

مقدمه

حوزه آبخیز مهارلو بختگان با دارا بودن دشت‌های وسیع یکی از قطب‌های کشاورزی در کشور بخصوص در زمینه تولید گندم می‌باشد، که طی چند سال اخیر با کمبود آب مواجه بوده است. خشکسالی هواشناسی یک واقعه موقتی است و زمانی اتفاق می‌افتد که متوسط بارندگی کمتر از متوسط بارش در دوره بلند مدت باشد. پیش‌بینی بارش و روند تغییرات آن به عنوان مهم‌ترین مولفه چرخه هیدرولوژی در برنامه ریزی منابع آب و مدیریت هر چه بهتر کشاورزی بخصوص بهره‌وری از سیستم‌های آبیاری از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد [۱۷]. از جمله روش‌های پیش‌بینی آب و هوا و مدل‌سازی آن استفاده از سیگنال‌های اقلیمی بزرگ مقیاس (دما و فشار در سطح دریاها و اقیانوس‌ها) می‌باشد که در سالیان اخیر محققین زیادی در سرتاسر دنیا از سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی جهت پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی استفاده کرده اند [۱، ۳، ۴، ۶، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۸، ۲۶، ۲۷]. امروزه روش‌های پیش‌بینی مختلفی سعی در تعیین ارتباط بین سیگنال‌های اقلیمی و متغیرهای هواشناسی داشته‌اند؛ و مدل‌های مفهومی و آماری زیادی برای پیش‌آگاهی^۶ و پیش‌بینی^۷ متغیرهای اقلیمی مورد استفاده قرار گرفته است.

یکی از قوی‌ترین سیگنال‌های طبیعی که در مقیاس جهانی بر اکثر مناطق کره زمین تأثیر می‌گذارد پدیده انسو^۸ می‌باشد. نتایج استفاده از آنالیز همبستگی متقاطع به صورت همزمان و تاخیری در بررسی ارتباط بین انسو و متغیرهای اقلیمی (شامل: دمای حداقل و حداکثر سالیانه، بارش و جریان رودخانه، نوسانات جنوبی (SO^۹) و نوسان اطلس شمالی (NAO^{۱۰})) در ترکیه، نشان داد که رابطه بین بارش و NAO قوی‌تر است. لذا نتایج رگرسیونی تاخیری نشان‌دهنده پتانسیل بالای پیش‌بینی باران و جریان ۷ ماه بعد با استفاده از NAO است [۱۶]. تحقیقات گذشته نشان داده است که از مدل‌های آماری می‌توان برای پیش‌بینی بارش به طور موفقیت‌آمیزی بهره‌گیری کرد [۵]. تحقیقاتی هم در پیش‌بینی بارش مشخص کرده‌اند که عملکرد شبکه عصبی و رگرسیون تفاوت معنی‌داری از هم ندارد [۲، ۲۸]. گانگ و ویلن [۱۰] در حوزه زیمباوه در قسمت جنوبی آفریقا

پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از روش‌های آماری و سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی

بهرام چوبین^{۱*}، محمد گلشن^۲ و فرزانه ساجدی حسینی^۳
تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۲۱

چکیده

مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک ضروری است. پیش‌آگاهی از مقدار بارش یکی از راه‌های مهم در برنامه‌ریزی منابع آب، مدیریت کشاورزی و خشکسالی می‌باشد. مطالعات قبل نشان می‌دهد که سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی (دما و فشار سطح دریاها و اقیانوس‌ها) بر روی اقلیم و میزان بارش در مناطق مختلف تأثیر گذار است. در این مطالعه، ابتدا با روش تجزیه مولفه‌های اصلی^۴ (PCA) از بین ۴۵ شاخص اقلیمی، ۸ شاخص با مجموع ۸۱٪ واریانس به عنوان موثرترین شاخص‌های اقلیمی انتخاب شدند. سپس تأثیر سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی بر روی شاخص بارندگی استاندارد^۵ (SPI) ماهیانه در مقیاس (یک، سه، شش و ۱۲ ماهه) حوزه آبخیز مهارلو بختگان به صورت همزمان و با تاخیر توسط همبستگی متقاطع مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با مدل رگرسیون چند متغیره معادلات پیش‌بینی ایجاد شد. نتایج همبستگی متقاطع نشان داد که بیشتر شاخص‌های اقلیمی همراه با گام تاخیر نسبت به سری زمانی (SPI) معنی‌دار شده‌اند. نتایج پارامترهای خطا و دیاگرام تیلر نشان داد که عملکرد معادلات رگرسیون در مقیاس یک ماهه بهتر از بقیه مقیاس‌های مورد بررسی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سیگنال اقلیمی، شاخص بارندگی استاندارد، تجزیه مولفه‌های اصلی، همبستگی متقاطع، دیاگرام تیلر

- * نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، تلفن: Bahram.choubin@ut.ac.ir
- دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، m.golshan@sanru.ac.ir
- کارشناس ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، farzajedi@gmail.com

4. Principal component analysis
5. Standard precipitation index

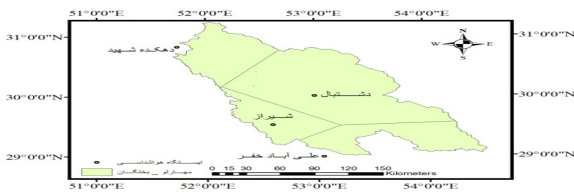
6. Prognosis

7. Prediction

8. El Nino-Southern Oscillation

9. Southern Oscillation

10. North Atlantic oscillation



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز مهارلو-بختگان و ایستگاه‌های هواشناسی

جدول ۱- کلاس بندی روش SPI (مکی و همکاران، ۱۹۹۳)

خشکسالی	خشکسالی شدید	خشکسالی متوسط	نزدیک نرمال
بسیار شدید			
> ۲-	۱/۹۹- تا ۱/۵-	۱/۴۹ تا ۱-	۰/۹۹ تا ۰/۹۹-

با سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی، آمار بارندگی به میلادی تبدیل شد، سپس از طریق پلی‌گن‌بندی در Arc GIS 9.3 متوسط بارش حوزه برآورد شد.

