

تفکیک نقش عوامل درونی و بیرونی در وردایی دهه‌های بارش سالانه ایران زمین طی چهار دهه اخیر (۱۳۵۵-۱۳۹۴)

حسین عساکره* - استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
سیدابوالفضل مسعودیان - استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
فاطمه ترکرانی - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۳۰

چکیده

طی سده گذشته، اقلیم به گونه‌های مختلفی تغییر یافته است. این روند تغییرات احتمالاً برای آینده ادامه خواهد داشت. یکی از جلوه‌های تغییر اقلیم در وردایی رفتار دهه‌های بارش قابل ردیابی است. به منظور ردیابی وردایی بارش ایران طی چهار دهه اخیر (۱۳۵۵-۱۳۹۴) و تفکیک تغییرپذیری متأثر از مختصات (موقعیت) جغرافیایی (طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی) و توپوگرافی (ارتفاع، جهت، و میزان شیب دامنه‌ها)، به عنوان عوامل درونی مؤثر بر بارش، از الگوی رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد. بدین ترتیب، بارش متأثر از مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک برای هر دهه از میانگین بارش دهه‌های تفکیک شد و الگوی مکانی بارش حاصل از عوامل بیرونی اقلیم بارشی به دست آمد. بنابراین، تغییرات دهه به دهه بارش در ارتباط با عوامل بیرونی مورد مذاقه قرار گرفت. نتایج نشان داد طی چهار دهه اخیر تأثیر عوامل بیرونی مؤثر بر بارندگی ایران موجب کاهش پهنه‌های بارشی شده‌اند؛ به طوری که از اولین دهه مورد بررسی (۱۳۵۵-۱۳۶۴) به سمت دهه انتهایی (۱۳۸۵-۱۳۹۴) سهم عوامل بیرونی در وردایی بارش افزون‌تر شده است. بعد از دهه دوم تأثیر عوامل بیرونی حتی نسبت به میانگین کل افزایش داشته است؛ به طوری که در دهه اول ۵۴/۴ درصد و در دهه آخر نزدیک به ۶۰ درصد از گستره کشور با وردایی بارش حاصل از عوامل بیرونی مواجه بوده است.

واژگان کلیدی: ایران، بارش، تغییر اقلیم، تغییرپذیری دهه‌ای، وردایی بارش.

مقدمه

هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۱ بر این باور است که طی سده گذشته اقلیم کره زمین تغییر یافته است و این روند تغییرات برای آینده ادامه خواهد داشت (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). از مقایسه سری زمانی عناصر آب‌وهوایی، عموماً دو رویداد منفرد یا توأم این تغییرات را منعکس می‌کند. این رویدادها شامل «روند»^۲ و «وردایی»^۳ است. وردایی را می‌توان در گروه‌های متعددی از تغییرات، نظیر «نوسان»^۴، «حالت (فاز)»^۵، «جهش»^۶ و «پی‌آبی»^۷ ردیابی کرد. رخداد

Email: asakereh@znu.ac.ir

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۲۴۱۶۶۵۸

1. Intergovernmental Panel on Climate Change
2. Trend
3. Variation
4. Oscillation
5. Phase
6. Jump
7. Persistence

توأم این رویدادها در یک سری زمانی موجب پیچیدگی در فهم و واکاوی و تفهیم مشخصات سری زمانی می‌شود (عساکره، ۱۳۹۶). علاوه بر این، برخی از این تغییرات حاصل تغییر سازوکارهای محلی و برخی حاصل برهم‌کنش رویدادهایی است که در مقیاس‌های بزرگ‌تر (مثلاً منطقه‌ای، همدید، نیمکره‌ای، یا سیاره‌ای) است (گودی، ۱۹۹۲). در این زمینه، ردیابی و جداسازی تغییرات در مقیاس‌های محلی یا در مقیاس‌های بزرگ‌تر از اهمیت شایان توجهی برخوردار است؛ زیرا نگرانی درباره تغییر اقلیم سیاره‌ای نیاز به چشم‌انداز بلندمدت اقلیم را برای مدیریت و برنامه‌ریزی مبتنی بر دانسته‌های اقلیمی افزایش داده است.

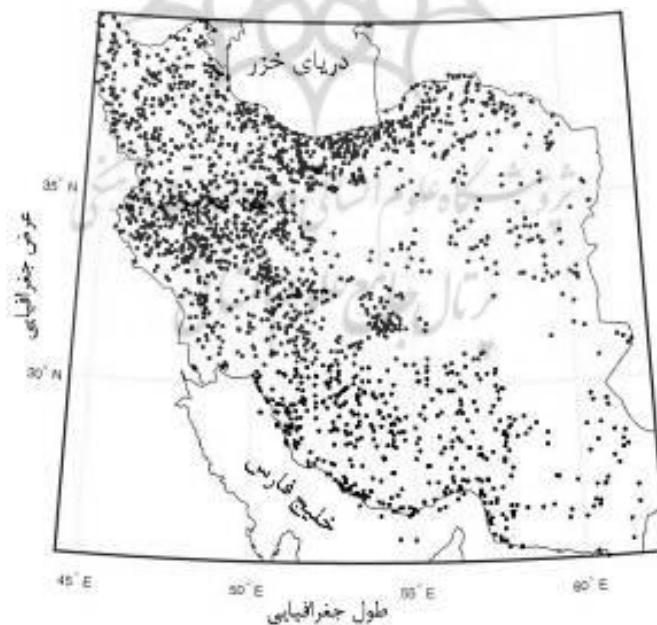
جلوه‌های تغییر(پذیری) اقلیم در عناصر متعدد اقلیمی قابل ردیابی است. یکی از عناصر اقلیمی که می‌تواند رفتار آشوبمند اقلیم را منعکس کند بارش است. بارش، به‌عنوان عنصر و فرایندی اقلیمی، نسبت به تغییرات اقلیمی حساسیت بالایی را نشان می‌دهد. هر تغییر بنیادی در مقدار، نوع، و رژیم بارش می‌تواند پیامدهای معنی‌دار، مهم، و مؤثری داشته باشد (تگارت و همکاران، ۱۹۹۰) و در یک چرخه بازخوردی می‌تواند عناصر دیگر اقلیم و فعالیت‌های زیستی، اقتصادی، اجتماعی، و حتی سیاسی بشر را متأثر سازد. از این رو، فهم وردایی بارش به لحاظ اهمیت آن در بسیاری زمینه‌های طبیعی (نظیر چرخه آب‌شناختی و گردش عمومی جو)، اقتصادی (کشاورزی، صنعت، و خدمات) و ... بسیار مهم است (مارنگو و همکاران، ۲۰۰۱). به‌عنوان مثال، توسعه روزافزون کشاورزی، که خود حاصل نیاز جمعیت فزاینده جوامع بشری است، آسیب‌پذیری حاصل از تغییر اقلیم را به‌ویژه در ارتباط با بارش افزایش داده است. مثلاً، بارش ناکافی در فصل رشد می‌تواند به ناکارآمدی عملیات زراعی، کاهش بازدهی، و کاهش محصولات کشاورزی منجر شود و نیز در نهایت به قحط‌سالی برای نواحی متعدد منجر شود (کادی‌اغلو و سن، ۱۹۹۸).

بارش، همچون عناصر اقلیمی دیگر، تغییر(پذیری) را در مقیاس‌های زمانی مختلف تجربه می‌کند. این تغییرات به‌ویژه تغییرات بلندمدت (روند) به‌وسیله پژوهشگران پرشماری در مقیاس جهانی (تودوروف، ۱۹۸۵؛ وینینگ و گریفیت، ۱۹۸۵، دیاز و همکاران، ۱۹۸۹) و ملی (عسگری و رحیم‌زاده، ۱۳۸۲؛ مسعودیان، ۱۳۸۳؛ کتیرایی و همکاران، ۱۳۸۶؛ محمدی، ۱۳۹۰؛ اختصاصی و همکاران، ۱۳۹۴؛ ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۵) بررسی شده است. می‌توان تغییرات مکانی بارش را تابعی از موقعیت (طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی) جغرافیایی و عوامل توپوگرافی (ارتفاع، جهت، و میزان شیب دامنه‌ها) دانست (عساکره، ۱۳۸۶؛ عساکره و سیفی‌پور، ۱۳۹۱). اگرچه این واقعیت‌ها در بسیاری منابع و مراجع اقلیم‌شناسی ایران (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۵؛ مجرد و مرادی‌فر، ۱۳۸۲؛ عساکره، ۱۳۸۳؛ علیجانی، ۱۳۹۵) و جهان (سینگ و همکاران، ۱۹۹۵؛ گلازیرین، ۱۹۹۷) مطرح، مطالعه، و تأیید شده است، تغییرات زمانی بارش در ارتباط با متغیرهای مکانی کمتر مطالعه شده است. برای مثال، این واقعیت که تا چه حد تغییرات زمانی بارش تابعی از موقعیت-مختصات جغرافیایی و تا چه حد متأثر از عوامل کلان اقلیمی است مورد غفلت بوده است.

