

تحلیل ارتباط الگوهای پیوند از دور با خشک‌سالی حوضه قره‌قوم با استفاده از مدل شبکه عصبی

مونا فلاح‌زاده

دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

پرویز رضایی*

دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

سعید اسلامیان

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

علیرضا عباسی

استادیار، گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱۹

چکیده

در این پژوهش نقش الگوهای پیوند از دور در رخداد خشک‌سالی‌های حوضه قره‌قوم مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا داده‌های بارش ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک و نیز داده‌های مربوط به ۳۲ نمایه عددی پیوند از دور از سایت نوا طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۳ اخذ گردید. در ابتدا داده‌های شاخص بارش استاندارد شده با روش تحلیل عاملی طبقه‌بندی، سپس رابطه میانگین شاخص خشک‌سالی هر پهنه با تک تک الگوهای پیوند از دور ارزیابی شد. همچنین مقادیر شاخص خشک‌سالی با شاخص‌های از دور به روش شبکه عصبی مصنوعی شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد ۵ شاخص پیوند از دور نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام، نینو۴، چند متغیره انسو، دو قطبی اقیانوس هند و نوسان مادن جولیان در منطقه ۱ اقیانوس آرام با پهنه اول (عامل اول) در مقیاس زمانی ۶ ماهه در ارتباط بوده و بهترین نتایج را با کمترین خطا و بیشترین ضریب همبستگی ارائه داده‌اند.

واژگان کلیدی: شاخص‌های پیوند از دور، شاخص بارش استاندارد شده، تحلیل عاملی، شبکه عصبی، حوضه قره‌قوم

مقدمه

خشک‌سالی یکی از پیچیده‌ترین بلایای طبیعی است که در اثر کاهش بارش نسبت به میانگین دراز مدت آن ایجاد می‌شود (سلاجقه و همکاران، ۱۳۸۷: ۷۴). در سه دهه اخیر خشک‌سالی‌ها مهم‌ترین مخاطره اقلیمی و چالش محیطی ایران بوده است. با توجه به تأثیرات بارزی که خشک‌سالی در ابعاد زیست‌محیطی، منابع آب، کشاورزی، اقتصادی، اجتماعی، بهداشت و سلامت برجای گذاشته، باعث شده که پیش‌بینی زمانی و مکانی آن از اهمیت قابل توجهی نسبت به سایر مخاطرات اقلیمی برخوردار باشد. به عبارتی خشک‌سالی یک پدیده اقلیمی ناشی از آنومالی‌های زمانی مکانی بارش

است که در طی دهه‌های اخیر به‌عنوان نمایه اصلی گرمایش جهانی یا تغییر اقلیم در سراسر پهنه ایران مشاهده شده است. با این‌که آثار پیوند از دور الگوهای بزرگ مقیاس گردش جوی - اقیانوسی از مدت‌ها قبل به‌صورت یک روش پیشرفته برای بیان علل بارش و نوسان‌های آن به کار می‌رود، اما اخیراً به ارتباط این الگوها با بارش‌های ایران توجه بیشتری می‌شود. درک علل و ماهیت تغییرات و نوسان‌های اقلیمی از اهم اهداف جمع‌آوری داده‌های هوا و اقلیم و پایش پدیده‌های اقلیمی است (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۰). در این رابطه نوسان‌های اقلیمی ناشی از الگوهای پیوند از دور از اهمیت زیادی برخوردار هستند. پیوند از دور را ارتباط هم‌زمان بین نوسانات عناصر اقلیمی یک مکان با تغییرات الگوهای فشار و درجه حرارت سطح دریا در نقاط جغرافیایی دیگر تعریف کرده‌اند (والاس و گوتزلر^۱، ۱۹۸۱: ۷۸۵).

با توجه به تأثیرگذاری الگوهای پیوند از دور به‌عنوان عوامل و کنترل‌کننده‌های عمده اقلیم جهانی، مطالعات متعددی در زمینه تغییرات زمانی مکانی و رخداد خشک‌سالی و نقش این سیگنال‌های کلان‌مقیاس اقلیمی در سطح جهان صورت گرفته است. شاخص انسو نقش بسیار زیادی بر خشک‌سالی‌های تابستانی قرن بیستم ایالات متحده دارد (راجاگوپالان^۲ و همکاران، ۲۰۰۰: ۴۲۴۴). نتایج بررسی تأثیر انسو بر بارش‌های فرین و خشک‌سالی‌های مناطق حاره‌ای بیانگر ارتباط بسیار زیاد بارش و خشک‌سالی با پدیده انسو است. فاز گرم انسو به کاهش بارش، افزایش خشک‌سالی و گسترش آن منجر می‌شود در فاز سرد آن قضیه برعکس است (لیون و بارنستون^۳، ۲۰۰۵: ۵۰۹۶). بررسی خشک‌سالی شبه‌جزیره بالی در ارتباط با النینو^۴ و لانیو^۵ نشان داد که شرایط خشک‌سالی در بالی تحت تأثیر پدیده‌های النینو و لانیو است (سیرانو^۶، ۲۰۰۶: ۱). نتایج بررسی ارتباط بین خشک‌سالی‌های مناطق خشک چین با شاخص‌های پیوند از دور نشان داد که شاخص‌های پیوند از دور شمالی مانند تاوه قطبی، نوسان شمالگان^۷، نوسان اطلس شمالی مولدهای اصلی خشک‌سالی فصلی و سالانه در بخش‌های شرقی منطقه مورد مطالعه هستند (وانگ^۸ و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۸۳). ارتباط بین دما و بارش با شاخص‌های پیوند از دور انسو، نوسان اطلس شمالی^۹، نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام^{۱۰}، نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس^{۱۱} در منطقه آمریکای شمالی مورد بررسی قرار گرفت 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 (بیک^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۶: ۷۱۴۱). نتایج 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 خشک‌تر شدن طی کرده است. خوشه‌بندی فضایی خشک‌سالی بیانگر آن بود که دو خوشه

