Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

**جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و ششم، زمستان ۱۳۹۹**

صص ۱۴۱- ۱۲۱

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

**مقاله پژوهشی**

# آشکارسازی روند بلندمدت بارش سالانهٔ ایران‌زمین در ارتباط با تغییر فراوانی فرین‌های بارش روزانه

**حسین عساکره[1]- استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران**

**سیدابوالفضل مسعودیان- استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران**

**فاطمه ترکارانی- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، 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 سالانهٔ ایران‌زمین با توجه به روند تغییرات فراوانی نمایه‌های فرین بالا و پایین و نیز نمایه‌های بهنجار بارش، به روش تحلیل پهنه‌ای در معرض توجه قرار گرفت. برای انجام پژوهش حاضر از نسخهٔ سوم پایگاه داده‌ای اسفزاری با تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر و برای بازه زمانی ۱۳۴۹/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۴/۱۲/۲۹ (٤٦ سال و معادل ۱٦۸۰۱ روز) استفاده شد. روند بارش سالانه در کشور نشان داد که تغییرات بارش در بخش عمده‌ای (حدود ۸۰/۹ درصد مساحت) از کشور کاهشی بوده است و تنها بخش محدودی از کشور (حدود ۱۹ درصد مساحت) روند افزایشی را تجربه کرده است. روند کاهشی بارش باعث کاهش آب حاصل از نزولات جوی در کشور به میزان حدود ۱/۵ میلیارد مترمکعب شده است. اگرچه استنباط‌های آماری نشان از عملکرد عوامل بزرگ‌مقیاس در شکل‌گیری روند کاهشی در بخش عمده‌ای از کشور است، امّا ۳۳/۵۳ درصد پهنه‌های توأم با روند کاهشی از دیدگاه معنی‌داری آماری تحت تأثیر عوامل محلّی (در شمال‌شرق و بخش‌هایی از شرق ایران، پیشکوه‌های داخلی زاگرس و پهنه‌ای ممتد از استان کرمان تا استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه بویراحمد، از غرب شیراز و شمال بوشهر در امتداد مرز غربی کشور تا شمال سنندج، هسته‌های پراکنده در بخش‌های جنوبی و شرقی ناحیهٔ شمال‌غرب و شمال ایران) بوده است. بررسی‌ها نشان داد که نواحی توأم با روند کاهشی معنی‌دار تحت تأثیر کاهش بارندگی‌های پرمقدار (عمدتاً صدک ۷۵ و بیشتر) بوده‌اند. نواحی توأم با روند مثبت و به

۱ شماره همراه: ۰۹۱۲۲٤۱٦٦٥۸

Email: asakereh@znu.ac.ir

لحاظ آماری معنی‌دار 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 مرحلهٔ «آشکارسازی»، «تعیین مقدار» و «الگوسازی» روند به انجام رساند. در مرحلهٔ آشکارسازی روند، به‌کارگیری منفرد یا توأم روش‌های ترسیمی و تحلیلی از رواج زیادی برخوردارند. آشکارسازی روند عناصر آب‌وهوایی ایران موردتوجه بسیاری از پژوهشگران ایرانی بوده است. در این میان آشکارسازی روند بارش ایران‌زمین به‌عنوان یک عنصر اقلیمی حساس به تغییر (پذیری) اقلیم، به‌وسیلهٔ 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، ۱۳۸٤، بینش و همکاران، ۱۳۹٦) و دوم مطالعات متکی بر پایگاه داده‌ای یا تحلیل‌های پهنه‌ای‌که 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، ۱۳۹٤؛ خوش‌رو و همکاران، ۱۳۹٦)، یا کل کشور (به‌عنوان نمونه غیور و مسعودیان، ۱۳۷۵؛ عساکره، ۱۳۸٦؛ کتیرایی، ۱۳۸٦؛ محمدی، ۱۳۹۰؛ اختصاصی و همکاران، ۱۳۹٤؛ ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۵) مورد آزمون قرار می‌داده‌اند.

آشکارسازی و مطالعهٔ روند ازجمله زمینه‌های مطالعاتی است که با افزایش داده‌های جوی تکرار گاه‌وبیگاه آن می‌تواند چشم‌انداز واقعی‌تری 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 موردتوجه قرار می‌گرفت. طبق تعریف (عساکره، ۱۳۹٦) 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 وارسی روند، توجهی به افت‌وخیزها نمی‌شود؛ بلکه تغییر عمومی میانگین‌ها در کانون توجه است. مسئلهٔ اصلی در این واقعیت منعکس می‌شود که در عمل اگرچه تمامی روش‌های تحلیل روند عناصر اقلیمی متأثر از رویدادهای فرین اقلیمی هستند، امّا به خاطر طبیعتِ روش‌های تحلیل روند، این نحوهٔ تأثیر فرین‌های اقلیمی مغفول می‌ماند؛ به‌عنوان یک مثال، گاه در یک سری زمانی اقلیمی ایستا، نظیر بارش سالانهٔ یک ایستگاه فرضی، ممکن است در چند سال انتهایی خشکسالی یا ترسالی دوره‌ای (با دوره بازگشت طولانی‌تر از سری زمانی 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

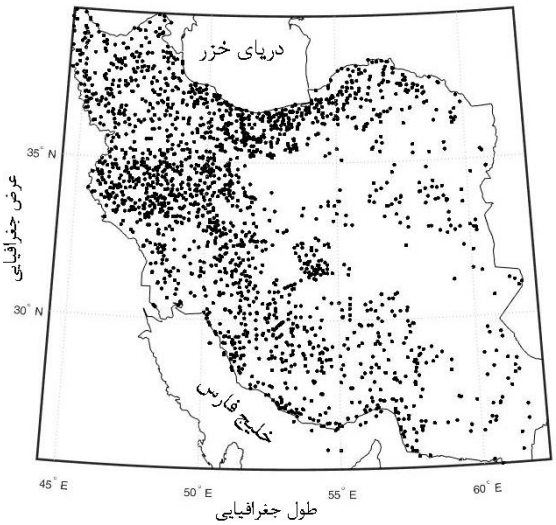
افزایشی (کاهشی) باشد و در انتهای سری دورهٔ کوتاه خشک (تر) رخ دهد. در این صورت روش‌های معمول تحلیل تغییرات بلندمدت، روند مشاهدات را آن‌گونه که واقعی است، نشان نمی‌دهند. این نوع از نتایج به‌ویژه در مشاهدات پرشمار و نیز در تحلیل‌های پهنه‌ای می‌تواند منشأ خطای محاسباتی و درنهایت نتایج توأم با خطا شود. در 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)[1]» (۲۰۱۳)، گرمایش جهانی طی دو سدهٔ 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[2]»، «ناهنجاری[3]»، «ناپیوستگی[4]»، «مشاهدات فرین[5]»، «رویدادهای فرین[6]» و «رویداد تصادفی[7]» نیز تعبیر می‌شوند. در واقع این‌گونه حرکت‌ها، الگوهای نسبتاً یکتا و تکرارناشدنی را منعکس می‌کنند. توجه کنید که «فرین» به انحراف مقادیر از یک آستانهٔ 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[8] و همکاران، ۲۰۰۸) که در دنبالهٔ توزیع فراوانی و دور از نقطهٔ 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 زمینهٔ تغییر (پذیری) فرین‌های آب‌وهوایی، به‌ویژه تغییر روند فرین‌های دما، بارش یا هر دو، از دههٔ 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 نسخهٔ سوم پایگاه داده‌ای اسفزاری، ضمن ارائهٔ روند عمومی بارش سالانهٔ ایران‌زمین طی دورهٔ ۱۳۹٤–۱۳٤۹ جایگاه رویدادهای فرین در شکل‌گیری این روند بررسی شود.