در پژوهش حاضر، تلاش می‌شود وردایی دهه‌ای بارش در ارتباط با عوامل مکانی-توپوگرافیک و به‌عنوان نمود و نمایه‌ای از تغییرات اقلیمی و نیز به‌عنوان یکی از زمینه‌های پژوهشی ضروری در مورد بارش‌های ایران در معرض توجه قرار گیرد. بدین ترتیب، با به‌کارگیری معادلات رگرسیونی علاوه بر کمی‌سازی و تبیین تأثیر (نقش) مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) و عوامل توپوگرافیک (ارتفاع، جهت، و میزان شیب) بر بارش ایران، تغییرات دهه به دهه بارش و میزان تأثیر این عوامل مکانی بر تغییرات مزبور مورد مذاقه قرار گیرد و اثر آن‌ها از تغییرات کلان‌مقیاس جدا شود.

داده‌ها و روش‌ها

برای انجام دادن پژوهش حاضر، از دو گروه پایگاه داده‌ای استفاده شد؛ پایگاه نخست، پایگاه داده اسفزاری نسخه سوم و دوم، داده‌های مدل رقمی ارتفاع (DEM)^۱ مربوط به ایران است (کاربرد داده‌ها در فرایند پژوهش در شکل ۲ آمده است)؛ مسعودیان (۱۳۹۸) بر اساس تعداد ایستگاه‌های فعال در هر روز نقشه‌های هم‌بارش ایران را برای بازه زمانی ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴ یعنی برای ۴۶ سال محاسبه و تولید کرد. پایگاه داده‌ای اسفزاری نسخه سوم حاصل میان‌یابی داده‌های بارش روزانه ۲۱۸۸ ایستگاه همدید، اقلیمی، و باران‌سنجی سازمان هواشناسی از ۱۳۴۹/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۴/۱۲/۲۹ به مدت ۱۶۸۰۱ روز و با تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر است. توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در شکل ۱ ارائه شده است. با توجه به مطالعات گسترده‌ای که پیش از این در زمینه ارزیابی انواع روش‌های میان‌یابی برای تهیه نقشه‌های هم‌بارش ایران انجام گرفته (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳؛ مسعودیان، ۲۰۰۸؛ عساکره، ۱۳۸۷)، روش میان‌یابی کریجینگ همگانی با مدل نیم‌پراش خطی برای میان‌یابی برگزیده شد. در عین حال، کریجینگ از لحاظ نظری نیز بهترین برآوردگر ناریب خطی شناخته می‌شود (عساکره، ۱۳۸۷). سیستم تصویر این پایگاه داده لامبرت مخروطی هم‌شکل است. مشخصات کارتوگرافیک این سیستم تصویر با توجه به مختصات جغرافیایی ایران، که بین مدار ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی قرار گرفته، بر اساس بیضوی مرجع (WGS84) و تفکیک مکانی ده کیلومتر شبکه جغرافیایی پایگاه داده به ابعاد ۱۶۷×۲۰۵ به دست آمد. تعداد کل یاخته‌های درون این شبکه ۳۴۲۳۵ تا است که ۱۶۲۰۳ تا از آن‌ها در درون مرزهای سرزمین اصلی ایران جا می‌گیرد. از سوی دیگر، با توجه به زمان آغاز و پایان پایگاه داده، که مشتمل بر ۱۶۸۰۱ روز است، ابعاد نهایی پایگاه داده ۱۶۷×۲۰۵×۱۶۸۰۱ خواهد بود. به کمک این پایگاه داده، می‌توان رفتار زمانی و مکانی بارش در درون مرزهای ایران زمین را بررسی کرد.

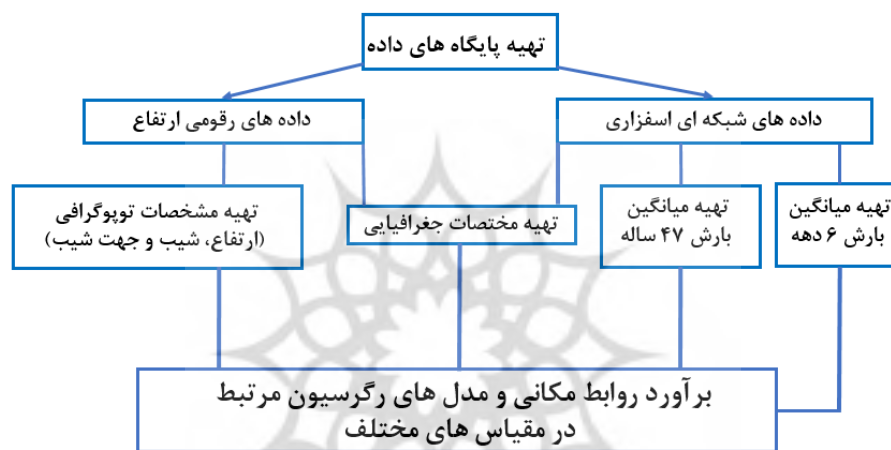


شکل ۱. توزیع مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در ایجاد پایگاه داده‌ای بارش اسفزاری نسخه سوم (مسعودیان، ۱۳۹۸)

داده‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متری مربوط به سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا که از تصاویر ماهواره‌ای Aster برای پوشش جهانی تولید شده است. این داده‌ها از آدرس زیر قابل دستیابی است:

https://earthexplorer.usgs.gov/fgdc/4220/ASTGDDEM20_0S37E175

برای محاسبه متغیرهای مکانی متناظر با یاخته‌های نقشه بارش، داده‌های ارتفاعی با توان تفکیک ۱۰ متر ایجاد شد. بدین ترتیب، مشخصات توپوگرافیک مورد نیاز برای مطالعه حاضر (ارتفاع با مقیاس متر و شیب به متر در متر و جهت شیب با مقیاس درجه) استخراج شد. این ویژگی‌ها برای کشف رابطه بین بارش و متغیرهای یادشده به کار گرفته شد. بر اساس دو گروه داده یادشده در بالا و طبق مراحل پژوهشی ارائه شده در شکل ۲، برای انجام دادن پژوهش حاضر مراحل و روش‌های زیر انجام شد:



شکل ۲. نمایش تجسمی از فرایند پژوهش حاضر

۱. نخست میانگین بارش برای کل دوره (۱۳۴۹-۱۳۹۴) محاسبه و مشخصات مکانی و بعضاً زمانی بارش برای این دوره بررسی شد. به منظور بررسی وردایی دهه‌ای بارش، میانگین بارش دهه‌های منتهی به دهه ۱۳۸۵-۱۳۹۴ محاسبه شد. بدین ترتیب، شش ساله اول (۱۳۴۹-۱۳۵۴) در بررسی، مقایسه، و مطالعه دهه‌ها جای نگرفت. بنابراین، ویژگی‌های مکانی بارش ایران طی چهار دوره ده‌ساله (۱۳۵۵-۱۳۶۴، ۱۳۶۵-۱۳۷۴، ۱۳۷۵-۱۳۸۴، و ۱۳۸۵-۱۳۹۴) بررسی و مطالعه شد.

۲. به منظور بررسی ویژگی‌ها و روابط مکانی بارش، انواع همبستگی (خطی و غیرخطی) بارش و مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، همبستگی خطی ساده بین بارش و متغیرهای مکانی مناسب‌تر تشخیص داده شد و محاسبه و برآورد شد.