1. Wallace & Gutzler

2. Rajagopalan

3. Lyon & Barnston

4. El Niño

5. La Niña

6. Serrano

7. Atlantic Oscillation

8. Wang

9. North Atlantic Oscillation

10. Pacific Decadal Oscillation

11. Atlantic Multi decadal Oscillation

12. Beak

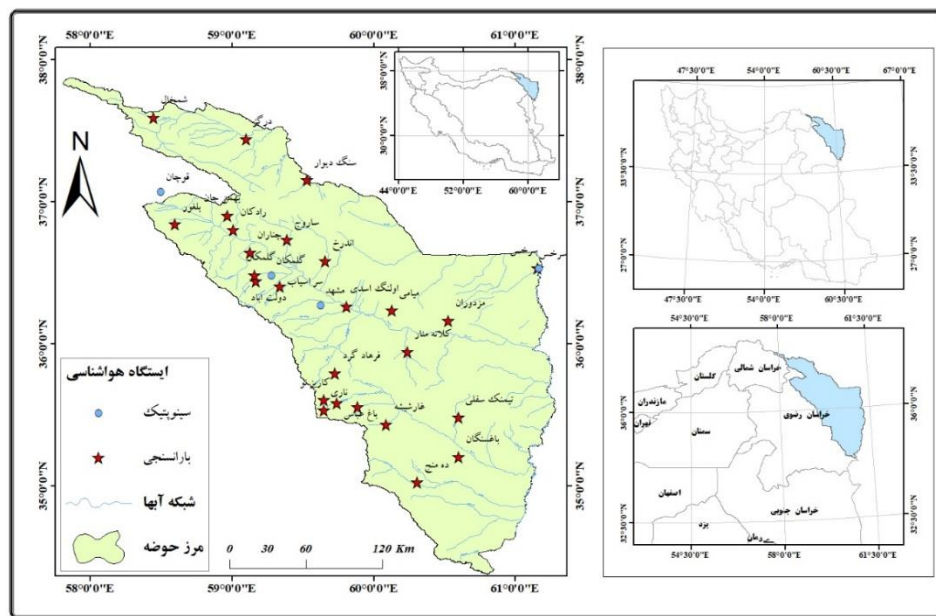
اساسی با رفتار متفاوت وجود دارد و این دو خوشه به ترتیب با الگوی چرخه‌ای ۸ و ۳۲ ماهه هماهنگ بوده و با دو شاخص اقیانوس آرام - شمال آمریکا^۱ و چند متغیره انسوا^۲ ظاهر می‌شوند (آسانگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۸: ۳۱۰۵). ارتباط بین دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی با النینو در ایران نشان داد ارتباط نسبتاً قوی بین بارش سالانه ایران و شاخص نوسان جنوبی وجود دارد. این ارتباط با ضریب همبستگی ۰/۳۷- در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنادار بوده است (عزیزی، ۱۳۷۹: ۷۱). بررسی روابط بین الگوهای چرخش جوی کلان‌مقیاس نیمکره شمالی با خشک‌سالی‌های سالانه سیستان و بلوچستان نشان داد که الگوهای ارتباط از دور قادرند بیش از ۷۰ درصد از تغییرات شاخص بارش استاندارد شده را توجیه نمایند (خسروی، ۱۳۸۳: ۱۶۸). ارتباط نوسان‌های گردش جوی - اقیانوسی اطلس شمالی با خشک‌سالی‌های آذربایجان نشان داد که بین بارش سالانه ایستگاه تبریز، اهر و جلفا با شاخص نوسانات اطلس شمالی همبستگی منفی ضعیف و معنی‌داری به‌ویژه در ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌های فراگیر وجود دارد (صلاحی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۴۷). همچنین بررسی خشک‌سالی‌های ایران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی نشان داد که طی فاز گرم انسو و فاز منفی ناو^۴ شرایط ترسالی و طی فاز سرد انسو و مثبت ناو شرایط خشک‌سالی در سطح ایران به وقوع می‌پیوندد (صدقت کردار و فتاحی، ۱۳۸۷: ۶۰). نتایج مطالعه اثر هم‌زمان انسو و دمای سطح آب خلیج فارس بر رخداد خشک‌سالی و ترسالی نواحی غربی و شمال غربی ایران نشان داد که در فاز گرم انسو (النینو)، در صورتی که دمای سطح آب خلیج فارس کمتر (یا بیشتر) از نرمال باشد، احتمال خشک‌سالی (یا ترسالی) در مناطق مورد مطالعه بین ۵۰ تا ۷۰ درصد متغیر است. در حالی که در دوران لائینا وقتی که دمای سطح آب خلیج فارس سردتر از معمول باشد، احتمال ترسالی زیاد بوده و توسعه کشت گندم دیم توصیه می‌گردد (ناظم السادات و همکاران، ۱۳۸۷: ۱). در بررسی ارتباط الگوهای کلان‌مقیاس جوی - اقیانوسی با ناهنجاری‌های بارش مشخص شد که دو الگوی شاخص انسو و نوسان اطلس شمالی با بارش اهر ارتباط معناداری دارند (خورشید دوست و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۵). ارتباط الگوی پیوند از دور نوسان اطلس شمالی با خشک‌سالی‌های استان فارس نشان داد که بین خشک‌سالی‌ها و فازهای نوسان اطلس شمالی به‌صورت هم‌زمان، تنها در ایستگاه آباده رابطه معنادار وجود دارد. همچنین نتایج تأخیرهای مختلف نشان داد که ایستگاه آباده در تمامی تأخیرهای ۱، ۲، ۳ ماهه بیشترین همبستگی را به خود اختصاص داده و کمترین همبستگی با نوسان اطلس شمالی در ایستگاه کازرون مشاهده می‌شود (سلیقه و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۳). همچنین اثر الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر بر نوسانات بارش‌های پاییزی مناطق غرب و شمال غرب ایران نشان داد که الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر از الگوهای تأثیرگذار بر نوسانات بارش و وقوع دوره‌های مرطوب و خشک پاییزه است (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۱۸). در مطالعه پایش خشک‌سالی ایران به کمک شاخص خشک‌سالی پالم و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور جوی - اقیانوسی به این نتیجه رسیدند که ارتباط معنی‌داری بین الگوهای پیوند از دور با خشک‌سالی‌های ایران وجود دارد و این الگوها در

1. Pacific North American
 2. Multi ENSO Index
 3. Asong
 4. North Atlantic oscillation

فصل پاییز ارتباط بیشتری با خشک‌سالی‌های ایران نشان می‌دهند (دارند، ۱۳۹۳: ۶۷). هدف اساسی این پژوهش شناسایی و استخراج مهم‌ترین سیگنال‌های پیوند از دور دخیل در خشک‌سالی‌های فصلی و سالانه حوضه قره‌قوم در شمال شرق کشور است.

