

پیش‌بینی فصلی بارش بر مبنای ارتباط با سیگنال‌های هواشناسی در ایستگاه سینوپتیک یزد

- ۱- محمدرضا کوثری، استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
 ۲- اسماعیل سهیلی، استادیار، بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
 soheili@Shirazu.ac.ir
 ۳- یعقوب نیازی، دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۵

پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۳

چکیده

پیش‌بینی بارش در برنامه‌ریزی‌های منابع آب خصوصاً در مناطق خشک کشور بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله به بررسی تعیین ارتباط بین بارش فصلی با سیگنال‌های هواشناسی شامل شاخص چند متغیره انسو یا NINO's SST, MEI, NINO (2, 1, 3, 4), NINO3.4 و NAO و SOI در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک یزد طی دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۷، پرداخته شده است. تعیین همبستگی‌ها در دو سطح صورت گرفت. سطح اول شامل بررسی همبستگی بین بارش‌های فصلی با ایجاد یک سال تأخیر در سری زمانی فصلی سیگنال‌های هواشناسی است. در حالت دوم بدون ایجاد تأخیر صورت پذیرفت. در ادامه و با استفاده از روش رگرسیون بر مبنای مدل حداقل مربعات جزئی (PLSR)، اقدام به پیش‌بینی بارش فصلی گردید. نتایج نشان داد مقادیر همبستگی قابل توجهی بین بارش فصل زمستان با مقادیر فصلی سیگنال‌های هواشناسی در فصل زمستان با یکسال تأخیر از پارامترهای SOI, MEI, NINO1+2, NINO3, NINO3.4 وجود دارد. حداکثر ضریب همبستگی مربوط به NINO1+2 برابر ۰/۶۸+ می‌شود. گفتنی است این مقدار برای SOI زمستان در سال قبل برابر ۰/۶۱- می‌باشد که نشان‌دهنده رابطه معکوس این پارامتر با بارش فصل زمستان با یک سال تأخیر است. برای سری‌های بدون ایجاد تأخیر، همبستگی قابل توجه بارش فصل زمستان با مقدار شاخص NAO در فصل پاییز و تابستان مشاهده گردید. در رابطه با پیش‌بینی بارش‌های فصلی، نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب روش PLSR با توجه به ماتریس‌های ورودی است. در رابطه با داده‌های ورودی با تأخیر یکساله، بارش‌های فصل زمستان، تابستان، بهار و پاییز با مقدار RMSE به ترتیب برابر با ۰/۸۵، ۰/۸۵ و ۰/۶۲ میلی‌متر تخمین زده شده‌اند. شاخص NS برای فصول مذکور به ترتیب برابر با ۰/۶۹، ۰/۲۲، ۰/۱۲ و ۰/۷۲ می‌باشد. مقادیر R برای این همبستگی‌ها به ترتیب برابر با ۰/۸۳، ۰/۴۶، ۰/۴۵ و ۰/۸۵ بوده است. در کل، بارش‌ها در فصول سرد با دقت بیشتری برآورد شدند. توسعه و استفاده از مدل‌های پیش‌بینی می‌تواند برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب را با موفقیت بیشتری همراه سازد.

واژگان کلیدی: بارش پیوند از دور؛ شاخص انسو؛ مناطق خشک؛ حداقل مربعات جزئی.

مقدمه

روش‌های متعددی برای این مهم تا به حال توسعه یافته‌اند که در میان انواع مدل‌های مختلف، استفاده از مدل‌های تجربی جایگاه ویژه‌ای بین محققان و کارشناسان امر دارد. به هر حال باید توجه داشت که فراهم ساختن داده‌های مناسب و مرتبط با پدیده مورد مدلسازی یکی از مهم‌ترین اقدامات مدلسازی است [۸، ۱۴، ۱۶]. مدلسازی و پیش‌بینی مقدار بارش خصوصاً در مناطق خشک نیز از این موضوع مستثنا نبوده و فراهم ساختن داده‌های مناسب امری لازم و ضروری است که بایستی بدان پرداخته شود. پارامترهای متنوع و فراوانی وجود دارند که می‌توانند بر این پدیده تأثیرگذار باشند. در این میان، امروزه سیگنال‌های هواشناسی کاربرد گسترده‌ای در این

پیش‌بینی بارش فصلی جهت مدیریت منابع آب امری لازم و ضروری است. پیش‌بینی بارش از اقدامات اساسی به منظور به حداقل رسانیدن تصمیم‌گیری‌های نسنجیده و فوری در هنگام وقوع حوادثی مانند سیل و خشکسالی می‌باشد [۱۹] بارش و نوسانات آن در دوره‌های خشک و تر، نقش قابل ملاحظه‌ای بر شرایط اقتصادی و اجتماعی جامعه دارد. شناخت عوامل تأثیرگذار بر آن، موجب برنامه‌ریزی‌های دقیقتر اقتصادی می‌شود [۲۶]. این موضوع در مناطق خشک و فوق خشک که پراکندگی زمانی و مکانی بارش بسیار قابل توجه است؛ اهمیتی دوچندان می‌یابد.

روزهای بارانی و شاخص نینو ۳ وجود دارد. با افزایش شاخص نینو ۳ تعداد روزهای بارانی، افزایش می‌یابد که به معنای فعال بودن فاز النینو و آغاز دوره ترسالی می‌باشد و با کاهش میزان نینو ۳ شاهد شروع دوره لانینا و کاهش تعداد روزهای بارانی هستیم. مثبت بودن ضریب همبستگی شاخص نینو ۳ و همسویی روند تغییرات تعداد روزهای بارانی با شاخص نینو ۳، ارتباط مستقیم آنسو را با تعداد روزهای بارانی در سطح کشور نشان می‌دهد [۲۶]. نتایج بررسی اثر آنسو بر روی تغییرات بارش تابستانه در مناطق کوهستانی مرکز چین نشان می‌دهد که هر دو پدیده آنسو و فشار جوی بر تغییرات بارش این منطقه موثر است. بررسی‌های دقیق‌تر نشان می‌دهد که النینو با انتقال سریع فاز برای پیش بینی بارش تابستانه اهمیت بیشتری دارد [۱۲]. همچنین در مطالعه سال ۲۰۱۹ در کشور چین، نتایج نشان می‌دهد که تغییر در زمان رخ داد النینو و اثر متقابل آن با ناهنجاری‌های آنتی سکلون‌های ایجاد شده در شمال شرق اقیانوس آرام باعث تغییرات در میزان بارش در قسمت‌های مختلف چین شده است [۲۷].

