

وردایی فصل بارش ایران

محدثه وزیری مهر^۱، حسین عساکره^{۲*} و محسن حمیدیان پور^۳

^۱ دانشجوی دکترا اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۲ استاد، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۳ دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، سیستان و بلوچستان، ایران

(دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷، پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۵)

چکیده

وردایی فصل بارش، به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک، نظیر ایران، می‌تواند نقش و پیامدهایی مؤثر بر منابع آب، تولیدات کشاورزی و پایداری اکوسیستم‌ها داشته باشد. هدف پژوهش پیش‌رو، بررسی وردایی تقویمی (آغاز، پایان و طول) و نسبت بارش به بارش سالانه فصل بارش فراگیر و فصل بارش ناحیه‌ای ایران و مقایسه ویژگی‌های آنها در دو فاز اقلیمی متمایز، شامل دوره مرطوب (۱۹۶۰-۱۹۹۷) و دوره خشک (۱۹۹۸-۲۰۲۳)، است. بدین منظور، از داده‌های روزانه بارش ۷۲ ایستگاه همدید کشور با طول دوره آماری ۳۲ تا ۶۳ سال استفاده شد. به طوری که نتایج نشان می‌دهد در دوره دوم آغاز فصل بارش فراگیر در بسیاری از نواحی کشور با تاخیر و پایان آن زودتر رخ داده است؛ در نتیجه طول فصل بارش - به‌ویژه در نواحی شمال شرق، جنوب شرق و بخش‌هایی از جنوب غرب کشور - کاهش یافته است. همچنین، نقش متغیرهای مکانی شامل طول، عرض جغرافیایی و ارتفاع در تبیین تغییرات مکانی تقویم فصل بارش در نواحی مختلف کشور متفاوت بوده است. فصل بارش ناحیه‌ای نیز در دوره خشک دچار کاهش تداوم و افت بارش شده است؛ بیشترین کاهش در شمال شرق و جنوب شرق کشور مشاهده گردید. این یافته‌ها بیانگر تغییرات ساختاری در چرخه فصلی بارش ایران و بازتابی از واکنش سامانه‌های باران‌زا به دگرگونی‌های اقلیمی اخیر است.

کلمه‌های کلیدی: تغییرپذیری، تغییرات اقلیمی، رژیم بارندگی، تغییرات زمانی و مکانی، رگرسیون چند متغیره

۱ مقدمه

تفاوت‌های فصلی-تقویمی بارش، تکوین چرخه سالانه کمابیش مشخصی را به همراه دارد (سونگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ تان و همکاران، ۲۰۲۰). این چرخه فصلی یکی از واداشتهای اصلی سامانه‌های طبیعی و نیز فعالیت‌های اقتصادی و دیگر مشخصات جامعه بشری است. بنابراین، وردایی (تغییرپذیری) آن می‌تواند پیوند نزدیکی با خطرات مرتبط (نظیر خشکسالی و سیل) داشته باشد (هو و همکاران، ۲۰۱۷؛ مائو و همکاران، ۲۰۲۲). وردایی را می‌توان در گروه‌های متعددی از تغییرات، نظیر نوسان، حالت (فاز)، جهش، و پی‌آبی ردیابی کرد. رخداد توأم این رویدادها در یک سری زمانی موجب پیچیدگی در فهم، واکاوی و تفهیم مشخصات سری زمانی می‌شود (عساکره، ۱۳۹۶). گاه این وردایی در سامانه آب‌شناختی جهانی دوره‌های شدید مرطوب و خشک را در طیف وسیعی از مقیاس‌های زمانی به دنبال دارد (آکولا و همکاران ۲۰۱۸). به عبارت دیگر، یکی از جلوه‌های خشکسالی-ترسالی در وردایی تقویم و فصل بارش قابل ردیابی است (هنلی و همکاران، ۲۰۱۵؛ سیگر و تینگ، ۲۰۱۷) و می‌تواند اثرات ژرف و شگرفی بر بسیاری سامانه‌های طبیعی (نظیر منابع آب و منابع طبیعی دیگر) و سامانه‌های اجتماعی-اقتصادی از جمله کشاورزی داشته باشد. توزیع فصلی مناسب و تقویم پایدار بارش به فراهم کردن زیستگاه و منابع غذایی برای حیات وحش کمک می‌کند و در نتیجه از تنوع زیستی محلی محافظت می‌کند (الکساندر و همکاران، ۲۰۲۵؛ هو و همکاران، ۲۰۱۷). در مواردی که تقویم فصل بارندگی مختل می‌شود، چرخه‌های زیستی نیز ممکن است متأثر شود و به نوبه خود عملکرد محصولات کشاورزی (اک و همکاران، ۲۰۲۰) و امنیت آب (آسوکا و همکاران، ۲۰۱۷) به خطر افتد. تولید کشاورزی به شدت به نظم فصل بارش وابسته است و تغییرات ناگهانی در فصل بارش ممکن است تأثیر

منفی بر اقتصاد کشاورزی، به ویژه در مناطق کشاورزی دیم داشته باشد (پاندا و شو، ۲۰۱۹). مطالعات پیشین نشان داده است که وردایی فصل بارش می‌تواند پایداری بسیاری از اکوسیستم‌ها (هسو و همکاران، ۲۰۱۲) مانند مراتع معتدل ساوانا (اینکوت و همکاران، ۲۰۲۲) و اکوسیستم‌های خشک نواحی حاره (روهر و همکاران، ۲۰۱۳) را تهدید کند. بنابراین، وردایی فصل بارش می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر معیشت جمعیت انسانی، تولیدات کشاورزی و پایداری اکوسیستم داشته باشد. از این رو درک وردایی فصل بارش و سازوکارهای مرتبط با آن به ویژه در مناطق خشک جهانی، ضروری و از اهمیت زیادی برخوردار است.

وردایی اخیر فصل و تقویم بارش به گرمایش جهانی و غالباً به تغییرات اقلیمی نسبت داده شده است (IPCC، ۲۰۰۷؛ سنا و همکاران، ۲۰۱۸؛ حمیدیان پور و همکاران، ۱۴۰۲). این وردایی به شکل تغییر در طول فصل‌های خشک و زمان وقوع فصل‌های مرطوب جلوه می‌کند. با این وجود، اگرچه فرضیه گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی کنونی، توسط بخش بزرگی از جامعه اقلیم‌شناسان جهان مورد آزمایش و تأیید قرار گرفته است (برای مثال، هیئت بین دولتی تغییرات اقلیمی (IPCC) در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۷، ۲۰۱۳)، اما تغییر چرخه بارندگی در بستر گرمایش جهانی کم‌تر مورد توجه بوده است (آلان و همکاران، ۲۰۱۰). گرمایش جهانی الگوهای مکانی و زمانی بارندگی، فراوانی رخداد بارش‌های فرین و سایر ویژگی‌های بارش، نظیر فصل بارش را نیز تغییر می‌دهد (کومار و همکاران، ۲۰۱۳). از مهم‌ترین ویژگی‌های این تغییرات، دگرگونی در شدت و سرعت چرخه‌های فصلی عناصر اقلیمی را می‌توان یاد کرد. وردایی فصل بارش در مطالعات جهانی به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است (برای مثال، اوموتوشو و همکاران، ۲۰۰۲؛ تدارس و همکاران، ۲۰۰۵؛ موگالای و همکاران

رشته کوه‌های البرز و زاگرس از میان عوامل محلی، مهم-ترین تاثیر را در اقلیم ایران دارند. این رشته کوه‌ها به‌ترتیب از شمال‌غربی به شمال‌شرقی و از شمال‌غربی به جنوب‌شرقی کشیده شده‌اند. همچنین دو دریای بزرگ در شمال و جنوب، کشور ایران را با تنوعی خاص و کم‌نظیر توأم ساخته است. مجموعه این عوامل باعث پراکندگی زمانی - مکانی ناموزون بارش در سراسر کشور شده است (خام‌چین و همکاران، ۱۳۸۹؛ ثقفی و همکاران، ۱۴۰۰).

ویژگی‌های بارش (نظیر میزان، شدت، تداوم، توزیع زمانی و توزیع مکانی) اهمیت ویژه‌ای در جنبه‌های اساسی حیات انسانی (نظیر فعالیت‌های اقتصادی و منابع آب) دارد (جلالی و همکاران، ۱۳۹۸). در داخل خاک ایران منبع رطوبتی چشمگیری وجود ندارد. دریاچه‌ها و یا رودهای داخلی در حدی نیستند که بتوانند رطوبت بارش نواحی مجاور خود را تامین کنند. آنها بیشتر به‌صورت محلی و در تغییر مقدار رطوبت نسبی و مطلق هوا اثر دارند. در نتیجه رطوبت بارش‌های ایران از منابع آبی مجاور مانند دریای خزر و یا منابع دور مانند دریای مدیترانه، اقیانوس هند و... تامین می‌شود. بخار آب این منابع به وسیله بادهای منطقه‌ای یا سیاره‌ای به ایران آورده می‌شوند.

۲-۲ داده‌ها

در پژوهش پیش‌رو به‌منظور دریافت نتایجی که واقعیت اقلیمی را دقیق‌تر بیان دارد، ایستگاه‌هایی انتخاب شدند که دوره آماری ثبت داده طولانی‌تر و کم‌ترین آمار گمشده را داشتند. برای شناسایی حداقل طول دوره آماری مناسب برای هر ایستگاه، از روش میانگین شناور بررسی و نرم (هنجار) اقلیمی (مسعودیان، ۱۳۹۰). هر ایستگاه تعیین شد. بر این اساس، ایستگاه‌هایی که مقادیر بارش آن‌ها به نرم آماری رسیده بود، به‌عنوان ایستگاه‌های واجد شرایط

۲۰۰۸؛ مارتو و همکاران، ۲۰۱۱). از سوی دیگر، برخی مطالعات انجام شده در مناطق محدودی از ایران نشان داده‌اند که فصل بارش در کشور دارای وردایی قابل توجهی است (علیچانی، ۱۳۹۱؛ ثنایی و همکاران، ۲۰۲۰؛ عساکره و ورناسری قندعلی، ۱۴۰۰، عساکره و همکاران، ۲۰۲۲).

در پژوهش حاضر، به‌منظور ارائه تصویری هرچند کلی از تغییرات فصل بارش در ایران، با استفاده از مجموعه داده‌های روزانه بارندگی ایران از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۳، وردایی دوره‌ای فصل بارش براساس روش‌های ساده اما دقیق آماری بررسی شده است. هدف اصلی این مطالعه بررسی وردایی (تغییر پذیری) فصل بارش است. این مهم با پنج شاخص بنیادین شامل تاریخ آغاز و پایان فصل بارش، طول فصل بارش، نسبت بارش فصل بارندگی به بارش سالانه و در نهایت اختلاف فصل بارش در دو فاز آماری مورد تحلیل قرار گرفته است.

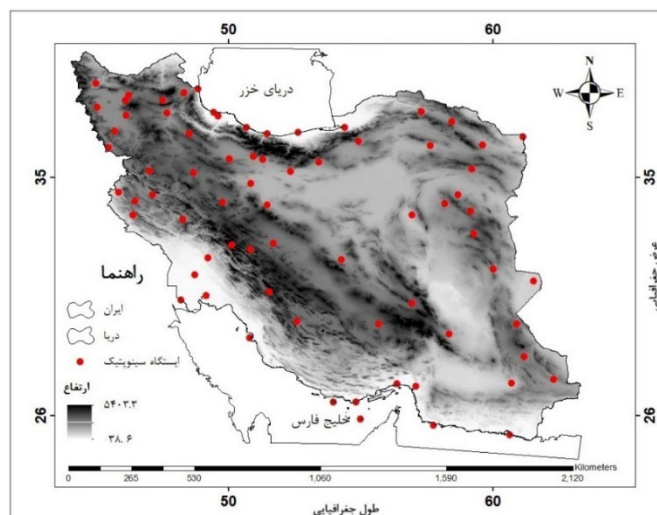
۲ داده‌ها و روش‌ها

۱-۲ محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش، محدوده مورد مطالعه سرزمین ایران است. کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸،۱۹۵ کیلومتر مربع در نیمکره شمالی و در قاره آسیا بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). حدود دوسوم کشور را اقلیم خشک و نیمه خشک فرا گرفته است (مسعودیان، ۱۳۹۰). کم‌ترین بارندگی سالانه در بیابان لوت تنها چند میلی‌متر و حتی در بعضی سال‌ها صفر است و بیشترین آن در بندر انزلی بیش از ۱۵۰۰ میلی‌متر در سال است. بر اساس نظر سازمان هواشناسی جهانی (WMO) نرمال اقلیمی را می‌توان برای دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ به‌دست آورد. بر این اساس، میانگین بارش سالانه ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر برآورد شده است.

ایستگاه همدید کشور، تحت نظارت سازمان هواشناسی کشور، حداکثر با طول دوره آماری ۶۳ ساله (۱۹۶۰-۲۰۲۳) و حداقل ۳۲ سال (شکل ۱) استفاده شد.

برای ادامه تحلیل انتخاب شدند. بدین ترتیب، از منظر آماری، مقایسه تغییرات در ایستگاه‌ها با طول دوره آماری متفاوت میسر می‌شود. از این رو از داده‌های بارش ۷۲



شکل ۱. توزیع ارتفاعی ایران و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه.