داده‌ها و روش‌ها

حوضه آبریز قره‌قوم یکی از ۶ حوضه بزرگ کشور است. این حوضه با مساحت ۴۴۳۴۴ کیلومترمربع در استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران بین عرض‌های ۳۵° ۲۲' تا ۳۷° ۵۲' ۲۹' و طول ۳۵° ۳۵' ۴۸' تا ۵۷° ۱۶' ۵۴' واقع شده است و بخشی از حوضه بزرگ قره‌قوم و قزل‌قوم 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، عمدتاً خشک تا نیمه‌خشک است بخشی از رودهای این حوضه در خاک ایران و برخی پس از ورود به ترکمنستان وارد رود تجن می‌شوند (شفیعی و قهرمان، ۱۳۸۸: ۵۰). با توجه به اهداف و ماهیت پژوهش برای دستیابی به نتایج مورد انتظار از دو نوع داده در فرآیند پژوهش استفاده شده است. نخست داده‌های مربوط به بارش ماهانه ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی و ۴ ایستگاه سینوپتیک طی دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ (دوره ۲۷ ساله) از آرشیو سازمان هواشناسی اخذ گردید. سپس داده‌های ماهانه ۳۲ نمایه پیوند از دور از پایگاه جوی اقیانوسی ایالات متحده^۱ طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۳ جهت بررسی ارتباط خشک‌سالی‌ها با این شاخص‌ها دریافت شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های حوضه قره‌قوم

1. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

برای تعیین ماه‌های خشک از شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس ۶ ماهه استفاده شد. این شاخص از توزیع گاما برای برآزش 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.

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

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.

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

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

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

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 تجمعی کل که در برگیرنده مقادیر صفر نیز می‌باشد از رابطه 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. در نهایت با جابجایی احتمال توزیع تجمعی گاما 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 $0.5 < H(x) < 1$ مقدار t برابر با:

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

و برای $0.5 < H(x) < 1$ برابر با

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

خواهد بود. در نهایت مقادیر جابه‌جا شده گاما با استفاده از فرمول‌های زیر بر طبق مقادیر جابه‌جا شده مجدداً جابه‌جا می‌گردد. در این حالت اگر $0.5 < H(x) < 1$ 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 $0.5 < H(x) < 1$ از فرمول شماره ۷ محاسبه می‌شود.

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

مقادیر ثابت در فرمول ۸ و ۹ که در فرمول شاخص بارش استاندارد شده قرار می‌گیرد برابر با

$$c_0 = 2.515517c_1 = 0.8028530c_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788d_2 = 0.189269d_3 = 0.001308$$

می‌باشد. بنابراین شاخص بارش استاندارد شده از جابجایی t با فرمول‌های مختلف بر طبق بزرگی مقادیر جابه‌جا شده گاما حاصل می‌شود. اعداد به دست آمده جهت تعیین خشک‌سالی‌های ۳، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به ارزش و ویژگی‌های این شاخص و زمان وقوع آن، شدت دوره‌های خشک به صورت جدول ۱ طبقه‌بندی می‌شود (مک‌کی^۱، ۱۹۹۳: ۱۸۰).

جدول ۱. طبقات شدت دوره‌های خشک بر اساس مقادیر شاخص بارش استاندارد

نرمال	دوره خشک ضعیف	دوره خشک متوسط	دوره خشک شدید	دوره خشک بسیار شدید
$SPI > 0$	$-0.99 < SPI < 0$	$-1 > SPI > -1.49$	$-1.99 < SPI < -1.5$	$SPI < -2$

مأخذ: نگارندگان

بعد از محاسبه شاخص خشک‌سالی ایستگاه‌های حوضه قره قوم، مقادیر این شاخص در مقیاس زمانی ۶ ماهه با روش تحلیل عاملی گروه‌بندی و ایستگاه‌های دارای رفتار مشابه در پهنه مطالعاتی شناسایی شد. سپس از هر پهنه میانگین شاخص بارش استاندارد شده محاسبه و رابطه آن با الگوهای پیوند از دور به وسیله مدل شبکه عصبی بررسی گردید. این کار به منظور کاهش داده‌ها و همچنین شناسایی پهنه‌های همگن مکانی از نقطه نظر خشک‌سالی بوده است. ماتریس ورودی و ماتریس همبستگی بعد از انجام تحلیل عاملی در نرم‌افزار SPSS به صورت زیر بوده است.

$$R_{input} = \begin{matrix} v_1 & v_2 & \dots & v_{30} \\ c_1 & & & \\ c_2 & & & \\ \vdots & & & \\ c_{319} & & & \end{matrix}, \quad R_{correlation} = \begin{matrix} v_1 & v_2 & \dots & v_{30} \\ v_1 & & & \\ v_2 & & & \\ \vdots & & & \\ v_{30} & & & \end{matrix}$$

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. بار عاملی متغیر X_i و عامل F_1 نشان‌دهنده وزنی است که عامل F_1 در تبیین واریانس کل متغیر مورد نظر دارد. سایر مؤلفه‌ها نیز به همین ترتیب بر روی متغیر X_i تأثیر دارند و مجموع مجذور همبستگی هر متغیر با مجموعه‌ای از عامل‌ها نیز واریانس مشترک آن متغیر نامیده می‌شود، که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$h_i^2 = \sum_{j=1}^n r_{ij}^2 = r_{i1}^2 + r_{i2}^2 + \dots + r_{ik}^2 \quad (10)$$

در این رابطه h_i^2 بیانگر اشتراک متغیر i ام با k عامل است. 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 مایرالکین^۱ استفاده شده است.

$$KMO = \frac{\sum_i \sum_j r_{ij}^2}{\sum_i \sum_j r_{ij}^2 + \sum_i \sum_j q_{ij}^2} \quad (11)$$

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 مایرالکین به یک نزدیک می‌شود و بیانگر آن است که داده‌ها برای تحلیل عاملی کافی و مناسب هستند (نایی، ۱۳۹۳: ۲۳۰). بعد از شناسایی پهنه‌های همگن با روش تحلیل عاملی و محاسبه متوسط شاخص بارش استاندارد شده هر پهنه، مقدار متوسط این شاخص با مقادیر ماهانه شاخص‌های پیوند از دور در مقیاس زمانی ۶ ماهه در یک شبکه عصبی پرسپترون پیش‌خور برای برآورد خشک‌سالی در حوضه قره قوم استفاده گردید. بدین منظور ورودی‌های شبکه شامل شاخص‌های پیوند از دور به مدل شبکه عصبی مصنوعی برای عمل آموزش وارد شده و در مرحله بعدی داده‌ها برای عمل آزمایش یا تست شبکه استفاده می‌شود. ۷۰ درصد از داده‌ها برای آموزش، ۳۰ درصد برای آزمون بکار رفت که از داده‌های آموزشی به منظور پیدا کردن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌ای و از داده‌های آزمون برای ارزیابی عملکرد شبکه پیشنهادی استفاده می‌گردد نتایج پیش‌بینی با مقادیر واقعی مقایسه شده و میزان خطا محاسبه می‌شود. مقادیر خطا باید در کمترین مقدار خود باشد که برای این کار باید شبکه دلخواه طراحی شده و چندین بار عمل آموزش و تست تکرار شده تا خطا به حداقل خود برسد. ورودی‌ها به شکل یک بردار $X(x_1, x_2 \dots x_n)$ هستند و هر ورودی توسط یک وزن به گره پردازشگر مربوط می‌شود و در نهایت تسلسلی از وزن‌ها به شکل بردار وزن $Y(y_1, y_2 \dots y_n)$ به گره مورد نظر مرتبط می‌گردد. خروجی گره که y نامیده می‌شود طبق رابطه فوق محاسبه می‌شود.

$$y = f(xw - b) \quad (12)$$

در این رابطه، x داده‌های ورودی، w بردار وزن و b مقدار آستانه یا بایاس می‌باشد (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۲، ۶۰). جهت ارزیابی عملکرد شبکه و انتخاب بهترین حالت از روش‌های ضریب تبیین، میانگین مربعات خطا درصد خطای نسبی و ضریب همبستگی استفاده گردید. ضریب تبیین معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک است.