تاکنون تأثیر سیگنال‌های هواشناسی بر بارش، خشکسالی و سایر پارامترهای اقلیمی مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. اما مطالعات و تمرکز کمتری در رابطه با ارتباط و پیش‌بینی بارش‌های فصلی بر مبنای سیگنال‌های هواشناسی در مناطق خشک و فراخشک مانند یزد صورت گرفته است. در پژوهش حاضر به منظور تعیین ارتباط و همبستگی سیگنال‌های هواشناسی با بارش در منطقه خشک و فراخشک یزد، ارتباط بین بارش فصلی در این ایستگاه با سیگنال‌های هواشناسی مورد بررسی قرار گرفته است. در رابطه با انتخاب مقیاس زمانی فصلی باید گفت که به‌طور کلی پدیده آنسو در مقیاس فصلی نسبت به ماهانه بر بارش‌های ایران رابطه مشخص‌تری دارد. روابط میان بارش ماهانه ایران و آنسو پیچیده است. هر چند که تحقیقات گسترده و بیشتری برای تعیین ارتباط از راه دور^۴ سیگنال‌های هواشناسی و بارش در مناطق خشک مورد نیاز است، ولی نتایج حاصل از تحقیق حاضر می‌تواند کاربرد گسترده‌ای در زمینه پیش‌بینی فصلی بارش در

رابطه پیدا نموده‌اند. تحقیقات زیادی نشان از اثر این سیگنال‌ها بر میزان بارش مناطق مختلف دارد [۱۲] حتی تاثیرات آن بر میزان آلودگی هوا و غلظت آئروسول‌های در هوا نیز ثابت شده است [۲۵]. سیگنال‌های هواشناسی که در اثر تغییرات میدان‌های فشار در مناطق مختلف زمین شناخته شده‌اند، می‌توانند با تغییر توزیع فشار در سطح زمین، الگوهای بارش و به ویژه دمای سطح زمین را تعیین کنند [۱۸]. از مهمترین این سیگنال‌ها می‌توان به NAO، ENSO، MAE و SOI، NINO3، NINO4، NINO3.4، NINO1+2 اشاره نمود. هر کدام از این سیگنال‌ها یا پدیده‌های هواشناسی، اقلیم بخش‌های مختلفی از کره زمین را تحت کنترل دارند. پدیده آنسو اقلیم بیشتر نقاط جهان به ویژه منطقه حاره را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۷]. پدیده نائو اقلیم منطقه اروپا و خاورمیانه و همچنین اقیانوس اطلس شمالی را تحت کنترل داشته و موجب تغییراتی در رخداد پدیده‌های حدی این مناطق می‌شود [۲۱]. آنسو^۱ ترکیبی از دو واژه النینو^۲ و نوسان جنوبی^۳ است. جرکنز (۱۹۹۶) متوجه شد که ارتباط نزدیکی بین النینو و نوسان جنوبی وجود دارد و در واقع آن‌ها جنبه‌هایی متفاوت از یک پدیده هستند [۳]. تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که تغییر بارش‌ها و وقوع خشکسالی‌ها در بسیاری از مناطق جهان تحت تأثیر پدیده آنسو است [۶]. آنسو مربوط به نوسانات میان فاز گرم (El Nino) که شامل گرم شدن بیش از حد نرمال آب‌های اقیانوس آرام در مرکز و مناطق شرقی است و همچنین فاز سرد (La Nina) که شامل سرد شدن این آب‌ها و متعاقب آن ایجاد چرخش‌هایی در اتمسفر می‌شود [۹ و ۲۴]. تاکنون مطالعات بسیار زیادی در رابطه با بررسی ارتباط بین سیگنال‌های هواشناسی و تغییرات بارش، خشکسالی، دمای هوا، آلودگی هوا و حتی پدیده تیرگی هوا در مناطق مختلف جهان و همچنین ایران انجام شده است [۱، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۲۰، ۲۲]. مطالعه پژوهشگران در سال ۲۰۰۴ به کاهش بارندگی پاییزه ایران در فاز لانینا اشاره دارد [۱۹]. محققین بیان می‌دارند که ارتباط محسوس بین نوسانات

1- ENSO

2- El Nino

3- Southern Oscillation

4- Tele-connection

NINO3.4، داده‌های NAO و داده‌های SOI می‌باشند که از سایت مرکز تحقیقات زمین⁵ NOAA اقتباس گردیده‌اند. در ادامه هر یک از این داده‌ها تشریح می‌شوند.

داده‌های شاخص چند متغیره انسو یا MEI

MEI یا شاخص چند متغیره انسو بیانگر اولین مؤلفه اصلی بدون چرخش (PC) شش پارامتر اقلیمی [۲۳] فشار سطح دریا، مؤلفه زناری باد سطحی، مؤلفه نصف النهار باد سطحی، دمای سطح دریا، دمای هوای سطحی، اصطکاک در میزان ابرناکی کل آسمان است. به دلیل کثرت عناصر مورد استفاده در ساختار MEI، شاخص مذکور ماهیت به هم پیوسته و پیچیده سامانه جوی-اقیانوسی انسو را بهتر از شاخص‌های دیگر بیان می‌نماید. ماهیت داده‌های MEI به صورت میانگین دو ماهه است. داده‌های فصلی از داده‌های MEI استخراج گردید.

داده‌های NINO's SST

به‌عنوان شاخص ENSO، سری زمانی ماهانه دمای سطح آب^۶، اقیانوس آرام برای چهار منطقه NINO1+2، NINO3، NINO4 و NINO3.4 از پایگاه اطلاعاتی NOAA تهیه شد. همانند داده‌های بارش، این سری‌های زمانی نیز به سری زمانی فصلی تبدیل شدند. در اینجا نیز ماه‌های مربوط به هر فصل مطابق با ماه‌های در نظر گرفته شده برای تعیین بارش‌های فصلی تعیین گردید. بنابراین، برای هر منطقه چهار سری زمانی فصلی تهیه و در مجموع ۱۶ سری زمانی فصلی از داده‌های مربوط به ENSO تولید شد. همچنین از سری‌های فصلی NINO's SST، سری‌های استاندارد شده نیز تهیه شد.

داده‌های NAO

NAO^۷ یکی از نوسانات اقلیمی با مقیاس بزرگ خارج از محدوده گرمسیری است [۲]. NAO در مرکز حوزه اقیانوس اطلس شمالی واقع شده و بیانگر نوسانات

مناطق خشک یزد و همچنین ارتباط بین سیگنال‌های هواشناسی با بارش فصلی در این مناطق باشد.

مواد و روش‌ها

در این بخش ابتدا داده‌های مورد استفاده تشریح شده‌اند. سپس نحوه استفاده و تعیین ضریب همبستگی بین داده‌های فصلی بارش با سیگنال‌های هواشناسی مذکور، بیان گردیده و در نهایت، به بحث پیش‌بینی‌ها با استفاده از استفاده از روش رگرسیون بر مبنای مدل حداقل مربعات جزئی^۱ پرداخته شده است.

داده‌های بارش

داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک یزد از طریق سایت سازمان هواشناسی کل کشور^۲ و در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۷ به صورت ماهانه تهیه گردید. از آنجا که هدف، بررسی اثر تغییر سیگنال‌های هواشناسی بر بارش‌های فصلی در ایستگاه سینوپتیک یزد بود، داده‌های ماهانه به داده‌های فصلی تبدیل شدند. در رابطه با بارش مقادیر فصلی بارش زمستان از جمع بارش در ماه‌های میلادی ژانویه، فوریه و مارچ بدست آمد. بارش فصل بهار از مجموع بارش در ماه‌های آوریل، می و ژوئن، بارش تابستان از مجموع بارش ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر و در نهایت بارش فصل پاییز شامل مجموع بارش در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر در نظر گرفته شد. همچنین سری‌های استاندارد شده بارش فصلی^۳ مربوط هر فصل نیز تهیه گردید. این سری‌ها از بارش‌های فصلی و از طریق کسر میانگین داده‌های هر سری و تقسیم بر انحراف معیار^۴ آن‌ها به‌دست آمدند.