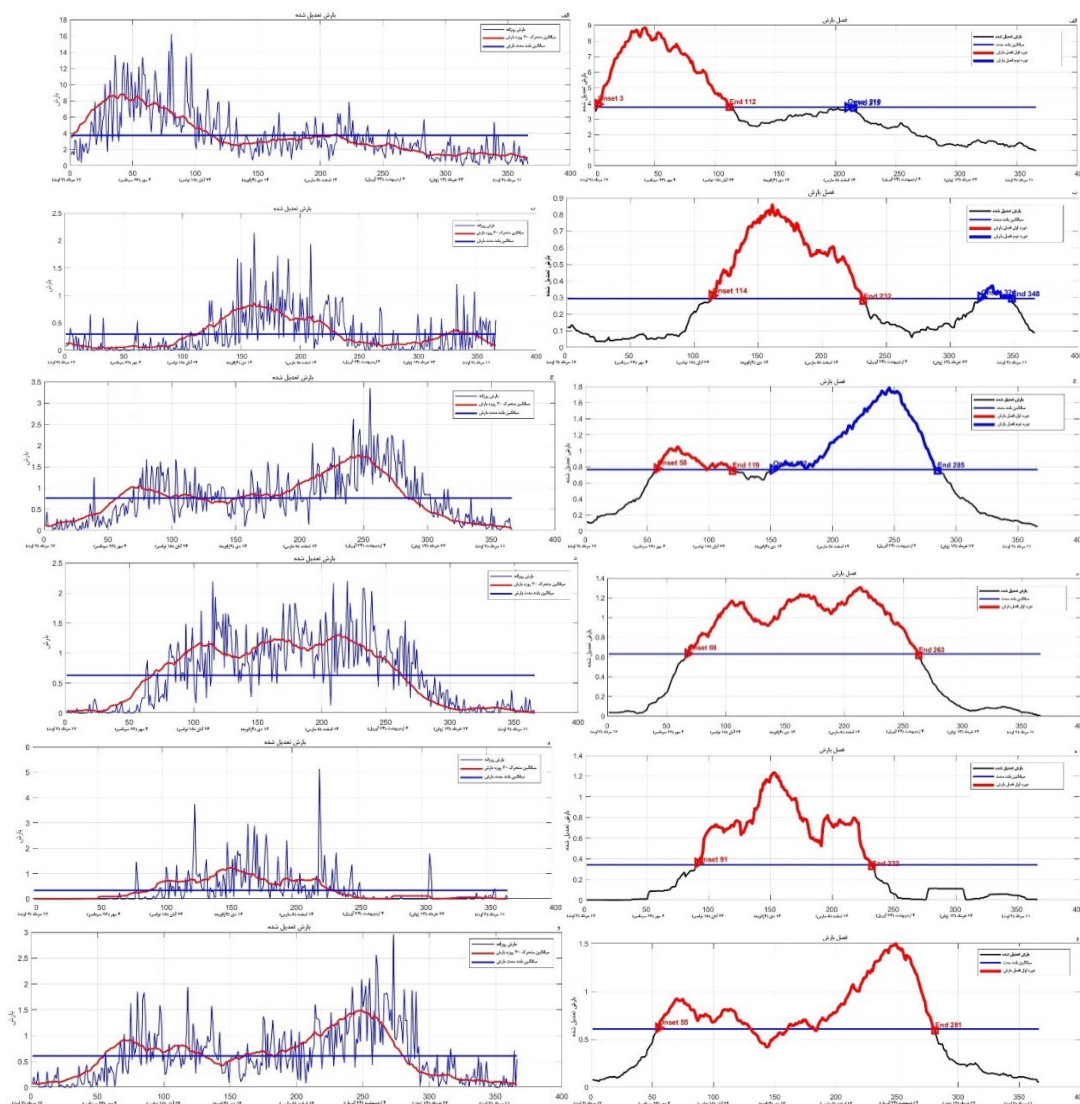
۳-۲ روش‌ها

در این راستا نخست، برای شناسایی فصل بارندگی در ایران، از روش توسعه‌یافته میانگین متحرک توسط عساکره و ترکارانی (۱۳۹۹) استفاده شده است. این روش مبتنی بر هموارسازی سری‌های زمانی بارش روزانه با میانگین متحرک ۳۰ روزه است. هموارسازی روشی است که بتواند نوسانات شدید و تصادفی بارش روزانه را کاهش داده و الگوی عمومی بارش را آشکار سازد. در روش عساکره و همکاران (۲۰۲۰)، میانگین درازمدت ۳۶۶ روزه بارش روزانه به عنوان آستانه‌ی مرجع در نظر گرفته شده است. بر این اساس، دوره‌هایی که میانگین متحرک ۳۰ روزه از میانگین سالانه یک محل، فراتر رود و حداقل ۳۰ روز تداوم داشته باشد، به عنوان فصل بارندگی آن محل تعریف می‌شود. نقاط گذار از وضعیت خشک به مرطوب و بالعکس، به ترتیب به عنوان آغاز و پایان فصل بارش شناسایی شده‌اند.

شکل ۲ نمونه‌هایی از روش فوق را برای ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد که در آن‌ها برخی ایستگاه‌ها با ویژگی‌های بارندگی متفاوت (ایستگاه‌های آستارا، ایرانشهر، تبریز، تهران، جاسک و سهند) قرار دارند. در تمام مثال‌ها، سه منحنی ارائه شده است (بارش روزانه (خط آبی پیوسته نازک)، میانگین متحرک ۳۰ روزه بارش (خط قرمز) و خط افقی که میانگین بلندمدت سالانه بارش را نشان می‌دهد). میانگین بارش ۳۶۶ روز به عنوان معیاری برای تمایز فصل بارش و فصل خشک در نظر گرفته شد. با مقایسه میانگین متحرک با میانگین بارش ۳۶۶ روزه، فصل خشک (میانگین متحرک کم‌تر از میانگین) و فصل بارش (میانگین متحرک بیش‌تر از میانگین) با تداوم دست کم ۳۰ روز، قابل تعریف هستند. نمودارهای ارائه شده در شکل ۲ میانگین بلندمدت بارش روزانه ایستگاه‌ها را در مقیاس روز ژولین (۱ تا ۳۶۶) نشان می‌دهند. در این نمودارها، برای هر روز

فصل بارش و حتی شیب کاهش- افزایش مقادیر بارندگی و الگوی فصل بارانی-خشک در شش ایستگاه هواشناسی منتخب بسیار متنوع است. به عنوان نمونه، آستارا فصل بارش را از ۱۰ اگوست تا ۲۸ نوامبر (به مدت حدود ۴ ماه) تجربه کرد.

ژولین، میانگین بارش روزانه بر اساس کل دوره آماری ایستگاه‌ها محاسبه و سپس با استفاده از میانگین متحرک ۳۰ روزه هموارسازی شده است تا چرخه سالانه بارش و زمان آغاز و پایان فصل‌های بارانی، مستقل از نوسانات بین سالی، مشخص شود. بنابراین، این شکل‌ها بیانگر رفتار اقلیمی میانگین بارش هستند. بر این اساس، آغاز و پایان



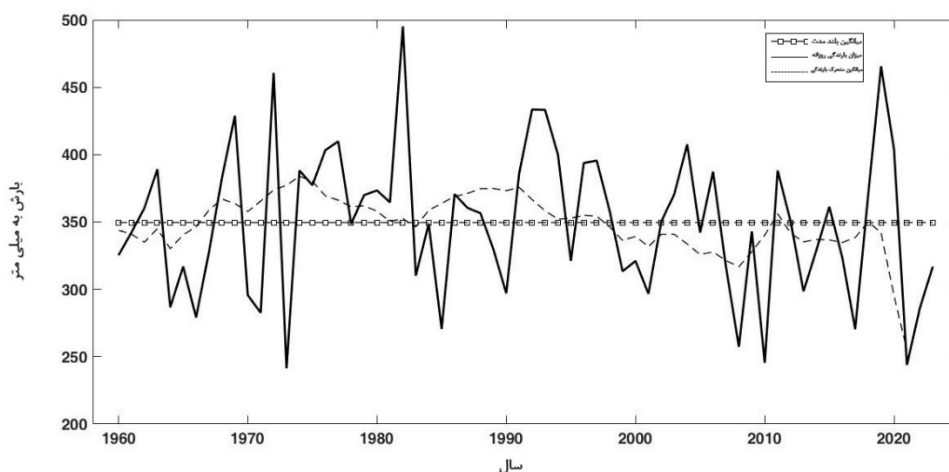
شکل ۲. میانگین روزانه، میانگین ۳۶۶ روزه و میانگین متحرک ۳۰ روزه بارش شش ایستگاه منتخب ایران (به ترتیب از بالا آستارا (الف)، ايرانشهر (ب)، تبریز (ج)، تهران (د)، جاسک (ه)، سهند (و)).

از زمستان تا بهار (به طور متوسط از ۴ ژانویه تا ۱۶ می) که توسط یک فصل خشک در پاییز-زمستان (۵ اکتبر تا ۳

در حالی که تبریز دو فصل بارش داشت؛ فصل کوتاه در پاییز (به طور متوسط از ۷ اگوست تا ۱۳ اکتبر) و فصل بلند

ژانویه) از هم جدا می‌شد. همچنین ایرانشهر نیز با دو فصل بارش مشخص می‌شود؛ فصل بلند از اواخر پاییز تا اوایل بهار (به‌طور متوسط از ۳۰ نوامبر تا ۲۴ مارس) و فصل کوتاه در تابستان (به‌طور متوسط از ۲۲ جون تا ۱۷ جولای). به‌طور متوسط، فصل بارندگی در تهران، جاسک و سهند به‌ترتیب از ۱۳ اکتبر تا ۲۵ مارس (حدود ۷ ماه)، از ۵ نوامبر تا ۲۷ مارس (حدود ۵ ماه) و از ۱۱ اکتبر تا ۱۱ می (حدود ۸ ماه) ادامه داشته که سهند بیشترین طول فصل بارش و آستارا کم‌ترین آن را دارد. براساس تعریف ارائه شده، فصل بارش مؤلفه‌ای پر نوسان است. از این رو مطالعه سال به سال فصل بارش و تغییرات آن تصویری صحیح و پایدار از فصل بارش ارائه نخواهد کرد. از این رو به‌نظر می‌رسد که مقایسه متوسط مقاطع زمانی مختلف، الگوی مناسب‌تری برای تحلیل مهیا سازند. بدین منظور میانگین فضایی بارش ایران براساس ایستگاه‌های مورد

مطالعه برای هر سال محاسبه و برآورد شد. سری زمانی حاصل در شکل ۳ ارائه شده است. این سری، که با خط نوسانی در نمودار نمایش داده شده است، بیانگر فراز و فرودهای بارش در طول زمان است. برای تعیین آستانه مقاطع زمانی، میانگین بلندمدت بارش سالانه به‌عنوان مبنایی برای تشخیص فازها و بررسی انحرافات ساختاری در بارش کشور را فراهم آورد. به‌منظور آشکارسازی روندهای بلندمدت و کاهش اثر نوسانات سالانه، از میانگین متحرک ۱۰ ساله نیز استفاده شد. این میانگین هموار شده، امکان شناسایی دو فاز مشخص اقلیمی را فراهم نمود: فاز اول (دوره مرطوب) از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۷، که در آن میانگین متحرک بارش در بیشتر سال‌ها بالاتر از میانگین کل قرار داشته و فاز دوم (دوره خشک) از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۳، که در آن میانگین متحرک بارش به‌طور نسبتاً پیوسته زیر خط میانگین کل قرار گرفته است.



شکل ۳: میزان بارندگی روزانه، میانگین بلند مدت و میانگین متحرک بارندگی ایران.

برای تحلیل وردایی فصل بارش، پنج شاخص کلیدی (تاریخ آغاز و پایان فصل بارش، طول فصل بارش، نسبت بارش فصل بارندگی به بارش سالانه و در نهایت اختلاف فصل بارش) براساس فازهای یاد شده در بالا مورد بررسی قرار گرفت. این تحلیل شناسایی الگوها و امکان مقایسه

ساختار فصل بارش در دو بازه اقلیمی متفاوت را فراهم ساخت.

همچنین، برای تحلیل و الگوسازی فضایی از معادلات رگرسیونی استفاده شد. این روش‌ها به‌عنوان رویکردهایی مطرح‌اند که افزون بر تبیین روابط

در سطح معنی داری ۰/۰۵ (سطح اطمینان ۹۵ درصد) انجام گرفت تا مشخص شود آیا تفاوت مشاهده شده در میانگین زمان آغاز بارش بین دو دوره از نظر آماری معنادار است یا خیر. بدین منظور همین آزمون برای زمان پایان فصل بارش نیز اجرا شد تا الگوهای تغییرات وردایی فصل بارش به طور کامل تر تحلیل شود. اعتبارسنجی خروجی های پژوهش بر پایه ارزیابی دامنه تغییرات و آماره p (p_value) صورت گرفته است.

۳ یافته ها

۳-۱ اقلیم شناسی فصل بارش

پراکنش مکانی ویژگی های فصل بارش فراگیر در ایران (شکل ۴- سمت راست) نشان می دهد که این فصل به صورت تدریجی و مرحله به مرحله سراسر کشور را دربر می گیرد. آغاز این فصل طی چهار گام زمانی و در حدود چهار ماه رخ داده و نخستین نشانه های آن از سواحل دریای خزر ظاهر شده است. سپس بارش ها به سمت شمال غرب، غرب و بخش هایی از شمال شرق گسترش یافته و در ادامه با گرایش به نواحی شرقی و جنوب شرقی، کل کشور را تحت پوشش قرار داده اند. بررسی روابط مکانی نشان می دهد که در ناحیه خزری، زمان آغاز بارش بیشتر تحت تأثیر ارتفاع است، در غرب کشور نقش ناهمواری ها برجسته تر بوده و در شرق ایران، طول و عرض جغرافیایی اهمیت بیشتری یافته اند.

شروع زودهنگام بارش در سواحل جنوبی دریای خزر در فصل پاییز را می توان در ارتباط با استقرار الگوهای همدیدی خاص و برهم کنش چند سامانه جوی در مقیاس منطقه ای تبیین کرد. در بسیاری از رخدادهای بارشی این ناحیه، گسترش پرفشار سبیری و تقویت جریان های شمالی و شمال شرقی بر روی دریای خزر، همراه با نفوذ ناوه ها و سامانه های کم فشار عرض های

چند متغیره، الگوی این روابط را نیز آشکار می سازند (عساکره و همکاران، ۱۴۰۰). الگوی رگرسیونی وسیله ای جهت تشریح تغییر پذیری متغیر وابسته (y) در اثر تغییر متغیر مستقل (x) است (حسینجانی، ۱۳۹۹). در رگرسیون چند متغیره، میزان تغییر در متغیر وابسته، در اثر تغییر دو یا چند متغیر مستقل بررسی می شود. در این معنا تغییرات مکانی متغیر وابسته (در این جا بارش) توسط متغیرهای مختصاتی (طول و عرض جغرافیایی) و ارتفاع توجیه می شود. در این صورت معادله آن به شکل زیر خواهد بود (عساکره، ۱۴۰۰).

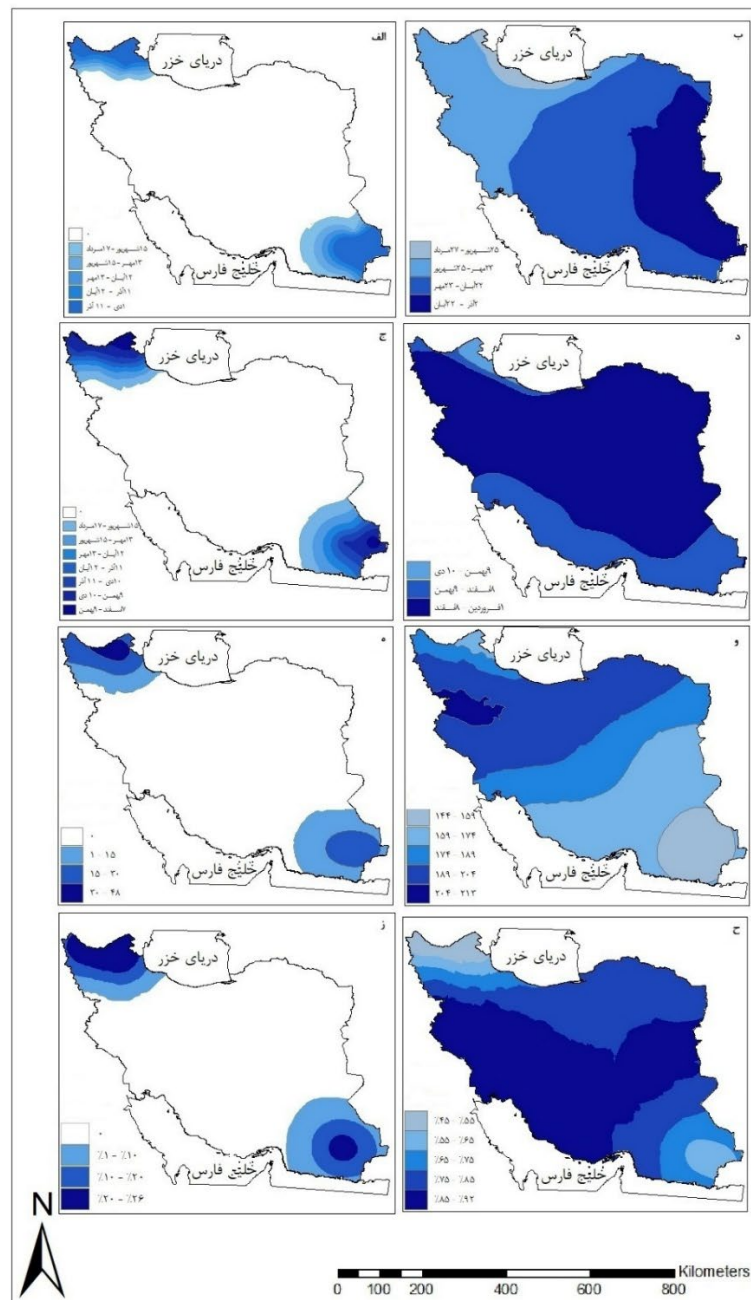
$$Y_i = a + b_1x_{i1} + b_2x_{i2} + \dots + b_kx_{ik} + e_i \quad (1)$$

بر آورد ضرایب رگرسیون چند متغیره براساس روش کم ترین مربعات خطا با استفاده از عملیات جبری بر ماتریس ها و از طریق حل هم زمان چند معادله خطی امکان پذیر است. این معادلات به معادلات نرمال موسومند (عساکره، ۱۴۰۰).

