

بررسی تأثیر سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی بر بارش فصلی حوزه آبخیز مهارلو-بختگان

- ❖ بهرام چوبین*: دانشجوی دکترای آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
- ❖ شهرام خلیقی سیگارودی؛ عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ آرش ملکیان؛ عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

پیش‌بینی فرایندهای آب و هوایی به ویژه پیش‌بینی بارندگی ابزار مناسبی در اختیار مدیران حوزه‌های گوناگون قرار می‌دهد تا با در نظر گرفتن این پیش‌بینی‌ها، سیاست‌های آینده را طراحی کنند. در این تحقیق بعد از انتخاب مؤثرترین شاخص‌های اقلیمی با روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تأثیر سیگنال‌های اقلیمی بزرگ مقیاس بر بارش فصلی حوزه آبخیز مهارلو-بختگان به صورت همزمان و با تأخیر توسط روش‌های آماری (ضریب همبستگی متقطع و پیرسون) مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از مدل رگرسیون گام به گام اقدام به ارائه معادله رگرسیون برای پیش‌بینی بارش شد. نتایج نشان داد که در روش همبستگی متقطع بین سری زمانی SPI (متغیر وابسته) در زمان (t) و سیگنال‌های اقلیمی (متغیر مستقل) در زمان (t-k) تنها شاخص SOI به صورت همزمان دارای ارتباط معنی‌داری با بارش است، در حالی که بیشتر شاخص‌ها با تأخیر زمانی مختلف با شاخص بارندگی استاندارد معنادار شده‌اند. در بررسی فصل به فصل سیگنال‌ها با شاخص بارندگی استاندارد با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون مشخص شد که سیگنال‌های اقلیمی فصل بهار و تابستان ارتباط معنی‌داری با SPI ندارند. طبق ضرایب تبیین (R^2) و تأثیر رگرسیونی استاندارد (Beta) در مدل‌های رگرسیونی گام به گام مشخص شد که بررسی همزمان و با تأخیر فصل به فصل سیگنال‌ها (مثالاً SPI فصل پاییز با شاخص‌های چهار فصل قبل) در روش همبستگی پیرسون نسبت به همبستگی متقطع در زمان (t-k)، که سیگنال‌های تمام فصول با هم نسبت به SPI تمام فصول تأخیر داده می‌شود) ارتباط بیشتری را با شاخص بارندگی استاندارد فصلی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بارش فصلی، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، حوزه آبخیز مهارلو-بختگان، سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی، همبستگی متقطع*

۱. مقدمه

نشان می‌دهد که بارش‌های زمستان در مجارستان با نائق ارتباط دارد. همچنین مشخص شده است که به هنگام خشکسالی، پدیده ناؤ در فاز گرم و به هنگام ترسالی، در فاز سرد قرار دارد. بر این اساس، بین بارش‌های زمستانی مجارستان و شاخص ناؤ همبستگی قوی و معکوسی وجود دارد [۱۵]. تأثیر پدیده نوسان اطلس شمالی در رژیم بارش‌های مدیترانه‌ای اصلی دارد. رژیم‌های اقلیمی مدیترانه‌ای و جنوب مدیترانه قلمداد کرد و این پدیده را در رژیم‌های اقلیمی این مناطق مؤثر دانست [۱۶]. ارتباط بین بارندگی منطقه اوراسیا و سیگنال‌های اقلیمی بزرگ مقیاس مانند نوسان‌های جنوبی انسو، نوسان‌های اقیانوس هند و شاخص‌های محلی مانند دمای سطح اقیانوس OLTC به اثبات رسیده است [۱۴]. تغییرپذیری مکانی و زمانی بارش در جنوب افریقا بررسی شده و نتایج نشان داده که کاهش بارش و افزایش خشکی با فاز گرم انسو مرتبط بوده است [۱۲]. ارتباط النینو-نوسان‌های جنوبی با تغییرات سالانه، ماهانه و فصلی بارش و همچنین دوره‌های خشکسالی-ترسالی در ایران بررسی شده است و نتایج حکایت از ارتباط نسبتاً قوی بین بارش سالانه ایران و شاخص نوسان جنوبی دارد. در این بررسی به صورت ایستگاهی، ایستگاه قزوین، و به صورت ماهانه، ماه اکتبر بالاترین همبستگی میان بارش و النینو را داشته‌اند [۲]. در مطالعه‌ای دیگر تأثیر پدیده النینو-نوسان‌های جنوبی و دمای سطح آب دریای خزر بر خشکسالی‌های هواشناسی ایران مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شده است که در ایران دمای سطح دریای خزر و النینو نوسان‌های جنوبی به عنوان دو عامل مؤثر بر بارندگی ایران به شمار می‌روند [۱۳]. اثر پدیده‌های بزرگ مقیاس اقلیمی بر بارندگی حوضه دریاچه ارومیه با ۱۸ ایستگاه با آمار ۳۵ ساله مطالعه شده است. در این مطالعه فاز مثبت یا منفی یکی از شاخص‌ها در یک فصل خاص در نظر گرفته شده و بعد ارتباط همزمان آن و بقیه شاخص‌ها با بارندگی بررسی شده است. نتایج آشکار کرده که هرگاه از ترکیب همزمان دو شاخص استفاده شود، همبستگی بیشتری بین

همه جنبه‌های زندگی انسان به نحوی تحت تأثیر فرایندهای آب و هوایی است و این تأثیرگذاری در زمینه‌های گوناگونی مانند کشاورزی، اقتصاد، مخابرات، حمل و نقل، ترافیک، آلودگی هوا و صنایع نظامی بیشتر دیده می‌شود. بر اساس شاخص سازمان ملل و همچنین مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، ایران در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد. به طوری که مؤسسه مذکور در بررسی ۴۵ کشور جهان پیش‌بینی کرده است که کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا تا سال ۲۰۲۵ دچار کمبود مطلق آب خواهند شد [۱۱]. پیش‌آگاهی از میزان بارش یک مسئله تعیین کننده و دارای اهمیت در بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب است. در این بین روش‌های پیش‌بینی مختلفی سعی در تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته داشته‌اند؛ و مدل‌های مفهومی و آماری زیادی برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی مورد استفاده قرار گرفته است. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد، پدیده‌های اقلیمی بر میزان بارش، در نقاط مختلف کره زمین تأثیر دارند. قطعاً تأثیر برای نقاط نزدیک و دور از اقیانوس آرام و اطلس که مرکز شکل‌گیری این پدیده‌ها به حساب می‌آیند، یکسان نیست. این تأثیر به صورت افزایش یا کاهش بارندگی در مناطق مختلف جهان ظاهر می‌شود. البته ارتباط بین بارش، النینو و گردش جوی بر روی اقیانوس آرام، تاکنون به اثبات رسیده است [۲۱]. وجود ارتباط بین انسو و بارش‌های پاییزه در ایران موجب افزایش بارش‌های پاییزه در اثر این پدیده می‌شود [۱۹]. همچنین ارتباط معنی‌داری بین پدیده‌های ناؤ و انسو با بارش و جریان در ایران وجود دارد. به عبارتی وقوع فاز گرم پدیده انسو (النینو) سبب افزایش بارش و جریان، و وقوع فاز سرد پدیده انسو (لانیا) سبب کاهش بارش و جریان می‌شود [۱]. این در حالی است که در ناحیه اطلس شمالی هیچ ارتباط معنی‌داری بین رخدادهای گرم، الگوهای تغییر فشار و دمای سطح دریا و شاخص انسو در فصل زمستان مشاهده نشده است [۱۸]. مطالعات