1 Intergovernmental Panel on Climate Change
2 Fluctuation
3 Anomaly
4 Discontinuty
5 Extreme Values
6 Extreme Events
7 Random Events
8 Bartolini

**۲- داده‌ها و روش‌ها**

برای انجام پژوهش حاضر از نسخهٔ سوم پایگاه داده‌ای اسفزاری که حاصل میان‌یابی داده‌های بارش روزانهٔ 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 ۱۳٤۹/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹٤/۱۲/۲۹ (٤٦ سال و معادل ۱٦۸۰۱ روز) به‌وسیلهٔ مسعودیان (۱۳۹۸) تهیه شده است. با توجه به مختصات جغرافیایی ایران که بین مدار ۲۵ تا ٤۰ درجهٔ شمالی و ٤٤ تا ٦٤ درجهٔ شرقی قرار گرفته است، براساس بیضوی مرجع (WGS84) و تفکیک مکانی ده کیلومتر، شبکه جغرافیایی پایگاه داده به ابعاد ۲۰۵×۱٦۷ به دست آمد. تعداد کل یاخته‌های درون این شبکه که درون مرزهای خاک اصلی ایران جا می‌گیرد، ۱٦۲۰۳ تا است. از سوی دیگر با توجه به زمان آغاز و پایان پایگاه داده که مشتمل بر ۱٦۸۰۱ روز است، ابعاد نهایی پایگاه داده ۱٦۸۰۱×۲۰۵×۱٦۷ است.




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

براساس پایگاه داده یاد شده ابتدا میانگین سالانهٔ بارش برای کل دوره (۱۳۹٤- ۱۳٤۹) محاسبه شد تا تصویری عمومی از توزیع مکانی بارش سالانه برای این دوره حاصل شود. سپس مجموع بارش سالانه برای هرسال 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 آمارهٔ $P$ ($P-Value$) موسوم است (عساکره، ۱۳۹۰). بدین ترتیب نواحی توأم با روند معنی‌دار حاصل آمد. به‌منظور وارسی 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 مرحلهٔ 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 معنی‌دار داشته‌اند، با موقعیت جغرافیایی – عوامل توپوگرافیک و نیز میزان بارش محاسبه شد. در هریک از این مراحل ضریب همبستگی برای کل نواحی (صرف‌نظر از روند مثبت یا منفی (افزایشی یا کاهشی))، یک‌بار برای نواحی توأم با روند مثبت و یک‌بار برای نواحی توأم با روند منفی که روند آن‌ها معنی‌دار بود، به‌طور جداگانه برآورد شد. علاوه براین، در هر بار محاسبه، ضریب همبستگی معمولی و ضریب همبستگی جزئی (عساکره، ۱۳۹۰) برآورد گردید. در مرحلهٔ بعد، تلاش شد نقش تغییرات بارش‌های فرین و نیز بارش‌های بهنجار در تکوین روند بارش کشور بررسی شود. از مسائل اولیه و اساسی در مطالعهٔ فرین‌های آب‌وهوایی ارائهٔ یک تعریف معقول و مقبول از پدیدهٔ مورد بررسی است (عساکره، ۱۳۹۶). در این میان از نمایه‌های پرکاربرد، باعنوان نمایه‌های چندکی استفاده شد. این نمایه‌ها به‌وسیلهٔ کمیتهٔ مشترک آب‌وهواشناسی سازمان جهانی هواشناسی (*CCL*)[1] برنامه پژوهش در آب‌وهوای جهان (*WCRR*)[2] مربوط به طرح قابلیت پیش‌بینی و تغییرپذیری آب‌وهوا (*CLIVAR*)[3] متشکل از گروه متخصصان پیش‌بینی، پایش و نمایه‌های تغییر آب‌وهوا (*ETCCDMI*)[4] به‌منظور مطالعه و تعیین نمایه‌های فرین آب‌وهوایی که در سال ۱۹۹۸ شکل گرفت، اخذ شده است[5]. 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 به‌وسیلهٔ 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 به‌وسیلهٔ این مرجع استفاده شد؛ بنابراین متوسط شمار روزها و نیز روند تغییرات سالانهٔ سه‌گروه بارشی زیر محاسبه، به شکل ترسیمی ارائه و به لحاظ کمّی 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

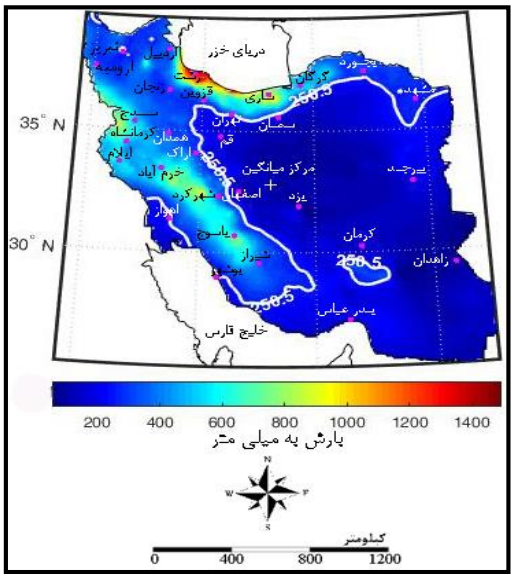
دو ویژگی؛ شامل میانگین بلندمدت رخداد بارش‌های کم‌مقدار، پرمقدار و بهنجار و نیز روند بلندمدت آن‌ها، محاسبه و به شکل ترسیمی ارائه و به لحاظ کمّی بررسی شد.

فرین‌های بارشی به لحاظ تأثیر آن‌ها بر روند عمومی بارش به‌وسیلهٔ تعداد معدودی از پژوهشگران موردتوجه بوده است. در این میان برای مثال اکبری و نودهی (۱۳۹٤) ارتباط مؤثر بارش‌های فرین در روند تابستانهٔ بارشِ استان گلستان را مورد اشاره قرار داده‌اند. ازاین‌رو کمبود مطالعهٔ این زمینهٔ پژوهشی ضرورت این بخش از بررسی‌ها را توجیه می‌کند.

## ۳- یافته‌ها

### ۳- ۱- ویژگی‌های عمومی بارش

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




شکل ۲-توزیع مکانی مجموع سالانه بارش ایران طی دورهٔ ۱۳۹٤-۱۳٤۹

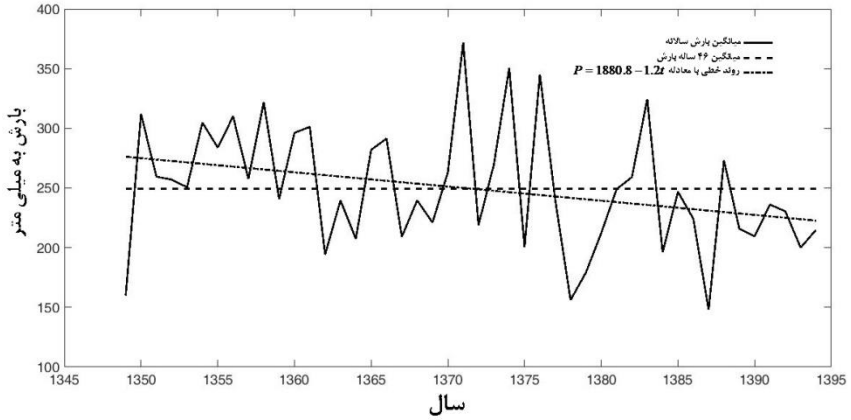
**تهیه و ترسیم: نگارندگان**

در ایران‌زمین 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. ازآنجاکه توان چرخندهای بارانزای یاد شده در ارتباط با ارتفاع تغییر می‌یابد، اصولاً تغییرات مکانی بارش با ناهمواری‌های اصلی ایران‌زمین هماهنگی نسبی خوبی نشان می‌دهد (کاویانی، ۱۳۷۲). بدین دلیل شیو بارش به‌موازات ارتفاعات در غرب و به‌ویژه بخش وسیعی در شمال کشور به‌خوبی مشخص است (شکل ۲). عموماً و براساس مرکز میانگین و نیز همبارش میانگینِ بارش کشور، ارائه شده در شکل ۱، می‌توان دریافت که مجموع بارش حدود ٦۳/۲ درصد از مساحت کشور (نواحی توأم با بارش کم‌تر از میانگین با متوسط بارش ۱۵۰/۵میلی‌متر است.) با مجموع بارش ۳٦/۸ درصد از مساحت کشور (نواحی توأم با بارش بیشتر از میانگین با متوسط بارش ٤۲۲ میلی‌متر است.) برابر است. اگر طبق تعریف غیور و مسعودیان (۱۳۷۵) بیش‌از ۸۰۰ میلی‌متر بارش را ملاک بخش پربارش بدانیم، تنها ۱/۲۲٪ از مساحت کشور پربارش است. میانگین بارش این پهنه از کشور ۹۹۵/۱ میلی‌متر (کرانه‌های خزر و بلندترین ارتفاعات زاگرس، از مریوان تا یاسوج) است.