داده‌های مورد استفاده

شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) ۲

شاخص بارندگی استاندارد توسط مکی و همکاران [۲۰] تدوین شده است. برای هر مقیاس زمانی قابل محاسبه می‌باشد. برای محاسبه این شاخص، سری زمانی طولانی مدت داده‌های بارندگی ثبت شده با یک توزیع احتمالاتی برازش داده می‌شود. در مرحله بعد، تابع تجمعی توزیع محاسبه شده و به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد، بطوریکه میانگین مقادیر شاخص بارندگی استاندارد، برای مکان و دوره مورد نظر صفر است. مکی و همکاران [۲۰] دریافتند که برای برازش داده‌های بارندگی توزیع گاما بهترین توزیع می‌باشد. توزیع گاما به صورت تابع چگالی احتمال یا فراوانی زیر تعریف می‌شود (رابطه ۴-۱).

$$g(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{for } x > 0 \quad (1)$$

$\alpha > 0$: پارامتر شکل، $\beta > 0$: پارامتر مقیاس، $x > 0$: پارامتر بارش، $G(a)$: تابع گاما است که از رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

از این رو محاسبه SPI شامل برازش تابع توزیع گاما به توزیع فراوانی مقادیر بارندگی می‌باشد. مک کی و همکاران با توجه به مشابهت روش SPI با مقادیر توزیع نرمال استاندارد آن را به کلاس‌های ذیل تقسیم نمودند (جدول ۱):

در این مطالعه مقادیر SPI برای دوره های یک ماهه، سه ماهه، شش ماهه و ۱۲ ماهه با استفاده از نرم افزار DIP^4 (دریافت شده

2. Standard Precipitation Index

3. MacKee and et all

4 Drought Indices Package

با استفاده از روش شبکه عصبی و رگرسیون اقدام به پیش‌بینی بارش نمود و نتایج نشان داد که شبکه عصبی و رگرسیونی جهت پیش‌بینی بارش در مناطق فراخشک نیز کاربرد دارد. در تحقیقی اسدی و سپاس‌خواه [۲] با استفاده از شبکه عصبی و رگرسیونی اقدام به شبیه‌سازی بارش در استان‌های شمالی، جنوبی و مرکزی نمودند، نتایج نشان داد که شبکه عصبی می‌تواند برای پیش‌بینی بارش در مناطق مختلف کشور مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از تمامی سیگنال‌های اقلیمی بزرگ مقیاس جهت پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی از نقاط قوت این تحقیق می‌باشد چرا که در تحقیقات گذشته در ایران کمتر تاثیر تمامی سیگنال‌های اقلیمی بر روی بارش و اقلیم مناطق مختلف بررسی شده و در بیشتر موارد تنها به بررسی تاثیر پدیده انسو پرداخته شده است (۵، ۲۱). لذا در این مطالعه به منظور پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه از تمامی سیگنال‌های اقلیمی بزرگ مقیاس استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه مهارلو - بختگان بین طول جغرافیایی $51^{\circ}42'$ تا 31° و 54° گسترش و عرض جغرافیایی $29^{\circ} 00'$ تا $31^{\circ} 14'$ و با مساحت 31000 کیلومتر مربع در استان فارس قرار گرفته است. رژیم بارندگی حوضه مدیترانه‌ای بوده و متوسط بارندگی سالانه از 200 میلی‌متر در جنوب شرقی تا 700 میلی‌متر در ارتفاعات شمال غرب متغیر است. ارتفاع حوزه آبخیز مهارلو - بختگان از 1460 متر در سطح دریاچه طشک تا 3943 متر در کوه‌های در ارتفاعات شمال غرب متغیر است. ترکیب ارتفاع و عرض جغرافیایی در این حوضه شرایط بسیار مناسبی را برای ایجاد آب و هوای نیمه خشک تا مرطوب را به وجود آورده است.

سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی: تعداد ۴۵ شاخص اقلیمی از سایت جهانی فرآیندهای جوی و اقیانوسی (NOAA) استخراج شد. (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>) (list) [۲۲]. این الگوها اتمسفری و یا اقیانوسی هستند و در مکان معینی تشکیل می‌شوند و نام آن مکان را به همراه خود دارند. نحوه فعالیت این الگوها همانند بسیاری از پدیده‌های اقلیمی از شدت و ضعف برخوردار بوده و دارای نظم دوره‌ای می‌باشند و اصطلاحاً دارای فاز مثبت و فاز منفی هستند، از این جهت در مورد آن‌ها اصطلاح نوسان به کار برده می‌شود. با وجود این که این الگوها در قلمرو جغرافیایی محدودی شکل می‌گیرند ولی دامنه اثرات آن‌ها به مکان‌های دوردست نیز سرایت می‌کند و موجب وقوع ناهنجاری‌های اقلیمی می‌شوند.

بارش: در این مطالعه آمار روزانه بارش به مدت ۴۳ سال (۲۰۰۹-۱۹۷۶) از چهار ایستگاه سینوپتیک شیراز، باران‌سنجی دشتبال، علی آباد خفر و ایستگاه دهکده شهید جمع آوری شد و جهت هماهنگی

1: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>

از سایت (<http://www.speedbit.com>) محاسبه شد و رابطه هر کدام با سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت.

تجزیه مولفه‌های اصلی (PCA)

روش تجزیه مولفه‌های اصلی از جمله روش‌های آماری برای تعیین تاثیرگذارترین متغیرها زمانی که تعداد متغیرهای مورد بررسی زیاد و روابط بین آن‌ها ناشناخته باشد، استفاده می‌شود. در این روش متغیرها در عامل‌هایی قرار می‌گیرند، به طوری که از عامل اول به عامل‌های بعدی درصد واریانس کاهش می‌یابد، از این رو متغیرهایی که در عامل‌های اولی قرار می‌گیرند، واریانس بیشتری داشته و تاثیرگذارترین هستند. در این مطالعه برای تعیین موثرترین شاخص‌های اقلیمی از روش تجزیه مولفه‌های اصلی استفاده شد.