حوضه مدیترانه‌ای و متوسط بارندگی سالیانه از ۲۰۰ میلی‌متر در جنوب‌شرقی تا ۷۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمال‌غرب متغیر است. دوره زمانی مورد بررسی در این پژوهش بارش ۴۳ ساله در طی سال‌های (۱۹۶۷-۲۰۰۹) میلادی شامل بارندگی روزانه و ماهانه چهار ایستگاه: سینوپتیک شیراز و تبخیرسنجی دشت‌بال (در داخل حوضه) و تبخیرسنجی علی آباد خفر و باران‌سنجدی دهکده شهید (در خارج از حوضه) می‌باشد. شکل (۱) نقشه حوضه و نام ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

۲.۲. آماده سازی داده‌های مورد نیاز

در این مطالعه داده‌های استاندارد شده ماهانه تعداد ۴۵ شاخص اقلیمی از سایت جهانی NOAA استخراج شد. سپس تعداد ۳۱ شاخص که دارای طول دوره آماری کافی و مشترک با بارش حوضه بودند، انتخاب شد. آمار بارندگی طی سال آبی (۱۹۶۷-۲۰۰۹) برای تمامی ایستگاه‌ها تهیه شد. از آنجایی که مقادیر سیگنال‌های استاندارد و نرمال شده بر اساس سال میلادی است، از این‌رو برای بررسی ارتباط آن با بارش، مقادیر بارش روزانه تک تک ایستگاه‌ها به میلادی محاسبه شد. پس از اطمینان از صحت، کفایت و همگنی داده‌ها متوسط بارش ماهانه میلادی حوضه با نرمافزار GIS Arc از طریق پلی گن‌بندی محاسبه شد (شکل ۱). در نهایت میزان بارش فصلی محاسبه گردید. برای بررسی ارتباط بین بارش و سیگنال‌های اقلیمی نیاز به استاندارسازی بارش بود که با استفاده از نرمافزار DIP' شاخص بارندگی استاندارد (SPI) بدست آمد.

۳.۲. انتخاب موثرترین شاخص‌های اقلیمی

به منظور طبقه‌بندی مناسب‌تر متغیرها از روش تحلیل عاملی استفاده شد. تحلیل عاملی از جمله روش‌های آماری برای تعیین تأثیرگذارترین متغیرها در زمانی که تعداد متغیرهای مورد بررسی زیاد و روابط بین آنها ناشناخته باشد، استفاده می‌شود. در این تحقیق استخراج عامل‌ها بر

بارندگی و شاخص‌ها حاصل می‌گردد. همچنین نتایج نشان داده که بارندگی پاییزه بیشتر تحت تأثیر انسو و بارندگی زمستانه بیشتر تحت تأثیر شاخص ناؤ است [۱۱]. در ابتدا محققان با بهره‌گیری از مدل‌های آماری و با کمک سیگنال‌های هوشناسی به پیش‌بینی بارش پرداختند [۱۰]. سپس استفاده از مدل‌های پیشرفت‌هه مانند شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی بارش قوت گرفت [۵، ۶، ۷، ۲۰]. بارش بهاره استان خراسان رضوی با شبکه عصبی برآورده شده است و نتایج حکایت از آن دارد که شبکه عصبی مصنوعی در تمام سال‌ها می‌تواند بارش را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کند [۹]. پیش‌بینی بارش در استان کرمانشاه با استفاده از سیگنال‌های اقلیمی و شبکه عصبی نشان داد که شبکه عصبی می‌تواند روابط ذاتی بین متغیرهایی را که به صورت خطی قابل پیش‌بینی نیستند، مشخص کند. در این تحقیق بردارهای ورودی استفاده شده به وسیله شبکه عصبی ۷ شاخص اقلیمی NAO، TSA، AMO، TNA، AMM، NINO3 و MEI بود که بررسی به صورت تأخیر این شاخص‌ها با شاخص SPI نتایج بهتری نسبت به بررسی همزمان این شاخص‌ها با شاخص SPI داشته است (۲۲). در ایران تحقیقاتی در مورد تأثیر پدیده انسو بر بارندگی انجام شده است، ولی تأثیر پدیده‌های دیگر کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

