



Relationship of Drought and Teleconnection Patterns; Case Study of Qara-Qom Basin

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Fallahzadeh M.¹ MA,
Rezaei P.^{*1} PhD,
Eslamian S.² PhD,
Abbasi A.¹ PhD

How to cite this article

Fallahzadeh M, Rezaei P, Eslamian S, Abbasi A. Relationship of Drought and Teleconnection Patterns; Case Study of Qara-Qom Basin. Geographical Researches Quarterly Journal. 2019;34(2): 153-164.

¹Department of Geography, Faculty of Humanities, Najaf Abad Branch, Islamic Azad University, Najaf Abad, Iran

²Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*Correspondence

Address: Department of Geography, Islamic Azad University, Rasht, Iran
Phone: +98 (51) 37136793
Fax: -
rezaei@iaurasht.ac.ir

Article History

Received: August 20, 2018
Accepted: January 01, 2019
ePublished: June 20, 2019

ABSTRACT

Aims & Backgrounds Drought is a natural feature of an area and its occurrence in each region can lead to economic, social and environmental losses. The aim of the present study was to investigate the relationship between the teleconnection patterns with drought in the Qara-Qom basin.

Methodology The precipitation data of 30 rain gauge and synoptic stations and the data of 32 numerical indexes of teleconnection from NOAA site were obtained during 1987-2013. The data of standardized precipitation index in the 9 to 48-month scale were classified by factor analysis and the stations with similar behavior were identified in the study area. Then, the relationship between the average drought index of each area with each of the teleconnection patterns was evaluated simultaneously with a delay of 6 and 9 months through the correlation statistical method.

Findings The multivariate ENSO index, the decadal oscillation of Pacific ocean, southern oscillation, Nino 4, 3/4 and 3 had the most significant correlation with the standardized precipitation index scales. Also, there was a direct correlation between the 6-month delayed drought index (With four factors of drought index) with Nino 4, 3/4 and 3, multivariate ENSO, Madden Julian oscillation in the regions of 20°, 70°, 80°, 100 ° east, and there was a significant inverse correlation between the 6-month delayed drought index with the east pacific index, the southern and Madden Julian oscillations in the regions of 160° East, 120° and 40° West. Four factors of the 9-month delayed drought index (total basin stations) had a significant inverse correlation with the east Pacific index, southern and Madden Julian oscillations in the regions of 120° and 40° West, and it had a significant direct relationship with the index of Nino 3, the multivariate ENSO and the oscillation of Madden Julian in the regions of 70°, 80° and 100° East.

Conclusion There is a relationship between the teleconnection patterns and droughts in Qara-Qom basin.

Keywords Standardized Precipitation Index (SPI); Teleconnection; Factor Analysis; Correlation; Qara Qom Basin

CITATION LINKS

[Ilderumi, et al; 2017] Study of Relation between ENSO phenomenon and drought occurrence ...; [Babaiean, et al; 2013] Investigating the behavior of Qara Qom Basin water resources under the ...; [Khosravi;2004] A Survey on the relations of the northern hemisphere large scale circulation patterns ...; [Khorshiddost, et al; 2010] Application of large-scale atmospheric-oceanographic patterns in the ...; [Darand; 2015] Drought monitoring in Iran by Palmer Severity Drought Index [PDSI] and ...; [Zolfaghari & Nouri Sameleh; 2016] Determination of suitable variables for analysis of droughts in Iran by using ...; [Sadatinejad, et al; 2016] Frequency analysis of regional meteorological drought in Karun-1 ...; [Shafiei & Raeini; 2016] Assessment of the impact of meteorological drought and wetness trends on the ...; [Shafiei & Ghahraman; 2009] Investigation of place variations of maximum probable 24-hour ...; [Alizadeh, et al; 2011] Investigating the effect of teleconnection patterns on parameters of precipitation ...; [Fatehi Marj; 2015] Study of the relationship between the some climate signals ...; [Ghavidel Rahimi, et al; 2014] Investigation on North Sea-Caspian teleconnection pattern effect on autumn rainfall ...; [Ghavidel Rahimi, et al; 2014] The role of a teleconnection pattern the far atmosphere of the North Sea-Mazandaran Sea in the changes in the rainfall of the ...; [Mahdavi & Taherkhani; 2012] Application of statistics in ...; [Nayebi; 2015] Advanced applied statistics with ...; [Asong, et al; 2018] Historical drought patterns over Canada and their teleconnections with large-scale ...; [Baek, et al; 2017] Precipitation, temperature, and teleconnection signals across the combined North American ...; [Chowdhury, 2003] The El Nino- Southern Oscillation [ENSO] and seasonal flooding ...; [Hendon; 2003] Indonesian rainfall variability: Impacts of ENSO and local air-sea ...; [Lee HF; 2011] Relationship between NAO and drought disasters in northwestern China ...; [Oglesby, et al; 2012] The role of the Atlantic multidecadal oscillation on medieval drought in North America synthesizing results from proxy data ...; [Rajagopalan, et al; 2000] Spatiotemporal variability of ENSO and SST teleconnections to summer drought over the United ...; [Wang & Kumar; 2015] Assessing the impact of ENSO on drought in the U.S ...

ارتباط الگوهای پیوند از دور با خشکسالی؛ مطالعه موردی حوضه قره‌قوم

مونا فلاحزاده MA

گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

پرویز رضایی* PhD

گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

سیدسعید اسلامیان PhD

گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

علیرضا عباسی PhD

گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

چکیده

اهداف و زمینه‌ها: خشکسالی از ویژگی‌های طبیعی است و در هر منطقه‌ای که به وقوع می‌پیوندد منجر به ضررهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌شود. هدف از پژوهش حاضر، بررسی ارتباط الگوهای پیوند از دور و خشکسالی در حوضه قره‌قوم بود.

روش‌شناسی: داده‌های بارش ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک و نیز داده‌های مربوط به ۳۲ نمایه عددی پیوند از دور از سایت نوآ طی دوره آماری ۱۳۰۲-۱۹۸۷ اخذ شد. داده‌های شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس ۹ تا ۴۸ ماهه با روش تحلیل عاملی گروه‌بندی و ایستگاه‌های دارای رفتار مشابه در پهنه مطالعاتی شناسایی شد. سپس رابطه میانگین شاخص خشکسالی هر پهنه با تک‌تک الگوهای پیوند از دور به‌صورت همزمان و با تأخیر ۶ و ۹ ماهه از طریق روش آماری همبستگی ارزیابی شد.

یافته‌ها: الگوی چندمتغیره انسو نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، نوسان جنوبی، نینو ۳/۴ و ۳ بیشترین همبستگی معنی‌دار را با مقیاس‌های شاخص بارش استاندارد شده داشتند. همبستگی تأخیر زمانی ۶ ماهه شاخص خشکسالی با چهار عامل (کل حوضه) شاخص خشکسالی با شاخص نینو ۴، ۳/۴ و ۳، چندمتغیره انسو، نوسان مادان جولیان در مناطق ۲۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰ درجه شرقی ارتباط مستقیم و با شاخص آرام شرقی، نوسان جنوبی و مادان جولیان در مناطق ۱۶۰ درجه شرقی، ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی دارای رابطه معکوس معنی‌دار بود. چهار عامل (کل ایستگاه‌های حوضه) تأخیر زمانی ۹ ماهه شاخص خشکسالی ارتباط معکوس معنی‌دار با شاخص آرام شرقی، نوسان جنوبی و نوسان مادان جولیان در مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی نشان داد و با شاخص نینو ۳، چندمتغیره انسو و نوسان مادان جولیان در مناطق ۷۰، ۸۰ و ۱۰۰ درجه شرقی دارای رابطه مستقیم معنی‌دار داشت.

نتیجه‌گیری: ارتباط معنی‌داری بین الگوهای پیوند از دور با خشکسالی‌های حوضه قره‌قوم وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: شاخص بارش استاندارد شده، شاخص‌های پیوند از دور، تحلیل عاملی، همبستگی، حوضه قره‌قوم

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۱

نویسنده مسئول: rezaei@iaurasht.ac.ir

مقدمه

خشکسالی از پدیده‌های زیان‌آور طبیعی است که انسان همواره با آنها روبرو بوده و بسته به ماندگاری و شدت آن، می‌تواند آسیب‌های

کلانی بر جامعه و محیط‌زیست وارد سازد، چنانچه در سال‌های اخیر به علت افزایش فراوانی خشکسالی‌ها، با کاهش چشمگیر سطح آب دریاچه‌ها، افزایش آسیب‌های زیست‌محیطی و چالش در بخش‌های اقتصادی و اجتماعی روبرو هستیم (Shafiee & Raeini, 2016: 119]. در گوشه و کنار کره زمین، مطالعات در زمینه خشکسالی فراگیر شده و کشورها از روش‌های مختلفی برای ارزیابی آن استفاده می‌نمایند [Fatehi et al, 2015: 25]. چرا که شناخت خصوصیات آماری، علل وقوع و احتمال رخداد آن در آینده و تأثیرات آن بر حوزه‌های مختلف از اهم مطالعات جغرافیایی در مناطق مختلف است [Sadatinejad et al, 2016: 108].

تاکنون محققین توانسته‌اند با استفاده از تغییرات میدان‌های فشار و سایر عوامل در مناطق مختلف، سیگنال‌های متعددی بیابند که هرکدام می‌تواند بر اقلیم اثرگذار باشد. الگوهای پیوند از دور به وقوع و تداوم الگوهای بزرگ‌مقیاسی از ناهنجاری‌های چرخش و فشار هوا اطلاق می‌گردد که در محدوده‌های جغرافیایی وسیع گسترش یافته‌اند. این الگوها در امواج اتمسفری، موقعیت رود باده‌ها، بارش و مسیر طوفان‌ها در سطح وسیعی اثر می‌گذارند. آنها اغلب موجب وقوع الگوهای هوایی ناهنجاری می‌گردند که به‌طور همزمان در مناطق دورتری اتفاق می‌افتد [Khosravi, 2004: 167]. از سیگنال‌های اقلیمی برای بررسی تغییرات آب و هوایی و تأثیر این سیگنال‌ها بر میزان بارش استفاده می‌شود [Fatehi et al, 2015]. [25] مطالعات صورت گرفته در خصوص خشکسالی بیشتر به روش‌های پیش‌بینی، گستره جغرافیایی و شدت خشکسالی معطوف بوده است. لذا مطالعه ارتباط رفتاری خشکسالی با شاخص‌های پیوند از دور برای کمینه‌سازی ریسک، عدم قطعیت و خسارت‌های ناشی از آن ضرورت دارد. در این میان آثار پیوند از دور الگوهای بزرگ‌مقیاس گردش جو-اقیانوسی از مدت‌ها قبل به‌صورت یک روش پیشرفته برای بیان علل بارش و نوسان‌های آن به‌کار می‌رود، از این‌رو نوسانات اقلیمی ناشی از الگوهای پیوند از دور اهمیت فراوانی یافته است [Ghavidel Rahimi et al, 2014: 30].

