



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و ششم، زمستان ۱۳۹۹

صص ۱۴۱-۱۲۱

doi: <https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.67028.0>

مقاله پژوهشی

آشکارسازی روند بلندمدت بارش سالانه ایران زمین در ارتباط با تغییر فراوانی فرین های بارش روزانه

حسین عساکره^۱ - استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
سیدابوالفضل مسعودیان - استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
فاطمه ترکارانی - دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳

چکیده

در پژوهش حاضر روند بارش سالانه ایران زمین با توجه به روند تغییرات فراوانی نمایه های فرین بالا و پایین و نیز نمایه های بهنجار بارش، به روش تحلیل پهنه ای در معرض توجه قرار گرفت. برای انجام پژوهش حاضر از نسخه سوم پایگاه داده ای اسفزاری با تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر و برای بازه زمانی ۱۳۴۹/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۴/۱۲/۲۹ (۴۶ سال و معادل ۱۶۸۰۱ روز) استفاده شد. روند بارش سالانه در کشور نشان داد که تغییرات بارش در بخش عمده ای (حدود ۸۰/۹ درصد مساحت) از کشور کاهش یافته است و تنها بخش محدودی از کشور (حدود ۱۹ درصد مساحت) روند افزایشی را تجربه کرده است. روند کاهش بارش باعث کاهش آب حاصل از نزولات جوی در کشور به میزان حدود ۱/۵ میلیارد مترمکعب شده است. اگرچه استنباط های آماری نشان از عملکرد عوامل بزرگ مقیاس در شکل گیری روند کاهش بارش بخش عمده ای از کشور است، اما ۳۳/۵۳ درصد پهنه های توأم با روند کاهش از دیدگاه معنی داری آماری تحت تأثیر عوامل محلی (در شمال شرق و بخش هایی از شرق ایران، پیشکوه های داخلی زاگرس و پهنه ای ممتد از استان کرمان تا استان های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه بویراحمد، از غرب شیراز و شمال بوشهر در امتداد مرز غربی کشور تا شمال سنج، هسته های پراکنده در بخش های جنوبی و شرقی ناحیه شمال غرب و شمال ایران) بوده است. بررسی ها نشان داد که نواحی توأم با روند کاهش معنی دار تحت تأثیر کاهش بارندگی های پرمقدار (عمدتاً صدک ۷۵ و بیشتر) بوده اند. نواحی توأم با روند مثبت و به

لحاظ آماری معنی دار حدود ۲/۹۳ درصد از کشور را دربر می‌گیرند. این نواحی با گسستگی مکانی و به‌صورت هسته‌هایی بعضاً در درون نواحی توأم با روند منفی دیده می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: آشکارسازی روند، ایران، بارش سالانه، روند بارش، فرین‌های بارش.

۱- مقدمه

واکاوی روند را می‌توان در سه مرحله «آشکارسازی»، «تعیین مقدار» و «الگوسازی» روند به انجام رساند. در مرحله آشکارسازی روند، به‌کارگیری منفرد یا توأم روش‌های ترسیمی و تحلیلی از رواج زیادی برخوردارند. آشکارسازی روند عناصر آب‌وهوایی ایران مورد توجه بسیاری از پژوهشگران ایرانی بوده است. در این میان آشکارسازی روند بارش ایران زمین به‌عنوان یک عنصر اقلیمی حساس به تغییر (پذیری) اقلیم، به‌وسیله اقلیم‌شناسان پرشماری واکاوی شده است. مطالعات در این زمینه را می‌توان به دو گروه تقسیم نمود؛ اول مطالعاتی که به روند بارش در نقاط منفرد توجه داشته‌اند (برای مثال مقیمی، ۱۳۷۸؛ عساکره، ۱۳۸۲؛ کاویانی و عساکره، ۱۳۸۴؛ بینش و همکاران، ۱۳۹۶) و دوم مطالعات متکی بر پایگاه داده‌ای یا تحلیل‌های پهنه‌ای که اخیراً رواج زیادی داشته است و آشکارسازی روند بارش را برای یک ناحیه از کشور (برای نمونه میرعباسی نجف‌آبادی و دین‌پژوه، ۱۳۹۱؛ دارند و همکاران، ۱۳۹۳؛ اکبری و نودهی، ۱۳۹۴؛ خوش‌رو و همکاران، ۱۳۹۶)، یا کل کشور (به‌عنوان نمونه غیور و مسعودیان، ۱۳۷۵؛ عساکره، ۱۳۸۶؛ کتیرایی، ۱۳۸۶؛ محمدی، ۱۳۹۰؛ اختصاصی و همکاران، ۱۳۹۴؛ ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۵) مورد آزمون قرار می‌داده‌اند.

آشکارسازی و مطالعه روند از جمله زمینه‌های مطالعاتی است که با افزایش داده‌های جوی تکرار گاه‌وبیگاه آن می‌تواند چشم‌انداز واقعی تری از شرایط اقلیمی آینده به دست دهد. علی‌رغم مطالعات پرشمار در آشکارسازی روند عناصر آب‌وهوایی و به‌ویژه بارش، نکته‌ای از تعریف اصطلاح «روند» می‌بایست با تأکید و تمرکز بیشتر مورد توجه قرار می‌گرفت. طبق تعریف (عساکره، ۱۳۹۶) تغییرات آرام، یکنواخت و درازمدت و نیز حالتی کمابیش پایدار از افزایش، کاهش، افزایش - کاهش توأم (سهمی) و یا ثبات در میانگین مشاهدات سری زمانی را «روند» می‌گویند. لفظ تغییر در «میانگین» و یا «متوسط» بیان‌گر این موضوع است که در واریس روند، توجهی به افت‌وخیزها نمی‌شود؛ بلکه تغییر عمومی میانگین‌ها در کانون توجه است. مسئله اصلی در این واقعیت منعکس می‌شود که در عمل اگرچه تمامی روش‌های تحلیل روند عناصر اقلیمی متأثر از رویدادهای فرین اقلیمی هستند، اما به خاطر طبیعت روش‌های تحلیل روند، این نحوه تأثیر فرین‌های اقلیمی مغفول می‌ماند؛ به‌عنوان یک مثال، گاه در یک سری زمانی اقلیمی ایستا، نظیر بارش سالانه یک ایستگاه فرضی، ممکن است در چند سال انتهایی خشکسالی یا ترسالی دوره‌ای (با دوره بازگشت طولانی‌تر از سری مورد بررسی) در مشاهدات رخ دهد. آنگاه سری زمانی مذکور براساس روش‌های رایج آشکارسازی روند، حاوی روند نشان داده خواهد شد. همچنین ممکن است سری مشاهدات بارش دارای روند

افزایشی (کاهش) باشد و در انتهای سری دوره کوتاه خشک (تر) رخ دهد. در این صورت روش‌های معمول تحلیل تغییرات بلندمدت، روند مشاهدات را آن‌گونه که واقعی است، نشان نمی‌دهند. این نوع از نتایج به‌ویژه در مشاهدات پرشمار و نیز در تحلیل‌های پهنه‌ای می‌تواند منشأ خطای محاسباتی و درنهایت نتایج توأم با خطا شود. در این صورت واکاوی توأم رویدادهای فرین بارشی و روند آن‌ها تصویری روشن‌تر از روند متوسط بارش ارائه خواهد نمود. طبق گزارش ارزیابی پنجم (AR5) «هیئت بین‌الدولی تغییر آب‌وهوا (IPCC)»^۱ (۲۰۱۳)، گرمایش جهانی طی دو سده اخیر تغییر در شدت، مدت و فراوانی رخداد‌های فرین اقلیمی را با الگوی جغرافیایی خاصی به همراه داشته است. رویدادهای فرین اقلیمی به برخی از رفتارهای ناگهانی، شدید و ناپایدار در سری‌های زمانی عناصر آب‌وهوایی گفته می‌شود که به شکلی غیرمترقبه دیده می‌شوند. این‌گونه رفتارها در منابع و مراجع مختلف با واژگانی نظیر «افت‌وخیز»^۲، «ناهنجاری»^۳، «ناپوستگی»^۴، «مشاهدات فرین»^۵، «رویدادهای فرین»^۶ و «رویداد تصادفی»^۷ نیز تعبیر می‌شوند. در واقع این‌گونه حرکت‌ها، الگوهای نسبتاً یکتا و تکرارناشدنی را منعکس می‌کنند. توجه کنید که «فرین» به انحراف مقادیر از یک آستانه ثابت اشاره دارد (عساکره، ۱۳۹۶) و از شرایط جوی است که برخی صفات آب‌وهوا در یک محل را شکل می‌دهد و خود نیز تحت تأثیر آب‌وهوای آن محل است. طبق تعریف «رویداد فرین جوی به حوادث نادر و دور از شرایط بهنجار گفته می‌شود (بارتولینی^۸ و همکاران، ۲۰۰۸) که در دنباله توزیع فراوانی و دور از نقطه تمرکز توزیع (میانگین و میانه) قرار گرفته باشد (عساکره، ۱۳۹۶)». برای بارش، این رویدادها به‌صورت رویدادهایی بسیار بزرگ (بارش‌های شدید، خیلی شدید و...) یا بسیار کوچک (فقدان بارش یا بارش کم‌مقدار و...) جلوه می‌کنند. شمار فعالیت‌های پژوهشی در زمینه تغییر (پذیری) فرین‌های آب‌وهوایی، به‌ویژه تغییر روند فرین‌های دما، بارش یا هر دو، از دهه آخر قرن بیستم تاکنون رو به فزونی نهاده است. در این راستا دانشمندان شاخه‌های مختلف دانش بشری نظیر آب‌وهواشناسان، هواشناسان، آب‌شناسان، بوم‌شناسان، دانشمندان علوم کشاورزی، زمین‌ریخت‌شناسان و ... ایرانی (تقوی و محمدی، ۱۳۸۶؛ عسکری و همکاران، ۱۳۸۶؛ منتظری، ۱۳۸۸؛ محمدی و مسعودیان، ۱۳۸۹؛ عساکره و همکاران، ۱۳۹۱؛ مسعودیان و دارند، ۱۳۹۲؛ دارند و همکاران، ۱۳۹۳؛ عساکره و حسینجانی، ۱۳۹۸؛ جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۹) به این پدیده‌ها توجه داشته‌اند.

