

Analysis of Variability of Individual Seasonal Index and Rainfall Regime Patterns, Case Study: Khorramabad

Taghi Tavousi^{1*}

¹ Professor, Geography Department, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email: t.tavousi@gep.usb.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Full Paper	The purpose of the current study is the analysis of variability of seasonal index (SI) and patterns of rainfall regime in Khorramabad city. In this regard, the monthly rainfall data of 70 years, during (1951-2020) have been selected from Khorramabad meteorological station. In order to identify the variability of seasonal patterns of precipitation, the studied statistical period was divided into two halves and also into seven decades. At first, the general characteristics of monthly, seasonal and annual rainfall were analyzed using drawing techniques. Then, precipitation concentration index (PCI) and individual seasonal index (SI_i) have been estimated and the trend of these indices has been investigated. The length of the months with maximum rainfall and the variation range of the individual seasonal index (SI_i) were evaluated using the ratio between the average seasonal index ($\bar{SI}$) and the mean individual seasonal index ($\bar{SI}_i$) for each decade. The results showed that the rainfall regime of Khorramabad is winter (cold half of the year), and the average seasonal index ($\bar{SI}$) showed that the local rainfall regime is seasonal (a dry period and a wet period). Regression analysis of the individual seasonal index (SI_i) with the total annual precipitation shows a statistical inverse linear correlation. The time series trend of the (SI_i) was examined to verify that no significant change in the seasonal rainfall regime occurred. However, the interannual changes of individual seasonal index (SI_i) have caused four different seasonal patterns in the rainfall regime of Khorramabad. In general, it can be said that the patterns of the seasonal regime in Khorramabad have fluctuating behavior, intermittently decreasing or increasing the period of rainfall.
Article history: Received: 2024-6-14 Accepted: 2024-8-21	
Keywords: Precipitation Concentration Index Rainfall Distribution Rainy period Climate Periodic	

Cite this article: Tavousi, T. (2025). Analysis of Variability of Individual Seasonal Index and Rainfall Regime Patterns, Case Study: Khorramabad. Journal of the Climate Change research, 6 (21), 49-66.



نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی



فصلنامه علمی دانشگاه گلستان

سال ششم / شماره مسلسل بیست و یکم / بهار ۱۴۰۴ / صفحات: ۶۶-۴۹

تحلیل تغییرپذیری شاخص فصلی مجزا و الگوهای رژیم بارندگی

موردکاوی: ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد

تقی طاوسی^{۱*}

^۱ استاد گروه جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، رایانامه: t.tavousi@gep.usb.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۳۱ واژه‌های کلیدی: شاخص تراکم بارندگی توزیع بارندگی دوره بارانی اقلیم تناوبی	هدف پژوهش حاضر تجزیه و تحلیل تغییرپذیری شاخص فصلی (SI) و الگوهای رژیم بارندگی ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد است. در این راستا، داده‌های بارندگی ماهانه ۷۰ سال، طی (۱۹۵۱-۲۰۲۰) از ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد انتخاب شده است. به منظور شناسایی تغییرپذیری الگوهای فصلی بارش، دوره آماری مورد مطالعه به دو نیمه و نیز به ۷ دهه تقسیم شد. نخست، مشخصات عمومی بارش ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از شگردهای ترسیمی واکاوی شد. سپس شاخص تراکم بارندگی (PCI) و شاخص فصلی مجزا (SIi) برای هر سال برآورد شد و وجود روند این شاخص‌ها بررسی شده است. طول دوره ماه‌های با بیشینه بارندگی و نیز دامنه تغییرپذیری شاخص فصلی مجزا (SIi)، با استفاده از نسبت بین میانگین شاخص فصلی (SI) با میانگین شاخص فصلی مجزا (SIi) برای هر دهه بررسی شد. نتایج نشان داد رژیم بارندگی خرم‌آباد زمستانی (نیمه سرد سال) است و میانگین شاخص فصلی (SI) گویای حاکمیت رژیم فصلی بارندگی (یک‌دوره خشک و یک‌دوره بارانی) در محل است. تجزیه و تحلیل رگرسیون شاخص فصلی مجزا (SIi) با مجموع بارش سالانه بیانگر یک همبستگی خطی معکوس آماری است. روند سری زمانی (SIi) نشان داد که هیچ تغییر چشمگیری در رژیم فصلی بارندگی رخ نداده است. به هر روی، تغییرات بین‌سالانه شاخص فصلی مجزا (SIi)، موجب بروز چهار الگوی فصلی متفاوت در رژیم بارشی خرم‌آباد شده است و در مجموع الگوهای رژیم فصلی خرم‌آباد دارای رفتار نوسانی است که به تناوب موجب کاهش یا افزایش دوره بارانی می‌شود.

استناد: طاوسی، تقی. (۱۴۰۴). تحلیل تغییرپذیری شاخص فصلی مجزا و الگوهای رژیم بارندگی موردکاوی: ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد. نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۶ (۲۱)، ۶۶-۴۹.

Doi: 10.30488/CCR.2024.462888.1227

ناشر: دانشگاه گلستان

© نویسندگان.



مقدمه

تغییر اقلیم رخداد بارندگی در زمان و مکان را تغییر می‌دهد (Florke et al., 2018). بر پایه سناریوهای اقلیم در حال تغییر، امکان تغییر در مقدار بارندگی و پراکندگی فصلی آن وجود دارد (Rai and Dimri, 2020). رخداد بارندگی بیشتر در ماه‌ها یا فصل‌های خاصی از سال در یک محل مشخص، گویای فصلی بودن بارندگی است (Markham, 1970). افزون بر این، فصلی بودن بارندگی سرانجام مؤلفه‌های مستقل گوناگون دیگری را نمایان می‌سازد و آن را به مفهومی پیچیده تبدیل می‌کند (Walsh and Lawler, 1981). رژیم بارندگی چگونگی رخداد پدیده بارش و ناهنجاری‌های مربوطه را طی ماه‌های یک سال و تحت تأثیر نوسان و ناهنجاری‌های آن بیان می‌کند (عساکره و ورناصری‌قندعلی، ۱۴۰۰). تضادهای فصلی مقدار بارندگی که بیشتر به شیوه فصلی بودن بارندگی ارزیابی می‌شود به‌تنهایی نمی‌تواند گویای خشک یا مرطوب بودن فصل‌ها به‌معنای مطلق باشد (Livada and Asimakopoulou, 2005).

پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی ناشی از تغییرپذیری توزیع فصلی بارندگی، ضرورت بررسی تغییر رژیم بارش و مؤلفه‌های مربوط به آن را روشن می‌سازد. از این‌رو، موضوع بارندگی فصلی و تغییرات آن، مورد کنکاش اقلیم‌شناسان و پژوهشگران قرار گرفته است. برای نمونه می‌توان به تعیین شاخص فصلی مجزای رژیم‌های بارندگی در گستره کشور یونان (Livada and Asimakopoulou, 2005)، بررسی شاخص رژیم بارندگی فصلی منطقه سانگلی ایالت ماهاراشترا در هندوستان (Patil, 2015)، تجزیه و تحلیل رژیم فصلی بارندگی و تغییرپذیری آن در دوره (۲۰۱۳-۱۹۶۴) در بخش شمالی کشور بنگلادش (Bari et al, 2016) و تحلیل مکانی-زمانی بارندگی، خشکسالی هواشناسی و چگونگی تأمین آب در کلان‌شهر چنای کشور هند (Anandharuban and Elango, 2021) اشاره کرد. شناسایی رژیم‌های بارشی ایران با استفاده از روش‌های چند متغیره (رضیعی، ۱۳۹۶)، تعیین وضعیت و تغییرات شاخص فصلی بارش بخش مرکزی استان اردبیل (مصطفی‌زاده و مهری، ۱۳۹۷) و تغییر رژیم بارش

ناحیه خزری (عساکره و ورناصری‌قندعلی، ۱۴۰۰)، بررسی کارایی مدل پیش‌بینی احتمالاتی تغییرات فصلی بارش در ایران (نجفی و دهبان، ۱۴۰۲) نیز از جمله پژوهش‌هایی است که در مورد رژیم بارندگی ایران انجام شده است.

تغییرپذیری رژیم بارشی می‌تواند نقش مهمی در پیش‌بینی‌های اقلیمی و در نتیجه مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، کشاورزی و شهری داشته باشد (Guhathakurta and Saji, 2013). پیامد تغییرات بارندگی بر بسیاری دیگر از پدیده‌های اقلیمی و محیطی مانند رواناب، سیلاب، دما و رطوبت هوا بروز می‌کند (مصطفی‌زاده و مهری، ۱۳۹۷).

بسیاری از واداشتهای تابشی انسانی در سامانه اقلیم زمین پس از ۱۹۷۰ میلادی رخ داده است، بنابراین، این دوره به‌عنوان دوره گرمایش جهانی^۱ شهرت یافته است (Naidu et al, 2009). واداشتهای بارشی خرم‌آباد و تغییرات درون‌سالانه و بین‌سالانه ناشی از سامانه‌های همدیدی و نیز فرآیندهای محلی منطقه کوهستانی زاگرس بسیار پیچیده است. از این‌رو، بررسی ویژگی‌هایی بارندگی، کم و بیش می‌تواند پیچیدگی‌های اقلیمی محل را آشکار سازد. تعیین فصلی بودن بارندگی و پراکنش آن در ماه‌های مختلف سال می‌تواند بر مخاطرات هیدرواقلمی تأثیر بگذارد و تحلیل روند تغییرات آن، ارزیابی مناسبی در طول زمان ارائه می‌دهد.

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی روند تغییر ویژگی‌های رژیم بارش فصلی با استفاده از شاخص فصلی مجزا برای هر سال معین و بررسی وجود روند بین مقادیر تخمین زده است. شاخص فصلی، برای کمی سازی وضعیت بارش و تغییرات فصلی آن به کار برده شده است. به هر روی، اگر چه این شاخص تنها می‌تواند توصیف بسیار ساده‌ای از الگوی فصلی بارندگی ارائه دهد، اما می‌تواند ابزار بسیار سودمندی برای مطالعه تغییرات فصلی بارندگی باشد (Sumner et al., 2001). چرا که تغییرپذیری رژیم بارندگی پیامدهای چشمگیر زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و ... دارد و

تغییرپذیری کمک کند (Sushant et al., 2015). بنابراین نخست درصد ضریب تغییرات^۱ (SD) از نسبت انحراف معیار^۲ (SD) به میانگین ($\bar{X}$) برآورد شد.

$$CV = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

ضریب تغییرات ماهانه کم، معرف یکنواختی بیشتر پراکندگی بارش در ماه‌های سال بوده در صورتی که ضریب تغییرات بالا گویای تمرکز بارش در بازه زمانی کوتاه‌تر است.