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^K x_k y_k}{\sqrt{\sum_{k=1}^K x_k^2 \sum y_k}} \quad (13)$$

1. Kaiser Meyer Olkin measure of sampling adequacy

در این رابطه x_k مقادیر مشاهداتی، y_k مقادیر برآورد شده و K تعداد داده‌ها است. میانگین مربعات خطا مقدار ایدئال برای آن یک است (هو، ۲۰۰۲، ۳۷۱). y_0 و \bar{y}_f به ترتیب اندازه مشاهده‌ای و برآورد شده پارامتر مورد نظر با شبکه و n تعداد کل داده‌های استفاده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (y_0 - \bar{y}_f)^2}{n}} \quad (14)$$

درصد خطای نسبی می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند.

$$Error_i = \frac{Obs_i - for_i}{Obs_i} \times 100 \quad (15)$$

در این رابطه $Error_i$ خطای مدل، Obs_i مقادیر مشاهداتی و For_i تعداد کل داده‌های مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد. ضریب همبستگی بیان‌کننده میزان همبستگی بین نتایج پیش‌بینی شده مدل و داده‌های واقعی است که بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{act} - \bar{Y}_{act})(Y_{est} - \bar{Y}_{est})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{act} - \bar{Y}_{act})^2 \sum_{i=1}^n (Y_{est} - \bar{Y}_{est})^2}} \quad (16)$$

که در آن Y_{act} مقادیر واقعی، \bar{Y}_{act} میانگین مقادیر واقعی، Y_{est} مقادیر برآورد شده، \bar{Y}_{est} میانگین مقادیر برآورد شده است (اسفندیاری، ۱۳۸۹: ۵۷).

یافته‌های پژوهش

به منظور بررسی ارتباط الگوهای پیوند از دور با خشک‌سالی حوضه قره‌قوم در بازه زمانی ۶ ماهه از مدل شبکه عصبی استفاده شد. بدین منظور در ابتدا روش تحلیل عاملی برای کاهش شمار متغیرها و واحدهای همگن فضایی بکار رفت. بعد از تحلیل عاملی برای شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه‌ها در مقیاس زمانی ۶ ماهه، ۴ عامل یا واحد همگن (پهنه) در حوضه قره‌قوم تعیین شد (جدول ۲). عامل اول، دوم، سوم و چهارم توانستند ۲۹/۹۹، ۲۲/۶۶، ۱۴/۸۹ و ۱۲/۶۴ درصد واریانس داده‌ها را تبیین کنند. در مجموع ۴ عامل، ۸۰/۱۸ درصد واریانس کل داده‌ها را تبیین کردند. در جدول ۳ ایستگاه‌های واقع در هر عامل یا پهنه‌های فضایی همگن با رفتارهای مشابه آورده شده است.

جدول ۲. شرح واریانس شاخص بارش استاندارد شده توسط عامل‌های مختلف در مقیاس زمانی ۶ ماهه

عامل	مقادیر ویژه اولیه			مجموع مربع بار گویه‌های مستخرج			بارگویه‌های دوران یافته		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۱۹/۵۱	۶۵/۱	۶۵/۱	۱۹/۵۱	۶۵/۱	۶۵/۱	۹	۲۹/۹	۲۹/۹
۲	۱/۹۹	۶/۶۵	۷۱/۷	۱/۹۹	۶/۶۵	۷۱/۷	۶/۸	۲۲/۶۶	۵۲/۶۵
۳	۱/۳۹	۴/۶۲	۷۶/۳۲	۱/۳۹	۴/۶۲	۷۶/۳۲	۴/۴۷	۱۴/۸۹	۶۷/۵۵
۴	۱/۱۶	۲/۸۷	۸۰/۱۸	۱/۱۶	۲/۸۷	۸۰/۱۸	۳/۷۹	۱۲/۶۴	۸۰/۱۸

مأخذ: نگارندگان

جدول ۳. شناسایی ایستگاه‌های واقع در عامل‌های تعیین شده برای شاخص بارش استاندارد شده ۶ ماهه

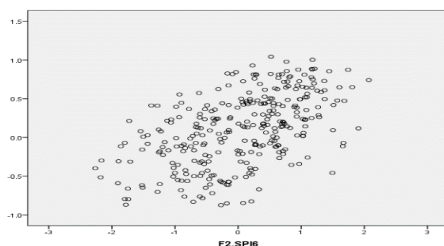
عامل	ایستگاه‌ها در مقیاس زمانی ۶ ماهه
عامل اول	اندرخ، اولنگ اسدی، میامی، بلغور، باغ عباس، باغستان، تیمنک سفلی، سرخس باران سنجی، غارشیشه، ده منج، کلات منار، کلات رحمان، مزدوران، ناری، فرهادگرد
عامل دوم	اردک بند ساروج، امامزاده رادکان، بهمن جان، سرآسیاب شاندیز، دولت آباد، چناران، لمکان باران سنجی، کاریزنو
عامل سوم	سنگ دیوار، شمخال، درگز
عامل چهارم	سرخس سینوپتیک، قوچان، گلکان سینوپتیک، مشهد

مأخذ: نگارندگان

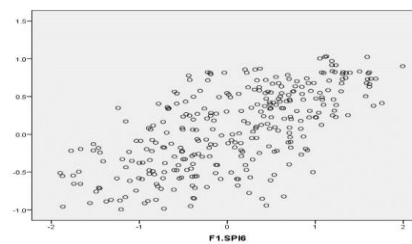
با در نظر گرفتن ۲ لایه پنهان و الگوریتم گرادیان نزولی، تابع هیپربولیک برای لایه‌های پنهان و تابع سیگموئید برای داده‌های خروجی انتخاب و بر اساس آن‌ها ساختار مناسب شبکه طراحی شد. برای خشک‌سالی ۶ ماهه، هر یک از عامل‌ها (میانگین شاخص بارش استاندارد شده پهنه‌ها) با تمامی الگوهای پیوند از دور بارگذاری شده در آن به صورت مجزا به مدل وارد و نتایج آن در جدول ۴ درج شده است. ضریب همبستگی به دست آمده نشان داد که داده‌های ورودی و خروجی مدل دارای همبستگی در سطح معناداری ۹۹ درصد می‌باشند. در جدول ۴، R مقدار ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده در دوره تست است. در این میان بیشترین میزان همبستگی در عامل اول با مقادیر ۰/۶۵ مشاهده شد. لذا می‌توان بیان کرد که در عامل اول (پهنه اول در مقیاس زمانی ۶ ماهه) شبکه و مدل طراحی شده نمود و عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۴. مقادیر مربوط به آموزش و آزمون برای تمام داده‌ها در بازه زمانی ۶ ماهه