داده‌های سیگنال‌های هواشناسی

سیگنال‌های هواشناسی مورد استفاده در این تحقیق، داده‌های شاخص چندمتغیره انسو یا MEI، داده‌های NINO's SST شامل NINO1+2، NINO3، NINO4 و

1- PLSR

2- www.weather.com

3- Standardized Precipitation, SP

4- Standardization

5- <http://www.esrl.noaa.gov/>

6- Sea Surface Temperature, SST

7- North Atlantic Oscillation

متغیر زمان (t) در یک سری زمان برابر $t = 1, 2, 3, \dots, N$ باشد و N برابر طول یا تعداد داده‌ها باشد، آنگاه:

$$\begin{matrix} MEIwint_t & MEIspr_t & \dots & Psum_{t+1} & Paut_{t+1} \\ MEIwint_{t+1} & MEIspr_{t+1} & \dots & Psum_{t+2} & Paut_{t+2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ MEIwint_{N-1} & MEIspr_{N-1} & \dots & Psum_N & Paut_N \end{matrix}$$

در سری دوم همین حالت برای سری‌های استاندارد شده فصلی بکار برده شد در حالت سوم، تأخیر بین سری‌ها برداشته و سپس ماتریس همبستگی بین آن‌ها بدست آمد.

پیش‌بینی بارش فصلی با استفاده از PLSR

با استفاده از روش رگرسیون بر مبنای مدل حداقل مربعات جزئی، به پیش‌بینی بارش فصلی پرداخته شد. PLSR تکنیکی است که از مجموعه داده‌های ورودی (X_1, X_2, \dots) برای تعیین تخمین‌گرها^۲ استفاده می‌کند. در واقع این تکنیک، ورودی‌ها یا تخمین‌گرهای جدیدی تولید می‌نماید که با عنوان مؤلفه‌ها^۳ شناخته می‌شوند که این مؤلفه‌ها ترکیبی خطی از داده‌های ورودی اصلی می‌باشند. سپس PLSR ارتباط بین مؤلفه‌ها را با ورودی (Y) برقرار می‌سازد [۱۱].

در واقع مدل PLSR روشی است که بین رگرسیون چند متغیره خطی^۴ و روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی^۵ قرار می‌گیرد [۱۷]. MLR ترکیبی را از ورودی‌ها تعیین می‌نماید که بتواند بیانگر بهترین تخمین از خروجی یا Response باشد. PCA ترکیبی از ورودی‌های جدید را ایجاد می‌نماید به نحوی که این ورودی‌ها در مؤلفه‌های اولیه بیشترین واریانس داده‌ها را شامل گردد. خروجی یا Response در این روش مورد توجه قرار نمی‌گیرد و فقط تعیین مؤلفه‌های اصلی بر مبنای ورودی‌ها (Xها) صورت می‌پذیرد. این در حالی است که PLSR ترکیبی از مؤلفه‌های جدید از ورودی‌ها را ایجاد می‌نماید به نحوی که بیشترین کواریانس را با خروجی یا Response داشته

الاکلنگی بین مرکز کم فشار ایسلند و مرکز پرفشار نزدیک آزریز^۱ است [۱۷].

داده‌های SOI

همانند داده‌های مربوط به SST، داده‌های SOI که نماینده نوسان‌های جنوبی است به عنوان شاخص دیگری از ENSO، از پایگاه اطلاعاتی NOAA بدست آمد. سری‌های فصلی این شاخص نیز از داده‌های ماهانه تهیه شد. داده‌های SOI خود به صورت استاندارد شده هستند و نیازی به استاندارد کردن آن‌ها نیست.

بررسی ارتباط بین سری‌های فصلی بارش و

سیگنال‌های هواشناسی

برای تعیین ارتباط بین سری‌های فصلی بارش یزد و سیگنال‌های هواشناسی، از شاخص همبستگی R استفاده شد.

$$R = \frac{\sum PO - \frac{\sum P \sum O}{n}}{\sqrt{\left[\sum P^2 - \frac{(\sum P)^2}{n} \right] \left[\sum O^2 - \frac{(\sum O)^2}{n} \right]}} \quad (1)$$

در این شاخص، p و o مقادیر دو سری زمانی هستند که تعیین همبستگی بین آن‌ها مدنظر است. همچنین n برابر تعداد داده‌های یکی از سری‌های زمانی p یا o است. بر مبنای همین شاخص، ماتریس همبستگی بین پارامترهای مختلف مورد بررسی در این تحقیق تشکیل شد.

لازم به ذکر است که در کل سه ماتریس همبستگی تشکیل گردید. ماتریس همبستگی اول بین سری‌های زمانی بارش و سیگنال‌های هواشناسی با یک سال تأخیر برقرار شد. به عبارت بهتر، اگر t زمان حاضر فرض شود، بارش‌های فصلی در زمان t در مقابل سیگنال‌های هواشناسی در زمان t-1 قرار داده شدند و بدین ترتیب همبستگی سری زمانی بین آن‌ها برقرار گردید. اگر

2- Predictors

3- Components

4- Multiple Linear Regression, MLR

5- Principle Components Analysis, PCA

1- Azores

برآورد نمود. شاخص نش - ساتکلیف یا NS یک شاخص نرمال شده بین ۱ تا منفی بی نهایت است. مقادیر به سمت یک نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل است. مقادیر هر چه کوچکتر می‌شوند حاکی از آن است که دقت مدل در برآوردها مناسب نیست.

نتایج

جدول شماره ۱ نشان‌دهنده ضرایب همبستگی بین مقدار بارش فصلی و سیگنال‌های هواشناسی فصلی در سال قبل است. البته ماتریس همبستگی معمولاً به صورت یک ماتریس مربعی نمایش داده می‌شود. ولی از آنجا که در رابطه با پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق، یک ماتریس مربعی ۳۲ در ۳۲ تولید می‌شود، برای رعایت اختصار، تنها مقادیر همبستگی بارش فصلی با سیگنال‌های هواشناسی ارائه شده است. در این جدول سیگنال‌های هواشناسی به صورت اختصار نمایش داده شده‌اند. برای مثال، MW نشان‌دهنده پارامتر MEI در فصل زمستان (زمستان سال قبلی) است. به همین صورت، MSp، MSu و MA به ترتیب نشان‌دهنده پارامتر MEI در فصل بهار، تابستان و پاییز سال قبلی است. در این جدول، بعد از پارامتر MEI، N نشان‌دهنده NAO، S، نمایانگر SOI، ۲+۱ مربوط به NINO1+2، ۳ نمایانگر NINO3، ۴ نشان‌دهنده NINO4، و ۳.۴ مربوط به NINO3.4 است. همان گونه که در این جدول مشخص است، همبستگی مثبت و یا منفی کاملی وجود ندارد. البته این موضوع کاملاً بدیهی است. چرا که مقادیر همبستگی ارائه شده در آن بخشی از ماتریس مربعی کل است که تنها ارتباط سیگنال‌های هواشناسی را با بارش فصلی مشخص می‌نماید.

همچنین این جدول نشان می‌دهد که مقادیر همبستگی قابل توجهی بین بارش فصل زمستان با مقادیر فصلی سیگنال‌های هواشناسی MW، SW، 1+2W و 3W (سیگنال‌های هواشناسی در سال قبل) وجود دارد. حداکثر ضریب همبستگی مربوط به 1+2W برابر ۰/۶۸+ می‌شود. گفتنی است این مقدار برای SW برابر ۰/۶۱- می‌باشد که نشان‌دهنده رابطه معکوس این پارامتر با بارش فصل زمستان است.

باشد. بنابراین PLSR ترکیب اطلاعات واریانس در رابطه با تخمین‌گرها و همچنین خروجی را مد نظر قرار می‌دهد و همچنین در کنار آن به همبستگی^۱ بین تخمین‌گرها و همچنین خروجی نیز توجه می‌نماید.