در نهایت به منظور بررسی معنی دار بودن تغییرات زمانی آغاز فصل بارش بین دو دوره اقلیمی مورد مطالعه، از آزمون مقایسه میانگین دو جامعه مستقل (Independent Two Sample Mean Test) استفاده شد. فرض کنید که $x_1, \dots, x_n$ یک نمونه ی تصادفی از جامعه ای نرمال با میانگین μ و واریانس σ^2 باشد. در این صورت متغیر تصادفی

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (2)$$

دارای توزیعی است که توزیع t با n-1 درجه آزادی نامیده می شود. توزیع t، شباهت های زیادی با توزیع نرمال استاندارد دارد. چگالی این توزیع نیز متقارن است و مد آن ۰ است (وحیدی اصل، ۱۳۹۸). در این تحلیل، داده های مربوط به زمان آغاز بارش در ۷۲ ایستگاه همدیدی کشور برای دو دوره اقلیمی مستقل (دوره مرطوب و دوره خشک) مورد مقایسه قرار گرفت. آزمون



همکاران، ۱۳۹۶؛ سلیقه، ۱۳۹۶). در حالی که در غرب ایران، نفوذ بادهای غربی و گاهی جریان‌های سودانی- دریای سرخ در نیمه نخست پاییز، زمینه‌ساز بارش‌های فراگیر شده‌اند (عساکره و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین در مطالعات محمدی و لشکری (۱۴۰۱) نتایج نشان داده است که ۷۷ درصد بارش دوره سرد سواحل شمالی خلیج فارس از سامانه سودانی مستقل تأمین می‌شود. نتایج رگسیون چندمتغیره نشان می‌دهد که در ناحیه شمالی کشور، متغیرهای مکانی سهم بالایی در تبیین تغییرات بارش دارند، هرچند تنها عامل معنادار ارتفاع بوده و با افزایش آن، مقدار بارش کاهش یافته است. در مقابل، ناحیه شمال غرب و غرب کشور به دلیل تأثیرپذیری مستقیم از سامانه‌های مقیاس بزرگ جوی، آغاز فصل بارش را تقریباً مستقل از ویژگی‌های توپوگرافیک تجربه می‌کند (علیجانی، ۱۳۸۱). در نواحی مرکزی، شرقی و جنوب شرقی، آغاز بارش فراگیر با ارتفاع و در برخی موارد با عرض جغرافیایی رابطه‌ای مثبت و معنادار دارد. پایان فصل بارش فراگیر نیز الگوی مکانی مشخصی دارد؛ به گونه‌ای که سواحل دریای خزر زودتر از سایر نواحی وارد مرحله پایان بارش می‌شوند. این پدیده احتمالاً به تضعیف ناپایداری‌های همرفتی خزری در اثر کاهش اختلاف دمای هوا و سطح دریا مرتبط است (عساکره و همکاران، ۲۰۲۲). آخرین نواحی که پایان فصل بارش را تجربه می‌کنند، در امتداد محور شمال غرب به شرق کشور قرار دارند؛ جایی که ارتفاع و عرض جغرافیایی نقش تعیین‌کننده‌تری دارند. بیشترین تداوم بارش در شمال غرب ایران و کم‌ترین آن در مناطق مرکزی و جنوب شرق مشاهده می‌شود که با کاهش همگرایی شار رطوبتی و جابه‌جایی مسیر چرخندها به عرض‌های بالاتر قابل توضیح است (عساکره و همکاران، ۲۰۲۳).

تحلیل رگرسیونی پایان فصل بارش نشان می‌دهد که

در بخش‌های جنوبی کشور، متغیرهای مکانی به‌ویژه طول جغرافیایی و ارتفاع، بیشترین سهم را در تبیین تغییرات بارش دارند؛ به طوری که با افزایش طول جغرافیایی، بارش کاهش و با افزایش ارتفاع، مقدار آن افزایش می‌یابد. در برخی نواحی دیگر، به دلیل محدودیت تعداد ایستگاه‌ها، امکان تحلیل آماری دقیق فراهم نبوده است. طول فصل بارش فراگیر در کشور تفاوت چشمگیری دارد و از بیش از هفت ماه در شمال غرب ایران تا حدود چهار تا پنج ماه در جنوب شرق و بخش‌هایی از غرب دریای خزر متغیر است. عساکره و همکاران (۲۰۲۲) تمرکز بارش‌ها در فصل پاییز و کاهش بارندگی‌های بهاره را از عوامل اصلی کوتاه شدن این دوره در ناحیه خزری می‌دانند. در جنوب غرب و ناحیه‌ای کم‌انرژی در مرکز ایران، طول فصل بارش به بیشترین مقدار خود می‌رسد. از نظر سهم بارش، بیشترین نسبت بارش فصل فراگیر به بارش سالانه در امتداد جنوب غرب به شرق کشور مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده غلبه سازوکارهای بارشی فصل سرد است (علیجانی، ۱۳۸۱) و با ناحیه تحت تأثیر چرخندهای مدیترانه‌ای و همگرایی رطوبتی از دریای سرخ و خلیج فارس هم‌خوانی داشته است (عساکره و همکاران، ۲۰۲۲). در مقابل، سواحل خزر و شمال غرب کشور به دلیل تنوع سامانه‌های بارشی، سهم کم‌تری از بارش سالانه را در این فصل دریافت می‌کنند (مسعودیان، ۱۳۹۰؛ علیجانی، ۱۳۹۴).

در مقابل، فصل بارش ناحیه‌ای (شکل ۴- سمت چپ) تنها به بخش‌هایی محدود از کشور اختصاص دارد و مرکز ایران عملاً فاقد این نوع فصل بارش است. این فصل عمدتاً در شمال غرب، بخش‌هایی از غرب دریای خزر و جنوب شرق کشور رخ می‌دهد و اختلاف زمانی آغاز آن میان شمال غرب و جنوب شرق به چند ماه می‌رسد. در مطالعات برخی از اقلیم‌شناسان (نظیر مرادی، ۲۰۰۴؛ مسعودیان، ۱۳۹۰؛ علیجانی، ۱۳۹۴؛ عساکره، ۲۰۲۰؛

عساکره و رزمی، ۱۳۹۱؛ عساکره و ورناصری ۱۴۰۰) تفاوت سازوکارهای بارشی در این نواحی تأیید شده است؛ به طوری که در شمال غرب، الگوهای جوی میان مقیاس نقش اصلی را ایفا می کنند (عساکره، ۲۰۱۷؛ عساکره و رزمی، ۱۳۹۱)، در حالی که در جنوب شرق، بارش ها بیشتر تحت تأثیر جریان های موسمی قرار دارند (علیچانی و همکاران، ۱۳۹۰). بیشترین تداوم بارش ناحیه ای در شمال غرب و کمترین آن در جنوب شرق کشور مشاهده می شود.

نتایج آماری نشان می دهد که در ناحیه شمال غرب، بخش عمده تغییرات بارش ناحیه ای توسط متغیرهای مکانی و ارتفاعی قابل توضیح است و ارتفاع به عنوان تنها عامل معنادار، با بارش رابطه ای معکوس دارد. در جنوب شرق، به دلیل تعداد محدود ایستگاه ها، امکان تحلیل رگرسیونی فراهم نبوده است. طول دوره بارش ناحیه ای در شمال غرب به بیش از دو ماه می رسد، در حالی که در جنوب شرق و غرب دریای خزر کم تر از یک ماه است. از نظر سهم بارش، بیشترین نسبت بارش ناحیه ای به بارش سالانه در شمال غرب کشور مشاهده شده و کمترین مقدار آن به جنوب شرق و غرب دریای خزر تعلق دارد. عساکره و همکاران (۲۰۲۲) این کمبود در جنوب شرق ایران را به فاصله تا مسیر چرخندها و کاهش همگرایی شار رطوبتی نسبت داده اند. همچنین در جنوب غرب دریای خزر این تغییرات با افزایش دمای سطح دریا و ناپایداری های همرفتی هم راستا بوده اند.

۳-۲-۲ وردایی فصل بارش

بر اساس ملاک ها و روش های به کار رفته در پژوهش پیش رو، وردایی فصل بارش در ایران طی دو دوره اقلیمی (فاز مرطوب: ۱۹۶۰-۱۹۹۷ و فاز خشک: ۱۹۹۸-۲۰۲۳) مورد بررسی و برای هر دوره حداکثر دو فصل بارش شامل فصل بارش فراگیر و فصل بارش ناحیه ای در ایران

تشخیص داده شد. فصل بارش فراگیر در ایران از نواحی شمالی تر - غربی تر آغاز و تدریجاً به سمت نواحی شرقی تر - جنوبی تر ادامه می یابد. این رویداد در دوره ای پیوسته از سال رخ می دهد تا سرتاسر ایران را پوشش دهد (عساکره و همکاران، ۲۰۲۲). از این رو این فصل بارش، فصل بارش فراگیر نامگذاری شده است. برخی از مناطق ایران (از جمله شمال غرب، بخش هایی از سواحل دریای خزر و جنوب شرق ایران) علاوه بر این که یک فصل بارش را همزمان با بارش فراگیر تجربه می کنند، خود واجد بارش های منحصر بفردی هستند که در این تحقیق بارش ناحیه ای خوانده شده اند. در این بخش وردایی این دو فصل بارش و نیز تغییر نقش نسبی مختصات جغرافیایی (λ ، طول جغرافیایی، φ ، عرض جغرافیایی) و ارتفاع (H) در تقویم بارش با استفاده از رگرسیون فضایی و آماره های مربوط بررسی خواهد شد. همچنین نتایج به دست آمده از به کارگیری آماره t نشان داد که تغییرات زمان آغاز و پایان فصل های بارش، در هر دو دوره اقلیمی مرطوب و خشک، در سطح معناداری ۹۵ درصد اطمینان متفاوت بوده اند. به عبارت دیگر، اختلاف های مشاهده شده در تقویم بارش ایران میان دو فاز اقلیمی صرفاً حاصل نوسانات تصادفی نبوده و بیانگر تغییرات معنادار در الگوی زمانی بارش ها است. این یافته ها حاکی از آن است که هم در دوره مرطوب و هم در دوره خشک، زمان بندی آغاز و خاتمه فصل های بارش دستخوش دگرگونی های قابل توجهی شده که از نظر آماری معنادار بوده و می تواند پیامدهای مهمی در تحلیل های اقلیمی داشته باشد.

۳-۲-۱ وردایی تقویم فصل بارش فراگیر

در شکل ۵ تقویم (آغاز، پایان، طول) فصل بارش و نیز نسبت بارش فصل بارش به بارش سالانه (به درصد) را برای فصل بارش فراگیر طی دو فاز مورد مطالعه، به همراه

اختلاف آن‌ها نشان داده است.

چنان که در شکل ۵ دیده می‌شود، در فاز اول (دوره مرطوب)، آغاز فصل بارش فراگیر در ایران در طی پنج مرحله رخ داده است. فاصله زمانی میان نخستین و آخرین مرحله فصل بارش حدود چهار ماه برآورد می‌شود؛ در واقع اولین و آخرین نواحی، تقریباً با چهار ماه اختلاف، فصل بارش را تجربه می‌کنند. همان‌طور که در شکل ۵-الف مشاهده می‌شود، این فصل از سواحل دریای خزر آغاز شده و به تدریج نواحی شمال‌غرب، غرب و بخش‌هایی از شمال‌شرق را دربر می‌گیرد؛ سپس با حرکت تدریجی به سمت شرق و جنوب‌شرق، سراسر کشور را پوشش می‌دهد.

آغاز فصل بارش از سواحل دریای خزر را می‌توان به فعالیت و گسترش پرفشار سبیری در فصل پاییز (جهانبخش و کرمی، ۱۹۹۹) و همچنین تشکیل پرفشار دریای سیاه (مسعودیان، ۱۳۹۰) و جریان‌های همرفت وزشی ناشی از آن‌ها بر روی دریای خزر نسبت داد (علیجانی، ۱۳۹۴؛ سلیقه، ۱۳۹۶). افزون بر این، بارش فراگیر در غرب ایران تحت تأثیر نفوذ بادهای غربی و جریان‌های همراه آن در نیمه نخست پاییز بوده است؛ جریانی که به دلیل کاهش دما و عقب‌نشینی فشار زیاد دینامیکی به عرض‌های جنوبی شکل گرفته و در برخی موارد، جریان‌های سودانی - دریای سرخ نیز در آن نقش داشته‌اند (عساکره و همکاران، ۲۰۲۲).