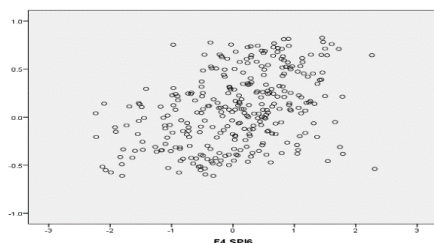
عامل اول	آموزش	مجموع مربع خطاها		عامل دوم	آموزش	مجموع مربع خطاها	
		۲/۹۴	خطای نسبی			۳/۲۵	خطای نسبی
آموزش	آموزش	مجموع مربع خطاها	۲/۹۴	آموزش	آموزش	مجموع مربع خطاها	۳/۲۵
		خطای نسبی	۰/۵۴			خطای نسبی	۰/۷۱
آزمون	آزمون	مجموع مربع خطاها	۱/۸۵	آزمون	آزمون	مجموع مربع خطاها	۱/۸۶
		خطای نسبی	۰/۶۷			خطای نسبی	۰/۷۶
ضریب همبستگی		۰/۶۵**		ضریب همبستگی		۰/۵۳**	
ضریب تعیین		۰/۴۲		ضریب تعیین		۰/۲۸	
عامل سوم	آموزش	مجموع مربع خطاها		عامل چهارم	آموزش	مجموع مربع خطاها	
		۳/۷۲	خطای نسبی			۲/۵۹	خطای نسبی
آموزش	آموزش	مجموع مربع خطاها	۳/۷۲	آموزش	آموزش	مجموع مربع خطاها	۲/۵۹
		خطای نسبی	۰/۹۱			خطای نسبی	۰/۸۵
آزمون	آزمون	مجموع مربع خطاها	۱/۷۷	آزمون	آزمون	مجموع مربع خطاها	۱/۳۳
		خطای نسبی	۰/۹۳			خطای نسبی	۰/۸۴
ضریب همبستگی		۰/۳۳**		ضریب همبستگی		۰/۴۰**	
ضریب تعیین		۰/۱۱		ضریب تعیین		۰/۱۶	



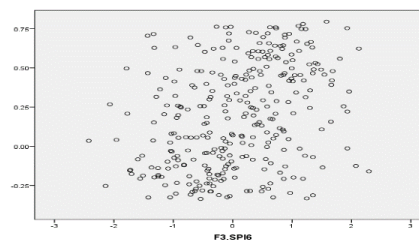
شکل ۳. مقادیر برآورد شده عامل دوم



شکل ۲. مقادیر برآورد شده عامل اول



شکل ۵. مقادیر برآورد شده عامل چهارم



شکل ۴. مقادیر برآورد شده عامل سوم

شکل‌های ۲ تا ۵ مقادیر واقعی و برآورد شده شاخص بارش استاندارد شده ۶ ماهه و تمامی شاخص‌های پیوند از دور که به مدل وارد شده‌اند را نشان می‌دهد. طبق این شکل‌ها عامل اول (مرکز، غرب، جنوب غرب و سرخس باران‌سنجی در شرق حوضه) نسبت به بقیه عامل‌ها نمود و عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۵. درصد اهمیت الگوهای پیوند از دور بر روی خشک‌سالی ۶ ماهه

شاخص‌ها	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم	شاخص‌ها	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
غرب آرام	٪۲۳	٪۴۳/۸	٪۲۳/۶	٪۳۴/۶	دو قطبی اقیانوس هند	٪۶۸/۶	٪۴۹/۳	٪۲۴/۶	٪۸۲/۳
اقیانوس آرام و شمال آمریکا	٪۲۵/۳	٪۷۳/۶	٪۲۹/۶	٪۸۲/۵	قطب - اوراسیا	٪۲۶/۴	٪۱۴	٪۴۵/۲	٪۷۰/۶
نوسان‌های دهه‌ای اقیانوس آرام	٪۷۰/۴	٪۴۵/۶	٪۱۰۰	٪۸۱/۱	مادن جولیان در منطقه اقیانوس آرام	٪۶۰/۸	٪۱۰۰	٪۲۷	٪۳۸/۱
نوسان اطلس شمالی	٪۳۹/۷	٪۵۷/۲	٪۴۹/۸	٪۶۲/۸	مادن جولیان در منطقه ۱۱ افریقا - هند	٪۲۴/۲	٪۴۳/۹	٪۱۲/۸	٪۱۰۰
آرام شرقی	٪۳۲	٪۲۷/۶	٪۲۹/۱	٪۱۶/۶	نمایه شدت و دامنه نوسان مادن جولیان	٪۲۲/۶	٪۷۰/۸	٪۳۶/۵	٪۳۷/۹
شرق اطلس و غرب روسیه	٪۱۴/۳	٪۳۰/۵	٪۶۳/۷	٪۳۴/۸	ماده شدت و دامنه نوسان مادن جولیان	٪۳۵	٪۶۹/۶	٪۳۵	٪۱۸/۸
اطلس شرقی	٪۲۱/۲	٪۷۰/۵	٪۳۸/۲	٪۴۴/۸	مادن جولیان در منطقه ۲۰ درجه شرقی	٪۳۱/۲	٪۳۶/۲	٪۶۷/۳	٪۴۸/۹
نوسان شمالگان	٪۴۴/۲	٪۴۹	٪۴۸	٪۴۱/۹	مادن جولیان در منطقه ۷۰ درجه شرقی	٪۳۹/۱	٪۲۲/۸	٪۲۳/۶	٪۳۸/۶
نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس	٪۴۰/۲	٪۲۵/۹	٪۴۴/۸	٪۲۳	مادن جولیان در منطقه ۸۰ درجه شرقی	٪۸/۹	٪۶۱/۸	٪۱۴/۹	٪۵۱/۲
اسکاندیناوی	٪۴۲/۲	٪۲۷/۹	٪۱۸/۵	٪۶۹/۷	مادن جولیان در منطقه ۱۰۰ درجه شرقی	٪۲۷/۷	٪۴۰/۷	٪۴۸/۹	٪۴۱/۶
نوسان جنوبی	٪۴۴/۷	٪۶۰/۹	٪۲۵/۵	٪۶۴	مادن جولیان در منطقه ۱۲۰ درجه شرقی	٪۲۱	٪۳۷/۹	٪۲۷/۳	٪۲۱/۴
نینو ۴	٪۱۰۰	٪۶۳/۶	٪۳۱/۳	٪۶۵/۳	مادن جولیان در منطقه ۱۴۰ درجه شرقی	٪۵۰/۶	٪۳۷/۸	٪۲۷/۵	٪۳۵/۲
نینو ۳،۴	٪۳۶/۹	٪۲۸/۲	٪۳۶/۹	٪۴۸/۸	مادن جولیان در منطقه ۱۶۰ درجه شرقی	٪۵۳/۳	٪۲۸/۶	٪۱۹/۶	٪۴۸/۶
نینو ۳	٪۲۷/۹	٪۳۲/۱	٪۷۵/۱	٪۲۹/۸	مادن جولیان در منطقه ۱۲۰ درجه غربی	٪۲۳	٪۴۳/۲	٪۲۹/۹	٪۷۸/۲
نینو ۱،۲	٪۲۸/۹	٪۳۴/۸	٪۱۳/۷	٪۵۲/۵	مادن جولیان در منطقه ۴۰ درجه غربی	٪۳۵/۷	٪۴۹/۴	٪۳۶	٪۳۱/۴
چند متغیره انسو	٪۷۴/۲	٪۵۷/۲	٪۲۰/۱	٪۵۵/۱	مادن جولیان در منطقه ۱۰ درجه غربی	٪۱۱/۵	٪۴۲/۸	٪۳۷/۳	٪۲۱/۷