در پژوهش حاضر تلاش می‌شود که با استفاده از نسخه سوم پایگاه داده‌ای اسفزاری، ضمن ارائه روند عمومی بارش سالانه ایران زمین طی دوره ۱۳۹۴-۱۳۴۹ جایگاه رویدادهای فرین در شکل‌گیری این روند بررسی شود.

1 Intergovernmental Panel on Climate Change

2 Fluctuation

3 Anomaly

4 Discontinuity

5 Extreme Values

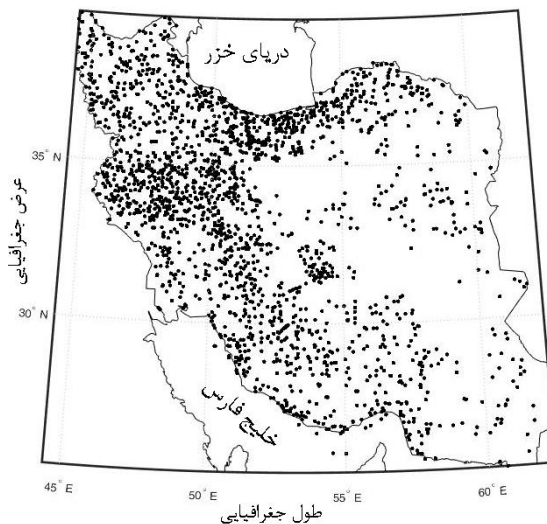
6 Extreme Events

7 Random Events

8 Bartolini

۲- داده‌ها و روش‌ها

برای انجام پژوهش حاضر از نسخه سوم پایگاه داده‌ای اسفزاری که حاصل میان‌یابی داده‌های بارش روزانه ۲۱۸۸ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی سازمان هواشناسی (شکل ۱) است، استفاده شده است. این پایگاه داده با تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر و برای بازه زمانی ۱۳۴۹/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۴/۱۲/۲۹ (۴۶ سال و معادل ۱۶۸۰۱ روز) به وسیله مسعودیان (۱۳۹۸) تهیه شده است. با توجه به مختصات جغرافیایی ایران که بین مدار ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی قرار گرفته است، براساس بیضوی مرجع (WGS84) و تفکیک مکانی ده کیلومتر، شبکه جغرافیایی پایگاه داده به ابعاد ۱۶۷×۲۰۵ به دست آمد. تعداد کل یاخته‌های درون این شبکه که درون مرزهای خاک اصلی ایران جا می‌گیرد، ۱۶۲۰۳ تا است. از سوی دیگر با توجه به زمان آغاز و پایان پایگاه داده که مشتمل بر ۱۶۸۰۱ روز است، ابعاد نهایی پایگاه داده ۱۶۷×۲۰۵×۱۶۸۰۱ است.



شکل ۱- توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در پایگاه داده‌ای بارش اسفزاری نسخه سوم (مسعودیان، ۱۳۹۸)

براساس پایگاه داده یاد شده ابتدا میانگین سالانه بارش برای کل دوره (۱۳۹۴-۱۳۴۹) محاسبه شد تا تصویری عمومی از توزیع مکانی بارش سالانه برای این دوره حاصل شود. سپس مجموع بارش سالانه برای هر سال و هریک از یاخته‌های نقشه تهیه شد. روند بارش سالانه و نیز میزان خطای حاصل از رد کردن فرض صفر (فقدان روند در مشاهدات) برای این یاخته‌ها محاسبه شد. این مقدار در ادبیات آماری به آماره P (P -Value) موسوم است (عساکره، ۱۳۹۰). بدین ترتیب نواحی توأم با روند معنی‌دار حاصل آمد. به منظور واری این واقعیت که روند حاکم بر بارش سالانه با عوامل مکانی - توپوگرافیک و یا با رویدادهای کلان اقلیمی در ارتباط است، از شگرد ضریب همبستگی استفاده شد. در این راستا چند مرحله محاسباتی بکار گرفته شد؛ ابتدا ضریب همبستگی روند بارش برای

کل کشور با موقعیت جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) - عوامل توپوگرافیک (ارتفاع، شیب و جهت شیب) و نیز میزان بارش سالانه برآورد گردید. سپس ضریب همبستگی نواحی از کشور که روند معنی دار داشته‌اند، با موقعیت جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک و نیز میزان بارش محاسبه شد. در هریک از این مراحل ضریب همبستگی برای کل نواحی (صرف نظر از روند مثبت یا منفی (افزایشی یا کاهش))، یکبار برای نواحی توأم با روند مثبت و یکبار برای نواحی توأم با روند منفی که روند آن‌ها معنی دار بود، به‌طور جداگانه برآورد شد. علاوه براین، در هر بار محاسبه، ضریب همبستگی معمولی و ضریب همبستگی جزئی (عساکره، ۱۳۹۰) برآورد گردید. در مرحله بعد، تلاش شد نقش تغییرات بارش‌های فرین و نیز بارش‌های بهنجار در تکوین روند بارش کشور بررسی شود. از مسائل اولیه و اساسی در مطالعه فرین‌های آب‌وهوایی ارائه یک تعریف معقول و مقبول از پدیده مورد بررسی است (عساکره، ۱۳۹۶). در این میان از نمایه‌های پرکاربرد، باعنوان نمایه‌های چندکی استفاده شد. این نمایه‌ها به‌وسیله کمیته مشترک آب‌وهواشناسی سازمان جهانی هواشناسی (CCL)^۱ برنامه پژوهش در آب‌وهوای جهان (WCRR)^۲ مربوط به طرح قابلیت پیش‌بینی و تغییرپذیری آب‌وهوا (CLIVAR)^۳ متشکل از گروه متخصصان پیش‌بینی، پایش و نمایه‌های تغییر آب‌وهوا (ETCCDMI)^۴ به‌منظور مطالعه و تعیین نمایه‌های فرین آب‌وهوایی که در سال ۱۹۹۸ شکل گرفت، اخذ شده است.^۵ این تشکیلات نمایه‌های فرین تغییر آب‌وهوا را برای دما و بارش روزانه، در مقیاس‌های جهانی و ناحیه‌ای، استخراج و معرفی کرد. نتایج بررسی اجرا شده به‌وسیله این کارگروه در گزارش‌های هیئت بین‌الدولی تغییر آب‌وهوا (۲۰۰۷ و ۲۰۰۱) ارائه شده است. در پژوهش حاضر برای بررسی روزهای توأم با فرین‌های بارشی و بارش‌های بهنجار و بررسی نقش بارش‌های فرین بالا و پایین و نیز بارش‌های بهنجار بر تغییرات بلندمدت بارش از نمایه‌های ارائه شده به‌وسیله این مرجع استفاده شد؛ بنابراین متوسط شمار روزها و نیز روند تغییرات سالانه سه‌گروه بارشی زیر محاسبه، به شکل ترسیمی ارائه و به لحاظ کمی بررسی شد:

- ۱- شمار روزهای توأم با بارش‌های کم‌مقدار (شامل روزهای بدون بارش، روزهای با بارش برابر یا کم‌تر از صدک دهم و روزهای توأم با بارش برابر یا کم‌تر از صدک بیست و پنجم)
- ۲- شمار روزهای توأم با بارش‌های پر‌مقدار (شامل روزهای با بارش برابر یا بیش‌تر از صدک هفتاد و پنجم و صدک نودم)
- ۳- شمار روزهای توأم با بارش‌های بهنجار (شامل روزهای با بارش بین صدک بیست و پنجم و صدک هفتاد و پنجم و نیز روزهای توأم با بارش)

1 The Joint World Meteorological organization commission for climatology

2 World Climate Research Program

3 Climate Variability and Predictability

4 Expert Team on Climatic Change Detection, Monitoring and Indices

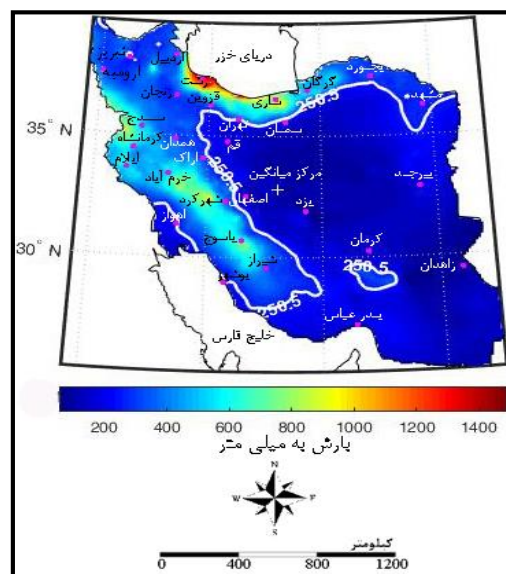
5 شناخت دقیق‌تر تشکیلات و اطلاعات تکمیلی مربوط را می‌توان از نشانی زیر دریافت نمود <https://www.wcrp-climate.org/etccdi>

دو ویژگی؛ شامل میانگین بلندمدت رخداد بارش‌های کم‌مقدار، پرمقدار و بهنجار و نیز روند بلندمدت آن‌ها، محاسبه و به شکل ترسیمی ارائه و به لحاظ کمی بررسی شد. فرین‌های بارشی به لحاظ تأثیر آن‌ها بر روند عمومی بارش به‌وسیله تعداد معدودی از پژوهشگران موردتوجه بوده است. در این میان برای مثال اکبری و نودهی (۱۳۹۴) ارتباط مؤثر بارش‌های فرین در روند تابستانه بارش استان گلستان را مورد اشاره قرار داده‌اند. از این رو کمبود مطالعه این زمینه پژوهشی ضرورت این بخش از بررسی‌ها را توجیه می‌کند.