بر پایه مدل اقلیمی کوپن، اگر مقدار بارندگی دوره گرم سال (فصل‌های بهار تابستان) مساوی یا بیشتر از ۷۰ درصد میانگین مجموع بارش سالانه باشد، رژیم بارندگی تابستانه محسوب می‌شود. اگر بارندگی دوره سرد سال (فصل‌های پائیز و زمستان) سال مساوی یا بیشتر از ۷۰ درصد بارش سالانه باشد، رژیم بارندگی زمستانه محسوب می‌شود. اگر بارندگی هیچ‌یک از این دو دوره، به آستانه ۷۰ درصد نرسد، رژیم بارندگی همه فصل‌ها یا نامشخص نامیده شده است (طاوسی، ۱۳۹۴). شاخص تراکم بارندگی^۳ (PCI) شاخصی قدرتمند برای توزیع زمانی بارش است و ضریب بالاتر (جدول ۱)، گویای افزایش تراکم بارش ماهانه (PC) در سال است (Raziei et al., 2008; Liuzzo et al., 2016; Wang et al., 2022). شاخص (PCI) گویای مخاطرات ناشی از تراکم و نیروی فرسایشی و تخریبی بارش^۴ در نظر گرفته می‌شود (Oliver 1980; Michiels et al. 1992).

$$PCI_{Annual} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Pi^2}{(\sum_{i=1}^{12} Pi)^2} \times 100 \quad \text{رابطه ۲:}$$

در اینجا (PCI_{Annual}) شاخص تراکم بارش در طول یک سال و (Pi) بارندگی ماهانه ماه (i) است.

آسیب‌پذیری هر محل به عوامل بسیار گوناگونی از جمله نوسان‌های فصلی بارندگی و زیرساخت‌های آبی مانند کمیت و کیفیت منابع آب و... بستگی دارد (Thomas and Prasannakumar, 2016). از این‌رو تغییر رژیم بارش و مؤلفه‌های مربوط به آن مورد کنکاش اقلیم‌شناسان و پژوهشگران قرار گرفته است.

روش پژوهش

در پژوهش حاضر، از داده‌های هواشناسی طی یک دوره آماری ۷۰ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۰) ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد با عرض جغرافیایی ۳۳:۲۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸:۱۷ درجه شرقی در ارتفاع حدود ۱۱۴۸ متری از سطح دریا استفاده شده است. برای استخراج سری داده‌های فصلی و سالانه از مجموع داده‌های بارندگی در مقیاس ماهانه استفاده شد نخست ویژگی‌های آماری بارندگی فصلی در ۷۰ سال دوره آماری به صورت مجزا بررسی شده است. با استفاده از آزمون من‌کندال روند تغییرات بارندگی سالانه مورد بررسی قرار گرفته است. برای مقایسه تطبیقی بارندگی فصلی در بازه‌های زمانی مختلف، افزون بر این که دوره آماری مورد مطالعه به دو نیمه، نیمه نخست (۱۹۵۱-۱۹۸۵) و نیمه دوم (۱۹۸۶-۲۰۲۰) تقسیم شد، همچنین کل دوره مورد بررسی به ۷ دهه نیز تقسیم شد و ویژگی‌های فصلی بارش هر دهه در مقایسه با دهه‌های دیگر بررسی شده است. به‌منظور تعیین ویژگی‌های آمار توصیفی بارندگی و تغییرات زمانی آن در ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد، میانگین و ضریب تغییرات داده‌های بارش ثبت شده در این محل برای هر سال به تفکیک هر ماه برآورد شده است. این ویژگی‌ها مقدار بارندگی و پایداری آن در هر ماه را نشان می‌دهد که می‌تواند به شناخت تغییرات درون سالانه و مخاطرات اقلیمی ناشی از این

1. Coefficient of Variations
2. Standard Deviations
3. Precipitation Concentration Index
4. Concentration and erosivity of precipitation

جدول ۱: طبقه‌بندی شاخص تراکم بارندگی (PCI)

شاخص (PCI)	طبقه‌بندی توزیع بارش سالانه
$PCI \leq 10$	توزیع یکنواخت بارش ماهانه (تراکم بارندگی کم)
$10 < PCI \leq 15$	توزیع بارش مناسب (معتدل)
$15 < PCI \leq 20$	توزیع بارندگی نامنظم
$20 < PCI$	توزیع بارندگی به شدت نامنظم (تراکم بارندگی بالا)
منبع (Salameh, 2024)	

جدول ۲: طبقه‌بندی شاخص فصلی رژیم بارندگی (SI)

رژیم بارندگی	SI
یکنواخت	$... < 0.19$
یکنواخت با یک فصل مشخص مرطوب‌تر	$0.2 - 0.39$
نسبتاً فصلی با یک فصل کوتاه خشک‌تر	$0.4 - 0.59$
فصلی (یک‌دوره خشک و یک‌دوره بارانی)	$0.6 - 0.79$
مشخصاً فصلی با یک فصل خشک طولانی‌تر	$0.8 - 0.99$
بیشتر بارندگی در ۳ ماه یا کمتر	$1 - 1.19$
تمرکز شدید تقریباً همه بارندگی سالانه در ۱ یا ۲ ماه سال	$1.2 \leq ...$

تنها در یک ماه رخ دهد) متغیر است (Livada and Asimakopoulos, 2005).

شاخص فصلی مجزا^۳ (SI_i) گویای شاخص فصلی بارندگی جداگانه برای هر سال است و اطلاعاتی در مورد تغییرپذیری فصلی بین سالانه^۴ ارائه می‌دهد (Walsh and Lawler, 1981).

$$SI_i = \frac{1}{R_i} \sum_{n=1}^{n=12} \left| X_{in} - \frac{R_i}{12} \right| \quad \text{رابطه ۴:}$$

در اینجا (R_i) مجموع بارندگی یک سال مشخص مانند سال (i)، (X_{in}) مجموع بارندگی ماه معین (n) است. هر چه این شاخص بزرگتر باشد، مقدار انحراف بارندگی در آن سال معین بیشتر است.

میانگین شاخص فصلی مجزا ($\overline{SI}_i$)، حاصل میانگین گرفتن شاخص فصلی مجزا (SI_i) است که برای هر سال (i) در دوره آماری به صورت مجزا محاسبه شده است و به عنوان مجموع قدر مطلق انحراف بارندگی ماهانه از میانگین بارندگی ماهانه سال (i) تقسیم بر بارندگی همان سال (R_i) تعریف می‌شود.

شاخص فصلی^۱ (SI) برای محاسبه درجه تغییرپذیری در سری داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌شود. با توجه به امکان دسترسی داشتن به داده‌های بارندگی در یک دوره آماری و بر پایه میانگین آنها، می‌توان میانگین فصلی ($\overline{SI}$) را برای کل تخمین زد. میانگین شاخص فصلی ($\overline{SI}$) به عنوان مجموع قدر مطلق انحراف میانگین بارندگی هر ماه از متوسط بارش فرضی ماهانه^۲، تقسیم بر میانگین مجموع بارش سالانه در دوره آماری مورد مطالعه تعیین می‌شود (Walsh and Lawer 1981).

$$\overline{SI} = \frac{1}{\overline{R}} \sum_{n=1}^{n=12} \left| \overline{X}_n - \frac{\overline{R}}{12} \right| \quad \text{رابطه ۳:}$$

در اینجا ($\overline{X}_n$) میانگین بارندگی ماه (n) و شناسه ($\overline{R}$) میانگین بارندگی سالانه در دوره آماری است. بر اساس طبقه‌بندی رژیم‌های بارندگی (جدول ۲)، شاخص فصلی (SI) از مقدار صفر (مقدار بارش همه ماه‌های سال یکسان)، تا ۸۳ (اگر بارندگی یک‌سال

1. Seasonality Index

۲. متوسط بارش فرضی ماهانه از تقسیم بارندگی سالانه بر ۱۲ ماه سال بدست می‌آید. با این گمان که مقدار بارندگی همه ماه‌ها مساوی یکدیگر است.

3. Individual Seasonality Index

4. Internal Variations

به صورت جداگانه در ۷ دهه پیاپی و دو نیمه آماری (۱۹۸۶-۲۰۲۰) و (۱۹۵۱-۱۹۸۵) بررسی شده است و هر دهه و نیمه در قیاس با یکدیگر و با کل دوره آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج

بر اساس داده‌های بارندگی ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد (۱۹۵۱-۲۰۲۰)، میانگین مجموع بارندگی سالانه حدود ۵۰۱ میلی‌متر بوده است، بیشترین مجموع بارندگی سالانه ۷۷۹ میلی‌متر (سال ۲۰۱۸ میلادی) و کمترین بارندگی سالانه ۲۳۷ میلی‌متر (سال ۱۹۷۳ میلادی) است (شکل ۱). آزمون من‌کندل در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($\alpha = 0.05$) و با ($\rho = 0.05$) نشان داد که روند تغییرات بارندگی سالانه کاهشی و معنادار است. طبقه‌بندی داده‌های بارندگی دوره آماری به ۷ دهه آماری نشان داد میانگین بارش سالانه از ۴۵۰ (۲۰۱۰-۲۰۲۰) تا ۵۳۱ میلی‌متر (۱۹۷۱-۱۹۸۰) متغیر است (جدول ۳).

$$\overline{SI}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{j=N} SI_{ij}$$

رابطه ۵:

در اینجا (N) تعداد سال‌های آماری، (j) شماره یا ردیف هر یک از سال‌ها در دوره آماری است.