۳. روش‌های همبستگی توانایی توجیه کامل تنوع مکانی بارش بر اساس نقش منفرد هر یک از مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک را نداشتند. بدین دلیل، تلاش شد این روابط با استفاده از الگوهای رگرسیونی به شکل توأم مورد مذاقه قرار گیرند. بدین ترتیب، این شرایط مهیا خواهد شد تا میزان تأثیر مجموع متغیرهای مکانی در تکوین بارش و الگوی کمی این روابط برآورد شود. تغییر عملکرد توأم مختصات مکانی - عوامل توپوگرافیک می‌تواند نقش متغیرهای درونی اقلیم ایران را آشکار کند. از این گذر وردایی متغیرهای بیرونی اقلیم نیز قابل استنباط است. بر این اساس و

به منظور بررسی و تفکیک سهم تغییرات حاصل از مختصات مکانی - عوامل توپوگرافیک و تغییرات حاصل از سامانه‌های باران‌زای بزرگ‌مقیاس، نظیر سامانه‌های همدید، از الگوی آماری رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد. الگوی رگرسیون خطی چندمتغیره برای بیان روابط متقابل موقعیت جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک در توجیه بارش به کار گرفته شد. اگر k متغیر مستقل (x_{ik}) برای توجیه y_i در معادله استفاده شود، معادله رگرسیون چندمتغیره به صورت زیر خواهد بود (عساکره، ۱۳۹۰):

$$y_i = a + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \dots + b_k x_{ik} + e_i \quad (1)$$

بر اساس نمادهای به کاررفته در این پژوهش (جدول ۲)، رابطه ۱ را می‌توان به شکل زیر بازنویسی کرد:

$$P_i = a + b_1 \varphi_i - b_2 \lambda_i + b_3 h_i + b_4 S_i + b_5 A_i \quad (2)$$

بر پایه این معادله، بارش (P) نقطه i ام در ایران از روی عرض جغرافیایی (φ)، طول جغرافیایی (λ)، ارتفاع (h)، شیب (S)، و جهت شیب (A) آن نقطه قابل برآورد است. بدیهی است که برآورد به دست آمده فقط میزان بارشی را برآورد می‌کند و ارائه می‌دهد که از برهم‌کنش پنج متغیر مکانی - درونی یادشده متأثر شده است. بنابراین و طبق نظر کرلینجر (۱۳۸۴)، معادلات رگرسیونی به عنوان روش‌هایی مطرح‌اند که، علاوه بر بیان روابط بین چند متغیر، الگوی روابط را نیز بیان می‌کنند. در این معادله پراش متغیر وابسته (در پژوهش حاضر بارش) به وسیله روابط با سایر متغیرها (در پژوهش حاضر مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک) در نظر گرفته می‌شود و تلاش می‌شود از طریق برآورد مشارکت متغیرها در این پراش رفتار متغیر وابسته برآورد و تبیین شود (کرلینجر، ۱۳۸۴).

طی چند ساله اخیر در زمینه رابطه بارش با متغیرهای مکانی و الگوسازی آن بر اساس شگردهای رگرسیونی پژوهش‌های زیادی انجام شده است. مثلاً، سینگ و همکاران (۱۹۹۵) رابطه بارش با ارتفاع در کوه‌های هیمالیا را بررسی کردند. گلازین نیز به بررسی رابطه بارش با ارتفاع در ازبکستان پرداخته است. علیجانی (۱۳۷۳) با بررسی نقش ارتفاعات البرز در فصول مختلف و ارائه مدل‌های رگرسیونی بر آن است که نقش ارتفاع در میزان بارش دامنه شمالی منفی و در دامنه جنوبی مثبت است. غیور و مسعودیان (۱۳۷۵) نیز با بررسی مکانی رابطه بارش با ارتفاع در گستره ایران پرداخته‌اند. در این تحقیق نتیجه‌گیری کردند که عامل ارتفاع تنها عامل تعیین‌کننده برای بارش نیست و از این رو از مختصات جغرافیایی برای برآورد مقدار بارش سالانه سود جستند. مجرد و مرادی‌فر (۱۳۸۲) نیز برای برآورد بارش در منطقه زاگرس شمال غربی و مرکزی از مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره استفاده کرده‌اند. عساکره (۱۳۸۳) با استفاده از داده‌های بارش سالانه استان اصفهان طی دوره آماری ۱۹۶۹-۲۰۰۰ تغییرات مکانی بارش را بر اساس سه عامل ارتفاع، طول جغرافیایی، و عرض جغرافیایی مدل‌سازی کرده است. رضیئی و عزیزی (۱۳۸۷) با استفاده از آمار بارش سالانه ۱۷۰ ایستگاه وزارت نیرو و سازمان هواشناسی به بررسی توزیع مکانی بارش در غرب زاگرس پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که با توجه به شباهت بارش‌های فصل زمستان و پاییز ناهموازی و عرض جغرافیایی عامل اصلی کنترل‌کننده بارندگی‌ها در منطقه است.

بدین ترتیب، برای انجام دادن مرحله سوم (برازش الگوی رگرسیونی) چند گام برداشته شد که طی آن‌ها الگوهای مختلف رگرسیونی به شرح جدول ۳ برای میانگین سالانه بارش ایران طی دوره ۱۳۴۹-۱۳۹۴ ارائه شده است. ضرایب حاصل از این مدل‌ها در هر سطح اعتماد دلخواه معنی‌دار و قابل قبول است. بدین ترتیب، بهترین رابطه رگرسیونی در این میان قابل تشخیص است. گام‌های دستیابی به این الگوها برای کل دوره آماری و نیز برای هر یک از دهه‌ها به شرح زیر برداشته شد:

گام نخست: برای متغیرهای موجود با یکادهای مربوط (بارش با مقیاس میلی‌متر، عرض و طول جغرافیایی با مقیاس درجه قوسی، ارتفاع با مقیاس متر و شیب با متر در متر و جهت شیب با مقیاس درجه) رگرسیون خطی چندمتغیره برآورد شد. گام دوم با تبدیل مختصه‌های جغرافیایی قوسی (طول و عرض جغرافیایی) به مختصه‌های متریک آغاز شد. سپس، رگرسیون خطی چندمتغیره بر داده‌ها برازش یافت. این رگرسیون خطی بر اساس روش‌های رگرسیون معمولی (عساکره، ۱۳۹۰)، رگرسیون ریح (عساکره، ۱۳۸۳؛ عساکره، ۱۳۹۰؛ عساکره و سیفی‌پور، ۱۳۹۱) و رگرسیون استاندارد (عساکره، ۱۳۹۰) انجام شد. گام سوم شامل مقایسه آماره‌های برازندگی مدل (ضریب تعیین مدل رگرسیون، معنی‌داری ضرایب رگرسیون بر اساس آزمون t -استیودنت، معنی‌داری مدل بر اساس آزمون F ، آماره P ، و نیز آزمون‌های تصادفی و نرمال‌بودن مانده‌ها) است. در این مرحله پس از احراز شایستگی مدل و به پیروی از اصل امساک^۱ بهینه‌ترین الگوی رگرسیون اختیار شد. برخی نتایج ارزیابی و آزمون انواع رگرسیون برای کل دوره آماری در این نوشتار (جدول ۳) ارائه شد. نتایج بر این واقعیت گواهی می‌دهند که رگرسیون خطی چندمتغیره معمولی (کمینه مربعات خطا) از میان مدل‌های عرضه‌شده مدلی بهینه در بیان روابط مکانی بارش تلقی شد. نتایج مشابهی برای مدل‌های رگرسیونی همه دهه‌ها حاصل شد، اما به دلیل محدودیت حجم مقاله از ارائه مراحل پرهیز شده است. بنابراین، مدل رگرسیون خطی به‌عنوان مدل بهینه برای مقیاس سالانه و دهه‌ای اختیار شد.

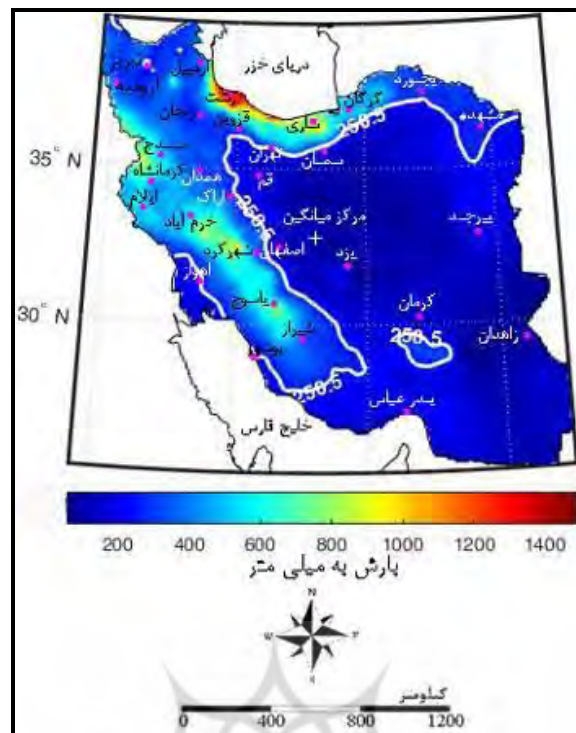
۴. نتایج مدل‌سازی رگرسیونی در این بخش محاسبه و بدین ترتیب برآورد بارش حاصل از تأثیر مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک به صورت نقشه‌هایی حاوی بارش‌های مزبور ارائه شد. سپس، تفاضل این بارش با بارش کل نیز محاسبه شد. بدین ترتیب، نقشه‌هایی تولید شد که مستقل از متغیرهای مکانی - توپوگرافیک و حاصل فعالیت الگوهای باران‌زایی است. مقایسه نقشه‌های تولیدشده برای این دو گروه و طی دهه‌های مورد بررسی امکان مقایسه دهه‌ها به لحاظ عملکرد عوامل درونی و بیرونی مؤثر بر بارش را مهیا می‌کند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های عمومی بارش سالانه