در این پژوهش پیش‌بینی بارش فصلی با استفاده از PLSR در نرم افزار MATLAB، انجام پذیرفت. در مرحله قبل جهت تعیین مقادیر همبستگی سه ماتریس فصلی اولیه تولید شد که دو ماتریس که دارای یک سال تأخیر بین سیگنال‌های هواشناسی و بارش فصلی بودند برای این منظور مورد استفاده قرار گرفتند (ماتریس داده‌های اولیه با یک سال تأخیر و همچنین ماتریس مقادیر استاندارد شده با یک سال تأخیر)

ارزیابی مدل

برای ارزیابی پیش‌بینی‌های مدل از ضریب همبستگی R (رابطه ۱)، شاخص RMSE (رابطه ۲) و نش - ساتکلیف (رابطه ۳) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$Nash = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{Avr})^2} \quad (3)$$

که در این روابط P و O به ترتیب مقادیر تخمین زده شده و همچنین واقعی می‌باشند. معمولاً از چند شاخص ارزیابی برای بررسی عملکرد مدل استفاده می‌شود. چرا که هر شاخص ارزیابی کارکرد و البته قابلیت و محدودیت‌های خاص خود را دارد. مقادیر همبستگی R بین ۱- تا ۱ متغیر است. در صورتی که مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده با یکدیگر تطابق کامل داشته باشند، ضریب همبستگی R برابر با ۱ می‌شود. البته میزان میانگین خطای برآوردها را می‌توان با استفاده از شاخص RMSE

1- Correlation

جدول ۱- مقادیر همبستگی بین بارش فصلی و سیگنال‌های هواشناسی در ایستگاه هواشناسی یزد

1+2Sp	1+2W	SA	SSu	SSp	SW	NA	NSu	NSp	NW	MA	MSu	MSp	MW	
۰/۳۶	۰/۶۸	۰/۰۸	۰/۱۵	-۰/۱۳	-۰/۶۱	-۰/۲۰	۰/۱۸	-۰/۱۲	۰/۰۱	-۰/۱۲	-۰/۱۳	۰/۴۸	۰/۶۰	بارش زمستان
-۰/۰۸	-۰/۱۵	-۰/۳۵	-۰/۳۹	-۰/۲۲	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۰۳	-۰/۰۹	بارش بهار
-۰/۳۴	-۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۰۲	-۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۱۶	-۰/۱۴	بارش تابستان
-۰/۳۴	-۰/۳۶	۰/۶۱	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۳۴	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰۱	-۰/۰۶	-۰/۵۴	-۰/۴۲	-۰/۵۴	-۰/۳۶	بارش پاییز
3.4A	3.4Su	3.4Sp	3.4W	4A	4Su	4Sp	4W	3A	3Su	3Sp	3W	1+2A	1+2Su	
-۰/۱۷	-۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۲۹	-۰/۲۱	-۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۵۰	-۰/۱۷	-۰/۱۲	۰/۳۸	۰/۵۹	-۰/۰۸	-۰/۰۲	بارش زمستان
۰/۳۸	۰/۳۴	۰/۱۵	-۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۱۵	-۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۰۵	-۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۰۴	بارش بهار
۰/۰۲	-۰/۰۵	-۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۱	-۰/۰۴	-۰/۱۵	-۰/۱۶	-۰/۰۴	-۰/۰۹	-۰/۲۶	-۰/۱۶	-۰/۱۱	-۰/۱۷	بارش تابستان
-۰/۴۵	-۰/۴۷	-۰/۴۷	-۰/۳۳	-۰/۴۸	-۰/۴۲	-۰/۵۲	-۰/۳۸	-۰/۵۱	-۰/۳۹	-۰/۴۰	-۰/۳۸	-۰/۵۸	-۰/۴۱	بارش پاییز

استانداردسازی و بدون ایجاد تأخیر در سری‌های زمانی است. همان‌طور که در این تصویر مشخص است، همبستگی‌های بارش در فصل پاییز و تابستان با سیگنال‌های هواشناسی قابل توجه است. همچنین بارش فصل پاییز و شاخص MEI در فصل زمستان رابطه منفی را نشان می‌دهد.

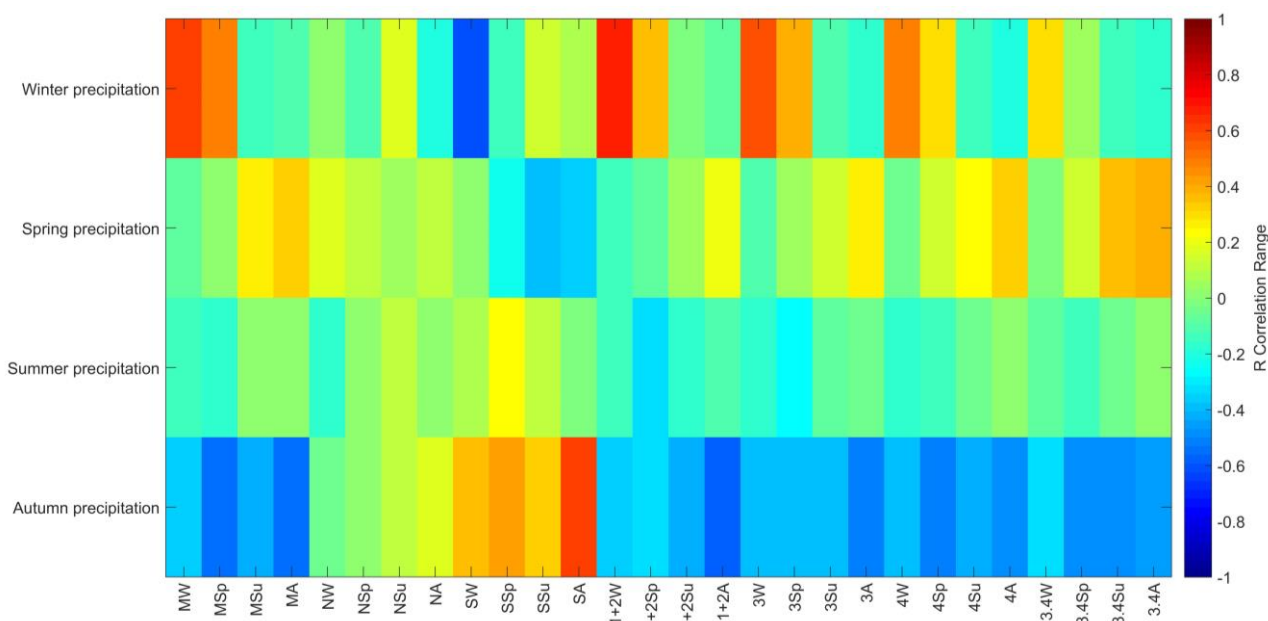
شکل‌های ۳ تا ۵ مربوط به پیش‌بینی فصلی بارش با استفاده از داده‌های سیگنال‌های هواشناسی و کاربرد روش PLSR است. در این شکل‌ها، scatter plot و سری زمانی مقادیر پیش‌بینی شده بارش فصلی در مقابل مقادیر واقعی با استفاده از روش PLSR نمایش داده شده‌اند. همچنین مقادیر RMSE و نش - ساتکلیف (NS) برای پیش‌بینی هر فصل در نمودارهای سری زمانی و مقادیر همبستگی (R) در scatter plot ها نمایش داده شده‌اند. شکل ۳ نشان‌دهنده فرآیند تخمین بارش فصلی بر مبنای ماتریس داده‌های اولیه بدون استانداردسازی و با یک سال تأخیر است. بارش‌های فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز با مقدار RMSE به ترتیب برابر با ۱۲، ۹/۹، ۰/۸۵ و ۶/۲ میلی‌متر تخمین زده شده‌اند. شاخص NS برای فصول مذکور به ترتیب برابر با ۰/۶۹، ۰/۲۲، ۰/۲ و ۰/۷۲ است. مقادیر R برای این فصل‌ها به ترتیب برابر با ۰/۸۳، ۰/۴۶، ۰/۴۵ و ۰/۸۵ بوده است.