برای ارزیابی تنوع پراکندگی بارش فصلی در دوره آماری از نسبت $(\overline{SI}_i) / (\overline{SI}_{ii})$ استفاده شده است. از این‌رو، برای مشاهده تغییرات بین سالانه رژیم فصلی بارش، نخست شاخص فصلی مجزا (SI_i) برای هر ساله محاسبه شد. در گام بعدی، میانگین شاخص فصلی مجزا ($\overline{SI}_i$) به دست آمده و نسبت آن با میانگین شاخص فصلی ($\overline{SI}$) مورد سنجش قرار گرفته است. هنگامی که این نسبت بالا باشد طول دوره ماه‌های با بیشینه بارندگی کوتاه‌تر است و یا این‌که دامنه تغییرپذیری شاخص فصلی مجزا (SI_{ii}) در دوره آماری مورد بررسی کوچک‌تر است، به بیان دیگر، اختلاف بیشینه و کمینه (SI_{ii}) در سال‌های دوره آماری کمتر است. برای واکاوی بیشتر تغییرات زمانی شاخص فصلی (SI)، میانگین شاخص فصلی مجزا ($\overline{SI}_i$)

جدول ۳: مقایسه درصد بارش فصلی در هفت دهه و دو نیمه دوره آماری و همبستگی با بارش سالانه

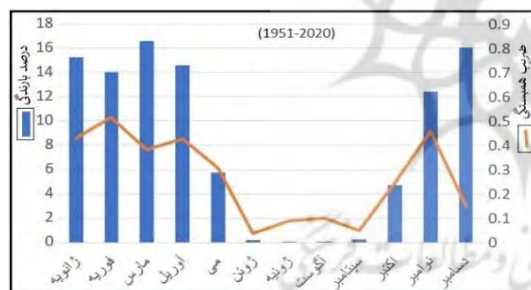
دوره گرم*	دوره سرد*	زمستان	پائیز	تابستان	بهار	دوره آماری
۲۱۳	۷۸۷	۴۴۹	۳۳۸	۰۳	۲۱	۱۹۵۱-۱۹۶۰
۲۸۱	۷۱۹	۴۴۳	۲۷۶	۰۷	۲۷۴	۱۹۶۱-۱۹۷۰
۱۸	۸۲	۴۹۱	۳۲۹	۰۱	۱۷۹	۱۹۷۱-۱۹۸۰
۱۷	۸۳	۴۸۳	۳۴۷	۰	۱۷	۱۹۸۱-۱۹۹۰
۱۶۴	۸۳۶	۵۲۴	۳۱۲	۰۲	۱۶۳	۱۹۹۱-۲۰۰۰
۲۱۸	۷۸۲	۴۰۴	۳۷۹	۰۵	۲۱۳	۲۰۰۱-۲۰۱۰
۲۳۷	۷۶۳	۴۱	۳۵۴	۰۵	۲۳۲	۲۰۱۱-۲۰۲۰
۲۰۹	۷۹.۱	۴۵۹	۳۳۲	۰۳	۲۰۶	۱۹۵۱-۲۰۲۰
۲۱۴	۷۸۶	۴۶۷	۳۱۹	۰۳	۲۱۱	۱۹۵۱-۱۹۸۵
۲۰۳	۷۹۷	۴۵۱	۳۴۶	۰۳	۲۰	۱۹۸۶-۲۰۲۰
-۱۱	۱۱	-۱۶	۲۷	۰	-۱۱	درصد تغییر
۰.۴۱	-۰.۴۱	-۰.۰۰۶	-۰.۰۳۱	۰.۰۰۷	۰.۰۴۰	همبستگی**
۰.۴۷	۰.۸۴۵	۰.۶۶۲	۰.۴۸۲	۰.۰۷۷	۰.۴۶	همبستگی***

* دوره گرم شامل دو فصل بهار و تابستان است و دوره سرد شامل دو فصل پائیز و زمستان است.

**ضریب همبستگی مجموع بارش سالانه با درصد فصلی بارش در هر سال (۱۹۵۱-۲۰۲۰).

***ضریب همبستگی مجموع بارش سالانه با مقدار بارش فصلی در هر سال (۱۹۵۱-۲۰۲۰).

فصل زمستان با حدود ۴۶ درصد بارندگی سالانه پرباران‌ترین فصل و پس از آن پائیز، حدود ۳۳ درصد، بهار حدود ۲۱ درصد تا خشک‌ترین فصل یعنی تابستان با بارش کمتر از ۱ درصد قرار دارد. بررسی ضریب همبستگی مجموع بارندگی سالانه با درصد بارندگی فصلی نیز گویای رابطه وارونه آن با درصد بارش فصل پائیز (۰.۰۳-) و رابطه مستقیم با درصد بارش بهاری (۰.۰۴) دارد. در مقابل، ضریب همبستگی مجموع بارندگی سالانه با مقدار بارندگی فصل زمستان (۰.۶۶)، پائیز (۰.۴۸) و بهار (۰.۴۶) است. این بدان معنا است که اگر چه مقدار بارندگی فصل زمستان نقش بارزی در مقدار بارندگی سالانه دارد ولی پارادوکس رابطه ضریب تغییرپذیری فصل پائیز از یک‌سو و فصل بهار از سوی دیگر سبب تغییرات مجموع بارندگی سالانه در دوره آماری شده است. بیشترین همبستگی مجموع بارندگی سالانه با مقدار ماهانه بارندگی به ترتیب برای فوریه (۰.۵۱۵)، نوامبر (۰.۴۵۸)، ژانویه (۰.۴۳۱)، آوریل (۰.۴۲۶)، مارس (۰.۳۸۳) و می (۰.۳۰۷) بوده است (شکل ۱).

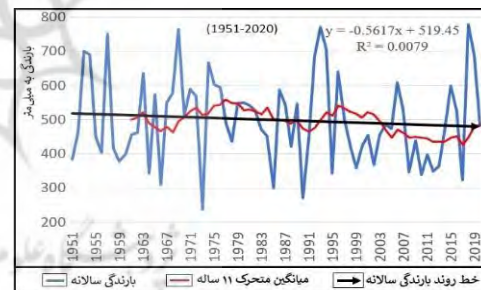


شکل ۱: روند تغییرات مجموع بارندگی سالانه (راست) و همبستگی آن با درصد بارش هر ماه سال (چپ) در خرم‌آباد

بررسی شاخص تراکم بارندگی (PCI) در ۷ دهه آماری نشان می‌دهد میانه (PCI) در دهه پنجم (۱۹۹۱-۲۰۰۰) از شاخص ۲۰ فراتر رفته و تراکم بارندگی درون سالانه این دهه در طبقه «توزیع بارندگی به شدت نامنظم و دارای تراکم بارندگی بالا» بوده است. در مقابل، میانه دهه‌های دیگر در دامنه ۱۸-۱۷ قرار داشت، یعنی تراکم بارندگی در طبقه «توزیع بارندگی نامنظم» جای داشته است. دهه سوم (۱۹۷۱-۱۹۸۰) با ضریب تغییرات (۱۷.۷)، نامتجانس‌ترین شاخص تراکم

مقایسه نیمه دوم دوره آماری (۲۰۲۰-۱۹۸۶) با نیمه نخست (۱۹۸۵-۱۹۵۱) گویای کاهش میانگین بارندگی سالانه (۲۲- درصد) در نیمه دوم، همراه با کاهش درصد بارندگی فصل‌های زمستان (۱۶%-) و بهار (۱۱%-) و افزایش درصد بارندگی فصل پائیز (معادل مجموع کاهش دو فصل بالا یعنی ۲۷%+) است. برآیند ناشی از تغییر درصد بارندگی فصل‌های سال، موجب تغییر فصلی (۱۱%±) یعنی کاهش درصد بارندگی دوره گرم سال و افزایش درصد بارندگی دوره سرد سال در نیمه دوم شده است (جدول ۳).

از آنجایی که درصد بارش دوره سرد سال (پائیز و زمستان) خرم‌آباد بین ۷۲ تا ۸۴ درصد متغیر بوده و بر پایه طبقه‌بندی رژیم بارندگی کوپن فراتر از ۷۰ درصد بارش سالانه است، از این‌رو، رژیم بارندگی خرم‌آباد زمستانه محسوب می‌شود. بررسی ضریب همبستگی مجموع بارندگی سالانه با بارندگی دوره سرد سال نشان داد که مجموع بارندگی سالانه حدود ۸۵ درصد به نیمه سرد سال بستگی دارد (جدول ۳).

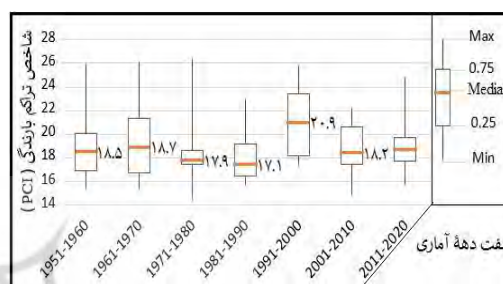
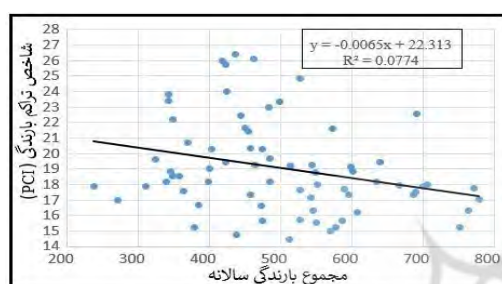


میانگین شاخص تراکم بارندگی (PCI) خرم‌آباد در دوره ۷۰ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۰) برابر ۱۹.۱ محاسبه شد که بیانگر «توزیع بارندگی نامنظم در طول سال» است. مقدار (PCI) در دامنه ۱۴.۵ تا ۲۶.۴ متغیر بوده است. رابطه مجموع بارندگی سالانه با شاخص تراکم بارندگی (PCI) معکوس و دارای ضریب همبستگی (۰.۲۷۸-) است. رابطه مجموع بارندگی سالانه با شاخص تراکم بارندگی (PCI) معکوس و دارای روند رگرسیون خطی کاهشی است (شکل ۲، راست).

نشان داد که تنها مقدار بیشینه روند کاهشی داشته است و سایر پارامترهای آماری (کمینه، چارک اول، میانه، میانگین و چارک سوم) کم و بیش روند افزایشی داشتند. استفاده از مجذور ضریب همبستگی چندگانه یا ضریب تشخیص (R^2) برای تبیین تغییرپذیری (PCI) نشان داد که در معادلات رگرسیونی، مقدار این ضریب در همه شاخص‌های آماری بیان شده، کمتر از مقدار (۰.۶) است و نمی‌تواند تغییرات (PCI) را تبیین کند.