بررسی ارتباط بین سیگنال‌های اقلیمی و SPI

جهت بررسی ارتباط بین سیگنال‌های اقلیمی و SPI تابع همبستگی متقابل^۲ استفاده شد. همبستگی متقاطع نوعی روش استاندارد برای تعیین درجه همبستگی بین دو سری زمانی است. چنانچه مقدار $X_{(i)}$ و $Y_{(i)}$ با $i=0,1,2,\dots,N$ دو متغیر باشند مقدار R همبستگی متقاطع آن‌ها به شکل رابطه (۳) است.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \bar{x})(y_{(i-d)} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{(i-d)} - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

For: $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

If: $i - d < 0$, $i - d \geq N$

در این رابطه مقادیر \bar{x} و \bar{y} مقدار میانگین هر یک از سری‌های زمانی $X_{(i)}$ و $Y_{(i)}$ هستند، اگر رابطه (۳) را برای همه تاخیرهای زمانی مشخص $d=0, \pm 1, \pm 2, \dots, N-1$ محاسبه کنیم، در یکی از گام‌های تاخیر بالاترین همبستگی را خواهیم داشت. با توجه به شرط در رابطه (۳)، نقاط $i < 0$ و $i \geq N$ مورد توجه نبوده و مقدار ضریب همبستگی متقاطع همواره $-1 \leq R \leq +1$ خواهد بود.

رگرسیون چند متغیره

برای تحلیل‌های پیشرفته‌تر و پیش‌بینی تغییر در متغیر وابسته در صورت تغییر در متغیرهای مستقل از روش رگرسیون گام به گام^۳ استفاده شد. روش گام به گام روشی است که در آن قوی‌ترین متغیرها یک به یک وارد شده و این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که خطای آزمون معنی‌داری به ۵ درصد برسد. رابطه رگرسیونی به صورت رابطه (۴) نوشته می‌شود:

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (4)$$

که در این رابطه Y : متغیر مستقل یا مقدار پیش‌بینی شده، a : مقدار ثابت یا عرض از مبدا نقطه تقاطع خط رگرسیون با محور Y ، b : ضریب رگرسیون یا شیب خط منحنی، X : مقادیر متغیرهای مستقل هستند. ابتدا ۸۰٪ داده‌ها برای ایجاد رابطه رگرسیونی استفاده شد، سپس برای تعیین هم‌خطی چندگانه^۴ بین داده‌ها از عامل تورم واریانس^۵ (VIF) که شاخصی برای تعیین هم‌خطی است، استفاده شد. این شاخص به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$VIF = \frac{1}{(1 - r_i^2)} \quad (5)$$

که در آن r_i^2 : ضریب تشخیص چندگانه که از رگرسیون X_i بر روی $K-1$ متغیر مستقل باقیمانده حاصل می‌شود. اگر VIF برابر یک شد، یعنی هیچ‌گونه خودهمبستگی بین متغیرهای وابسته وجود ندارد، اگر بین دامنه (۵-۱) شد، مدل قابل قبول بوده و اگر بالاتر از ۱۰ شد یعنی اینکه هم‌خطی چندگانه بین متغیرها وجود دارد (۷) و مدل باید کنار گذاشته شود. بعد از ایجاد معادلات رگرسیونی نرمال بودن باقی‌مانده‌ها با استفاده از P-P^۶ پلات و هیستوگرام بررسی شد و در نهایت برای بررسی کارایی مدل رگرسیونی از ۲۰٪ باقیمانده داده‌ها استفاده شد.

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی کارایی مدل‌های رگرسیون از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^۷ و میانگین قدر مطلق خطا (MAE)^۸ استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^p)^2} \quad (6)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_i^o - Q_i^p| \quad (7)$$

که در معادلات (۶) و (۷) n تعداد داده‌ها، Q_i^o شاخص بارش استاندارد مشاهداتی و Q_i^p شاخص بارش استاندارد برآورد شده می‌باشد. پایین بودن مقدار این آماره‌ها نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل می‌باشد. همچنین برای مقایسه دقت پیش‌بینی در مقیاس یک، سه، شش و ۱۲ ماهه از نمودار تیلر^۹ استفاده کردیم.

نتایج

تعیین موثرترین شاخص‌های اقلیمی

فرآیند تلخیص داده‌ها بر روی شاخص‌های اقلیمی با روش

4. Multicollinearity
5. Variance inflation factor (VIF)
6. Probability-Probability
7. Root Mean Square Error
8. Mean Absolute Error
9. Taylor diagrams

1. Principal component analysis
2. Cross correlation function
3. Stepwise regression

جدول ۲ درصد واریانس و مقادیر ویژه عامل‌های مختلف

Component	Initial Eigenvalues			Component	Initial Eigenvalues		
	Total	of % Variance	Cumulative %		Total	of % Variance	Cumulative %
1	7.226	28.905	28.905	14	320.	1.280	95.407
2	3.788	15.151	44.056	15	306.	1.223	96.630
3	2.204	8.816	52.872	16	266.	1.062	97.692
4	1.901	7.602	60.474	17	156.	624.	98.317
5	1.525	6.098	66.573	18	132.	526.	98.843
6	1.322	5.287	71.860	19	114.	455.	99.298
7	1.280	5.119	76.978	20	066.	264.	99.562
8	1.022	4.090	81.068	21	049.	196.	99.758
9	879.	3.515	84.583	22	032.	127.	99.885
10	740.	2.961	87.545	23	023.	092.	99.977
11	680.	2.719	90.264	24	006.	023.	100.000
12	504.	2.015	92.278	25	0000.	000.	100.000
13	462.	1.849	94.127				

آبخیز مهارلو-بختگان ارتباط شاخص‌های بارندگی استاندارد یک، سه، شش و دوازده ماهه را به صورت همزمان و تا ۱۲ گام تاخیر از آنالیز همبستگی متقاطع بدست آوردیم.

