). این مقوله، برآیند پیامدهای زیانبار مخاطرات بارشی بر معیشت و فزاینده‌گی دامنه کشمکش‌های محلی و ملی بر سر کاهش سطح برخورداری‌ها و هراس از تحولات ناخوشایند و پیش‌بینی‌ناپذیر آینده است. آینده‌ای که هشدار آن را دیرگاهی است داده‌ها و یافته‌های علمی، سر داده‌اند. اهمیت این امر از آن جهت است که تنش‌های محیط‌زیست در قالب فرسایندگی و تخریب محیط طبیعی، حتی به تعارضات خشونت‌بار اجتماعی نیز انجامیده است (آیسون، ۲۰۱۰)؛ لذا بررسی مخاطرات اقلیمی ناشی از این دیدگاه در مواقع بحران‌های طبیعی مانند سیل و خشکسالی، لزوم برنامه‌ریزی‌های مدون علمی و عملی را ایجاب می‌کند (رحیم‌زاده و عسگری، ۱۳۸۵؛ محمدی و ملکیان، ۱۳۹۹).

آنچه مسلم است، کاهش یا افزایش رخدادهای باران فرین به صورت آشکارا و پنهان می‌تواند بر کاهش منابع آب قابل دسترس، کاهش پوشش گیاهی، افزایش خشکسالی، گسترش بیابان‌زایی، افزایش بارش‌های رگباری، افزایش توفان‌های گردوغبار و ریزگردها، تغییرات اکولوژی در رودخانه‌ها، افزایش زیست‌توده، شیوع امراض و بیماری‌های انسانی، حیوانی و گیاهی و حتی امنیت ملی یک کشور تأثیرات قابل توجهی وارد نماید (آرورا و بوئر، ۲۰۰۱؛ چرچ و همکاران، ۲۰۰۱؛ یو و همکاران، ۲۰۰۲؛ سیلور، ۲۰۰۸؛ هافمن و همکاران، ۲۰۱۱؛ رادینویک و کریک، ۲۰۱۲؛ عزیزی و روشنی، ۱۳۸۲؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۸)؛ به طوری که امروزه واکاوی فراسنج‌های آب و هواشناسی به‌ویژه باران با استفاده از روش‌های پارامتری یا ناپارامتری، مطالعات آماری (سری‌زمانی، روند، مدل‌سازی و شبیه‌سازی) با استفاده از الگوهای محاسباتی- ریاضی، ماهواره‌ای و سناریوهای اقلیمی و بررسی پویه زمانی- مکانی (رفتار) آن، موضوع

- 1 Alison
- 2 Arora and Boer
- 3 Church et al
- 4 Yu et al
- 5 Silver
- 6 Hofmann et al
- 7 Radinović and Ćurić

پژوهش‌های فراوانی در ایران و جهان بوده است و در اغلب این پژوهش‌ها، بر اهمیت تغییرات آب و هوایی جهان به‌ویژه در مورد متغیر آشوبناک باران، توجه ویژه‌ای شده است. برای نمونه کُنکل^۱، ۲۰۰۳ در شمال آمریکا؛ هیدالگو و همکاران^۲، ۲۰۰۳ در والنسیای اسپانیا؛ هایلوک و همکاران^۳، ۲۰۰۵ در شمال آمریکا؛ بکر و همکاران^۴، ۲۰۰۶ در حوضه رودخانه یانگ تسه چین؛ فیداس و همکاران^۵، ۲۰۰۷ در یونان؛ پاتانیکا و راجوان^۶، ۲۰۱۰ در هندوستان؛ هیدالگو و همکاران^۷، ۲۰۱۰ در اسپانیا؛ واکازاکی^۸، ۲۰۱۱ در ژاپن، دانبرگ^۹، ۲۰۱۲ در آلمان؛ ماندل و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۲ در هند؛ جوانمرد و همکاران^{۱۱}، ۱۳۸۲؛ آزادی و وکیلی^{۱۲}، ۱۳۸۲؛ مسعودیان^{۱۳}، ۱۳۸۳؛ بابائیان و همکاران^{۱۴}، ۱۳۸۶؛ نصرآبادی و مسعودیان^{۱۵}، ۱۳۹۲؛ حجازی‌زاده و همکاران^{۱۶}، ۱۳۹۹؛ جهانبخش‌اصل و همکاران^{۱۷}، ۱۳۹۹؛ امینی و همکاران^{۱۸}، ۱۴۰۰ در زمینه رخداد باران‌های فرین، پژوهش‌های ارزشمندی ارائه داده‌اند.

امروزه مطالعه باران‌های فرین در جهان و ایران از اعتبار خاصی برخوردار شده است و اندیشمندان زیادی را به خود مشغول نموده است. به‌عنوان نمونه اسونسون و همکاران^{۱۱} (۲۰۰۱)، ویژگی‌های روزانه باران‌های سنگین^۳ و ۲۴ ساعته در اسکاتلند را که از آستانه معین تجاوز کرده بودند، بررسی کرده و بر این باورند که این‌گونه باران‌ها در اوایل صبح و عمدتاً توسط جبهه‌های گرم به وجود می‌آیند. چینگسن و همکاران^{۱۲} (۲۰۰۲)، باران‌های سنگین (بیش از ۱۰۰ میلی‌متر) بعدازظهرهای تایوان را طی فصل بارشی مورد مطالعه قرار دادند و آن‌ها را در دو گروه جداگانه طبقه‌بندی کردند. ویلیام و همکاران^{۱۳} (۲۰۰۴)، باران‌های سنگین انگلستان را به سه دسته: جبهه‌ای^{۱۴}، همرفتی^{۱۵} و کوهبارش تقسیم و زمان رخداد، محدوده تأثیر و ویژگی‌های هر یک از سه نوع باران را بیان کردند. جیسن و همکاران^{۱۶} (۲۰۰۵)، باران‌های سنگین شمال راین- وستفاليا را با استفاده از داده‌های راداری و باران‌سنج‌های منطقه بررسی کرده و نشان دادند که تنها در صورتی می‌توان گستره مکانی یک باران سنگین (بیش از ۱۰۰ میلی‌متر) را تعیین کرد که داده‌های راداری در دست باشند. لنا و همکاران^{۱۷} (۲۰۰۷)، الگوهای جوی بوجودآورنده باران‌های روزانه بیش

1 Kunkel

2 Hidalgo et al

3 Haylock et al

4 Becker et al

5 Feidas

6 Pattanaika and Rajeevan

7 Hidalgo et al

8 Wakazuki

9 - Danneberg

10 Mondal et al

11 Svensson et al

12 Ching-Sen et al

13 William et al

14 Frontal Rainfall

15 Convective Rainfall

16 Jessen et al

17 Lana et al

از ۶۰ میلیمتر سنگین جزایر بالریک^۱ را مطالعه کردند. سپس با انجام تحلیل خوشه‌ای^۲ نشان دادند تقریباً ۸۷ درصد باران‌های سنگین منطقه زمانی رخ می‌دهد که یک مرکز چرخندی در شعاع ۶۰۰ کیلومتری جزایر واقع شده باشد. **فنگ و همکاران**^۳ (۲۰۰۷)، مدل‌سازی باران‌های فرین سالانه چین را با استفاده از توزیع مقادیر فرین تعمیم‌یافته^۴ انجام دادند. نتایج نشان داد روندهای کاهش عمده‌تاً در شمال چین و روندهای افزایشی در حوضه رودخانه یانگ‌تسه و شمال‌غرب چین مشاهده شدند. **لی و همکاران**^۵ (۲۰۰۸)، رویداد باران سنگین ۱۸ روزه در کره جنوبی را بررسی کردند. به اعتقاد آن‌ها، ناپایداری دگر فشار^۶ و رطوبت انباشته، نقش عمده‌ای در پیدایش ناپایداری جو داشته، و سبب باران‌های سنگین طولانی‌مدتی بر روی شبه‌جزیره کره شده است. **کومر و همکاران**^۷ (۲۰۰۸)، باران سنگین ۲۶ ژوئیه سال ۲۰۰۵ مومبائی^۸ هند را به کمک مدل کاوش و پیش‌بینی هوا^۹ بررسی کردند. تحلیل آن‌ها نشان داد، منبع رطوبت این سامانه، جریان‌های شمال و شمال‌غربی با منشأ دریای عرب بوده است. **سن‌روی**^{۱۰} (۲۰۰۹)، با بررسی باران‌های فرین ساعتی در هند معتقد است که روند افزایشی باران‌های سنگین در نواحی مرتفع هیمالایا، به‌ویژه در شمال‌غربی و دامنه هیمالایا مشاهده می‌شود. **کایی و همکاران**^{۱۱} (۲۰۱۸)، در بررسی جفت پارامترهای رطوبت‌دهی در بارش‌های سنگین منطقه‌ای، به این نتیجه رسیدند که واگرایی و همگرایی، اساس تغییرات رودباد برای فراهم کردن رطوبت لازم برای بارش‌های سنگین است. **آجیل و همکاران**^{۱۲} (۲۰۱۸)، با تحلیل دینامیکی بارش حدی در شمال‌شرق ایالات متحده بر اساس الگوهای هواشناسی بزرگ‌مقیاس به این نتیجه رسیدند که فاکتورهایی چون انتقال یکپارچه رطوبت، همگرایی رطوبت لایه‌های زیرین جو و کمربندهای گرم سبب تفاوت بین روزهای با و بدون بارش حدی در شمال شرق ایالات متحده می‌شوند. **رحیمی و فاطمی**^{۱۳} (۲۰۱۹)، با بررسی بارش ایران نشان دادند که مقادیر حدی بارش ایران دارای روندی افزایشی است و روند مثبت معنادار در جنوب‌غربی و سواحل خلیج فارس بیشتر است. **کاپانو و همکاران**^{۱۴} (۲۰۲۱)، با تحلیل روند باران فرین در سواحل جنوبی آفریقای غربی بر این باورند که بارش باران