بارندگی در سال‌های پیاپی را به خود اختصاص داده است. چنان‌که پایین‌ترین مقدار (PCI) دوره آماری مورد بررسی، در دهه سوم (سال ۱۹۷۷) بوده که گویای توزیع بارش مناسب (معتدل) در این سال است. جالب این‌که بالاترین شاخص نیز مربوط به سال بعدی (۱۹۷۸) در همین دهه بوده است (شکل ۲، راست).

بررسی رگرسیون خطی تغییرپذیری کمینه، بیشینه، چارک اول، چارک سوم، میانه و میانگین شاخص تراکم بارندگی (PCI) در دهه‌های مورد مطالعه



شکل ۲: نمودار پراکنش رگرسیون خطی مجموع بارش سالانه و مقدار (PCI)، (در چپ) و مقایسه میانگین، کمینه و بیشینه (PCI) خرم‌آباد در دهه‌های پیاپی (۱۹۵۱-۲۰۲۰) (در راست)

نیمه نخست به حدود (۰.۲-) افت نموده است. پیرو این تغییرپذیری، نسبت (SI/SI_i) نیز در نیمه دوم کوچک‌تر شده که گویای افزایش دامنه تغییرات شاخص (SI_i) از یک‌سو و نیز کوتاه‌تر شدن طول دوره ماه‌های با بیشینه بارندگی از سوی دیگر است. به سخن دیگر، کاهش نسبت (SI/SI_i) بیانگر تراکم بیشتر بارندگی فصلی در نیمه دوم است (جدول ۴). برخلاف کاهش بیشینه و کمینه شاخص (SI_i) در دهه دوم، افزایش مقدار چارک اول، میانه و چارک سوم گویای تراکم بیشتر بارندگی در دوره کوتاه‌تر بارانی است. این دوگانگی، می‌تواند گویای چیرگی کوتاه‌تر شدن طول دوره ماه‌های بارانی نسبت به دامنه تغییرات شاخص (SI_i) در نیمه دوم دوره آماری باشد. رخداد پائین‌ترین کمینه و نیز بالاترین بیشینه شاخص فصلی به ترتیب (۰.۷۲) و (۱.۲) در نیمه اول (دهه دوم) بیانگر این موضوع است (شکل ۳). واکاوی شاخص فصلی بارندگی در ۷ دهه جداگانه و مقایسه آنها با یکدیگر نیز نشان داد رابطه معکوس رگرسیون خطی مجموع بارش سالانه با شاخص فصلی

بررسی تغییرپذیری شاخص فصلی مجزا (SI_i) نشان داد دامنه نوسان و تغییرپذیری سال به سال^۱ مقدار (SI_i) در طول دوره آماری (۱۹۵۱-۲۰۲۰) در دامنه ۰.۷۵ یعنی «رژیم فصلی بارندگی» تا ۱.۲ که بیانگر «رخداد بیشتر بارندگی در ۳ ماه یا کمتر» متغیر بوده است. رابطه همبستگی مجموع بارندگی سالانه با تغییرپذیری سالانه (SI_i) معکوس است و دارای ضریب همبستگی (۰.۳۰۶-) است و می‌توان گفت رابطه معناداری بین مجموع بارندگی سالانه و فصلی وجود ندارد. با توجه به میانگین ماهانه بارندگی، شاخص فصلی (SI) در این بازه زمانی حدود ۰.۷۸ بوده که گویای چیرگی «رژیم بارش فصلی یعنی یک‌دوره خشک و یک‌دوره بارانی» است.

مقایسه نیمه نخست دوره آماری (۱۹۵۱-۱۹۸۵) با نیمه دوم (۱۹۸۶-۲۰۲۰)، نشان داد رابطه وارونه رگرسیون خطی مجموع بارش سالانه با شاخص فصلی مجزا (SI_i) در نیمه دوم کاهش یافته و از (۰.۳۹-) در

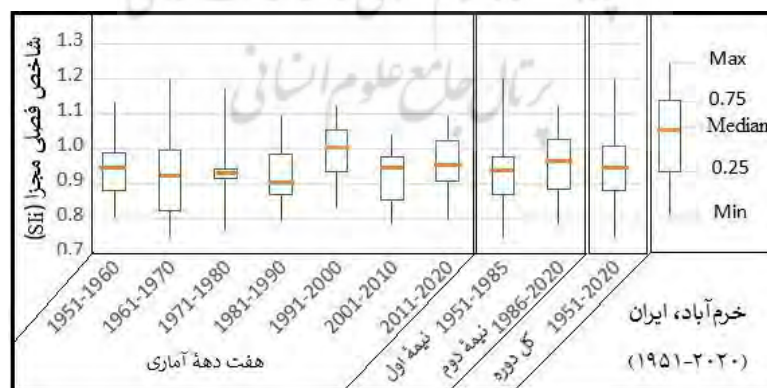
یک سو با پائین ترین کمینه شاخص فصلی یعنی یکنواخت ترین شاخص بارندگی و از سوی دیگر بالاترین بیشینه شاخص فصلی یعنی تمرکز شدید تقریباً همه بارندگی سالانه در کمتر از ۳ ماه، بیشترین دامنه تغییرات شاخص (SIi) را به خود اختصاص داده است (شکل ۳).

معادله رگرسیون خطی تغییرپذیری کمینه، بیشینه، چارک اول، چارک سوم، میانه و میانگین شاخص فصلی مجزا (SIi) در ۷ دهه آماری نشان داد که تنها مقدار بیشینه روند کاهشی داشته است و سایر پارامترهای آماری (کمینه، چارک اول، میانه، میانگین و چارک سوم) کم و بیش روند افزایشی داشتند (جدول ۵).

مجزا (SIi) گویای تغییرپذیری این رابطه حدود صفر در دهه هفتم (۲۰۲۰-۲۰۱۱) تا حدود (۷۹-) در دهه پنجم (۲۰۰۰-۱۹۹۱) می باشد. آنچه تمایز شاخص فصلی میان دهک های دوره آماری را تبیین می کند استفاده از نسبت ($\overline{SI}/\overline{SIi}$) است. در مقایسه با دوره آماری (۲۰۲۰-۱۹۵۱)، این نسبت به ترتیب در ۳ دهه دوم، هفتم و چهارم کمتر و در ۴ دهه نخست، سوم، پنجم و ششم بیشتر از کل سال های مورد مطالعه بوده است. با توجه به یکسان بودن بازه زمانی در هر دهه، برای مقایسه دامنه تغییرپذیری (SIi) طی سال های آماری یک دهه معین و تنوع رژیم فصلی بارش، بررسی چارک اول، میانه، چارک سوم، کمینه و بیشینه هر دهه نیز انجام شده است. دهه دوم (۱۹۷۰-۱۹۶۱)، از

جدول ۴: رگرسیون خطی بین ($\overline{SI}$) و ($\overline{SIi}$) و نسبت ($\overline{SI}/\overline{SIi}$) در دو نیمه و هفت دهه (۱۹۵۱-۲۰۲۰)

دوره آماری	نام دهه	R	$\overline{SI}$	$\overline{SIi}$	$\overline{SI}/\overline{SIi}$
۱۹۵۱-۱۹۶۰	۱	-۰.۲۷۱	۰.۸۳۶	۰.۹۴۹	۰.۸۸۱
۱۹۶۱-۱۹۷۰	۲	-۰.۶۱۴	۰.۷۳۷	۰.۹۳۵	۰.۷۸۸
۱۹۷۱-۱۹۸۰	۳	-۰.۲۵۹	۰.۷۹۷	۰.۹۳۲	۰.۸۵۵
۱۹۸۱-۱۹۹۰	۴	-۰.۱۳۴	۰.۷۶۲	۰.۹۳۰	۰.۸۱۹
۱۹۹۱-۲۰۰۰	۵	-۰.۷۸۶	۰.۸۴۵	۰.۹۹۵	۰.۸۴۹
۲۰۰۱-۲۰۱۰	۶	-۰.۲۳۸	۰.۷۶۵	۰.۹۲۶	۰.۸۲۶
۲۰۱۱-۲۰۲۰	۷	۰.۰۴۵	۰.۷۵۴	۰.۹۵۱	۰.۷۹۳
۱۹۵۱-۲۰۲۰	جمع	-۰.۳۰۶	۰.۷۸۰	۰.۹۴۵	۰.۸۲۵
۱۹۵۱-۱۹۸۵	نیمه اول	-۰.۳۸۹	۰.۷۸۳	۰.۹۳۵	۰.۸۳۷
۱۹۸۶-۲۰۲۰	نیمه دوم	-۰.۲۰۳	۰.۷۷۸	۰.۹۵۶	۰.۸۱۴



شکل ۳: نمایه های آماری شاخص فصلی مجزا (SIi) خرم آباد در بازه های مختلف دوره آماری

جدول ۵. معادله رگرسیون خطی شاخص‌های آماری (SIi) طی هفت دهه آماری پیاپی (۲۰۲۰-۱۹۵۱)

دوره آماری	y	R ²
کمینه	$0.0043x + 0.7734$	۰.۱۲۰۴
بیشینه	$-0.0173x + 1.1943^*$	۰.۱۴۹۳۸
چارک اول	$0.1056x + 0.8627$	۰.۰۹۸۹
میانه	$0.003x + 0.9344$	۰.۰۳۲۹
میانگین	$0.0018x + 0.938$	۰.۰۲۷۲
چارک سوم	$0.0063x + 0.9718$	۰.۱۴۹۲
* خط روند کاهشی است		

بارندگی فصلی طبقه دوم با عنوان «رژیم کم و بیش فصلی ولی با یک فصل خشک طولانی‌تر» بیشترین فراوانی یعنی ۴۴ سال (۶۲٪ درصد) میانگین شاخص (۰.۵۱) را به خود اختصاص داده است. میانگین بارندگی سالانه حدود (۵۱۲ میلی‌متر) و نیز بارندگی دوره گرم سال (۲۱H درصد) این رژیم بارندگی بیشتر از میانگین کل دوره آماری است. در این رژیم بارندگی، رابطه معکوس مجموع بارندگی سالانه با شاخص بارندگی فصلی هرساله (۰.۳۵-) محاسبه شد که نسبت به گروه اول با مقدار کوچک‌تر شاخص (SI) دارای همبستگی کمتری است. پراکنش بارندگی درون سالانه^۳ خرم‌آباد در طبقه سوم رژیم فصلی بارندگی یعنی «بیشتر بارندگی در ۳ ماه یا کمتر» دارای فراوانی ۲۰ سال و درصد فراوانی (۶۲٪) و میانگین شاخص (۰.۱۰۶) بیانگر کاهش تعداد ماه‌های مرطوب و کوتاه‌تر شدن فصل بارش است. در این رژیم، میانگین بارندگی سالانه حدود (۴۷۸ میلی‌متر) و کمتر از میانگین بلندمدت بارندگی است. کاهش شدید درصد بارندگی دوره گرم سال (۱۹۵۵ درصد)، گویای خشکی تشدید نیمه گرم سال به‌ویژه فصل بهار می‌باشد (شکل ۵).