الف- نتایج بررسی یک ماهه:

شاخص‌های AMO، BEST، NINO3.4، NINO4، A TN، SOI و TNA به ترتیب در گام تاخیر هفت، همزمان، سه، همزمان، هشت، همزمان و گام یک بالاترین همبستگی را با بارش حوزه مهارلو-بختگان دارند، که از بین این شاخص NINO_{3.4}، دارای بیشترین همبستگی (R=260/0) با شاخص بارندگی استاندارد یک ماهه می‌باشد. بررسی تاثیر شاخص AMM بر شاخص بارندگی استاندارد یک ماهه نشان می‌دهد، این شاخص دارای همبستگی معکوس با SPI است. و از بین شاخص‌ها مورد بررسی دارای همبستگی معنی‌داری (R = -067/0) با SPI یک ماهه نمی‌باشد (جدول ۳).

ب- نتایج بررسی سه ماهه:

شاخص‌های AMO و TNA در گام تاخیر دوازده، شاخص AMM در گام تاخیر ده، SOI، و BEST به طور همزمان، شاخص NINO_{3.4} در گام تاخیر سه، شاخص NINO₄ در گام یک و شاخص ATN در گام نه دارای بالاترین ضریب همبستگی معنی‌دار با SPI می‌باشند (جدول ۳).

ج- نتایج بررسی شش ماهه:

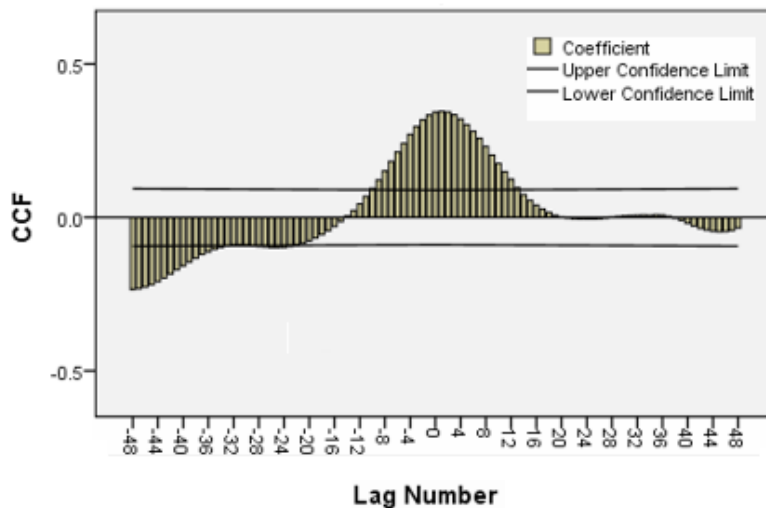
شاخص AMO، AMM و TNA در گام تاخیر دوازده بالاترین همبستگی را با شاخص بارندگی استاندارد شش ماهه حوزه مهارلو-بختگان دارد. این شاخص‌ها دارای همبستگی معکوس با SPI

PCA انجام شد. با توجه به اینکه مقدار آماره KMO^۱ برابر با ۰/۶۹ شد، پس داده‌ها برای روش PCA مناسب هستند [۲۴]. از بین ۴۵ شاخص اقلیمی، شاخص‌های مشترک با شاخص بارندگی استاندارد انتخاب شدند (۳۲ شاخص). در PCA_۱ و PCA_۲ تعداد ۷ سیگنال اقلیمی به دلیل پایین بودن میزان اشتراک کمتر از ۰/۵۰، کنار گذاشته شدند. سپس از مقادیر ویژه^۲ برای تعیین موثرترین سیگنال‌ها استفاده شد و مشخص شد که ۸ مولفه دارای مقدار ویژه بزرگتر از یک بوده که در مجموع ۸۱٪ واریانس را در بر دارند (جدول ۲). در نهایت با توجه به اینکه مولفه‌های یک و دو بیشترین مقدار واریانس را به خود اختصاص می‌دهند، ۸ شاخص AMO، AMM،^۳ SOI^۹، NTA^۸، NINO4^۷، NINO3.4^۶، BEST^۵ و TNA^{۱۰} بعد از چرخش واریمکس^{۱۱} بر اساس بیشترین مقدار بار عاملی به عنوان موثرترین شاخص‌ها انتخاب شدند (جدول ۲).

نتایج همبستگی متقاطع

جهت بررسی ماهانه تاثیر پدیده‌های اقلیمی بر بارش در حوزه

1. Kaiser-Meyer-Olkin
2. Eigenvalue
3. Atlantic Multi-Decadal Oscillation
4. Atlantic Meridional Mode
5. Bivariate ENSO Time series
6. East Central Tropical Pacific SST
7. Central Tropical Pacific SST
8. North Tropical Atlantic SST Index
9. Southern Oscillation Index
10. Tropical Northern Atlantic Index
11. Varimax



شکل ۲- خروجی نرم افزار SPSS (همبستگی متقاطع بین SPI ۱۲ ماهه و NINO₄ با ۴۸ گام تاخیر)

- نتایج مدل رگرسیونی گام به گام در بررسی سری زمانی یک ماهه SPI و سیگنال‌های اقلیمی حاکی از آن است که از بین موثرترین شاخص‌های تعیین شده تنها شاخص‌های اقلیمی NTA و NINO_{3,4} وارد معادله رگرسیون شده‌اند (جدول ۴).

- نتایج مدل رگرسیونی گام به گام در بررسی سری زمانی سه ماهه SPI و سیگنال‌های اقلیمی نشان می‌دهد که شاخص NINO₄، ۹٪ و شاخص NTA، ۷٪ بر شاخص بارش استاندارد یک ماهه تاثیرگذار است. شاخص NINO₄ هم جهت با بارش و شاخص NTA جهت عکس با بارش دارد؛ به گونه‌ای که با افزایش آن میزان بارش کاهش می‌یابد (جدول ۴).

- معادله رگرسیونی بدست آمده در بررسی سری زمانی شش ماهه SPI و سیگنال‌های اقلیمی نشان می‌دهد که شاخص‌های اقلیمی NTA و NINO_{3,4} بر شاخص بارندگی استاندارد شش ماهه تاثیرگذار است (جدول ۴).

- نتایج مدل رگرسیونی گام به گام در بررسی سری زمانی دوازده ماهه SPI و سیگنال‌های اقلیمی حاکی از آن است که در مجموع ۲۲٪ شاخص‌های بارش از NTA، NINO₄ و AMO تاثیر می‌پذیرد. که شاخص‌های AMO و NINO₄ دارای ارتباط مستقیم و شاخص NTA در جهت عکس بارش است (جدول ۴).