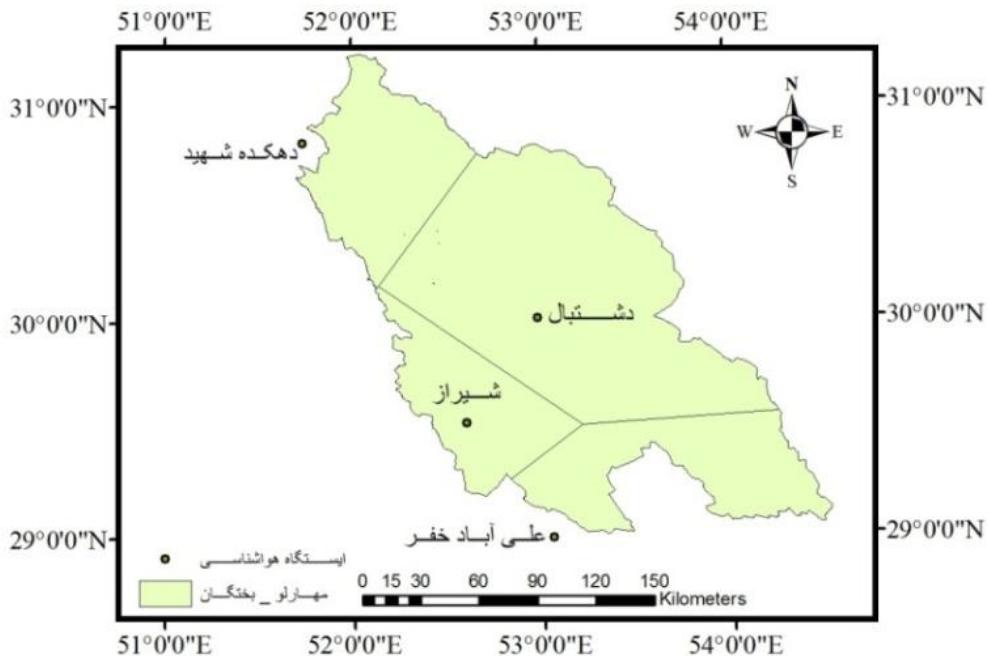
۲. روش‌شناسی

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز مهارلو-بختگان با مساحت ۳۱۵۳۲۸۲ هکتار بین عرض جغرافیایی ۲۹ تا ۳۱ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ تا ۵۴ درجه شرقی قرار گرفته است. این حوضه از جمله حوزه‌های آبخیز درجه دو تقسیمات وزارت نیرو می‌باشد که جزو حوزه آبخیز اصلی فلات مرکزی می‌باشد، و خود از حوزه‌های فرعی دریاچه کافتر، دریاچه بختگان و دریاچه مهارلو تشکیل شده و رودخانه کر مهمترین رود این منطقه محسوب می‌شود. رژیم بارندگی

واریانس کاهش می‌یابد، از این‌رو متغیرهایی که در عامل‌های اولی قرار می‌گیرند، واریانس بیشتری داشته و تأثیرگذارترین هستند [۳].

اساس روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) بوده است. در این روش متغیرها در عامل‌هایی قرار می‌گیرند، به‌طوری‌که از عامل اول به عامل‌های بعدی درصد



شکل ۱. نقشه حوزه آبخیز مهارلو-بختگان و ایستگاه‌های مورد بررسی

(متغیر وابسته) در زمان (t) و سیگنال‌های اقلیمی (متغیر مستقل) در زمان ($t-k$) با استفاده از نرمافزار SPSS محاسبه گردید. همبستگی متقطع نوعی روش استاندارد برای تعیین درجه همبستگی بین دو سری زمانی است. چنانچه مقدار $x_{(i)}$ و $y_{(i)}$ با $N=0, 1, 2, \dots, i$ دو متغیر باشند مقدار R همبستگی متقطع آنها به شکل رابطه (۱) است.

۴.۲. بررسی همبستگی بین شاخص‌های اقلیمی با بارش

برای بررسی تأثیر پدیده‌های اقلیمی بر بارش در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان به صورت همزمان و تا ۴ گام تأخیر از آنالیز همبستگی متقطع و برای بررسی ارتباط فصل به فصل بین متغیرها تا ۴ فصل تأخیر نیز از همبستگی پیرسون استفاده شد.

-روش همبستگی متقطع:
ضرایب همبستگی متقطع بین سری زمانی SPI

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \bar{x})(y_{(i-d)} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n ((x_{(i)} - \bar{x})^2)} \sqrt{\sum_{i=1}^n ((y_{(i-d)} - \bar{y})^2)}} \quad (1) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{For: } 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \dots \dots \dots \\ \text{If: } i - d < 0, \quad i - d \geq N \end{array} \right.$$

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (3)$$

که در این رابطه Y : متغیر مستقل یا مقدار پیش‌بینی شده، a : مقدار ثابت یا عرض از مبدأ نقطه تقاطع خط رگرسیون با محور Y ، b : ضریب رگرسیون یا شیب خط منحنی، X : مقادیر متغیرهای مستقل هستند. داده‌های موجود به دو دسته مدل‌سازی (80%) و آزمون برای بررسی کارایی (20%) تقسیم‌بندی شدند. برای مقایسه نتایج حاصل از ورودی‌های مختلف، از معیارهای میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) استفاده شد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_i^o - Q_i^p| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^p)^2} \quad (5)$$

در اینجا n تعداد داده‌ها، Q_i^o شاخص بارش استاندارد مشاهداتی و Q_i^p شاخص بارش استاندارد برآورد شده و \bar{Q}^o میزان میانگین شاخص بارش استاندارد مشاهداتی می‌باشد. پایین بودن مقدار این آماره‌ها نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل می‌باشد.

۳. نتایج

۱.۳. شاخص بارندگی استاندارد

برای بررسی ارتباط بین بارش و سیگنال‌های اقلیمی نیاز به استاندارسازی بارش بود که شاخص بارندگی استاندارد (SPI) برای هر فصل در طی دوره آماری استاندارد در شکل (۲) مشاهده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود روند کلی بارش در طی این دوره ثابت بوده است.

در این رابطه مقادیر \bar{x} و \bar{y} مقدار میانگین هریک از سری‌های زمانی $x_{(i)}$ و $y_{(i)}$ هستند، اگر رابطه (۱) برای همه تأخیرهای زمانی مشخص ($d=0, \pm 1, \pm 2, \dots, N-1$) محاسبه شود، در یکی از گام‌های تأخیر، بالاترین همبستگی را خواهد داشت. با توجه به شرط در رابطه (۱)، نقاط $0 < i < N$ مورد توجه نبوده و مقدار ضریب همبستگی متقطع همواره $-1 \leq R \leq +1$ خواهد بود. از مهمترین مزایای روش همبستگی متقطع با وجود روش همبستگی ساده، امکان تعیین ضریب همبستگی در گام زمانی موردنظر اعم از گام‌های مثبت و منفی است.