فشرده‌ترین رژیم بارندگی فصلی با نام «مركز شديد تقريباً همه بارندگی سالانه در ۱ یا ۲ ماه سال» با فراوانی یک سال آماری (۱۱۴ درصد) دارای شاخص فصلی (۱۱۳) است. در این سال (۱۹۶۴ میلادی)، میانگین بارندگی سالانه حدود (۳۴۳ میلی‌متر) و بسیار کمتر (حدود ۶۸ درصد میانگین) از میانگین بلندمدت بارندگی بوده است. کاهش شدید درصد

برای تبیین تغییرپذیری (SIi) در دهه‌های آماری از مجذور ضریب همبستگی چندگانه یا ضریب تشخیص^۱ استفاده شده است که در معادلات رگرسیونی با علامت (R²) نشان داده می‌شود. مقدار این شاخص در همه شاخص‌های آماری مورد بررسی، کمتر از (۰.۶) است، این بدین معنا است که متغیر مستقل (دهه‌ها) نمی‌تواند تغییرات شاخص (SIi) را تبیین کند.

از زاویه دیگر، رخداد تغییرپذیری شاخص فصلی مجزای (SIi) خرم‌آباد طی دوره آماری مورد مطالعه بر پایه طبقه‌بندی جدول (۲) نشان داد که دامنه تغییرات شاخص (SIi) در محدوده ۴ طبقه بزرگ‌تر از (۰.۶) رخ داده است (شکل ۴). طبقه‌بندی داده‌های بارندگی ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد گویای رخداد «رژیم فصلی (یک‌دوره خشک و یک‌دوره بارانی)» با فراوانی ۵ سال (۷۱ درصد فراوانی) و میانگین شاخص (۰.۷۷) به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع بارش فصلی است. در این طبقه، میانگین بارندگی سالانه حدود (۵۲۱ مم) بالاتر از میانگین بارندگی دوره آماری که حدود (۵۰۱ مم) بوده و نیز درصد بارندگی دوره گرم سال (آوریل تا سپتامبر) در اوج این طبقه‌بندی (۲۶۲ درصد) قرار داشت. در این رژیم بارندگی، رابطه معکوس مجموع بارندگی سالانه با شاخص بارندگی فصلی هرساله (۰.۵۸-) محاسبه شد که نسبت به طبقه‌های دیگر دارای همبستگی بالاتری است (شکل ۴).

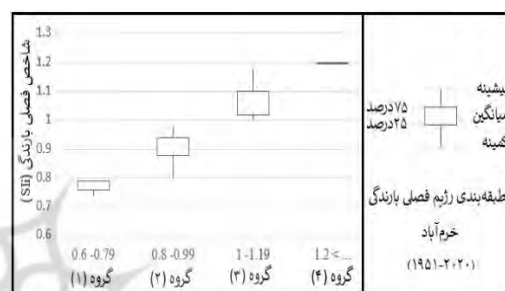
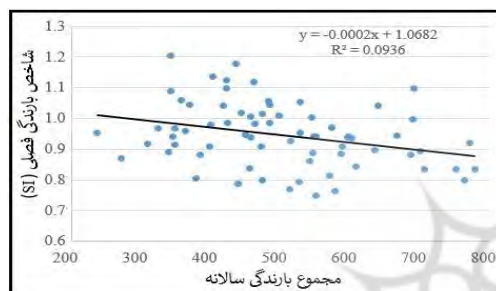
1. Coefficient Of Determination

2. R-squared correlation

3. Intera-annual

بارندگی دوره گرم سال (۵۵ درصد)، خشکی بسیار شدید نیمه گرم سال به‌ویژه فصل بهار را نشان می‌دهد. بارندگی فصل بهار در این سال (۱۸۴۶ میلی‌متر) و درصد بارش فصلی (۴۵٪) ثبت شده است (جدول ۶). بررسی نسبت $(\bar{SI}) / (\bar{SIi})$ در ۴ طبقه بیان شده در بالا نشان می‌دهد رژیم بارندگی «مشخصاً فصلی با یک فصل خشک طولانی‌تر» (طبقه دوم) دارای پائین‌ترین نسبت (۰.۸۳۵) می‌باشد. دامنه تغییرپذیری شاخص فصلی مجزا (SIi) این رژیم بین کمینه و بیشینه حدود (۰.۱۸) بوده است. رتبه دوم را رژیم فصلی بارندگی (جدول ۶).

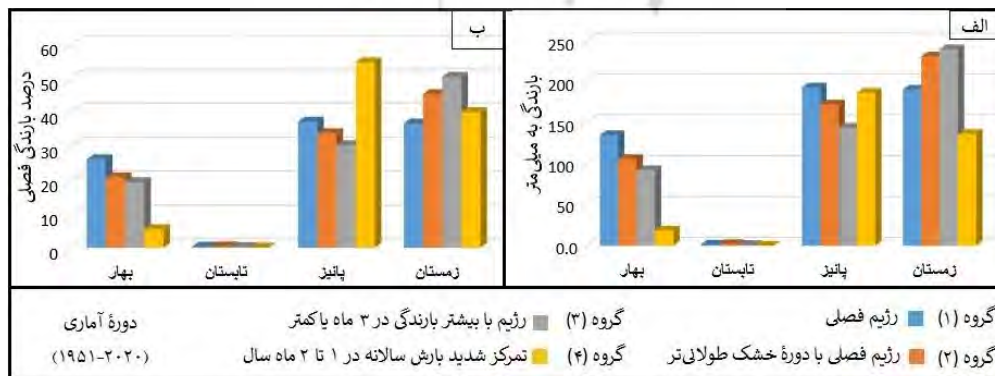
طبقه سوم (بیشتر بارندگی در ۳ ماه یا کمتر) با نسبت (۰.۸۴) و با دامنه نوسان (۰.۱۸) داشت. دلیل آن می‌تواند به کوتاه‌تر بودن دوره بارندگی این دو رژیم مربوط باشد. مرتبه سوم را طبقه نخست با رژیم فصلی و نسبت (۰.۸۵۷) با نوسان کوچک‌تر (۰.۰۵) داشته است. دلیل نسبت $(\bar{SI}) / (\bar{SIi})$ بالاتر رژیم فصلی (طبقه نخست) نه به دلیل کوتاه‌تر شدن دوره بارش که ناشی از رخداد کمتر آن در سال‌های آماری یعنی فراوانی کمتر رخداد آن و در نتیجه نوسان کوچک‌تر (SIi) می‌باشد (جدول ۶).



شکل ۴: نمودار پراکنش رگرسیون خطی مجموع بارش سالانه و مقدار (SIi) (در چپ) و نمودار جعبه‌ای ویژگی‌های آماری چهار گروه (SIi) رخ داده در خرم‌آباد (۱۹۵۱-۲۰۲۰) (در راست)

جدول ۶: طبقه‌بندی بارندگی فصلی خرم‌آباد و ویژگی‌های هر طبقه (۱۹۵۱-۲۰۲۰)

SI	فراوانی		درصد بارش دوره		میانگین			R	SI/SIi
	سال	درصد	سرد	گرم	بارندگی	$\bar{SI}$	$\bar{SIi}$		
۰.۶-۰.۷۹	۵	۷۱	۷۳.۸	۲۶.۲	۵۲۱.۳	۰.۶۶	۰.۷۷	-۰.۵۸	۰.۸۵۷
۰.۸-۰.۹۹	۴۴	۶۲.۹	۷۸.۹	۲۱.۱	۵۱۲.۴	۰.۷۶	۰.۹۱	-۰.۳۵	۰.۸۳۵
۱-۱.۱۹	۲۰	۲۸.۶	۸۰.۵	۱۹.۵	۴۷۸.۴	۰.۸۹	۱.۰۶	-۰.۳۰	۰.۸۴۰
۱.۲≤...	۱	۱.۴	۹۴.۵	۵.۵	۳۴۲.۶	۱.۲	۱.۲	-	۱
دوره آماری	۷۰	۱۰۰	۷۹.۲	۲۰.۸	۵۰۰.۹	۰.۷۸	۰.۹۵	-۰.۳۱	۰.۸۲۱



شکل ۵: نمودار مقدار (الف) و درصد (ب) پراکنش فصلی بارش در طبقه‌های شاخص (SI)

الگوهای شاخص فصلی بارندگی: بررسی آماری توزیع بارندگی فصلی ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد نشان داد که در دوره آماری (۱۹۵۱-۲۰۲۰)، رژیم بارندگی خرم‌آباد در چهار الگوی کم و بیش متفاوت رژیم فصلی بارندگی رخ داده است (شکل ۶، شکل ۷ و شکل ۸). با توجه به شاخص فصلی مجزا (SI_i)، معیار انتخاب این الگوها و مرز جداسازی آنها از یکدیگر بر مبنای طبقه‌بندی شاخص فصلی (SI) تعیین شده است (Walsh and Lawler, 1981).