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

میانگین پهنه‌ای بارش برای دورهٔ ۱۳۹٤-۱۳٤۹ محاسبه شد. نمودار سری زمانی میانگین مذکور، میانگین بلندمدت پهنه‌ای (۲۵۰/۵میلی‌متر) و نیز خط حاصل از برازش معادلهٔ خط روند در شکل ۳ ارائه شده است:




**شکل ۳- برخی ویژگی‌های سری زمانی میانگین پهنه‌ای بارش کشور برای دورهٔ ۱۳۹٤-۱۳٤۹**

**تهیه و ترسیم: نگارندگان**

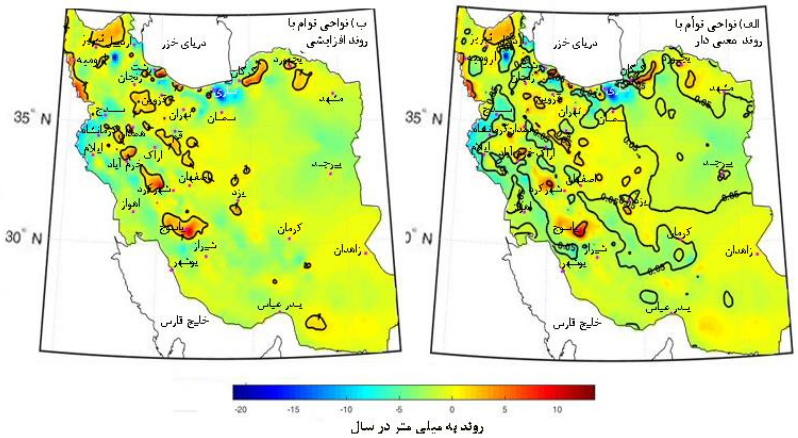
چند نکتهٔ مهم از این نمودار قابل استنباط است:

۱- میانگین بارش سالانهٔ کشور حاوی سه فاز عمده بوده است. فاز نخست از سال ۱۳٤۹ تا سال ۱۳٦۱ (به‌جز برای سال ۱۳٤۹ با ۱۵۹/۹ میلی‌متر) یک دورهٔ پربارش است. میانگین بارش این دوره ۲۷۳/۵ میلی‌متر (حدود ۲۳ میلی‌متر بیش از میانگین ٤٦ ساله) است. فاز دوم از ۱۳٦۲ تا ۱۳۷۸ حاکم بوده است. در این فاز بارش

سالانه حول خط میانگین نوسان داشته است. این فاز بـه لحـاظ میـزان پـراش، بـه دو قسـمت تقسـیم می‌شـود؛ قسمت اول از سال ۱۳٦۲ تا ۱۳۷۰ با غلبهٔ مقادیر کم‌تر از میـانگین کـل (بـا میـانگین ۲۳۸/٦) و بـا پـراش ۱۱۷۳ مشخص می‌شود. قسمت دوم از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۸ عمدتاً با نوسانات بزرگ‌تر در بالای میـانگین (بـه‌ترتیب بـا میانگین و پراش ۲٦۹/۱ و ٦۲۵۵/۳) مشخص می‌شود. فاز سوم (۱۳۹٤–۱۳۷۹) دورهٔ کاهش بارنـدگی اسـت. در این دوره میانگین بارش ۲۲٦/۲ میلی‌متر بوده است.

۲- روند بارش سالانه با معادلهٔ خـط رونـد $P = 1880.8 - 1.2t$ (در اینجـا $t$ زمـان و $P$ بـارش اسـت.)، کاهش میانگین بارش سالانهٔ کشور (حدود ۱/۲ میلی‌متر در سال) را طی دورهٔ آماری نشـان می‌دهـد. ایـن معادلـه خط، در هر سطح دلخواه معنی‌دار است. برای شناسایی نواحی که در این رونـد کاهشـی نقـش داشـته‌اند، رونـد تغییرات بارش سالانهٔ کشور برای دورهٔ آمـاری ۱۳۹٤–۱۳٤۹ محاسـبه شـد. بـرای ارائـهٔ نـواحی تـوأم بـا رونـد بلندمدت بارش، شکل ٤–الف ارائه شده است. در این شکل میـزان تغییـر سـالانهٔ بـارش (میلی‌متـر در سـال) بـا پس‌زمینهٔ رنگی و نواحی که در سطح ۹۵ درصد اطمینان (۵درصد خطا) به لحاظ آماری معنی‌دار بوده‌اند بـا خـط هم‌چند ۰/۰۵ مشخص و احاطه شده است. نواحی که تغییرات سالانهٔ بارش بـه لحـاظ آمـاری معنـی‌دار نیسـت، خارج از پهنهٔ معنی‌داری ۰/۰۵ قرار گرفته‌اند. می‌توان دید که مجموع بارش سالانه بـا شـدت و ضـعف و نیـز بـا علامت‌های متفاوتی (عمدتاً منفی) در سطح کشور تغییر یافته است.

برای تشخیص نواحی توأم با تغییرات معنی‌دار بـارش طـی دورهٔ موردمطالعـه، نقشـهٔ حاصـل از محاسـبات بـرای تغییرات مثبت (روند افزایشی بارش) در شکل ٤- ب ارائه شده است. نواحی مزبور به‌وسیلهٔ میزان هم‌تغییـر حـداقل ۱ میلی‌متر در سال و پربندهای مربوط مشخص شده است.




**شکل ٤- توزیع مکانی روند تغییرات بارش سالانهٔ ایران (میلی‌متر در سال) برای دورهٔ ۱۳۹٤–۱۳٤۹ و نواحی توأم با تغییرات معنی‌دار و فاقد معنی آماری**

**تهیه و ترسیم: نگارندگان**

می‌توان دید که روند تغییرات در بخش عمده‌ای (حدود ۸۰/۹ درصد) از مساحت کشور کاهشی بوده است و تنها بخش محدودی از مساحت کشور (حدود ۱۹درصد) روند افزایشی را تجربه کرده است. شایان توجه است که تنها حدود ۳۳/۵۸ درصد پهنه‌های توأم با روند کاهشی به لحاظ آماری و در سطح اعتماد ۹۵درصد 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 به‌صورت هسته‌هایی بعضاً در درون نواحی توأم با روند منفی دیده می‌شوند.

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

**ناحیه اول:** این ناحیه گسترده‌ترین ناحیه و در شمال‌شرق و بخش‌هایی از شرق ایران قرار دارد و تا کوه‌های البرز مرکزی – شرقی امتداد دارد. به‌طوری‌که 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:** ناحیهٔ سوم از غرب شیراز و شمال بوشهر آغاز می‌شود و در بین مرز غربی و پیشکوه‌های خارجی زاگرس تا شمال سنندج امتداد می‌یابد. این ناحیه در بخش جنوبی، در خوزستان، عریض‌تر و به سمت شمال– غرب کم‌وسعت‌تر، امّا با روند کاهشی شدیدتر دیده می‌شود.

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

عموماً نیمهٔ‌جنوبی ایران ازجمله نواحی توأم با روند کاهشی بارش است. این کاهش بعضاً به لحاظ آماری معنی‌دار و در بسیاری موارد فاقد معنی آماری هستند. ازآنجاکه سامانه‌های تأمین کنندهٔ رطوبت و تأثیرگذار بربارش این ناحیه از پهنه‌های آبی نزدیک (خلیج‌فارس 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 محلّی و عناصر گردشی جو، با نقش‌آفرینی متفاوت هستند. به نظر می‌رسد الگوهای پربارش مناطق جنوبی در حال عقب‌نشینی است. در شمال‌شرق ایران نیز تغییر سازوکار پرفشار سیبری (ساهسمان‌اغلو[1]، ۱۹۹۱) به‌عنوان عامل فعّال 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[2]، ۱۹۹۰؛ آلپرت، ۲۰۰٤؛ آناگنوس‌توپولا[3]، ۲۰۰٦) از عوامل مؤثر در تکوین روند کاهشی بارش در حاشیهٔ غربی –

1 Sahsamanoglou
2 Alpert
3 Anagnostopoulou

جنوب‌غربی کشور بوده است. هسته‌های پراکندهٔ ناحیهٔ چهارم نیز عمدتاً نـواحی تـوأم بـا بارش‌هـای همرفتـی اسـت. احتمالاً تغییر در سازوکار این بارش‌ها (عساکره[1]، ۲۰۱۷؛ عساکره، ۲۰۲۰) کاهش بارندگی را به دنبال داشته است.