چنانچه در بررسی النینو-نوسان جنوبی و سیلاب فصلی بنگلادش، همبستگی بسیار خوبی بین مقادیر مثبت نوسان جنوبی با سال‌های تر و مقادیر منفی آن با سال‌های خشک در اقلیم بنگلادش گزارش شده است [Chowdhury, 2003: 105]. همچنین در مطالعه داده‌های ۴۷ ساله بارش مالزی نشان داده شد که ناهنجاری بارش‌های فصل خشک، به‌شدت به دمای سطحی دریا و فاز گرم انسو وابسته است [Hendon, 2003: 1775]. بررسی فضایی انسو و تله کانکشن‌های سطح دریا نشان داد که شاخص انسو نقش بسیار زیادی بر خشکسالی‌های تابستانی قرن بیستم ایالات متحده دارد [Rajagopalan et al, 2000: 4244]. بررسی رابطه بین نوسان اطلس شمالی و فجایع خشکسالی در شمال غربی چین در هزاره گذشته نشان داد که نوسان اطلس شمالی و فاجعه خشکسالی دارای همبستگی منفی هستند [Lee et al, 2011: 1114]. در بررسی

ایستگاه‌های منتخب با الگوی پیوند از دور دریای شمال-خزر وجود دارد که این امر حاکی از افزایش بارش در فاز مثبت الگوی پیوند از دور دریای شمال-خزر و کاهش بارش در فاز منفی می‌باشد [Ghavidel Rahimi, 2014: 217]. بررسی ارتباط بین سیگنال‌های اقلیمی نوسان جنوبی، چند متغیره انسو، نینو، نوسان اطلس شمالی با خشکسالی هواشناسی در استان کرمان به صورت ماهانه، فصلی و سالانه نشان داد که سیگنال‌های اقلیمی نوسان جنوبی، نینو و چند متغیره انسو بیشترین تأثیر را بر نوسانات بارندگی در استان کرمان دارند [Fatehi et al, 2015:25]. در مطالعات خشکسالی ایران، نتایج بر احتمال وقوع ترسالی‌های پاییزی در فاز النینو و بروز خشکسالی‌ها در فاز لانینا برای مناطق جنوبی ایران تأکید نمودند [Ilderomi, 2017: 145].

این پژوهش، ارتباط سنجی بین شاخص‌های پیوند از دور با خشکسالی در حوضه قره‌قوم را به‌عنوان هدف اصلی خود دنبال می‌کند. برای دستیابی به این مهم، نقش تفکیکی الگوهای مختلف پیوند از دور بر تغییرات خشکسالی این حوضه در چارچوب روش آماری همبستگی بررسی و نقشه‌های درصد خشکسالی تهیه می‌گردد. لذا مطالعه الگوی پیوند از دور در حوضه قره‌قوم که تاکنون کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است می‌تواند دریچه‌های جدیدی در مطالعات اقلیمی گشوده و کمک بسزایی به مسئولین و محققین در جهت ارایه راهکارهای مناسب در زمینه مدیریت خشکسالی بنماید. به دلیل ضعف ادبیات در مطالعات نوسانات اقلیمی حوضه شمال شرق ایران و با استفاده از تجربیات به‌دست‌آمده از مطالعات مبتنی بر الگوی پیوند از دور، این پژوهش با هدف بررسی ارتباط بین شاخص‌های پیوند از دور با خشکسالی در حوضه قره‌قوم، به‌عنوان یکی از حوضه‌های اثرگذار بر کاهش بارش‌های شمال ایران، انجام شد.

روش‌شناسی

لازمه بررسی خشکسالی و ارتباط آن با شاخص‌های پیوند از دور نخست، به‌کارگرفتن داده‌های مربوط به بارش ماهانه ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی و ایستگاه سینوپتیک طی دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ (دوره ۲۷ساله) است که از آرشیو سازمان هواشناسی اخذ گردید. سپس داده‌های ماهانه ۳۲ شاخص پیوند از دور از پایگاه جوی اقیانوسی ایالات‌متحده طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۳ جهت بررسی ارتباط خشکسالی‌ها با این شاخص‌ها دریافت شد. این ارتباط به‌صورت همزمان و با تأخیر ۶ و ۹ ماهه صورت گرفته است. برای تعیین ماه‌های خشک از شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس ۹، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده شد. این شاخص از توزیع گاما برای برازش داده‌های بارش استفاده می‌کند که بعد از تعیین پارامترها، شاخص بارش استاندارد شده محاسبه شد. احتمالات تجمعی توزیع گاما $G(x)$ از رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$G(x) = \frac{1}{\beta^x \Gamma(\alpha)} \int_1^x x^{\alpha-1} \varepsilon^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

نقش نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس بر خشکسالی قرون وسطی در شمال آمریکا با ادغام نتایج حاصل از داده‌های پروکسی و مدل‌های آب‌وهوا به این نتیجه رسیده‌اند که نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس در مقیاس بزرگ گردشی بیشتر منجر به بارش مرکزی و غربی ایالات‌متحده در طول دوره فاز سرد می‌شود ولی اثرات آن همراه با دیگر عوامل در مقیاس زمانی کوتاه‌تر مانند نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، انسو و همچنین اثرات محلی و تعاملات سطح زمین بر جو از قبیل رطوبت خاک را نیز تحت تأثیر قرارداد [Oglesby et al, 2012:56]. از سوی دیگر در ارزیابی تأثیر انسو بر روی خشکسالی در جنوب غربی ایالت متحده با شبیه‌سازی مدل آب و هوایی NCEP به این نتیجه رسیدند که ارتباط قوی بین خشکسالی جنوب غربی و لانینا در طول ۱۹۷۷-۱۹۴۸ و بین جنوب غربی باران‌زا و النینو در طول ۱۹۷۸-۱۹۹۹ وجود دارد. رابطه بین بارش جنوب غربی و SST استوایی اقیانوس آرام پس از سال ۱۹۹۹ نسبتاً ضعیف است. یک مقایسه بین دو مدل شبیه‌سازی، ۴۸۰ سال با و بدون تنوع انسو نشان می‌دهد که انسو می‌تواند ابتدا ویژگی‌های بارش و سپس بیشتر خشکسالی‌های جنوب غربی را از نظر تناوب و شدت تغییر دهد [Wang & Kumar, 2015:30]. ارتباط بین دما و بارش با شاخص‌های پیوند از دور انسو، نوسان اطلس شمالی، نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس در منطقه آمریکای شمالی و نتایج خشکسالی پالمر نشان داد که بخش اطلسی آمریکای شمالی ارتباط معنی‌داری با ۴ شاخص مذکور دارد و همچنین ارتباط بین دما و بارش با شاخص‌های پیوند از دور در تابستان و زمستان معنی‌دارتر از سایر فصول است [Beak et al, 2017:7141]. بررسی ارتباط بین خشکسالی‌های کانادا و سیگنال‌های کلان‌مقیاس پیوند از دور نشان داد که بخش شمالی کشور کانادا در طی سه دهه اخیر روند معنی‌داری به سمت خشک تر شدن طی کرده است. خوشه‌بندی فضایی خشکسالی بیانگر آن بود که دو خوشه اساسی با رفتار متفاوت وجود دارد و این دو خوشه به ترتیب با الگوی چرخه‌ای ۸ و ۳۲ ماهه هماهنگ بوده و با دو شاخص اقیانوس آرام-شمال آمریکا و چند متغیره انسو ظاهر می‌شوند [Asong et al, 2018: 3105]. ارتباط الگوهای کلان‌مقیاس جوی-اقیانوسی با ناهنجاری‌های بارش اهر نشان داد که دو الگوی شاخص انسو و نوسان اطلس شمالی ارتباط معنی‌داری با بارش اهر دارند [Khorshiddost et al, 2016: 95]. نتایج بررسی الگوهای پیوند از دور مؤثر بر دما و بارش مشهد نشان داد قوی‌ترین سیگنال مؤثر بر پدیده‌ها سیگنال نینو ۱/۲ است [Alizadeh et al, 2011: 176]. پایش خشکسالی ایران به کمک شاخص خشکسالی پالمر و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور جوی-اقیانوسی نشان داد که الگوهای پیوند از دور در فصل پاییز ارتباط بیشتری با خشکسالی‌های ایران نشان می‌دهند [Darand, 2015: 67]. بررسی نقش الگوی پیوند از دور جو بالای دریای شمال-مازندران در تغییرات زمانی بارش سواحل جنوبی دریای خزر به این مطلب اشاره می‌کند که رابطه معنی‌دار و مستقیمی بین بارش‌های

بعد از محاسبه شاخص خشکسالی ایستگاه‌های حوضه قره‌قوم، مقادیر این شاخص در مقیاس زمانی ۹، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه با روش تحلیل عاملی گروه‌بندی و ایستگاه‌های دارای رفتار مشابه در پهنه مطالعاتی شناسایی شد. سپس از هر پهنه (عامل) میانگین شاخص بارش استاندارد شده محاسبه و رابطه آن با الگوهای پیوند از دور بررسی گردید. این کار به منظور کاهش داده‌ها و شناسایی پهنه‌های همگن مکانی از نقطه نظر خشکسالی بوده است. ماتریس ورودی و ماتریس همبستگی بعد از انجام تحلیل عاملی به صورت زیر بوده است.

$$R_{input} = \begin{bmatrix} v_1 & v_2 & \dots & v_{30} \\ c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}$$

$$R_{correlation} = \begin{bmatrix} v_1 & v_2 & \dots & v_{30} \\ v_2 \\ \vdots \\ v_{30} \end{bmatrix}$$

در اینجا v و c به ترتیب بیانگر ایستگاه و زمان هستند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود سطرهای ماتریس، داده‌های ورودی مقادیر شاخص بارش استاندارد شده هر ایستگاه در ماه مشخص می‌باشد که برای ایستگاه‌های مختلف به طور همزمان کنار هم قرار گرفته‌اند. بعد از ماتریس همبستگی، ماتریس بارگویه‌ها بعد از دوران متعامد محاسبه گردید. در تحلیل عاملی کل واریانس تبیین شده توسط عامل‌ها برابر ۱ یا ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود. همچنین در این روش برای ارزیابی مناسب بودن داده‌ها از آزمون اندازه‌گیری کفایت نمونه‌گیری کایزر مایر آلکین استفاده شده است.

$$KMO = \frac{\sum_i \sum_j r_{ij}^2}{\sum_i \sum_j r_{ij}^2 + \sum_i \sum_j q_{ij}^2} \quad (10)$$

که در آن، r_{ij}^2 مجذور همبستگی ساده پیرسون بین دو متغیر x_i و x_j است و q_{ij}^2 نیز مجذور ضریب همبستگی جزئی بین دو متغیر فوق می‌باشد. با توجه به فرمول بالا، اگر $\sum \sum q_{ij}^2$ کوچک باشد، آنگاه کایزر مایر آلکین به یک نزدیک می‌شود و بیانگر آن است که داده‌ها برای تحلیل عاملی کافی و مناسب هستند [Nayebi, 2015: 231]. در گام بعدی با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون در دو سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و ۰/۰۱ ارتباط همزمان و تأخیر ۶ و ۹ ماهه هر یک از مؤلفه‌ها با شاخص‌های پیوند از دور به دست آمد (جدول ۳ و ۴). ارتباط قوی بین متغیرها نشان می‌دهد که متغیرهای تعیین شده می‌توانند در مدل‌سازی مورد استفاده قرار بگیرند [Zolfaghari & Nouri Sameleh, 2016: 103]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

که در این معادله α و β به ترتیب مقدار پارامتر شکل و مقیاس، x مقدار بارندگی و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است. پارامترهای توزیع چگالی احتمال گامای داده‌های نمونه با روش حداکثر درست‌نمایی برای تمامی مقیاس‌های زمانی به صورت زیر برآورد می‌شود (رابطه ۲، ۳ و ۴).