بررسی نرمال بودن خطاهای معادلات رگرسیونی

یکی از مفروضات مهم در رگرسیون آن است که خطاها دارای توزیع نرمال با میانگین صفر باشند. بدیهی است در صورت عدم برقراری این پیش‌گزیده، نمی‌توان از رگرسیون استفاده کرد. بدین منظور باید مقادیر استاندارد خطاها محاسبه شود و نمودار توزیع داده‌ها و نمودار نرمال آن‌ها رسم شود و سپس مقایسه بین دو نمودار صورت گیرد. هیستوگرام یا نمودار P-P باقی مانده برای بررسی فرض نرمال بودن عبارت خطا مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل هیستوگرام تقریباً باید از شکل منحنی نرمال تبعیت کنند. شکل (۳)

هستند (جدول ۳).

- بررسی تاثیر شاخص NTA بر شاخص بارندگی استاندارد نشان می‌دهد، این شاخص دارای همبستگی معکوس با SPI است. بالاترین ضریب همبستگی ($R = -0.252$) در گام تاخیر ۱۰ ماهه است (جدول ۳).

- شاخص‌های SOI، NINO₄، NINO_{3,4} و BEST با سری زمانی SPI به ترتیب دارای رابطه مثبت، مثبت، منفی و مثبت بوده و بالاترین همبستگی این شاخص‌ها که به طور همزمان با شاخص بارندگی استاندارد رخ داده است در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۳).

د- نتایج بررسی دوازده ماهه:

- شاخص NTA، AMO، AMM و TNA در گام تاخیر دوازده بالاترین همبستگی را با شاخص بارندگی استاندارد دوازده ماهه حوزه مهارلو-بخنگان دارد. این شاخص‌ها دارای همبستگی معکوس با SPI هستند، که بشتین ضریب همبستگی

($R = -0.338$) مربوط به شاخص TNA می‌باشد. (جدول ۳).

- شاخص‌های SOI، NINO₄، NINO_{3,4} و BEST با سری زمانی SPI به ترتیب دارای رابطه مثبت، مثبت، منفی و مثبت بوده و بالاترین همبستگی این شاخص‌ها که به طور همزمان با شاخص بارندگی استاندارد رخ داده است در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۳).

شکل (۲) خروجی نرم‌افزار SPSS است که به عنوان نمونه همبستگی متقاطع بین شاخص SPI دوازده ماهه و NINO₄ را در ۴۸ گام تاخیر نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بالاترین همبستگی به طور همزمان یا در گام تاخیر صفر رخ داده است. در اینجا تاخیرهای منفی ($t-k$) مد نظر است، یعنی اینکه شاخص‌های اقلیمی قبل از بارش رخ داده‌اند.

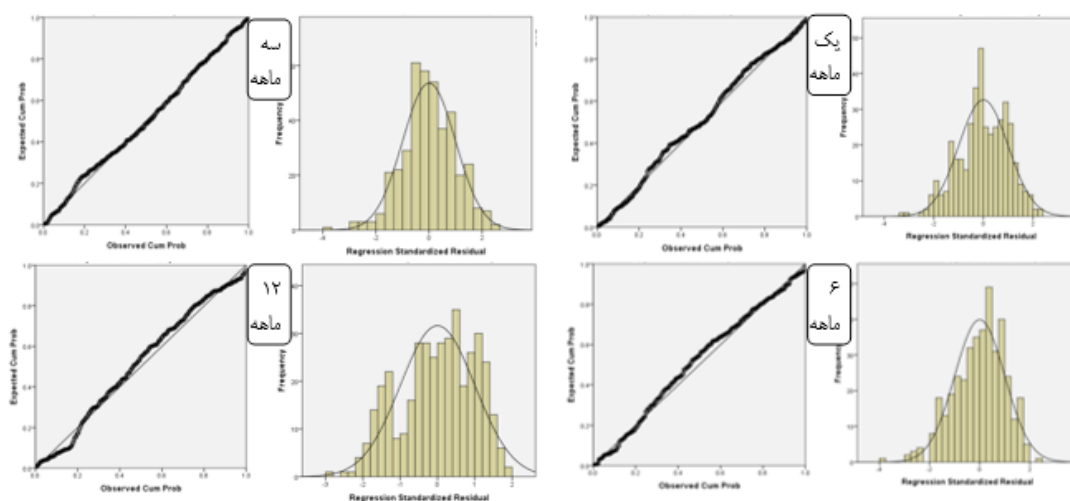
نتایج رگرسیون گام به گام

جدول ۳- ضریب همبستگی متقاطع بین سری زمانی SPI و سیگنال اقلیمی در مقیاس یک ماهه

TNA	SOI	NTA	NINO4	NINO3.4	BEST	AMM	AMO		
- 0.094	- 0.162	- 0.093	0.228	0.260	0.146	0.067	- 0.124	ضریب همبستگی	
1	0	8	0	3	0	5	7	گام تاخیر	
0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	انحراف معیار	یک ماهه
516	516	516	516	516	516	516	516	تعداد	
514	514	514	514	514	514	514	514	درجه آزادی	
- 2.141	- 3.722	- 2.118	5.309	6.105	3.346	- 1.522	- 2.833	T	
0.05	<0.001	0.05	<0.001	<0.001	<0.001	0.2	0.01	P-value	
- 0.177	- 0.184	- 0.212	0.196	0.148	0.186	- 0.147	- 0.183	ضریب همبستگی	
12	0	9	1	3	0	10	12	گام تاخیر	
0.045	0.044	0.044	0.044	0.044	0.045	0.045	0.045	انحراف معیار	سه ماهه
514	514	514	514	514	514	514	514	تعداد	
512	512	512	512	512	512	512	512	درجه آزادی	
- 4.06	- 4.236	- 4.909	4.523	3.386	4.238	- 3.363	- 4.212	T	
<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	P-value	
- 0.231	- 0.268	- 0.252	0.262	0.24	0.269	- 0.194	- 0.209	ضریب همبستگی	
12	0	10	0	0	0	12	12	گام تاخیر	
0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	انحراف معیار	شش ماهه
511	511	511	511	511	511	511	511	تعداد	
509	509	509	509	509	509	509	509	درجه آزادی	
- 5.356	- 6.276	- 5.587	6.125	5.578	6.301	- 4.462	- 4.822	T	
<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	P-value	
- 0.314	- 0.328	- 0.338	0.343	0.301	0.332	- 0.279	- 0.236	ضریب همبستگی	
12	0	12	0	0	0	12	12	گام تاخیر	
0.045	0.044	0.045	0.044	0.044	0.044	0.045	0.045	انحراف معیار	۱۲ ماهه
505	505	505	505	505	505	505	505	تعداد	
503	503	503	503	503	503	503	503	درجه آزادی	
- 7.417	- 7.787	8.06-	8.19	7.089	7.89	- 6.516	- 5.447	T	
<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	P-value	