۳- یافته‌ها

۳-۱- ویژگی‌های عمومی بارش

شکل ۲ توزیع مکانی متوسط بارش سالانه ایران را نشان می‌دهد. میانگین بارش سالانه ایران به‌وسیله خط هم‌ارزش ۲۵۰/۵ میلی‌متر در شکل ۲ مشخص شده است.



شکل ۲- توزیع مکانی مجموع سالانه بارش ایران طی دوره ۱۳۹۴-۱۳۴۹

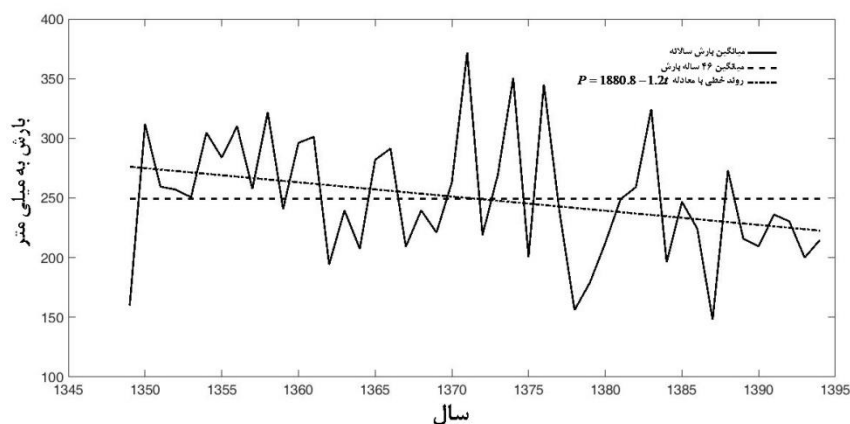
تهیه و ترسیم: نگارندگان

در ایران زمین روند عمومی کاهش میزان بارندگی از غرب به شرق و شمال به جنوب است؛ زیرا در این مسیر از انرژی و باران‌زایی چرخندهای مدیترانه‌ای (به‌عنوان عمده‌ترین منبع تأمین بارش ایران) به دلیل کاهش تضاد گرمایی و تحلیل و تضعیف جبهه‌های آن‌ها از غرب به شرق رو به نقصان می‌گذارد. همچنین اثر بادپناهی زاگرس - البرز نیز

در این روند مکانی نقش چشم‌گیری دارد. از آنجاکه توان چرخندهای باران‌زای یاد شده در ارتباط با ارتفاع تغییر می‌یابد، اصولاً تغییرات مکانی بارش با ناهمواری‌های اصلی ایران زمین هماهنگی نسبی خوبی نشان می‌دهد (کاوایانی، ۱۳۷۲). بدین دلیل شیو بارش به موازات ارتفاعات در غرب و به‌ویژه بخش وسیعی در شمال کشور به‌خوبی مشخص است (شکل ۲). عموماً و براساس مرکز میانگین و نیز هم‌بارش میانگین بارش کشور، ارائه شده در شکل ۱، می‌توان دریافت که مجموع بارش حدود $63/2$ درصد از مساحت کشور (نواحی توأم با بارش کم‌تر از میانگین با متوسط بارش $150/5$ میلی‌متر است). با مجموع بارش $36/8$ درصد از مساحت کشور (نواحی توأم با بارش بیشتر از میانگین با متوسط بارش 422 میلی‌متر است). برابر است. اگر طبق تعریف غیور و مسعودیان (۱۳۷۵) بیش از 800 میلی‌متر بارش را ملاک بخش پربارش بدانیم، تنها $1/22\%$ از مساحت کشور پربارش است. میانگین بارش این پهنه از کشور $990/1$ میلی‌متر (کرانه‌های خزر و بلندترین ارتفاعات زاگرس، از مریوان تا یاسوج) است.

۲-۳- تغییرات بلندمدت (روند) مجموع بارش سالانه

میانگین پهنه‌ای بارش برای دوره ۱۳۹۴-۱۳۴۹ محاسبه شد. نمودار سری زمانی میانگین مذکور، میانگین بلندمدت پهنه‌ای ($250/5$ میلی‌متر) و نیز خط حاصل از برازش معادله خط روند در شکل ۳ ارائه شده است:



شکل ۳- برخی ویژگی‌های سری زمانی میانگین پهنه‌ای بارش کشور برای دوره ۱۳۹۴-۱۳۴۹

تهیه و ترسیم: نگارندگان

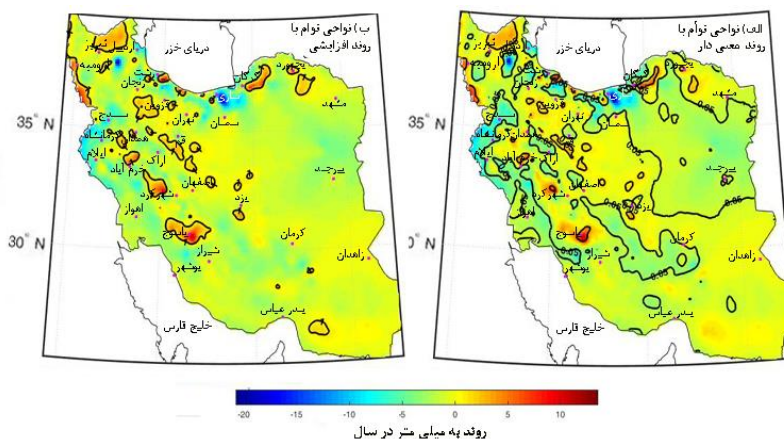
چند نکته مهم از این نمودار قابل استنباط است:

- ۱- میانگین بارش سالانه کشور حاوی سه فاز عمده بوده است. فاز نخست از سال ۱۳۴۹ تا سال ۱۳۶۱ (به‌جز برای سال ۱۳۴۹ با $159/9$ میلی‌متر) یک دوره پربارش است. میانگین بارش این دوره $273/5$ میلی‌متر (حدود 23 میلی‌متر بیش از میانگین 46 ساله) است. فاز دوم از ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۸ حاکم بوده است. در این فاز بارش

سالانه حول خط میانگین نوسان داشته است. این فاز به لحاظ میزان پراش، به دو قسمت تقسیم می‌شود؛ قسمت اول از سال ۱۳۳۲ تا ۱۳۷۰ با غلبه مقادیر کم‌تر از میانگین کل (با میانگین ۲۳۸/۶) و با پراش ۱۱۷۳ مشخص می‌شود. قسمت دوم از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۸ عمدتاً با نوسانات بزرگ‌تر در بالای میانگین (به ترتیب با میانگین و پراش ۲۶۹/۱ و ۶۲۵۵/۳) مشخص می‌شود. فاز سوم (۱۳۹۴-۱۳۷۹) دوره کاهش بارندگی است. در این دوره میانگین بارش ۲۲۶/۲ میلی‌متر بوده است.

۲- روند بارش سالانه با معادله خط روند $P = 1880.8 - 1.2t$ (در اینجا t زمان و P بارش است)، کاهش میانگین بارش سالانه کشور (حدود ۱/۲ میلی‌متر در سال) را طی دوره آماری نشان می‌دهد. این معادله خط، در هر سطح دلخواه معنی‌دار است. برای شناسایی نواحی که در این روند کاهشی نقش داشته‌اند، روندهای تغییرات بارش سالانه کشور برای دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۴۹ محاسبه شد. برای ارائه نواحی توأم با روند بلندمدت بارش، شکل ۴-الف ارائه شده است. در این شکل میزان تغییر سالانه بارش (میلی‌متر در سال) با پس‌زمینه رنگی و نواحی که در سطح ۹۵ درصد اطمینان (۵ درصد خطا) به لحاظ آماری معنی‌دار بوده‌اند با خط هم‌چند ۰/۰۵ مشخص و احاطه شده است. نواحی که تغییرات سالانه بارش به لحاظ آماری معنی‌دار نیست، خارج از پهنه معنی‌داری ۰/۰۵ قرار گرفته‌اند. می‌توان دید که مجموع بارش سالانه با شدت و ضعف و نیز با علامت‌های متفاوتی (عمدتاً منفی) در سطح کشور تغییر یافته است.

برای تشخیص نواحی توأم با تغییرات معنی‌دار بارش طی دوره مورد مطالعه، نقشه حاصل از محاسبات برای تغییرات مثبت (روند افزایشی بارش) در شکل ۴-ب ارائه شده است. نواحی مزبور به وسیله میزان هم‌تغییر حداقل ۱ میلی‌متر در سال و پربندهای مربوط مشخص شده است.