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{4A} [1 + \hat{\beta} \sqrt{1 \pm (4A/\alpha)}] \quad (2)$$

$$\hat{\beta} = X/\bar{\alpha} \quad (3)$$

$$A = \ln(x) = \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4)$$

که n تعداد مشاهدات بارندگی و X میانگین بارندگی در طی دوره آماری می‌باشد. چون تابع گاما برای $x = 0$ تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، احتمال تجمع می‌آید. کل که دربرگیرنده مقادیر صفر نیز می‌باشد از (رابطه ۵) زیر به دست می‌آید.

$$F(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (5)$$

که q احتمال صفر بودن مقدار بارندگی و $P = 1 + q$ می‌باشد. درنهایت با جابجایی احتمال توزیع تجمع می‌گاما به توزیع نرمال، مقادیر شاخص خشکسالی به دست می‌آید. ساده‌ترین روش برای محاسبه این شاخص استفاده از تقریب آبراموتیزو- استوگان است که به صورت زیر انجام می‌گیرد. برای $0 < H(x) \leq 0.5$ مقدار t برابر با (رابطه ۶ و ۷).

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{(H(x))^2}} \quad (6)$$

و برای $0.5 < H(x) \leq 1$ برابر با

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]} \quad (7)$$

خواهد بود. درنهایت مقادیر جابه‌جاشده گاما با استفاده از فرمول‌های زیر بر طبق مقادیر جابه‌جاشده مجدداً جابه‌جا می‌گردد. در این حالت اگر $0 < H(x) \leq 0.5$ باشد مقدار این شاخص از فرمول زیر قابل محاسبه است.

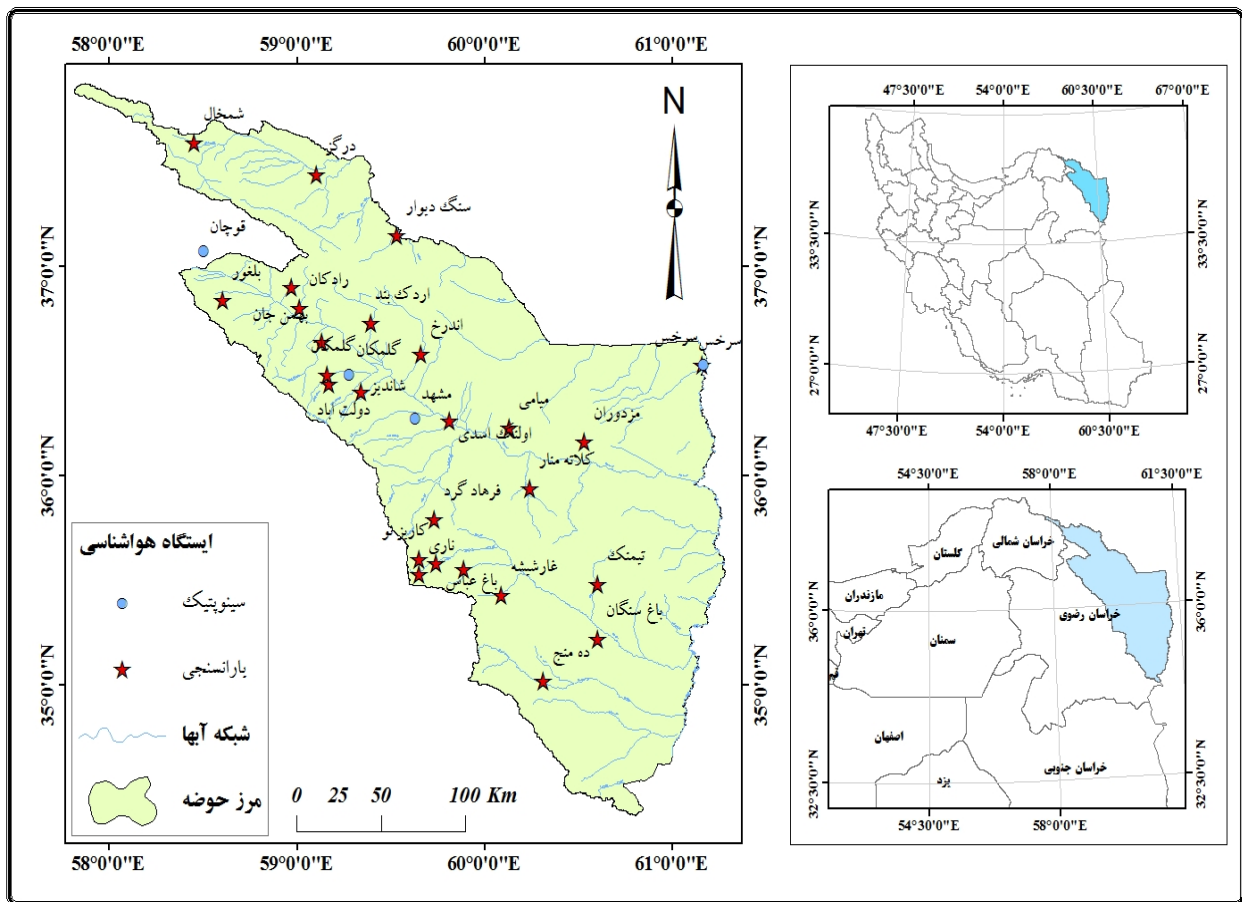
$$SPI = - \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (8)$$

و برای $0.5 < H(x) \leq 1$ از فرمول شماره ۷ محاسبه می‌شود.

$$SPI = + \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (9)$$

شمال غرب و بینالود در غرب آن می‌باشند [Babaeian et al, 2013: 909]. حوضه آبریز قره‌قوم در شمال شرق ایران بین عرض‌های ۲۲°۳۵' تا ۲۹°۳۴' ۵۷' و طول ۳۵° ۴۸' و ۵۷° ۶۱°۱۶'۵۴' واقع شده است و بخشی از حوضه بزرگ قره‌قوم و قزل قوم است که در خاک ترکمنستان قرار دارد (شکل ۱). آب‌وهوای حوضه به علت تأثیرگذاری عوامل مهمی از جمله موقعیت جغرافیایی، وجود مناطق کویری و کوه‌های مرتفع خیلی متنوع و عمدتاً خشک تا نیمه‌خشک است. این وضعیت آب و هوایی موجب شده که اکوسیستم حاکم بر مناطق بیابانی حوضه از یک شرایط حساس و شکننده برخوردار باشد [Shafiee & Ghahraman, 2009: 51].

میزان ضریب همبستگی بین +۱ تا -۱ متغیر است [Mahdavi & Taherkhani, 2012: 158]. معمولاً رابطه بین دو یا چند متغیر از آن جهت مورد مطالعه قرار می‌گیرد که از وجود رابطه بین متغیرها برای برآورد یا پیشگویی درباره مقدار یکی از متغیرها استفاده می‌شود. حوضه آبریز قره‌قوم یکی از ۳۸ حوضه بزرگ کشور است که در استان خراسان رضوی جای گرفته است. مساحت کل حوضه برابر ۴۴۴۹۱ کیلومترمربع است. این حوضه از سمت شمال و شمال غرب هم‌مرز با ترکمنستان و از سمت شرق با افغانستان هم‌مرز می‌باشد. مهم‌ترین رشته‌کوه‌های این حوضه شامل هزار مسجد در شمال و



شکل ۱) موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در حوضه قره قوم

یافته‌ها و بحث

چهارم توانستند در مجموع ۸۲/۳۴۹٪ واریانس کل داده‌ها را تبیین کنند. برای شاخص بارش استاندارد شده ۱۸ ماهه، ۴ عامل یا پهنه همگن تعیین شد که عامل‌های اول تا چهارم توانستند در مجموع ۸۶/۴۸۳٪ واریانس کل داده‌ها را بیان کنند. در شاخص بارش استاندارد شده ۲۴ ماهه، ۳ عامل یا واحد همگن تعیین گردید که سه عامل توانستند در مجموع ۸۵/۹۲۵٪ کل داده‌ها را تبیین کنند. برای شاخص خشکسالی ۴۸ ماهه، ۳ عامل یا واحد همگن تعیین شد و عامل اول تا سوم توانستند در مجموع ۸۷/۶۵۴٪ کل داده‌ها را بیان کنند. با توجه به نمودار سنگ‌ریزه، تحلیل عاملی انجام شد (شکل ۲).