❖ **الگوی نخست، رژیم فصلی با دوره بارانی طولانی‌تر و دوره خشک کوتاه‌تر:** الگوی نخست بارندگی فصلی در دامنه $(0.60 < SI_i < 0.9)$ قرار می‌گیرد. در این رژیم، دوره بارانی ۸ ماه (اکتبر تا می) و دوره خشک ۴ ماه (ژوئن تا سپتامبر) طول می‌کشد و میانگین بارندگی ماهانه همه ماه‌ها در دوره بارانی، بیشتر از متوسط بارش فرضی ماهانه (در این الگو، ۴۳۴ میلی‌متر) است. در برخی از سال‌ها (حدود ۲۰ درصد رخداد الگوی نخست)، دامنه دوره بارانی به ماه‌های سپتامبر (شهریور) در آغاز و ژوئن (خرداد) در روزهای پایانی دوره بارانی کشیده می‌شود و در نتیجه دوره خشک بسیار کوتاه می‌شود. برای نمونه، در سال ۲۰۰۹ میلادی، بارندگی ماهانه سپتامبر ۷۴ میلی‌متر و بارندگی ژوئن ۳ میلی‌متر ثبت شده است. در صورتی که بارش این دو ماه در سال‌های دیگر این الگو، صفر بوده است. بنابراین در این الگو، مقدار بارندگی دو فصل پائیز و بهار نسبت به الگوهای دیگر بالاتر است و حتی درصد بارندگی فصل بهار (۲۶ درصد)، نسبت به رژیم‌های دیگر در اوج قرار دارد، یعنی بارش بهاری در رخداد این الگو بسیار نقش دارد. جالب است همبستگی مقدار بارندگی بهاری با میانگین بارندگی سالانه این رژیم بارانی حدود (۰.۷۸) است که نسبت به سایر فصل‌ها بیشتر است. همچنین رابطه معکوس بارندگی فصل بهار در هر سال با شاخص بارندگی سال به سال (SI_i) حدود (۰.۷۶-) است. این ضریب همبستگی برای بهار نیز نسبت به سایر فصل‌ها بالاتر است. در این الگو، بیشترین همبستگی بارش ماهانه با بارندگی فصلی برای ماه می (اردیبهشت) برابر با (۰.۸۰)

محاسبه شده است (شکل ۶ الف). این الگو با فراوانی رخداد در ۵ سال آماری، حدود ۷ درصد در الگوی بارش فصلی نقش دارد. میانگین بارندگی سالانه الگوی نخست حدود ۵۲۱ میلی‌متر بوده که بالاتر از میانگین دوره آماری (۵۰۱ میلی‌متر) است. داده‌ها نشان می‌دهد در سال‌های رخداد این الگو، احتمال رخداد بارش بیشتر از میانگین دوره آماری (ترسالی) حدود ۸۰ درصد (۴ سال آماری)، و نسبت بارش دوره بارانی ۸ ماهه (اکتبر تا می) به مجموع بارش سالانه ۱۰۰٪ بوده است. در مقابل، احتمال این که بارش سالانه کمتر از میانگین دوره آماری باشد، حدود ۲۰ درصد (۱ سال) و نسبت بارندگی دوره بارانی به بارش سالانه (۶۱٪) بوده و حدود ۲٪ بارش مربوط به سپتامبر (شهریور) و ژوئن (خرداد) بود که در این الگو از ماه‌های دوره خشک محسوب می‌شوند. به هر روی، میانگین نسبت بارش دوره بارانی (اکتبر تا می) الگوی نخست به مجموع بارش سالانه نسبتاً بالا و حدود ۹۶۷ درصد محاسبه شده است.

❖ **الگوی دوم، رژیم فصلی با تغییرپذیری بیشتر بارش ماهانه در دوره بارانی:** الگوی دوم بارندگی فصلی در دامنه $(0.80 < SI_i < 0.99)$ قرار می‌گیرد. در این الگو نیز دوره بارانی ۸ ماه (اکتبر تا می) سال را فرا می‌گیرد، با این تفاوت که میانگین بارندگی ماهانه تنها ۶ ماه نوامبر (آبان) تا آوریل (فروردین)، بیشتر از متوسط بارش فرضی ماهانه (در این الگو، ۴۲۷ میلی‌متر) است. در این رژیم فصلی، در مقابل افزایش مقدار بارش ماهانه از تعداد ماه‌های پرباران کاسته شده است. بر خلاف الگوی نخست، بارش ۲ ماه دیگر، یعنی اکتبر در آغاز و می در پایان دوره بارانی بسیار کاهش یافته و کمتر از متوسط بارش فرضی ماهانه شده است. بنابراین، دو ماه اکتبر و می (مهر و اردیبهشت) با شرایط نیمه‌خشک، به‌عنوان دوره گذار میان دوره مرطوب با دوره خشک سال ایفای نقش می‌کنند. در این الگو، به نسبت کاهش درصد بارندگی دو فصل پائیز و بهار (نسبت به الگوی نخست)، درصد بارندگی فصل زمستان افزایش می‌یابد و بالاترین درصد فصلی بارش (۴۵٪) به زمستان تعلق می‌گیرد. این شرایط گویای تمرکز بیشتر

می‌گیرد. در این رژیم، میانگین سالانه بارندگی حدود ۴۷۸۴ میلی‌متر بوده و کمتر از میانگین بلندمدت دوره آماری است و متوسط بارش فرضی ماهانه نیز تا حدود ۴۰ میلی‌متر افت می‌کند. مانند الگوی دوم، در این رژیم فصلی نیز میانگین بارندگی ماهانه در یک دوره ۶ ماهه از نوامبر (آبان) تا آوریل (اوایل اردیبهشت) بیشتر از متوسط بارش فرضی ماهانه است ولی علیرغم کاهش مجموع بارش سالانه، میانگین ماهانه بارندگی دست‌کم ۳ ماه نسبتاً بیشتر از دو الگوی بالا بوده و از آستانه ۸۰ میلی‌متر فراتر رفته است. این افزایش در ازای کاهش بارش ماهانه اکتبر و نوامبر (مهر و آبان) در آغاز و ماه می (اردیبهشت) در پایان دوره بارانی رخ داده است. نتیجه این که تمرکز بارندگی فصلی افزایش یافته است که می‌تواند موجب بروز بارش‌های سیل‌آسا شود. در این الگو، درصد بارندگی فصل زمستان بیش از نیمی از مجموع بارش سالانه (۵۰۳ درصد) را به خود اختصاص می‌دهد و نسبت به الگوهای دیگر در رتبه نخست قرار می‌گیرد. در عوض درصد بارش پاییزی (۳۰۲ درصد) نسبت به رژیم‌های دیگر در کمینه جای دارد، گرچه در همیت الگو، درصد بارش پاییزی بالاتر از بارش بهاری (۱۹۳ درصد) و در رتبه دوم پس از زمستان می‌باشد که این هم نشانه تمرکز بارش فصلی به‌ویژه در فصل زمستان است. همبستگی مقدار بارندگی فصل زمستان با میانگین بارندگی سالانه این رژیم بارانی مانند الگوی دوم، حدود (۰۷) است و نسبت به فصل‌های دیگر بالاتر است. در این رژیم، همبستگی بارش‌های پاییزی و بهاری با بارش سالانه به شدت کاهش یافته است ولی ترتیب همبستگی فصل‌ها، مانند الگوی دوم است. رابطه معکوس بارندگی فصل پائیز در هر سال با شاخص بارندگی سال به سال (SIi) حدود (۰۴۱-) است که نسبت به فصل‌های دیگر بالاتر است. در این الگو، بیشترین همبستگی بارش ماهانه با بارندگی فصلی برای مارس (اسفند) برابر با (۰۶۱) محاسبه شده است (شکل ۶ ج). این الگو با فراوانی رخداد ۲۰ سال آماری حدود ۲۸۶ درصد الگوی بارندگی فصلی را شامل شده است. میانگین بارندگی سالانه الگوی

بارش فصلی در دوره کوتاه‌تر است. همبستگی مقدار بارندگی فصل زمستان با میانگین بارندگی سالانه این رژیم بارانی حدود (۰۷) است و نسبت به فصل‌های دیگر بالاتر است. در مقایسه با الگوی پیشین، در این الگو همبستگی بارش‌های بهاری با بارش سالانه این رژیم کاهش یافته و در عوض همبستگی بارش پاییزی با بارندگی سالانه افزایش پیدا می‌کند و رتبه همبستگی بهاری از اوج خود در الگوی نخست به رتبه سوم (پس از زمستان و پائیز) سقوط می‌کند. رابطه معکوس بارندگی فصل بهار در هر سال با شاخص بارندگی سال به سال (SIi) حدود (۰۳۷) است. مانند الگوی نخست، این ضریب همبستگی برای بهار نسبت به فصل‌ها دیگر بالاتر است. اگرچه به نسبت کاهش این ضریب در فصل بهار، مقدار ضریب همبستگی فصل پائیز افزایش یافته است. در این الگو، بیشترین همبستگی بارش ماهانه با بارندگی فصلی برای فوریه (بهمن) برابر با (۰۵۹) محاسبه شده است (شکل ۶ ب). این الگو با بیشترین فراوانی رخداد یعنی ۴۴ سال آماری نمای الگوی رژیم فصلی خرم‌آباد قلمداد شده و حدود ۶۲۹ درصد الگوی بارندگی فصلی را فرا می‌گیرد. میانگین بارندگی سالانه الگوی دوم حدود ۵۱۲ میلی‌متر بوده که مانند الگوی نخست، بالاتر از میانگین بارش سالانه در دوره آماری است. در این رژیم، احتمال رخداد بارش سالانه بالاتر از میانگین بلندمدت دوره آماری (ترسالی)، بیش از ۵۲ درصد و احتمال بارندگی سالانه کمتر از آن، حدود ۴۸ درصد است. در الگوی دوم، نسبت بارش دوره بارانی (اکتبر تا می) به مجموع بارش سالانه بین ۵۶۶ تا ۹۶۵ درصد متغیر بوده است. در کل، میانگین نسبت بارش دوره بارانی به مجموع بارش سالانه این رژیم نسبتاً کمتر و حدود ۸۳۷ درصد است. در مقایسه با الگوهای دیگر، در الگوی دوم، درصد بارش دوره خشک (ژوئن تا سپتامبر) نسبتاً بیشتر می‌باشد و در برخی از سال‌ها تا ۴۳۴ درصد (سال ۱۹۶۵) ثبت شده است. در این سال بارندگی برای سپتامبر، ۳۴۴ میلی‌متر و برای آگوست ۲ میلی‌متر ثبت شده است.