- ضریب همبستگی پیرسون:

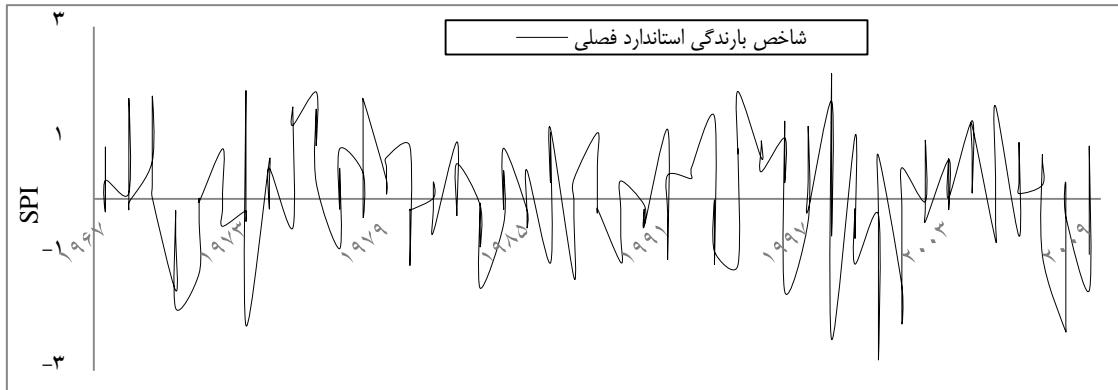
از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی بین دو متغیر با مقیاس‌های فاصله‌ای و نسبی می‌باشد که دارای توزیع نرمال نیز باشند. این ضریب با علامت r نمایش داده می‌شود و بین -1 و $+1$ تغییر می‌کند و از طریق رابطه (۲) در زیر محاسبه می‌شود:

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

که در رابطه (۲)، Y بارش، \bar{Y} میانگین بارش، X شاخص‌های اقلیمی، \bar{x} میانگین شاخص‌های اقلیمی و n تعداد سری‌های زمانی می‌باشد. البته با مشخص شدن مقدار 2 با استفاده از جدول ضریب همبستگی پیرسون معنی‌داری آن در سطح اطمینان مورد نظر بررسی می‌شود.

۵.۲. رگرسیون گام به گام

برای تحلیل‌های پیشرفته‌تر و پیش‌بینی تغییر در متغیر وابسته در صورت تغییر در متغیرهای مستقل از روش تحلیل رگرسیون گام به گام استفاده شد. رابطه رگرسیونی به صورت زیر نوشته می‌شود:

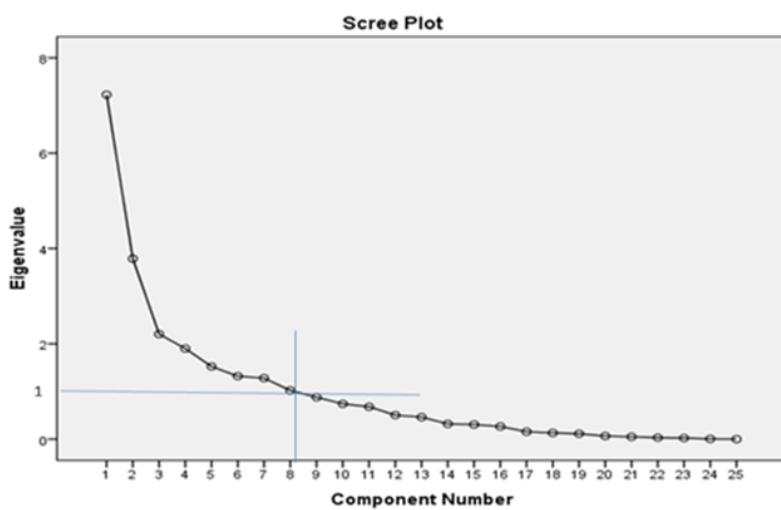


شکل ۲- شاخص بارندگی استاندارد فصلی حوزه آبخیز مهارلو-بختگان در طی دوره آماری (۱۹۶۷-۲۰۰۹)

هستند، به عنوان عوامل مهمی که بیشترین نقش را در تبیین واریانس دارند انتخاب شدند. همانطور که نمودار Scree Graf نشان می‌دهد (شکل ۳)، تعداد ۸ عامل دارای مقدار ویژه بالاتر از یک هستند، که این ۸ عامل به عنوان مؤثرترین عامل‌ها محسوب شده و در مجموع ۸۱ درصد از واریانس را دربردارند.

۲.۳. فرایند تلخیص داده‌ها

فرایند تلخیص داده‌ها بر روی شاخص‌های اقلیمی با کمک تحلیل عاملی و با روش PCA انجام شد. با توجه به اینکه مقدار آماره KMO برابر با ۰.۶۹ شد، پس داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب هستند. برای تعیین تعداد بهینه مؤلفه‌ها از مقدار ویژه (Eigenvalues) استفاده شد. عامل‌هایی که دارای مقدار ویژه بزرگتر از یک



شکل ۳- نمودار اسکری گراف برای تعیین تعداد عامل‌ها

در نهایت از بین ۳۱ شاخص اقلیمی دارای آمار چرخش NINO3.4, NINO4, NTA, SOI, TNA, Varimax دارای بار عاملی بیشتری بودند،

مشترک با بارش، شاخص‌های AMO, AMM, BEST,

همبستگی این شاخص‌ها که به طور همزمان با شاخص بارندگی استاندارد رخ داده است در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبوده است.

- بررسی همبستگی مقادیر شاخص NINO3.4 بر سری SPI نشان‌دهنده تأثیر مستقیم و معنی‌دار آن بر شاخص بارندگی استاندارد در حوضه مورد مطالعه است. این شاخص در گام تأخیر یک فصل دارای بالاترین همبستگی ($R = 0.166$) می‌باشد.

- نتایج بررسی تأثیر شاخص NINO4 بر شاخص بارندگی استاندارد نشان‌دهنده تأثیر مثبت یا مستقیم شاخص مذکور در مقیاس زمانی فصلی به صورت همزمان می‌باشد. بالاترین ضریب همبستگی برابر با ($R = 0.202$) می‌باشد.

- بررسی همبستگی شاخص NTA با سری SPI نشان‌دهنده تأثیر معکوس و معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۸٪ می‌باشد.

- شاخص TNA بالاترین ضریب همبستگی ($R = 0.164$) را در گام تأخیر ۴ با شاخص SPI داشته است.

به عنوان مؤثرترین شاخص‌ها انتخاب شدند، و ارتباط این شاخص‌ها با بارش حوضه مورد بررسی قرار گرفت.

۳.۳. ضریب همبستگی متقطع

نتایج جدول (۱) بررسی آماری در زمینه تحلیل همبستگی با گام تأخیر بین شاخص‌های اقلیمی و سری زمانی شاخص بارندگی استاندارد را در حوضه مهارلو-بختگان نشان می‌دهد که نتایج بدست آمده به شرح زیر می‌باشد:

- شاخص AMO در گام تأخیر چهار بالاترین همبستگی را با بارش حوزه مهارلو-بختگان دارد، که میزان آن برابر با ($R = -0.158$) می‌باشد. این شاخص دارای همبستگی معکوس با SPI است.

- بررسی تأثیر شاخص AMM بر شاخص بارندگی استاندارد نشان می‌دهد، این شاخص دارای همبستگی معکوس با SPI است. بالاترین ضریب همبستگی ($R = -0.146$) در گام تأخیر ۴ است، که در سطح ۵٪ معنی‌دار نبوده است.