1 Balearic: (مجموعه جزایر واقع در شرق اسپانیا در دریای مدیترانه)

2 Cluster Analysis

3 Feng et al

4 Generalized Extreme Value (GEV)

5 Lee et al

6 Baroclinic Instability

7 Kumar et al

8 Mumbai

9 Weather Research and Forecasting (WRF)

10 Sen-Roy

11 Kai et al

12 Agel et al

13 Rahimi and Fatemi

14 Kpanou et al

در کمربند ساحلی بیشتر از خشکی‌های داخلی آفریقا است و مقدار P95 برای ایستگاه‌های ساحلی و قاره‌ای به ترتیب به ۸۲ و ۵۲ میلی‌متر در روز می‌رسد.

در ایران نیز پژوهش‌های متعددی در زمینه باران‌های فرین و مخاطرات ناشی از آن انجام شده است. به‌عنوان نمونه؛ **مسعودیان (۱۳۸۷)**، معتقد است که دو الگوی گردشی در پدیدآمدن باران‌های سنگین بیش از ۱۰۰ میلی‌متر ایران نقش دارند. الگوی اول با استقرار یک پرفشار بر روی دریای سیاه و گسترش ناوه خلیج فارس مشخص می‌شود. الگوی دوم با شکل‌گیری ناوه بر روی عراق و نفوذ زبانه پرفشار سیبری - سیاه به درون ایران همراه است. این الگو عمدتاً در کرانه‌های خزر باران موجب باران می‌شود. **حسینی (۱۳۸۸)**، با واکاوی عوامل پوششی و گرمایی موجد باران‌های سنگین، شدید و فراگیر پهنه‌ی نیمه پربارش خزری بر این باور است که چون این‌گونه بارش‌ها اغلب در فصل پاییز رخ داده‌اند و در این فصل هنوز دریا گرمای ویژه خود را از دست نداده است، غالباً عامل صعود توده‌هوا و چگالش آن، همرفت (وزشی) دریای خزر است. **منتظری (۱۳۸۸)**، معتقد است امکان وقوع باران‌های فرین روزانه در سراسر ایران به‌جز سواحل دریای خزر در چهار ماه دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس وجود دارد که عموماً در ماه‌های اوت، سپتامبر و اکتبر رخ داده است. **محمدی (۱۳۹۲)**، با واکاوی روند بارش باران ایران نشان داد که روند افزایشی معناداری در آستانه باران‌های سنگین ایران به‌ویژه از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۲ مشاهده شده است که این مقدار افزایشی به‌طور متوسط، ۰/۵ میلی‌متر در هر سال برآورد شده است. **برزو و عزیز (۱۳۹۳)**، با استفاده از روش خوشه‌بندی، مؤلفه‌های مؤثر بر باران سنگین ایران را شناسایی نمودند و بر این باورند که در تحلیل عاملی از یازده مؤلفه بارشی، دو مؤلفه میانگین مجموع بارش سالانه و تعداد روزهای بارشی یک میلی‌متر در مجموع، ۸۶ درصد اثر را پوشش می‌دهد. **داداشی‌رودباری و کاشکی (۱۳۹۸)**، نشان دادند که الگوی هواپهر در هنگام رخداد باران سنگین خراسان رضوی، ناوه ژرف مدیترانه است که محور فرود آن در شرق دریای مدیترانه قرار گرفته و دریای سرخ به‌عنوان منبع اصلی این بارش‌ها ایفا می‌کند. **میریان و همکاران (۱۳۹۹)**، بر این باورند که در زمان رخداد باران سنگین فراگیر در ایران، منطقه همگرایی قوی در سطح کشور شکل گرفته که منطبق بر منطقه واگرایی تراز میانی جو، صعود دینامیکی هوا را موجب شده است. در این شرایط، مقادیر تاوایی نسبی و تاوایی مطلق، منطبق بر بخش شرقی ناوه افزایش می‌یابد. **رضایی‌بنفشه و همکاران (۱۳۹۹)**، با واکاوی سینوپتیکی باران‌های مداوم و سنگین تبریز نشان دادند که سه الگوی اصلی فشار تراز دریا در ایجاد این بارش‌ها مؤثر بوده و استقرار سردچال در غرب تبریز و همراهی سطح زمین، شرایط را برای ایجاد باران سنگین فراهم کرده است. **حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹)**، بر این باورند که روند روزهای همراه با باران سنگین در حدود ۷ درصد از پهنه ایران، منفی و در ۹۳ درصد، روندی مشاهده نمی‌شود. نرخ کاهش در تعداد روزهای همراه با باران سنگین در نواحی غرب کشور بیشتر است. **امینی و همکاران (۱۴۰۰)**، با ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی باران نشان دادند که بخش‌هایی از استان اردبیل در مجاورت با استان‌های گیلان و

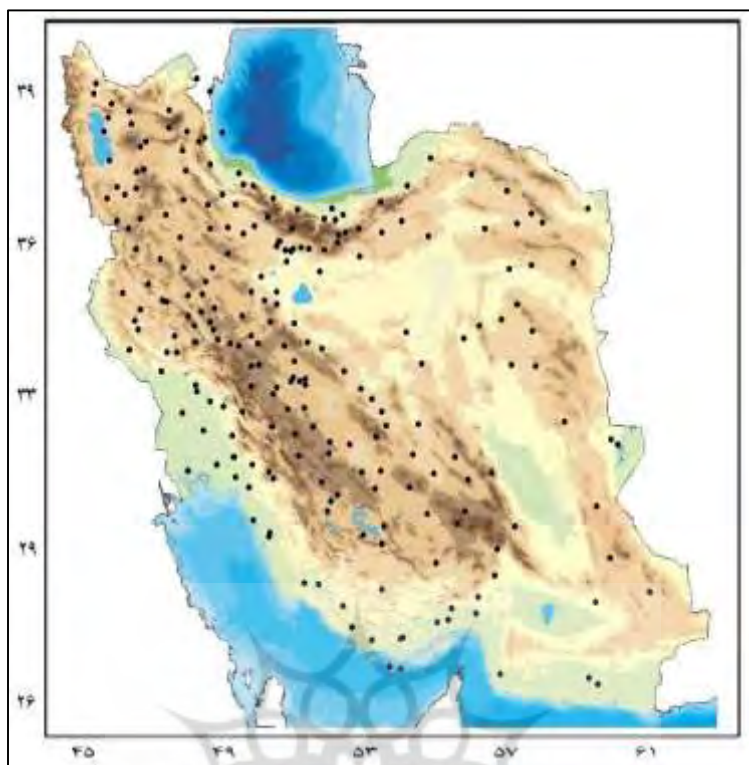
آذربایجان شرقی به دلیل تأثیرپذیری از توده‌های هوا و بارش‌های جبهه خزری و مدیترانه‌ای، دارای تغییرپذیری بیشتری در مقادیر بارش در ماه‌های مختلف هستند.

با بررسی پژوهش‌های صورت گرفته مشخص می‌شود که در اغلب این‌گونه مطالعات، روند باران فرین و تحلیل هم‌مدیدی آن‌ها مدنظر بوده است و کمتر به تحلیل آماری با کمک تکنیک‌ها و شگردهای محاسباتی پرداخته شده است. لذا هدف از پژوهش حاضر، واکاوی روزهای باران فرین در ایران است و برای نیل به این هدف از تحلیل خوشه‌ای گونه‌های باران فرین استفاده شده است تا ضمن شناسایی مناطق در معرض خطر، اقدامات لازم برای جلوگیری یا کاهش خسارت‌های ناشی از این‌گونه مخاطرات اعم از سیل یا خشکسالی برای برنامه‌ریزان و مسئولان امر صورت گیرد.