الگوی نهایی رگرسیون چند متغیره مشخصات فصل بارش - متغیرهای مکانی (طول - عرض جغرافیایی و ارتفاع) در ناحیه اول (خزری) و ناحیه دوم (شمال‌غرب، غرب و نواری در امتداد جنوب البرز) با هیچ یک از عوامل مکانی ارتباط معنی‌داری ندارد. این نواحی معمولاً اولین بخشی از کشور است که بارش خود را از سامانه‌های بزرگ مقیاس جوی دریافت می‌دارد (علیجانی، ۱۳۸۱). از این رو مستقل از مختصات توپوگرافیک، فصل

بارش را آغاز می‌کنند. ناحیه سوم (ایران مرکزی، شمال شرقی و منتهی الیه جنوب شرق) در قیاس با نواحی دیگر، بیشترین تغییرات مکانی (۲۸٪) را توجیه نموده که عامل مؤثر در این ناحیه ارتفاع (۲۷/۰) بوده است. در ناحیه چهارم (شرق کشور) نیز آغاز فصل بارش فراگیر با عرض جغرافیایی ارتباطی معنی‌داری و مثبت (۲/۸) داشته است. آغاز فصل بارش فراگیر در فاز خشک (دوره دوم) طی پنج مرحله رخ داده و فاصله زمانی میان نخستین و آخرین مرحله آن حدود پنج ماه بوده است. همان‌طور که در شکل ۵-ب مشاهده می‌شود، این فصل همانند دوره اول از سواحل دریای خزر آغاز شده و به تدریج نواحی شمال‌غرب، غرب و بخش‌هایی از شمال‌شرق را دربر گرفته است؛ سپس با حرکت تدریجی به سمت شرق و جنوب‌شرق، سراسر کشور را پوشش داده است. تفاوت جزئی این دوره با دوره اول، جابجایی مرحله دوم فصل بارش در مناطق شمال‌غربی و غربی بود. با عنایت به نقشه‌های ارائه شده در شکل ۵-ستون اول و مقایسه آن با نقشه‌های ستون دوم، که به ترتیب نمایانگر دوره‌های مرطوب و خشک هستند، می‌توان دریافت که در دوره مرطوب، آغاز فصل بارش در برخی از نواحی کشور چون جنوب‌شرقی (چابهار، ایرانشهر و سراوان) با تقدم زمانی و برخی نواحی شمال‌غربی (مانند اردبیل، مهاباد، تبریز و سراب)، جنوب‌غربی (از جمله اهواز، آبادان و بندرماهشهر) با تأخیر همراه بوده است، در حالی که در دوره خشک، همان نواحی بالعکس با تأخیر یا پیش‌افتادن مواجه بوده و پهنه‌های متناظر با تاریخ‌های آغاز زودهنگام فصل بارش به‌طور محسوسی کوچک‌تر شده و جای خود را به پهنه‌هایی با تاریخ‌های دیرتر (اواخر آبان تا آذر) داده‌اند. این جابه‌جایی به‌ویژه در نواحی شمال‌غربی، جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی کشور برجسته است؛ تاریخ آغاز فصل بارش در برخی نواحی دوره مرطوب حدود ۱۵ تا ۲۵ روز زودتر از دوره خشک ثبت شده است. به

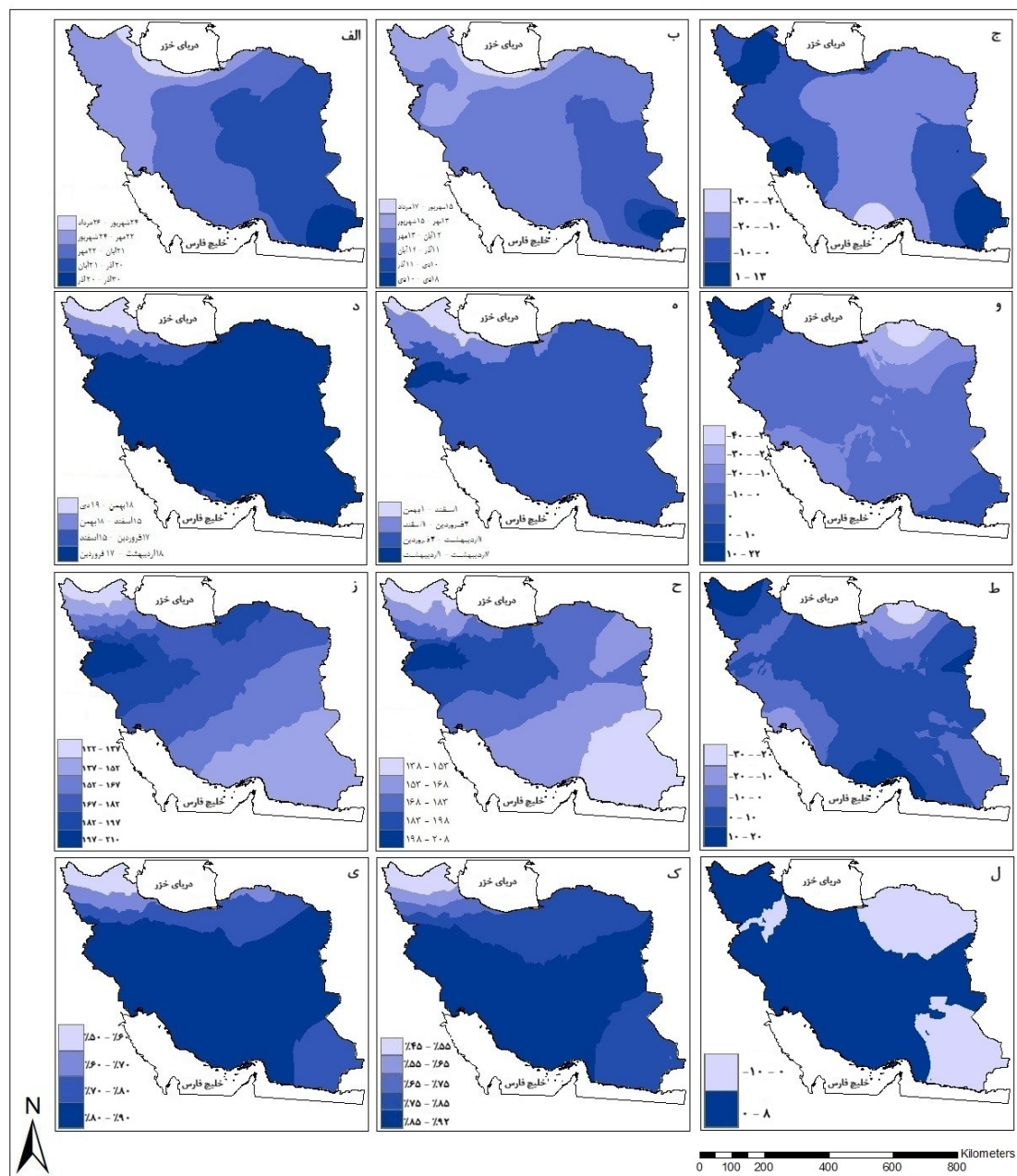
طور مثال در شرق و جنوب شرقی بارش در دوره مرطوب از اواخر آبان (۲۱ آبان الی ۳۰ آذر) و در دوره خشک با تأخیر از اواسط آذر (۱۱ آذر الی ۱۸ دی) آغاز شده است. این جابه‌جایی زمانی نشان‌دهنده تأثیر مستقیم شرایط ترسالی و خشکسالی بر رفتار زمانی سامانه‌های بارشی است. در دوره مرطوب، تقویت همرفت‌های پاییزه، افزایش تضادهای حرارتی و گسترش سامانه‌های باران‌زا موجب شده‌اند تا فصل بارش زودتر آغاز شود؛ در حالی که در دوره خشک، تضعیف این عوامل منجر به عقب‌نشینی سامانه‌ها و تأخیر در شروع بارندگی شده است. این یافته‌ها با نتایج مطالعات عساکره و همکاران (۲۰۲۳)، بهرامی و همکاران (۲۰۲۲)، ربیعی و همکاران (۱۴۰۳) و سعادت‌آبادی (۲۰۲۵) هم‌خوانی دارد و تأکیدی بر نقش کلیدی دینامیک‌های جوی در تنظیم تقویم فصل بارش در ایران است.

بر اساس جدول ۱، جهت‌گیری بارش فراگیر در ناحیه غربی تحت تأثیر هر سه عامل مکانی تغییر کرده و در نواحی شرقی بیش از همه با طول جغرافیایی و ارتفاع رابطه‌ای معنی‌داری نشان داده است. الگوی نهایی رگسیون چند متغیره بارش - متغیرهای مکانی (طول - عرض جغرافیایی و ارتفاع) در ناحیه شمالی و شمال غربی، در قیاس با نواحی دیگر، بیشترین تغییرات مکانی بارش (۸۲٪) را توجیه می‌کند. هر سه عامل مکانی در این ناحیه معنی‌دار بوده است. به شرط ثابت بودن بقیه متغیرهای مکانی، به‌ازای هر متر افزایش ارتفاع، بارش ۰/۲۷ میلی‌متر کاهش می‌یابد. این نوع رابطه منفی، توسط علیجانی (۱۳۷۴) نیز گزارش شده است. در ناحیه سوم (غرب، ایران مرکزی، شمال شرقی و منتهی الیه جنوب شرق) عامل مؤثر ارتفاع (۰/۲۷) و طول جغرافیایی (۲۰/۱-) بوده است. ناحیه چهارم (شرقی) با هیچ‌یک از عوامل مکانی ارتباط معنی‌داری ندارد.

پایان فصل بارش فراگیر با چهار تاریخ متفاوت رخ داده است (شکل ۵-د). سه مرحله نخستین در غرب و جنوب دریای خزر مشاهده شده است. در واقع، سواحل شمالی نخستین ناحیه‌ای هستند که پایان فصل بارش فراگیر را تجربه می‌کنند؛ وضعیتی که احتمالاً ناشی از کاهش اختلاف دما میان هوا و آب دریا و تضعیف فرآیند همرفت وزشی، به‌عنوان سازوکار اصلی بارش پاییزه در ناحیه خزری، است (عساکره و همکاران، ۲۰۲۲).

آخرین مرحله پایان بارش نیز در امتداد محور غرب به شرق ایران رخ داده و تحت تأثیر عرض جغرافیایی و ارتفاع بوده است. بیشترین تداوم بارش در شمال غرب کشور و کم‌ترین آن در نواحی مرکزی و شرق مشاهده شده است؛ کاهشی که به کاهش همگرایی شار رطوبتی و جابجایی مسیر چرخندها به عرض‌های بالاتر نسبت داده می‌شود (عساکره و همکاران، ۲۰۲۳).

با توجه به نقشه‌های ستون دوم شکل ۵، که بیانگر دوره خشک هستند، تاریخ‌های پایان فصل بارش در بسیاری از نواحی کشور نسبت به دوره مرطوب (ستون اول) به‌طور محسوسی زودتر رخ داده‌اند. این تغییر می‌تواند به کاهش همگرایی شار رطوبتی، افزایش پایداری جو و جابجایی مسیر چرخندها به عرض‌های بالاتر نسبت داده شود (مسعودیان، ۱۳۹۰؛ علیجانی، ۱۳۹۴؛ عساکره و همکاران، ۲۰۲۳). بازه‌های زمانی کوتاه‌تر (اواسط فروردین تا اوایل اردیبهشت) در پهنه‌های مرکزی و شرقی کشور (از جمله ایستگاه‌های یزد، کرمان، بیرجند و زاهدان) نشان‌دهنده پایان زودهنگام فصل بارش در این مناطق است؛ در حالی که در دوره مرطوب، همین پهنه‌ها با تاریخ‌های دیرتر (اواخر اردیبهشت) مشخص شده‌اند که بیانگر تداوم بارش تا میانه فصل بهار است. این جابه‌جایی زمانی نشان می‌دهد که در شرایط خشکسالی، بارش‌ها زودتر قطع می‌شوند و بخش‌های مرکزی و شرقی کشور بیشترین تأثیر را از این



شکل ۵. توزیع مکانی آغاز (ردیف اول)، پایان (ردیف دوم)، طول فصل بارش (ردیف سوم)، نسبت بارش به بارش سالانه (ردیف چهارم) در دو فاز مرطوب (ستون چپ: ۱۹۶۰-۱۹۸۸)، خشک (ستون میانی: ۱۹۸۹-۲۰۲۳) و اختلاف آنها (ستون سمت راست) در فصل بارش فراگیر ایران.

بهمن تا اوایل فروردین) پایان فصل در این مناطق در بازه‌های دیرتر (۱۰-۱۵ روز) قرار گرفته است. این وضعیت احتمالاً ناشی از تداوم رطوبت منطقه‌ای و تغییرات دمایی هوا و سطح آب در حاشیه دریای خزر و شمال غرب کشور است (عساکره و همکاران، ۲۰۲۳).

تغییر می‌پذیرند. در مقابل، نواحی شمال غربی و خزری (ایستگاه‌هایی چون آستارا، خوی، مهاباد، مراغه، میانه، ارومیه، سهند، سراب، سردشت و تبریز) در دوره خشک نسبت به دوره مرطوب با اندکی تأخیر در پایان فصل بارش مواجه بوده‌اند؛ به گونه‌ای که تاریخ‌های (اوایل

جدول ۱: مدل‌های رگرسیون فضایی برازنده بارش در آغاز فصل بارش فراگیر ایران در دو فاز مرطوب (۱۹۶۰-۱۹۸۸) و خشک (۱۹۸۹-۲۰۲۳).

الگوی برازنده و فراسنج‌های مربوط	ناحیه	رگرسیون	الگوی برازنده و فراسنج‌های مربوط	ناحیه	رگرسیون
$R_i = 3274.1 - 327.81\lambda_i - 412\varphi_i - 24.1H_i + e_i$ $(0/09) \quad (0/22) \quad (0/24)$ P-value=0.19 F=4.28 $r^2=0.66$	ناحیه ۱	دوره دوم آغاز فصل بارش (دوره اول)	$R_i = 3274.1 - 327.81\lambda_i - 412\varphi_i - 24.1H_i + e_i$ $(0/09) \quad (0/22) \quad (0/24)$ P-value=0.19 F=4.28 $r^2=0.66$	ناحیه ۱	دوره اول آغاز فصل بارش (دوره اول)
$R_i = 3274.1 + e_i$ (عدم معنی داری) P-value=0.19 F=4.28 $r^2=0.66$	معادله برازنده		$R_i = 3274.1 + e_i$ (عدم معنی داری) P-value=0.19 F=4.28 $r^2=0.66$	معادله برازنده	
$R_i = 3648.3 - 21.8\lambda_i - 51.6\varphi_i - 0.27H_i + e_i$ $(0/008) \quad (0/00) \quad (0/00)$ P-value=0.00 F=26.7 $r^2=0.82$	ناحیه ۲		$R_i = 639.04 - 0.67\lambda_i - 8.22\varphi_i + 0.05H_i + e_i$ $(0/96) \quad (0/64) \quad (0/54)$ P-value=0.92 F=0.16 $r^2=0.02$	ناحیه ۲	
$R_i = 3648.3 - 21.8\lambda_i - 51.6\varphi_i - 0.27H_i + e_i$ $(0/00) \quad (0/00)$ $(0/008)$ P-value=0.00 F=26.7 $r^2=0.82$	معادله برازنده		$R_i = 639.04 + e_i$ (عدم معنی داری) P-value=0.92 F=0.16 $r^2=0.02$	معادله برازنده	
$R_i = 1573.6 - 20.1\lambda_i - 12.3\varphi_i + 0.1H_i + e_i$ $(0/628) \quad (0/002)$ $(0/02)$ P-value=0.002 F=5.93 $r^2=0.29$	ناحیه ۳		$R_i = 1311.3 - 8.5\lambda_i - 26.6\varphi_i + 0.27H_i + e_i$ $(0/71) \quad (0/15) \quad (0/01)$ P-value=0.03 F=3.67 $r^2=0.28$	ناحیه ۳	
$R_i = 1573.6 - 20.1\lambda_i + 0.1H_i + e_i$ $(0/02) \quad (0/002)$ P-value=0.002 F=5.93 $r^2=0.29$	معادله برازنده		$R_i = 1311.3 + 0.27H_i + e_i$ $(0/01)$ P-value=0.03 F=3.67 $r^2=0.28$	معادله برازنده	
$R_i = 80.54 - 0.067\lambda_i - 0.16\varphi_i + 0.03H_i + e_i$ $(0/9) \quad (0/9) \quad (0/14)$ P-value=0.4 F=1.01 $r^2=0.001$	ناحیه ۴		$R_i = -328.3 + 3.5\lambda_i + 8.2\varphi_i - 0.001H_i + e_i$ $(0/5) \quad (0/04) \quad (0/9)$ P-value=0.14 F=2.05 $r^2=0.14$	ناحیه ۴	
$R_i = 80.54 + e_i$ (عدم معنی داری) P-value=0.4 F=1.01 $r^2=0.001$	معادله برازنده		$R_i = -328.3 + 8.2\varphi_i + e_i$ $(0/04)$ P-value=0.14 F=2.05 $r^2=0.14$	معادله برازنده	