طبق شکل ٤ – ب توزیع جغرافیایی هسته‌های توأم با روند مثبت بارش در امتداد سـه ناحیـه بـه شـرح زیـر قابـل ردیابی هستند:

**ناحیه شمالی:** بخشی از این ناحیه از بخش میانی تا شرقی شمالِ ناحیه آذربایجان ایران را دربَر می‌گیـرد. در شـرقِ رشت، لاهیجان، گرگان، بجنورد و جنوب بجنورد می‌توان هسته‌های پراکندهٔ شمالی را نیز دید.

**ناحیه پیشکوه‌های داخلی زاگرس:** این ناحیه از غرب قزوین تا اطراف یزد به شکل هسـته‌هایی کـه گسـترهٔ آن‌هـا کوچک‌تر می‌شود، با روند مجموع سالانهٔ بارش افزایشی مشاهده می‌شوند.

**ناحیه مرتفع غربی:** این ناحیه شامل هسته‌هایی بر زاگرس مرتفع و نیز بخش غربی مرز ایران – ترکیـه از ارومیـه تـا شمال سنندج است.

سازوکارهای متنوع باران‌زایی و منابع متنوع رطوبتی برای هریک از این سه ناحیه از دلایلی احتمالی رونـد افزایشـی بارش در این سه‌بخش است. احتمالاً افزایش فراوانی عبور یا تشکیل سامانه‌های همدید در ایـن بخـش از کشـور طـی سال‌های اخیر (آلپرت، ۱۹۹۰؛ آلپرت، ۲۰۰٤؛ آناگنوس‌توپولا، ۲۰۰٦) روند افزایشی نقاط مختلف این بخـش را توجیـه می‌کند. مطالعات احمدی و داداشی (۱۳۹۵: ٤۷۷) نیز نشان داد که قرارگیری در مسـیر چرخنـدهای مدیترانـه‌ای و نیـز ارتفاع نسبتاً قابل توجه، از عوامل عمدهٔ افزایش بارندگی در بخش‌های مرتفع نیمهٔغربی کشـور اسـت. تغییـرات بـارش در نیمهٔغربی کشور تحت تأثیر تغییـرات فشـار جـو در منطقـهٔ شـرق مدیترانـه در ترازهـای بالـایی جـو (۳۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) قراردارد. همچنین آرایش ارتفاعات و دوری و نزدیکی به دریا در توزیـع بـارش ایـن نـواحی از کشـور نقش مهمی دارد. کم فشارهای سودانی از عوامل مهم باران‌زا در کوه‌های زاگرس هستند که تحـت تـأثیر اثـر بادپنـاهی در دامنه‌های مختلف زاگرس متفاوت عمل می‌کننـد. متفـاوت بـودن رونـد بـارش در دامنـه‌های مختلـف زاگـرس را می‌توان به سازوکار فوق نسبت داد. همچنین تغییر سازوکارهای بارش‌زای ایران طی دهه‌های اخیر از عوامـل مـؤثر بـر روند مثبت بارش در بخش‌هایی از کشور است. مطالعـات انجـام شـده توسـط لشـکری و همکـاران (۱۳۹۵) بـرروی سامانه پرفشار عربستان گویای تغییرات مکانی این سامانه در دهـه‌های اخیـر اسـت. رونـد ورود سـامانه‌هایی بـا منشـأ سودانی به منطقهٔ جنوب غرب ایران از گذشته تا به امروز روبه افزایش است. افـزایش چنـد درصـدی فعالیـت سـامانهٔ سودانی نشانی از تغییر مثبت بارش در بخش‌هایی (غالباً مرتفع) از جنوب غـرب ایـران اسـت. علـاوه بـراین کیـانی و همکاران (۱۳۹۸) براساس سه مطالعهٔ موردی نشان دادند که عوامل گرمایی حاصـل از سـامانه‌های سـودانی موجبـات کاهش ارتفاع جو، شکل‌گیری تاوایی مثبت و حرکات صعودی می‌شود. در ترازهای میانی جـو شـرایط ترمودینـامیکی

1 Asakereh

مناسب برای باران‌زایی مهیا می‌شود. این ویژگی‌ها افزایش بارش به‌ویژه در ناحیه مرتفع و پرشیب زاگرس را بـه همـراه دارد. به‌جز نواحی یاد شده در بالا که با روند مثبت و منفی معنی‌دار تـوأم بـوده اسـت، بقیـه نـواحی کشـور طـی دورهٔ 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 مطالعـات پیشـین نیـز مشـاهده شده‌اند. برای مثال عسگری و همکاران (۱۳۸۵) با بررسی وردش‌پذیری ویژگی‌های بارش ایـران دریافتنـد کـه هـر دو نوع روند، کاهشی و افزایشی، در مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های همدید کشور رخ داده است. ایشـان بـراین باورنـد که سری‌های زمانی بارش در کشور رفتار یکسانی نداشته‌اند. عساکره (۱۳۸٦: ۱۵٦-۱۵۸) نیز دریافت کـه حـدود ۵۱/٤ درصد از مساحت کشور در معرض تغییـرات بلندمـدت منفـی بـارش بـوده اسـت. ایـن تغییـرات عمـدتاً در نـواحی کوهستانی و نیز نیمهٔغربی کشور رخنمود بیشتری داشته است. براساس یافته‌های عساکره (۱۳۸٦: ۱۵٦) عمومـاً نـواحی پر بارش‌تر متحمل تغییر بیشتری نیز بوده‌اند.

مشاهدهٔ هر دو روند کاهشی و افزایشی در بارش سالانهٔ ایران‌زمین علاوه بر این‌که بیان‌گر پیچیـدگی عنصـر بـارش است، نشان‌دهندهٔ تأثیر متقابل و قابل ملاحظهٔ سامانه‌های باران‌زا در مقیاس‌های همدید و نیز تأثیر فرم‌هـا و فراینـدها در مقیاس محلّی بر تغییرات سازوکار سامانه‌های بـاران‌زا می‌باشـد. البتـه تبـاین نـواحی بـه لحـاظ نـوع رونـد حـاکم بـر مشاهدات (افزایشی، کاهشی و ایستا)، در ارتباط با بیرونی یا درونی بودن منشأ روند (نقش عوامل محلّـی و یـا عوامـل بزرگ‌مقیاس)، مورد بحث فراوان است. بدین ترتیب و به‌منظور وارسی این واقعیت که روند حاکم بر بارش سـالانه بـا عوامل مکانی - توپوگرافیک و یا با رویدادهای کلان اقلیمی در ارتباط است، از شگرد ضریب همبستگی اسـتفاده شـد. نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

می‌توان دید که رابطهٔ میزان روند بارش کل کشور با متغیرهای مکـانی -توپوگرافیـک (صـرف‌نظر از معنـی‌داری و نیز مثبت یا منفی بودن و نیز چه به‌صورت معمولی و جزئی) بسیار کم است. با تفکیک روند مثبت و منفی نقش طـول جغرافیایی (به‌ویژه در همبستگی معمولی) نمایان‌تر می‌شود؛ به‌طوری‌که از این همبستگی و نیز از نقشـهٔ ارائـه شـده در شکل ٤ می‌توان استنباط کرد به سمت شرق روند مثبت کاسته شده و بر روند منفـی افـزوده می‌شـود. در ایـن شـرایط نقش عرض‌جغرافیایی نیز تا حدودی افزایش می‌یابد. بااین‌وجود به نظر می‌رسد کـه عمومـاً متغیرهـای مکـانی اثـرات ناچیزی بر روند بلندمدّت مجموع بارش سالانه داشته‌اند. از میان متغیرهای توپوگرافیک تنها ارتفـاع نقـش نـاچیزی بـر روندهای مثبت داشته است. این امر بر این واقعیت دلالت دارد که علی‌رغم اثرات ناچیز موقعیـت جغرافیـایی - عوامـل توپوگرافیک، عموماً روند تغییرات بارش مستقل از عوامل محلّی شکل گرفته است و اثرات ناحیه‌ای کـه حاصـل تـأثیر عوامل موقعیت جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک است، تنها نوع (مثبت یا منفی) و نیـز شـدت (میـزان تغییـر در سـال)