۲- مواد و روش

در پژوهش حاضر از داده‌های مربوط به مقدار باران روزانه ۲۳۵ ایستگاه هم‌مدید با دست‌کم ۲۰ سال آماری در پهنه ایران زمین استفاده شده است که مقادیر باران را به‌صورت روزانه ثبت کرده‌اند. این داده‌ها از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور به‌صورت خام استخراج گردید و پایگاه داده‌های آن در متلب ایجاد شد. این پایگاه برای ۲۳۵ ایستگاه هم‌مدید کشور در بازه زمانی ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۸/۱۲/۲۹ خورشیدی (برابر با ۲۱۵۴۹ روز) فراهم شده است (شکل ۱). بنابراین پایگاه داده ایجادشده، آرایه‌ای به ابعاد 21549×235 دارد. سطرها نماینده زمان و ستون‌ها نماینده ایستگاه‌ها هستند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های همدید مورد بررسی در ایران

لازم به ذکر است که قبل از انجام تجزیه و تحلیل بر روی پایگاه داده فراهم شده، صحت و درستی داده‌های ثبت شده باران در هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری توسط آزمون تصادفی بودن و همگنی داده‌ها «ران تست»^۱ کنترل کیفی و کمی شد. در برخی از ایستگاه‌ها، برخی از داده‌ها محل تردید بود؛ یعنی در تعدادی از روزها، بارشی ثبت نشده بود؛ در این گونه از موارد، مقادیر مورد تردید با NaN ^۲ جایگزین شد (مسعودیان، ۱۳۸۶). در این پژوهش همچنین برای محاسبات آماری از نرم‌افزار متلب^۳ و برای ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۴ و سرفر^۵ استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا پایگاه داده‌ها در نرم‌افزار متلب ایجاد و کدنویسی شد و پس از پیش‌پردازش و پردازش^۶ اولیه، مورد تجزیه و تحلیل^۷ آماری قرار گرفت و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار سرفر و GIS و اسکریپت‌نویسی در محیط آن، داده‌ها تبدیل به نقشه و نقشه‌ها ترکیب و سپس مورد واکاوی نهایی قرار گرفت.

-
- 1 Run test
 - 2 Not a Number
 - 3 Matrix Laboratory (MATLAB)
 - 4 Geography Information System (GIS)
 - 5 SURFER
 - 6 Processing
 - 7 Analysis

لازم به ذکر است که اطلاق صفت فرین (اعم از سنگین یا ابرسنگین) به باران، تا اندازه زیادی تابع مکان و قلمرو جغرافیایی منطقه دریافت بارش است. بوم سازگان‌های طبیعی هر منطقه در طول زمان با بارش سالانه خود و آستانه زیاد یا کم انطباق یافته‌اند. به همین دلیل، مقدار بارانی که در یک ایستگاه کم باران، باران سنگین به حساب می‌آید، ممکن است در منطقه‌ای مرطوب و پر باران، طبیعی و در حد بارش‌های معمول آن منطقه به شمار آید (برزو و عزیزی، ۱۳۹۳). لذا در پژوهش حاضر برای شناسایی روزهای فرین باران ابتدا برای هر کدام از ۲۳۵ ایستگاه مورد بررسی، میانگین بلندمدت بارش در هر روز خورشیدی طی دوره آماری محاسبه شد. سپس روزهایی که باران روزانه آن‌ها بیشتر از میانگین بلندمدت همان روز بود به عنوان روز باران فرین تعریف شد (حسینی، ۱۳۹۳). روش مورد استفاده در این پژوهش برای شناسایی روز بارش فرین این مزیت را دارد که برای هر ایستگاه چه در مناطق پر باران شمالی یا کم باران جنوبی کشور واقع شده باشد، روز فرین به درستی و مختص هر ایستگاه تعیین می‌شود که سنگین بودن ریزش باران را با معیاری درست و ایستگاهی نمایش می‌دهد. در نهایت، روزهای فرین در هر ایستگاه شمارش شد و سپس مورد واکاوی خوشه‌ای قرار گرفت. در این پژوهش بر اساس فواصل اقلیدسی^۱ میان تعداد روزهای باران فرین ایران و به کمک روش پیوند وارد^۲، فرایند تحلیل خوشه‌ای پایگانی (سلسله مراتبی)^۳ انجام گرفت. در مطالعات اقلیمی غالباً برای محاسبه درجه ناهمانندی (همانندی) از فاصله اقلیدسی و برای کاهش میزان پراش درون گروهی و افزایش همگنی گروه‌های حاصله از پیوند وارد استفاده می‌شود (رابطه ۱ و ۲: مسعودیان، ۱۳۸۶):

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s) \quad \text{رابطه ۱- فاصله اقلیدسی}$$

که در این رابطه، d_{rs}^2 فاصله اقلیدسی نقطه r ام به مختصات r و r' و نقطه s ام به مختصات s و s' ؛ X_r بردار مشاهدات روی r و X_s بردار مشاهدات روی s است.

پس از اندازه‌گیری درجه همانندی باید شیوه‌ای برای ادغام اقلیمی که بالاترین همانندی را نشان داده‌اند استفاده کرد. شیوه‌های مختلفی برای ادغام معرفی شده‌اند که از آن جمله‌اند: پیوند تکی، پیوند کامل، پیوند متوسط، پیوند وزنی، پیوند مرکزی، پیوند میانه و پیوند وارد. در پیوند وارد، گروه‌های r و s در صورتی ادغام می‌شوند که افزایش پراش ناشی از ادغام آن‌ها نسبت به ادغام هر یک از آن‌ها با دیگر گروه‌ها، کمینه باشد:

$$d(r, s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)} \quad \text{رابطه ۲- پیوند وارد}$$

در این رابطه، d_{rs}^2 مربع فاصله بین گروه r و گروه s است که به روش پیوند مرکزی به دست آمده باشد. n_r

تعداد اعضای گروه r و n_s تعداد اعضای گروه s است.

1 Euclidean Distance

2 Ward Linkage

3 Hierarchical Clustering

لازم به یادآوری است که در پژوهش حاضر برای تعیین تعداد الگوها (خوشه‌ها) از روش درونسو یا تجربی استفاده شده است. بدین معنی که پژوهشگر بر اساس تخصص یا تجربه و با فرایند آزمون و خطا، تعداد خوشه‌ها را تعیین می‌کند (یارنال^۱، ۱۹۹۳). لذا اگر تعداد خوشه‌ها کمتر از چهار خوشه تعیین می‌شد، روزهای فرین با همدیگر پیوند شده و تفاوت روزهای همراه با بارش نسبتاً سنگین از روزهای بارشی ابرسنگین آشکار نمی‌شد. اگر خوشه‌ها بیش از این تعداد نیز انتخاب گردد، علاوه بر تکرار و شباهت برخی روزها، تجانس درونی خوشه‌ها کم می‌شد و دسته‌بندی روزهای فرین از نظم منطقی برخوردار نبود.

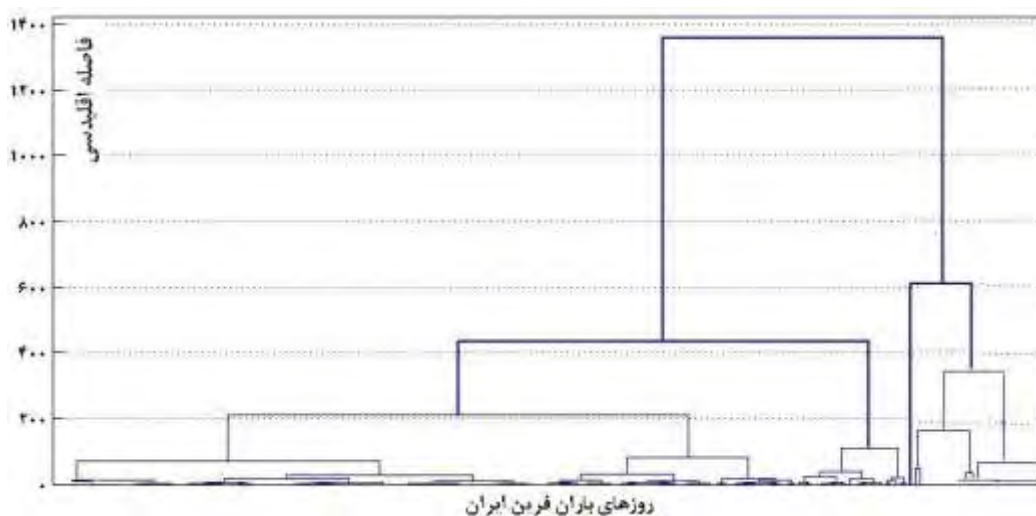
۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل خوشه‌ای روزهای باران فرین در ایران