❖ الگوی سوم، تمرکز بیشتر بارندگی در فصل

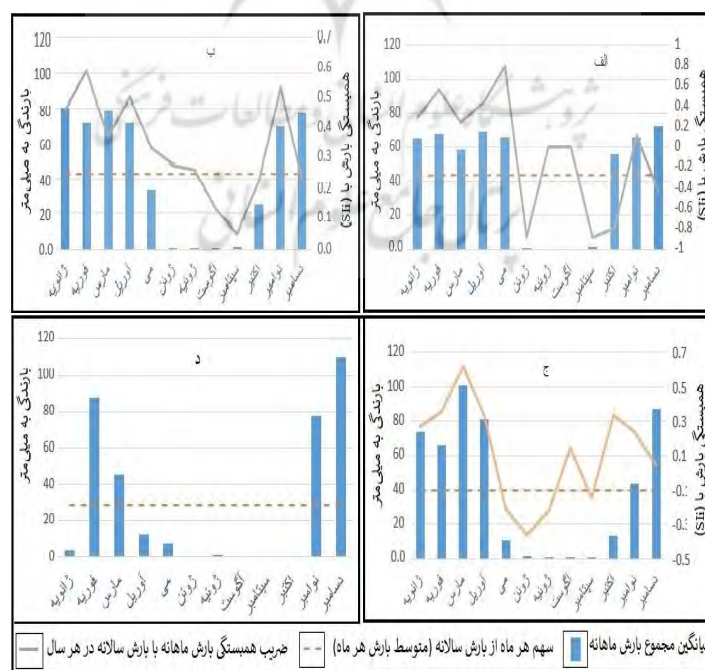
زمستان: الگوی سوم در دامنه $(19 < SIi < 1)$ قرار

این‌که بارندگی ماهانه دسامبر (آذر) حدود ۱۱۰ میلی‌متر یعنی حدود ۳۲ درصد بارش سالانه را به خود اختصاص داده است. پس از آن، فوریه (حدود ۸۸ میلی‌متر) و نوامبر (حدود ۷۸ میلی‌متر) بارش چشمگیری داشتند و این ۳ ماه در مجموع بیش از ۸۰ درصد بارش سالانه را از آن خود نمودند که در دو اوج پائیزی (آبان و آذر) و زمستانی (بهمن) بروز کرده است. در این الگو، بارندگی فصل پائیز حدود (۵۴۶ درصد) بارش سالانه است که رتبه نخست بارندگی نسبت به فصل‌های دیگر این رژیم و حتی نسبت به درصد بارش پائیزی در الگوهای دیگر را ثبت کرده است. تقریباً همه بارش سالانه در دو فصل پائیز و زمستان باریده است و به همان نسبت، درصد بارش دوره گرم سال (بهار و تابستان حدود ۵۵ درصد) در کمینه دوره آماری ثبت شده است. با توجه به توزیع بارش سالانه و افزایش چشمگیر مقدار بارش ماهانه تنها در ۴ ماه سال، گمان می‌رود در این رژیم فصلی، احتمال رخداد فرین‌های اقلیمی از جمله بارش سیل‌آسا و نیز رخداد خشکسالی شدید وجود دارد (شکل ۶ د).

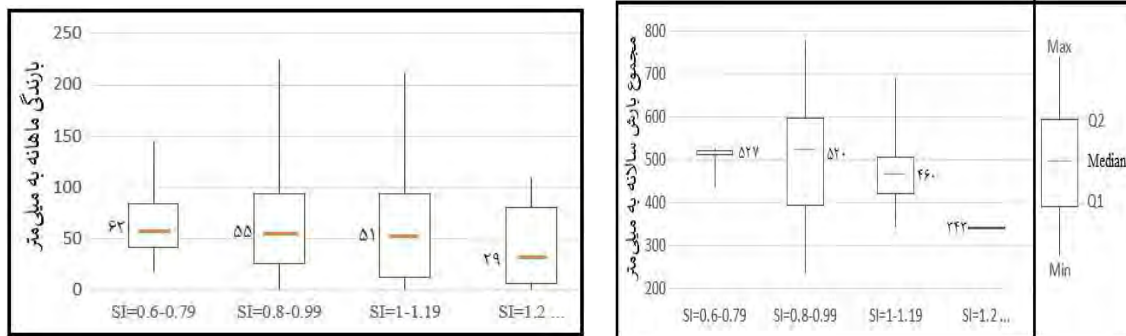
سوم حدود ۴۷۸ میلی‌متر بوده که کمتر از میانگین بارش سالانه در دوره آماری است. در این رژیم، احتمال رخداد بارش سالانه بالاتر از میانگین بلندمدت دوره آماری (ترسالی)، حدود ۲۵ درصد (فراوانی ۵ سال) و احتمال بارندگی سالانه کمتر از آن، حدود ۷۵ درصد (فراوانی ۱۵ سال) است. در این رژیم فصلی، میانگین نسبت بارش دوره بارانی به مجموع بارش سالانه (۱۰۰٪) و بیشتر از الگوهای دیگر است و این نسبت بین ۸ تا ۹۵ درصد متغیر است.

الگوی چهارم، تمرکز شدید بیشتر بارندگی

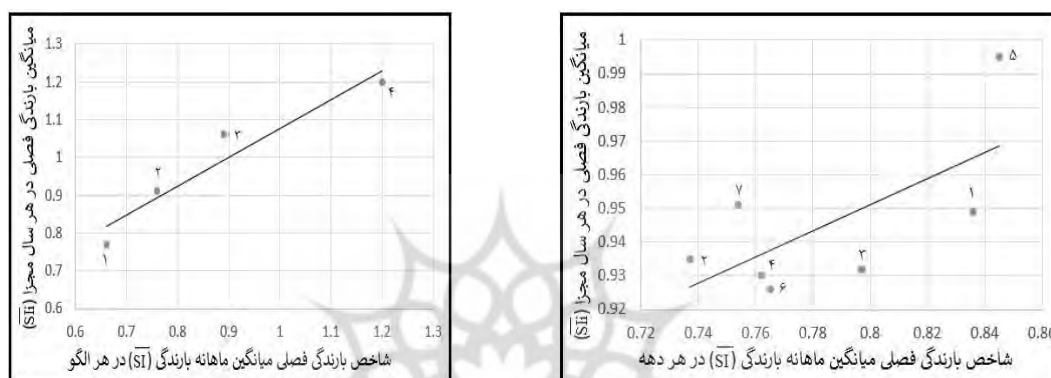
سالانه در ۳ ماه پائیز و زمستان با دو اوج: معیار تعیین الگوی چهارم، قرار داشتن شاخص بارش فصلی هر سال معین در دامنه $(Sli < 0.00)$ بود. این رژیم با فراوانی رخداد ۱ ساله، کمترین درصد فراوانی (۱۴ درصد) در سال ۱۹۶۴ میلادی را داشته است. در این الگو، مجموع بارندگی سالانه حدود ۳۴۳ میلی‌متر و کمترین مقدار نسبت به میانگین سالانه الگوهای دیگر است. با توجه به متوسط بارش فرضی ماهانه این رژیم که حدود ۲۹ میلی‌متر است، تنها ۴ ماه سال نوامبر و دسامبر (در پائیز) و فوریه و مارس (در زمستان) دارای بارش بیش از متوسط فرضی ماهانه هستند. جالب



شکل ۶: میانگین بارندگی ماهانه و ضریب همبستگی آن با شاخص (Sli) در چهار الگوی فصلی بارش



شکل ۷: ویژگی‌های آماری مجموع بارش سالانه (راست) و بارندگی ماهانه (چپ) در الگوهای مختلف رژیم فصلی بارش خرم‌آباد



شکل ۸: نمودار پراکندگی با خط رگرسیون خطی شاخص فصلی ($\overline{SI}$) با توجه به میانگین شاخص فصلی مجزا ($\overline{SI_i}$) هر یک از الگوهای رژیم فصلی بارندگی خرم‌آباد

فصلی بارش شامل: «توزیع بارندگی کم و بیش منظم‌تر (معتدل)»، «توزیع بارندگی نامنظم» و «توزیع بارندگی به شدت نامنظم و دارای تراکم بارندگی بالا» رخ داده است. رابطه معکوس (PCI) با مجموع بارندگی سالانه گویای این است که با افزایش (PCI)، احتمال رخداد خشکسالی هواشناسی بیشتر است. چنان‌که در پژوهشی ارتباط تغییرپذیری (PCI) با رخداد خشکسالی هواشناسی نشان داده شده است (Anandharuban and Elango, 2021).

برآورد میانگین شاخص فصلی ($\overline{SI}$) (حدود ۷۸)، گویای رژیم «فصلی دارای یک دوره خشک و یک دوره بارانی» است در حالی که برآورد مقدار میانگین شاخص فصلی مجزا ($\overline{SI_i}$) (حدود ۹۵) بیانگر رژیم بارندگی «فصلی ولی با یک فصل خشک طولانی‌تر» می‌باشد. با توجه به این که مقدار ($\overline{SI}$) کوچک‌تر از مقدار میانگین شاخص ($\overline{SI_i}$) برآورد می‌شود (Livada and

بحث و نتیجه گیری

واکاوای رژیم فصلی بارش ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد گویای این است که حدود ۸۵ درصد مجموع بارش سالانه به مقدار بارندگی در نیمه سرد سال (دو فصل پائیز و زمستان) بستگی دارد. بر پایه طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، اگر مقدار بارندگی دوره سرد سال، مساوی یا بیشتر از ۷۰ درصد مجموع بارندگی سالانه باشد، رژیم فصلی بارندگی به‌عنوان «رژیم بارندگی زمستانه» شناخته می‌شود (طاوسی، ۱۳۹۴).

شاخص تراکم بارندگی (PCI) با میانگین (۱۹۱) بیانگر «توزیع نامنظم بارندگی در طول سال» است. نوسان مقدار (PCI) در دامنه ۱۴۵ تا ۲۶۴ گویای متغیر بودن الگوهای فصلی بارش در سال‌های مختلف^۱ است. بررسی شاخص (PCI) به‌صورت مجزا برای هر سال در طول دوره آماری نشان داد که سه الگوی

Asimakopoulos, 2005) برای تحلیل این دوگانگی و برای ارزیابی‌های فصلی واقعی‌تر ضرورتاً از شاخص فصلی مجزا (SI_i) برای هر سال استفاده شد تا بتوان به روشنی الگوهای مختلف رژیم‌های بارندگی خرم‌آباد را تبیین کرد.