شکل ۴- توزیع مکانی روند تغییرات بارش سالانه ایران (میلی‌متر در سال) برای دوره ۱۳۹۴-۱۳۴۹ و نواحی

توأم با تغییرات معنی‌دار و فاقد معنی آماری

تهیه و ترسیم: نگارندگان

می توان دید که روند تغییرات در بخش عمده‌ای (حدود ۸۰/۹ درصد) از مساحت کشور کاهش یافته است و تنها بخش محدودی از مساحت کشور (حدود ۱۹ درصد) روند افزایشی را تجربه کرده است. شایان توجه است که تنها حدود ۳۳/۵۸ درصد پهنه‌های توأم با روند کاهش به لحاظ آماری و در سطح اعتماد ۹۵ درصد و بالاتر معنی‌دار بوده است. نواحی توأم با روند مثبت و به لحاظ آماری معنی‌دار، حدود ۲/۹۳ درصد از کشور را دربر می‌گیرند. این نواحی با گسستگی مکانی و به صورت هسته‌هایی بعضاً در درون نواحی توأم با روند منفی دیده می‌شوند.

توزیع جغرافیایی نواحی توأم با روند منفی در چهار ناحیه زیر قابل ردیابی است:

ناحیه اول: این ناحیه گسترده‌ترین ناحیه و در شمال شرق و بخش‌هایی از شرق ایران قرار دارد و تا کوه‌های البرز مرکزی - شرقی امتداد دارد. به طوری که ایستگاه‌های بیرجند تا ساری در آن قرار گرفته است.

ناحیه دوم: این ناحیه شامل پیشکوه‌های داخلی زاگرس و پهنه‌ای ممتد از استان کرمان تا استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه بویراحمد است. همچنین پهنه‌هایی محدود و به شکل گسسته از شمال اصفهان تا همدان نیز در این ناحیه قرار دارد.

ناحیه سوم: ناحیه سوم از غرب شیراز و شمال بوشهر آغاز می‌شود و در بین مرز غربی و پیشکوه‌های خارجی زاگرس تا شمال سنج امتداد می‌یابد. این ناحیه در بخش جنوبی، در خوزستان، عریض‌تر و به سمت شمال - غرب کم‌وسعت‌تر، اما با روند کاهش شدیدتر دیده می‌شود.

ناحیه چهارم: شامل هسته‌های پراکنده در بخش‌های جنوبی و شرقی ناحیه شمال غرب ایران و محدوده کوچکی از سواحل شمالی (مجاور با ایستگاه‌های ارومیه، زنجان، تبریز، قزوین، رشت) است.

عموماً نیمه جنوبی ایران از جمله نواحی توأم با روند کاهش بارش است. این کاهش بعضاً به لحاظ آماری معنی‌دار و در بسیاری موارد فاقد معنی آماری هستند. از آنجاکه سامانه‌های تأمین کننده رطوبت و تأثیرگذار بر بارش این ناحیه از پهنه‌های آبی نزدیک (خلیج فارس و دریای عمان) و دور (اقیانوس هند، خلیج بنگال، دریای سرخ و مدیترانه) تغذیه می‌شوند (علیجانی، ۱۳۹۵؛ رسولی و همکاران، ۱۳۹۰)، الگوهای بارشی این ناحیه از کشور متأثر از تعامل عوامل و فرایندهای محلی و عناصر گردشی جو، با نقش آفرینی متفاوت هستند. به نظر می‌رسد الگوهای پربارش مناطق جنوبی در حال عقب‌نشینی است. در شمال شرق ایران نیز تغییر سازوکار پرفشار سیبری (ساحسمان‌اغلو^۱، ۱۹۹۱) به عنوان عامل فعال در تولید بارش‌های جبهه‌ای (علیجانی، ۱۳۹۵)، در کاهش بارندگی مؤثر بوده است. در طی سال‌های اخیر جابه‌جایی سامانه‌های باران‌زای مدیترانه‌ای به سمت عرض‌های شمالی‌تر (آلپرت^۲، ۱۹۹۰؛ آلپرت، ۲۰۰۴؛ آناگنوس‌توپولا^۳، ۲۰۰۶) از عوامل مؤثر در تکوین روند کاهش بارش در حاشیه غربی -

1 Sahsamanoğlu

2 Alpert

3 Anagnostopoulou

جنوب غربی کشور بوده است. هسته‌های پراکنده ناحیه چهارم نیز عمدتاً نواحی توأم با بارش‌های همرفتی است. احتمالاً تغییر در سازوکار این بارش‌ها (عساکره^۱، ۲۰۱۷؛ عساکره، ۲۰۲۰) کاهش بارندگی را به دنبال داشته است. طبق شکل ۴ - ب توزیع جغرافیایی هسته‌های توأم با روند مثبت بارش در امتداد سه ناحیه به شرح زیر قابل ردیابی هستند:

ناحیه شمالی: بخشی از این ناحیه از بخش میانی تا شرقی شمال ناحیه آذربایجان ایران را دربر می‌گیرد. در شرق رشت، لاهیجان، گرگان، بجنورد و جنوب بجنورد می‌توان هسته‌های پراکنده شمالی را نیز دید.

ناحیه پیشکوه‌های داخلی زاگرس: این ناحیه از غرب قزوین تا اطراف یزد به شکل هسته‌هایی که گستره آن‌ها کوچک‌تر می‌شود، با روند مجموع سالانه بارش افزایشی مشاهده می‌شوند.

ناحیه مرتفع غربی: این ناحیه شامل هسته‌هایی بر زاگرس مرتفع و نیز بخش غربی مرز ایران - ترکیه از ارومیه تا شمال سنندج است.

سازوکارهای متنوع باران‌زایی و منابع متنوع رطوبتی برای هریک از این سه ناحیه از دلایلی احتمالی روند افزایشی بارش در این سه بخش است. احتمالاً افزایش فراوانی عبور یا تشکیل سامانه‌های همدید در این بخش از کشور طی سال‌های اخیر (آلپرت، ۱۹۹۰؛ آلپرت، ۲۰۰۴؛ آناگنوس توپولا، ۲۰۰۶) روند افزایشی نقاط مختلف این بخش را توجیه می‌کند. مطالعات احمدی و داداشی (۱۳۹۵: ۴۷۷) نیز نشان داد که قرارگیری در مسیر چرخندهای مدیترانه‌ای و نیز ارتفاع نسبتاً قابل توجه، از عوامل عمده افزایش بارندگی در بخش‌های مرتفع نیمه غربی کشور است. تغییرات بارش در نیمه غربی کشور تحت تأثیر تغییرات فشار جو در منطقه شرق مدیترانه در ترازهای بالایی جو (۳۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) قرار دارد. همچنین آرایش ارتفاعات و دوری و نزدیکی به دریا در توزیع بارش این نواحی از کشور نقش مهمی دارد. کم فشارهای سودانی از عوامل مهم باران‌زا در کوه‌های زاگرس هستند که تحت تأثیر اثر بادپناهی در دامنه‌های مختلف زاگرس متفاوت عمل می‌کنند. متفاوت بودن روند بارش در دامنه‌های مختلف زاگرس را می‌توان به سازوکار فوق نسبت داد. همچنین تغییر سازوکارهای بارش‌زای ایران طی دهه‌های اخیر از عوامل مؤثر بر روند مثبت بارش در بخش‌هایی از کشور است. مطالعات انجام شده توسط لشکری و همکاران (۱۳۹۵) بر روی سامانه پرفشار عربستان گویای تغییرات مکانی این سامانه در دهه‌های اخیر است. روند ورود سامانه‌هایی با منشأ سودانی به منطقه جنوب غرب ایران از گذشته تا به امروز روبه افزایش است. افزایش چند درصدی فعالیت سامانه سودانی نشانی از تغییر مثبت بارش در بخش‌هایی (غالباً مرتفع) از جنوب غرب ایران است. علاوه بر این کیانی و همکاران (۱۳۹۸) براساس سه مطالعه موردی نشان دادند که عوامل گرمایی حاصل از سامانه‌های سودانی موجبات کاهش ارتفاع جو، شکل‌گیری تاوایی مثبت و حرکات صعودی می‌شود. در ترازهای میانی جو شرایط ترمودینامیکی

1 Asakereh

مناسب برای باران‌زایی مهیا می‌شود. این ویژگی‌ها افزایش بارش به‌ویژه در ناحیه مرتفع و پرشیب زاگرس را به همراه دارد. به‌جز نواحی یاد شده در بالا که با روند مثبت و منفی معنی‌دار توأم بوده است، بقیه نواحی کشور طی دوره آماری مورد بررسی با ایستایی نسبی و یا روند فاقد معنی آماری در مجموع بارش سالانه مواجه بوده‌اند.

۳-۳- نقش موقعیت جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک بر روند میانگین بارش سالانه

تباین نواحی به لحاظ نوع روند حاکم بر مشاهدات (افزایشی، کاهش‌ی و ایستا)، در مطالعات پیشین نیز مشاهده شده‌اند. برای مثال عسگری و همکاران (۱۳۸۵) با بررسی وردش‌پذیری ویژگی‌های بارش ایران دریافتند که هر دو نوع روند، کاهش‌ی و افزایش‌ی، در مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های همدید کشور رخ داده است. ایشان براین باورند که سری‌های زمانی بارش در کشور رفتار یکسانی نداشته‌اند. عساکره (۱۳۸۶: ۱۵۶-۱۵۸) نیز دریافت که حدود ۵۱/۴ درصد از مساحت کشور در معرض تغییرات بلندمدت منفی بارش بوده است. این تغییرات عمدتاً در نواحی کوهستانی و نیز نیمه‌غربی کشور رخ نمود بیشتری داشته است. براساس یافته‌های عساکره (۱۳۸۶: ۱۵۶) عموماً نواحی پر بارش‌تر متحمل تغییر بیشتری نیز بوده‌اند.