جدول ۴- ضریب و مدل رگرسیونی سری زمانی SPI ماهانه و شاخص‌های اقلیمی

Beta	R-Square	معادله رگرسیونی	نوع وابستگی
0.231	$R_{NINO3.4} = 0.06$	$SPI = -.346 NTA + .210 NINO_{3.4} - 5.266$	SPI یک ماهه با شاخص‌های اقلیمی معنی‌دار در گام تاخیر مختلف
- 0.115	$R_{NTA} = 0.07$		
0.130	$R_{NINO4} = 0.085$	$SPI = .183 NINO_4 - .766 NTA - 5.039$	SPI سه ماهه با شاخص‌های اقلیمی معنی‌دار در گام تاخیر مختلف
- 0.248	$R_{NTA} = 0.07$		
- 0.262	$R_{NTA} = 0.085$	$SPI = -.910 NTA + .208 NINO_{3.4} - 5.501$	SPI شش ماهه با شاخص‌های اقلیمی معنی‌دار در گام تاخیر مختلف
0.189	$R_{NINO3.4} = 0.119$		
0.218	$R_{NINO4} = 0.201$		
- 0.585	$R_{NTA} = 0.160$	$SPI = .376 NINO_4 - 2.186 NTA + 1.561$	SPI دوازده ماهه با شاخص‌های اقلیمی معنی‌دار در گام تاخیر مختلف
0.265	$R_{AMO} = 0.222$	AMO-10.387	



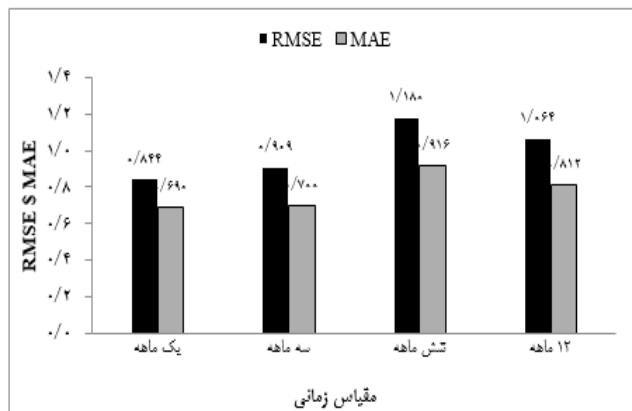
شکل ۳- هیستوگرام و نمودار P-P جهت بررسی نرمال بودن خطا معادله رگرسیون

از مختصات قطبی استفاده می‌شود که مقدار ضریب همبستگی قوس و کمان این نمودار را و خطای استاندارد بر روی محور طول‌ها و عرض‌های این نمودار قرار می‌گیرد. ریشه میانگین مربعات خطا هم از تفاوت بین الگوی مشاهده شده و شبیه‌سازی بدست می‌آید. این نمودار به خصوص در ارزیابی مدل‌های متعدد و یا در اندازه‌گیری مهارت نسبی بسیاری از مدل‌های مختلف مفید است [۱۲]. داده‌های مشاهداتی در مقیاس یک، سه، شش و ۱۲ ماهه با اعداد ۱، ۳، ۶ و ۱۲ مشخص شده‌اند. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود عملکرد معادله رگرسیون یک ماهه (دایره) تا داده‌های مشاهداتی یک ماهه نسبت به بقیه مدل‌ها از سری‌های مشاهداتی مربوط به خود نزدیکتر است. بنابراین نمودار تیلر نیز نشان می‌دهد که معادله رگرسیونی در مقیاس یک ماهه عملکرد بهتری داشته است.

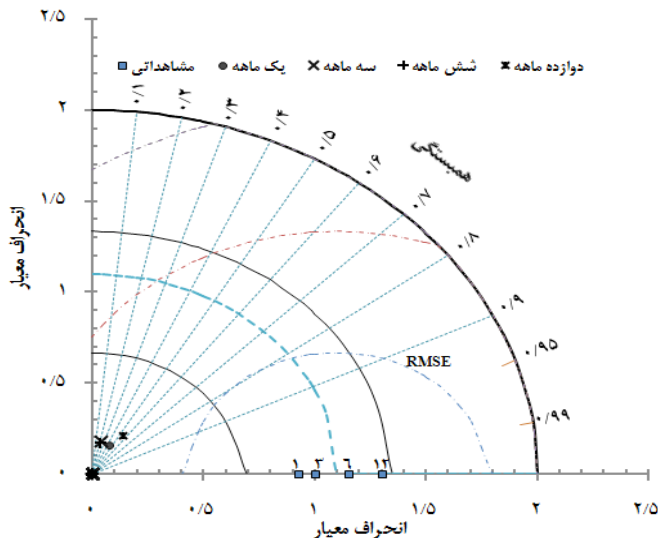
شکل (۵) ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطای معادلات رگرسیونی را در مقیاس یک، سه، شش و ۱۲ ماهه نشان می‌دهد. با مقایسه نتایج مشخص می‌شود که بهترین عملکرد، به

هیستوگرام یا نمودار P-P باقی مانده جهت بررسی فرض نرمال بودن عبارت خطا را برای معادلات رگرسیونی در مقیاس زمانی سالانه، فصلی و ماهانه را نشان می‌دهند. باقی مانده‌ها در نمودار P-P باید تابع خط ۴۵ درجه باشند. نه هیستوگرام و نه نمودار P-P فرضیه نرمالیت را در تمام معادلات ارائه شده را نقض نمی‌کنند. با مقایسه نمودار توزیع فراوانی خطاها و نمودار توزیع نرمال، مشاهده می‌شود که توزیع خطاها تقریباً نرمال است، بنابراین معادلات رگرسیونی از توزیع نرمال تبعیت کرده و قابل استفاده هستند.