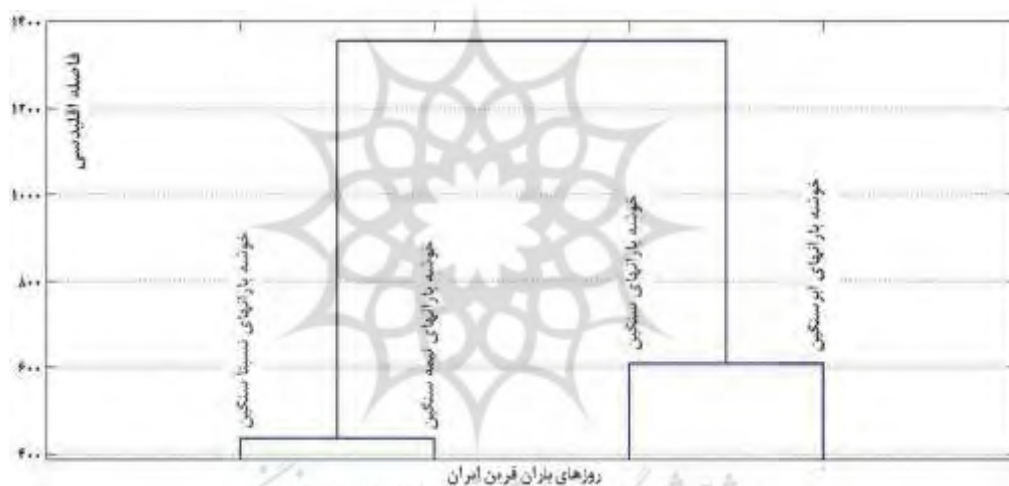
با توجه به روش‌شناسی معرفی شده، درختواره‌نگار یا دارنمای^۲ کلی و چهارگانه روزهای همراه با باران فرین ایران در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که از ماتریس فواصل مشخص می‌شود، خوشه بارش ۳ و ۴ (باران‌های سنگین و ابرسنگین)، کوتاه‌ترین فاصله یا کمترین ناهمانندی (بیشترین همانندی) را با هم داشته و در گام اول این دو خوشه با همدیگر پیوند شده‌اند. در گام بعد، خوشه ۱ و ۲ (باران‌های نسبتاً سنگین و نیمه سنگین) با هم پیوند خورده و در نهایت، به خوشه ۳ و ۴ ملحق می‌شوند. به‌طورکلی، نمودار شاخه‌درختی نشانگر آن است که در اولین مرحله، هر رویداد فرین بارشی، خود خوشه مجزایی بوده و بیشترین همانندی بین گروه‌ها برقرار بوده است و در مراحل بعد، خوشه‌ها کمترین همانندی و بیشترین ناهمانندی را با یکدیگر داشته‌اند و فاصله اقلیدسی بین آن‌ها زیادتر شده است تا جایی که به بالاترین قسمت در نمودار خوشه‌ای رسیده‌اند. در این پژوهش پس از ترسیم نمودارهای شاخه‌درختی روزهای باران فرین ایران، آماره‌های هر خوشه به تفکیک در جدول ۱، نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که خوشه باران نسبتاً سنگین در ایران با ۳۳ درصد فراوانی، ۸۷ درصد ایستگاه‌های موردبررسی را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که ایستگاه بندرانزلی با ۷۶۵ روز باران فرین، به‌تنهایی ۱۱ درصد از کل روزهای باران فرین ایران (۶۹۳۹ روز) را از آن خود کرده است.

1 Yarnal

2 Dendrogram



شکل ۲- دارنمای کلی تعداد روزهای باران فرین ایران



شکل ۳- دارنمای چهارگانه تعداد روزهای باران فرین ایران

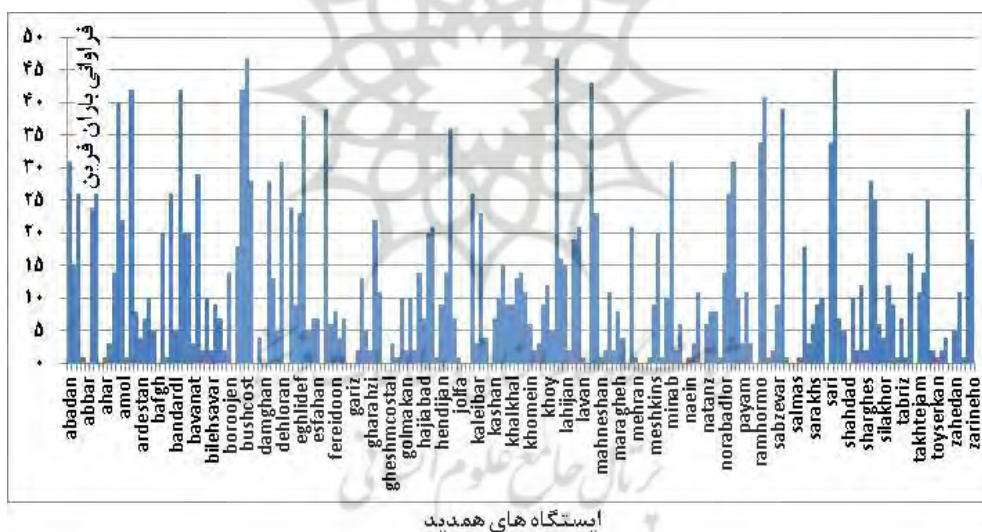
جدول ۱- آماره‌های خوشه‌باران‌های فرین ایران

کمترین فراوانی باران فرین	بیشترین فراوانی باران فرین	درصد ایستگاه-های هم‌دید در هر خوشه	تعداد ایستگاه-های هم‌دید در هر خوشه	درصد فراوانی روزهای باران فرین	فراوانی روزهای باران فرین	آماره‌ها / نام خوشه
زهک با صفر روز	بوشهر با ۴۷ روز	۸۷/۲	۲۰۵	۳۳	۲۲۷۸	خوشه یک (باران‌های نسبتاً سنگین)
اهواز با ۵۴ روز	مریوان با ۱۲۲ روز	۹/۴	۲۲	۲۵	۱۷۵۹	خوشه دو (باران‌های نیمه سنگین)
یاسوج با ۱۵۷ روز	رشت با ۴۸۷ روز	۳	۷	۳۱	۲۱۳۷	خوشه سه (باران‌های سنگین)

کمتین فراوانی باران فرین	بیشترین فراوانی باران فرین	درصد ایستگاه- های همدید در هر خوشه	تعداد ایستگاه- های همدید در هر خوشه	درصد فراوانی روزهای باران فرین	فراوانی روزهای باران فرین	آمارهها / نام خوشه
---	بندرانزلی ۷۶۵ روز	۰/۴	۱	۱۱	۱	خوشه چهار (بارانهای ابرسنگین)
		۱۰۰	۲۳۵	۱۰۰	۶۹۳۹	مجموع

۳-۲- پراکنش مکانی روزهای باران فرین خوشه یک (بارانهای نسبتاً سنگین) در ایران

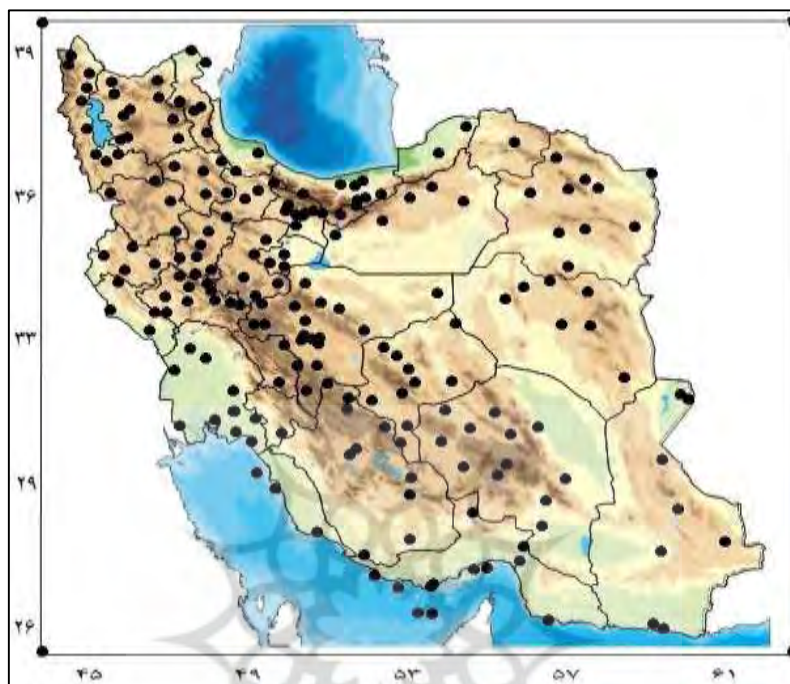
همانگونه که شکل ۴ نشان می‌دهد در خوشه بارشی نخست که شامل بارانهای فرین کمتر از ۴۷ روز است، از مجموع ۲۳۵ ایستگاه همدید موردبررسی، ۲۰۵ ایستگاه یعنی حدود ۸۷ درصد ایستگاهها مشارکت دارند. این خوشه بارش از ایستگاههایی همچون ایستگاه ساحلی بوشهر و کیش با ۴۷ روز فرین شروع شده و تا ایستگاههای زهک و شهداد با هیچ روز فرین به پایان رسیده است. همچنین این خوشه، از مجموع ۶۹۳۹ روز فرین بارشی که برای کل ایران شناسایی شد، ۲۲۷۸ روز یا به عبارتی، ۳۳ درصد روزهای باران فرین ایران را به خود اختصاص داده است.