شکل ۲ توزیع مکانی متوسط بارش سالانه ایران را نشان می‌دهد. در جدول ۱ آماره‌های مکانی بارش بر اساس شکل ۲ ارائه شده است. می‌توان دید در کشور ایران روند عمومی کاهش میزان بارندگی از غرب به شرق و شمال به جنوب است. همچنین، تمرکز بارش بیشینه در دو ناحیه، ناحیه خزری و ستیغ‌های زاگرس از غرب تا جنوب غرب کشور، است. میانگین بارش سالانه ایران به وسیله خط هم‌ارزش ۲۵۰/۵ میلی‌متر در شکل ۲ مشخص شده است. مرکز میانگین بارش ایران (علامت +) در مختصات $E: 52^{\circ} 32' 24''$ $N: 33^{\circ} 16' 26''$ واقع شده است. این مشخصه، که مرکز ثقل مکانی بارش را نشان می‌دهد، بین دو ناحیه بارشی شمال و زاگرس میانی قرار گرفته است. از این نقطه به سمت شمال و به سمت غرب نواحی با بارش بالاتر از میانگین و به سمت شرق و جنوب این نقطه نواحی با بارش کمتر از میانگین ایران قابل افراز هستند.

۱. بر اساس اصل امساک (Law of Parsimony)، ساده‌ترین توضیحی که قادر به توضیح اطلاعات علمی در دسترس است بر سایر توضیحات پیچیده‌تر برتری دارد. به بیان دیگر، در میان مدل‌های متعدد با توان توجیه یکسان، آن مدل که کمترین پیش‌فرض‌ها و کمترین پیچیدگی را دارد، بر دیگر مدل‌ها ارجح است.



شکل ۳. مجموع سالانه بارش ایران زمین طی دوره ۱۳۴۹-۱۳۹۴

جدول ۱. آماره‌های مکانی بارش ایران زمین برای دوره آماری مورد بررسی

نمایه	مرکزی	پراکندگی	شکل توزیع	آستانه
آماره	میانگین	انحراف ضریب	چولگی	صدک دهم صدک نود
ارزش	۲۵۰/۵	۱۷۰/۵ ۶۸/۱	۱/۹	۴۸۵/۹ ۱۰۲/۷

نتایج محاسبه روابط بارش با مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک در جدول ۲ ارائه شده است. در بند ۳ بخش مواد و روش‌ها بیان شد که روش‌های همبستگی توانایی توجیه کامل و دقیق تنوع مکانی بارش را بر اساس نقش منفرد هر یک از مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک ندارند این واقعیت را می‌توان در جدول ۲ مشاهده کرد. اما برخی واقعیت‌ها به شکل نسبی از این جدول استنباط کردنی است:

می‌توان دید که بالاترین رابطه (بیش از ۰/۵۹) و آن هم به شکل معکوس بین بارش سالانه و طول جغرافیایی بوده است. این امر به وسیله کاهش بارندگی به سمت شرق کشور و آن هم به دلیل کاهش توان بارشی سامانه‌های باران‌زا توجیه پذیر است. بر این اساس و با توجه به ضریب تعیین مستخرج از این روابط، تغییرات شرق سوی بارش تا حدود ۳۵ درصد با طول جغرافیایی در ارتباط است. تغییرات مکانی بارش تا حدود ۱۳ درصد با عرض جغرافیایی (تغییرات شمال‌سو) توجیه می‌شود. همچنین، ارتفاع تا حدود ۴/۵ درصد تغییرات مکانی را توجیه می‌کند. اگرچه ارتفاعات قدرتمندترین ویژگی در توزیع مکانی بارش کشور به‌شمار می‌آیند (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۵؛ مسعودیان، ۱۳۹۰؛ علیجانی، ۱۳۹۵؛ عساکره و سیفی‌پور، ۱۳۹۱)، به دلیل تمرکز ارتفاعات در نواحی غربی و نیز شمالی کشور تأثیر ارتفاعات در آماره به‌دست آمده که برای کل پهنه محاسبه شده است، قابل توجه به‌نظر نمی‌رسد. اما واضح است که تغییرات ارتفاع در ایران بیش از فراسنج‌های دیگر بوده و از این رو عامل ارتفاع می‌تواند تغییرات مکانی بیشتری را برای بارش تولید نماید.

جدول ۲. ضریب همبستگی بارش با مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک

متغیرهای مکانی - توپوگرافیک	عرض جغرافیایی (φ)	طول جغرافیایی (λ)	ارتفاع (h)	شیب (S)	جهت شیب (A)
همبستگی با بارش (P)	۰,۳۵۸۵	-۰,۵۹۵۰	۰,۲۱۱۷	۰,۱۸۳۲	-۰,۰۲۵۶

به‌رغم عدم موفقیت نسبی روش‌های همبستگی منفرد در توجیه کامل و دقیق تنوع مکانی بارش بر اساس هر یک از مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک، تلاش می‌شود این روابط به شکل توأم بررسی دقیق‌تر شود. بدین ترتیب، این شرایط مهیا خواهد شد تا میزان تأثیر مجموعه متغیرهای مکانی در تکوین بارش بر اساس روش‌های مختلف رگرسیونی و نیز با تبدیل برخی متغیرها برآورد شود. نتایج برای کل دوره آماری در جدول ۳ ارائه شده است. توجه کنید که ضریب تعیین روابط محاسبه‌شده در همه روش‌ها تفاوت چشم‌گیر و معنی‌داری با هم ندارند. بنابراین و به پیروی از اصل امساک می‌توان رگرسیون خطی معمولی را از میان مدل‌های عرضه‌شده مدلی بهینه در بیان روابط مکانی بارش تلقی کرد. نتایج مشابهی برای مدل‌های رگرسیونی همه دهه‌ها حاصل شد. طبق جدول ۳، می‌توان دید که چهار متغیر از دو گروه متغیر مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک (شامل عرض جغرافیایی، ارتفاع، جهت و میزان شیب) رابطه مستقیم با میزان بارش نشان می‌دهند؛ در حالی که دو متغیر (طول جغرافیایی و جهت شیب) رابطه معکوس با میزان بارش دارند.

جدول ۳. رابطه بارش با عوامل مکانی و الگوهای رگرسیون حاصل از این رابطه برای ۱۳۴۹-۱۳۹۴

نوع مختصات	نوع رگرسیون	الگوی برازشده و فراسنج‌های مربوط
معمولی	معمولی	$P = 10507 + 65625\varphi - 19354\lambda + 0114h + 11716S + 010243A$
		$P\text{-value} = 0 \quad F = 0 \quad r^2 = 0392$
		$P = 1316526\varphi - 905922\lambda + 918965h + 25971S - 310939A$
استاندارد	استاندارد	$P = 010802\varphi - 05325\lambda + 0582h + 01527S - 01182A$
		$P\text{-value} = 0 \quad F = 0 \quad r^2 = 03907$
		$P = 24037 - 0002y + 0003x + 0144h - 11475S - 0587A$
معمولی	معمولی	$P = 1310208y - 910667x + 918857h + 259465S - 31485A$
		$P\text{-value} = 0 \quad F = 0 \quad r^2 = 0392$
		$P = 010765\varphi - 05353\lambda + 0581h + 01525S - 01185A$
استاندارد	استاندارد	$P\text{-value} = 0 \quad F = 0 \quad r^2 = 03921$

طبق مدل رگرسیون معمولی خطی، حدود ۳۹ درصد تغییرات مکانی بارش سالانه ایران زمین طی دوره ۱۳۴۹-۱۳۹۴ به‌وسیله این مدل توجیه‌شده است. چنان‌که دیده می‌شود، به شرط ثابت بودن بقیه متغیرهای مکانی، با افزایش هر درجه طول جغرافیایی حدود ۱۹ میلی‌متر کاهش بارندگی مورد انتظار است. با هر ده درجه افزایش جهت شیب نسبت به شمال جغرافیایی، به شرط ثابت بودن بقیه شرایط، حدود ۱ میلی‌متر افزایش بارش مورد انتظار است. با ثابت بودن همه متغیرها، به ازای افزایش هر درجه عرض جغرافیایی حدود ۶/۵ میلی‌متر افزایش در بارندگی حاصل خواهد شد. در حالی که با هر صد متر افزایش ارتفاع، به شرط ثابت بودن بقیه شرایط، حدود ۱/۱ میلی‌متر افزایش بارش مورد انتظار است. اگرچه همان‌گونه که عساکره (۱۳۸۳) نیز نشان داد، در نگاه اول به‌نظر می‌رسد نقش طول و عرض جغرافیایی بیش از ارتفاع

باشد، اما چنان‌که در شکل ۳ نیز دیده می‌شود، تغییرات ارتفاع ایران زمین بیش از دو فراسنج دیگر بوده و از این رو عنصر ارتفاع می‌تواند تغییرات مکانی بیشتری برای بارش تولید کند. همچنین، به شرط ثابت بودن متغیرها، به ازای هر درجه افزایش شیب حدود ۱۱/۷ میلی‌متر بر بارش سالانه افزوده می‌شود.