مأخذ: نگارندگان

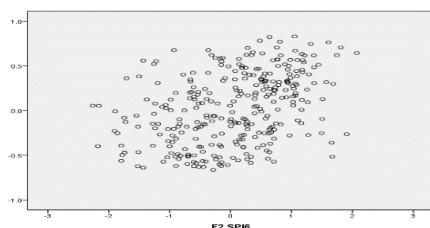
بعد از وارد کردن تمام الگوها (پیوند از دور) به مدل، درصد اهمیت هر یک از الگوها به دست آمده و در جدول ۵ وارد شد. با توجه به این جدول الگوهایی که دارای اهمیت بیش از ۶۰ درصد بودند شناسایی و در مرحله بعد مجدداً به مدل معرفی گردیدند و مقادیر آموزش و آزمون شبکه جهت آن الگوها به دست آمد و در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به این جدول ضریب همبستگی به دست آمده نشان داد که عامل اول (مرکز، جنوب غرب و سرخس باران‌سنجی در شرق حوضه) از بیشترین همبستگی با مقدار ۰/۵۸ برخوردار است.

جدول ۶. مقادیر مربوط به آموزش و آزمون الگوهای منتخب

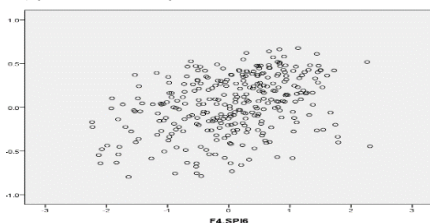
عامل اول	آموزش	مجموع مربع خطاها	۳/۹۲	عامل دوم	آموزش	مجموع مربع خطاها	۳/۹۹
		خطای نسبی	۰/۷۲			خطای نسبی	۰/۸۶
عامل اول	آزمون	مجموع مربع خطاها	۱/۶۱	عامل دوم	آزمون	مجموع مربع خطاها	۱/۹۸
		خطای نسبی	۰/۵۸			خطای نسبی	۰/۸۱
ضریب همبستگی		۰/۵۸**		ضریب همبستگی		۰/۳۹**	
ضریب تعیین		۰/۳۳		ضریب تعیین		۰/۱۵	
عامل سوم	آموزش	مجموع مربع خطاها	۳/۷۴	عامل چهارم	آموزش	مجموع مربع خطاها	۳/۸۰
		خطای نسبی	۰/۹۱			خطای نسبی	۰/۹۰
عامل سوم	آزمون	مجموع مربع خطاها	۱/۷۹	عامل چهارم	آزمون	مجموع مربع خطاها	۱/۳۱
		خطای نسبی	۰/۹۴			خطای نسبی	۰/۸۲
ضریب همبستگی		۰/۳۰**		ضریب همبستگی		۰/۳۶**	
ضریب تعیین		۰/۰۹		ضریب تعیین		۰/۱۳	

مأخذ: نگارندگان

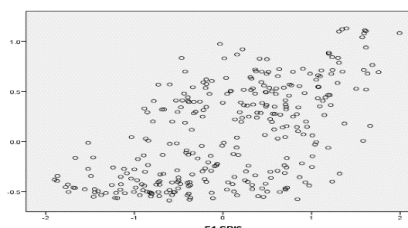
شکل‌های ۶ تا ۹ مقادیر واقعی و برآورد شده شاخص بارش استاندارد شده ۶ ماهه و شاخص‌های پیوند از دور با اهمیت بالای ۶۰ درصد که به مدل وارد شده‌اند را نشان می‌دهد. طبق این شکل‌ها در عامل اول شبکه عملکرد و نمود بهتری داشته است.



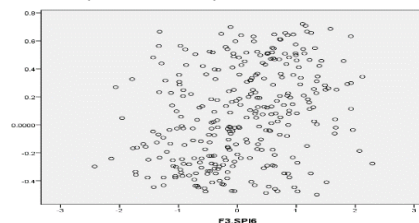
شکل ۷. مقادیر برآورد شده عامل دوم



شکل ۹. مقادیر برآورد شده عامل چهارم



شکل ۶. مقادیر برآورد شده عامل اول

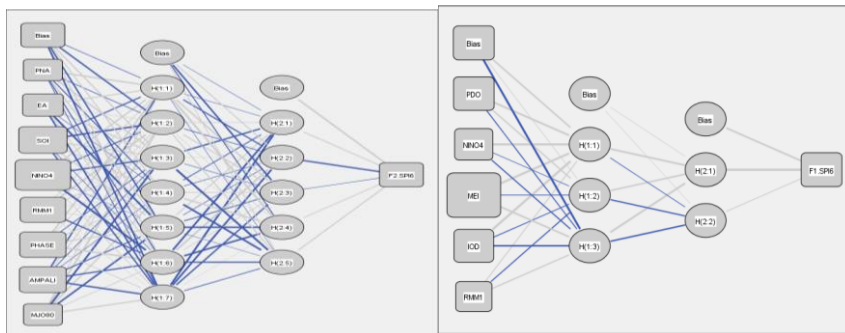


شکل ۸. مقادیر برآورد شده عامل سوم

بنابراین نتایج شاخص‌های پیوند از دور با اهمیت بیش از ۶۰ درصد در خشک‌سالی ۶ ماهه نشان داد عامل اول با میزان همبستگی ۰/۵۸ نسبت به بقیه عامل‌ها دارای عملکرد بهتری است. شاخص نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام^۱ نینو^۴، چند متغیره انسو^۳، دو قطبی اقیانوس هند^۲، نوسان مادن جولیان در منطقه ۱ اقیانوس آرام^۲ به‌عنوان شاخص‌های مهم و