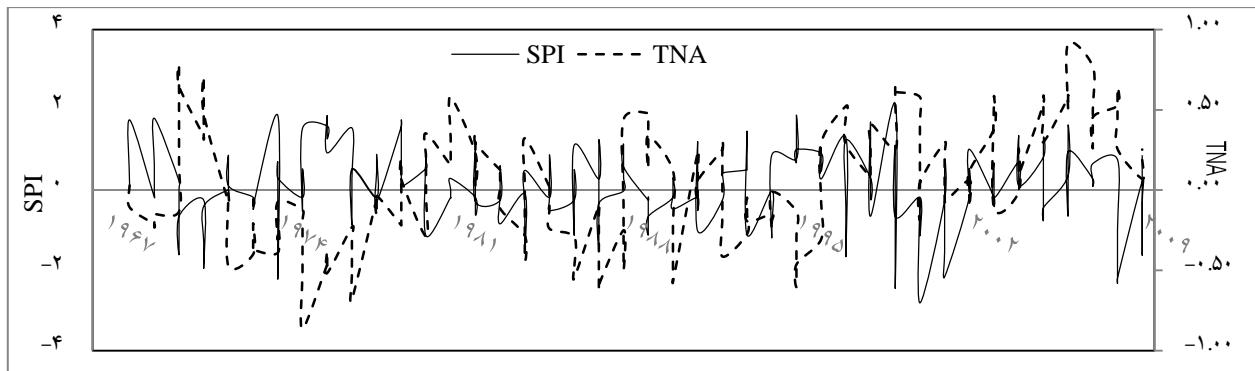
- شاخص‌های SOI و BEST با سری زمانی SPI به ترتیب دارای رابطه منفی و مثبت بوده و بالاترین

جدول ۱- ضریب همبستگی متقطع بین سری زمانی SPI و سیگنال اقلیمی در مقیاس فصلی

TNA	SOI	NTA	NINO4	NINO3.4	BEST	AMM	AMO	فاکتور
-0.164	-0.141	-0.184	0.202	0.166	0.142	-0.146	-0.158	ضریب همبستگی متقطع
4	+	4	0	1	0	4	4	گام تأخیر
0.078	0.078	0.078	0.076	0.076	0.076	0.077	0.077	انحراف معیار
172	172	172	172	172	172	172	172	تعداد
170	170	170	170	170	170	170	170	درجه آزادی
-2/168	-1/857	-2/441	2/689	2/195	1/87	-1/924	-2/086	T
<0.05	0/1	<0.02	0.01	0.05	0/1	0/1	0/05	P-value

با تأخیر زمانی مختلف با شاخص بارندگی استاندارد معنادار شده‌اند. شکل (۴) به عنوان نمونه همبستگی بین شاخص TNA و SPI را نشان می‌دهد.

همانطور که جدول (۱) نشان داد تنها شاخص NINO4 به صورت همزمان در سطح ۵ درصد دارای ارتباط معنی‌داری با بارش است، بنابراین بیشتر شاخص‌ها



شکل ۴- همبستگی فصلی بین شاخص SPI و TNA در دوره زمانی (۱۹۶۷-۲۰۰۹)

(یعنی تا تابستان سال قبل) نیز ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد.

- بررسی SPI فصل پاییز: در بررسی شاخص‌ها و SPI، تنها شاخص‌های BEST و NINO3.4 برای سه فصل تأخیر (SPI پاییز با شاخص‌های زمستان سال قبل) و شاخص‌های NINO3.4 و AMM برای ۴ فصل تأخیر (SPI پاییز با شاخص‌های فصل پاییز سال قبل) از ضریب همبستگی بالایی برخوردار بوده و در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشند (جدول ۲).

۴.۳. نتایج بررسی ارتباط (فصل به فصل) شاخص‌های اقلیمی با SPI فصلی همزمان و SPI فصل‌های آینده

- بررسی SPI فصل بهار: در بررسی SPI فصل بهار با شاخص‌های اقلیمی تا ۴ فصل قبل از بهار (یعنی تا بهار سال قبل) همبستگی معنی‌داری بین سری‌های زمانی مورد نظر بدست نیامد.

- بررسی SPI فصل تابستان: در بررسی SPI فصل تابستان با شاخص‌های اقلیمی تا ۴ فصل قبل از تابستان

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین SPI فصل پاییز و شاخص‌های اقلیمی سه و چهار فصل قبل

TNA	SOI	NTA	NINO4	NINO3.4	BEST	AMM	AMO	گام تأخیر
-۰/۰۰۵	-۰/۲۷۸	-۰/۰۵۱	۰/۲۲۲	۰/۳۳۸*	۰/۳۲۹*	-۰/۲۴۱	-۰/۰۰۵	سه فصل قبل
-۰/۱۸۵	-۰/۲۱۹	-۰/۱۹۴	۰/۲۳۷	۰/۳۲۲*	۰/۲۹۲	-۰/۳۴۸*	-۰/۱۵۲	چهار فصل قبل

* در سطح اطمینان ۹۵٪ درصد معنی دار

از شاخص‌های تأثیرگذار بر بارش شده است که معادله رگرسیونی که با ۸۰٪ داده‌ها بدست آمده است، در جدول (۴) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود شاخص بارندگی استاندارد با شاخص‌های اقلیمی در حالات مختلف (همzman، با تأخیر) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مدلی که از SPI فصلی با شاخص‌های اقلیمی معنی‌دار در روش همبستگی متقطع بدست آمده می‌توان گفت که تقریباً ۶٪ بارش فصلی تحت تأثیر سیگنال‌های اقلیمی

- بررسی SPI فصل زمستان: در بررسی همزمان، شاخص‌های اقلیمی BEST و NINO4 و SOI دارای همبستگی معنی‌داری با SPI هستند. در بررسی با تأخیر، شاخص‌های NTA و TNA در سه فصل تأخیر (SPI فصل زمستان با شاخص‌های فصل بهار) دارای همبستگی معکوس و معنی‌داری با شاخص بارندگی استاندارد فصل زمستان می‌باشند (جدول ۳).

به منظور پیش‌بینی بارش اقدام به تهیه مدل رگرسیونی

پاییز فصل بعد تأثیرگذار است. شاخص SOI تأثیر ۲۱ درصدی بر بارش فصل زمستان دارد. شاخص NTA فصل بهار قبل تقریباً ۲۶٪ در بارش فصل زمستان تأثیرگذار بوده است (جدول ۴).