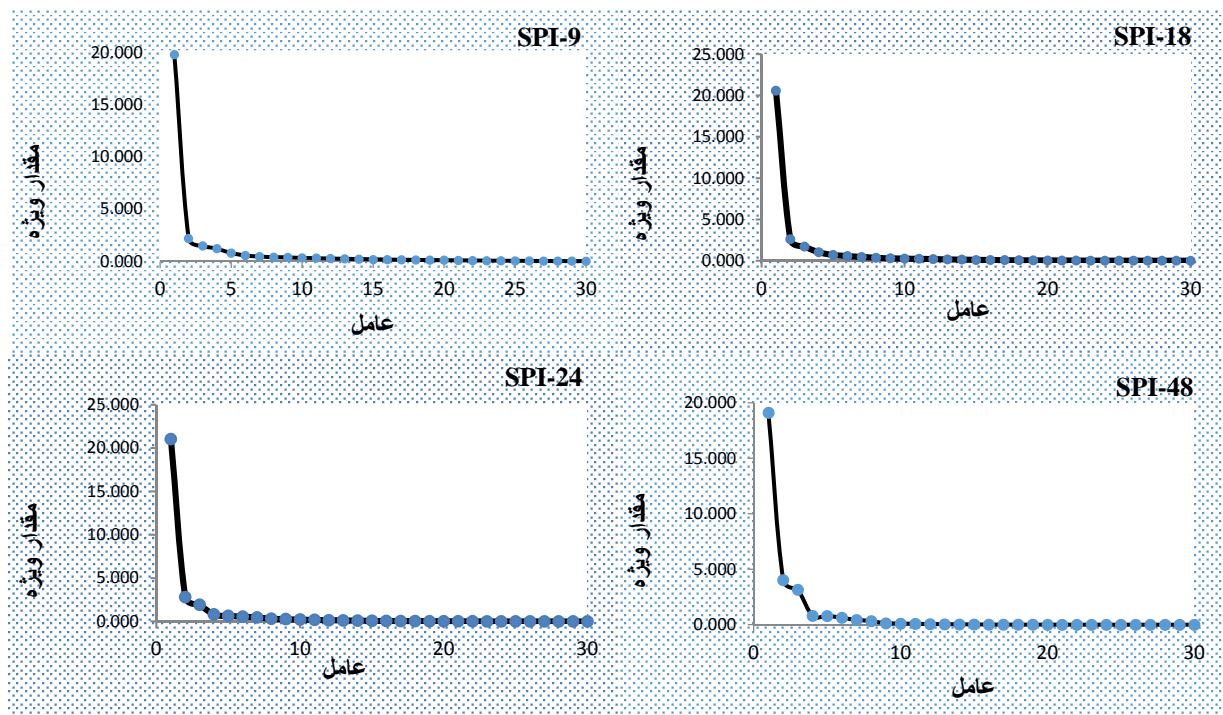
جهت بررسی ارتباط شاخص خشکسالی حوضه قره‌قوم در بازه‌های زمانی ۹، ۱۸ و ۲۴ ماهه با الگوهای پیوند از دور ابتدا از روش تحلیل عاملی برای کاهش شمار متغیرها و واحدهای همگن فضایی استفاده گردید. در جدول ۱ ایستگاه‌های واقع در هر عامل یا پهنه‌های فضایی همگن با رفتارهای مشابه آورده شده است. مجموع مجذور بارهای دوران یافته هر عامل برای مقیاس‌های ۹ تا ۴۸ ماهه شاخص بارش استاندارد شده برآورد شده است (جدول ۲). با به‌کارگیری تکنیک تحلیل عاملی در شاخص بارش استاندارد شده ۹ ماهه، عامل اول تا

جدول (۱) شناسایی ایستگاه‌های واقع در عامل‌های تعیین شده شاخص بارش استاندارد شده

ایستگاه‌ها در عامل‌های شاخص بارش استاندارد شده ۹ ماهه
عامل اول: اندرخ، اردک بند ساروج، اولنگ اسدی، بلغور، باغ عباس، باغسنگان، تیمنک، سرخس بارانسنجی، سرآسیاب شانديز، غارشيشه، دولت آباد، ده منج، چناران، گلکمان بارانسنجی، کلات منار، کلات رحمان، کاریزنو، مزدوران، ناری عامل دوم: امام زاده رادکان، بهمن جان، سنگ دیوار، شمخال، درگز عامل سوم: سرخس سینوپتیک، قوچان، گلکمان سینوپتیک، مشهد عامل چهارم: امام زاده میامی
ایستگاه‌ها در عامل‌های شاخص بارش استاندارد شده ۱۸ ماهه
عامل اول: اندرخ، اردک بند ساروج، اولنگ اسدی، بلغور، باغ عباس، باغسنگان، تیمنک، سرخس بارانسنجی، سرآسیاب شانديز، غارشيشه، دولت آباد، ده منج، چناران، گلکمان بارانسنجی، کلات منار، کلات رحمان، کاریزنو، مزدوران، ناری، فرهاد گرد عامل دوم: بهمن جان، سنگ دیوار، شمخال، درگز عامل سوم: امام زاده رادکان، سرخس سینوپتیک، قوچان، گلکمان سینوپتیک، مشهد عامل چهارم: امام زاده میامی
ایستگاه‌ها در عامل‌های شاخص بارش استاندارد شده ۲۴ ماهه
عامل اول: اندرخ، اردک بند ساروج، اولنگ اسدی، بلغور، باغ عباس، باغسنگان، تیمنک، سرخس بارانسنجی، سرآسیاب شانديز، غارشيشه، دولت آباد، ده منج، چناران، گلکمان بارانسنجی، کلات منار، کلات رحمان، کاریزنو، مشهد، مزدوران، ناری، فرهاد گرد عامل دوم: امامزاده رادکان، بهمن جان، سرخس سینوپتیک، سنگ دیوار، شمخال، درگز، قوچان، گلکمان سینوپتیک عامل سوم: امام زاده میامی
ایستگاه‌ها در عامل‌های شاخص بارش استاندارد شده ۴۸ ماهه
عامل اول: اندرخ، اردک بند ساروج، اولنگ اسدی، میامی، بلغور، باغ عباس، باغسنگان، تیمنک، سرخس سینوپتیک، سرخس بارانسنجی، سرآسیاب شانديز، غارشيشه، دولت آباد، ده منج، چناران، گلکمان سینوپتیک، کلات منار، کاریزنو، مشهد، مزدوران ناری، فرهاد گرد عامل دوم: امام زاده رادکان، سنگ دیوار، شمخال، درگز، قوچان عامل سوم: بهمن جان، گلکمان بارانسنجی، کلات رحمان

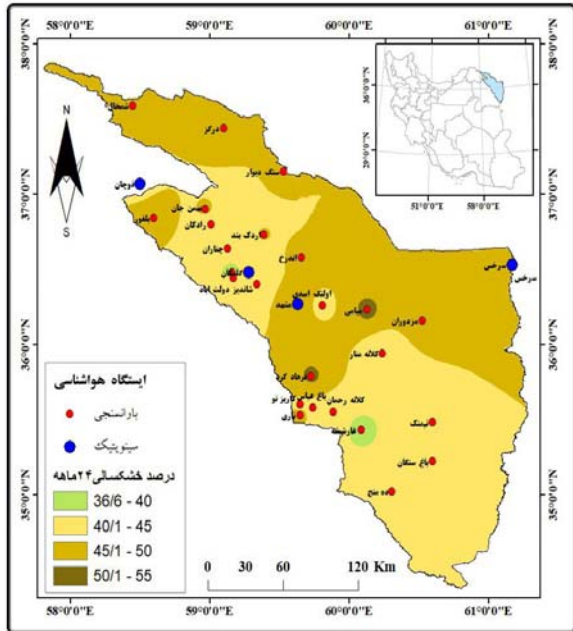
جدول (۲) مجموع مجذور بارهای دوران یافته در عامل‌های شاخص خشکسالی ۹ تا ۴۸ ماهه

عامل	۹ ماهه	۱۸ ماهه	۲۴ ماهه	۴۸ ماهه
اول	۴۰/۱۰۸	۴۳/۰۹۲	۴۷/۰۵۸	۵۱/۶۵۹
دوم	۵۸/۸۴۷	۶۲/۵۶۲	۷۳/۶۶۲	۷۱/۶۲۶
سوم	۷۲/۷۰۸	۷۵/۶۵۰	۸۵/۹۲۵	۸۷/۶۵۴
چهارم	۸۲/۳۴۹	۸۶/۴۸۳	-	-



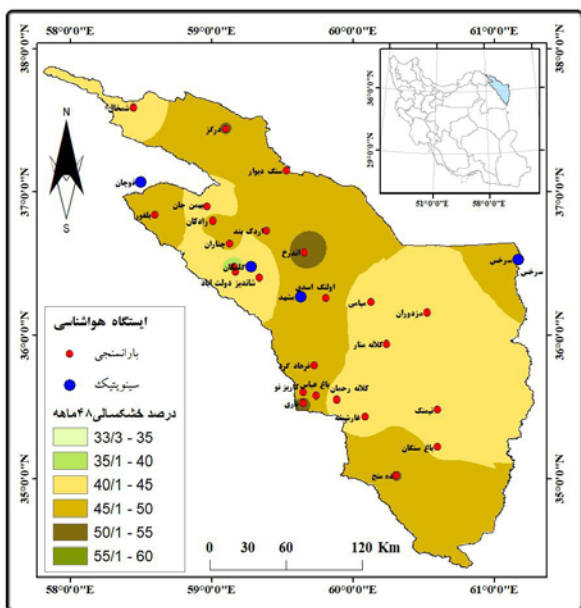
شکل (۲) سنگریزه مقیاس‌های ۹ تا ۴۸ ماهه شاخص خشکسالی

شاخص استاندارد شده بارش در بازه زمانی ۲۴ ماهه نشان داد در قسمت‌هایی از شمال تا مرکز حوضه (ایستگاه‌های واقع در عامل‌های اول و دوم) شرایط خشکسالی از نوع شدید تا بسیار شدید و در عامل یا پهنه سوم شرایط خشکسالی بسیار شدید حاکم است و سایر نقاط حوضه از شرایط مطلوب‌تری برخوردار است (شکل ۵).



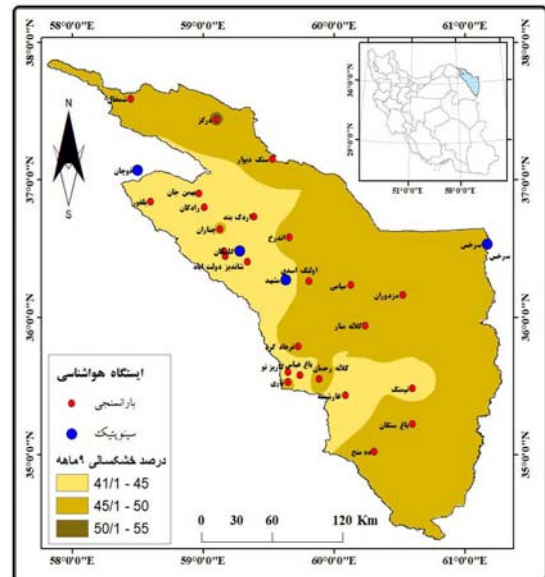
شکل ۵) نقشه درصد شاخص خشکسالی ۲۴ ماهه

شاخص استاندارد شده بارش در بازه زمانی ۴۸ ماهه نشان داد شدت خشکسالی در قسمت‌هایی از نواحی شمال غرب و مرکز (ایستگاه‌های واقع در عامل‌های اول و سوم) حوضه قره‌قوم اندک و در سایر نقاط حوضه خشکسالی شدید تا بسیار شدید حاکم است (شکل ۶).