وردایی اثرهای عوامل درونی و بیرونی

الگوهای رگرسیونی برازنده بر بارش بر اساس مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک برای هریک از دهه‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین، این الگو برای کل دوره آماری از جدول ۲ اخذ و در آخرین ردیف جدول ۴ بازنویسی شده است.

جدول ۴. رابطه بارش با عوامل مکانی و الگوی رگرسیون حاصل از این رابطه

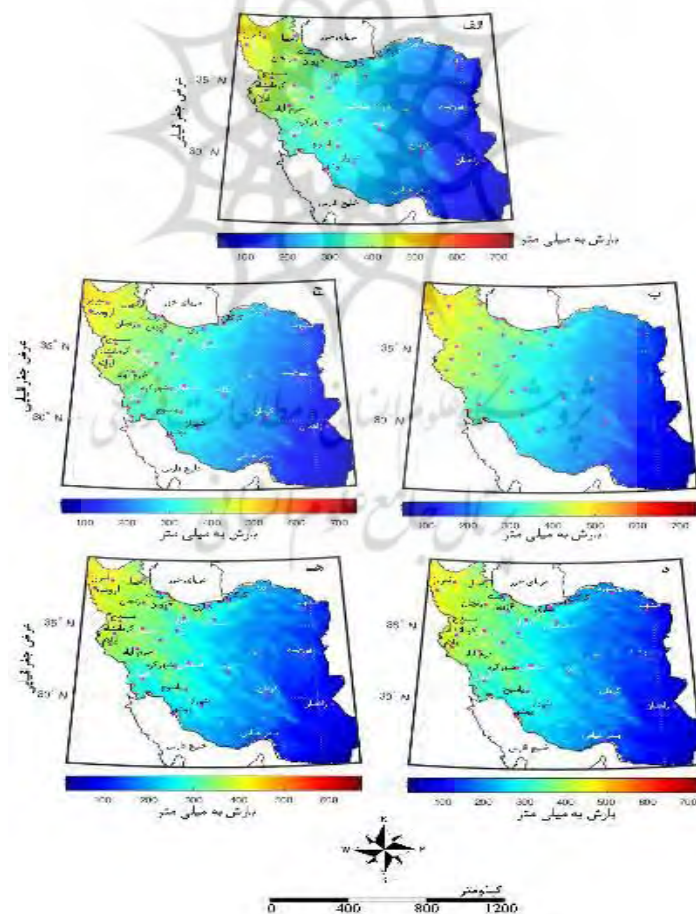
دوره‌ها	الگوی برازنده و فراسنجهای مربوط
دهه اول (۱۳۶۴-۱۳۵۵)	$P = 10.67/9 + 63.001\varphi - 19/156\lambda + 0.1008h + 11/0.81S + 0.107A$ $P - value = 0 \quad F = 0 \quad r^2 = 0.383$
دهه دوم (۱۳۷۴-۱۳۶۵)	$P = 13.90/3 + 0.7362\varphi - 21/979\lambda + 0.10204h + 11/6.03S + 0.10678A$ $P - value = 0 \quad F = 0 \quad r^2 = 0.38$
دهه سوم (۱۳۸۴-۱۳۷۵)	$P = 12.39/3 + 2/6939\varphi - 20/959\lambda + 0.10175h + 11/949S + 0.10683A$ $P - value = 0 \quad F = 0 \quad r^2 = 0.382$
دهه چهارم (۱۳۹۴-۱۳۸۵)	$P = 9.31/29 + 5/38118\varphi - 17/1\lambda + 0.10179h + 11/1294S + 0.10383A$ $P - value = 0 \quad F = 0 \quad r^2 = 0.366$
کل دوره (۱۳۹۴-۱۳۴۹)	$P = 11.43/6 + 4/1589\varphi - 19/755\lambda + 0.10154h + 11/519S + 0.10665A$ $P - value = 0 \quad F = 0 \quad r^2 = 0.392$

اولین ویژگی قابل توجه این الگوها این است که این الگوها بر اساس روش‌های معتبر آماری (به لحاظ معنی‌داری ضرایب که به وسیله عدد صفر که برابر میزان خطای حاصل از رد کردن فرض صفر است در زیر ضرایب معلوم شده است. نرمال، مستقل، و تصادفی بودن مانده‌ها و معنی‌داری ضریب تعیین چندمتغیره) آزمون شده (آماره‌های $P - value$ و F) و در هر سطح اعتماد دلخواه معنی دارند. دومین ویژگی این مدل‌های رگرسیونی به لحاظ نقش آن‌ها در توجیه تنوع مکانی بارش است که به وسیله ضریب تعیین (r^2) ارائه شده است. می‌توان دید که این آماره از حدود ۳۶ درصد تا حدود ۳۸ درصد در تغییر است. عموماً این مقدار طی سه دهه ابتدایی حول ۳۸ درصد و در دهه آخر حدود ۳۶/۶ درصد بوده است. این ویژگی بر کاهش رابطه متغیرهای مکانی - توپوگرافیک با بارش طی دهه انتهایی گواهی می‌دهد. از موارد شایان یادآوری بزرگی نسبی ضریب تعیین برای الگوی رگرسیونی کل دوره آماری (۱۳۹۴-۱۳۴۹) است که با مقدار حدود ۳۹/۲ درصد مشخص می‌شود.

به‌رغم ثبات نسبی ضریب تعیین الگوهای دهه‌ای، می‌توان دید که نقش برخی از متغیرهای موقعیت جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک از دهه‌ای به دهه دیگر بسیار تغییرپذیر است و برخی متغیرها نقش‌های نسبتاً ثابتی داشته‌اند. این امر گواهی بر این واقعیت است که تغییر کاهنده اثر یک متغیر با تغییر فزاینده اثر متغیرهای دیگر جبران می‌شود و نیز متناسب با تغییرات دهه‌ای بارش شکل می‌گیرد. از این رو، ضریب تعیین در دهه‌های متوالی تغییر چشم‌گیری نداشته است. در این میان عرض جغرافیایی در قیاس با کل دوره (۴/۱۵۸۹) تغییرات شدیدی (به ترتیب از دهه ابتدایی به دهه انتهایی ۶/۳۰۰۱، ۰/۷۳۶۲، ۲/۶۹۳۹، و ۵/۳۸۱۸) را متحمل شده است. بیشترین و کمترین نقش این متغیر به ترتیب در

دهه اول و دوم بوده است. در دهه انتهای بزرگ‌ترین اثر را بعد از دهه اول برای عرض جغرافیایی می‌توان مشاهده کرد. بنابراین، در دو دهه انتهای نقش عرض جغرافیایی در میزان میانگین دهه‌ای بارش بسیار چشم‌گیرتر از دو دهه میانی است. تأثیر طول جغرافیایی برای کل دوره با عدد ۱۹,۷۵۵ مشخص می‌شود. دامنه تأثیر طول جغرافیایی در طی چهار دهه مورد بررسی از ۱۷/۱ در دهه چهارم تا ۲۱,۹۷۹ در دهه دوم (با دامنه حدود ۴/۹ میلی‌متر در هر درجه قوسی) در تغییر است. بر این اساس اثرگذاری عمومی این متغیر مکانی رو به کاهش نهاده است. این ویژگی به معنی افزایش نسبی میزان میانگین دهه‌ای بارش به سمت نواحی شرقی کشور (یا کاهش بارش نواحی غربی) طی دهه‌های اخیر است. اثر بقیه فراسنج‌های توپوگرافیک را می‌توان در جدول ۴ مشاهده کرد.