AMO قرار دارد. در بررسی SPI فصل پاییز با شاخص‌های فصل زمستان با وجود معنی‌داری ارتباط سیگنال NINO3.4 و BEST با SPI، مدل رگرسیون گام به گام قادر به ارائه معادله رگرسیونی برای پیش‌بینی نبود. البته شاخص AMM فصل پاییز نزدیک به ۱۸٪ بر بارش

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین SPI فصل زمستان و شاخص‌های اقلیمی همزمان و سه فصل قبل

	TNA	SOI	NTA	NINO4	NINO3.4	BEST	AMM	AMO	گام تأخیر
همزمان	-۰/۱۵۴	-۰/۴۰۵**	-۰/۱۰۱	۰/۳۰۷*	۰/۲۷۱	۰/۳۴۹*	-۰/۱۴۷	-۰/۱۴۹	
سه فصل قبل	-۰/۳۱۵*	۰/۲۱۴	-۰/۳۴۱*	-۰/۱۰۵	-۰/۲۰۷	-۰/۲۲۷	-۰/۱۵۷	-۰/۱۸۲	

*: در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار **: در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی دار

جدول ۴- ضریب و مدل رگرسیونی شاخص SPI و شاخص‌های اقلیمی

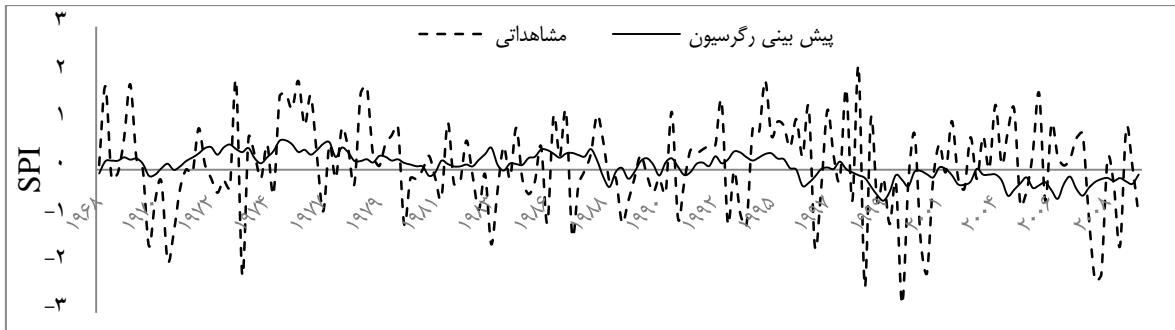
Beta	R-Square	معادله رگرسیونی	نوع واستگی
-۰/۲۴۳	$R_{AMO}=0/06$	$SPI=-1/286 AMO$	SPI هر فصل با شاخص‌های اقلیمی معنی دار در گام تأخیر مختلف
-۰/۴۲	$R_{AMM}=0/176$	$SPI=-0/176 AMM$	SPI فصل پاییز با شاخص‌های اقلیمی فصل پاییز قبل (۴ فصل قبل)
-۰/۴۵۸	$R_{SOI}=0/21$	$SPI=-0/321 SOI$	SPI فصل زمستان با شاخص‌های اقلیمی فصل زمستان (همزمان)
-۰/۵۰۶	$R_{NTA}=0/256$	$SPI=-1/645 NTA$	SPI فصل زمستان با شاخص‌های اقلیمی فصل بهار قبل (۳ فصل قبل)

RMSE برای قسمت مدل‌سازی (۸۰٪ داده‌ها) و ارزیابی (۲۰٪ داده‌ها) بدست آمدند که نشان از عملکرد خوب مدل‌های آماری در بررسی ارتباط بین بارش و سیگنال‌های اقلیمی است (جدول ۵). نتایج پیش‌بینی مدل رگرسیون برابر سری مشاهداتی برای حالات مختلف در شکل‌های (۶)، (۷)، (۸) و (۹) ارائه شده است. این شکل‌ها عملکرد معادله رگرسیون در پیش‌بینی بارش را نشان می‌دهند.

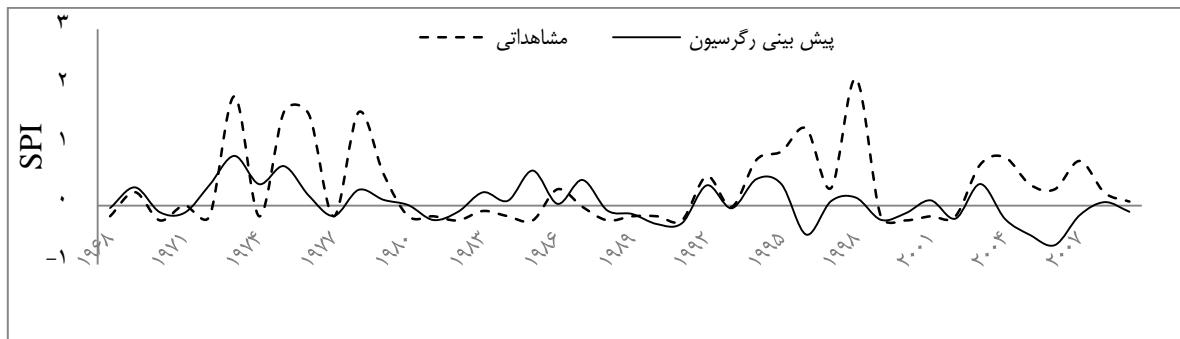
ضریب تأثیر رگرسیونی استاندارد شده یا Beta در جدول (۴) به ما کمک می‌کند تا سهم نسبی هر سیگنال اقلیمی را در تبیین تغییرات متغیر واپس‌ته مشخص کنیم؛ یعنی هر چه مقدار ضریب بتای یک متغیر بیشتر باشد، نقش آن متغیر در پیش‌بینی تغییرات شاخص بارندگی استاندارد بیشتر بوده است؛ که بیشترین مقدار این آماره (Beta=۰/۵۰۶) برای شاخص NAT فصل بهار قبل با بارش فصل زمستان بوده است. در ادامه معادله مقادیر MAE و