براساس الگوی رگرسیون چند متغیره، از میان نواحی چهارگانه پایان فصل بارش، مختصات جغرافیایی و ارتفاع ناحیه چهارم (بخش جنوبی)، بیشترین تغییرات مکانی بارش (۳۱٪) را توجیه می‌کند. در این ناحیه، از میان سه متغیر (طول - عرض جغرافیایی و ارتفاع) دو متغیر طول جغرافیایی و ارتفاع ارتباط معنی دار با بارش

داشته‌اند. به شرط ثابت بودن بقیه متغیرهای مکانی، با افزایش هر درجه طول جغرافیایی، به‌طور متوسط مقدار بارش حدود ۲۲/۹ میلی‌متر کاهش و با هر متر افزایش ارتفاع، بارش ۰/۱ میلی‌متر افزایش یافته است. ناحیه دوم و سوم (نواحی غربی و جنوبی خزر) نیز براساس ضرایب ارتفاع (۱/۱- و ۰/۷-) رابطه‌ای منفی و معنی‌داری را

شده و به تدریج به سمت خطوط ساحلی شمالی و جنوبی خزر گسترش یافته است. آخرین مرحله پایان بارش در امتداد محور غرب به شرق ایران رخ داده و تحت تأثیر عرض جغرافیایی و ارتفاع بوده است. براساس الگوی رگرسیون چند متغیره، از میان نواحی چهارگانه پایان فصل بارش، متغیرهای مکانی و ارتفاعی

منعکس می کنند. تحلیل رگرسیونی برای ناحیه اول، به دلیل کمبود شمار ایستگاه های هواشناسی، عقیم ماند. پایان فصل بارش فراگیر در دوره دوم (شکل ۵-ه) طی چهار مرحله و با فاصله زمانی حدود سه ماهه میان نخستین و آخرین مرحله رخ داده است. این دوره تفاوت چندانی با دوره اول نداشته و از غرب دریای خزر آغاز

جدول ۲. مدل های رگرسیون فضایی برازنده بر بارش در پایان فصل بارش فراگیر ایران در دو فاز مرطوب (۱۹۶۰-۱۹۸۸) و خشک (۱۹۸۹-۲۰۲۳).

رگرسیون	ناحیه	الگوی برازنده و فراسنج های مربوط	رگرسیون	ناحیه	الگوی برازنده و فراسنج های مربوط
دوره اول پایان فصل بارش (دوره اول)	ناحیه ۱	$R_i = 3023.8 - 313.6\lambda_i - 352.2\varphi_i - 1.02H_i + e_i$ $(0.07) \quad (0.06) \quad (0.03)$ $P\text{-value}=0.27 \quad F=6.68$ $r^2=0.81$	دوره دوم پایان فصل بارش (دوره اول)	ناحیه ۱	$R_i = 2605.4 + 2.5\lambda_i - 647.08\varphi_i - 0.85H_i + e_i$ $(0.09) \quad (0.26) \quad (0.07)$ $P\text{-value}=0.09 \quad F=61.1$ $r^2=0.97$
	معادله برازنده	$R_i = 3023.8 + e_i$ $(عدم معنی داری)$ $P\text{-value}=0.27 \quad F=6.68$ $r^2=0.81$		معادله برازنده	$R_i = 2605.4 + e_i$ $(عدم معنی داری)$ $P\text{-value}=0.09 \quad F=61.1$ $r^2=0.97$
	ناحیه ۲	$R_i = 1185.5 - 83.5\lambda_i - 177.4\varphi_i - 0.7H_i + e_i$ $(0.03) \quad (0.08) \quad (0.00)$ $P\text{-value}=0.00 \quad F=19.3$ $r^2=0.8$		ناحیه ۲	$R_i = -1838.4 - 49.8\lambda_i + 598.6\varphi_i - 1.1H_i + e_i$ $(0.06) \quad (0.18) \quad (0.02)$ $P\text{-value}=0.01 \quad F=23.7$ $r^2=0.91$
	معادله برازنده	$R_i = 1185.5 - 83.5\lambda_i - 177.4\varphi_i - 0.7H_i + e_i$ $(0.03) \quad (0.08) \quad (0.00)$ $P\text{-value}=0.00 \quad F=19.3$ $r^2=0.8$		معادله برازنده	$R_i = -1838.4 - 1.1H_i + e_i$ (0.02) $P\text{-value}=0.01 \quad F=23.7$ $r^2=0.91$
	ناحیه ۳	NAN (عدم معنی داری)		ناحیه ۳	$R_i = 1102.8 - 113.1\lambda_i - 111.5\varphi_i - 0.7H_i + e_i$ $(0.01) \quad (0.06) \quad (0.02)$ $P\text{-value}=0.04 \quad F=6.67$ $r^2=0.7$
	معادله برازنده	NAN (عدم معنی داری)		معادله برازنده	$R_i = 1102.8 - 0.7H_i + e_i$ (0.02) $P\text{-value}=0.04 \quad F=6.67$ $r^2=0.7$
	ناحیه ۴	$R_i = 1685.5 - 25.5\lambda_i - 6.39\varphi_i + 0.15H_i + e_i$ $(0.00) \quad (0.04) \quad (0.001)$ $P\text{-value}=0.00 \quad F=10.5$ $r^2=0.37$		ناحیه ۴	$R_i = 1388.1 - 22.9\lambda_i + 0.4\varphi_i + 0.1H_i + e_i$ $(0.000) \quad (0.09) \quad (0.01)$ $P\text{-value}=0.000 \quad F=8.67$ $r^2=0.31$
	معادله برازنده	$R_i = 1685.5 - 25.5\lambda_i + 0.15H_i + e_i$ $(0.00) \quad (0.001)$ $P\text{-value}=0.00 \quad F=10.5$ $r^2=0.37$		معادله برازنده	$R_i = 1388.1 - 22.9\lambda_i + 0.1H_i + e_i$ $(0.000) \quad (0.01)$ $P\text{-value}=0.000 \quad F=8.67$ $r^2=0.31$

در ناحیه چهارم (بخش جنوبی) بیشترین تغییرات مکانی بارش (۳۷٪) را توجیه می کند. در این ناحیه، از میان سه متغیر (طول - عرض جغرافیایی و ارتفاع) دو متغیر طول جغرافیایی و ارتفاع ارتباط معنی دار با بارش داشته اند. به شرط ثابت بودن بقیه متغیرهای مکانی، با افزایش هر درجه طول جغرافیایی، به طور متوسط مقدار بارش حدود ۲۵/۵ میلی متر کاهش و با هر متر افزایش ارتفاع، بارش ۰/۱۵ میلی متر افزایش یافته است. ناحیه دوم (شمال غربی و جنوب سواحل خزر) نیز با هر سه عامل مکانی دارای ارتباطی معنی داری بوده است. تحلیل رگرسیونی برای نواحی اول و سوم، به دلیل کمبود شمار ایستگاه های هواشناسی، عقیم ماند.

طبق نقشه‌ی ارائه شده در شکل ۵-ز، طول فاز مرطوب (دوره اول) بارش فراگیر در ایران (در بازه های ۱۵ روزه) به شش گروه طبقه بندی شده است. بر اساس این نقشه، بخش محدودی از نواحی غربی و شرق دریای خزر دارای بیشترین طول فصل بارش (بیش از شش ماه) بوده اند، در حالی که جنوب شرق و بخشی از غرب دریای خزر کوتاه ترین طول فصل بارش (۳ تا ۴ ماه) را به خود اختصاص داده اند. در دوره دوم (فاز خشک)، طول دوره بارش فراگیر (شکل ۵-ح) در قالب پنج طبقه مشخص شده است. بیشترین طول فصل بارش (بیش از شش ماه) مربوط به ناحیه ای کوچک در غرب کشور بوده و کوتاه ترین طول فصل بارش (۳ تا ۴ ماه) در شمال شرق، شرق و جنوب شرق ایران مشاهده شده است. عساکره و همکاران (۲۰۲۲) کاهش و تضعیف بارش های بهاره و تمرکز بارش در پاییز را از عوامل اصلی کمبود طول بارش در ناحیه ی خزری معرفی کرده اند.

در فصل بارش فراگیر، بیشترین مقدار نسبت بارش در فصل بارش به بارش سالانه (شکل ۵-ی) در امتداد جنوب غرب به شرق کشور مشاهده شد (بیش از ۸۰٪). این نواحی سازوکار بارشی محدود (فعالیت چرخندی در

فصل سرد) دارند (علیجانی، ۱۳۸۱) و با ناحیه تحت تأثیر چرخندهای مدیترانه ای و همگرایی رطوبتی از دریای سرخ و خلیج فارس هم خوانی داشته است (عساکره و همکاران، ۲۰۲۲). در مقابل، این نسبت در سواحل دریای خزر و شمال غرب ایران کم تر (حدود ۴۵ الی ۷۵٪) بوده است. این واقعیت را می توان به تنوع سازوکارهای بارش (سامانه های مدیترانه ای و سامانه های همرفتی) نسبت داد. حضور این سامانه ها در نواحی یاد شده در مطالعات علیجانی (۱۳۹۴) و مسعودیان (۱۳۹۰) نیز تأیید شده است. در جنوب شرق ایران، نسبت بارش در محدوده ۷۰ الی ۸۰٪ قرار داشت. در دوره دوم فصل بارش فراگیر (شکل ۵-ک)، مقدار نسبت بارش تغییر چندانی نداشته است.

در بخشی از نواحی شمال شرق، جنوب شرق و جنوب غرب ایران، کاهش چشمگیری در طول فصل بارش (شکل ۵-ط) مشاهده می شود؛ کاهشی که می تواند ناشی از تمرکز بارش در بازه کوتاه تر پاییز و افت بارش های بهاره باشد. در سایر نواحی کشور، افزایش طول فصل بارش فراگیر به چشم می خورد که بیانگر افزایش بارش در دوره دوم (۱۹۹۸-۲۰۲۳) است. همچنین بخش محدودی از نواحی شمال غربی، جنوبی و شرقی بیشترین طول فصل بارش را به خود اختصاص داده اند؛ امری که نشان دهنده تداوم نسبی فعالیت سامانه های بارشی در این مناطق است.

نسبت بارش فصل بارش به بارش سالانه (شکل ۵-ل) در نواحی جنوب شرق، شمال شرق و بخش محدودی از شمال غرب کشور کاهش یافته است، کاهشی که می تواند ناشی از پراکندگی بیشتر بارش در سایر ماه های سال یا کاهش کلی بارش سالانه باشد (دهقانی و همکاران، ۲۰۲۰؛ اشرفی و همکاران، ۲۰۲۵). در مقابل، در نواحی خزری، غربی و مرکزی تغییرات نسبت بارش اندک بوده و الگوی چند سازوکاری بارش همچنان

حفظ شده است؛ وضعیتی که بیانگر نقش همزمان سامانه‌های مدیرانه‌ای و سامانه‌های همرفتی در تداوم بارش این مناطق است (عساکره و همکاران، ۲۰۲۴).

بر اساس نقشه‌های ستون آخر شکل ۵، تغییرات منفی که به معنای کاهش طول فصل بارش و یا کاهش سهم بارش فصل بارش از بارش سالانه است، عمدتاً در بخش‌هایی از شمال شرق کشور، جنوب شرق ایران و نواحی‌ای از جنوب غرب مشاهده می‌شود. افزون بر این، بخش محدودی از شمال غرب ایران نیز به‌ویژه از نظر نسبت بارش فصل بارش به بارش سالانه، کاهش محسوسی را تجربه کرده است. این نواحی به‌طور کلی با کوتاه‌تر شدن بازه زمانی وقوع بارش و تمرکز آن در ماه‌های محدودتری از سال مواجه بوده‌اند.

در مقابل، تغییرات مثبت که بیانگر افزایش طول فصل بارش یا ثبات و حتی افزایش نسبت بارش فصل بارش به بارش سالانه است، در بخش عمده‌ای از غرب ایران، نواحی مرکزی کشور و سواحل دریای خزر دیده می‌شود. همچنین بخش‌هایی از شمال غرب، جنوب و شرق ایران بیشترین طول فصل بارش را به خود اختصاص داده‌اند که نشان‌دهنده تداوم نسبی فعالیت سامانه‌های بارشی در این مناطق است. این الگو بیانگر آن است که در نواحی یادشده، بارش‌ها در بازه زمانی گسترده‌تری از سال توزیع شده و فصل بارش فراگیر از پایداری بیشتری برخوردار بوده است. این تغییرات در برخی از مطالعات انجام شده در مناطق محدودی از ایران نشان داده شده است (علیجانی، ۱۳۹۱؛ ثنایی و همکاران، ۲۰۲۰؛ عساکره و ورناصری قندعلی، ۱۴۰۰؛ عساکره و همکاران، ۲۰۲۲).

نتایج نشان می‌دهد که در نواحی شمال شرق، جنوب شرق و بخش‌هایی از جنوب غرب ایران، کاهش طول فصل بارش همراه با افت نسبت بارش فصل بارش به بارش سالانه، بیانگر تمرکز زمانی بارش‌ها در بازه‌ای کوتاه‌تر است؛ به گونه‌ای که این تمرکز عمدتاً در فصل

سرد و در نواحی جنوب شرقی کشور در فصل گرم سال رخ می‌دهد. چنین الگویی می‌تواند منجر به افزایش شدت بارش‌ها، تشدید رخداد سیلاب‌های ناگهانی و کاهش کارایی فرایند تغذیه منابع آب زیرزمینی شود. در مقابل، در نواحی خزری، غربی و مرکزی کشور، ثبات یا افزایش طول فصل بارش همراه با تغییر اندک در نسبت بارش فصل بارش به بارش سالانه نشان‌دهنده پراکندگی زمانی بیشتر بارش در طول سال و وقوع بخشی از بارش‌ها خارج از فصل بارش فراگیر، عمدتاً در قالب سامانه‌های همرفتی یا انتقالی است. این الگو با کاهش تمرکز زمانی بارش، می‌تواند به تداوم رطوبت خاک و پایداری نسبی منابع آب کمک کند.