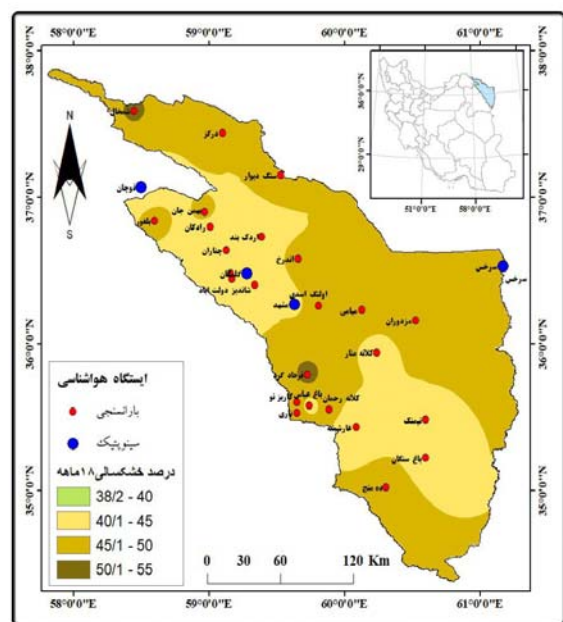
شکل ۶) نقشه درصد شاخص خشکسالی ۴۸ ماهه

نقشه‌های درصد خشکسالی نشان داد که شدت خشکسالی در شاخص بارش استاندارد شده ۹ ماهه در قسمت‌هایی از شمال حوضه (شامل ایستگاه‌های واقع در عامل یا پهنه دوم) و قسمت‌هایی از مرکز و جنوب حوضه (ایستگاه‌های واقع در عامل یا پهنه اول و چهارم) از نوع شدید تا بسیار شدید بوده و نواحی شمال غربی و غرب حوضه به نسبت شرایط مطلوب‌تری را نشان می‌دهد (شکل ۳).



شکل ۳) نقشه درصد شاخص خشکسالی ۹ ماهه

شاخص استاندارد شده بارش در بازه زمانی ۱۸ ماهه نشان داد به جز نواحی غرب و قسمت‌هایی از جنوب حوضه (ایستگاه‌های واقع در عامل‌های اول و سوم) که شدت خشکسالی در آن کمتر از سایر نواحی است اکثر نواحی حوضه با خشکسالی شدید تا بسیار شدید روبرو بوده است (شکل ۴).



شکل ۴) نقشه درصد شاخص خشکسالی ۱۸ ماهه

در منطقه ۲ افریقا-هند در سطح ۹۵٪ معنی‌دار و با شاخص نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، نوسان جنوبی، نینوها، چند متغیره انسو، نوسان مادن جولیان در مناطق ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه شرقی و ۱۲۰، ۴۰ و ۱۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با دیگر شاخص‌ها رابطه‌ای نشان نداده است. رابطه نوسان جنوبی، مادن جولیان در منطقه ۲ افریقا-هند و مناطق ۱۲۰، ۴۰ و ۱۰ درجه غربی معکوس معنی‌دار بوده است.

رابطه عامل دوم (ایستگاه‌های شمال حوضه) شاخص خشکسالی ۱۸ ماهه با شاخص اقیانوس آرام و شمال آمریکا، نوسان اطلس شمالی، نینو ۱/۲، نوسان مادن جولیان در منطقه ۲ افریقا-هند و مناطق ۸۰ و ۱۲۰ درجه شرقی و ۱۰ درجه غربی در سطح ۹۵٪ و با شاخص نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، شمالگان، نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، نوسان جنوبی، نینو ۴، ۳/۴، ۳، چندمتغیره انسو و نوسان مادن جولیان در مناطق ۱۰۰ درجه شرقی و مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با شاخص‌های دیگر رابطه‌ای نشان نداده است.

عامل دوم با نوسان اطلس شمالی، شمالگان، نوسان جنوبی، مادن جولیان در منطقه ۲ افریقا-هند، مادن جولیان ۱۲۰، ۴۰ و ۱۰ درجه غربی رابطه معکوس معنی‌دار نشان داد. رابطه عامل سوم (ایستگاه‌های مرکز حوضه) شاخص خشکسالی ۱۸ ماهه با شاخص اقیانوس آرام و شمال آمریکا، نینو ۳/۴ و نینو ۳، نوسان مادن جولیان در منطقه ۱۲۰ درجه شرقی در سطح ۹۵٪ و با شاخص نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، نوسان جنوبی و چند متغیره انسو در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با دیگر شاخص‌ها رابطه‌ای نشان نداده است. نوسان جنوبی با عامل سوم رابطه معکوس معنی‌دار نشان داد. رابطه عامل چهارم (ایستگاه میامی در مرکز حوضه) شاخص بارش استاندارد شده ۱۸ ماهه با شاخص شرق اطلس-غرب روسیه، نوسان مادن جولیان در مناطق ۱۲۰ درجه شرقی و ۱۰ درجه غربی در سطح ۹۵٪ و با شاخص غرب اقیانوس آرام، نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، نوسان جنوبی، نینو ۳/۴، نینو ۳ و چندمتغیره انسو در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با دیگر شاخص‌ها رابطه‌ای نشان نداده است. رابطه نوسان جنوبی و مادن جولیان در منطقه ۱۰ درجه غربی معکوس معنی‌دار است. رابطه عامل اول (ایستگاه‌های مرکز و جنوب حوضه) شاخص بارش استاندارد شده ۲۴ ماهه با شاخص اطلس شرقی، نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، نینو ۳/۴، دوقطبی اقیانوس هند، قطب-اوراسیا، نوسان مادن جولیان در مناطق ۱۰۰ و ۱۴۰ درجه شرقی در سطح ۹۵٪ و با نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، آرام شرقی، نوسان جنوبی، نینو ۴، چند متغیره انسو و نوسان مادن جولیان در مناطق ۱۲۰ درجه شرقی، ۴۰ و ۱۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با دیگر شاخص‌ها رابطه‌ای نشان نداده است. آرام شرقی، اطلس شرقی، نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، نوسان جنوبی، دوقطبی اقیانوس هند و مادن جولیان در مناطق ۴۰ و ۱۰ درجه غربی رابطه معکوس معنی‌دار نشان داد. عامل دوم (ایستگاه‌های شمال حوضه) شاخص خشکسالی ۲۴ ماهه با شاخص اقیانوس آرام و شمال آمریکا، نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، نوسان چند دهه‌ای

ارتباط بین شاخص بارش استاندارد شده با شاخص‌های پیوند از دور مورد مطالعه در این پژوهش از طریق همبستگی پیرسون مورد آزمون قرار گرفته‌اند (جدول ۳). همچنین نتایج همبستگی با تأخیر زمانی ۶ و ۹ ماهه در جدول ۴ آورده شده است.

با انجام تحلیل عاملی برای هر یک از شاخص‌های خشکسالی ۹ ماهه و ۱۸ ماهه چهار عامل (پهنه) و برای هر یک از شاخص‌های ۲۴ و ۴۸ ماهه سه عامل یا پهنه همگن تعیین شد. رابطه عامل اول (ایستگاه‌های مرکز و جنوب حوضه) شاخص بارش استاندارد شده ۹ ماهه با شاخص نینو ۱/۲، نوسان مادن جولیان در مناطق ۱۶۰ درجه شرقی و ۱۰ درجه غربی در سطح ۹۵٪ و با شاخص نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، شرق اطلس-غرب روسیه، نوسان جنوبی، نینو ۴، ۳/۴ و ۳، چند متغیره انسو، نوسان مادن جولیان در مناطق ۷۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درجه شرقی و ۱۲۰، ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با دیگر شاخص‌ها رابطه‌ای نشان نداده است.

شاخص نوسان جنوبی، مادن جولیان در منطقه ۱۶۰ درجه شرقی و مادن جولیان در مناطق ۱۲۰، ۴۰ و ۱۰ درجه غربی دارای رابطه معکوس معنی‌دار است. عامل دوم (ایستگاه‌های شمال حوضه) شاخص خشکسالی ۹ ماهه با شاخص اقیانوس آرام و شمال آمریکا، نوسان مادن جولیان در مناطق ۷۰ درجه شرقی و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۵٪ و با نوسان‌های دهه‌ای اقیانوس آرام، نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، نوسان جنوبی نینو ۴، ۳/۴ و ۳، چند متغیره انسو، نوسان مادن جولیان در مناطق ۸۰ و ۱۰۰ درجه شرقی و ۱۲۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ رابطه معنی‌دار داشته و با دیگر شاخص‌ها رابطه‌ای نشان نداده است.

عامل سوم (ایستگاه‌های مرکز حوضه و ایستگاه فوچان) شاخص بارش استاندارد شده ۹ ماهه رابطه‌ای معنی‌دار با شاخص نینو ۳، نوسان مادن جولیان در مناطق ۱۲۰ درجه شرقی، ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۵٪ نشان داد. با شاخص نوسان‌های دهه‌ای اقیانوس آرام، اقیانوس آرام و شمال آمریکا، نوسان جنوبی، نینو ۴، ۳/۴، چند متغیره انسو و نوسان مادن جولیان در منطقه ۱۰۰ درجه شرقی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با دیگر شاخص‌ها رابطه‌ای نشان نداده است. رابطه عامل‌های دوم و سوم شاخص خشکسالی ۹ ماهه با شاخص نوسان جنوبی و مادن جولیان در مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی معکوس معنی‌دار است. رابطه عامل چهارم (ایستگاه میامی در مرکز حوضه) شاخص خشکسالی ۹ ماهه با شاخص نوسان مادن جولیان در مناطق ۷۰ و ۸۰ درجه شرقی و ۱۲۰ درجه غربی در سطح ۹۵٪ و با شاخص غرب اقیانوس آرام، نوسان‌های دهه‌ای اقیانوس آرام، شرق اطلس-غرب روسیه، نوسان جنوبی، نینو ۳/۴، نینو ۳ و چند متغیره انسو در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با شاخص‌های دیگر رابطه‌ای نشان نداده است.

عامل چهارم با شاخص نوسان جنوبی و مادن جولیان در منطقه ۱۲۰ درجه غربی رابطه معکوس معنی‌دار دارد. رابطه عامل اول (ایستگاه‌های مرکز و جنوب حوضه) شاخص بارش استاندارد شده ۱۸ ماهه با شاخص شرق اطلس-غرب روسیه و نوسان مادن جولیان

دهه‌ای اقیانوس آرام، چند متغیره آنسو و قطب- اوراسیا در سطح ۹۵٪ و با آرام شرقی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با دیگر شاخص‌ها رابطه‌ای نشان نداده است. شاخص آرام شرقی با عامل‌های دوم و سوم رابطه معکوس معنی‌دار نشان داد.