برای تجزیه و تحلیل بهتر، مقادیر همبستگی در جدول ۱ به صورت یک تصویر نمایش داده شده است (شکل ۱). در این تصویر، همبستگی‌های قوی مستقیم با رنگ تند رو به قرمز و همبستگی‌های قوی ولی به صورت معکوس با رنگ رو به آبی نمایش داده شده‌اند. همان‌گونه که در این تصویر هم دیده می‌شود، همبستگی‌های قابل توجه بین بارش فصلی زمستان با سایر سیگنال‌های هواشناسی مشهود است.

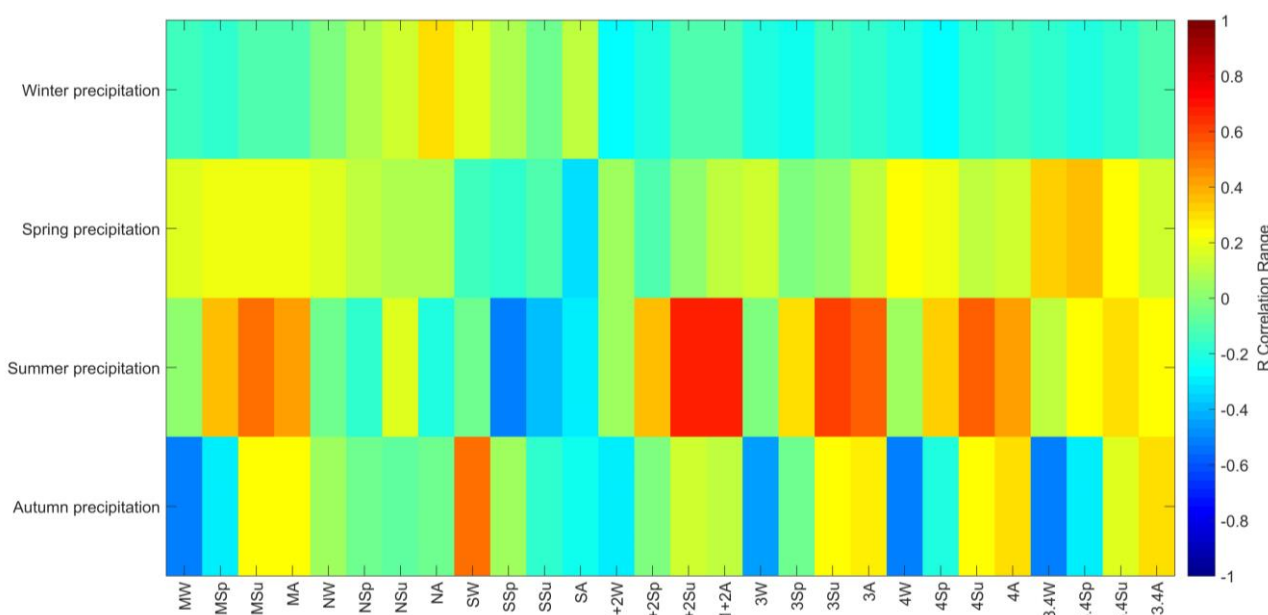
میزان همبستگی‌ها در وهله اول مربوط به سیگنال‌های هواشناسی در فصل زمستان و مرتبه بعدی سیگنال‌های مربوط به فصل پاییز است. رنگ آبی پارامتر SW که مربوط به سیگنال SOI در فصل زمستان قبل است حاکی از ارتباط قوی ولی معکوس با بارش زمستان سال بعد است. همان‌گونه که این تصویر نشان می‌دهد، بارش در فصل بهار و تابستان همبستگی به مراتب ضعیفتری را با سیگنال‌های هواشناسی در سال قبل ارائه می‌نماید.

همبستگی بین مقادیر استاندارد شده بارش‌های فصلی و سیگنال‌های هواشناسی همانند اطلاعات جدول شماره ۱ و متعاقباً شکل شماره ۱ است. در واقع بعد از استاندارد کردن داده‌ها تغییراتی در ماتریس همبستگی ایجاد نخواهد شد.

شکل شماره ۲ نشان‌دهنده مقادیر همبستگی بین بارش‌های فصلی و سیگنال‌های هواشناسی بدون



شکل ۱- مقادیر همبستگی بین مقادیر بارش‌های فصلی و سیگنال‌های هواشناسی با یک سال تأخیر که در قالب یک تصویر نمایش داده شده‌اند. رنگ‌های رو به قرمز نشان‌دهنده همبستگی مثبت و رنگ‌های رو به آبی بیانگر همبستگی منفی یا معکوس است.



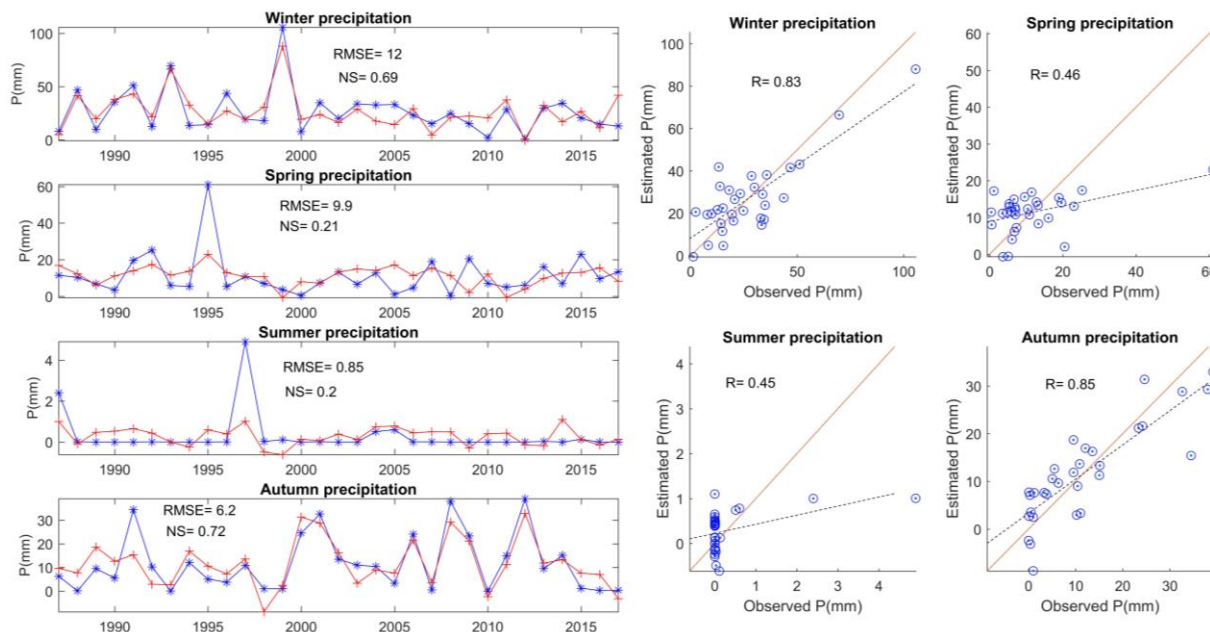
شکل ۲- مقادیر همبستگی بین مقادیر بارش‌های فصلی و سیگنال‌های هواشناسی بدون تأخیر که در قالب یک تصویر نمایش داده شده‌اند. رنگ‌های رو به قرمز نشان‌دهنده همبستگی مثبت و رنگ‌های رو به آبی بیانگر همبستگی منفی یا معکوس است.