روند مجموع سالانهٔ بارش را (به شکل جزئی) متأثر می‌سازد. رابطهٔ روند مجموع بارش سالانه و میزان بارش سالانه نیز تأییدی براین واقعیت است. این رابطه نسبت به روابط یاد شده در بالا، رابطه‌ای قوی‌تر است؛ بنابراین به نظر می‌رسد که عوامل کنترل کنندهٔ بارش در تغییرات بلندمدت آن نقش بیشتری از عوامل محلّی داشته‌اند. این امر دریک برآورد تقریبی و نسبی موجب شده است برای نواحی پربارش، روند افزایشی بارندگی و برای نواحی کم‌بارش، روند کاهشی بارندگی را به دنبال داشته است. این واقعیت را می‌توان از علائم همبستگی (مثبت ومنفی) و نیز از شکل ٤ استنباط نمود.

**جدول ۱- رابطهٔ (معمولی و جزئی) روند عمومی بارش با عوامل مکانی - توپوگرافیک در ایران برای دورهٔ ۱۳٤۹-۱۳۹٤**

| نوع روند | محدوده توأم با روند ... | نوع‌همبستگی | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع | شیب | جهت شیب | مقدار بارش |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| روند عمومی | مثبت و منفی | معمولی | ۰/۱۰٤۱ | ۰/۰۰۱۲ | ۰/۰۷۲۸ | -۰/۰۲٤۱ | -۰/۰۵۸۲ | -۰/۲۸۱۳ |
| | | جزئی | -۰/۰۲۹۸ | -۰/۰۷٤ | ۰/۱۰۹٤ | ۰/۰۳٤۲ | -۰/۰٦۰۳ | -۰/۱٤٦۷ |
| | مثبت | معمولی | -۰/۳۵۳۹ | ۰/۲٦۱۷ | ۰/۲۲٦۸ | ۰/۲٤۸۲ | ۰/۰۲٤٤ | ۰/٦۰۲۲ |
| | | جزئی | ۰/۰۲٦٤ | ۰/۰٤۵٦ | ۰/۰۸۷۱ | -۰/۰۱۸٦ | ۰/۰۰۰۷ | ۰/٤۹۹۳ |
| | منفی | معمولی | ۰/۳۱۰۸ | -۰/۲۸۲۸ | -۰/۰٦۵۳ | -۰/۰۵٤۹ | -۰/۰٦۹٤ | -۰/٤۹۵۸ |
| | | جزئی | -۰/۰۲۵٤ | -۰/۱٤٤۰ | ۰/۰٤۹٦ | ۰/۰۳۰۳ | -۰/۰۵۳۵ | -۰/۳۹۰۹ |
| روند معنی‌دار | مثبت و منفی | معمولی | ۰/۱۰٤۱ | ۰/۰۰۱۲ | ۰/۰۷۲۸ | -۰/۰۲٤۱ | -۰/۰۵۸۲ | -۰/۲۸۱۳ |
| | | جزئی | -۰/۰۸۰٤ | ۰/۰۹۸۱ | ۰/۰۹۳۸ | ۰/۰۳۳۰ | -۰/۰۳۹۸ | -۰/۲۹۵۱ |
| | مثبت | معمولی | -۰/۰٦۵۲ | -۰/۲۲۱۷ | ۰/۰۷٤٤ | ۰/۱۹۳۳ | -۰/۰۲۸٦ | ۰/۸۰۳۲ |
| | | جزئی | ۰/۰۲۰۱ | -۰/۲۰۲۹ | ۰/۲۱۳۹ | -۰/۰۳٤۲ | ۰/۱۰٤۰ | ۰/۸۱۳۹ |
| | منفی | معمولی | ۰/٤۲۱۵ | -۰/۲۲۹۳ | -۰/۰٤۹٦ | -۰/۱۳۹۷ | ۰/۰۵۲۱ | -۰/۷۳۷۹ |
| | | جزئی | -۰/۰٦۰۸ | ۰/۰۰۷۳ | -۰/۰۰۲۹ | ۰/۰۱۵۰ | -۰/۰۲۱۱ | -۰/٦٤٤۸ |

**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 محلّی رابطهٔ ضعیفی را با روند تغییرات معنی‌دار بارش در کشور نشان می‌دهند، درحالی‌که میزان بارش رابطهٔ قوی‌تری را ارائه می‌دهد؛ بنابراین می‌توان استنباط کرد که تغییرات بلندمدت (روند) مجموع سالانهٔ بارش در نواحی مختلف کشور حاصل رویدادهایی فراتر از عوامل محلّی مستقر در کشور است و نقش موقعیت جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک در ایجاد تباین‌های ناحیه‌ایِ روند نمایان‌تر است.

### ۳- ٤- تغییر حجم آب ورودی به سامانهٔ آب‌شناختی کشور

در جدول ۲، برآورد تقریبی از میزان تغییر (کاهشی و افزایشی) بارش، گسترهٔ نواحی توأم با تغییر و درنتیجه تغییر آب ورودی به منابع آب کشور ارائه شده است.

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

| روند کاهشی | | | | | روند افزایشی | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میزان روند (میلی‌متر در سال) | تغییر براساس رگرسیون خطی (میلی‌متر در سال) | پهنه زیر پوشش (کیلومترمربع) | پهنه زیرپوشش (درصد) | کاهش سالانه حجم آب معادل بارش (مترمکعب) | میزان روند (میلی‌متر در سال) | تغییربراساس رگرسیون خطی (میلی‌متر در سال) | پهنه زیر پوشش (کیلومترمربع) | پهنه زیرپوشش (درصد) | افزایش سالانه حجم آب معادل بارش (مترمکعب) |
| ۱- تا ۰ | ۰/۹ | ۲۳۰۹۱ | ۱/٤ | $۲/۰۶۵۶ \times ۱۰^{۷}$ | ۰-۱ | ۰/۹٦ | ٦۱۰ | ۰/۰۳۷ | $۵/۸۴۹۵ \times ۱۰^{۵}$ |
| ۲- تا ۱- | ۱/۵ | ۱۸۷٦۷٦ | ۱۱/٤ | $۲/۸۷۷۲ \times ۱۰^{۸}$ | ۱-۲ | ۱/٦۳ | ۱٦۱۷٤ | ۰/۹۸۱ | $۲/۶۳۸۱ \times ۱۰^{۷}$ |
| ٤- تا ۲- | ۲/۸ | ۲۵۳۲۸۷ | ۱۵/٤ | $۷/۱۳۳۹ \times ۱۰^{۸}$ | ۲-٤ | ۲/۷۳ | ۲۰۵٤۸ | ۱/۲٤۷ | $۵/۶۱۸۱ \times ۱۰^{۷}$ |
| ٦- تا ٤- | ٤/۸ | ۵۵۰۳۱ | ۳/۳ | $۲/۶۴۲۵ \times ۱۰^{۸}$ | ٤-٦ | ٤/۸۳ | ٦۲۰۵ | ۰/۳۷٦ | $۲/۹۹۷۳ \times ۱۰^{۷}$ |
| ۸- تا ٦- | ٦/۸ | ۱۸۱۰٦ | ۱/۱ | $۱/۲۳۸۳ \times ۱۰^{۸}$ | ٦-۸ | ٦/۷۸ | ۳۲۵۵ | ۰/۱۹۷ | $۲/۲۰۸۷ \times ۱۰^{۷}$ |
| ۱۰- تا ۸- | ۸/۹ | ۸٤٤۳ | ۰/۵ | $۷/۴۹۱۹ \times ۱۰^{۷}$ | ۸-۱۰ | ۹/۰٤ | ۱۰۱۷ | ۰/۰٦۲ | $۹/۱۹۶۸ \times ۱۰^{۶}$ |
| ۱۲- تا ۱۰- | ۱۰/۷ | ۲۱۳٦ | ۰/۱ | $۲/۲۹۵۵ \times ۱۰^{۷}$ | ۱۰-۱۲ | ۱۰/۷ | ۳۰۵ | ۰/۰۱۸ | $۳/۲۶۶۱ \times ۱۰^{۶}$ |
| ۱٤- تا ۱۲- | ۱۳/۲ | ۸۱۳ | ۰/۰۵ | $۱/۰۷۲۳ \times ۱۰^{۷}$ | ۱۲-۱٤ | ۱۲/۸۹ | ۲۰۳ | ۰/۰۱۲ | $۲/۶۲۱۸ \times ۱۰^{۷}$ |
| ۱٦-تا ۱٤- | ۱٤/۸ | ۵۰۸ | ۰/۰۳ | $۷/۵۵۵۲ \times ۱۰^{۶}$ | - | - | - | - | - |
| ۱۸- تا ۱٦- | ۱٦/۹ | ۸۱۳ | ۰/۰۵ | $۱/۳۷۲۰ \times ۱۰^{۷}$ | - | - | - | - | - |
| ۲۰- تا ۱۸- | ۱۸/۵ | ۲۰۳ | ۰/۰۱ | $۳/۷۷۳۵ \times ۱۰^{۶}$ | - | - | - | - | - |
| ۲۲- تا ۲۰- | ۲۰/۸ | ۲۰۳ | ۰/۰۱ | $۴/۲۲۴۵ \times ۱۰^{۶}$ | - | - | - | - | - |
| مجموع | - | ۵۵۰۳۱۰ | ۳۳/۵۳ | $۱/۵۴۷۷ \times ۱۰^{۹}$ | - | - | ٤۸۳۱۷ | ۲/۹۳ | $۱/۵۰۲۹ \times ۱۰^{۸}$ |