جدول ۵- عملکرد مدل رگرسیونی بدست آمده در پیش‌بینی بارش در مقیاس زمانی فصلی

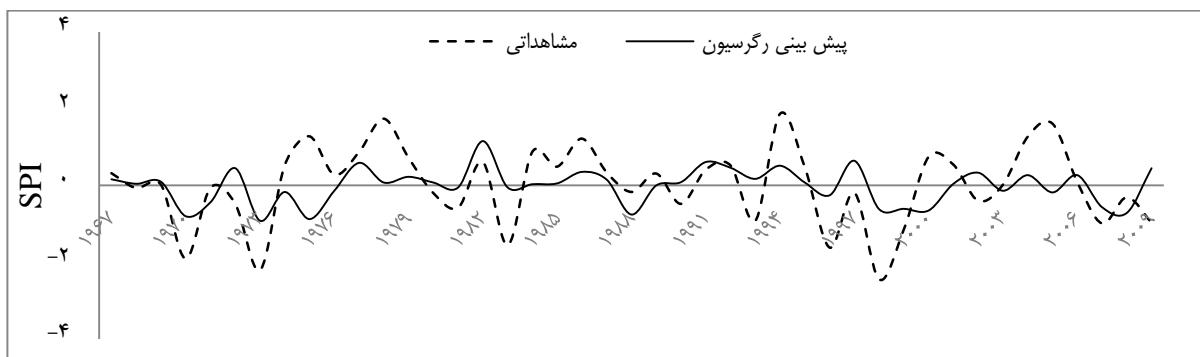
آموزش	ارزیابی				معادله رگرسیونی
	RMSE	MAE	RMSE	MAE	
۰/۹۳	۰/۷۲	۰/۹۹	۰/۸		SPI هر فصل با شاخص‌های اقلیمی در گام تأخیر مختلف
۰/۶۸	۰/۴۵	۰/۶۸	۰/۵۶		SPI فصل پاییز با شاخص‌های اقلیمی پاییز قبل (۴ فصل قبل)
۰/۹۱	۰/۷۴	۰/۹۴	۰/۷۶		SPI فصل زمستان با شاخص‌های اقلیمی فصل زمستان (همزمان)
۰/۸۹	۰/۷۳	۱/۲۷	۰/۹۶		SPI فصل زمستان با شاخص‌های اقلیمی بهار قبل (۳ فصل قبل)



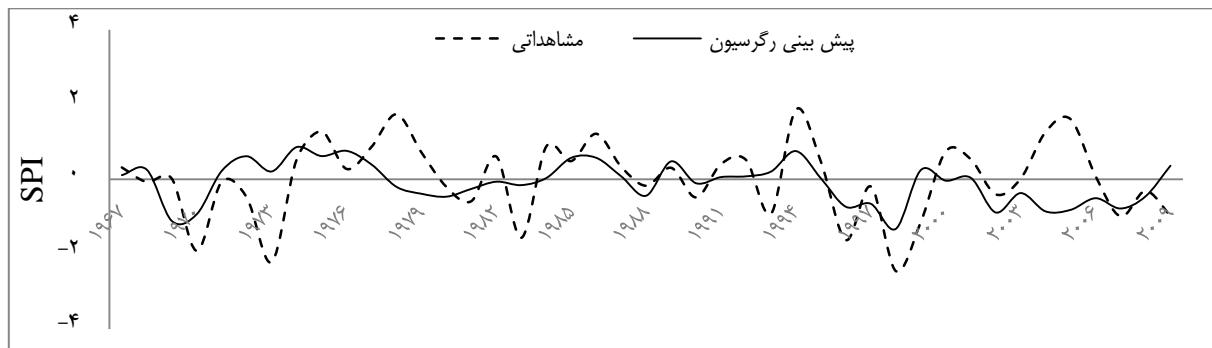
شکل ۶- مقایسه نتایج سری مشاهداتی با معادله رگرسیون SPI هر فصل با شاخص‌های اقلیمی در گام تأخیر مختلف



شکل ۷- سری مشاهداتی با معادله رگرسیون برای SPI فصل پاییز با شاخص‌های اقلیمی پاییز قبل (۴ فصل قبل)



شکل ۸- مقایسه نتایج سری مشاهداتی با معادله رگرسیون برای SPI فصل زمستان با شاخص‌های اقلیمی زمستان (همزمان)



شکل ۹- مقایسه نتایج سری مشاهداتی با معادله رگرسیون برای SPI فصل زمستان با شاخص‌های اقلیمی بهار قبل (۳ فصل قبل)

سیگنال‌های NTA و NINO4 به ترتیب با تأخیر سه فصل قبل و همزمان دارای همبستگی معنی‌داری است. که عدم ارتباط SPI با سیگنال‌های فصل بهار و تابستان و همچنین همبستگی معنی‌دار سیگنال‌ها در فصل زمستان و پاییز، مطابق با نتایج برخی محققان در بررسی تأثیر نوسان‌های سیستم فشار در اقیانوس اطلس شمالی بر تغییرات بارندگی و دمای ایران است (۵، ۶، ۷، ۲۰). در این مطالعه مدل رگرسیونی گام به گام برای شاخص‌هایی که در همبستگی پیرسون و متقطع معنی‌دار بودند ارائه شد. در بررسی ENSO و اثر آن بر بارش‌های فصلی استرالیا نیز از روش همبستگی همراه با تأخیر استفاده شده است که نتایج حکایت از آن دارد که همبستگی با تأخیر نتایج قابل قبول‌تری بین بارش و ENSO را ارائه می‌دهد (۴). در این تحقیق نیز توزیع ضریب همبستگی سیگنال‌ها با بارش با تأخیر، همبستگی بالاتری نسبت به بررسی همزمان دارد، به طوری که طبق مدل‌های رگرسیونی بدست آمده فقط شاخص SOI هست که به طور همزمان با بارش فصل زمستان ارتباط ۲۱ درصدی دارد. بنابراین بیشتر شاخص‌ها با تأخیر زمانی مختلف با شاخص بارندگی استاندارد معنادار شده‌اند. ضرایب تبیین (R^2) و تأثیر رگرسیونی استاندارد (Beta) نشان دادند که بررسی همزمان و با تأخیر فصل به فصل سیگنال‌ها (مثلاً SPI فصل پاییز با شاخص‌های چهار فصل قبل) در روش همبستگی پیرسون نسبت به همبستگی متقطع در زمان (t-k)، (که سیگنال‌های تمام فصول با هم نسبت به SPI تأخیر داده می‌شود) ارتباط بیشتری را با شاخص بارندگی استاندارد فصلی نشان می‌دهند.