بنابراین، RMSE آن‌ها دارای بعد و واحد نیست. شاخص NS برای این فصول به ترتیب برابر با ۰/۲۳، ۰/۲۲ و ۰/۷ است. مقادیر R برای این فصل‌ها به ترتیب برابر با ۰/۸۵، ۰/۴۸، ۰/۴۷ و ۰/۸۴ بوده است. شکل ۵، مقادیر تخمین بارش فصلی در مقابل مقادیر واقعی با استفاده از روش PLSR بر مبنای ماتریس داده‌های اولیه بدون استانداردسازی و بدون ایجاد یک سال تأخیر را نمایش

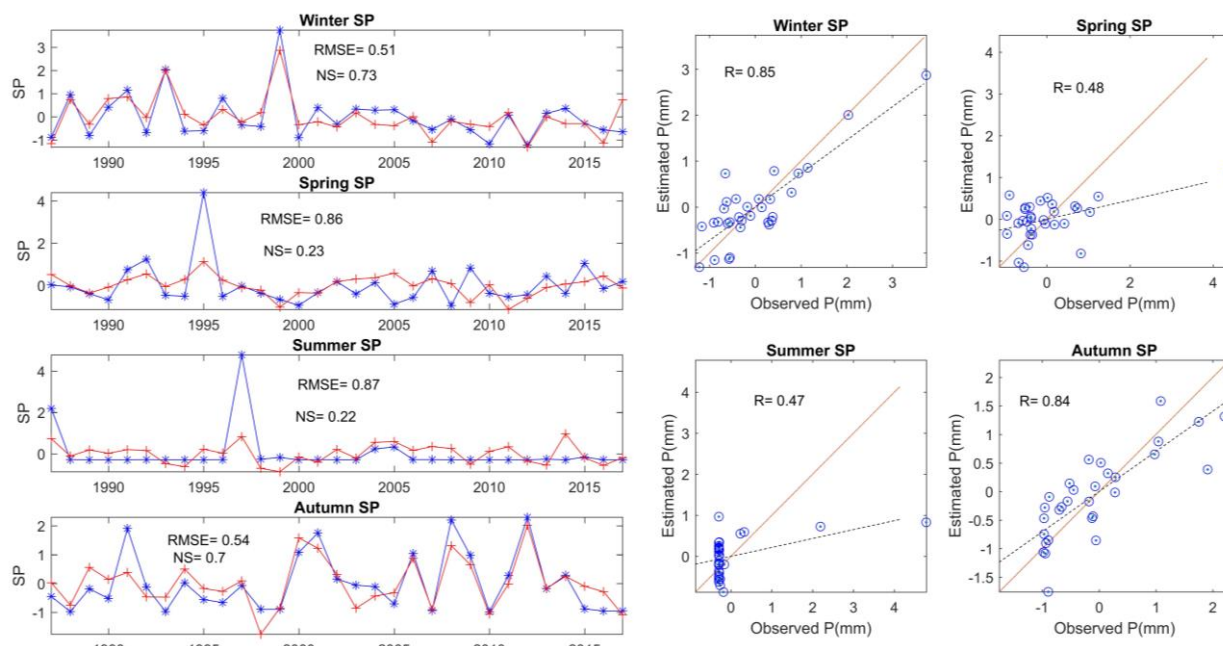
شکل ۴ مقادیر تخمین بارش استاندارد شده فصلی در مقابل مقادیر واقعی با استفاده از روش PLSR بر مبنای ماتریس داده‌های اولیه با استانداردسازی و یک سال تأخیر را نمایش می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که بارش‌های فصل زمستان، تابستان، بهار و پاییز با مقدار RMSE به ترتیب برابر با ۰/۵۱، ۰/۸۶، ۰/۸۷ و ۰/۵۴ تخمین زده شده‌اند. از آنجا که مقادیر استاندارد شده‌اند،

۰/۲۶، ۰/۶۸ و ۰/۵ است. ضرایب همبستگی (R) برای این فصل‌ها به ترتیب برابر با ۰/۵۱، ۰/۵۱، ۰/۸۲ و ۰/۷۱ بوده است.

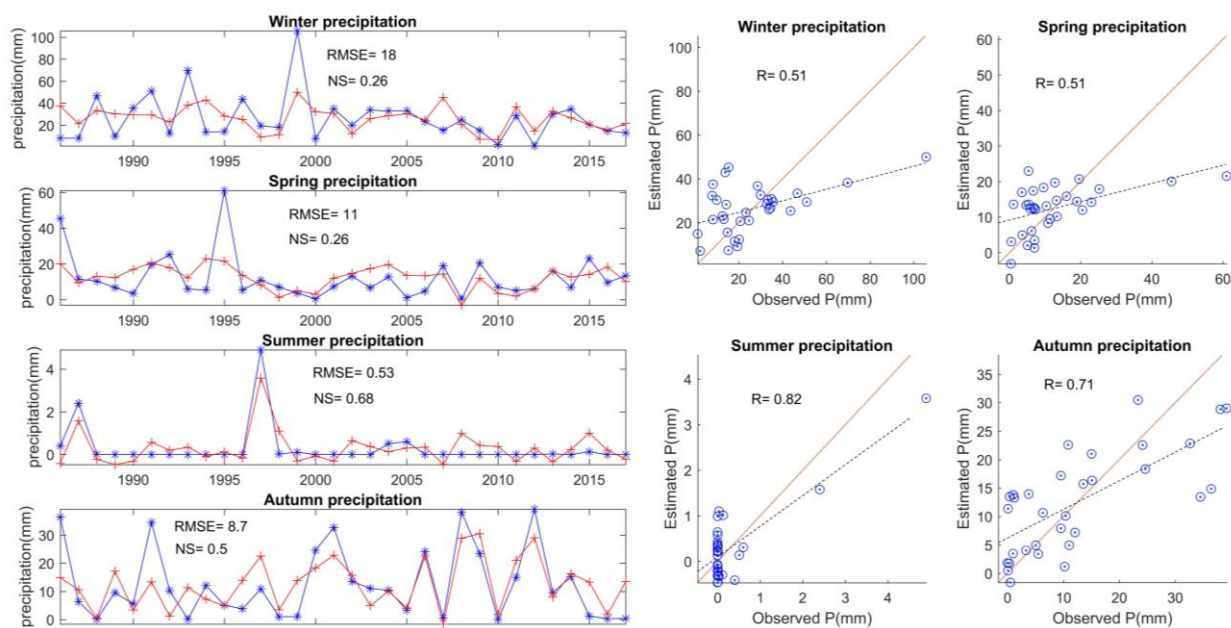
می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که بارش‌های فصل زمستان، تابستان، بهار و پاییز با مقدار RMSE به ترتیب برابر با ۱۸، ۱۱، ۰/۵۳ و ۸/۷ میلیمتر تخمین زده شده‌اند. شاخص NS برای این فصول به ترتیب برابر با ۰/۲۶،



شکل ۳- Scatter plot و سری زمانی مقادیر پیش‌بینی شده بارش فصلی در مقابل مقادیر واقعی با استفاده از روش PLSR بر مبنای ماتریس داده‌های اولیه بدون استانداردسازی و با یک سال تأخیر. در نمودار سری‌های زمانی، خطوط آبی رنگ با علامت ستاره نشان دهنده مقادیر واقعی و خطوط قرمز همراه با علامت مثبت +، نشان دهنده مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشند. همچنین مقادیر RMSE و NS برای پیش‌بینی هر فصل در نمودارهای سری زمانی و مقادیر همبستگی در scatter plotها نمایش داده شده‌اند.



شکل ۴- Scatter plot و سری زمانی مقادیر پیش‌بینی شده بارش استاندارد شده فصلی در مقابل مقادیر واقعی (استاندارد شده) با استفاده از روش PLSR بر مبنای ماتریس داده‌های اولیه با استاندارد سازی و یک سال تأخیر. توضیحات همانند شکل ۳.