بر پایه معیارهای طبقه‌بندی شاخص فصلی (جدول ۲)، رژیم بارندگی خرم‌آباد در چهار الگو قرار دارد. الگوی نخست، «رژیم فصلی با دوره بارانی طولانی‌تر و دوره خشک کوتاه‌تر» است که با ۸ ماه بارش بیشتر از متوسط بارش فرضی ماهانه، دارای یکنواخت‌ترین پراکنش بارندگی در طول سال است و درصد فراوانی رخداد حدود ۷ درصد و احتمال رخداد بارش بیشتر از میانگین (ترسالی) حدود ۸۰ درصد است. الگوی دوم، «رژیم فصلی با تغییرپذیری بیشتر بارش ماهانه در دوره بارانی» است. در مقایسه با الگوی پیشین در این الگو، میانگین بارندگی ماهانه تنها ۶ ماه بیشتر از متوسط بارش فرضی ماهانه است ولی مقدار بارش این ۶ ماه نسبتاً بیشتر است. بارش ۲ ماه دیگر، (آغاز و پایان دوره بارانی) کمتر از متوسط بارش فرضی ماهانه است. بنابراین این دو ماه با شرایط نیمه‌خشک، نقش دوره گذار میان دوره بارانی با دوره خشک سال ایفا می‌کنند. این الگو با بیشترین درصد فراوانی رخداد (حدود ۶۳ درصد)، نمای آماری الگوی رژیم فصلی خرم‌آباد قلمداد می‌شود و احتمال رخداد بارش سالانه بالاتر از میانگین (ترسالی)، بیش از ۵۲ درصد (کمتر از الگوی نخست) می‌باشد.

الگوی سوم، «تمرکز بیشتر بارندگی در فصل زمستان» را نشان می‌دهد. در این رژیم، معمولاً مجموع بارندگی سالانه کمتر از میانگین بلندمدت ایستگاه هواشناسی است و متوسط بارش فرضی ماهانه نسبتاً کوچک‌تر (حدود ۴۰ میلی‌متر) است. اگر چه در این رژیم فصلی مانند الگوی دوم، بارندگی ماهانه یک دوره ۶ ماهه بیشتر از متوسط بارش فرضی ماهانه است که موجب کاهش مجموع بارش سالانه می‌شود، ولی بارندگی دست‌کم ۳ ماه سال بیش از دو برابر متوسط فرض ماهانه (۸۰ میلی‌متر) و نسبتاً بیشتر از دو الگوی پیشین است و بیش از نیمی از مجموع

بارش سالانه (۳۰۵ درصد) در زمستان روی می‌دهد. در این رژیم، تمرکز بارندگی فصلی می‌تواند موجب بروز بارش‌های سیل‌آسا در زمستان شود. این الگو با درصد فراوانی رخداد حدود ۶۲ درصد، دارای بارش سالانه کمتر از میانگین کل دوره آماری است. احتمال رخداد بارش سالانه بالاتر از میانگین بلندمدت (ترسالی)، حدود ۲۵ درصد و احتمال بارندگی سالانه کمتر از آن، حدود ۷۵ درصد است.

الگوی چهارم، گویای «تمرکز شدید بیشتر بارندگی سالانه در ۳ ماه پاییز و زمستان با دو اوج» می‌باشد. در مقایسه با الگوهای دیگر، کمترین مقدار مجموع بارندگی سالانه به این الگو تعلق دارد و ماه‌های دارای بارش بیش از متوسط فرضی ماهانه، کمتر از ۴ ماه می‌باشد که دو اوج پاییزی و زمستانی را شکل می‌دهد. بارندگی فصل پاییز بیشترین درصد (۵۴۶ درصد) بارش سالانه را به خود اختصاص می‌دهد. از این‌رو احتمال رخداد فرین‌های اقلیمی مانند بارش سیل‌آسا و نیز رخداد خشکسالی شدید در این الگو وجود دارد. این الگو با درصد فراوانی (۴۱ درصد) کمترین احتمال رخداد را داشته است.

نتایج کلی نشان داد رابطه همبستگی مجموع بارندگی سالانه با تغییرپذیری سالانه (SI_i) معکوس و دارای ضریب همبستگی (-0.306) است و می‌توان گفت رابطه معناداری بین مجموع بارندگی سالانه و شاخص فصلی وجود ندارد. همچنین، مقدارهای (SI_i) به روشنی تنوع بارندگی بین سالانه را نشان می‌دهد و هیچ روند آماری معناداری نشان نمی‌دهد. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های بارندگی مشاهده شده در ۷۰ سال دوره آماری تغییری نکرده است. چنان‌که نتایج بررسی تغییر رژیم بارش ناحیه خزری نیز به نتایج مشابهی رسیده است (عساکره و ورناصری‌قندعلی، ۱۴۰۰).

همچنین نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های دیگر از جمله: شاخص فصلی رژیم‌های بارندگی یونان (Livada and Asimakopoulos, 2005)، تغییرات الگوهای فصلی هندوستان (Rai and Dimri, 2020) و تحلیل شاخص تراکم بارندگی در شام (Salameh, 2024)

موجب کاهش یا افزایش دوره بارانی می‌شود.

همخوانی دارد و می‌توان گفت: مجموع الگوهای رژیم فصلی خرم‌آباد دارای رفتار نوسانی است که به‌تناوب

منابع

1. رضیعی، طیب (۱۳۹۶). شناسایی رژیم‌های بارشی ایران با استفاده از روش‌های چند متغیره. فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۳)، ۶۷۳-۶۹۵.
2. طاوسی، تقی (۱۳۹۴). بیابان و بیابانزایی از نگاه آب و هواشناسی، انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان.
3. عساکره، حسین و ورناصری‌قندعلی، نسرين (۱۴۰۰). بررسی تغییر رژیم بارش ناحیه خزری، نشریه جغرافیا و توسعه، دوره ۱۹، ش ۶۴، صص ۱۴۲-۱۱۵. Doi.10.22111/J10.22111.2021.6322
4. مصطفی‌زاده، رئوف و مهری، سونیا (۱۳۹۷). تعیین وضعیت و تغییرات شاخص فصلی بارش در بخش مرکزی استان اردبیل. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۱(۳)، ۲۸-۳۹.
5. نجفی، محمدسعید و دهبان، حسین (۱۴۰۲). بررسی کارایی مدل پیش‌بینی احتمالاتی تغییرات فصلی بارش در ایران. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۴(۱۶)، ۷۶-۶۳. doi: 10.30488/ccr.2023.426428.1178
6. Anandharuban, P., & Elango, L. (2021). Spatio-temporal analysis of rainfall, meteorological drought and response from a water supply reservoir in the megacity of Chennai, India. Journal of Earth System Science, 130, 1-20.
7. Bari, S. H., Rahman, M. T. U., Hoque, M. A., & Hussain, M. M. (2016). Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh. Atmospheric Research, 176, 148-158.
8. Flörke, M., Schneider, C., & McDonald, R. I. (2018). Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. Nature Sustainability, 1(1), 51-58. <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0006-8>.
9. Guhathakurta, P., and Saji, E. (2013). Detecting changes in rainfall pattern and seasonality index vis-à-vis increasing water scarcity in Maharashtra. Journal of Earth System Science, 122, 639-649.
10. <https://www.amar.org.ir>
11. Liuzzo, L., Bono, E., Sammartano, V., & Freni, G. (2016). Analysis of spatial and temporal rainfall trends in Sicily during the 1921-2012 period. Theoretical and Applied Climatology, 126, 113-129. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1561-4>.
12. Livada, I., & Asimakopoulou, D. N. (2005). Individual seasonality index of rainfall regimes in Greece. Climate Research, 28(2), 155-161. doi:10.3354/cr028155.
13. Markham, C. G. (1970). Seasonality of precipitation in the United States. Annals of the Association of American Geographers, 60(3), 593-597.
14. Michiels, P., Gabriels, D., & Hartmann, R. (1992). Using the seasonal and temporal precipitation concentration index for characterizing the monthly rainfall distribution in Spain. Catena, 19(1), 43-58. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(92\)90016-5](https://doi.org/10.1016/0341-8162(92)90016-5).
15. Naidu, C.V., Durgalakshmi, K., Muni Krishna, K., Ramalingeswara Rao, S., Satyanarayana, G.C., Lakshminarayana, P. and Malleswara Rao, L. (2009) Is summer monsoon rainfall decreasing over India in the global warming era? Journal of Geophysical Research, 114, D24108. <https://doi.org/10.1029/2008JD011288>.
16. Oliver, J. E. (1980). Monthly precipitation distribution: a comparative index. The Professional Geographer, 32(3), 300-309. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x>.
17. Patil, M.K. (2015) Change in seasonality index of rainfall in Sangli district. Indian Streams Research Journal, 5(1), 1-7.
18. Rai, P., & Dimri, A. P. (2020). Changes in rainfall seasonality pattern over India. Meteorological Applications, 27(1), e1823. <https://doi.org/10.1002/met.1823>.
19. Raziei, T., Bordi, I., & Pereira, L. S. (2008). A precipitation-based regionalization for Western Iran and regional drought variability. Hydrology and earth system sciences, 12(6), 1309-1321. <https://doi.org/10.5194/hess-12-1309-2008>.
20. Salameh, A. A. (2024). Using the precipitation concentration index for characterizing the rainfall distribution in the Levant. Journal of Water and Climate Change, 15(4), 1945-1960. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.037>.
21. Sumner, G., Homar, V., & Ramis, C. (2001). Precipitation seasonality in eastern and southern coastal Spain. International Journal

- monsoon-dominated State (Kerala) of India. *Journal of Hydrology*, 534, 266-280. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.013>.
24. Walsh, R. P. D., & Lawler, D. M. (1981). Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time. *Weather*, 36(7), 201-208.
25. Wang, T., Tu, X., Singh, V. P., Chen, X., Lin, K., Lai, R., & Zhou, Z. (2022). Socioeconomic drought analysis by standardized water supply and demand index under changing environment. *Journal of Cleaner Production*, 347, 131248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131248>.
- of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 21(2), 219-247. <https://doi.org/10.1002/joc.600>
22. Sushant, S., Balasubramani, K., and Kumaraswamy, K. (2015). Spatio-temporal analysis of rainfall distribution and variability in the twentieth century, over the Cauvery Basin, South India. *Environmental Management of River Basin Ecosystems*, 21-41. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13425-3>.
23. Thomas, J., & Prasannakumar, V. (2016). Temporal analysis of rainfall (1871–2012) and drought characteristics over a tropical