نقشه‌های بارش بر اساس مدل‌های ارائه شده در جدول ۴ ترسیم و در شکل ۴ ارائه شده است. در این شکل نقش عوامل درونی در توزیع مکانی بارش ارائه شده است. همان‌گونه که در بالا اشاره شد، ثبات نسبی مدل رگرسیونی که با واسطه ضریب تعیین نسبتاً ثابت مشخص می‌شود، به‌رغم تفاوت ناچیز در مقدار بارش، برای کل دوره آماری (شکل ۴- الف) و نیز همه چهار دهه مورد بررسی (شکل ۴- ب تا ه) تکوین الگوهای مکانی بارش تقریباً یکسان را به‌همراه داشته است. بدین ترتیب، به‌نظر می‌رسد و ردای دهه‌ای بارش مستقل از عوامل درونی اقلیم بارشی ایران رخ داده است. بنابراین، مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک نقش نسبتاً ثابتی در این و ردای داشته‌اند.

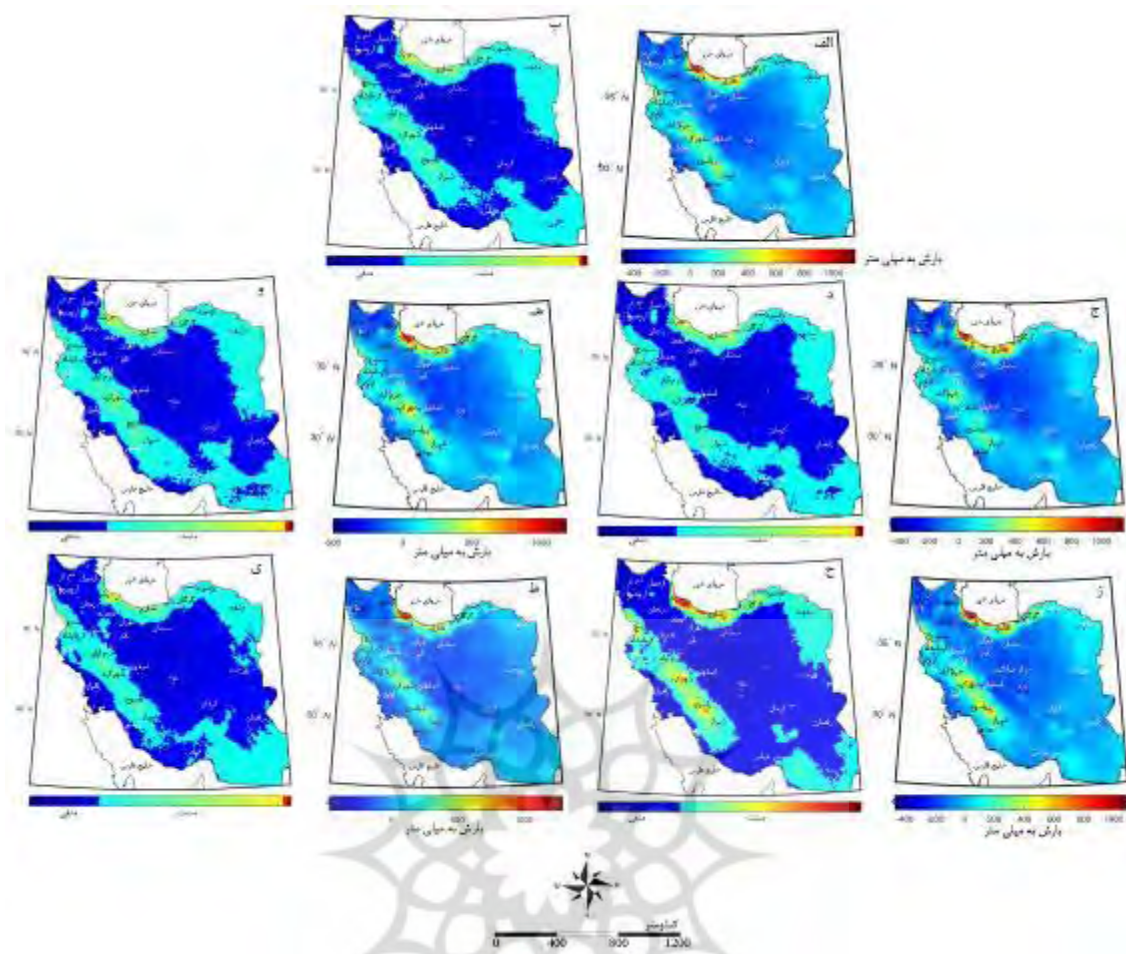


شکل ۴. میزان بارش حاصل از الگوهای رگرسیونی برازنده (عوامل درونی بارش) بر مجموع سالانه بارش برای کل دوره (الف)، دهه اول (ب)، دهه دوم (ج)، دهه سوم (د)، و دهه چهارم (ه)

جدول ۵. پهنه تحت تأثیر عوامل بیرونی و درونی مؤثر بر وردایی بارش (به درصد)

درصد پهنه توأم با تغییرات با منشأ		دوره
بیرونی	درونی	
۵۲٫۳۸	۴۷٫۶۲	دهه اول (۱۳۶۴-۱۳۵۵)
۵۴٫۰۸	۴۵٫۹۲	دهه دوم (۱۳۷۴-۱۳۶۵)
۵۸٫۴۴	۴۱٫۵۶	دهه سوم (۱۳۸۴-۱۳۷۵)
۵۹٫۷۲	۴۰٫۲۸	دهه چهارم (۱۳۹۴-۱۳۸۵)
۵۵٫۶۲	۴۴٫۳۸	کل دوره (۱۳۹۴-۱۳۴۹)

به منظور ارزیابی وردایی حاصل از عوامل بیرونی اقلیم بارشی ایران، مقادیر بارش کل از مقدار حاصل شده از الگوهای رگرسیون کسر شد. نتایج در شکل ۵ حاصل آمد. نقشه‌های ارائه شده در شکل ۵ به دو گروه تقسیم می‌شود: اول، توزیع مکانی بارش حاصل از عوامل بیرونی (نقشه الف برای کل دوره، نقشه‌های ج، ه، ز، ط برای دهه‌های مورد بررسی) را نشان می‌دهد؛ دوم، ارائه نقشه‌های گروه اول با دو طبقه مقادیر مثبت و منفی (شکل ب برای کل دوره و شکل‌های د، و، ح، ی برای دهه‌های مورد بررسی) است تا تصویر واضح‌تری از نواحی ارائه شود (شکل‌های ب، د، و، ح، ی به ترتیب مربوط به طبقه بندی دوگانه مثبت-منفی شکل‌های الف، ج، ه، ز، ط است). مقادیر منفی نشان‌دهنده نواحی است که میزان بارش برآوردی (حاصل از مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک) بسیار کمتر از بارش‌های حاصل از عوامل بیرونی است. بنابراین، این نواحی بارش عمده خود را از عملکرد عوامل بیرونی دریافت می‌کنند و نقش عوامل درونی در باران‌زایی ناچیز است. در نواحی‌ای که مقادیر مثبت دیده می‌شود گویای این واقعیت است که نقش عوامل درونی بیشتر و به‌مثابه نیروهای تقویت‌کننده عوامل بیرونی عمل می‌کند. مقایسه دهه‌ها می‌تواند نقش عوامل درونی - بیرونی را در وردایی دهه‌ای نشان دهد. در جدول ۵ نسبت پهنه‌های توأم با مقادیر منفی (نقش عوامل بیرونی اقلیم بارشی) و مثبت (نقش تقویت‌کننده عوامل درونی اقلیم بارشی) ارائه شده است. می‌توان دید که از اولین دهه مورد بررسی به سمت دهه انتهایی سهم عوامل بیرونی در وردایی بارش افزون‌تر شده است. بعد از دهه دوم، عوامل بیرونی حتی نسبت به میانگین کل افزایش داشته‌اند؛ به طوری که در دهه ۱۳۸۵-۱۳۹۴ نزدیک به ۶۰ درصد از گستره کشور با وردایی بارش حاصل از عوامل بیرونی مواجه بوده است. به خوبی در شکل ۵ آشکار است که نواحی‌ای که تغییرات محلی دهه‌ای را تجربه کرده‌اند در حواشی کشور، نظیر کوه‌های زاگرس، سواحل خزر، مرزهای شرقی ایران (از جنوب شرق تا شمال شرق)، قرار گرفته‌اند (شمال غرب ایران از این قاعده مستثناست). این نواحی تحت تأثیر عوامل مکانی - توپوگرافیک بارش‌های محلی و تغییرات آن را تجربه کرده‌اند. همچنین، این نواحی عمدتاً منطبق بر نواحی هستند که از سازوکارهای متنوع بارندگی برخوردارند. بنابراین، به نظر می‌رسد عمده نواحی متأثر از وردایی عوامل بیرونی نواحی‌ای است که عمده بارش خود را از سامانه‌های مدیترانه‌ای دریافت می‌کرده‌اند (شمال غرب ایران و بعضاً نواحی متأثر از سامانه‌های جنوبی استثناست).