در این مطالعه از نمودار تیلر جهت مقایسه عملکرد معادلات رگرسیونی استفاده شد. نمودار تیلر یک روش گرافیکی است که چگونگی نزدیکی یک الگو یا مجموعه‌ای از الگوها را نسبت به مشاهدات نشان می‌دهد. این نمودار در سال ۲۰۰۱ توسط تیلر ارائه شده است. این نمودار با استفاده از سه آماره: ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا و انحراف معیار دو سری زمانی (پیش‌بینی شده و مشاهداتی) ترسیم می‌شود. برای رسم این نمودار



شکل ۵- مقایسه عملکرد معادلات رگرسیونی در مقیاس یک، سه، شش و ۱۲ ماهه



شکل ۴- نمودار تیلر جهت مقایسه عملکرد معادلات رگرسیونی در مقیاس یک، سه، شش و ۱۲ ماهه

شاخص انسو در جنوب افریقا نشان دادند، بطوریکه کاهش بارش و افزایش خشکی با شاخص انسو مرتبط بوده است.

تحقیق حاضر نشان داد که توزیع ضریب همبستگی بین سیگنال‌ها و بارش همراه با تاخیر، همبستگی بالاتری نسبت به بررسی همزمان دارد، بنابراین طبق مطالعات کارباک و همکاران [۱۶]، پنگراسز^۶ و بارتولی^۷ [۲۳] و فیوریلو^۸ و همکاران [۸] شاخص‌ها با تاخیر زمانی مختلف با شاخص بارندگی استاندارد معنادار شده‌اند. برتری این تحقیق با سایر مطالعات انجام گرفته در بررسی تاخیری شاخص‌های اقلیمی بر بارش است؛ که این موضوع باعث کاربردی شدن این مطالعه می‌باشد. نتایج همبستگی با تاخیر پتانسیل پیش‌بینی قابل اعتماد را نشان می‌دهد، که با نتایج کارابورک و همکاران [۱۶] همخوانی دارد.

در بعضی موارد ضریب همبستگی بین بارش و سری زمانی SPI زیاد نیست که می‌تواند دلیل بر برداشت داده‌های کنترل نشده باشد که باعث کم شدن ضریب همبستگی شده است. دلیل دیگری که بوده است مربوط به رابطه غیرخطی بین شاخص‌های اقلیمی و سری زمانی SPI است.

مقایسه نتایج معادلات رگرسیون چند متغیره در مقیاس ماهیانه (یک، سه، شش و ۱۲ ماهه) نشان داد که بهترین عملکرد، به ترتیب در مقیاس یک، سه، دوازده و شش ماهه اتفاق افتاده است. بنابراین نتایج پیش‌بینی یک ماهه عملکرد بهتری را نشان می‌دهد.

منابع

1. Abteu, W., M.A. Melesse and Dessalegne, T.

6. Pongracz
7. Bartholy
8. Fiorillo

ترتیب در مقیاس یک، سه، دوازده و شش ماهه اتفاق افتاده است. به طوریکه در مقیاس یک ماهه $MAE=690/0$ و $RMSE=844/0$ است که بهترین عملکرد را در بین مقیاس‌های مورد بررسی داشته است، این در حالی است که کمترین عملکرد در پیش‌بینی، مربوط به مقیاس شش ماهه بوده است که مقادیر $RMSE=180/1$ و $MAE=916/0$ است

بحث و نتیجه گیری

در این مقاله جهت به دست آوردن رابطه بین شاخص بارندگی استاندارد و سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی روش‌های همبستگی متقاطع استفاده گردید. بررسی ارتباط ماهیانه (یک، سه، شش و ۱۲ ماهه) بین سری زمانی SPI و سیگنال‌های اقلیمی نشان داد که به جز شاخص AMM در مقیاس یک ماهه، تمامی شاخص‌های اقلیمی AMO، AMM، BEST، NINO3.4، NINO4، NTA، SOI و TNA دارای همبستگی معنی‌دار با سری زمانی SPI بوده‌اند. نتایج همبستگی متقاطع نشان داد که بین دمای سطح اقیانوس آرام^۱ و انسو^۲ (BEST, NINO3.4, NINO4) با نمایه SPI رابطه مستقیم و شاخص نوسانات جنوبی (SOI) و دمای سطح اقیانوس اطلس^۳ و شاخص نوسانات جنوبی (AMO, AMM, NTA, TNA) رابطه معکوس با بارش دارند. نتایج محققین در سطح جهان و ایران نیز مبنی بر تاثیر مستقیم دمای سطح اقیانوس آرام و انسو بر بارش [۲۱] و [۱۹] و تاثیر معکوس شاخص نوسانات جنوبی [۱۶] و دمای سطح اقیانوس اطلس بر بارش دارد. اما گاگن^۴ و ویلن^۵ [۱۰] وجود ارتباط منفی بین بارش و