۴. بحث و نتیجه گیری

در این مقاله برای به دست آوردن رابطه بارش فصلی و سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی روش‌های مختلفی استفاده شد. نتایج این پژوهش رابطه این سیگنال‌ها با شاخص بارندگی استاندارد را روشن می‌سازد. با استفاده از روش‌های آماری نظری: همبستگی پیرسون و متقطع، معادلات رگرسیون چندمتغیره خطی و در نهایت با تحلیل متغیرهای همزمان و با تأخیر سیگنال‌های اقلیمی بروز بارندگی و خشکسالی‌ها آینده روشن می‌گردد. از مجموع ۴۵ الگوی ارتباط از دور، ۸ شاخص، AMO, BEST, NINO3.4, NINO4, NTA, SOI, TNA که در مجموع ۸۱ درصد از واریانس را در روش PCA دربر داشتند به عنوان مؤثرترین شاخص‌ها انتخاب شدند. سپس ضرایب همبستگی متقطع بین سری زمانی SPI (متغیر وابسته) در زمان (t) و سیگنال‌های اقلیمی (متغیر مستقل) در زمان (t-k) محاسبه شد. هریک از شاخص‌های اقلیمی در گام تأخیر معینی دارای بالاترین همبستگی با شاخص بارندگی استاندارد بودند، مثلاً شاخص اقلیمی NINO3.4 در گام تأخیر یک فصل دارای بالاترین همبستگی با SPI بوده است. به عبارت دیگر، می‌توان بیان کرد که شاخص دمای سطحی بخش شرقی اقیانوس آرام استوایی هر زمانی اتفاق بیفتند، تأثیر آن بر شاخص بارندگی استاندارد در یک فصل بعد پدیدار خواهد شد. نتایج ضریب همبستگی پیرسون در بررسی فصل به فصل (به صورت همزمان و با تأخیر) نشان از عدم ارتباط سیگنال‌های اقلیمی با شاخص بارندگی استاندارد فصل بهار و تابستان داشت، این در حالی است که بارش فصل پاییز با سیگنال‌های AMM و NINO3.4 به ترتیب در گام تأخیر سه و چهار، و بارش فصل زمستان با

References

- [1] Arab, D.R., Hazrati, SH., Alborzi, A. and Behnam Talab, A. (2007). The statistical relationship between rainfall and river flow of Jarrahi basin with ENSO, NAO climate phenomena, 7th *International Seminar on River Engineering*, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
- [2] Azizi, GH. (2001). El Nino and drought - wet periods in Iran. *Geographical Studies*. 38, 71-84.
- [3] Chahouki Zare, M.A. (2011). *Analyzing the data in the study of natural resources with the software SPSS*, 2ed Edition, University of Tehran press, 300 p.
- [4] Chiew, F.H.S., Piechota T.C., Dracup J.A. and McMahon, T.A. (1998). El Nino Southern oscillation and Australian drought: Link and potential for forecasting system. *Journal of hydrology*. 15, 355-364.
- [5] Choubin, B., Khalighi-Sigaroodi, S., Malekian, A. and Kişi, Ö. (2014). Multiple linear regression, multi-layer perceptron network and adaptive neuro-fuzzy inference system for the prediction of precipitation based on large-scale climate signals. *Hydrological Sciences Journal*.
- [6] Choubin, B., Khalighi-Sigaroodi, S., Malekian, A., Ahmad, S. and Attarod, P. (2014). Drought forecasting in a semi-arid watershed using climate signals: a neuro-fuzzy modeling approach. *Journal of Mountain Science*, 11 (6), 1593-1605.
- [7] Choubin, B., Malekian, A. and Goshan, M. (2016). Application of several data-driven techniques to predict a standardized precipitation index. *Atmósfera*, 29 (2), 121-128.
- [8] Emadi, J. and Nasri, M. (2012). Study influence watershed runoff and flooding of urban of Farsan, 7th *National Conference on Sciences and Engineering of Watershed Management*, Esfahan University of Technology, Iran.
- [9] Fallah GHalhery, Gh. and KHoshhal, J. (2011). Forecasting of spring precipitation of Khorasan based on large-scale climate signals using neural network. *Geography Studies*. 69, 115-133.
- [10] Fallah GHalhery, Gh., Mousavi Bayeghi, S.A., Habibi Nokhandan, M. and KHoshhal, J. (2010). Annual precipitation forecast based on remote links synoptic patterns using statistical models. *Journal of Natural Resources*. 62, 111-123.
- [11] Fatehi Marj, A., Borhani Darian, A. and Mahdian, M.H. (2006). The relationship between seasonal rainfall and meteorological phenomena in the Uremia Lake Catchment, 3th *National Conference on Erosion and Sedimentation*, Tehran, Iran.
- [12] Gaughan, A.E. and Waylen, P.R. (2012). Spatial and temporal precipitation variability in the Okavangoe-Kwandoe-Zambezi catchment, southern Africa. *Journal of Arid Environments*. 82, 19-30.
- [13] Ghassemi Dastgerdi, A. R. (2004). *Meteorological drought in Iran and it is unaffected by the phenomenon El Niño - Southern Oscillation and sea surface temperature*. Ph.D. thesis. Shiraz University. 240 pp.
- [14] Kumar, D.N., Janga Reddy, M. and Maity, R. (2007). Regional Rainfall Forecasting using Large Scale Climate Teleconnections and Artificial Intelligence Techniques. *Journal of Intelligent Systems*. 16, 307-322.
- [15] Matyasovszky, I. (2003). The relationship between NAO and rainfall in Hungary and its nonlinear connection with ENSO. *Theoretical and Applied Climatology*. 74, 69-75.
- [16] Nazemosadat, M.J. and Cordey, I. (2000). On the relationship between ENSO and autumn rainfall in Iran. *International Journal of Climatology*. 20, 47-61
- [17] Paydar Ardakani, A. (2001). The effect of pressure systems in the North Atlantic Oscillation on precipitation and temperature changes in Iran. Ph.D. thesis. Shiraz University. 220 pp.
- [18] Pozo-Vazquez, D., Eestsban-Parra, M.J., Rodrigo, F.S. and Castro-Diez, Y. (2001). The Association between ENSO and Atmospheric Circulation and Temperature in the North Atlantic Region. *Journal of climate*. 14, 3408-3420.
- [19] Santos, J.A., Corte, J. and Leite, S.M. (2005). Weather regimes and their connection to the winter rainfall in Portugal. *International Journal of Climatology*. 25, 33-50.

- [20] Sigaroodi, S.K., Chen, Q., Ebrahimi, S., Nazari, A. and Choobin, B. (2014). Long-term precipitation forecast for drought relief using atmospheric circulation factors: a study on the Maharloo Basin in Iran. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18 (5), 1995-2006.
- [21] Tyson, P.D. (1987). Climate change and variability in Southern Africa. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. 114, 552-562.
- [22] Zarin Kolah, z. (2012). *Predicting rainfall using climatic signals and artificial neural network (Case Study: Kermanshah Province)*. Ph.D. Thesis. University of Tehran. 150 pp.