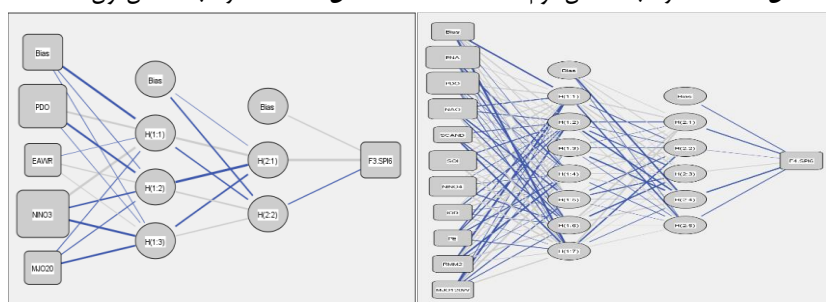
1. Pacific Decadal Oscillation
2. Central Tropical Pacific SST (5N-5S) (160E-150W) (NINO4)
3. Multi Enso Index

تأثیرگذار بر روی خشک‌سالی‌های حوضه قره قوم شناخته شدند. شکل‌های ۱۰ تا ۱۳ ساختار طراحی شده شبکه را برای شاخص بارش استاندارد شده ۶ ماهه با الگوهای پیوند از دور که بیش از ۶۰ درصد اهمیت دارند نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. ساختار شبکه عامل اول ۶ ماهه

شکل ۱۱. ساختار شبکه عامل دوم ۶ ماهه



شکل ۱۲. ساختار شبکه عامل سوم ۶ ماهه

شکل ۱۳. ساختار شبکه عامل چهارم ۶ ماهه

جدول ۷. الگوهای مهم و تأثیرگذار بر روی خشک‌سالی‌های حوضه قره قوم

ردیف	نام شاخص	علامت اختصاری	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
۱	نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام	PDO	*		*	*
۲	نینو ۴	NINO4	*	*		
۳	چند متغیره انسو	MEI	*			
۴	دو قطبی اقیانوس هند	IOD	*			
۵	اطلس شرقی	EA		*		
۶	نینو ۳	NINO3		*		
۷	نوسان مادن جولیان در منطقه ۱ اقیانوس آرام	RMM1	*	*		
۸	اسکاندیناوی	SCAND		*		
۹	نمایه فاز نوسان مادن جولیان	PHASE		*		
۱۰	اقیانوس آرام - شمال آمریکا	PNA	*	*		
۱۱	نمایه نوسان مادن جولیان ۲۰ درجه شرقی	MJO.20E		*		
۱۲	نمایه نوسان مادن جولیان ۸۰ درجه شرقی	MJO.80E		*		
۱۳	نوسان اطلس شمالی	NAO	*			
۱۴	نوسان جنوبی	SOI	*	*		
۱۵	قطب-اوراسیا	PE	*			
۱۶	الگوی شرق اطلس-غرب روسیه	EAWR		*		
۱۷	نوسان مادن جولیان ۱۲۰ W	MJO.120W	*			
۱۸	نمایه شدت و دامنه نوسان مادن جولیان	AMPALITUDE		*		
۱۹	نمایه نوسان مادن جولیان در منطقه ۲ افریقا- هند	RMM2	*			

مأخذ: نگارندگان

الگوهای مهم و تأثیرگذار بر روی خشک‌سالی ۶ ماهه در جدول شماره ۷ وارد شده است. شاخص نوسان‌های دهه‌ای

اقیانوس آرام از جمله شاخص‌های مهم می‌باشد که در سه پهنه اول، سوم و چهارم خشک‌سالی تأثیر داشته است. نینو ۴ با

1. Indian Ocean Deippole
2. Real-time Multivariate MJO Series1

پهنه اول، دوم و چهارم ارتباط نشان داد. همچنین می‌توان گفت دو قطبی اقیانوس هند با پهنه اول و چهارم، مادن جولیان در منطقه ۱ اقیانوس آرام با پهنه اول و دوم، اقیانوس آرام - شمال آمریکا و نوسان جنوبی هر یک با پهنه دوم و چهارم خشک‌سالی‌های حوضه در ارتباط بوده است.

نتیجه‌گیری

وقوع خشک‌سالی می‌تواند خسارت بسیار زیاد کشاورزی و زیست‌محیطی به دنبال داشته باشد. این پژوهش به بررسی ارتباط بین پارامترهای بزرگ مقیاس و خشک‌سالی در حوضه قره‌قوم با مدل شبکه عصبی مصنوعی پرداخته است. ضریب همبستگی به دست آمده بین داده‌های ورودی و خروجی مدل در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. نتایج حاصل از آموزش و آزمون شبکه در خشک‌سالی ۶ ماهه توسط داده‌های شاخص بارش استاندارد شده و شاخص‌های پیوند از دور نشان داد عامل اول (پهنه اول) با بالاترین ضریب همبستگی با مقدار ۰/۵۸ از عملکرد بهتری نسبت به سایر عامل‌ها برخوردار بوده است و شاخص نوسان‌های دهه‌ای اقیانوس آرام، نینو۴، چند متغیره انسو، دو قطبی اقیانوس هند و نوسان مادن جولیان در منطقه ۱ اقیانوس آرام بهترین نتایج را با شاخص بارش استاندارد شده نشان دادند و از الگوهای مهم و تأثیرگذار بر روی خشک‌سالی‌های حوضه هستند. در همین راستا صداقت کردار و فتاحی (۱۳۸۷) در بررسی خشک‌سالی‌های ایران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی مشخص کردند که طی فاز گرم انسو و فاز منفی نائو شرایط ترسالی و طی فاز سرد انسو و مثبت نائو شرایط خشک‌سالی در سطح ایران به وقوع می‌پیوندد. همچنین خسروی (۱۳۸۳) روابط بین خشک‌سالی‌های سالانه سیستان و بلوچستان و الگوهای نیمکره شمالی را مطالعه کرد و نتایج نشان داد که الگوهای ارتباط از دور در مجموع سالانه قادرند، بیش از ۷۰ درصد از تغییرات شاخص بارش استاندارد شده را توجیه نمایند. با رعایت احتیاط می‌توان از شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی خشک‌سالی با استفاده از الگوهای پیوند از دور در حوضه قره‌قوم در زمینه بهره‌برداری و مدیریت منابع آب و مدیریت خشک‌سالی بهره برد.