۲-۲-۳ وردایی تقویم بارش ناحیه‌ای

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، فصل بارش ناحیه‌ای تنها در بخش‌های محدودی از ایران رخ می‌دهد (عساکره و همکاران، ۲۰۲۲). شکل ۶ ویژگی‌های این فصل (آغاز، پایان، طول و نسبت بارش فصل بارش به بارش سالانه) را نشان می‌دهد. نقشه‌های ستون سوم در شکل ۶، اختلاف مکانی چهار شاخص اصلی فصل بارش ناحیه‌ای (آغاز، پایان، طول، نسبت بارش) را بین دو دوره اقلیمی (فاز مرطوب: ۱۹۶۰ الی ۱۹۹۷؛ فاز خشک: ۱۹۹۸ الی ۲۰۲۳) نشان می‌دهند. این اختلافات، بازتابی از تغییرات ساختاری در رفتار سامانه‌های باران‌زا و پاسخ اقلیم ایران به نوسانات جوی در مقیاس ناحیه‌ای هستند.

مطابق شکل ۶-الف، فصل بارش ناحیه‌ای صرفاً در نواحی شمال غرب، بخشی از غرب دریای خزر، شمال شرق و جنوب شرق کشور مشاهده شده است. فاصله زمانی آغاز فصل بارش میان این نواحی حدود ۶ تا ۷ ماه بوده است. مطالعات اقلیم‌شناسان (مرادی، ۲۰۰۴؛ مسعودیان، ۱۳۹۰؛ علیجانی، ۱۳۹۴؛ عساکره، ۲۰۲۰؛ عساکره و رزمی، ۱۳۹۱؛ عساکره و ورناصری، ۱۴۰۰)

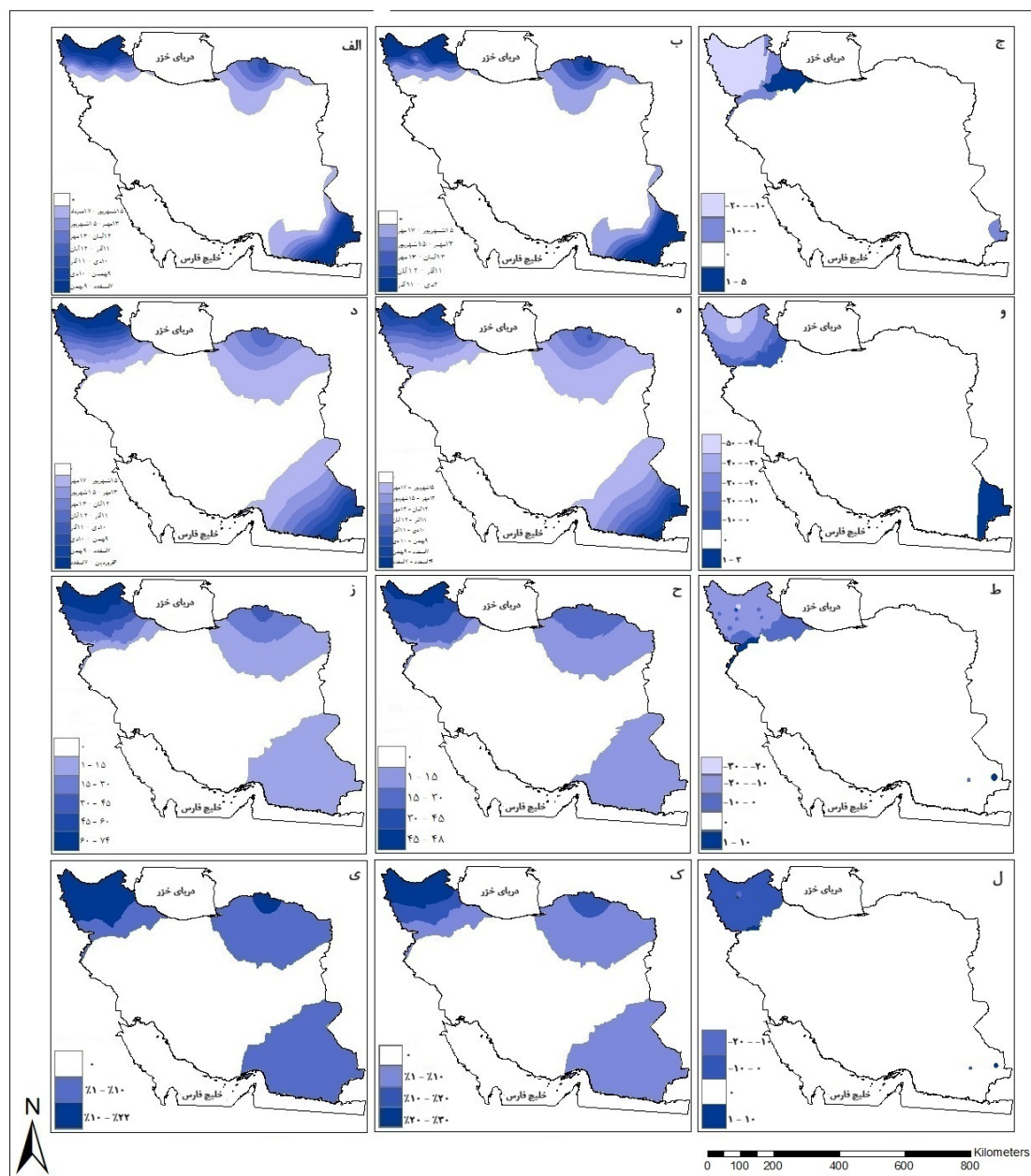
نشان داد که سازوکار بارش در هریک از این نواحی منحصر به فرد و متفاوت از دیگری است. بر اساس یافته‌های عساکره و رزمی (۱۳۹۱) و عساکره (۲۰۱۷) بخش عمده‌ای از بارش ناحیه‌ای در شمال غرب ایران تحت تأثیر الگوهای جوی میان‌مقیاس قرار دارد:

در شمال شرق، دو عامل اصلی نقش آفرین هستند: نخست رطوبت دریای خزر که در تابستان و اوایل پاییز موجب بارش‌های همرفتی کوتاه‌مدت و شدید می‌شود (عساکره و همکاران، ۲۰۲۴)، و دوم سامانه‌های مدیترانه‌ای که در پاییز و زمستان بارش این ناحیه را تأمین می‌کنند (علیجانی، ۱۳۸۱). با ورود زبانه‌های سرد و خشک پرفشار سبیری، مسیر سامانه‌های مدیترانه‌ای غالباً مسدود شده و مانع نفوذ آن‌ها به شمال شرق می‌شود؛ وضعیتی که موجب افزایش پایداری جو، کاهش همگرایی شار رطوبتی و در نتیجه کاهش بارش یا پایان زود هنگام فصل بارش می‌گردد (لشکری و یارمرادی، ۱۳۹۳؛ صلاحی و همکاران، ۲۰۲۰).

در جنوب شرق ایران نیز فصل بارش تحت تأثیر جریان‌های موسمی قرار دارد (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰). در مجموع، بیشترین تداوم بارش در شمال غرب کشور و کم‌ترین آن در شمال شرق مشاهده شده است. آغاز فصل بارش ناحیه‌ای در دوره دوم طی شش مرحله و با فاصله زمانی پنج‌ماهه در سه ناحیه شمال غربی، بخشی از غرب دریای خزر، شمال شرق و جنوب شرق ایران رخ داده است. همان‌طور که در شکل ۶-ب مشاهده می‌شود، مرحله آغاز بارش ناحیه‌ای مشابه دوره اول بوده، اما نسبت به فاز مرطوب (۱۹۹۸-۲۰۲۳) از تداوم کم‌تری برخوردار بوده است. بخشی از نواحی شمال غربی کشور (ایستگاه‌هایی چون اردبیل، آستارا، خوی، مهاباد، مراغه، میانه، ارومیه، سهند، سراب، سردشت و تبریز) و

جنوب شرقی ایران (ایستگاه سراوان)، از جمله مناطقی هستند که آغاز فصل بارش (شکل ۶-ج) در آن‌ها زودتر رخ داده است. در مقابل، تنها در بخش محدودی از جنوب غربی سواحل دریای خزر (ایستگاه‌هایی چون بندرانزلی، رامسر، رشت و زنجان) آغاز فصل بارش فراگیر با تأخیر همراه بوده است. عساکره و همکاران (۲۰۲۳) نیز در مطالعات خود به این تأخیر ۲۵ تا ۵۰ روزه اشاره کرده‌اند. به نظر می‌رسد این تأخیر ناشی از عواملی همچون تضعیف همرفت‌های پاییزه، کاهش تضادهای حرارتی و عقب‌نشینی سامانه‌های باران‌زا باشد؛ موضوعی که در پژوهش‌های پیشین (ربیعی و همکاران، ۱۴۰۳؛ بهرامی و همکاران، ۲۰۲۰؛ سعادت آبادی، ۲۰۲۵) نیز مورد تأیید قرار گرفته است.

پایان فصل بارش (شکل ۶-د، ه) ناحیه‌ای نیز با تداوم هشت‌ماهه، در مقایسه با دوره گذشته در سه ناحیه شمال غربی، شمال شرقی و جنوب شرقی کاهش یافته و کوتاه‌تر بوده است. پایان فصل بارش ناحیه‌ای (شکل ۶-و) در دوره دوم زودتر رخ داده است. این تغییر در نواحی شمال غرب کشور (ایستگاه‌هایی چون اردبیل، آستارا، بندرانزلی، خوی، مهاباد، مراغه، میانه، ارومیه، سهند، سراب، سردشت، تبریز و زنجان) مشهود است. چنین وضعیتی می‌تواند ناشی از کاهش همگرایی شار رطوبتی، افزایش پایداری جو و جابجایی مسیر چرخندها به عرض‌های بالاتر باشد (مسعودیان، ۱۳۹۰؛ علیجانی، ۱۳۹۴؛ عساکره و همکاران، ۲۰۲۳). در مقابل، در نواحی جنوب شرقی کشور (ایستگاه سراوان) پایان فصل بارش با اندکی تأخیر همراه بوده است؛ امری که بیانگر تفاوت‌های مکانی در پاسخ سامانه‌های بارشی به تغییرات اقلیمی اخیر است.



شکل ۶. توزیع مکانی آغاز (ردیف اول)، پایان (ردیف دوم)، طول فصل بارش (ردیف سوم)، نسبت بارش به بارش سالانه (ردیف چهارم) در دو فاز مرطوب (ستون چپ: ۱۹۶۰-۱۹۸۸)، خشک (ستون میانی: ۱۹۸۹-۲۰۲۳) و اختلاف آنها (ستون سمت راست) در فصل بارش ناحیه‌ای ایران.

جدول ۲. مدل‌های رگرسیون فضایی برازنده بر بارش در آغاز فصل بارش ناحیه‌ای ایران در دو فاز مرطوب (۱۹۶۰-۱۹۸۸) و خشک (۱۹۸۹-۲۰۲۳).

رگرسیون	ناحیه	الگوی برازنده و فراسنج‌های مربوط	رگرسیون	ناحیه	الگوی برازنده و فراسنج‌های مربوط
دوره اول آغاز فصل بارش (دوره دوم)	ناحیه ۱	$R_i = 1887.5 + 42.12\lambda_i - 66.8\varphi_i - 0.7H_i + e_i$ (۰/۴) (۰/۶) (۰/۰۰۰) P-value=0.000 F=28.8 $r^2=-0.89$	دوره دوم آغاز فصل بارش (دوره دوم)	ناحیه ۱	$R_i = 3274.1 - 327.81\lambda_i - 412\varphi_i - 24.1H_i + e_i$ (۰/۰۹) (۰/۲۲) (۰/۲۴) P-value=0.19 F=4.28 $r^2=-0.66$
	معادله برازنده	$R_i = 1887.5 - 0.7H_i + e_i$ (۰/۰۰۰) P-value=0.000 F=28.8 $r^2=-0.89$		معادله برازنده	$R_i = 3274.1 + e_i$ (عدم معنی داری) P-value=0.19 F=4.28 $r^2=-0.66$
	ناحیه ۲	$R_i = -3022.5 - 3.2\lambda_i - 102.3\varphi_i - 0.27H_i + e_i$ (۰/۹) (۰/۵) (۰/۲۷) P-value=0.39 F=3.09 $r^2=0.61$		ناحیه ۲	$R_i = 639.04 - 0.67\lambda_i - 8.22\varphi_i + 0.05H_i + e_i$ (۰/۹۶) (۰/۶۴) (۰/۵۴) P-value=0.92 F=0.16 $r^2=-0.02$
	معادله برازنده	$R_i = -3022.5 + e_i$ (عدم معنی داری) P-value=0.39 F=3.09 $r^2=0.61$		معادله برازنده	$R_i = 639.04 + e_i$ (عدم معنی داری) P-value=0.92 F=0.16 $r^2=-0.02$
	ناحیه ۳	$R_i = 1060.3 - 10.6\lambda_i - 11.8\varphi_i + 0.03H_i + e_i$ (۰/۲۹) (۰/۱۱) (۰/۱۸) P-value=0.002 F=3.03 $r^2=0.19$		ناحیه ۳	$R_i = 1311.3 - 8.5\lambda_i - 26.6\varphi_i + 0.27H_i + e_i$ (۰/۷۱) (۰/۱۵) (۰/۰۱) P-value=0.03 F=3.67 $r^2=0.28$
	معادله برازنده	$R_i = 1060.3 + e_i$ (عدم معنی داری) P-value=0.002 F=3.03 $r^2=0.19$		معادله برازنده	$R_i = 1311.3 + 0.27H_i + e_i$ (۰/۰۱) P-value=0.03 F=3.67 $r^2=0.28$

در بخشی از نواحی شمال غرب کشور و جنوب غرب سواحل خزر، کاهش قابل توجهی در طول فصل بارش (شکل ۶-ط) مشاهده می‌شود؛ کاهشی که می‌توان آن را ناشی از تمرکز بارش در بازه کوتاه‌تر پاییز و افت بارش‌های بهار دانست. در مقابل، در بخش محدودی از جنوب شرق (به صورت نقطه‌ای) و شمال غرب (به صورت محدوده‌ای با محور خطی محدود)، افزایش طول فصل بارش رخ داده است؛ وضعیتی که بیانگر افزایش نه چندان زیاد بارش در دوره دوم (۱۹۹۸-۲۰۲۳) و نشان‌دهنده تداوم نسبی فعالیت سامانه‌های بارشی در این مناطق است. بر اساس الگوی نهایی رگرسیون چندمتغیره، ۸۹٪ بارش ناحیه‌ای در ناحیه اول (شمال غربی) توسط متغیرهای مختصاتی - ارتفاع توضیح داده می‌شود؛ با این حال تنها عامل معنی‌داری از نظر آماری ارتفاع بوده است، به گونه‌ای که با افزایش ارتفاع، بارش به طور متوسط ۰/۷ میلی‌متر کاهش می‌یابد و با افزایش هر درجه عرض جغرافیایی، بارش به طور متوسط حدود ۱۷۹/۶ میلی‌متر کاهش می‌یابد.