اقیانوس اطلس و چند متغیره آنسو در سطح ۹۵٪ و با آرام شرقی در سطح ۹۹٪ دارای رابطه معنی‌دار بوده و با دیگر شاخص‌ها رابطه‌ای نشان نداده است. رابطه عامل سوم (ایستگاه میامی در مرکز حوضه) شاخص بارش استاندارد شده ۲۴ ماهه با غرب اقیانوس آرام، نوسان

جدول ۳) ارتباط بین میانگین عامل‌های خشکسالی و شاخص‌های مختلف پیوند از دور

شاخص بارش استاندارد شده	شاخص خشکسالی ۹ ماهه			شاخص خشکسالی ۱۸ ماهه				شاخص خشکسالی ۲۴ ماهه			شاخص خشکسالی ۴۸ ماهه		
	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم
غرب اقیانوس آرام	۰/۰۳۸	۰/۰۳۷	۰/۰۵۸	۰/۰۸۳	۰/۰۴۱	۰/۰۴۷	۰/۰۱۶۳	۰/۰۴۸	۰/۰۳۶	۰/۰۱۲۸	۰/۰۱۱۸	۰/۰۶۸	۰/۰۲۳
اقیانوس آرام و شمال امریکا	۰/۰۹۷	۰/۰۱۱۳	۰/۰۲۲۲	۰/۰۹۳	۰/۰۶۹	۰/۰۱۳۱	۰/۰۱۴۵	۰/۰۸۵	۰/۰۳۴	۰/۰۱۲۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۷	۰/۰۴۴
نوسان‌های دهه‌ای اقیانوس آرام	۰/۰۴۱۷	۰/۰۲۲۷	۰/۰۲۸۴	۰/۰۴۶۴	۰/۰۲۵۷	۰/۰۲۹۵	۰/۰۲۱۳	۰/۰۳۳۰	۰/۰۱۴۴	۰/۰۱۱۴	۰/۰۲۷۳	۰/۰۰۱	۰/۰۲۴
نوسان اطلس شمالی	۰/۰۰۷	۰/۰۴۹	۰/۰۰۸	۰/۰۴۴	۰/۰۶۲	۰/۰۲۸	۰/۰۱۳۸	۰/۰۳۶	۰/۰۴۷	۰/۰۰۹	۰/۰۹۳	۰/۰۳۶	۰/۰۴۲
آرام شرقی	۰/۰۳۱	۰/۰۲۶	۰/۰۲۷	۰/۰۳۲	۰/۰۲۴	۰/۰۲۷	۰/۰۲۶	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵۲	۰/۰۲۲۴	۰/۰۲۷۱	۰/۰۲۶۴
شرق اطلس و غرب روسیه	۰/۰۱۶۶	۰/۰۸۴	۰/۰۴۵	۰/۰۱۷۸	۰/۰۴۵	۰/۰۵۲	۰/۰۶۰	۰/۰۱۱۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۹۶	۰/۰۴۷
اطلس شرقی	۰/۰۰۸	۰/۰۲۳	۰/۰۰۳	۰/۰۵۸	۰/۰۵۱	۰/۰۴۰	۰/۰۶۳	۰/۰۴۱	۰/۰۵۰	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۵۲	۰/۰۲۲	۰/۰۱۱۶
شمالگان	۰/۰۵۴	۰/۰۷۳	۰/۰۸۹	۰/۰۶۹	۰/۰۸۹	۰/۰۱۶۰	۰/۰۱۶۰	۰/۰۵۹	۰/۰۹۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۷	۰/۰۱۰	۰/۰۴۹
نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس	۰/۰۵۴	۰/۰۱۵۷	۰/۰۷۲	۰/۰۳۱	۰/۰۳۴	۰/۰۹۸	۰/۰۲۹۳	۰/۰۱۹	۰/۰۹۸	۰/۰۱۴۵	۰/۰۹۳	۰/۰۲۴۴	۰/۰۲۲
اسکاندیناوی	۰/۰۵۱	۰/۰۴۹	۰/۰۲۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۲۳	۰/۰۱۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸
نوسان جنوبی	۰/۰۳۶۶	۰/۰۲۱۷	۰/۰۲۸۹	۰/۰۲۱	۰/۰۳۵۲	۰/۰۱۷۰	۰/۰۲۲۲	۰/۰۲۱۵	۰/۰۲۱۵	۰/۰۲۴۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۲۱۲	۰/۰۲۸
نینو ۴	۰/۰۴۰۵	۰/۰۲۸۴	۰/۰۲۸۶	۰/۰۱۲۳	۰/۰۳۴۰	۰/۰۸۷	۰/۰۲۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۸۷	۰/۰۱۶۵	۰/۰۳۷	۰/۰۳۹	۰/۰۹۵
نینو ۳/۴	۰/۰۳۵۲	۰/۰۲۶۶	۰/۰۲۵۰	۰/۰۱۶۳	۰/۰۳۶۴	۰/۰۳۲۵	۰/۰۳۲۵	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۴۳	۰/۰۲۲	۰/۰۱۵	۰/۰۹۷
نینو ۳	۰/۰۲۲۴	۰/۰۱۹۰	۰/۰۱۲۲	۰/۰۱۵۰	۰/۰۲۷۳	۰/۰۱۱۸	۰/۰۲۷۹	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۵۰	۰/۰۸۴	۰/۰۰۵	۰/۰۸۱
نینو ۱/۲	۰/۰۱۱۵	۰/۰۱۰۲	۰/۰۱۰۲	۰/۰۱۴۹	۰/۰۱۶۶	۰/۰۶۰	۰/۰۱۶۶	۰/۰۹۰	۰/۰۸۴	۰/۰۹۰	۰/۰۳۵	۰/۰۲۳	۰
چند متغیره آنسو	۰/۰۴۹۴	۰/۰۳۳۹	۰/۰۳۵۷	۰/۰۳۰۰	۰/۰۴۷۴	۰/۰۲۶۶	۰/۰۳۶۶	۰/۰۲۶۰	۰/۰۳۱۴	۰/۰۱۳۱	۰/۰۱۲۶	۰/۰۲۱۳	۰/۰۰۶
دو قطبی اقیانوس هند	۰/۰۱۰	۰/۰۶۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۶۷	۰/۰۲۳	۰/۰۸۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱۳۱	۰/۰۶۵	۰/۰۴۸	۰/۰۰۴
قطب-اوراسیا	۰/۰۵۲	۰/۰۰۹	۰/۰۵۸	۰/۰۴۱	۰/۰۸۸	۰/۰۳۶	۰/۰۴۷	۰/۰۹۱	۰/۰۴۷	۰/۰۱۳۱	۰/۰۸۱	۰/۰۱۵۴	۰/۰۷۸
مادن جولیان در منطقه ۱ اقیانوس آرام	۰/۰۷۳	۰/۰۱۸	۰/۰۰۵	۰/۰۷۸	۰/۰۶۸	۰/۰۵۵	۰/۰۸۰	۰/۰۴۳	۰/۰۸۰	۰/۰۲۲	۰/۰۱۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۲
مادن جولیان در منطقه ۲ افریقا- هند	۰/۰۹۵	۰/۰۹۹	۰/۰۷۲	۰/۰۵۱	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۱۴	۰/۰۸۰	۰/۰۹۰	۰/۰۸۰	۰/۰۵۶	۰/۰۳۴	۰/۰۲۵	۰/۰۱۸
نمایه فاز نوسان مادن جولیان	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۵۵	۰/۰۵۲	۰/۰۹۹	۰/۰۷۴	۰/۰۳۷	۰/۰۷۷	۰/۰۳۷	۰/۰۱۴	۰/۰۲۳	۰/۰۲۰	۰/۰۴۳
نمایه شدت و دامنه نوسان مادن جولیان	۰/۰۸۲	۰/۰۸۴	۰/۰۰۴	۰/۰۴۹	۰/۰۸۱	۰/۰۴۹	۰/۰۹۸	۰/۰۹۷	۰/۰۹۷	۰/۰۳۷	۰/۰۲۹	۰/۰۲۱	۰/۰۸۷
مادن جولیان در منطقه ۲۰ درجه شرقی	۰/۰۴۲	۰/۰۵۱	۰/۰۰۹	۰/۰۵۳	۰/۰۸۶	۰/۰۱۳	۰/۰۵۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۱۴
مادن جولیان در منطقه ۷۰ درجه شرقی	۰/۰۱۷۷	۰/۰۱۴۰	۰/۰۸۶	۰/۰۱۱۵	۰/۰۱۰۹	۰/۰۱۱۱	۰/۰۳۵	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۰/۰۶۶	۰/۰۲۵	۰	۰/۰۴۶
مادن جولیان در منطقه ۸۰ درجه شرقی	۰/۰۱۹۱	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۱۰	۰/۰۱۱۴	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۴۵	۰/۰۰۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۶۷	۰/۰۲۶	۰/۰۱۹	۰/۰۶۸
مادن جولیان در منطقه ۱۰۰ درجه شرقی	۰/۰۲۱۲	۰/۰۱۵۶	۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۱۱	۰/۰۲۳۵	۰/۰۱۷۶	۰/۰۹۷	۰/۰۹۷	۰/۰۹۷	۰/۰۱۴۰	۰/۰۴۲	۰/۰۰۲	۰/۰۶۰
مادن جولیان در منطقه ۱۲۰ درجه شرقی	۰/۰۱۷۲	۰/۰۱۱۰	۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۷۶	۰/۰۲۵۸	۰/۰۱۵۹	۰/۰۱۱۵	۰/۰۱۲۳	۰/۰۱۲۳	۰/۰۱۶۶	۰/۰۴۴	۰/۰۹۱	۰/۰۳۹
مادن جولیان در منطقه ۱۴۰ درجه شرقی	۰/۰۶۱	۰/۰۱۶	۰/۰۶۶	۰/۰۰۳	۰/۰۱۹۰	۰/۰۸۳	۰/۰۹۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۱۰۶	۰/۰۱۳۳	۰/۰۳۰	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲
مادن جولیان در منطقه ۱۶۰ درجه شرقی	۰/۰۱۱۲	۰/۰۱۰۸	۰/۰۴۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۵۸	۰/۰۱۲	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰۶	۰/۰۱۴	۰/۰۴۲
مادن جولیان در منطقه ۱۲۰ درجه غربی	۰/۰۲۰۴	۰/۰۱۵۹	۰/۰۱۱۵	۰/۰۱۲۴	۰/۰۱۷۲	۰/۰۱۵۲	۰/۰۶۷	۰/۰۱۰۲	۰/۰۶۷	۰/۰۱۰۲	۰/۰۳۳	۰/۰۰۲	۰/۰۵۹
مادن جولیان در منطقه ۴۰ درجه غربی	۰/۰۲۰۵	۰/۰۱۴۵	۰/۰۱۳۲	۰/۰۱۰۸	۰/۰۲۴۷	۰/۰۱۷۵	۰/۰۱۰۸	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۵۹	۰/۰۳۶	۰/۰۰۲	۰/۰۵۱
مادن جولیان در منطقه ۱۰ درجه غربی	۰/۰۱۳۱	۰/۰۰۷۹	۰/۰۱۰۴	۰/۰۵۱	۰/۰۳۸	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۲۰	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۰۵	۰/۰۴۱	۰/۰۱۶	۰/۰۲۸