مشاهده هر دو روند کاهش‌ی و افزایش‌ی در بارش سالانه ایران‌زمین علاوه بر این‌که بیان‌گر پیچیدگی عنصر بارش است، نشان‌دهنده تأثیر متقابل و قابل ملاحظه سامانه‌های باران‌زا در مقیاس‌های همدید و نیز تأثیر فرم‌ها و فرایندها در مقیاس محلی بر تغییرات سازوکار سامانه‌های باران‌زا می‌باشد. البته تباین نواحی به لحاظ نوع روند حاکم بر مشاهدات (افزایش‌ی، کاهش‌ی و ایستا)، در ارتباط با بیرونی یا درونی بودن منشأ روند (نقش عوامل محلی و یا عوامل بزرگ‌مقیاس)، مورد بحث فراوان است. بدین ترتیب و به‌منظور واری این واقعیت که روند حاکم بر بارش سالانه با عوامل مکانی - توپوگرافیک و یا با رویدادهای کلان اقلیمی در ارتباط است، از شگرد ضریب همبستگی استفاده شد. نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

می‌توان دید که رابطه میزان روند بارش کل کشور با متغیرهای مکانی - توپوگرافیک (صرف‌نظر از معنی‌داری و نیز مثبت یا منفی بودن و نیز چه به‌صورت معمولی و جزئی) بسیار کم است. با تفکیک روند مثبت و منفی نقش طول جغرافیایی (به‌ویژه در همبستگی معمولی) نمایان‌تر می‌شود؛ به‌طوری‌که از این همبستگی و نیز از نقشه ارائه شده در شکل ۴ می‌توان استنباط کرد به سمت شرق روند مثبت کاسته شده و بر روند منفی افزوده می‌شود. در این شرایط نقش عرض جغرافیایی نیز تا حدودی افزایش می‌یابد. باین‌وجود به نظر می‌رسد که عموماً متغیرهای مکانی اثرات ناچیزی بر روند بلندمدت مجموع بارش سالانه داشته‌اند. از میان متغیرهای توپوگرافیک تنها ارتفاع نقش ناچیزی بر روندهای مثبت داشته است. این امر بر این واقعیت دلالت دارد که علی‌رغم اثرات ناچیز موقعیت جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک، عموماً روند تغییرات بارش مستقل از عوامل محلی شکل گرفته است و اثرات ناحیه‌ای که حاصل تأثیر عوامل موقعیت جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک است، تنها نوع (مثبت یا منفی) و نیز شدت (میزان تغییر در سال)

روند مجموع سالانه بارش را (به شکل جزئی) متأثر می‌سازد. رابطه روند مجموع بارش سالانه و میزان بارش سالانه نیز تأییدی بر این واقعیت است. این رابطه نسبت به روابط یاد شده در بالا، رابطه‌ای قوی‌تر است؛ بنابراین به نظر می‌رسد که عوامل کنترل‌کننده بارش در تغییرات بلندمدت آن نقش بیشتری از عوامل محلی داشته‌اند. این امر در یک برآورد تقریبی و نسبی موجب شده است برای نواحی پربارش، روند افزایشی بارندگی و برای نواحی کم‌بارش، روند کاهش بارندگی را به دنبال داشته است. این واقعیت را می‌توان از علائم همبستگی (مثبت و منفی) و نیز از شکل ۴ استنباط نمود.

جدول ۱- رابطه (معمولی و جزئی) روند عمومی بارش با عوامل مکانی - توپوگرافیک در ایران برای دوره

۱۳۴۹-۱۳۹۴

نوع روند	محدوده توأم با روند ...	نوع همبستگی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	شیب	جهت شیب	مقدار بارش
روند عمومی	مثبت و منفی	معمولی	۰/۱۰۴۱	۰/۰۰۱۲	۰/۰۷۲۸	-۰/۰۲۴۱	-۰/۰۵۸۲	-۰/۲۸۱۳
		جزئی	-۰/۰۲۹۸	-۰/۰۷۷۴	۰/۱۰۹۴	۰/۰۳۴۲	-۰/۰۶۰۳	-۰/۱۴۶۷
	مثبت	معمولی	-۰/۳۵۳۹	۰/۲۶۱۷	۰/۲۳۶۸	۰/۲۴۸۲	۰/۰۲۴۴	۰/۶۰۲۲
		جزئی	۰/۰۲۶۴	۰/۰۴۵۶	۰/۰۸۷۱	-۰/۰۱۸۶	۰/۰۰۰۷	۰/۴۹۹۳
	منفی	معمولی	۰/۳۱۰۸	-۰/۲۸۲۸	-۰/۰۶۵۳	-۰/۰۵۴۹	-۰/۰۶۹۴	-۰/۴۹۵۸
		جزئی	-۰/۰۲۵۴	-۰/۱۴۴۰	۰/۰۴۹۶	۰/۰۳۰۳	-۰/۰۵۳۵	-۰/۳۹۰۹
روند معنی‌دار	مثبت و منفی	معمولی	۰/۱۰۴۱	۰/۰۰۱۲	۰/۰۷۲۸	-۰/۰۲۴۱	-۰/۰۵۸۲	-۰/۲۸۱۳
		جزئی	-۰/۰۸۰۴	۰/۰۹۸۱	۰/۰۹۳۸	۰/۰۳۳۰	-۰/۰۳۹۸	-۰/۲۹۵۱
	مثبت	معمولی	-۰/۰۶۵۲	-۰/۲۲۱۷	۰/۰۷۴۴	۰/۱۹۳۳	-۰/۰۲۸۶	۰/۸۰۳۲
		جزئی	۰/۰۲۰۱	-۰/۲۰۲۹	۰/۲۱۳۹	-۰/۰۳۴۲	۰/۱۰۴۰	۰/۸۱۳۹
	منفی	معمولی	۰/۴۲۱۵	-۰/۲۲۹۳	-۰/۰۴۹۶	-۰/۱۳۹۷	۰/۰۵۲۱	-۰/۸۳۷۹
		جزئی	-۰/۰۶۰۸	۰/۰۰۷۳	-۰/۰۰۲۹	۰/۰۱۵۰	-۰/۰۲۱۱	-۰/۶۴۴۸

مآخذ: نگارندگان

محاسبات بالا برای نواحی توأم با روند معنی‌دار نیز در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج این محاسبات می‌توان اتقان و استحکام یافته‌ها را با اطمینان بیشتری دریافت. همان‌گونه که دیده می‌شود، عوامل محلی رابطه ضعیفی را با روند تغییرات معنی‌دار بارش در کشور نشان می‌دهند، درحالی‌که میزان بارش رابطه قوی‌تری را ارائه می‌دهد؛ بنابراین می‌توان استنباط کرد که تغییرات بلندمدت (روند) مجموع سالانه بارش در نواحی مختلف کشور حاصل رویدادهایی فراتر از عوامل محلی مستقر در کشور است و نقش موقعیت جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک در ایجاد تباین‌های ناحیه‌ای روند نمایان‌تر است.

۳-۴- تغییر حجم آب ورودی به سامانه آب‌شناختی کشور

در جدول ۲، برآورد تقریبی از میزان تغییر (کاهش و افزایش) بارش، گستره نواحی توأم با تغییر و در نتیجه تغییر آب ورودی به منابع آب کشور ارائه شده است.

جدول ۲- برآورد تقریبی از میزان تغییر بارش، گستره نواحی توأم با تغییر و تغییر حجم آب ورودی به کشور در

ارتباط با تغییر بارش

روند افزایشی					روند کاهشی				
افزایش سالانه حجم آب معادل بارش (مترمکعب)	پهنه زیر پوشش (درصد)	پهنه زیر پوشش (کیلومتر مربع)	تغییر براساس رگرسیون خطی (میلی متر در سال)	میزان روند (میلی م تر در سال)	کاهش سالانه حجم آب معادل بارش (مترمکعب)	پهنه زیر پوشش (درصد)	پهنه زیر پوشش (کیلومتر مربع)	تغییر براساس رگرسیون خطی (میلی متر در سال)	میزان روند (میلی متر در سال)
$5/8495 \times 10^5$	۰/۰۳۷	۶۱۰	۰/۹۶	۰-۱	$2/0656 \times 10^7$	۱/۴	۲۳۰۹۱	۰/۹	۰ تا -۱
$2/6381 \times 10^7$	۰/۹۸۱	۱۶۱۷۴	۱/۶۳	۱-۲	$2/8772 \times 10^8$	۱۱/۴	۱۸۷۶۷۶	۱/۵	-۱ تا -۲
$5/6181 \times 10^7$	۱/۲۴۷	۲۰۵۴۸	۲/۸۳	۲-۴	$7/1339 \times 10^8$	۱۵/۴	۲۵۳۲۸۷	۲/۸	-۲ تا -۴
$2/9973 \times 10^7$	۰/۳۷۶	۶۲۰۵	۴/۸۳	۴-۶	$2/6425 \times 10^8$	۳/۳	۵۵۰۳۱	۴/۸	-۴ تا -۶
$2/2087 \times 10^7$	۰/۱۹۷	۳۲۵۵	۶/۷۸	۶-۸	$1/2383 \times 10^8$	۱/۱	۱۸۱۰۶	۶/۸	-۶ تا -۸
$9/1968 \times 10^6$	۰/۰۶۲	۱۰۱۷	۹/۰۴	۸-۱۰	$7/4919 \times 10^7$	۰/۵	۸۴۴۳	۸/۹	-۸ تا -۱۰
$3/2661 \times 10^6$	۰/۰۱۸	۳۰۵	۱۰/۷	۱۰-۱۲	$2/3955 \times 10^7$	۰/۱	۲۱۳۶	۱۰/۷	-۱۰ تا -۱۲
$2/6218 \times 10^7$	۰/۰۱۲	۲۰۳	۱۲/۸۹	۱۲-۱۴	$1/0723 \times 10^7$	۰/۰۵	۸۱۳	۱۳/۲	-۱۲ تا -۱۴
-	-	-	-	-	$7/5552 \times 10^6$	۰/۰۳	۵۰۸	۱۴/۸	-۱۴ تا -۱۶
-	-	-	-	-	$1/3720 \times 10^7$	۰/۰۵	۸۱۳	۱۶/۹	-۱۶ تا -۱۸
-	-	-	-	-	$3/7735 \times 10^6$	۰/۰۱	۲۰۳	۱۸/۵	-۱۸ تا -۲۰
-	-	-	-	-	$4/2245 \times 10^6$	۰/۰۱	۲۰۳	۲۰/۸	-۲۰ تا -۲۲
$1/5029 \times 10^8$	۲/۹۳	۴۸۳۱۷	-	-	$1/5477 \times 10^9$	۳۳/۵۳	۵۵۰۳۱۰	-	مجموع