مطابق جدول ۳، بارش ناحیه‌ای در نواحی شمال غربی (ناحیه اول) و شمال شرقی (ناحیه دوم) به دلیل پراکندگی کم‌تر ایستگاه‌ها فاقد معنای آماری است. بر اساس الگوی نهایی رگرسیون چندمتغیره، ۲۸٪ از بارش ناحیه‌ای در ناحیه سوم (جنوب شرقی) توسط مختصات - ارتفاع توضیح داده می‌شود؛ با این حال تنها عامل معنی‌داری از نظر آماری ارتفاع بوده است؛ به گونه‌ای که با افزایش ارتفاع، بارش به طور متوسط ۰/۲۷ میلی‌متر افزایش می‌یابد. همچنین در ناحیه جنوب شرقی، ۶۶٪ بارش ناحیه‌ای توسط طول جغرافیایی توضیح داده می‌شود؛ به طوری که با افزایش هر درجه طول جغرافیایی، بارش به طور متوسط حدود ۲۰/۹ میلی‌متر کاهش می‌یابد. آغاز و پایان فصل بارش نیز به دلیل همپوشانی مکانی نواحی، در ظاهر نتایج مشابهی داشته‌اند، اما در تحلیل آماری تفاوت‌هایی مشاهده شده است.

تحلیل‌های رگرسیونی برای پایان فصل بارش ناحیه‌ای، نواحی شمال شرقی (ناحیه دوم) و جنوب شرقی (ناحیه سوم) به دلیل پراکندگی کم‌تر ایستگاه‌ها فاقد

افزایش ارتفاع، بارش ۰/۵ میلی متر کاهش یافته و با افزایش هر درجه عرض جغرافیایی، بارش به طور متوسط حدود ۲۱۷/۴ میلی متر کاهش می یابد.

معنای آماری هستند. در مقابل، در ناحیه اول (شمال غربی)، ۸۱٪ بارش ناحیه ای توسط متغیرهای مختصاتی - ارتفاع توجیه می شود؛ به گونه ای که با هر متر

جدول ۲. مدل های رگرسیون فضایی برازنده بر بارش در پایان فصل بارش ناحیه ای ایران در دو فاز مرطوب (۱۹۶۰-۱۹۸۸) و خشک (۱۹۸۹-۲۰۲۳).

رگرسیون	ناحیه	الگوی برازنده و فراسنج های مربوط	رگرسیون	ناحیه	الگوی برازنده و فراسنج های مربوط
دوره اول پایان فصل بارش (دوره دوم)	ناحیه ۱	$R_i = 9937.2 - 12.9\lambda_i - 217.4\varphi_i - 0.5H_i + e_i$ (۰/۷) (۰/۰۴) (۰/۰۳) P-value=0.001 F=15.6 $r^2=-0.81$	دوره دوم پایان فصل بارش (دوره دوم)	ناحیه ۱	$R_i = 8608.8 - 10.01\lambda_i - 179.6\varphi_i - 0.7H_i + e_i$ (۰/۸) (۰/۰۵) (۰/۰۰) P-value=0.00 F=24.2 $r^2=-0.83$
	معادله برازنده	$R_i = 9937.2 - 217.4\varphi_i - 0.5H_i + e_i$ (۰/۰۴) (۰/۰۳) P-value=0.001 F=15.6 $r^2=-0.81$		معادله برازنده	$R_i = 8608.8 - 179.6\varphi_i - 0.7H_i + e_i$ (۰/۰۵) (۰/۰۰) P-value=0.00 F=24.2 $r^2=-0.83$
	ناحیه ۲	$R_i = 1586.9 - 27.4\lambda_i + 11.1\varphi_i - 0.16H_i + e_i$ (۰/۲) (۰/۷) (۰/۱۳) P-value=0.38 F=2.68 $r^2=-0.38$		ناحیه ۲	$R_i = 812.7 - 24.5\lambda_i + 27.3\varphi_i - 0.13H_i + e_i$ (۰/۲) (۰/۴) (۰/۱۶) P-value=0.14 F=2.63 $r^2=-0.35$
	معادله برازنده	$R_i = 1586.9 + e_i$ (عدم معنی داری) P-value=0.38 F=2.68 $r^2=-0.38$		معادله برازنده	$R_i = 812.7 + e_i$ (عدم معنی داری) P-value=0.14 F=2.63 $r^2=-0.35$
	ناحیه ۳	$R_i = 1141 - 11.5\lambda_i - 12.1\varphi_i + 0.005H_i + e_i$ (۰/۲) (۰/۲) (۰/۸) P-value=0.18 F=2.27 $r^2=0.29$		ناحیه ۳	$R_i = 1611.1 - 20.9\lambda_i - 9.1\varphi_i + 0.03H_i + e_i$ (۰/۰۱) (۰/۱۳) (۰/۱۹) P-value=0.03 F=6.35 $r^2=0.66$
	معادله برازنده	$R_i = 1141 + e_i$ (عدم معنی داری) P-value=0.18 F=2.27 $r^2=0.29$		معادله برازنده	$R_i = 1611.1 - 20.9 + e_i$ (۰/۰۱) P-value=0.03 F=6.35 $r^2=0.66$

جنوب شرق ایران و همچنین در جنوب غرب و شرق دریای خزر، این نسبت به کم ترین مقدار خود یعنی حدود ۱ تا ۱۰٪ رسید. عساکره و همکاران (۲۰۲۲) این کمبود در جنوب شرق ایران را ناشی از فاصله زیاد تا مسیر چرخندها و کاهش همگرایی شار رطوبتی دانسته اند. افزون بر این، تغییرات ثبت شده در جنوب غرب و شرق دریای خزر با افزایش دمای سطح دریا و تشدید ناپایداری های همرفتی هم راستا بوده است.

در نواحی شمال غرب کشور، کاهش نسبت بارش در دوره دوم نسبت به دوره اول (شکل ۶-ج) مشاهده می شود؛ کاهشی که می تواند ناشی از پراکندگی بیشتر بارش در سایر ماه های سال یا کاهش کلی بارش سالانه باشد (دهقانی و همکاران، ۲۰۲۰؛ اشرفی و همکاران، ۲۰۱۳). در مقابل، در بخش محدودی از جنوب شرق ایران، تغییرات نسبت بارش اندک بوده و الگوی

نقشه ارائه شده در شکل ۶-ز، طول دوره بارش ناحیه ای در ایران را در بازه های ۱۵ روزه و در قالب شش گروه طبقه بندی کرده است. براساس این نقشه، نواحی شمال غرب کشور دارای بیشترین طول فصل بارش بایش از دو ماه هستند، در حالی که جنوب شرق، بخشی از جنوب دریای خزر و شمال شرق با طول کم تر از یک ماه کم ترین بارش ناحیه ای را به خود اختصاص داده اند. در دوره دوم (شکل ۶-ح)، طول فصل بارش ناحیه ای نسبت به دوره اول به کم تر از دو ماه کاهش یافته است؛ به گونه ای که مطابق فاز مرطوب، بیشترین تداوم بارش در شمال غرب ایران و کم ترین آن در شمال شرق و جنوب شرق با طول کم تر از ۱۵ روز مشاهده شده است. در فصل بارش ناحیه ای، بیشترین نسبت بارش (شکل ۶-ی) در شمال غرب و بخش کوچکی از شمال شرق کشور با مقادیر بیش از ۲۰٪ مشاهده شد. در مقابل، در

چندسازوکاری بارش همچنان حفظ شده است.

۴ نتیجه‌گیری

پژوهش پیش‌رو نشان داد که چرخه‌ی فصلی بارش ایران طی بیش از شش دهه‌ی گذشته دستخوش تغییرات زمانی و مکانی معناداری شده است؛ تغییراتی که به‌ویژه پس از اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰ و هم‌زمان با ورود به فاز خشک اقلیمی، شدت و دامنه بیشتری یافته‌اند. مقایسه دو دوره اقلیمی مرطوب و خشک بیانگر آن است که ساختار فصل بارش در ایران نه تنها از نظر مقدار بارش، بلکه از حیث زمان‌بندی - تقویم، طول دوره و تمرکز زمانی بارش نیز دچار دگرگونی شده است.

در مقیاس سرزمینی، فصل بارش فراگیر همچنان الگوی غالب کشور را تشکیل می‌دهد، اما در دوره‌ی دوم، آغاز آن در بسیاری از مناطق با تأخیر، تقدیم در پایان و طول فصل بارش کوتاه‌تر شده و این وضعیت در شمال‌شرق، شرق و جنوب‌شرق ایران به‌صورت بارزتری رخ نموده است و نشان دهنده تضعیف نقش سامانه‌های باران‌زای فصل سرد و کاهش بارش‌های بهاره است. در مقابل، برخی نواحی خزری و شمال غربی کشور، به دلیل تنوع سازوکارهای بارشی و نقش منابع رطوبتی محلی، پایداری نسبی بیشتری در ساختار فصل بارش از خود نشان داده‌اند. چنین تغییراتی را می‌توان حاصل تحول در رفتار سامانه‌های جوی مؤثر بر اقلیم بارش ایران دانست. بارش‌های فصل سرد ایران عمدتاً حاصل برهم‌کنش سامانه‌ی مدیترانه‌ای (منشأ ناپایداری دینامیکی و صعود هوا) و کم‌فشار سودانی (منشأ رطوبت بارش‌ها از دریای سرخ، دریای عرب، دریای عمان و خلیج فارس) است. مطالعات حمیدیان پور (۱۳۸۹) و لشکری و همکاران (۱۳۹۵) نیز نشان داده‌اند که در دهه‌های اخیر، سهم سامانه سودانی در بارش‌های جنوب و جنوب‌غرب و شمال‌شرق ایران از حدود ۲۳٪ به بیش از ۵۰٪ افزایش یافته و این

امر به رشد بارش‌های کوتاه‌مدت اما شدید و سیلابی منجر شده است. الگویی که کاملاً با نتایج این پژوهش مبنی بر افزایش تمرکز زمانی بارش و کوتاه‌تر شدن فصل بارندگی هم‌خوانی دارد. افزون بر آن، سامانه‌های ترکیبی مدیترانه‌ای-سودانی که در تعامل با رودباد جنب‌حاره‌ای شکل می‌گیرند، بیشترین سهم را در بارش‌های حادی ایران داشته و از محرک‌های اصلی نوسانات بین‌دهه‌ای دوره‌ی بارندگی هستند (مفیدی و زرین، ۱۳۸۴).

در این میان، تغییر در موقعیت و شدت واچرخند عربستان به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی گردش جو در جنوب‌غرب آسیا، نقش تعیین‌کننده‌ای در زمان شروع و پایان فصل بارش ایران دارد. گسترش یا عقب‌نشینی این پرفشار می‌تواند مسیر نفوذ سامانه‌های مدیترانه‌ای و سودانی را باز یا مسدود کند و در نتیجه، آغاز فصل بارش را جلو یا عقب اندازد (علیچانی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین پرفشار سبیری با ایجاد پایداری در ترازهای زیرین و تمرکز هوای سرد بر پهنه‌ی شمال‌شرق و شرق، گاه باعث انحراف مسیر سامانه‌ها و تضعیف بارش شده، و گاه در ترکیب با واچرخند عربستان سبب تشدید فعالیت سامانه‌های جنوبی در ایران می‌شود.

فصل بارش ناحیه‌ای، که تنها در بخش‌هایی از شمال‌غرب، شمال‌شرق و جنوب‌شرق ایران رخ می‌دهد، نسبت به تغییرات اقلیمی اخیر آسیب‌پذیرتر بوده است. عساکره و همکاران (۲۰۲۲) این را بخصوص در جنوب‌شرق ایران ناشی از فاصله زیاد تا مسیر چرخندها و کاهش همگرایی شار رطوبتی دانسته‌اند. افزون بر این، تغییرات ثبت‌شده در جنوب‌غرب و شرق دریای خزر با افزایش دمای سطح دریا و تشدید ناپایداری‌های همرفتی هم‌راستا بوده است. کاهش طول دوره، افت نسبت بارش و افزایش ناپایداری زمانی این فصل، به‌ویژه در شمال‌شرق و جنوب‌شرق کشور، می‌تواند پیامدهای قابل‌توجهی برای کشاورزی دیم، منابع آب محلی و

اکوسیستم‌های حساس این نواحی به همراه داشته باشد. تحلیل‌های رگرسیونی نیز نشان داد که نقش متغیرهای مکانی در کنترل وردایی فصل بارش یکنواخت نبوده و در برخی نواحی، ارتفاع و عرض جغرافیایی سهم بیشتری در تبیین تغییرات زمانی بارش داشته‌اند.

در مجموع، دگرگونی چرخه‌ی فصلی بارش ایران در دهه‌های اخیر انعکاس تغییرات گسترده‌تر در الگوهای گردش جوی منطقه است، تغییراتی که شامل تقویت نسبی سامانه‌های رطوبتی جنوبی، نوسانات موقعیتی و اچرخند عربستان، تضعیف ناوه‌های مدیترانه‌ای و افزایش فعالیت سامانه‌های ترکیبی است. این تحولات، الگوی بارش ایران را به سمت کوتاه‌تر شدن فصل‌های بارندگی، افزایش شدت و تمرکز زمانی بارش، و تشدید نوسانات فصلی و بین‌سالی سوق داده‌اند، روندی که با پیش‌بینی‌های هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیم (IPCC) در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۷، ۲۰۱۳، مبنی بر گسترش ناپایداری‌های زمانی بارش‌ها در عرض‌های میانی سازگار است. این یافته‌ها بر ضرورت بازنگری در برنامه‌ریزی منابع آب، تقویم زراعی و سیاست‌های کاهش خطر خشکسالی و سیلاب تأکید دارند. تداوم پایش وردایی فصل بارش و توجه به تفاوت‌های مکانی آن، می‌تواند نقش مهمی در افزایش تاب‌آوری سیستم‌های انسانی و طبیعی ایران در برابر تغییرات اقلیمی آینده ایفا کند.

منابع

جلالی، م.، دوستکامیان، م.، و شیریکریم‌وندی، ا.، ۱۳۹۸، بررسی و تحلیل همبندی دینامیکی سازوکارهای بارش فراگیر زمستانه ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۵۵).

جلالی، م.، شاهبایی، ع.، و کمریان، و.، ۱۳۹۶، شناسایی الگوهای همبند بارش‌های تابستانه در سواحل جنوبی دریای خزر، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی،

۲۱(۵۹)، ۲۳-۲۹.

جانباز قبادی، غ.، مفیدی، ع.، و زرین، آ.، ۱۳۹۰، شناسایی الگوهای همبند بارش‌های شدید زمستانه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۲(۴۲)، ۲۳-۴۰.

حسینجانی، ل.، ۱۳۹۹، تحلیل اقلیمی-آماري تغییرات بارش‌های فرین بالا و فراگیر در ناحیه خزری ایران، (رساله دکتری)، دانشگاه زنجان.

حمیدیان‌پور، م.، نظری‌پور، ح.، خزاعی‌فیض‌آباد، ا.، فرزانه، م.، و فیروزه، ص.، ۱۴۰۲، تعیین نقطه تغییر آستانه‌های دمایی امواج گرمایی و سرمایی در ایران زمین طی دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۱۸، مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲(۳۷)، ۱۳۳-۱۵۰.
doi:10.22111/jneh.2023.44464.1940

حمیدیان‌پور، م.، علیجانی، ب.، و صادقی، ع.، ۱۳۸۹، شناسایی الگوهای همبندی بارش‌های شدید شمال شرق ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۱(۱)، ۱-۱۶.

خام‌چین‌مقدم، ف.، صدقی، ح.، کاوه، ف.، و منشوری، م.، ۱۳۸۹، پهنه‌بندی حداکثر بارش روزانه ایران، نشریه آب و خاک، (۱).