شکل ۴- فراوانی رخداد بارانهای نسبتاً سنگین ایران

پراکنش مکانی بارانهای نسبتاً سنگین در خوشه یک حاکی از این است که در بخش بزرگی از ایران، اینگونه بارشها رخ می‌دهد ولی رخداد آنها در نیمه غربی و شمالی کشور به دلیل وجود ایستگاههای همدید زیادتر و شرایط جوی مساعدتر، فراوانتر است. البته لازم به ذکر است که در نواحی داخلی و شرقی کشور در صورت فراهم آمدن شرایط خاص جوی به تبع توپوگرافی منطقه، ممکن است این نوع از بارش اتفاق بیفتد. بهر حال خوشه یک،

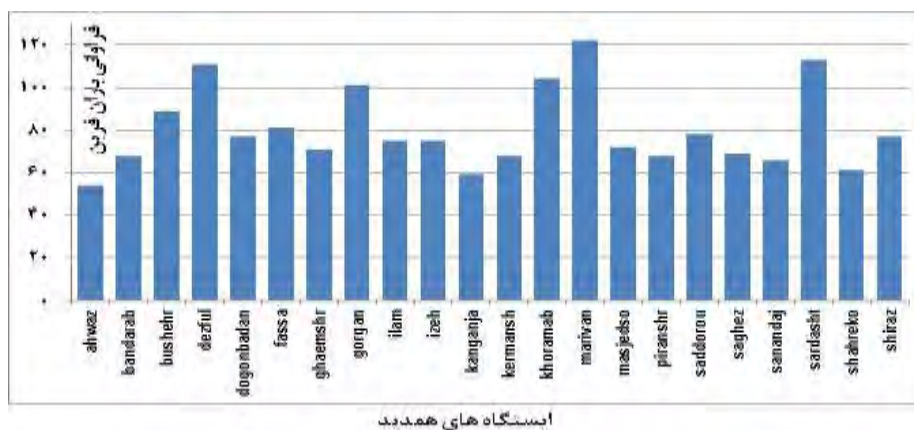
شامل روزهای باران فرینی است که پراکنش سراسری در کشور دارند و در اغلب بخش‌های ایران مشاهده می‌شوند (شکل ۵).



شکل ۵- پراکنش مکانی باران‌های نسبتاً سنگین در ایران

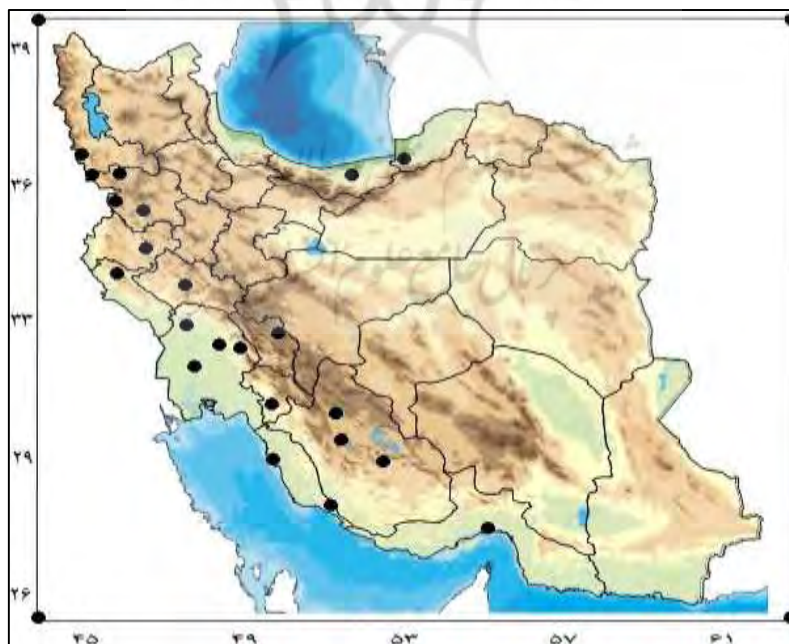
۳-۳- پراکنش مکانی روزهای باران فرین خوشه دو (باران‌های نیمه سنگین) در ایران

این خوشه بارش که شامل باران‌های نیمه سنگین ایران می‌شود، فقط ۹ درصد و یا به عبارتی از مجموع ۲۳۵ ایستگاه همدید، ۲۲ ایستگاه نقش‌آفرینی دارند. بالاترین رخداد فرین این خوشه با ۱۲۲ روز از آن مریوان در استان کردستان و پایین‌ترین فراوانی نیز با ۵۴ روز به ایستگاه اهواز اختصاص دارد. همچنین مجموع فراوانی تعداد روزهای فرین این خوشه، ۱۷۵۹ روز یا معادل ۲۵ درصد از تعداد کل روزهای باران فرین کشور را در برمی‌گیرد (شکل ۶).



شکل ۶- فراوانی رخداد باران‌های نیمه سنگین ایران

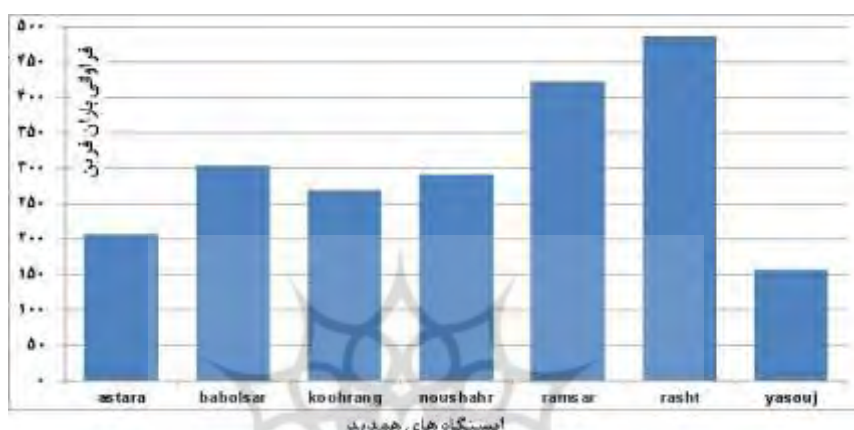
همچنان که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، پراکنش مکانی روزهای همراه با بارش‌های نیمه سنگین در ایران محدود به چند ایستگاه در کرانه‌های شرقی دریای خزر و به‌ویژه نیمه غربی ارتفاعات زاگرس است. چنین به نظر می‌رسد که بارش‌های فرین کرانه‌های شرقی خزر به سبب تغذیه رطوبتی از دریا، به همراه سامانه‌های همرفتی یا مهاجر منطقه رخ می‌دهند ولی در نیمه غربی ایران علاوه بر شرایط توپوگرافی ویژه این مناطق، سامانه‌های غربی که مسیر آن‌ها بر فراز دریای مدیترانه، خلیج فارس و حتی دریای سرخ می‌گذرد، مسبب تأمین رطوبت برای رخداد این گونه بارش‌ها هستند.



شکل ۷- پراکنش مکانی باران‌های نیمه سنگین در ایران

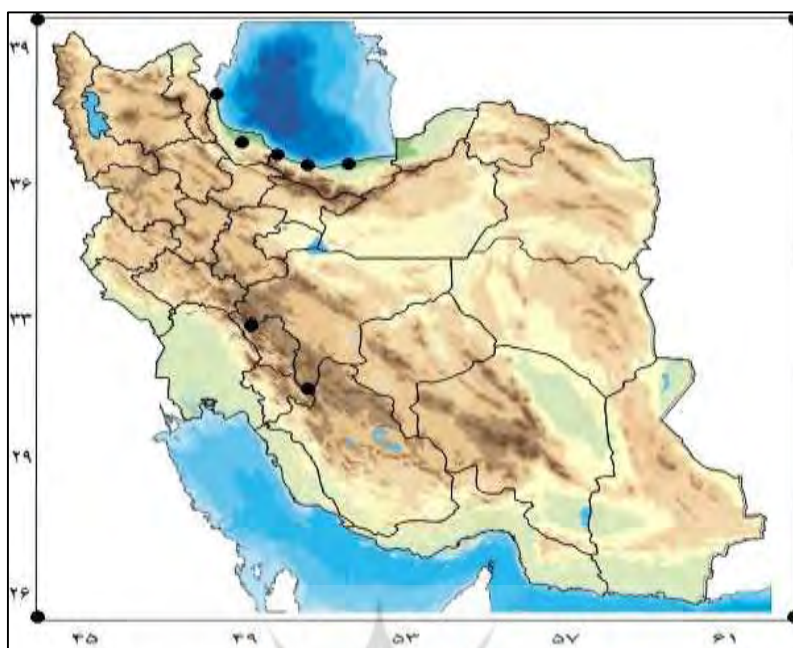
۳-۴- پراکنش مکانی روزهای باران فرین خوشه سه (باران‌های سنگین) در ایران

فراوانی رخداد باران‌های سنگین در ایران حاکی از این است که از مجموع ۲۳۵ ایستگاه همدید مورد بررسی، فقط ۷ ایستگاه یا ۳ درصد از ایستگاه‌های دارای باران‌های سنگین در این گروه قرار می‌گیرند. بالاترین و پایین‌ترین رویداد فرین در این خوشه با ۴۸۷ و ۱۵۷ به ترتیب، به ایستگاه رشت و یاسوج اختصاص دارد. همچنین از مجموع ۶۹۳۹ روز فرین بارانی در کل ایران، ۲۱۳۷ روز یا معادل ۳۱ درصد آن، مربوط به این خوشه است (شکل ۸).