مأخذ: نگارندگان

می‌توان دید که روند کاهشی با مقدار ۴-۱ میلی‌متر در سال، گستره وسیعی (حدود ۲۶/۸ درصد) از کشور را دربر می‌گیرد. به‌طور کلی روند کاهشی بارش باعث کاهش آب حاصل از نزولات جوی به میزان حدود ۱/۵ میلیارد مترمکعب شده است. اگرچه نواحی توأم با روند افزایشی موجبات فراهم نمودن حدود ۱۵۰/۲۹ میلیون مترمکعب آب شده‌اند، اما تفاضل این دو مقدار (حدود ۱/۴ میلیارد مترمکعب)، برتری کاهش حجم آب رسیده به کشور را

نشان می‌دهد. عساکره و ترکارانی (۱۳۹۹) رویه برآورد و جدولی مشابه برای دوره آماری ۱۳۸۹-۱۳۴۰ و بر پایه پایگاه داده‌ای اسفزاری نسخه ۲ (با تفکیک مکانی ۱۵ کیلومتر) ارائه کرده‌اند. برآوردهای ایشان براساس تفکیک زمانی و مکانی متفاوت و نیز براساس محاسبات ناپارامتری روند حاصل شده است. ایشان کاهش سهم آب کشور از نزولات جوئی را براساس متوسط ۲ میلی متر کاهش سالانه بارش، حدود $10^9 \times 3/29639$ مترمکعب برآورد کردند.

۳-۵- ویژگی‌های عمومی و روند فرین‌های بارش ایران

متوسط شمار روزها و نیز روند تغییرات سالانه نمایه‌های فرین بالا، نمایه‌های فرین پایین و بارش‌های بهنجار در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ و نیز برخی ویژگی‌های مرتبط در جدول ۳ عرضه شده است.

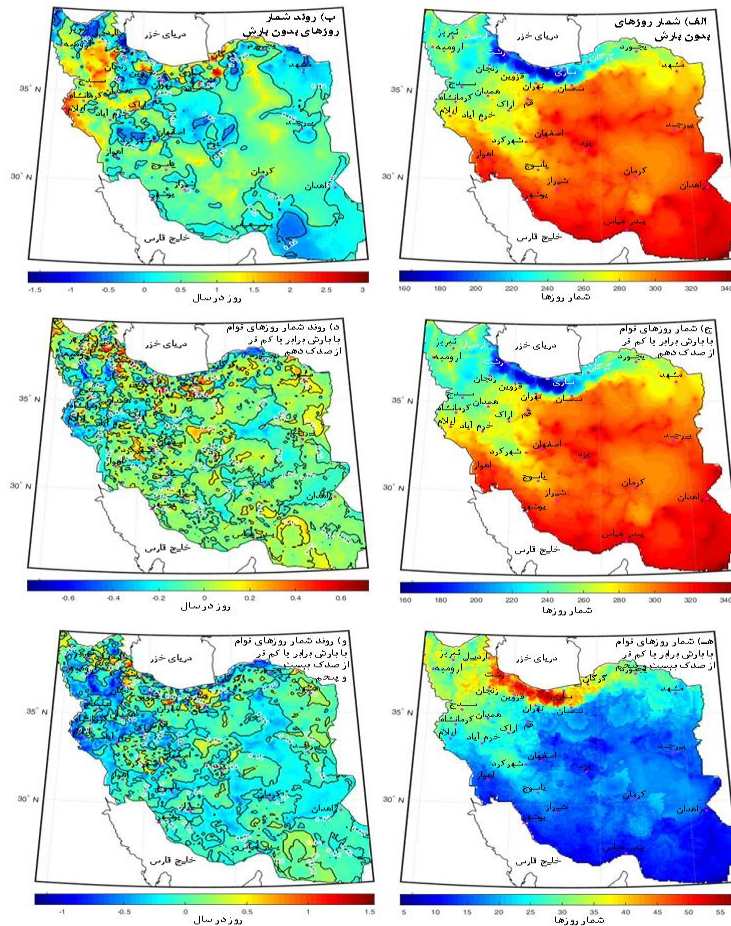
جدول ۳- گروه‌های بارشی فرین، گستره توأم با روند معنی‌دار آن‌ها و رابطه آن‌ها با میزان بارش سالانه ایران

برای دوره ۱۳۹۴-۱۳۴۹

ضریب همبستگی با میزان بارش	پهنه توأم با روند افزایشی (%)	پهنه توأم با روند کاهشی (%)	گروه‌های بارشی	
-۰/۷۳	۵۹/۷۲	۴/۳۸	روزهای بدون بارش	کم‌مقدار
۰/۵۶	۱۰/۸۲	۳۱/۶۵	روزهای توأم با بارش برابر یا کم‌تر از صدک ۱۰	
۰/۶۸	۱۰/۴۹	۳۹/۸۹	روزهای توأم با بارش برابر یا کم‌تر از صدک ۲۵	پرمقدار
۰/۷۲	۲/۴۹	۳۷/۱۵	روزهای توأم با بارش برابر یا بیش‌تر از صدک ۷۵	
۰/۷۲	۵	۲۱/۴۵	روزهای توأم با بارش برابر یا بیش‌تر از صدک ۹۰	بهنجار
۰/۷۵	۵/۴۶	۵۴/۰۱	روزهای توأم با بارش بین صدک ۲۵ و ۷۵	
۰/۷۳	۴/۳۱	۵۹/۷۶	روزهای توأم با بارش	

مآخذ: نگارندگان

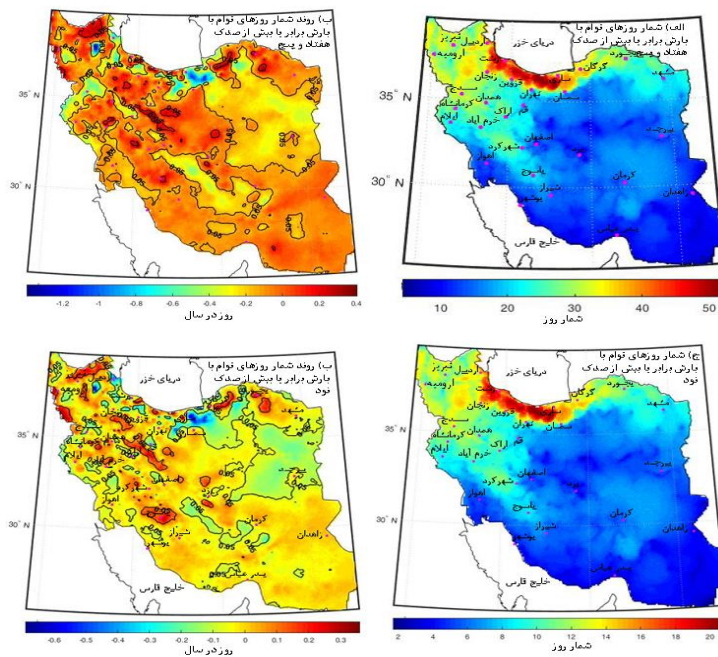
میزان گستره تحت تأثیر هریک از گروه‌های بالا با روند معنی‌دار (کاهشی یا افزایشی) در جدول ۳ (ستون ۳ و ۴) ارائه شده است. همچنین ضریب همبستگی هر یک از گروه‌های بالا با میزان بارش در گستره مربوط نیز در ستون ۵ جدول ۳ عرضه گردیده است.



شکل ۵- شمار روزها و روند تغییرات گروه بارش کم مقدار ایران زمین برای دوره ۱۳۹۴-۱۳۴۹

تهیه و ترسیم: نگارندگان

می توان از ضریب همبستگی ($-0/73$) بین میزان بارش (شکل ۲) با میانگین روزهای کم بارش (شکل ۵-الف) و نیز از روی شکل ۵-الف دید که روزهای بدون بارش رابطه معکوس با میزان بارش دارد. در واقع نواحی توأم با بارش بیشتر، روزهای بدون بارش کمتری دارند. این امر ضمن بیان رابطه موردنظر، توزیع زمانی بارش در نواحی مختلف را نیز بیان می دارد. ضریب همبستگی بین میزان بارش و تمامی نمایه های دیگر مثبت است؛ بنابراین عموماً در نواحی توأم با بارش زیاد روزهای توأم با تمامی نمایه ها (به جز نمایه روزهای بدون بارش) با شدت و ضعف (ضریب همبستگی بین $0/56$ و $0/75$) افزایش می یابد. می توان در شکل های ۵ تا ۷ دید که روند تغییرات روزهای توأم با بارش های صدک دهم و کم تر و صدک بیست و پنجم و کم تر بسیار آشفته و احتمالاً تحت تأثیر شرایط جغرافیایی محلی است. از این رو رابطه ای عینی بین روند آشفته این نوع بارش ها و روند نسبتاً منظم بارش سالانه وجود ندارد.