شکل ۵. میزان بارش حاصل از تفاضل الگوهای رگرسیونی و بارش رخ داده بر مجموع سالانه بارش کل دوره (الف) و طبقات مثبت- منفی آن (ب)، دهه اول (ج) و طبقات مثبت- منفی آن (د) دهه دوم (ه) و طبقات مثبت- منفی آن (و)، دهه سوم (ز) و طبقات مثبت- منفی آن (ح) و دهه چهارم (ط) و طبقات مثبت- منفی آن (ی)

نتیجه گیری

ویژگی لانه‌گزینی اقلیم ایران تنوع مکانی عناصر اقلیمی از جمله بارش را در پی دارد (مسعودیان، ۱۳۹۰). این ویژگی موجب می‌شود که اقلیم کلی و نیز اقلیم بارشی، علاوه بر تأثیرپذیری از عوامل بیرونی، از عوامل درونی نیز متأثر شود (علیجانی، ۱۳۹۵). عوامل درونی برای ایران در یک گروه‌بندی به دو دسته مختصات مکانی (شامل عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی) و عوامل توپوگرافیک (شامل ارتفاع، شیب، و جهت آن) تقسیم می‌شود. این عوامل می‌توانند نقش بسیاری عوامل درونی دیگر را نیز در خود جای دهند. مثلاً، طول و عرض جغرافیایی می‌توانند فاصله از منابع رطوبتی را نیز نشان دهند. در پژوهش حاضر برای تفکیک نقش عوامل درونی و عوامل بیرونی بر وردایی دهه‌ای بارش ایران زمین از الگوهای رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد.

با توجه به ثبات نسبی عوامل محلی مؤثر بر تغییرات بارش، می‌توان استنباط کرد که عوامل مؤثر بر تغییرات بارش عوامل بیرونی مؤثر بر اقلیم ایران بوده‌اند. یافته‌های پژوهش حاضر نیز نشان داد که پهنه‌هایی که از وردایی عوامل بیرونی متأثر می‌شوند از دهه نخست به دهه انتهایی افزایش یافته‌اند. این ویژگی به‌وسیله پژوهشگران پُرشماری مورد

مداقه قرار گرفته است. مثلاً، کریمی و همکاران (۱۳۹۷) ارتباط تغییرات بارشی ایران را با تغییرات رطوبت ورودی به جو ایران بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تفاوت معناداری به لحاظ الگوی جریان حاکم در دوره‌های خشک و مرطوب وجود دارد. به طوری که شرایط مساعد الگوهای جریان بر روی منطقه و عرض‌های بالاتر وضعیت را برای افزایش برداشت رطوبت توسط جریان‌های عبور از سطوح آبی اطراف مساعد کرده و زمینه را برای انتقال بیشتر رطوبت به منطقه فراهم می‌نماید. رهاورد این فرایند ایجاد بارش و به تبع آن رخداد دوره مرطوب است. اما در دوره خشک انحراف و تغییر جهت جریان‌ها به ویژه در ترازهای زیرین جو شرایط را برای کاهش انتقال رطوبت و رخداد دوره خشک در ایران مهیا کرده است. خدادادی و همکاران (۱۳۹۲) و فرج‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش‌های خود به نتایج مشابهی دست یافتند. نتایج بررسی‌های دارند (۱۳۹۴) در مورد تغییرات رطوبت جوی ایران در بازه زمانی ۱۹۷۹-۲۰۱۳ حاکی از تغییرات معنی‌دار مقادیر نم و ویژه و نم نسبی ورودی به کشور در طول دوره یادشده است. در لایه پایین وردسپهر، روند مقادیر یادشده بر روی اغلب گستره ایران کاهش است (دارند، ۱۳۹۴). همچنین، نتایج یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که عمده‌ترین نواحی متأثر از تغییرات عوامل بیرونی در داخل ایران (و نه حواشی آن) و ناحیه شمال غرب کشور بوده است؛ در مقابل نواحی حاشیه‌ای ایران (شامل کوه‌های زاگرس، سواحل خزر، مرزهای شرقی ایران از جنوب شرق تا شمال شرق) متأثر از عوامل درونی اقلیم وردایی بارش را تجربه کرده‌اند.

سپاسگزاری

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از همه کسانی که به هر شکل در این پژوهش یاریگری کرده‌اند سپاس و امتنان خود را اعلام کنند. بدین وسیله، به ویژه از زحمات جناب آقای دکتر کوهزاد رئیس پور قدردانی خود را ابراز و اعلام می‌داریم.

منابع

- اختصاصی، م. م.؛ جهان‌بخشی ف. و کوثری، م. ر. (۱۳۹۴). بررسی روند بارش در ۳۲ ایستگاه سینوپتیک ایران با روش ناپارامتری و جمع متحرک داده با مرتبه ۱ تا ۴۸ ماهه طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۵، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۱(۲): ۱۵۱-۱۵۶.
- خدادادی، م. م.؛ آزادی، م. و رضازاده، پ. (۱۳۹۲). منابع رطوبت و ترابرد ماهانه آن روی ایران و برهم‌کنش آن با مونسون هندوستان و پُراتنفاع جنب حاره، مجله ژئوفیزیک ایران، ۷(۲): ۹۶-۱۱۳.
- دارند، م. (۱۳۹۴). واکاوی وردایی زمانی- مکانی رطوبت جوی ایران زمین طی بازه زمانی ۱۰۷۰-۲۰۱۳، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷: ۲۱۳-۲۳۹.
- رضایی، ط. و عزیز، ق. (۱۳۸۷). بررسی توزیع مکانی بارندگی فصلی و سالانه در غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۵: ۱۸-۹۳.
- زاهدی، م.؛ ساری‌صراف، ب. و جمعی ج. (۱۳۸۵). الگوسازی بارش ایستگاه‌های ارومیه و تبریز، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۷: ۱-۱۵.
- عساکره، ح. (۱۳۸۳). مدل‌سازی تغییرات مکانی عناصر اقلیمی مطالعه موردی: بارش سالانه استان اصفهان، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۹(۳): ۲۱۳-۲۳۱.
- عساکره، ح. (۱۳۸۶). تغییرات زمانی و مکانی بارش ایران طی دهه‌های اخیر، جغرافیا و توسعه، ۱۰: ۱۴۵-۱۶۴.
- عساکره، ح. (۱۳۸۷). کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش مطالعه موردی: میان‌یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین، جغرافیا و توسعه، ۱۲: ۲۵-۴۲.
- عساکره، ح. (۱۳۹۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، زنجان، انتشارات دانشگاه زنجان.
- عساکره، ح. و سیفی‌پور، ز. (۱۳۹۱). مدل‌سازی مکانی بارش سالانه ایران، جغرافیا و توسعه، ۱۰(۲۹): ۱۵-۳۰.
- عساکره، ح. (۱۳۹۶). مبانی پژوهش در آب‌وهواشناسی، زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان.
- عسگری، ا. و رحیم‌زاده، ف. (۱۳۸۲). برجستگی نوسان بارش در کشور نسبت به روند و جهش آن، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم اصفهان.
- علیجانی، ب. (۱۳۷۳). نقش کوه‌های البرز در تنوع مکانی بارش، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تربیت معلم، ۴ و ۵: ۹۹-۱۲۰.
- علیجانی، ب. (۱۳۹۵). آب و هوای ایران، چ ۱۳، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- غیور، ح.ع. و مسعودیان، س. ا. (۱۳۷۵). بررسی نظام تغییرات مجموع بارش سالانه در ایران زمین، نشریه نیوار، ۲۹: ۲۷-۶۰.
- فرج زاده، م و احمدیان، ک. (۱۳۹۳). تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در ایران، مخاطرات محیط طبیعی، ۴: ۱-۱۶.
- کتیرایی، پ. س.؛ حجام، س. و ایران‌نژاد، پ. (۱۳۸۶). سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۳: ۶۷-۸۳.
- کرلینجر، پ. (۱۳۸۴). رگرسیون چندمتغیری در پژوهش رفتاری، ترجمه حسن سرایی، تهران: سمت.