**مآخذ: نگارندگان**

می‌توان دید که روند کاهشی با مقدار ٤-۱ میلی‌متر در سال، گسترهٔ وسیعی (حدود ۲٦/۸ درصد) از کشور را دربر می‌گیرد. به‌طورکلی 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 ۱/٤ میلیارد مترمکعب)، برتری کاهش حجم آب رسیده به کشور را

نشان می‌دهد. عساکره و ترکارانی (۱۳۹۹) رویهٔ برآورد و جدولی مشابه برای دورهٔ آماری ۱۳۸۹-۱۳٤۰ و بر پایه پایگاه داده‌ای اسفزاری نسخهٔ ۲ (با تفکیک مکانی ۱۵کیلومتر) 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 جوّی را براساس متوسط ۲میلی‌متر کاهش سالانهٔ بارش، حدود $۳/۲۹۶۳۹ \times ۱۰^{۹}$ مترمکعب برآورد کردند.

**۳- ۵- ویژگی‌های عمومی و روند فرین‌های بارش ایران**

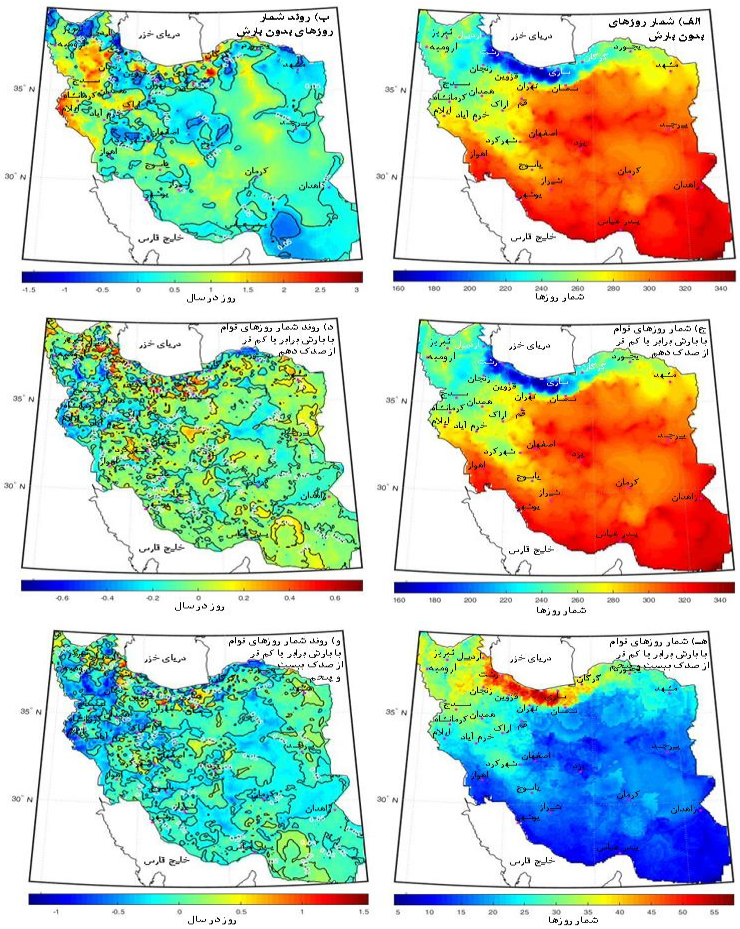
متوسط شمار روزها و نیز روند تغییرات سالانهٔ نمایه‌های فرین بالا، نمایه‌های فرین پایین و بارش‌های بهنجار در شکل‌های ۵، ٦ و ۷ و نیز برخی ویژگی‌های مرتبط در جدول ۳ عرضه شده است.

**جدول ۳- گروه‌های بارشی فرین، گسترهٔ توأم با روند معنی‌دار آن‌ها و رابطهٔ آن‌ها با میزان بارش سالانهٔ ایران برای دورهٔ ۱۳۹٤-۱۳٤۹**

| گروه‌های بارشی | | پهنهٔ توأم با روند کاهشی (٪) | پهنهٔ توأم با روند افزایشی (٪) | ضریب همبستگی با میزان بارش |
|---|---|---|---|---|
| کم‌مقدار | روزهای بدون بارش | ٤/۳۸ | ۵۹/۷۲ | -۰/۷۳ |
| | روزهای توأم با بارش برابر یا کم‌تر از صدک ۱۰ | ۳۱/٦۵ | ۱۰/۸۲ | ۰/۵٦ |
| | روزهای توأم با بارش برابر یا کم‌تر از صدک ۲۵ | ۳۹/۸۹ | ۱۰/٤۹ | ۰/٦۸ |
| پرمقدار | روزهای توأم با بارش برابر یا بیش‌تر از صدک ۷۵ | ۳۷/۱۵ | ۲/٤۹ | ۰/۷۲ |
| | روزهای توأم با بارش برابر یا بیش‌تر از صدک ۹۰ | ۲۱/٤۵ | ۵ | ۰/۷۲ |
| بهنجار | روزهای توأم با بارش بین صدک ۲۵ و ۷۵ | ۵٤/۰۱ | ۵/٤٦ | ۰/۷۵ |
| | روزهای توأم با بارش | ۵۹/۷٦ | ٤/۳۱ | ۰/۷۳ |

**مآخذ: نگارندگان**

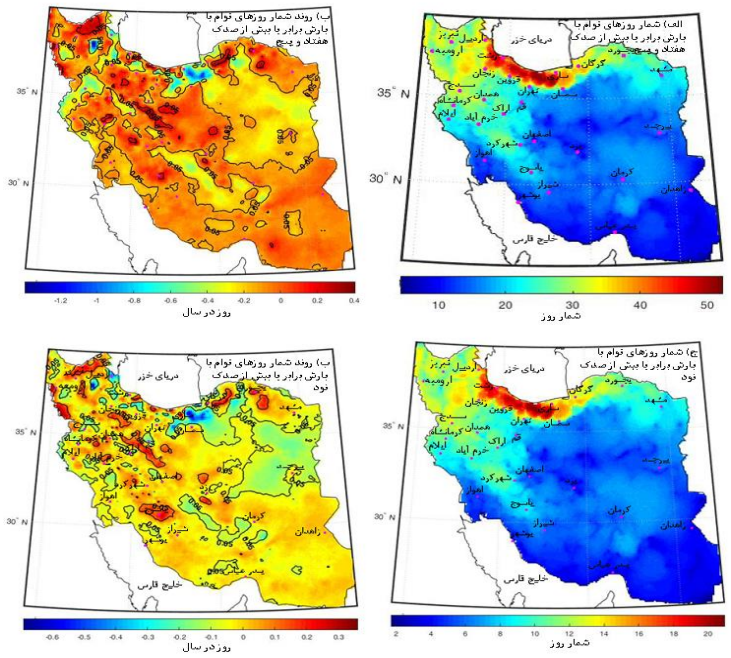
میزان گسترهٔ تحت تأثیر هریک از گروه‌های بالا با روند معنی‌دار (کاهشی یا افزایشی) در جدول ۳ (ستون ۳ و ٤) ارائه شده است. همچنین ضریب همبستگی هر یک از گروه‌های بالا با میزان بارش در گسترهٔ مربوط نیز در ستون ۵ جدول ۳ عرضه گردیده است.