منابع

- ۱- اسفندیاری درآباد، فریبا، اسعد حسینی، محمد آزادی مبارکی و زهرا حجازی‌زاده. (۱۳۸۹): پیش‌بینی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه. فصل‌نامه انجمن جغرافیای ایران، دوره هشتم، شماره بیست و هفتم، تهران.
- ۲- خسروی، محمود. (۱۳۸۳): بررسی روابط بین الگوهای چرخش جوی کلان‌مقیاس نیمکره شمالی با خشک‌سالی‌های سالانه سیستان و بلوچستان. مجله جغرافیا و توسعه، دوره دوم، شماره سوم، زاهدان.
- ۳- خورشید دوست، علی‌محمد، یوسف قویدل رحیمی و کریم عباس‌زاده. (۱۳۸۹): کاربرد الگوهای کلان‌مقیاس جوی-اقیانوسی در تحلیل نوسانات بارش ایستگاه اهر. مجله فضای جغرافیایی، دوره اول، شماره بیست و نهم، اهر.
- ۴- دارند، محمد. (۱۳۹۳): پایش خشک‌سالی ایران به کمک شاخص شدت خشک‌سالی پالمر و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور جوی- اقیانوسی. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، دوره بیست و نهم، شماره چهارم، مشهد.
- ۵- سلاجقه، علی، ابوالحسن فتح‌آبادی و منصور نجفی‌جاجی‌ور. (۱۳۸۷): مقایسه شبکه عصبی و سری زمانی در پیش‌بینی خشک‌سالی در استان خراسان رضوی. مجله علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، دوره دوم، شماره چهارم، کرج.

- ۶- سلیقه، محمد؛ علی بیات، یداله بلیانی و مهدی دوستکامیان. (۱۳۹۲): ارتباط الگوهای پیوند از دور نوسانات جوی- اقیانوسی نیمکره شمالی با خشک‌سالی استان فارس. اندیشه جغرافیایی، دانشگاه زنجان، دوره هفتم، شماره سیزدهم، زنجان.
- ۷- شفیعی، مجتبی و بیژن قهرمان. (۱۳۸۸): بررسی تغییرات مکانی حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته در حوضه آبریز قره قوم. مجله آبیاری و زهکشی ایران، دوره سوم، شماره دوم، تهران.
- ۸- صداقت کردار، عبدالله و ابراهیم فتاحی. (۱۳۸۷): شاخص‌های پیش‌آگاهی خشک‌سالی در ایران. مجله جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دوره ششم، شماره یازدهم، زاهدان.
- ۹- صلاحی، برومند، علی محمد، خورشید دوست و قویدل سعید. (۱۳۸۶): ارتباط نوسان‌های گردش جوی- اقیانوسی اطلس شمالی با خشک‌سالی‌های آذربایجان شرقی. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره سی و نهم، شماره شصت، تهران.
- ۱۰- عرفانیان، مریم، حسین انصاری و امین علیزاده. (۱۳۹۲): پیش‌بینی بارش و دمای متوسط ایستگاه سینوپتیک مشهد با استفاده از الگوهای پیوند از دور به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دانشگاه حکیم سبزواری، دوره سوم، شماره یازدهم، سبزواری.
- ۱۱- عزیزی، قاسم. (۱۳۷۹): الینو و دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی در ایران. پژوهش‌های جغرافیایی، دانشگاه تهران، دوره سی و دوم شماره سی و هشتم، تهران.
- ۱۲- قویدل رحیمی، یوسف، داریوش حاتمی‌زرنه و محمدرضایی. (۱۳۹۲): نقش الگوی پیوند از دور جو بالای دریای شمال مازندران در تغییرات زمانی بارش سواحل جنوبی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، دوره سیزدهم، شماره سی و یکم، تهران.
- ۱۳- قویدل رحیمی، یوسف، منوچهر فرج‌زاده و سعید کاکاپور. (۱۳۹۳): بررسی اثر الگوهای پیوند از دور دریای شمال- خزر بر نوسانات پائیزی مناطق غرب و شمال غرب ایران. نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، دوره هجدهم، شماره چهل و نهم، تبریز.
- ۱۴- ناظم‌السادات، سیدمحمدجعفر؛ احمدرضا قاسمی، سیف‌اله امین و سلطانی علیرضا. (۱۳۸۷): اثر هم‌زمان انسو و دمای سطح خلیج فارس بر وقوع خشک‌سالی و ترسالی در نواحی غربی و شمال غربی ایران. مجله دانش کشاورزی، دانشگاه تبریز، دوره هجدهم، شماره سوم، تبریز.
- ۱۵- نایی، هوشنگ. (۱۳۹۳): آمار پیشرفته کاربردی همراه با Spss. چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

- 16- Asong, Z. E, Wheatear, H. S, Bonsal, B, Razavi, S, and Kurkute, S. (2018): Historical Drought Patterns Over Canada and Their Teleconnections With Large-Scale Climate Signals, *Hydro. Earth Syst. Sci.*, 22: 3105–3124.
- 17- Baek S. H, Smerdon J. E, Coats, Sloan, Park Williams, A, Cook Benjamin, I, Cook Edward, R, and Seager, R. (2016): Precipitation, Temperature, and Teleconnection Signals Across The Combined North American, Monsoon Asia, and Old World Drought Atlases. *American Meteorological Society*, V 30: PP 7141-7145.
- 18- Ho, S. L, Xie, M, and Goh, T. N. (2002): A Comparative Study of Neural Network and Box-Jenkins ARIMA Modeling in Time Series Prediction. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 42, Issue 2–4: 371-375.
- 19- Lyon, B, and Barnston, A.G. (2005): ENSO and The Spatial Extent of Inter Annual Precipitation Extremes in Tropical Land Areas. *Journal of Climate*. Vol. 18: 5096-5109.
- 20- McKee T.B, Doesken N.J, and Kleist J. (1993): The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, Eighth Conference on Applied Climatology. January 17-22, Anaheim, California, 179-180.
- 21- Rajagopalan, B, Cook, E, Lall, U, and Ray, B. K. (2000): Spatiotemporal Variability of ENSO and SST Teleconnections to Summer Drought Over The United States During The Twentieth Century. *Journal. Climate*, 13: 4244–4254.
- 22- Serrano, S. M.V. (2006): EL Nino and La Nina Influence on Droughts At Different Timescales In The Iberian Peninsula, European Geosciences Union. *Geophysical Research* 8:1-2.
- 23- Wang, H, Chen, Yaning, Pan, Yingping, Li, Weihong. (2015): Spatial and Temporal Variability of Drought in The Arid Region of China and Its Relationships to Teleconnection Indices. *Journal of Hydrology*, Vol. 523, Pages 283-296.
- 24- Wallace J. M., Gutzler, D. S. (1981): Teleconnections in The Geopotential Height Field During The Northern Hemishphere Winter. *Monthly Weather Review*, 109: 784-812.