شکل ۸- فراوانی رخداد باران‌های سنگین ایران

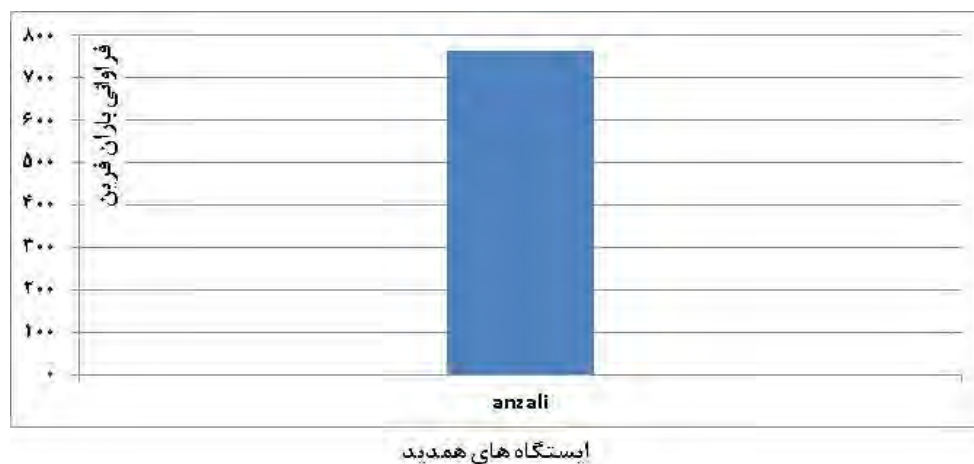
همچنین پراکنش مکانی تعداد روزهای همراه با باران سنگین در ایران نشان می‌دهد که از ۷ ایستگاه این خوشه، ۵ ایستگاه آستارا، بابلسر، نوشهر، رامسر و رشت در کرانه‌های جنوبی دریای خزر و دو ایستگاه کوه‌رنگ و یاسوج در غرب کشور واقع شده است. این شرایط نشان می‌دهد که ایستگاه‌های باران سنگین ایران در دو قلمرو ساحلی دریای خزر و مناطق کوهستانی زاگرس واقع شده‌اند. این قرارگیری به سبب نزدیکی به دریا و ورود سامانه‌های مهاجر باران‌زا از یک سو و حالت بادسوی ارتفاعات غربی و ورود سامانه‌های مدیترانه‌ای از سوی دیگر، منجر به رخداد بارش‌های سنگین در این ایستگاه‌ها می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹- پراکنش مکانی باران‌های سنگین در ایران

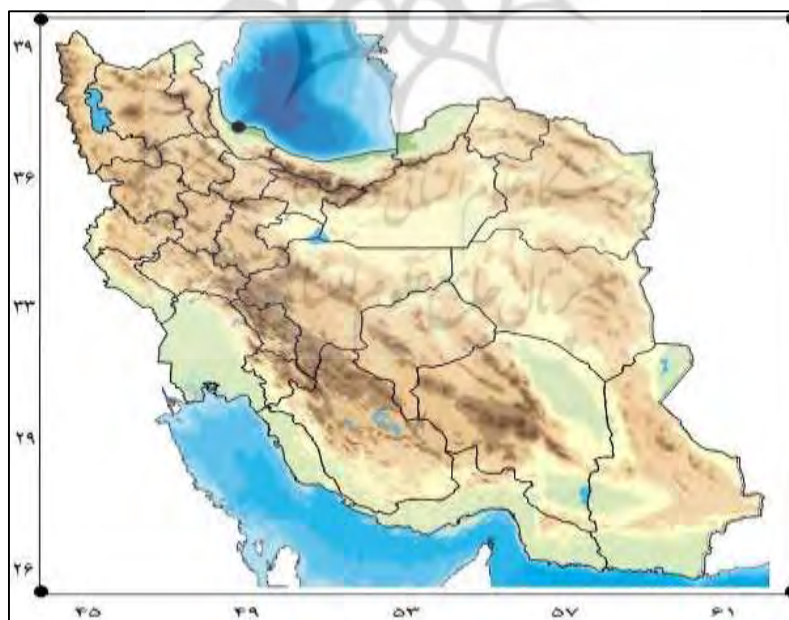
۳-۵- پراکنش مکانی روزهای باران فرین خوشه چهار (باران‌های ابرسنگین) در ایران

همان‌گونه که شکل ۱۰ نشان می‌دهد در این خوشه بارش که شامل باران‌های ابرسنگین کشور است، از ۲۳۵ ایستگاه مورد بررسی در ایران، فقط ایستگاه بندرانزلی با فراوانی ۷۶۵ روز بارشی مشاهده می‌شود که کمتر از یک درصد ایستگاه‌ها را شامل می‌شود. به دیگر سخن، هیچ ایستگاهی در ایران وجود ندارد که بیشتر یا نزدیک به تعداد روزهای باران فرین انزلی (۷۶۵ روز)، بارش فرین داشته باشد. برای اثبات این ادعا می‌توان گفت که رتبه دوم باران فرین ایران مربوط به ایستگاه رشت با ۴۸۷ روز است که در خوشه سوم قرار گرفته و ۲۷۸ روز با بندرانزلی فاصله دارد؛ اما نکته جالب اینجاست که همین یک ایستگاه به‌تنهایی، ۱۱ درصد از کل تعداد روزهای بارش فرین کشور (۶۹۳۹ روز) را به خود اختصاص داده است و این میزان برای یک ایستگاه کشور رقم بسیار بالایی محسوب می‌شود.



شکل ۱۰- فراوانی رخداد باران های ابرسنگین ایران

همچنین نقشه پراکنش مکانی بارش های ابرسنگین ایران (خوشه چهار) نشان می دهد که در کرانه های جنوبی دریای خزر، فقط ایستگاه بندرانزلی دارای بیشترین روزهای باران فرین است و این ایستگاه به تنهایی خوشه مجزایی را به خود اختصاص داده است. به نظر می رسد مجاورت این ایستگاه با دریای خزر، تقویت صعود همرفتی دریا و قرارگیری در مسیر چرخندی سامانه های کم فشار دریای سیاه و پرفشار سیبری، نقش مهمی در افزایش تعداد روزهای فرین این ایستگاه نسبت به دیگر ایستگاه های ایران دارند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- پراکنش مکانی باران های ابرسنگین در ایران

۴- نتیجه گیری

فراسنج باران، از مهم‌ترین سنج‌های آب و هوایی است که رفتاری سرکش، آشوبناک و دارای وردش‌های مکانی- زمانی شدیدتری نسبت به بسیاری از سنج‌های آب و هواشناختی است. نتایج واکاوی خوشه‌ای روزهای باران فرین ایران نیز نشان داد که می‌توان روزهای باران فرین را به چهار خوشه بارش مجزا تفکیک نمود که خوشه اول (روزهای همراه با باران نسبتاً سنگین)، بیشترین فراوانی را با ۸۷ درصد ایستگاه‌ها و ۳۳ درصد از کل روزهای فرین را از آن خود نموده است. این خوشه عموماً شامل روزهای باران فرینی است که پراکنش سراسری در کشور دارند و در اغلب بخش‌های ایران مشاهده می‌شوند. در خوشه دوم که شامل باران‌های نیمه سنگین ایران می‌شود، فقط ۹ درصد از ایستگاه‌ها و ۲۵ درصد از تعداد کل روزهای باران فرین مشارکت دارند که محدود به چند ایستگاه در کرانه‌های شرقی دریای خزر و به‌ویژه نیمه غربی ارتفاعات زاگرس است. فراوانی رخداد باران‌های سنگین (خوشه سوم) در ایران نیز حاکی از این است که در این خوشه، فقط ۷ ایستگاه یا ۳ درصد از ایستگاه‌ها، دارای باران‌های سنگین هستند که ۳۱ درصد روزهای فرین را تبیین می‌کنند و قلمرو این خوشه در کرانه‌های جنوبی دریای خزر و غربی ارتفاعات زاگرس محدود به ایستگاه‌های آستارا، بابسر، نوشهر، رامسر، رشت، کوه‌رنگ و یاسوج است. در نهایت خوشه ۴ که خوشه روزهای همراه با باران‌های ابرسنگین ایران است، از ۲۳۵ ایستگاه موردبررسی در ایران، فقط ایستگاه بندرانزلی با فراوانی ۷۶۵ روز بارشی مشاهده می‌شود که نزدیک به یک درصد ایستگاه‌ها را در برمی‌گیرد؛ اما نکته جالب اینجاست که همین یک ایستگاه به‌تنهایی، ۱۱ درصد از تعداد روزهای بارش فرین کشور را به خود اختصاص داده است و این میزان برای یک ایستگاه کشور، رقم بسیار بالایی است که نیازمند تدوین اصول و برنامه‌های مدون جهت بهره‌برداری بهینه و ذخیره‌سازی حجم بارشی مازادی است که می‌تواند در مواقع کم‌آبی و خشکسالی، نقش منبع تغذیه‌کننده و جبران‌کننده‌ای را برای کشورمان ایفا نماید؛ بنابراین نتایج پژوهش حاضر با افزایش باران فرین در سواحل دریای خزر و جنوب غرب ایران (رحیمی و فاطمی، ۲۰۱۹)؛ افزایش باران فرین کرانه‌های خزری (مسعودیان، ۱۳۸۷؛ حسینی، ۱۳۸۸)؛ افزایش باران فرین در نواحی کوهستانی (سن‌روی، ۲۰۰۹) مطابقت دارد. ضمن اینکه با نتایج پژوهش حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) که معتقد به کاهش نرخ باران سنگین در غرب ایران هستند، همخوانی ندارد زیرا پژوهش حاضر نشان داد که ایستگاه‌های واقع در غرب ایران به سبب موقعیت خاص جغرافیایی در سلسله جبال زاگرس و نفوذ بادهای غربی، دارای روزهای باران فرین زیادی هستند. همچنین کاربست تکنیک واکاوی خوشه‌ای در این پژوهش با روش کار برزو و عزیزی (۱۳۹۳) و لنا و همکاران (۲۰۰۷) همپوشانی زیادی دارد.