شکل ۵- scatter plot و سری زمانی مقادیر پیش‌بینی شده بارش فصلی در مقابل مقادیر واقعی با استفاده از روش PLSR بر مبنای ماتریس داده‌های اولیه بدون استاندارد سازی و بدون تأخیر. توضیحات همانند شکل ۴.

بحث و نتیجه‌گیری

تاکنون مطالعات کمی در رابطه با ارتباط و پیش‌بینی بارش بر مبنای سیگنال‌های هواشناسی در مناطق خشک و فراخشک مانند یزد صورت گرفته است. نتایج این مطالعه در وهله اول نشان‌دهنده ارتباط بین بارش فصلی و سیگنال‌های هواشناسی در ایستگاه سینوپتیک یزد است. البته، این همبستگی به مراتب در رابطه با بارش زمستانه و ارتباط با سیگنال‌های هواشناسی به‌خصوص $NINO3$ ، $NINO_{1+2}$ ، SOI ، MEI ، $NINO3.4$ در فصل زمستان و با یک سال تأخیر، قوی‌تر نشان داده شد. همچنین در رابطه با فصل زمستان، همبستگی بارش این فصل با سیگنال‌های هواشناسی در فصل زمستان و پاییز سال قبل همبستگی قابل توجهی مشاهده گردید.

رابطه معکوس بارش با SOI این نتایج با یافته‌های معتمدی و همکاران (۲۰۰۷) تطابق دارد. آن‌ها نشان دادند که میانگین همبستگی سالانه بارندگی با SOI و میانگین همبستگی سالانه دما با SOI در سطح استان خراسان منفی است که نشان‌دهنده آن است که با کاهش مقادیر SOI (منفی شدن SOI) یا به عبارتی

دیگر فعال شدن فاز گرم $ENSO$ میزان بارندگی و دمای سالانه سطح استان (به ویژه نوار مرکزی) افزایش می‌یابد.

مطالعات خورشید دوست و قوی دل (۱۳۸۵) نشان‌دهنده ارتباط مثبت بین شاخص چند متغیره انسو (MEI) و بارش ایستگاه‌های آذربایجان شرقی است که در بین فصول چهارگانه میزان همبستگی فقط در فصل پاییز معنادار بوده و در سایر فصول همبستگی معنی‌داری بین پدیده بارش و پدیده‌های ال نینو یا لانینا مشاهده نگردید. این نتایج مطابق با یافته‌های تحقیق حاضر است. شکل شماره ۳ که همبستگی بین مقادیر بارش های فصلی و سیگنال‌های هواشناسی را بدون تأخیر نمایش می‌دهد، در برگزیده این موضوع است که بین شاخص‌های فصلی چند متغیره انسو و بارش، همبستگی بیشتری بین بارش پاییز همچنین شاخص چند متغیره انسو در فصل پاییز مشاهده می‌شود.

همچنین مطالعات شیرمحمدی و همکاران (۲۰۱۲) نشان می‌دهد که در استان خراسان رضوی و جنوبی، بین درجه حرارت سطح اقیانوس در ناحیه نینو ۳.۴ و

همین حالت برای فصل پاییز در سطح سوم داده‌ها قابل مشاهده است. البته این تفاوت‌ها چندان چشمگیر نیست. در هر سه سطح پیش‌بینی فرآیند بارش، سری‌های زمانی پیش‌بینی شده و سری‌های زمانی واقعی تا حدودی با یکدیگر تطابق دارند. به عبارتی بهتر مدل توانسته است بعضی تضاریس را پیش‌بینی نماید، اما در تمام موارد این موضوع صادق نیست و برآورد بیش از مقادیر واقعی^۱ و همچنین کمتر از حد واقعی^۲ نیز در طول سری‌های زمانی قابل مشاهده است.

البته بدیهی است که برآورد ۱۰۰ درصد و کامل مدل مورد انتظار نیست، اما شاید بتوان با جستجوی بیشتر در ارتباط بین داده‌های با مقیاس زمانی متفاوت (ماهانه، فصلی و سالانه) و همچنین بسط تعیین ارتباطات از یک نقطه (ایستگاه هواشناسی) به سطح (برای مثال در نظر گرفتن چند ایستگاه در سطح استان) و تحلیل مکانی شبیه‌سازی‌ها و همچنین ضرایب همبستگی در مقیاس مکانی بزرگتر، همچنین استفاده از سایر روش‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی به خصوص روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نتایج با اطمینان بالاتری را بدست آورد.

اهمیت پیش‌بینی بارش در مناطق خشکی مانند یزد که محدودیت منابع آب یکی از ویژگی‌های بارز آن است بر کسی پوشیده نیست. بر مبنای چنین پیش‌بینی‌هایی است که می‌توان با اطمینان بیشتری به برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب و توسعه اقدامات بیولوژیک در حوزه‌های آبخیز پرداخت، به نوعی که تا حد ممکن از ریسک و خطر اجرای برنامه‌ها بدون در نظر گرفتن پیش‌بینی بارش‌ها کاسته شود.

شاخص‌های حدی بارش ارتباط قوی وجود دارد که این ارتباط در فصول مختلف سال و شاخص‌های حدی متفاوت می‌باشد.

در شاخص‌های بارش‌های بهاره و پاییزه بیشترین همبستگی شاخص‌ها در وقفه زمانی یک ماهه به دست آمده است اما در شاخص‌های زمستانه بیشترین همبستگی شاخص‌ها در وقفه زمانی یک سال قبل بود. این نتایج با یافته‌های تحقیق حاضر در تطابق است. اگر چه متوسط بارش فصلی در این تحقیق مد نظر بوده است و مطالعه شیرمحمدی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی مقادیر حدی پرداخته است، ولی یافته‌های تحقیق حاضر نشان می‌دهد که برای پیش‌بینی بارش زمستان داده‌های یک سال تأخیر از همبستگی بیشتری برخوردار هستند، این در حالی است که بدون در نظر گرفتن تأخیر، بارش فصل پاییز همبستگی بیشتری را نشان داد.

از طرفی دیگر، با استفاده از روش رگرسیون بر مبنای مدل حداقل مربعات جزئی (PLSR) و با استفاده از داده‌های با تأخیر یک سال سیگنال‌های هواشناسی فصلی، بارش‌های فصلی و همچنین بارش استاندارد شده فصلی تخمین زده شد. نتایج نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در تخمین بارش شاخص استاندارد شده خصوصاً در فصل زمستان بود. می‌توان گفت که PLSR در مقابل سطوح سه گانه تعریف شده برای داده‌های ورودی یعنی داده‌های با یک سال تأخیر، داده‌های با یک سال تأخیر و استاندارد شده و همچنین داده‌های بدون ایجاد تأخیر و استانداردسازی تقریباً نتایج یکسانی را ارائه داده است. با این حال وجود ضرایب همبستگی‌های قابل توجه بین سیگنال‌های هواشناسی و بارش یک فصل موجب افزایش دقت PLSR در برآورد مقادیر بارش می‌باشد. برای مثال در سطح داده‌های با ایجاد تأخیر یکساله که در فصل زمستان همبستگی‌های قابل توجهی بین سیگنال‌های هواشناسی و بارش زمستان مشاهده گردید، دقت برآورد مدل در فصل زمستان نسبت به داده‌های بدون ایجاد تأخیر و استانداردسازی (سطح سوم) شاخص‌های RMSE و نش _ ساتکلیف NS کمتر و R بیشتری را نمایش می‌دهد.