**شکل ۵- شمار روزها و روند تغییرات گروه بارش کم‌مقدار ایران‌زمین برای دورهٔ ۱۳۹٤-۱۳٤۹**

**تهیه و ترسیم: نگارندگان**

می‌توان از ضریب همبستگی (۰/۷۳-) بین میزان بارش (شکل ۲) با میانگین روزهای کم‌بارش (شکل ۵-الف) و نیز از روی شکل ۵- الف دید که روزهای بدون بارش رابطه‌ای معکوس با میزان بارش دارد. در واقع نواحی توأم با بارش بیشتر، روزهای بدون بارش کم‌تری دارند. این امر ضمن بیان رابطهٔ موردنظر، توزیع زمانی بارش در نواحی مختلف را نیز بیان می‌دارد. ضریب همبستگی بین میزان بارش و تمامی نمایه‌های دیگر مثبت است؛ بنابراین عموماً در نواحی توأم با بارش زیاد روزهای توأم با تمامی نمایه‌ها (به‌جز نمایهٔ روزهای بدون بارش) با شدت و ضعف (ضریب همبستگی بین ۰/٥٦ و ۰/۷۵) افزایش می‌یابد. می‌توان در شکل‌های ۵ تا ۷ دید که روند تغییرات روزهای توأم با بارش‌های صدک دهم و کم‌تر و صدک بیست و پنجم و کم‌تر بسیار آشفته و احتمالاً تحت تأثیر شرایط جغرافیایی محلّی است. ازاین‌رو رابطه‌ای عینی بین روند آشفتهٔ این نوع بارش‌ها و روند نسبتاً منظم بارش سالانه وجود ندارد.




**شکل ٦- شمار روزها و روند تغییرات گروه بارش پرمقدار ایران‌زمین برای دورهٔ ۱۳۹٤-۱۳٤۹**

**تهیه و ترسیم: نگارندگان**

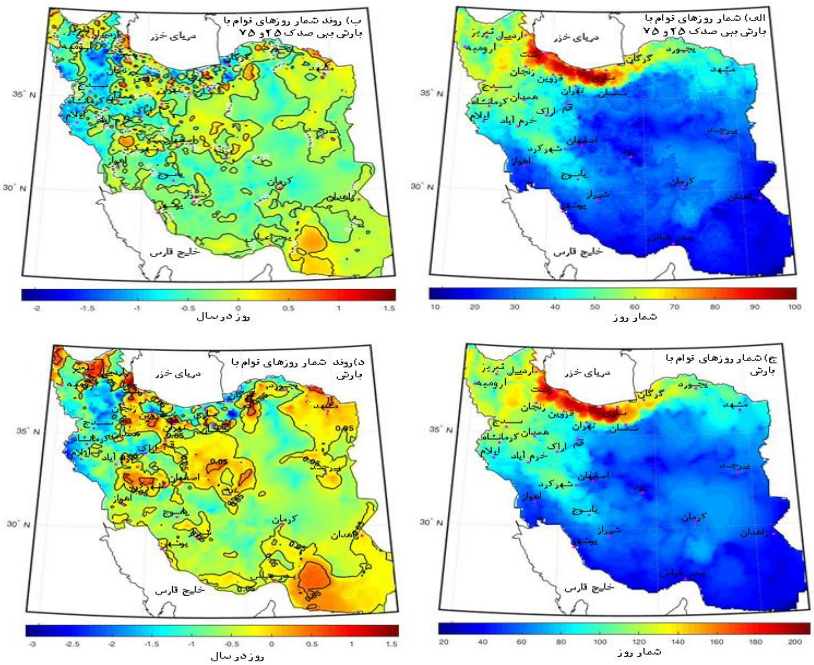
مشخصات نواحی چهارگانهٔ توأم با روند کاهشی و نیز نواحی سه‌گانهٔ توأم با روند افزایشی در ارتباط با روند نمایه‌های فرین یاد شده، در زیر می‌آید:

**ناحیه اول:** در ناحیه کاهشی اول (شمال‌شرق)، روزهای بدون بارش در برخی نواحی تا ۵ روز در دهه کاسته شده است، امّا روزهای توأم با بارش‌های بهنجار تا ۵ روز در دهه افزایش داشته است. همچنین در این ناحیه بارش‌های پرمقدار صدک ۷۵ از ۲ تا ٤ 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 رشته‌کوه البرز تا ٦ روز در دهه کاسته شده است؛ بنابراین به‌نظر 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 (به‌ترتیب ٤-۲ 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 سنندج) روزهای توأم با بارش صدک دهم و کم‌تر (٤-۲ روز در دهه) و صدک بیست و پنجم و کم‌تر (تا ۱۰روز در دهه)

کاهش داشته‌اند. در این ناحیه روند عمومی روزهای توأم با بارش برابر با یا بیشتر از صدک ۹۰ به شکل پراکنده به لحاظ آماری معنی‌دار است، امّا بارش روزهای توأم با بارش برابر صدک ۷۵ و بیشتر ۵-۲ 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 ایران‌زمین برای دورهٔ ۱۳۹۴-۱۳۴۹**

**تهیه و ترسیم: نگارندگان**

**ناحیه چهارم:** این ناحیه (بخش‌های جنوبی و شرقی ناحیهٔ شمال‌غرب ایران و محدوده کوچکی از سواحل شمالی) به‌دلیل 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. امّا به‌نظر 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 ناحیهٔ توأم با افزایش بارندگی کشور که به‌صورت هسته‌های توأم با روند مثبت در شکل ٤- ب نشان داده‌شده‌اند، 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 ٤ 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، امّا روزهای توأم با بارش به‌ویژه بارش بیش از صدک ۷۵ (تا ٤ 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، کاهشی بوده است. در مقابل روزهای توأم با بارش (تا ۱۰ روز در دهه)، روزهای توأم با بارش برابر با یابیش از صدک ۷۵ و ۹۵ (به‌ترتیب تا ٤ و ۳ روز در دهه) افزایش داشته‌اند.

### ٤- نتیجه‌گیری

توزیع زمانی و مکانی بارش در ایران متأثر از وردایی زمانی – مکانی عوامل محلّی 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 وردایی و پراکنش زمانی – مکانی عناصر اقلیمی، به‌ویژه بارش، دانسته می‌شود. در پژوهش حاضر آشکارسازی روند بلندمدت بارش ایران، نقش عوامل محلّی – گردشی 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 نسخهٔ سوم پایگاه داده‌ای اسفزاری که حاصل میان‌یابی داده‌های بارش روزانه ۲۱۸۸ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی سازمان هواشناسی برای ٤٦ سال و با تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر است، استفاده شد.

یافته‌های پژوهش نشان داد که حاکمیت روند کاهشی مجموع سالانهٔ بارش (حداقل ۱میلی‌متر در سال و عمدتاً ٤-۱ میلی‌متر در سال) غالب‌ترین چهرهٔ روند بارشی ایران‌زمین (حدود ۸۰/۹ درصد پهنهٔ کشور که از این میان حدود ۳۳/۵۸ درصد پهنه‌های توأم با روند کاهشی معنی‌دار) است. این روند با کاهش حدود ۱/٤ میلیارد مترمکعب آب ورودی به منظومهٔ آب‌شناختی کشور همراه بوده است.