شکل ۶- شمار روزها و روند تغییرات گروه بارش پرمقدار ایران زمین برای دوره ۱۳۴۹-۱۳۹۴

تهیه و ترسیم: نگارندگان

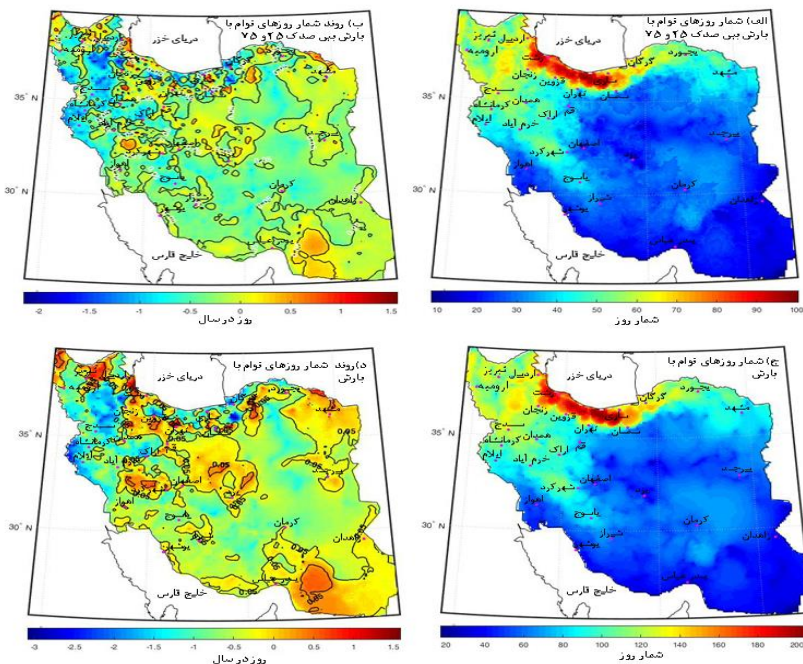
مشخصات نواحی چهارگانه توأم با روند کاهشی و نیز نواحی سه گانه توأم با روند افزایشی در ارتباط با روند نمایه‌های فرین یاد شده، در زیر می‌آید:

ناحیه اول: در ناحیه کاهشی اول (شمال شرق)، روزهای بدون بارش در برخی نواحی تا ۵ روز در دهه کاسته شده است، اما روزهای توأم با بارش‌های بهنجار تا ۵ روز در دهه افزایش داشته است. همچنین در این ناحیه بارش‌های پرمقدار صدک ۷۵ از ۲ تا ۴ روز کاهش نشان می‌دهد و بارش‌های توأم با صدک ۹۰ و بیشتر از ۱ تا ۲ روز در دهه و در برخی نواحی مجاور با رشته کوه البرز تا ۶ روز در دهه کاسته شده است؛ بنابراین به نظر می‌رسد روند کاهشی بارش در این ناحیه حاصل کاهش بارش‌های پرمقدار و افزایش بارش‌های معمول و بهنجار بوده است.

ناحیه دوم: در این ناحیه (پیشکوه‌های داخلی زاگرس) کاهش معنی‌دار بارش‌های فرین تنها در روزهای توأم با بارش‌های برابر و یا بیشتر از صدک ۷۵ و ۹۵ (به ترتیب ۴-۲ و ۳-۱ روز در دهه) رخ داده است. بقیه نمایه‌ها تغییرات منظم و معنی‌داری نشان نمی‌دهند؛ بنابراین مشابه ناحیه نخست، روند کاهشی بارش این ناحیه در ارتباط با کاهش روزهای توأم با بارش پرمقدار است.

ناحیه سوم: در این ناحیه (از غرب شیراز و شمال بوشهر تا پیشکوه‌های خارجی زاگرس در شمال سسندج) روزهای توأم با بارش صدک دهم و کمتر (۴-۲ روز در دهه) و صدک بیست و پنجم و کمتر (تا ۱۰ روز در دهه)

کاهش داشته‌اند. در این ناحیه روند عمومی روزهای توأم با بارش برابر یا بیشتر از صدک ۹۰ به شکل پراکنده به لحاظ آماری معنی‌دار است، اما بارش روزهای توأم با بارش برابر صدک ۷۵ و بیشتر ۲-۵ روز در دهه کاسته شده است. روند تغییر بقیه نمایه‌ها، در سطح ۵ درصد خطا، فاقد معنی آماری بوده است؛ بنابراین تغییرات روند بارش سالانه در این ناحیه حاصل تغییر روزهای توأم با صدک ۷۵ و بیشتر و صدک‌های کم‌مقدار بارش است.



شکل ۷- شمار روزها و روند تغییرات گروه بارش بهنجار ایران زمین برای دوره ۱۳۹۴-۱۳۴۹ تهیه و ترسیم: نگارندگان

ناحیه چهارم: این ناحیه (بخش‌های جنوبی و شرقی ناحیه شمال‌غرب ایران و محدوده کوچکی از سواحل شمالی) به دلیل پراکندگی جغرافیایی از تنوع رفتاری بارش برخوردار است. در این ناحیه روزهای بدون بارش تا ۱ روز در دهه کم شده‌اند. روزهای توأم با صدک ۲۵ و کمتر نیز از ۳ تا ۵ روز در دهه کاسته شده‌اند. در این میان روزهای توأم با بارش‌های بهنجار تا ۵ روز در دهه افزایش داشته‌اند. همچنین روزهای بارانی از ۵ تا ۱۵ روز در دهه افزایش داشته‌اند. اما به نظر می‌رسد که تمامی این صفات نتوانستند برای بارش این ناحیه، روند افزایشی به همراه داشته باشند؛ زیرا روزهای توأم با بارش برابر با صدک ۷۵ و بیشتر از آن تا ۱۲ روز در دهه کاسته شده است. سه ناحیه توأم با افزایش بارندگی کشور که به صورت هسته‌های توأم با روند مثبت در شکل ۴-ب نشان داده شده‌اند، به لحاظ فرین‌های مورد بررسی در این نوشتار حاوی ویژگی‌های زیر هستند:

ناحیه شمالی: در این ناحیه روزهای توأم با بارش‌های بهنجار، روزهای توأم با بارش برابر با یابیش از صدک ۷۵ و نیز روزهای توأم با بارش برابر با یابیش از صدک ۹۰ به ترتیب تا ۵ روز، تا ۴ روز و تا ۳ روز افزایش نشان داده‌اند. روزهای بدون بارش نیز کاسته و روزهای توأم با بارش تا ۱۵ روز در دهه افزایش داشته‌اند؛ بنابراین، تقریباً تمامی نمایه‌ها در هسته‌های بارشی این ناحیه افزایشی بوده‌اند.

ناحیه پیشکوه‌های داخلی زاگرس: در این ناحیه اگرچه روزهای بدون بارش و نیز روزهای توأم با بارش بهنجار فاقد تغییر معنی‌دار بوده‌اند، اما روزهای توأم با بارش به‌ویژه بارش بیش از صدک ۷۵ (تا ۴ روز در دهه) و صدک ۹۰ (تا ۳ روز در دهه) افزایش داشته‌اند.

ناحیه مرتفع غربی: در این ناحیه روند عمومی روزهای بدون بارش و نیز صدک‌های کم‌مقدار، علی‌رغم آشفتگی، کاهش یافته است. در مقابل روزهای توأم با بارش (تا ۱۰ روز در دهه)، روزهای توأم با بارش برابر با یابیش از صدک ۷۵ و ۹۵ (به ترتیب تا ۴ و ۳ روز در دهه) افزایش داشته‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

توزیع زمانی و مکانی بارش در ایران متأثر از واردایی زمانی - مکانی عوامل محلی و نیز سامانه‌های گردش جوی در مقیاس‌های مختلف دیگر، به‌ویژه مقیاس‌های همدید - سیاره‌ای است که کم‌ترین تغییر در الگوهای توأم با آن‌ها می‌تواند ناهنجاری‌های شدید آب‌وهوایی را به دنبال داشته باشد. همچنین تغییر (پذیری) الگوهای مذکور از پیامدهای مهم تغییر اقلیم سیاره‌ای و نیز عاملی مهم در واردایی و پراکنش زمانی - مکانی عناصر اقلیمی، به‌ویژه بارش، دانسته می‌شود. در پژوهش حاضر آشکارسازی روند بلندمدت بارش ایران، نقش عوامل محلی - گردش در این روند و نیز نقش رویدادهای فرین در تکوین روند در سری‌های زمانی بارش ایران‌زمین در معرض توجه بود. برای رسیدن به این هدف نسخه سوم پایگاه داده‌ای اسفزاری که حاصل میان‌بایی داده‌های بارش روزانه ۲۱۸۸ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی سازمان هواشناسی برای ۴۶ سال و با تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر است، استفاده شد.

یافته‌های پژوهش نشان داد که حاکمیت روند کاهش مجموع سالانه بارش (حداقل ۱ میلی‌متر در سال و عمدتاً ۱-۴ میلی‌متر در سال) غالب‌ترین چهره روند بارشی ایران‌زمین (حدود ۸۰/۹ درصد پهنه کشور که از این میان حدود ۳۳/۵۸ درصد پهنه‌های توأم با روند کاهش معنی‌دار) است. این روند با کاهش حدود ۱/۴ میلیارد مترمکعب آب ورودی به منظومه آب‌شناختی کشور همراه بوده است.