1. SST: Pacific
2. ENSO
3. SST: Atlantic
4. Gaughan
5. Waylen

11. Grantz, K., B. Rajagopalan, M. Clark and Zagona, E. 2005. A technique for incorporating large-scale climate information in basin-scale ensemble streamflow forecasts. *Water Resour. Res.*, 41: (W10410), doi:<http://dx.doi.org/10.1029/2004WR003467>.
12. IPCC, Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and Johnson, C.A. (eds). 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp. (see http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/317.htm#fig84).
13. Julio Canon, J., J. Gonzalez and Valde's, J. 2007. Precipitation in the Colorado River Basin and its low frequency associations with PDO and ENSO signals. *Journal of Hydrology*, 333(2): 252-264.
14. Kalra, A. and Ahmad, S. 2009. Using oceanic-atmospheric oscillations for long lead time streamflow forecasting. *Water Resour Res.*, 45: W03413. <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR006855>.
15. Kalra, A., W.P. Miller, K.W. Lamb, S. Ahmad and Piechota, T. 2012. Using large-scale climatic patterns for improving long lead time streamflow forecasts for Gunnison and San Juan River Basins. *Hydrol Process*, <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9236>.
16. Karabörk, M.C., E. Kahya and Karaca, M. 2005. The influences of the Southern and North Atlantic Oscillations on climatic surface variables in Turkey. *Hydrol. Process.* 19: 1185-1211.
17. Kisi, O. and Shiri, J. 2011. Precipitation Forecasting Using Wavelet-Genetic Programming and Wavelet-Neuro-Fuzzy Conjunction Models. *Water Resour Manage.* 25: 3135-3152.
18. Kumar, D.N., M.J. Reddy and Maity, R. 2007. Regional Rainfall Forecasting using Large Scale Climate Teleconnections and Artificial Intelligence Techniques. *Journal of Intelligent Systems.* 16(4): 307-322.
19. Mariotti, A., N. Zeng and Lau, K.M. 2002. Euro-Mediterranean rainfall and ENSO-a seasonally varying relationship. *Soyth African Journal of Science.* 2009. El Nino Southern Oscillation link to the Blue Nile River Basin hydrology. *Hydrol, Process.* 23: 3653-3660
20. Azadi, S. and Sepaskhah, A.R. 2012. Annual precipitation forecast for west, southwest, And south provinces of Iran using artificial neural networks. *Theor Appl Climatol.* 109: 175-189
21. Berg, N., A. Hall, S.B. Capps and Hughes, M. 2013. El Nino-Southern Oscillation impacts on winter winds over Southern California. *Clim Dyn.* DOI 10.1007/s00382-012-1461-6.
22. Cullen, H.M. and Menocal, P.B. 2000. North Atlantic influence on Tigris-Euphrates streamflow. *International Journal of Climatology.* 20: 853-863.
23. Fallah Ghalhary, Gh. A., Mousavi Baygi, M., Habibi Nokhandan, M., Khoshhal, J. 2009. Annual rainfall forecasting based on synoptic patterns of teleconnection using statistical models. *Iranian Journal of Natural Resources.* 62(1): 111-123.
24. Fallah-Ghalhary, G.A., M. Habibi-Nokhandan, M. Mousavi-Baygi, J. Khoshhal and Shaemi Barzoki, A. 2010. Spring rainfall prediction based on remote linkage controlling using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *Theor Appl Climatol.* 101: 217-233
25. Famini, G.R., C.A. Penski and Wilson, L.Y. 1992. Using theoretical descriptors in quantitative structure activity relationships: Some physicochemical properties. *Physical of organic chemistry.* 5(7): 395-408.
26. Fiorillo, F., L. Esposito and Guadagno, FM. 2010. Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI. *Water Resour Manage.* 24: 1867-1884
27. Gamiz-Fortis, S.R., M.j. Esteban-Parra, R.M. Trigo and Castro-Diez, Y. 2010. Potential predictability of an Iberian river flow based on its relationship with previous winter global SST. *Journal of hydrology.* 385: 143-149
28. Gaughan A.E. and Waylen, P.R. 2012. Spatial and temporal precipitation variability in the Okavango-Kwandoe-Zambezi catchment, southern Africa. *Journal of Arid Environments.* 82: 19-30.

25. Taylor, K.E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.* 106: 7183-7192.
26. Turkes, M. and Elart, E. 2003. Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic oscillation during the period 1930-2000. *International Journal of Climatology.* 23(14): 1771-1796.
27. Wallace, J. M. 2000. North Atlantic Oscillation/Annular Mode: two paradigms-one phenomenon. *Quart. J. Royal Met. Soc.* 26(564): 791-805.
28. Norouzian, M. A and Asadpour, S. 2012. Predication of feed abrasive value by artificial networks and multiple linear regression. *Neural Computing Applications.* 21(5): 905-909.
20. McKee, T.B., N.J. Doesken and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, Department of Atmospheric Science Colorado State University Fort Collins. 179-184.
21. Nazemosadat, M. J. and Cordey, I. 2000. On the relationship between ENSO and autumn rainfall in Iran. *International Journal of Climatology.* 20(1): 47-61.
22. NOAA. 2012. Climate Diagnostic Center: Climate Indices. Available from: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>
23. Pongracz, R. and Bartholy, J. 2006. Regional Effects of ENSO in Central/Eastern Europe. *Journal of advances in Geosciences.* 6: 133-137
24. Shrestha, S. and Kazama, F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji river basin, Japan. *Environ. Model. Software.* 22: 464-475.

*Report***Predicting Drought using Statistical Methods and Large-Scale Climate Signals**B. Choubin^{1*}, M. Golshan² and F. Sajedi-Hosseini³

Received: 2015/04/19 Accepted: 2015/09/12

A Management of water resources is essential in arid and semi-arid regions. Pre-knowledge about the amount of possible precipitation is important in planning water recourses, management of agriculture and droughts. Previous studies show that large-scale climate phenomena influence on the of climate and amount precipitation in different part of the world. In this study, first, among the 45 climate signals, 8 Index were selected as the most effective indicators; the total encompasses 81% of the variance in the principal component analysis (PCA) method. Subsequently, the correlation of large-scale climate signals in monthly Standard precipitation index (SPI) (one, 3, 6 and 12) of Maharlu-Bakhtegan basin simultaneously and the delay has been analyzed by using of cross correlation. Finally, multivariate regression equation was developed to predict. The results of cross correlation method showed that more of indices are significant with time lag with standardized precipitation index. Taylor diagram and error parameters showed that performance of regression equations for the scale of one month is better than the other scales.

Keywords: Climate Signal, Standardized Precipitation Index, Principal Component Analysis, Cross Correlation, Taylor Diagrams

1.*Corresponding author: PhD Student of Sari University, Sari, Faculty of Natural Resources, Email: Bahram.choubin@ut.ac.ir

2. PhD Student of Sari University, Sari, Faculty of Natural Resources, Email: m.golshan@sanru.ac.ir

3. M.Sc. Sari University, Sari, Faculty of Natural Resources, Email: farzsajedi@gmail.com