ربیعی‌غفار، ز.، عساکره، ح.، و خسروی، ی.، ۱۴۰۳، بررسی تغییرات زمانی-مکانی احتمال وقوع بارش با تداوم‌های مختلف در ایران، نشریه علمی مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی، ۵(۲).

سلیقه، م.، ۱۳۹۶، آب‌وهواشناسی سینوپتیک ایران، تهران: انتشارات سمت.

عساکره، ح.، ۱۳۹۶، مبانی پژوهش در آب‌وهواشناسی، زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان.

عساکره، ح.، ۱۴۰۰، مبانی اقلیم‌شناسی آماری، زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان.

عساکره، ح.، و رزمی، ر.، ۱۳۹۱، تحلیل تغییرات بارش

- سالانه شمال غرب ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۳(۳)، ۱۴۷-۱۶۲.
- عساکره، ح.، و ورناصری قندعلی، ن.، ۱۴۰۰، بررسی تغییر رژیم بارش ناحیه خزری، مجله جغرافیا و توسعه، ۶۴(۶)، ۱۱۵-۱۴۲.
- عساکره، ح.، مسعودیان، س.ا.، و ترکارانی، ف.، ۱۴۰۰، تغییرپذیری نقش عوامل مکانی مؤثر بر بارش در ارتباط با تحولات دهه‌ای بارش سالانه ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۲(۳).
- علیجانی، ب.، ۱۳۷۴، نقش کوه‌های البرز در توزیع ارتفاعی بارش، مجله تحقیقات جغرافیایی، (۳۸).
- علیجانی، ب.، ۱۳۸۱، آب‌وهوای ایران، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- علیجانی، ب.، ۱۳۸۱، نقش آمار در توسعه علم جغرافیا، در ششمین کنفرانس آمار ایران، تهران.
- علیجانی، ب.، ۱۳۹۱، اقلیم‌شناسی سینوپتیک، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
- علیجانی، ب.، ۱۳۹۴، تحلیل فضایی، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲(۳).
- علیجانی، ب.، مفیدی، ع.، جعفرپور، ز.، و علی‌اکبری‌بیدختی، ع.، ۱۳۹۰، الگوهای گردش جو بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران در ماه ژوئیه ۱۹۹۴، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۷(۳)، ۲۰۵-۲۲۷.
- علیزاده، ا.، ۱۳۸۹، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست‌ونهم، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا.
- لشکری، ح.، و یارمرادی، ز.، ۱۳۹۳، تحلیل همبستگی موقعیت استقرار پرفشار سیبری و مسیرهای ورودی آن به ایران در فصل سرد، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۶(۲)، ۱۹۹-۲۱۸.
- لشکری، ح.، متکان، ع.، آزادی، م.، و محمدی، ز.، ۱۳۹۵، تحلیل همبستگی نقش پرفشار عربستان و رودباد جنب حاره‌ای در کوتاه‌ترین طول دوره بارشی جنوب و جنوب غرب ایران، فصلنامه علوم محیطی، ۴(۴)، ۷۴-۵۹.
- محمدی، م.، و لشکری، ح.، ۱۴۰۱، واکاوی تغییرات سهم سامانه‌هایی با منشأ کم‌فشار سودانی در بارندگی دوره سرد کرانه‌های شمالی خلیج فارس، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۹(۳)، ۱-۱۸.
- مسعودیان، س.ا.، ۱۳۹۰، آب‌وهوای ایران، مشهد: انتشارات شریعه توس.
- مفیدی، ع.، و زرین، آ.، ۱۳۸۴، تحلیل سینوپتیکی ماهیت سامانه‌های کم‌فشار سودانی، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۶، ۱۱۳-۱۳۶.
- وحیدی‌اصل، م.، ۱۳۹۸، آمار و احتمال در جغرافیا ۲، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- نوری، ح.، و ایلدرمی، ع.، ۱۳۹۱، تحلیل شرایط همدید و دینامیک رویدادهای بارشی سنگین سواحل جنوبی خزر در مقایسه با ایران زمین، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۶(۴۱)، ۱۹۷-۲۳۶.
- Alexander, A. A., Rasool, T., Kumar, C., Sahoo, S., Bhowmik, R. D., & Kumar, D. N. 2025. Unprecedented rainfall events increase the magnitude of design storms. *Environmental Research Letters*, 20(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/add175>
- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., Hogg, E. H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J. H., Allard, G., Running, S. W., Semerci, A., & Cobb, N. 2010. A global overview of drought- and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660-684. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>
- Asakereh, H. 2017. Trends in monthly precipitation over the northwest of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(1-2), 443-451.
- Asakereh, H. 2020. Decadal variation in precipitation regime in northwest of Iran.

- Theoretical and Applied Climatology, 139(1–2), 461–471.
- Asakereh, H., Masoodian, S. A., & Tarkarani, F. 2022. Spatial analysis of variation of inter-annual distribution of precipitation in Iran over recent decades (1970–2016). *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 8(4), 103–122.
- Asakereh, H., Masoodian, S. A., Raispour, K., & Tarkarani, F. 2024. A comprehensive analysis of tempo-spatial changes in Iran's precipitation. *Theoretical and Applied Climatology*, 156, Article 40. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05257-2>
- Asakereh, H., Masoodian, S. A., Tarkarani, F., & Zandkarimi, S. 2023. Tropospheric features associated with the onset and cessation of the rainy season in Iran. *Acta Geophysica*, 71, 1063–1084. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00996-0>
- Ashrafi, S., Karbalaee, A. R., & Kamangar, M. 2025. Geospatial analysis of rainfall consistency and transition patterns in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 32, 14573–14583. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36548-4>
- Asoka, A., Gleeson, T., Wada, Y., & Mishra, V. 2017. Relative contribution of monsoon precipitation and pumping to changes in groundwater storage in India. *Nature Geoscience*, 10, 109–117.
- Bahrami, F., Ranjbar Saadatabadi, A., Meshkatee, A. H., & Gholamali. 2020. Autumn rainfall anomalies and regional atmospheric circulation during the establishment of weak La Niña after strong El Niño in Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 1–15.
- Broumand Salahi, A., Kashani, A., & Safarianzengir, V. 2020. Investigation and analysis of climate change and the Siberian high-pressure system during drought and wet periods in the Iranian Plateau. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 1695–1706. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00784-z>
- Dehghani, M., Salehi, S., Mosavi, A., Nabipour, N., Shamshirband, S., & Ghamisi, P. 2020. Spatial analysis of seasonal precipitation over Iran: Co-variation with climate indices. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9, Article 73. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020073>
- Henley, B. J., Gergis, J., Karoly, D. J., Power, S., Kennedy, J., & Folland, C. K. 2015. A tripole index for the interdecadal Pacific oscillation. *Climate Dynamics*, 45, 3077–3090. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2525-1>
- Hu, H., Duan, Y., Wang, Y., & Zhang, X. 2017. Diurnal cycle of rainfall associated with landfalling tropical cyclones in China from rain gauge observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 56, 2595–2605. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-16-0335.1>
- Inkotte, J., Bomfim, B., Camelo da Silva, S., Valadão, M. B. X., da Rosa, M. G., Viana, R. B., Rios, P. D. A., Gatto, A., & Pereira, R. S. 2022. Linking soil biodiversity and ecosystem function in a Neotropical savanna. *Applied Soil Ecology*, 169, Article 104209. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104209>
- IPCC. 1990. Climate change: The first scientific assessment report. Cambridge University Press.
- IPCC. 1995. IPCC second assessment synthesis report: Scientific–technical information relevant to interpreting Article 2 of the UNFCCC. IPCC.
- IPCC. 1996. Climate change: The science of climate change. Cambridge University Press.
- IPCC. 2001. Climate change 2001: The third assessment report. Cambridge University Press.
- IPCC. 2007. Climate change: The physical science basis. Cambridge University Press.
- IPCC. 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Cambridge University Press.
- Kumar, KH., Kaskaoutis, D., Sharma, A., & Sing, R. 2013. Long-Term (1951–2007) Rainfall Trends around Six Indian Cities: Current State, Meteorological, and Urban Dynamics. <https://doi.org/10.1155/2013/572954>.
- Mao, Y., Wu, G., Xu, G., & Wang, K. 2022. Reduction in precipitation seasonality in China from 1960 to 2018. *Journal of Climate*, 35, 227–248.
- Marteau, R., Sultan, B., Moron, V., Alhassane, A., Baron, C., & Traoré, S. B. 2011. The onset of the rainy season and farmers' sowing strategy for pearl millet cultivation in Southwest Niger. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(10), 1356–1369.
- Moradi, H. R. 2004. Studying the role of the Caspian Sea on precipitation conditions in northern Iran. *Journal of Marine Science and Technology*, 3(2–3), 77–87.
- Muglavai, E. M., Kipkorir, E. C., Raes, D., & Rao, M. S. 2008. Analysis of rainfall onset,

- cessation and length of growing season for Western Kenya. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 1123–1135.
- Ok, J. H., Son, J. W., Hwang, S. A., Lee, H. S., & Oh, B. Y. 2021. Estimation of upland soil loss and canopy cover subfactor under soybean cultivation using slope lysimeter. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 54(4), 651–659. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2021.54.4.651>.
- Omotosho, J. B. 2002. Synoptic meteorology: Pathway to seasonal rainfall prediction for sustainable agriculture and effective water resources management in West Africa, particularly Nigeria. *Journal of the Nigerian Meteorological Society*, 3(2), 81–86.
- Panda, A., & Sahu, N. 2019. Trend analysis of seasonal rainfall and temperature pattern in Kalahandi, Bolangir and Koraput districts of Odisha, India. 20. <https://doi.org/10.1002/asl.932>.
- Rohr, T., Manzoni, S., Feng, X., Romulo, M., & Porporato, A. 2013. Effect of rainfall seasonality on carbon storage in tropical dry ecosystems. 118(3), 1156–1167. <https://doi.org/10.1002/jgrg.20091>.
- Sanaei, M., Barati, G. H., & Shakiba, A. R. 2020. Time series analysis of rainy season duration in Iran. *Journal of Climate Research*, 42, 61–76.
- Seager, R., & Ting, M. 2017. Decadal drought variability over North America: Mechanisms and predictability. *Current Climate Change Reports*, 3, 141–149. <https://doi.org/10.1007/s40641-017-0062-1>.
- Song, F., Leung, L. R., Lu, J., Zhou, T., & Huang, P. 2023. Advances in understanding the changes of tropical rainfall annual cycle: A review. *Environmental Research: Climate*, 2(4). <https://doi.org/10.1088/2752-5295/acf606>.
- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K. L. 2018. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 79–107.
- Tadross, M. A., Hewitson, B. C., & Usman, M. T. 2005. The interannual variability of the onset of the maize growing season over South Africa and Zimbabwe. *Journal of Climate*, 18, 3356–3372.
- Tan, X., Wu, Y., Liu, B., & Chen, S. 2020. Inconsistent changes in global precipitation seasonality in seven precipitation datasets. *Climate Dynamics*, 54, 3091–3108.
- Ukkola, A. M., Pitman, A. J., De Kauwe, M. G., Abramowitz, G., Herger, N., Evans, J. P., & Decker, M. 2018. Evaluating CMIP5 model agreement for multiple drought metrics. *Journal of Hydrometeorology*, 19, 969–988. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-17-0099.1>.
- World Meteorological Organization (WMO). 2021. Guidance on the Calculation of Climate Normals (1991–2020). WMO-No. 1203.
- Stagpoole, V. M., Bennie, S. L., Bibby, H. M., Dravitzki, S., & Ingham, M. R. (2009). Deep structure of a major subduction back thrust: Magneto-telluric investigations of the Taranaki Fault, New Zealand. *Tectonophysics*, 463(1-4), 77–85.
- Szarka, L. (1988). Geophysical aspects of man-made electromagnetic noise in the earth—A review. *Surveys in Geophysics*, 9(3), 287–318.
- Wienert, K. A. (1970). Notes on geomagnetic observatory and survey practice. *UNESCO Earth Sciences*, 5.
- Yazdanabadi, M. I., Hojat, A., Ranjbar, H., & Nasab, S. K. (2017). A geographic information system-based site selection experience for the construction of a geomagnetic observatory in Kerman Province, Iran. *Geophysical Prospecting*, 65(S1), 237–245.
- Zare, M. (2012). Development of seismic hazard zoning map for Iran, based on new seismic source determination. In *Proceedings 15th world conference on earthquake engineering, Lisboa, Portugal September* (pp. 24–28).

Variation in the rainy season over Iran

Mohadeseh Vaziri Mehr ¹, Hossein Asakereh ^{2*} and Mohsen Hamidianpour ³

¹ Ph.D. Candidate in Climatology., University of Zanjan, Zanjan, Iran

² Professor, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³ Associate Professor, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Sistan and Baluchestan, Iran

(Received: 07 January 2026, Accepted: 05 June 2026)

Summary

The rainy season (RS) constitutes a fundamental component of the hydroclimatic system in arid and semi-arid regions, where water availability is highly sensitive to changes in precipitation timing and persistence. In a country such as Iran, where large areas are characterized by limited and irregular rainfall, variations in the onset, cessation, and duration of the rainy season can exert profound impacts on water resources management, agricultural productivity, food security, and ecosystem sustainability. Despite its importance, comprehensive assessments of long-term changes in rainy season characteristics across different spatial scales in Iran remain limited. The present study aims to investigate spatiotemporal variations in the timing of the rainy season—including onset, cessation, and length—as well as changes in the proportion of rainy season precipitation relative to annual precipitation. These variations are examined for both the widespread rainy season and regional rainy seasons across Iran, with a particular focus on contrasting their behavior during two distinct climatic phases: a relatively wet period (1960–1997) and a predominantly dry period (1998–2023). To achieve these objectives, daily precipitation records from 72 synoptic meteorological stations distributed across Iran were analyzed. The selected stations provide long-term observational records ranging from 32 to 63 years, ensuring adequate temporal coverage for detecting climatic shifts. Rainy season indicators were derived using consistent criteria applied across all stations, allowing for a robust comparison of temporal changes and spatial patterns. In addition, multivariate regression analysis was employed to assess the influence of key geographical factors—longitude, latitude, and altitude—on the spatial variability of rainy season timing. The results indicate pronounced changes in rainy season characteristics during the second climatic phase. Specifically, the onset of the widespread rainy season has been delayed in many regions, while its cessation has occurred earlier, leading to a statistically significant shortening of the rainy season length. These changes are most evident in the northeastern, southeastern, and parts of the southwestern regions of Iran. Furthermore, the explanatory power of spatial variables varies across the country, highlighting strong regional contrasts in the controls governing rainy season dynamics. At the regional scale, the rainy season has experienced reduced rainfall continuity, accompanied by an expansion of dry intervals within the season. The most substantial declines in continuity are observed in the northeastern and southeastern regions, which are already vulnerable to water scarcity. Overall, the findings reveal structural changes in the seasonal rainfall regime of Iran, reflecting modifications in the behavior of rain-producing atmospheric systems. These changes are consistent with the broader signals of recent climate change and global warming, underscoring the need for adaptive strategies in water resources planning, agriculture, and climate-resilient development.

Keywords: Variability, climate change, rainfall regime, temporal and spatial changes, multivariate regression

* Corresponding author:

asakereh@znu.ac.ir