نواحی مختلف، روند سالانه بارشی متفاوتی عرضه می‌کنند. روند کاهش با مقدار ۱-۴ میلی‌متر در سال، گستره وسیع‌تری نسبت به مقادیر دیگر روند ارائه می‌کنند. ویژگی‌های جغرافیایی ایران، به‌ویژه ارتفاع، اثر بادپناهی، طول و عرض جغرافیایی موجب تنوع مکانی رخنمود این روند در کشور شده‌اند. علاوه بر این، روند کاهش در عمده نواحی

توأم با روند کاهشی معنی دار، حاصل کاهش بارش های پرمقدار است؛ درحالی که بارش های کم مقدار و نیز بارش های بهنجار عمدتاً تغییرات معنی داری را تجربه نکرده اند.

با عنایت به آنچه که گفته شد، و با توجه به شرایط موجود، به نظر می رسد سرزمین ما در آینده با شدت بیشتری با شرایط ناهنجار بارشی و احتمالاً کم آبی، خشکی و تشدید آن مواجه خواهد بود. شایسته است سیاست گذاران و حاکمان عرصه آب کشور در خصوص مقابله با این شرایط، سازگاری (در فعالیت های آب ببری نظیر کشاورزی، صنعت و ...) و یا انتخاب منابع آبی جایگزین، اعمال مدیریت نموده و شگردهای برنامه ریزی شایسته ای اتخاذ کنند.

کتابنامه

- احمدی، محمود؛ داداشی، عباسعلی؛ ۱۳۹۵. ارزیابی آهنگ رفتار زمانی مکانی بارش در دو دهه اخیر در ایران. *پژوهش های جغرافیای طبیعی*. شماره ۹۷. صص ۶۷۵-۴۸۴.
- اکبری، مهری؛ نودهی، وحیده؛ ۱۳۹۴. بررسی و تحلیل روند بارش سالانه و تابستانه استان گلستان. *آمایش جغرافیایی فضا*. شماره ۱۷. صص ۱۵۰-۱۴۱.
- بینش، نگین؛ نیک سخن، محمدحسین؛ سارنگ، امین؛ ۱۳۹۶. آشکارسازی روند تغییرات دما و بارش سالانه و فصلی تهران طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۸۴. *نیوار*. شماره ۴. صص ۴۶-۳۶.
- تقوی، فرحناز و محمدی، حسین؛ ۱۳۸۶. بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی. *محیط شناسی*. شماره ۴۳. صص ۲۰-۱۱.
- جهانبخش اصل، سعید؛ ساری صراف، بهروز؛ عساکره، حسین؛ شیرمحمدی، سهیلا؛ ۱۳۹۹. شناسایی رخدادهای بارش فرین در غرب ایران (۲۰۱۶-۱۹۶۵). *جغرافیا و برنامه ریزی*. انتشار یافته به صورت الکترونیکی.
- خوش روش، مجتبی؛ میرناصری، محمد؛ پسرکلو، مهسا؛ ۱۳۹۶. آشکارسازی روند تغییرات بارش شمال کشور با استفاده از آزمون غیرپارامتری من- کندال. *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*. شماره ۱۶. صص ۲۳۰-۲۲۳.
- دارند، محمد؛ دولتپاری، زهرا؛ اصلانی اسلمرز، فریبا؛ عزیزی، یسری؛ ۱۳۹۳. بررسی رفتار فرین های بارش و دمای کرمانشاه به کمک آزمون های آماری. *فضای جغرافیایی*. شماره ۴۶. صص ۲۳۳-۲۱۳.
- رسولی، علی اکبر؛ بابائیان، ایمان؛ قائمی، هوشنگ؛ زواررضا، پیمان؛ ۱۳۹۰. ارتباط بین بارش های فصلی ایران و دمای پهنه های آبی منطقه ای. *پژوهش های اقلیم شناسی*. شماره ۵۸. صص ۶۷-۸۰.
- عساکره، حسین؛ ۱۳۸۶. تغییرات زمانی و مکانی بارش ایران طی دهه های اخیر. *جغرافیا و توسعه*. شماره ۱۰. صص ۱۶۴-۱۴۵.
- ؛ ۱۳۸۲. بررسی آماری روند بارش سالانه تبریز. *فضای جغرافیایی*. شماره ۱۰. صص ۷۲-۵۷.
- ؛ ۱۳۹۰. *مبانی پژوهش در آب و هواشناسی*. انتشارات دانشگاه زنجان.

- عساکره، حسین؛ ترکارانی، فاطمه؛ ۱۳۹۹. برخی مشخصات توصیفی و روند تغییرات بلندمدت فصل خشک در ایران. جغرافیا و توسعه. شماره ۵۸. صص ۱۳۲-۱۱۳.
- عساکره، حسین؛ ترکارانی، فاطمه؛ سلطانی، صغری؛ ۱۳۹۱. مشخصات زمانی - مکانی بارش‌های روزانه فرین بالا در شمال غرب ایران. تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۲۵. صص ۵۳-۳۹.
- عساکره، حسین؛ حسینی، حسینجانی، لیلیا؛ ۱۳۹۸. واکاوی روابط مکانی فراوانی رخداد ماهانه بارش‌های فرین بالا در ناحیه خزری (۲۰۱۶-۱۹۶۶). جغرافیا و توسعه. شماره ۵۵. صص ۴۴-۲۳.
- عسکری، احمد؛ رحیم زاده، فاطمه؛ محمدیان، نوشین؛ فتاحی، ابراهیم؛ ۱۳۸۶. تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران. تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۹. صص ۴۲-۵۵.
- علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۵. آب‌وهوای ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور.
- غیور، حسنعلی؛ مسعودیان، سیدابوالفضل؛ ۱۳۷۵. بررسی نظام تغییرات مجموع بارش سالانه در ایران زمین. نیوار. شماره ۲۹. صص ۶۰-۲۷.
- کاوایانی، محمدرضا؛ عساکره، حسین؛ ۱۳۸۴. بررسی آماری روند بلندمدت بارش سالانه اصفهان. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان علوم انسانی. شماره ۱. صص ۱۴۳-۱۶۲.
- کتیرایی، پری‌سیما؛ حجام، سهراب؛ ایران‌نژاد، پرویز؛ ۱۳۸۶. سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱. فیزیک زمین و فضا. شماره ۳۳. صص ۶۷-۸۳.
- کیانی، مهرداد؛ لشکری، حسن؛ قائمی، هوشنگ؛ ۱۳۹۸. واکاوی اثر رشته‌کوه‌های زاگرس بر تغییرات بارش‌های سودانی در غرب ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی. شماره ۷۵. صص ۴۰-۱۷.
- لشکری، حسن؛ متکان، علی‌اکبر؛ آزادی، مجید؛ محمدی، زهرا؛ ۱۳۹۵. تحلیل هم‌دید نقش پرفشار عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در کوتاه‌ترین طول دوره بارشی جنوب و جنوب غرب ایران. علوم محیطی. شماره ۴. صص ۷۴-۵۹.
- محمدی، بختیار؛ ۱۳۹۰. تحلیل روند بارش سالانه ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. شماره ۴۳. صص ۱۰۶-۹۵.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۸. گزارش بارش‌های اسفند ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ حوضه‌های سیل‌زده ایران. هیئت ویژه گزارش ملی سیلاب. کارگروه اقلیم‌شناسی و هواشناسی. منتشر نشده.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ دارند، محمد؛ ۱۳۹۲. شناسایی و بررسی تغییرات نمایه‌های بارش فرین ایران طی دهه‌های اخیر. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره ۲۰. صص ۲۵۷-۲۳۹.
- مقیم، ابراهیم؛ ۱۳۷۸. تحلیل آماری رطوبت نسبی و بارندگی تهران در یک دوره سی‌ساله. تحقیقات جغرافیایی. شماره ۵۴. صص ۶۱-۴۳.
- منتظری، مجید؛ ۱۳۸۸. تحلیل زمانی مکانی بارش‌های فرین روزانه در ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. شماره ۳۴. صص ۱۴۰-۱۲۵.
- میرعباسی نجف‌آبادی، رسول؛ دین‌پژوه، یعقوب؛ ۱۳۹۱. تحلیل روند تغییرات بارش‌های شمال غرب ایران در نیم‌قرن گذشته. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی). شماره ۳۵. صص ۵۹-۷۳.

- Alpert P, Neeman B U, Shay-El Y., 1990. Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus* 42 A: 65-77.
- Alpert P, Osetinsky I, Zivb B, Shafir H., 2004. Semi-objective classification for daily synoptic systems: Application to the eastern Mediterranean climate change. *International Journal of Climatology* 24: 1001-1011.
- Anagnostopoulou Chr, Tolika K, Flocas H, Maheras P., 2006. Cyclones in the Mediterranean region: present and future climate scenarios derived from a general circulation model (HadAM3P). *Advances in Geosciences* 7: 9-14.
- Asakereh H., 2017. Trends in monthly precipitation over the northwest of Iran (NWI). *Theoretical and Applied Climatology* 130: 443-451.
- Asakereh H., 2020. Decadal variation in precipitation regime in northwest of Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 139: 461-471.
- Bartolini G, Morabito M, Crisci A, Grifoni D, Torrigiani T, Petralli M, Maracchi G, Orlandini S. 2008. Recent trends in Tuscanycitaly (Italy) summer temperature and indices of extremes. *International Journal of Climatology* 28: 1751 – 1760.
- IPCC., 2001. *Climate change 2001: The scientific basis contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. University Press, Cambridge.
- IPCC., 2007. *Climate change 2007: The scientific basis contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. University Press, Cambridge.
- IPCC., 2013. *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. University Press, Cambridge.
- Sahsamanoglou H S, Makrogiannis T J, Kallimopoulos P P., 1991. Some aspects of the basic characteristics of the Siberian anticyclone. *International Journal of Climatology* 11(8):827 – 839.