قدردانی و تشکر

این پژوهش، بخشی از پروژه تحقیقاتی است که با حمایت مادی و معنوی بنیاد ملی نخبگان کشور و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تدوین شده است. از حمایت‌های بی‌دریغ بنیاد نخبگان و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح بی‌نهایت سپاسگزاریم.

کتابنامه

آزادی، مجید؛ رضازاده، وکیلی؛ ۱۳۸۲. پیش‌بینی عددی سامانه‌های زمستانی روی ایران: مطالعه مقایسه‌ای پارامترسازی‌های فیزیکی. هشتمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، دانشگاه تبریز.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=164881>

آلیسون، گراهام؛ ۲۰۱۰. *مجله سیاست دفاعی*، برگرفته از کتاب *مدیریت بحران و تصمیم‌گیری*. انتشارات دانشگاه تهران.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=144723>

امینی، حامد؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ احمدی، محمد؛ ۱۴۰۰. ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی بارش با استفاده از شاخص‌های تغییرپذیری بارش در ایستگاه‌های بارانسنجی اردبیل. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، شماره ۱، ۲۴۰-۲۲۷.

[10.22034/JEST.2020.32551.4044](https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=10.22034/JEST.2020.32551.4044)

بابائیان، ایمان؛ کریمیان، مریم؛ مدیریان، راحله؛ نوخندان، مجیدحیبی؛ ۱۳۸۶. شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCm3. *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۰، ۷۲-۵۵.

[10.22111/GDIJ.2007.3660](https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=10.22111/GDIJ.2007.3660)

برزو، فرزانه؛ عزیزی، قاسم؛ ۱۳۹۳. پیشنهاد معیاری ساده برای برآورد بارش سنگین در مناطق مختلف ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۳، ۳۶۵-۳۴۷.

[10.22059/JPHGR.2015.55335](https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=10.22059/JPHGR.2015.55335)

جهانبخش‌اصل، سعید؛ ساری‌صراف، بهروز؛ عساکره، حسین؛ شیرمحمدی، سهیلا؛ ۱۳۹۹. واکاوی تغییرات زمانی - مکانی بارش‌های بحرانی (فرین بالا) در غرب ایران طی سال ۲۰۱۶-۱۹۹۵. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، شماره ۱، ۸۹-۱۰۶.

<https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2926-fa.html>

جوانمرد، سهیلا؛ بابائیان، ایمان؛ بذاق جمالی، جواد؛ شهاب‌فر، علیرضا؛ خزانهداری، لیلی؛ ۱۳۸۲. بررسی همبستگی بین تغییرات فشار قزاقستان- دریای عمان با نوسان‌های بارش ایران. *تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۷۱، ۱۴۹-۱۳۴.

<https://ensani.ir/fa/article/97327/>

حجازی‌زاده، زهرا؛ حلبیان، امیرحسین؛ کربلایی‌درئی، علیرضا؛ طولابی‌نژاد، میثم؛ ۱۳۹۹. واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش در گستره ایران زمین. *مخاطرات محیط طبیعی*، شماره ۲۳، ۱۵۰-۱۳۵.

https://jneh.usb.ac.ir/article_5035.html

حسینی، سید محمد؛ ۱۳۸۸. شرایط همدید همراه با بارش در پهنه نیمه پربارش خزری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، استاد راهنما: دکتر سید ابوالفضل مسعودیان، دانشگاه اصفهان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، گروه

<https://www.virascience.com/thesis/509874>

جغرافیای طبیعی.

- حسینی، سید محمد؛ ۱۳۹۳. واکاوی همدید پرفشار دریای سیاه و نقش آن در تغییرات دما و بارش ایران زمین. رساله دکتری اقلیم شناسی، استادان راهنما: دکتر سعید موحدی و دکتر سید ابوالفضل مسعودیان، دانشگاه اصفهان، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، گروه جغرافیای طبیعی. <https://lib.ui.ac.ir/inventory/3/11756.htm>
- داداشی رودباری، عباسعلی؛ کاشکی، عبدالرضا؛ ۱۳۹۸. ارزیابی همدیدی بارش سنگین ۹ فروردین ۱۳۸۶ استان خراسان رضوی. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، شماره ۲۹، ۷۵-۹۰. <http://ensani.ir/fa/article/491794>
- رحیم زاده، فاطمه؛ عسگری، احمد؛ ۱۳۸۵. مطالعه تغییرپذیری بارش دهه های اخیر ایران. *مجله پژوهش های جغرافیایی*، شماره ۶، ۸۰-۶۷. https://journals.ut.ac.ir/article_18090.html
- رضایی بنفشه، مجید؛ جعفری شندی، فاطمه؛ حسینعلی پور، فرشته؛ ۱۳۹۹. واکاوی سینوپتیکی الگوهای فشار مرتبط با بلاکینگ های مؤثر بر رخداد بارش های مداوم و سنگین تبریز. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، شماره ۷۱، ۱۲۳-۱۰۵. [10.22034/GP.2020.10533](https://doi.org/10.22034/GP.2020.10533)
- صادقی، حدیث؛ محمدی، حسین؛ شمسی پور، علی اکبر؛ بازگیر، سعید؛ کریمی احمدآباد، مصطفی؛ صوفی زاده، سعید؛ ۱۳۹۸. دورنمای تغییرات نمایه های بارش سواحل جنوبی دریای خزر در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ برای کاهش مخاطرات. *مدیریت مخاطرات محیطی*، شماره ۴، ۳۹۵-۴۲۱. [10.22059/JHSCI.2020.297979.540](https://doi.org/10.22059/JHSCI.2020.297979.540)
- عزیزی، قاسم؛ روشنی، محمود؛ ۱۳۸۲. مطالعه تغییر اقلیم در کرانه جنوبی دریای خزر به روش من کندال. *مجله پژوهش های جغرافیایی*، شماره ۶۴، ۲۸-۱۳. https://jphgr.ut.ac.ir/article_26903.html
- علیجانی، بهلول؛ خسروی، محمود؛ اسماعیل نژاد، مرتضی؛ ۱۳۸۹. تحلیل همدیدی بارش سنگین ششم ژانویه ۲۰۰۸ در جنوب شرق ایران. *مجله پژوهش های اقلیم شناسی*، شماره ۳ و ۴، ۱۴-۳. <https://library.tebyan.net/fa/53915/>
- علیجانی، بهلول؛ هوشیار، محمد؛ ۱۳۸۷. واکاوی الگوی سینوپتیکی سرماهای شدید شمال غرب ایران. *مجله پژوهش های جغرافیای طبیعی*، شماره ۶۵، ۱۶-۱. [10.22111/JNEH.2017.20401.1268](https://doi.org/10.22111/JNEH.2017.20401.1268)
- محمدی، بختیار؛ ۱۳۹۲. تحلیل روند سالانه آستانه بارش های سنگین ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۱۰۸، ۱۶۳-۱۷۶. <https://georesearch.ir/article-1-513-fa.html>
- محمدی، پروین؛ ملکیان، آرش؛ ۱۳۹۹. سنجش و تحلیل ظرفیت سازگاری جوامع محلی به مخاطرات اقلیمی (روستاهای سفیدبرگ و بیوندسفلی، شهرستان جوانرود). *مدیریت مخاطرات محیطی*، شماره ۱، ۵۴-۳۹. [10.22059/JHSCI.2020.299401.549](https://doi.org/10.22059/JHSCI.2020.299401.549)
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۳. روند بارش در نیم سده اخیر. *فصلنامه جغرافیا و توسعه ناحیه ای*. شماره ۲، ۷۲-۶۳. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=29684>
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۶. واکاوی تیپ های هوای اصفهان، طرح پژوهشی، دانشگاه اصفهان. <https://civilica.com/doc/71501/>
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۷. واکاوی شرایط همدید همراه با بارش های ابرسنگین ایران. *سومین کنفرانس مدیریت منابع ایران*، ۲۳ الی ۲۵ مهرماه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز. <https://elmnet.ir/article/2128293-19427/>