نواحی مختلف، روند سالانهٔ بارشی متفاوتی عرضه می‌کنند. روند کاهشی با مقدار ٤-۱ میلی‌متر در سال، گسترهٔ 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 براین، روند کاهشی در عمدهٔ نواحی

توأم با روند کاهشی معنی‌دار، حاصل کاهش بارش‌های پرمقدار است؛ درحالی‌که بارش‌های کم‌مقدار و نیز بارش‌های بهنجار عمدتاً تغییرات معنی‌داری را تجربه نکرده‌اند.

با عنایت به آنچه که گفته شد، و با توجه به شرایط موجود، به‌نظر می‌رسد سرزمین ما در آینده با شدت بیشتری با شرایط ناهنجار بارشی و احتمالاً کم‌آبی، خشکی و تشدید آن مواجه خواهد بود. شایسته است سیاست‌گذاران و حاکمان عرصهٔ آب کشور در خصوص مقابله با این شرایط، سازگاری (در فعالیت‌های آب‌بَری نظیر کشاورزی، صنعت و ...) و یا انتخاب منابع آبی جایگزین، اِعمال مدیریت نموده و شگردهای برنامه‌ریزی شایسته‌ای اتخاذ کنند.

**کتابنامه**


احمدی، محمود؛ داداشی، عباسعلی؛ ۱۳۹۵. ارزیابی آهنگ رفتار زمانی –مکانی بارش در دو دههٔاخیر در ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. شماره ۹۷. صص ٤٦٥-٤٨٤.

اکبری، مهری؛ نودهی، وحیده؛ ۱۳۹٤. بررسی و تحلیل روند بارش سالانه و تابستانه استان گلستان. *آمایش جغرافیایی فضا*. شماره ۱۷. صص ۱۵۰-۱٤۱.

بینش، نگین؛ نیک‌سخن، محمدحسین؛ سارنگ، امین؛ ۱۳۹٦. آشکارسازی روند تغییرات دما و بارش سالانه و فصلی تهران طی دورهٔ ۲۰۱٤-۱۹۸٤. *نیوار*. شماره ٤. صص ٤٦-۳٦.

تقوی، فرحناز و محمدی، حسین؛ ۱۳۸٦. بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به‌منظور شناخت پیامدهای زیست‌محیطی. *محیط‌شناسی*. شماره ٤۳. صص ۲۰-۱۱.

جهانبخش اصل، سعید؛ ساری صراف، بهروز؛ عساکره، حسین؛ شیرمحمدی، سهیلا؛ ۱۳۹۹. شناسایی رخدادهای بارش فرین در غرب ایران (۲۰۱٦-۱۹٦۵). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*. انتشاریافته به‌صورت الکترونیکی.

خوش‌روش، مجتبی؛ میرناصری، محمد؛ پسرکلو، مهسا؛ ۱۳۹٦. آشکارسازی روند تغییرات بارش شمال کشور با استفاده از آزمون غیرپارامتری من- کندال. *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*. شماره ۱٦. صص ۲۳۰-۲۲۳.

دارند، محمد؛ دولتیاری، زهرا؛ اصلانی اسلمرز، فریبا؛ عزیزی، یسری؛ ۱۳۹۳. بررسی رفتار فرین‌های بارش و دمای کرمانشاه به کمک آزمون‌های آماری. *فضای جغرافیایی*. شماره ٤٦. صص ۲۳۳-۲۱۳.

رسولی، علی‌اکبر؛ بابائیان، ایمان؛ قائمی، هوشنگ؛ زواررضا، پیمان؛ ۱۳۹۰. ارتباط بین بارش‌های فصلی ایران و دمای پهنه‌های آبی منطقه‌ای. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. شماره ۵۸. صص ٦۷-۸۰.

عساکره، حسین؛ ۱۳۸٦. تغییرات زمانی و مکانی بارش ایران طی دهه‌های اخیر. جغرافیا و توسعه. شماره ۱۰. صص ۱٦٤-۱٤۵.

----------؛ ۱۳۸۲. بررسی آماری روند بارش سالانهٔ تبریز. فضای جغرافیایی. شماره۱۰. 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 ایـران. جغرافیا و توسعه. شماره ۵۸. صص ۱۳۲-۱۱۳.

عساکره، حسین؛ ترکارانی، فاطمه؛ سلطانی، صغری؛ ۱۳۹۱. مشخصات زمانی - مکانی بارش‌های روزانهٔ فـرین بالـا در شمال‌غرب ایران. تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۲۵. صص ۵۳-۳۹.

عساکره، حسین؛ حسینجانی، لیلا؛ ۱۳۹۸. واکاوی روابط مکانی فراوانی رخداد ماهانـهٔ بارش‌هـای فـرین بالـا در ناحیـهٔ خزری (۲۰۱٦-۱۹٦٦). *جغرافیا و توسعه*. شماره ۵۵. صص ٤٤-۲۳.

عسکری، احمد؛ رحیم زاده، فاطمه؛ محمدیان، نوشین؛ فتاحی، ابراهیم؛ ۱۳۸٦. تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حـدی در ایران. *تحقیقات منابع آب ایران*. شماره ۹. صص ٤۲-۵۵

علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۵. *آب‌وهوای ایران*. انتشارات دانشگاه پیام نور.

غیور، حسنعلی؛ مسعودیان، سیدابوالفضل؛ ۱۳۷۵. بررسی نظام تغییرات مجمـوع بـارش سـالانه در ایـران‌زمین. *نیـوار*. شماره ۲۹. صص٦۰-۲۷.

کاویانی، محمدرضا؛ عساکره، حسین؛ ۱۳۸٤. بررسی آماری روند بلندمدت بارش سالانهٔ اصـفهان. *مجلـه پژوهشـی دانشگاه اصفهان علوم انسانی*. شماره۱. صص ۱٤۳- ۱٦۲.

کتیرایی، پری‌سیما؛ حجام، سهراب؛ ایران‌نژاد، پرویز؛ ۱۳۸٦. سهم تغییـرات فراوانـی و شـدت بـارش روزانـه در رونـد بارش در ایران طی دوره ۱۹٦۰ تا ۲۰۰۱. *فیزیک زمین و فضا*. شماره ۳۳. صص ٦۷-۸۳.

کیانی، مهرداد؛ لشکری، حسن؛ قائمی، هوشنگ؛ ۱۳۹۸. واکاوی اثر رشته‌کوه‌های زاگرس بر تغییرات بارش‌های سودانی در غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*. شماره ۷۵. صص ٤۰-۱۷.

لشکری، حسن؛ متکان، علی‌اکبر؛ آزادی، مجید؛ محمدی، زهرا؛ ۱۳۹۵. تحلیل همدید نقش پرفشار عربسـتان و رودبـاد جنب‌حاره‌ای در کوتاه‌ترین طول دورهٔ بارشی جنوب و جنوب‌غرب ایران. *علوم‌محیطی*. شماره٤. صص ۵۹-۷٤.

محمدی، بختیار؛ ۱۳۹۰. تحلیل روند بارش سالانه ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. شماره ٤۳. صص ۱۰٦-۹۵.

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۸. گزارش بارش‌های اسفند ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ حوضه‌های سیل‌زده ایـران. هیئـت ویژه گزارش ملی سیلاب. کارگروه اقلیم‌شناسی و هواشناسی. منتشر نشده.

مسعودیان، سیدابوالفضل؛ دارند، محمد؛ ۱۳۹۲. شناسایی و بررسی تغییرات نمایه‌های بارش فرین ایـران طـی دهـه‌های اخیر. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*. شماره۲۰. صص ۲۵۷-۲۳۹.

مقیمی، ابراهیم؛ ۱۳۷۸. تحلیل آماری رطوبت نسبی و بارندگی تهـران در یـک دورهٔ سـی‌سـاله. *تحقیقـات جغرافیـایی*. شماره ٥٤. صص ٦۱-٤۳.

منتظری، مجید؛ ۱۳۸۸. تحلیل زمانی مکانی بارش‌های فرین روزانه در ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. شماره ۳٤. ۱٤۰-۱۲۵.

میرعباسی نجف‌آبادی، رسول؛ دین‌پژوه، یعقوب؛۱۳۹۱. تحلیل روند تغییرات بارش‌های شمال‌غرب ایران در نیم‌قـرن گذشته. *علوم و مهندسی آبیاری (مجلهٔ 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.

Anagnostopoulou1 Chr, Tolika1 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.