جدول ۴) ارتباط با تأخیر بین میانگین عامل‌های ۶ و ۹ ماهه خشکسالی و شاخص‌های مختلف پیوند از دور

نام شاخص	شاخص خشکسالی با تأخیر ۹ ماهه			شاخص خشکسالی با تأخیر ۶ ماهه			شاخص بارش استاندارد شده		
	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم
غرب آرام	۰/۰۰۹	۰/۰۱۷	۰/۰۳۸	۰/۰۶۲	۰/۰۲۴	۰/۰۳۰	۰/۰۰۴	۰/۰۹۰	عامل چهارم
اقیانوس آرام و شمال امریکا	۰/۰۰۵	۰/۰۲۴	۰/۰۴۶	۰/۰۲۹	۰/۰۷۹	۰/۰۲۴	۰/۰۵۵	۰/۰۴۳	
نوسان‌های دهه‌ای اقیانوس آرام	۰/۱۸۸	۰/۰۹۲	۰/۰۵۶	۰/۱۷۷	۰/۲۰۷	۰/۰۳۷	۰/۱۹۴	۰/۰۷۵	
نوسان اطلس شمالی	۰/۰۹۲	۰/۰۶۱	۰/۰۲۱	۰/۰۳۵	۰/۱۳۰	۰/۰۳۵	۰/۰۳۳	۰/۰۸۳	
آرام شرقی	۰/۲۴۸	۰/۲۴۴	۰/۲۳۷	۰/۲۴۷	۰/۲۴۳	۰/۲۴۹	۰/۲۴۵	۰/۲۱۳	
شرق اطلس و غرب روسیه	۰/۱۲۱	۰/۰۹۵	۰/۱۴۰	۰/۱۴۸	۰/۱۴۸	۰/۱۳۳	۰/۱۵۶	۰/۰۵۲	
اطلس شرقی	۰/۰۳۶	۰/۰۱۰	۰/۱۰۶	۰/۰۶۶	۰/۰۹۳	۰/۰۶۳	۰/۰۰۲	۰/۰۷۶	
شمالگان	۰/۰۳۱	۰/۰۰۲	۰/۰۷۶	۰/۰۵۲	۰/۰۵۵	۰/۰۲۸	۰/۰۱۵	۰/۰۹۶	
نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس	۰/۲۲۸	۰/۱۳۹	۰/۰۳۱	۰/۰۱۳	۰/۳۵۹	۰/۰۶۱	۰/۰۵۷	۰/۱۳۶	
اسکاندیناوی	۰/۰۲۸	۰/۰۴۲	۰/۰۳۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۲۵	۰/۱۱۸	
نوسان جنوبی	۰/۰۴۱۷	۰/۰۳۴۶	۰/۰۲۶۵	۰/۰۴۰۲	۰/۰۳۷۲	۰/۰۲۱۳	۰/۰۳۶۶	۰/۱۱۱	
نینو ۴	۰/۰۳۸۷	۰/۰۳۶۹	۰/۰۲۸۶	۰/۰۴۳۹	۰/۰۴۱۴	۰/۰۳۱۷	۰/۰۴۴۶	۰/۰۰۸	
نینو ۳/۴	۰/۰۳۸۵	۰/۰۳۶۶	۰/۰۲۵۰	۰/۰۴۲۱	۰/۰۴۰۰	۰/۰۲۸۵	۰/۰۴۳۲	۰/۰۸۸	
نینو ۳	۰/۰۲۴۲	۰/۰۲۲۷	۰/۰۱۵۸	۰/۰۲۹۴	۰/۰۲۵۰	۰/۰۱۸۷	۰/۰۳۱۸	۰/۱۱۶	
نینو ۱/۲	۰/۱۱۳	۰/۰۹۹	۰/۰۷۱	۰/۱۴۹	۰/۱۰۳	۰/۰۷۱	۰/۱۸۷	۰/۱۳۹	
چند متغیره انسو	۰/۰۴۱۷	۰/۰۳۵۵	۰/۰۲۶۲	۰/۰۴۴۳	۰/۰۳۸۸	۰/۰۲۳۱	۰/۰۴۵۰	۰/۱۷۷	
دو قطبی اقیانوس هند	۰/۰۷۵	۰/۱۲۳	۰/۰۱۴	۰/۱۳۹	۰/۱۲۴	۰/۰۳۰	۰/۰۹۵	۰/۰۳۷	
قطب- اوراسیا	۰/۱۱۵	۰/۰۸۶	۰/۰۹۱	۰/۰۶۱	۰/۱۱۷	۰/۰۸۶	۰/۰۸۸	۰/۱۱۲	
مادن جولیان در منطقه ۱ اقیانوس آرام	۰/۰۶۲	۰/۰۶۳	۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۹	۰/۰۲۳	۰/۰۴۳	
مادن جولیان در منطقه ۲ افریقا-هند	۰/۰۷۵	۰/۰۶۲	۰/۰۶۸	۰/۰۲۸	۰/۰۵۴	۰/۰۷۹	۰/۰۳۲	۰/۰۳۲	
نمایه فاز نوسان مادن جولیان	۰/۱۰۳	۰/۰۹۷	۰/۰۹۰	۰/۰۷۷	۰/۰۹۶	۰/۱۲۹	۰/۰۷۹	۰/۰۸۸	
نمایه شدت و دامنه مادن جولیان	۰/۰۶۰	۰/۰۳۸	۰/۰۵۲	۰/۰۰۹	۰/۰۱۹	۰/۰۲۱	۰/۰۰۹	۰/۰۲۲	
مادن جولیان در منطقه ۲۰ درجه شرقی	۰/۱۸۱	۰/۱۶۱	۰/۱۹۶	۰/۰۲۳۰	۰/۱۹۲	۰/۰۲۱۲	۰/۰۲۷۶	۰/۰۴۵	
مادن جولیان در منطقه ۷۰ درجه شرقی	۰/۰۳۷۰	۰/۰۳۰۲	۰/۰۲۹۳	۰/۰۳۵۳	۰/۰۳۵۳	۰/۰۳۱۵	۰/۰۳۸۳	۰/۱۳۸	
مادن جولیان در منطقه ۸۰ درجه شرقی	۰/۰۳۷۹	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۰۳	۰/۰۳۶۱	۰/۰۳۵۳	۰/۰۳۱۸	۰/۰۳۷۶	۰/۱۲۷	
مادن جولیان در منطقه ۱۰۰ درجه شرقی	۰/۰۳۵۰	۰/۰۲۷۶	۰/۰۲۳۵	۰/۰۲۸۵	۰/۰۳۱۵	۰/۰۲۴۸	۰/۰۲۸۳	۰/۱۴۵	
مادن جولیان در منطقه ۱۲۰ درجه شرقی	۰/۰۲۲۴	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۰۷	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۹۱	۰/۱۱۲	۰/۱۱۵	۰/۱۱۶	
مادن جولیان در منطقه ۱۴۰ درجه شرقی	۰/۰۱۴	۰/۰۳۲	۰/۰۸۷	۰/۰۹۴	۰/۰۳۵	۰/۰۹۵	۰/۱۱۳	۰/۰۳۳	
مادن جولیان در منطقه ۱۶۰ درجه شرقی	۰/۰۲۹۳	۰/۰۲۴۹	۰/۰۲۷۰	۰/۰۳۱۶	۰/۰۲۸۷	۰/۰۲۸۸	۰/۰۳۵۵	۰/۰۸۹	
مادن جولیان در منطقه ۱۲۰ درجه غربی	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۰۸	۰/۰۲۸۷	۰/۰۳۴۴	۰/۰۳۵۶	۰/۰۳۰۶	۰/۰۳۶۱	۰/۱۵۲	
مادن جولیان در منطقه ۴۰ درجه غربی	۰/۰۳۳۳	۰/۰۲۴۸	۰/۰۲۰۱	۰/۰۲۴۶	۰/۰۲۸۸	۰/۰۲۱۴	۰/۰۲۴۱	۰/۱۴۸	
مادن جولیان در منطقه ۱۰ درجه غربی	۰/۰۱۳۹	۰/۰۰۹۴	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۵۱	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۲۲	۰/۰۸۸	

نشان نداده است. آرام شرقی، نینو ۳، نینو ۱/۲، مادن جولیان در مناطق ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه شرقی رابطه معکوس معنی‌دار نشان دادند. عامل سوم (ایستگاه‌های شمال و مرکز حوضه) شاخص بارش استاندارد شده ۴۸ ماهه تنها با شاخص آرام شرقی در سطح ۹۹٪ رابطه معکوس معنی‌دار نشان داد.