1- Overestimate
2- Underestimate

References

- [1]. Anderson, M.L., Kavvas, M.L. & Mierzwa, M.D. (2001). Probabilistic/ensemble forecasting: a case study using hydrologic response distributions associated with El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Hydrology* 249, 134-147.
- [2]. Barnston, A. & Livezey, R.E. (1987). Classification, seasonality and persistence of low-frequency circulation patterns, *Monthly Weather Review*, 115, 1083-1126.
- [3]. Bjerknes, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Monthly Weather Review*, 97, 163-172.
- [4]. Borgaonkar, H.P., Sikder, A.B., Ram, S. & Pant, G.B. (2010). El Niño and related monsoon drought signals in 523-year-long ring width records of teak (*Tectona grandis* L.F.) trees from south India, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 285, 74-84.
- [5]. Chiew, F.H.S., Piechota, T.C., Dracup, J.A. & McMahon, T.A. (1998). El Niño/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting, *Hydrology*, 204, 138-149.
- [6]. Dai, A. (2011). Drought under global warming: A review, Wiley Interdisciplinary Reviews, *Climate Change*, 2, 45-65.
- [7]. FAN, G., LV, F., Zhang, J. & FU, J. (2020). A possible way to extract a stationary relationship between ENSO and the East Asian winter monsoon, *Atmospheric and Oceanic Science Letters*.
- [8]. Faraway, J. & Chatfield, C. (1998). Time series forecasting with neural networks: a comparative study using the airline data, *Applied Statistics*, 47, 231-250.
- [9]. Gadgil, S., Rajeevan, M. & Francis, P.A. (2007). Monsoon variability: Links to major oscillations over the equatorial Pacific and Indian oceans, *Current Science*, 93, 182-194.
- [10]. Ganguli, P. & Reddy, M. (2013). Analysis of ENSO-based climate variability in modulating drought risks over western Rajasthan in India, *Earth System Science*, 122, 253-269.
- [11]. Gheiby, A. & Noorafshan, M. (2013). Case Study: ENSO Events, Rainfall Variability and the Potential of SOI for the Seasonal Precipitation Predictions in Iran. *Climate Change*, 2, 34-45.
- [12]. Hu, K., Liu, Y., Huang, G., He, Z. & Long, S. (2020). Contributions to the Interannual Summer Rainfall Variability in the Mountainous Area of Central China and Their Decadal Changes,

- Advances in Atmospheric Sciences*, 37, 259–268.
- [13]. Jones, J.W., Hansen, J.W., Royce, F.S. & Messina, C.D. (2000). Potential benefits of climate forecasting to agriculture, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82, 169-184.
- [14]. Kaastra, I. & Boyd, M.S. (1995). Forecasting futures trading volume using neural networks, *Futures Markets*, 15, 953–970.
- [15]. Khosravi, M., Ghayoor, H. & Kaviani, M.R. (2002). Impacts of El Nino/Southern Oscillation(ENSO) On The IRAN South East Summer and Autumnal precipitation Anomalies, 13th Conference on Applied Climatology.
- [16]. Maier, H.R. & Dandy, G.C. (2001). Neural network based modelling of environmental variables: A systematic approach, *Mathematical and Computer Modelling*, 33, 669-682.
- [17]. Matyasovszky, I. (2003). The relationship between NAO and temperature in Hungary and its nonlinear connection with ENSO, *Theoretical and Applied Climatology*, 74, 69–75.
- [18]. Moetamedi, M., Ehteramian, K. & Shahabfar, A. (2007). The Study of Teleconnection Between ENSO as a Weather Signals and Rain Fall and Temperature Fluctuation's of the Khorasan Province, *Environmental Sciences*, 4, 75-90.
- [19]. Nazemosadat, S.M.J. & Shirvani, A. (2004). The Application of CCA for the Assessment and Comparison of the Capability of SOI and Nino's SST for the Prediction of Winter Precipitation over the Caspian Sea Coasts. *Water and Soil Science*, 8, 11-25. (in Farsi)
- [20]. Ozger, M., Mishra, A.K. & Singh, V.P. (2009). Low frequency drought variability associated with climate indices. *Hydrology*, 364, 152-162.
- [21]. Shirmohammadi, Z., Ansari, H., Alizadeh, A. & Mohammadian, A. (2012). The Relationship Between ENSO Index and Seasonal Extreme Rainfalls in Khorasan Provinces, *Water and Soil Conservation*, 19:61-79. (in Farsi)
- [22]. Soltani, A. & Gholipour, M. (2006). Teleconnections Between El Nino/Southern Oscillation and Rainfall and Temperature in Iran, *International Agricultural Research*, 1, 603-608.
- [23]. Wolter, K. & Timlin, M.S. (2011). El Niño/Southern oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext), *international Climatology*, 31, 1074–1087.
- [24]. Yang, Y., Xie, N. & Gao, M. (2019). The Relationship between the Wintertime Cold Extremes over East Asia with

Large-Scale Atmospheric and Oceanic Teleconnections. *Atmosphere*, 10, 13.

[25]. Yu, X., Wang, Z., Zhang, H. & Zhao, S. (2019). Impacts of different types and intensities of El Niño events on winter aerosols over China, *Science of the Total Environment*, 655, 766–780.

[26]. Zare Abyaneh, H. & Bayat Varkeshi, M. (2011). Study of the number of rainy days and effect of ENSO phenomenon at the country level, *Water and Soil Conservation*, 19, 21-40. (in Farsi)

[27]. Zhou, X., Liu, F., Wang, B., Xiang, Xing, C. & Wang, H. (2019). Different responses of East Asian summer rainfall to El Niño decays, *Climate Dynamics*, 53, 1497–1515.

Seasonal Precipitation Forecasting Based on the Teleconnection with Weather Signals in Yazd Synoptic Station

- 1- M.R. Kousari, Assistant Professor in Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI)
- 2- E. Soheili, Assistant Professor in Department of Range and watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab., Shiraz university
soheili@Shirazu.ac.ir
- 3- Y. Niazi, PhD Graduated, College of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Iran.

Received: 27 Aug 2019

Accepted: 22 Feb 2020

Abstract

Precipitation forecasting has important role in water resource management especially in arid regions of Iran. This study aims to explore the relationships between the seasonal precipitation and weather signals such as NINO's SST including NINO1+2 .NINO3 .NINO4 , NINO3.4 and SOI as well as MEI and NAO. The correlation analysis was performed in two states involving the correlation analysis of weather signals with one year lag in seasonal precipitations and the correlation analysis without the lag. Also, precipitation forecasting was performed through using partial least squares regression (PLSR). Results showed that MEI, SOI, NINO1+2 .NINO3 and NINO3.4 have the most correlations with winter seasonal precipitation when the one year lag is performed. The most correlation refers to NINO1+2 equal to +0.68. This value for the SOI is -0.61 which exhibited the inverse correlation of winter precipitation with SOI in the past year. The time series without the lag showed the most correlation between the summer and autumn NAO and winter precipitation of the same year. Also, results indicated the acceptable performance of PLSR for precipitation forecasting. With the one year lag the winter, spring, summer and autumn precipitations were estimated with the RMSE equal to 12, 9.9, 0.85 and 6.2 mm, respectively. Also, the Nash–Sutcliffe (NS) model efficiency coefficient for the mentioned seasons is 0.69, 0.22, 0.2 and 0.72, respectively. The R correlation coefficients for these time series were equal to 0.83, 0.46, 0.45 and 0.85, respectively. In general, precipitation was predicted more accurately in the cold seasons. The development and use of such prediction models could make water resource management programs more successful.

Keyword: Teleconnection; ENSO; Arid regions; PLSR.