کریمی، م.؛ کاکلی، س.ا. و رفعتی، س. (۱۳۹۷). شرایط و مخاطرات اقلیمی آینده ایران در تحقیقات اقلیمی، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵۰(۳): ۱-۲۲.

مجرد، ف. و مرادی فرح. (۱۳۸۲). مدل سازی رابطه بارش با ارتفاع در منطقه زاگرس، فصل نامه مدرس، ۲: ۱۶۳-۱۸۲.

محمدی، ب. (۱۳۹۰). تحلیل روند بارش سالانه ایران، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۲(۴۳): ۹۵-۱۰۶.

مسعودیان، س.ا. (۱۳۹۰). آب و هوای ایران، مشهد: انتشارات شریعه توس.

مسعودیان، س.ا. (۱۳۸۳). روند بارش در نیم سده گذشته، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۲: ۴۷-۶۸.

مسعودیان، س.ا. (۱۳۹۸). گزارش بارش‌های اسفند ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ حوضه‌های سیل زده ایران، هیئت ویژه گزارش ملی سیلاب، کارگروه اقلیم‌شناسی و هواشناسی، منتشر نشده.

مسعودیان، س.ا.؛ رعیت‌پیشه، ف. و کیخسروی کیانی، م. ص. (۱۳۹۳). معرفی و مقایسه پایگاه داده بارشی TRMM3B43 و پایگاه داده بارش اسفزاری، مجله ژئوفیزیک ایران، ۴: ۱۵-۳۱.

ناظری تهرودی م؛ خلیلی، ک و احمدی ف. (۱۳۹۵). تحلیل روند تغییرات ایستگاهی و منطقه‌ای بارش نیم قرن اخیر کشور ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۰: ۶۵۴-۶۴۳.

Alijani, B. (1994). The role of the Alborz mountains range in altitudinal distribution of Precipitation, Journal of the Faculty of Literature and Humanities Tarbiat Moallem University, 4 and 5: 99-120.

Alijani, B. (2016). Climate of Iran, Thirteenth Edition, Payam Noor University Press, Tehran.

Asakereh, H. (2004). Spatial change modeling of climate data A case study: Annual precipitation of Esfahan province, Geographical Research, 19(374): 213-231.

Asakereh, H. (2007). Spatio – Temporal Changes of Iran Inland Precipitation during Recent Decades, Geography And Development Iranian Journal, 10: 145-164.

Asakereh, H. (2008). Kriging Application in Climatic Element Interpolation A Case Study: Iran Precipitation in 1996.12.16, Geography And Development Iranian Journal, 12: 25-42.

Asakereh, H. (2011). Fundamentals of Statistical Climatology, University of Zanjan Press, Zanjan.

Asakereh, H. and Seifipour, Z. (2013). Spatial Modeling of Annual Precipitation in Iran, Geography and Development, 10(29): 6-9.

Asakereh, H. (2017). Fundamentals of Research in Climatology, University of Zanjan Press, Zanjan.

Asakereh, H. and Sayadi, F. (2014). Evaluation the Ability of Markov Chain Model to Estimating and Regionalizing the Probability of Dry Days in Iran, Geography And Environmental Hazards, 10: 37-54.

Askari, A. and Rahimzadeh, F. (2003). Prominence of precipitation fluctuations in the country relative to the trend and its mutation, Third Regional Climate Change Conference, Isfahan.

Darand, M. (2015). Analysis of Spatio-Temporal Variation of Atmospheric Humidity in Iran during 1979-2013. Physical Geography Researches, 47(2): 213-239

Diaz, H. F.; Bradley, R. S. and Eischeid, J. K. (1989). Precipitation fluctuations over global land areas since the late 1800's, Journal of Geophysical Research, 94: 1195-1210.

Ekhatesasi, M.R.; Jahanbakhshi, F. and Kousari, M.R. (2015). Evaluating the Trend of Precipitation in 32 Synoptic Stations in Iran with Nonparametric Method and Moving Summation of Data for the

- Period of 1970 to 2005 with Ranks of 1 to 48 Months. *Iran-Water Resources Research*, 11(2): 151-156.
- Farajzadeh, M. and Ahmadian, K. (2014). Temporal and Spatial Analysis of Drought with use of SPI Index in Iran, *Journal of Natural Environmental Hazards*, 4: 1-16.
- Ghayur, H.A. and Masoodian, S.A. (1996). Investigating the System of Changes in the Total Annual Precipitation in Iran, *Nivar*, 29: 27-60.
- Glazirin, G. E. (1997). Precipitation Distribution with Altitude, *Theoretical and applied climatology*, 58: 141-145.
- Goudi, A. (1992). *Environmental change*, Oxford University Press, 3 edition.
- IPCC, 2007, *Climate Change, Synthesis Report*, Published by the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kadioglu, M. and Sen, Z. (1998). Power-law Relationship in Describing Temporal and Spatial Precipitation Pattern in Turkey, *Theoretical and Applied Climatology*, 59: 93-106.
- Karimi, M.; Kaki, S. and Rafati, S. (2018). Iran's Future Climate Conditions and Hazard in *Climate Research*. *Jsaeh*, 5(3): 1-22.
- Katiraie, P.S.; Hejam, S. and Irannejad, P. (2007). Contribution of frequency variation and Precipitation intensity of Trend rainfall during the period 1960 to 2001, *Journal of the Earth and Space Physics*, 1: 67-83.
- Kaviani, M.R. and Asakereh, H. (2005). Statistical Study of Annual Precipitation Trend in Isfahan, *Research Bulletin of Isfahan University (Humanities)*, 1: 143-162.
- Kerlinger, P. (1982). *Multiple Regression in Behavior research*, Samt Publication, Tehran.
- Khodadi, M. M.; Azadi, M. and Rezazadeh, P. (2013). Moisture sources and transport over Iran and its interaction with Indian monsoon and subtropical high, *Iranian Journal of Geophysics*, 7(2): 96-113.
- Marengo, J.; Liebmann, B.; Kousky, V.E.; Filizola, N. and Wainer, I. (2001). On the onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin, *Journal of Climate*, 14: 833-852.
- Masoodian, S.A. (2004). Temperature Trends in Iran During the Last Half Century, *Geography and Development*, 2: 47-68.
- Masoodian, S.A. (2008). On Precipitation Mapping in Iran, *Journal of Humanities*, 30(2): 69-80
- Masoodin, S.A. (2011). *Climate of Iran*, Sharia Toos Press, Mashhad.
- Masoodian, S.A. (2019). Report of precipitation in March 2016 and April 2015 in flooded basins of Iran, Special Committee of National Flood Report, Climatology and Meteorology Working Group, Unpublished.
- Masoodian, S.A.; Rayatpishhe, F. and Keykhosravi Kiani, M.S. (2015). Introducing the TRMM and Asfzari precipitation database: A comparative study, *Iranian Journal of Geophysics*, 4: 15-31.
- Mohammadi, B. (2012). Trend Analysis of annual rainfall over Iran, *Geography and Environmental Planning*, 3: 95-106.
- Mojarrad, F. and Moradifar, H. (2003). Modelling the Relation of Precipitation with Elevation in the Zagros Region, *Modarres Human Scienses*, 2: 163-182.
- Nazeri Tahrudi, M.; Khalili K; and Ahmadi, F.; (2016). Spatial and Regional Analysis of Precipitation Trend over Iran in the Last Half of Century. *Journal of Water and Soil* 46: 643-654. Raziei, T. and Azizi, G. (2009). Investigation of Spatial Patterns of Seasonal and Annual Precipitation in Western Iran, *Physical Geography Research Quarterly*, 65: 18-93.

- Singh, P.; Ramasastri, K. S. and Kumar, N. (1995). Topographical Influence on Precipitation Distribution in Different Ranges of Western Himalayas, *Nordic Hydrology*, 26: 259-284.
- Tegart, W. J.; Mc, G.; Sheldon, G. W. and Griffiths, D. C. (eds.) (1990). *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Nazeri Tahradi, M.; Khalili, K. and Ahmadi, F. (2016). Spatial and Regional Analysis of Precipitation Trend over Iran in the Last Half of Century. *Journal of Water and Soil*, 2: 643-654.
- Todorov, A. V. (1985). Sahel: The changing rainfall regime and "normals" used for its assessment, *J. Climate. Appl. Meteor.*, 24: 97-107.
- Vining, K. C. and Griffith, J. F. (1985). Climatic variability at ten stations across the United States, *J. Climate. Appl. Meteor.*, 24: 363-370.