رابطه تأخیر ۶ ماهه شاخص بارش استاندارد شده و شاخص‌های پیوند از دور نشان داد عامل اول (ایستگاه‌های مرکز و جنوب حوضه) تأخیر ۶ ماهه شاخص خشکسالی با شاخص شرق اطلس-غرب روسیه، نینو ۱/۲، قطب-اوراسیا، نوسان مادن جولیان در منطقه ۱۰ درجه غربی در سطح ۹۵٪ و با نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، آرام شرقی، نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، نوسان جنوبی، نینو ۴، ۳/۴، چند متغیره انسو، نوسان مادن جولیان در مناطق ۲۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ درجه شرقی و مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی در

عامل اول (ایستگاه‌های مرکز و جنوب حوضه) شاخص بارش استاندارد شده ۴۸ ماهه با شاخص غرب اقیانوس آرام، اطلس شرقی و قطب- اوراسیا در سطح ۹۵٪ و با شاخص نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، آرام شرقی، نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، نوسان جنوبی و چند متغیره انسو در سطح ۹۹٪ دارای رابطه معنی‌دار بوده و با شاخص‌های دیگر رابطه‌ای نشان نداده است. آرام شرقی، اطلس شرقی و نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس رابطه معکوس معنی‌دار نشان دادند. عامل دوم (ایستگاه‌های شمال حوضه) شاخص خشکسالی ۴۸ ماهه با شاخص نینو ۳، نینو ۱/۲، نوسان مادن جولیان در مناطق ۱۰۰، ۱۴۰ درجه شرقی و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۵٪ و با شاخص آرام شرقی، نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، نوسان مادن جولیان در مناطق ۱۲۰ درجه شرقی و ۱۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ دارای رابطه معنی‌دار بوده و با شاخص‌های دیگر رابطه‌ای

۱۰۰ و ۱۲۰ درجه شرقی در سطح ۹۵٪ و با آرام شرقی، چند متغیره انسو و نوسان مادان جولیان در مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با شاخص‌های دیگر ارتباطی نشان نداده است (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

در حوضه قره‌قوم بیشترین سطح معنی‌داری مربوط به شاخص چند متغیره انسو، نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام و آرام شرقی در ایستگاه‌های مرکز و جنوب و شمال حوضه است. نتایج تأخیر همبستگی نشان داد که چهار عامل (کل ایستگاه‌های حوضه) تأخیر زمانی ۶ ماهه شاخص خشکسالی با آرام شرقی، نوسان جنوبی، نینو ۴، ۳/۴ و ۳، چندمتغیره انسو، نوسان مادان جولیان در مناطق ۲۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۶۰ درجه شرقی و مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی دارای رابطه معنی‌دار است. چهار عامل تأخیر زمانی ۹ ماهه شاخص بارش استاندارد شده با آرام شرقی، چند متغیره انسو، نوسان مادان جولیان در مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ و با شاخص نینو ۳، نوسان مادان جولیان در مناطق ۷۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۶۰ درجه شرقی به ترتیب در سطح ۹۹ و ۹۵٪ دارای رابطه معنی‌دار است.

تشکر و قدردانی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تأییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: مونا فلاح‌زاده (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی/نگارنده مقدمه (۲۵٪)؛ پرویز رضایی (نویسنده دوم)، روش‌شناس (۲۵٪)؛ سیدسعید اسلامیان (نویسنده سوم)، نگارنده بحث (۲۵٪)؛ علیرضا عباسی (نویسنده چهارم)، تحلیلگر آماری (۲۵٪)

منابع مالی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

- Ilderumi A, Noori H, Bayat Varkeshi M (2017). Study of Relation between ENSO phenomenon and drought occurrence in Iran. *Water and Soil Science*. 27(2):143-156. [Persian]
- Babaiean I, Zarghami M, Kouhi M, Babaiean O, Karimain M, Modirian R (2013). Investigating the behavior of Qara Qom Basin water resources under the conditions of climate change (Case study: Dargaz sub basin). *Water and Soil (Agriculture Sciences and industries)*. 27(5):907-918. [Persian]
- Khosravi M (2004). A Survey on the relations of the northern hemisphere large scale circulation patterns with Sistan & Baluchestan annual droughts. *Geography and Development*. 2(3):167-188. [Persian]
- Khorshiddost A, Rahimi Ghavidel Y, Abaszadeh K (2010). Application of large-scale atmospheric-oceanographic patterns in the analysis of rainfall oscillations (Case study: Ahar station). *Geographical Space*. 10(29):95-128. [Persian]
- Darand M (2015). Drought monitoring in Iran by Palmer Severity Drought Index (PDSI) and correlation with oceanic atmospheric teleconnection patterns. *Geographical Researches*. 29(4):67-82. [Persian]
- Zolfaghari H, Nouri Sameleh Z (2016). Determination of

سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با شاخص‌های دیگر ارتباطی نشان نداده است. عامل دوم (ایستگاه‌های شمال و مرکز حوضه) تأخیر زمانی ۶ ماهه شاخص خشکسالی با شاخص نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، دوقطبی اقیانوس هند در سطح ۹۵٪ و با آرام شرقی، نوسان جنوبی، نینو ۴، ۳/۴ و ۳، چند متغیره انسو و مادان جولیان در مناطق ۲۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ درجه شرقی و مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ دارای رابطه معنی‌دار بوده و با شاخص‌های دیگر ارتباطی نشان نداده است. عامل سوم (ایستگاه‌های شمال حوضه) تأخیر زمانی ۶ ماهه شاخص خشکسالی تنها با شاخص شرق اطلس‌غرب روسیه در سطح ۹۵٪ و با شاخص آرام شرقی، نوسان جنوبی، نینو ۴، ۳/۴ و ۳، چند متغیره انسو، مادان جولیان در مناطق ۲۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۶۰ درجه شرقی و مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ رابطه معنی‌دار داشته است. عامل چهارم (ایستگاه‌های مرکز حوضه و ایستگاه قوچان) تأخیر زمانی ۶ ماهه شاخص بارش استاندارد شده با شاخص دوقطبی اقیانوس هند و نوسان مادان جولیان ۱۲۰ درجه شرقی در سطح ۹۵٪ و با نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، آرام شرقی، شرق اطلس-غرب روسیه، نوسان جنوبی، نینوها، چند متغیره انسو، مادان جولیان در مناطق ۲۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۶۰ درجه شرقی و مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با شاخص‌های دیگر ارتباطی نشان نداده است. رابطه عامل اول (ایستگاه‌های مرکز و جنوب حوضه) تأخیر زمانی ۹ ماهه شاخص خشکسالی با نوسان اطلس شمالی، دوقطبی اقیانوس هند و قطب-اوراسیا در سطح ۹۵٪ و با شاخص نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، آرام شرقی، شرق اطلس-غرب روسیه، نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، نوسان جنوبی، نینو ۴، ۳/۴ و ۳، چند متغیره انسو، مادان جولیان در مناطق ۲۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ درجه شرقی و مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با شاخص‌های دیگر ارتباطی نشان نداده است. رابطه عامل دوم (ایستگاه‌های شمال حوضه) تأخیر زمانی ۹ ماهه شاخص خشکسالی با شرق اطلس-غرب روسیه و نمایه فاز نوسان مادان جولیان در سطح ۹۵٪ و با آرام شرقی، نوسان جنوبی، نینو ۴، ۳/۴ و ۳، چند متغیره انسو، مادان جولیان در مناطق ۲۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۶۰ درجه شرقی و مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با شاخص‌های دیگر ارتباطی نشان نداده است. رابطه عامل سوم (ایستگاه‌های مرکز و ایستگاه قوچان) تأخیر زمانی ۹ ماهه شاخص خشکسالی با مادان جولیان در مناطق ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه شرقی در سطح ۹۵٪ و با نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، آرام شرقی، شرق اطلس-غرب روسیه، نوسان جنوبی، نینوها، چند متغیره انسو و مادان جولیان در مناطق ۲۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۶۰ درجه شرقی و مناطق ۱۲۰ و ۴۰ درجه غربی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با شاخص‌های دیگر ارتباطی نشان نداده است. رابطه عامل چهارم (ایستگاه میامی در مرکز حوضه) تأخیر زمانی ۹ ماهه شاخص خشکسالی با نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، اسکاندیناوی، نوسان جنوبی، نینو ۳، نینو ۱/۲ و مادان جولیان در مناطق ۷۰، ۸۰،

- in geography. 4th Edition. Tehran: Ghomes Publications. [Persian]
- Nayebi H (2015). Advanced applied statistics with SPSS. 2nd Edition. Tehran: Tehran University Press. [Persian]
- Asong ZE, Wheatear HS, Bonsal B, Razavi S, Kurkute S (2018). Historical drought patterns over Canada and their teleconnections with large-scale climate signals. *Hydrology and Earth System Sciences (HESS)*. 22:3105-3124.
- Baek SH, Smerdon JE, Coats S, Williams AP, Cook BI, Cook ER, Seager R (2017). Precipitation, temperature, and teleconnection signals across the combined North American, Monsoon Asia, and old world drought Atlases. *Climate*. 30(18):7141-7145.
- Chowdhury MR (2003). The El Nino- Southern Oscillation (ENSO) and seasonal flooding Bangladesh. *Theoretical and Applied Climatology*. 76(1-2):105-124.
- Hendon HH (2003). Indonesian rainfall variability: Impacts of ENSO and local air-sea interaction. *Climate*. 16(11):1775-1790.
- Lee HF, Zhang DD (2011). Relationship between NAO and drought disasters in northwestern China in the last millennium. *Arid Environments*. 75(11):1114-1115.
- Oglesby R, Feng S, Hu Q, Rowe C (2012). The role of the Atlantic multidecadal oscillation on medieval drought in North America synthesizing results from proxy data and climate models. *Global and Planetary Change*. 84-85:56-65.
- Rajagopalan B, Cook E, Lall U, Ray BK (2000). Spatiotemporal variability of ENSO and SST teleconnections to summer drought over the United States during the twentieth century. *Climate*. 13(24):4244-4255.
- Wang H, Kumar A (2015). Assessing the impact of ENSO on drought in the U.S. Southwest with NCEP climate model simulations. *Hydrology*. 526:30-41.
- suitable variables for analysis of droughts in Iran by using CPEI index. spatial analysis of environmental hazards. 3(3):99-114. [Persian]
- Sadatinejad J, Alavinia H, Abedi R, Honarbakhsh A, Abdollahi Kh (2016). Frequency analysis of regional meteorological drought in Karun-1 basin of Iran. *Watershed Management Research*. 6(12):108-117. [Persian]
- Shafiei M, Raeini M (2016). Assessment of the impact of meteorological drought and wetness trends on the Parishan lake water level decline. *Watershed Management Research*. 6(12):118-126. [Persian]
- Shafiee M, Ghahraman B (2009). Investigation of place variations of maximum probable 24-hour precipitation in Qara Qom basin. *Irrigation and Drainage*. 3(2):50-59. [Persian]
- Alizadeh A, Erfanian Arghavanian Sarshoory M, Ansari H (2011). Investigating the effect of teleconnection patterns on parameters of precipitation and temperature (Case study: Synoptic station of Mashhad). *Irrigation and Drainage*. 5(2):176-184. [Persian]
- Fatehi Marj A (2015). Study of the relationship between the some climate signals (SOI, NAO, MEI, NINO) and meteorological drought in Kerman province, Iran. *Agricultural Meteorology*. 3(1):25-39. [Persian]
- Ghavidel Rahimi Y, Farajzadehasl M, Kakapoor S (2014). Investigation on North Sea-Caspian teleconnection pattern effect on autumn rainfall fluctuations in west and northwest regions of Iran. 18(49):217-230. [Persian]
- Ghavidel Rahimi Y, Hatami Zarneh D, Rezaei M (2014). The role of a teleconnection pattern the far atmosphere of the North Sea-Mazandaran Sea in the changes in the rainfall of the southern shores of the Caspian Sea. *Applied Geosciences Research*. 13(31):29-46. [Persian]
- Mahdavi M, Taherkhani M (2012). Application of statistics