- منتظری، مجید؛ ۱۳۸۸. تحلیل زمانی - مکانی بارش‌های فرین روزانه در ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، شماره ۲، ۱۴۰-۱۲۵.
[20.1001.1.20085362.1388.20.2.7.6](https://doi.org/10.1001.1.20085362.1388.20.2.7.6)
- میریان، مینا؛ کرم‌پور، مصطفی؛ مرادی، محمد؛ قائمی، هوشنگ؛ ۱۳۹۹. شناخت الگوهای دینامیکی و ترمودینامیکی بارش‌های سنگین فراگیر زمستانه ایران در بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۱۰. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۱، ۱۱۱-۹۵.
[10.22059/jphgr.2020.286988.1007428](https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.286988.1007428)
- نصرآبادی، اسماعیل؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۲. واکاوی روند نیم سده بارش شبکه‌ای پایگاه آفرودیت در ایران. *مجله اندیشه جغرافیایی*، شماره ۱۳، ۲۸-۹.
http://geonot.znu.ac.ir/article_20840.html
- Agel L, Barlow M, Colby F, Binder H, Catto J, Hoell A, Cohen J., 2018. Dynamical analysis of extreme precipitation in the US northeast based on large-scale meteorological patterns, *Journal of Climate Dynamics*. 52: 1739-1760. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4223-2>
- Arora VK, Boer GJ., 2001. Effects of Simulated Climate Change on the Hydrology of Major River Basins, *Journal of Geophysics Research*. 106 :3335-3348. [https://DOI:10.1029/2000JD900620](https://doi.org/10.1029/2000JD900620)
- Becker S, Hartmann H, Zhong Q, Wu Y, Tiang T., 2007. Cyclist analysis of Precipitation regimes in the Yangtze River Basin, China. *International Journal Climatology*. 33: 225-238.
<https://doi.org/10.1002/joc.1572>
- Ching-Sen C, Lin Chuan-Yao, Chuang Yin-Jin, Yeh Hsi-Chyi., 2002. A study of afternoon heavy rainfall in Taiwan during the mei-yu season, *Atmospheric Research*. 65: 129-149.
 DOI:10.1016/S0169-8095(02)00061-3
- Church JA, Gregory JM, Huybrechts P, Kuhn M, Lambeck K, Nhuan MT, Qin D, Woodworth PL., 2001. Changes in sea level. In: Houghton, the Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge. 639-693. hdl:10013/epic.15081.d001
- Danneberg J., 2012. Changes in Run off Time Series in Thuringia, Germany Mann-Kendall Trend Test and Extreme Value Analysis, *Advance Geosci*. 31: 49-56. <https://doi.org/10.5194/adgeo-31-49-2012>
- Feidas H, Nouloupoulou Ch, Makrogiannis T, Bora-Senta E., 2007. Trend Analysis of Precipitation Time Series in Greece and their Relationship with Circulation using Surface and Satellite Data: 1955-2001, *Theoretical and Applied Climatology*. 87:155-177. [https://doi.org/ 10.1007/s00704-006-0200-5](https://doi.org/10.1007/s00704-006-0200-5)
- Feng S, Saralees N, Qi Hu., 2007. Modeling Annual Extreme Precipitation in China Using the Generalized Extreme Value Distribution, *Journal the Meteorological Society of Japan*. 5: 599-613. <https://doi.org/10.2151/jmsj.85.599>
- Haylock MR, Peterson TC, Alves LM, Ambrizzi T, Anunciacao YM, Baez J, Barros VR, Berlato MA, Bidegain M, Coronel G, Corradi V, Garacia VJ, Grimm AM, Karoly D, Marengo JA, Marino MB, Moncunill DF, Nechet D, Quintan J, Rebello E, Rusticucci M, Santos JL, Trebejo I, Vincent LA., 2005. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960-2000 and Links with Sea Surface Temperature, *Journal of Climate*. 19: 1490-1512.
<https://doi.org/10.1175/JCLI3695.1>
- Hidalgo C, Brunetti M, Luis M., 2010. Precipitation Trends in Spanish Hydrological Divisions, 1946-2005, *Climate Research*. 43: 215-228. DOI:10.3354/cr00937
- Hidalgo C, Luis M, Raventos J, Sanchez JR. 2003. Daily Rainfall Trend in the Valencia Region of Spain, *Theoretical and Applied Climatology*. 75: 117-130. DOI:10.1007/s00704-002-0718-0

- Hofmann ME, Hinkel J, Wrobel M., 2011. Classifying Knowledge on Climate Change Impacts, Adaptation, and Vulnerability in Europe for Informing Adaptation Research and Decision-Making: A Conceptual Meta-Analysis, *Global Environmental Change*. 21:1106-1116. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.03.011>
- Jessen M, Thomas E, Andre S, Bernd M., 2005. Analysis of heavy rainfall events in North Rhine-Westphalia with radar and rain gauge data, *Atmospheric Research*. 771:337-346. DOI:10.1016/j.atmosres.2004.11.031
- Kai Y, Zhiwei Z, Li M., 2018. A pair of new moisture dynamic diagnostic parameters for heavy rain location, *Meteorology and Atmospheric Physics*. 130: 325-331. <https://doi.org/10.1007/s00703-017-0522-0>
- Kpanou M, Laux P, Brou T, Vissin E, Camberlin P, Rocou P., 2021. Spatial patterns and trends of extreme rainfall over the southern coastal belt of West Africa. *Theoretical and Applied Climatology*. 143: 473-487. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03441-8>
- Kumar A, Dudhia J, Rotunno R, Mohanty UC., 2008. Analysis of the 26 July 2005 heavy rain event over Mumbai, India using the Weather Research and Forecasting (WRF) model, *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 134: 1897-1910. <https://doi.org/10.1002/qj.325>
- Kunkel KE., 2003. North American Trends in Extreme Precipitation, *Natural Hazards*, 29: 291-305. <https://doi.org/10.1023/A:1023694115864>
- Lana AJ, Campins A, Jans A., 2007. Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Islands, *J. Geosciences*. 12: 27-32. DOI:10.5194/adgeo-12-27-2007
- Lee Dong-Kyou, Jeon-gyun PJ., 2008. Heavy rainfall events Lasting 18 days from July 31 to August 17, 1998, over Korea, *J. Meteorological Society of Japan*. 2: 313-333. <https://doi.org/10.2151/jmsj.86.313>
- Mondal A, Kundu S, Mukhopadhyay A., 2012. Rainfall Trend Analysis by Mann-Kendall Test: A Case Study of North-Eastern Part of Cuttack District, Orissa, *International Journal of Geology, Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2: 70-78. <https://www.scirp.org/>
- Pattanaika DR, Rajeevan M., 2010. Variability of Extreme Rainfall Events over India during Southwest Monsoon Season, *Theoretical and Applied Climatology*. 17:88-104. <https://doi.org/10.1002/met.164>
- Radinović D. Čurić M., 2012. Measuring Scales for Daily Temperature Extremes, Precipitation and Wind Velocity, *Meteorological Applications*. 21: 461-465. <https://doi.org/10.1002/met.1356>
- Rahimi M, Fatemi SS., 2019. Mean versus Extreme Precipitation Trends in Iran over the Period of 1960-2017. *Pure and Applied Geophysics*. 3: 1-19. DOI:10.1007/s00024-019-02165-9
- SenRoy, S., 2009. A spatial analysis of extreme hourly precipitation patterns in India". *International Journal Climatol*. 29:45-355. <https://doi.org/10.1002/joc.1763>
- Silver, J., 2008. *Global Warming and Climate Change Demystified*, McGraw Hill Companies. <https://www.amazon.com/>
- Svensson, C., Jakob, D and Reed, D., 2001. Diurnal Characteristics of Heavy Precipitation According to Weather Type at an Upland in Scotland. *International of climatology*. 22, 569-585. <https://doi.org/10.1002/joc.672>
- Wakazuki, Y., 2011. New Distribution Functions for Hourly and Daily Precipitation Intensities during the Snowless Season in Japan, *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 89:29-45. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2011-103>
- William, H., Hand, Neil I., F, Christopher. G. Collier., 2004. A Study of Twentieth-Century Extreme Rainfall Events in the United Kingdom with Implications for Recasting, *Meteorology Apply*. 11: 15-31. [10.1017/S1350482703001117](https://doi.org/10.1017/S1350482703001117)

- Yarnal, B., 1993. Synoptic climatology in environmental analysis, Belhaven Press, London. <https://doi.org/10.1002/joc.3370140116>
- Yu, P. S., Yang, T. C., Wu, C. K., 2002. Impact of Climate Change on Water Resources in Southern Taiwan, Journal of Hydrology. 2:161-175. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00614-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00614-X)

