

کاربرد CCA به منظور ارزیابی و مقایسه توانایی SOI و Nino's SST در پیش بینی بارش زمستانه سواحل دریای خزر

سید محمد جعفر ناظم السادات و امین شیروانی^۱

چکیده

در ایران، حدود ۷۵٪ از تولیدات برنج داخلی در استان‌های گیلان و مازندران، که از پر بارش ترین نواحی کشورند، تهیه می‌شود. پیش‌بینی‌های فصلی بارش تأثیر مهمی در تولید محصول و کاهش خطرهای حوادث اقلیمی در این ناحیه حاصل خیز از کشور دارد. با به‌کارگیری مدل تحلیل هم‌بستگی متعارف (Canonical Correlation Analysis, CCA)، امکان پیش‌بینی بارش زمستانه این استان‌ها براساس وضعیت پدیده النینو-نوسانات جنوبی (ELNino-Southern Oscillation, ENSO) مورد ارزیابی قرار گرفت. سری‌های زمانی شاخص نوسان‌های جنوبی (Southern Oscillation Index, SOI) و دمای سطح آب در نینوها (Nino's SST) به‌عنوان پیشگو کننده‌ها و بارش در بندر انزلی و نوشهر به‌عنوان پیشگو شونده در نظر گرفته شدند. به‌منظور کاهش تعداد متغیرهای پیشگو کننده اولیه به تعداد معدودی از مؤلفه‌های اصلی از روش توابع متعامد تجربی (Empirical Orthogonal Function, EOF) استفاده گردید. از مجموع بیست سری زمانی پیش‌گوکننده، چهار مؤلفه اصلی (EOF1, EOF2, EOF3, EOF4) از مجموعه داده‌های پیشگو کننده که ۹۲٪ از کل واریانس این مجموعه داده‌ها را شرح می‌دادند، انتخاب شده و بقیه مؤلفه‌ها به‌عنوان اختلال (Noise) در نظر گرفته شدند. بر مبنای EOF های انتخاب شده و سری‌های زمانی بارش، مدل CCA برای پیش‌بینی بارش زمستانه بندر انزلی و نوشهر به‌کار برده شد. نتایج نشان داد که پیشگو کننده‌های در نظر گرفته شده در حدود ۴۵٪ از کل واریانس سری زمانی بارش را شرح می‌دهند. ضرایب هم‌بستگی بین مقادیر بارش مشاهده و شبیه‌سازی شده در سطح ۵٪ معنی دار بودند. در ۷۰٪ از موارد، علائم مقادیر نرمال دیده شده و شبیه‌سازی شده یکسان بودند که توانایی معقول مدل برای پیش‌بینی خشکسالی و ترسالی را نشان می‌دهد. در پیش‌بینی بارش، نوسان‌های Nino's SST (به‌خصوص Nino4) حدود ۱۰٪ موثرتر از SOI تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: CCA، بارش، ایران، دریای خزر، پیش‌بینی، زمستان، گیلان، مازندران، خشکسالی، ENSO، EOF، Nino، SST

۱. به ترتیب دانشیار و کارشناس ارشد مرکز مطالعات اقلیمی، گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

مقدمه

استان‌های گیلان و مازندران واقع در سواحل جنوبی دریای خزر پر بارش‌ترین نواحی کشور ایران می‌باشند. بر اساس آمار موجود در سایت اینترنتی وزارت جهاد کشاورزی، در سال‌های زراعی ۷۸-۷۹ و ۸۰-۷۹ به ترتیب حدود ۷۴٪ و ۷۸٪ از کل تولید برنج مملکت مربوط به این دو استان می‌باشد. علاوه بر برنج، استان‌های گیلان و مازندران نقش مهمی در امنیت غذایی کشور داشته، به طوری که بخش وسیعی از مواد غذایی تهران و نواحی اطراف در نواحی شمالی تولید می‌شود. شناسایی عوامل موثر بر نوسان‌های بارش در یک فصل و پیش‌بینی مقدار یا روند کلی آن از چند ماه قبل نقش بسزایی در عمران و آبادی و توسعه اقتصادی کشورها دارد، به همین دلیل در نواحی مختلف جهان تحقیقات زیادی در این زمینه در حال انجام است (۷). پیش‌بینی بارش، از اقدامات اساسی به منظور به حداقل رسانیدن تصمیم‌گیری‌های نسنجیده و فوری در هنگام وقوع حوادثی مانند سیل و خشک‌سالی می‌باشد. بدون پیش‌بینی‌های دراز مدت اقلیمی مدیریت منابع آب و خاک عموماً بر مبنای داخل شدن در بحران و تصمیم‌گیری در مواقع اضطراری استوار می‌باشد. پیش‌بینی دراز مدت بارش این امکان را فراهم می‌سازد که قبل از بحران بتوان راه‌های اجتناب از آن و یا به حداقل رساندن خسارات را بررسی نمود. متذکر می‌گردد که بارش از اصلی‌ترین عنصر اقلیمی بوده که افزایش یا کاهش آن سایر عوامل جوی - اقلیمی و نیز امور کشاورزی، دام‌پروری، شیلات، ساختمان سازی و صنعت توریسم را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

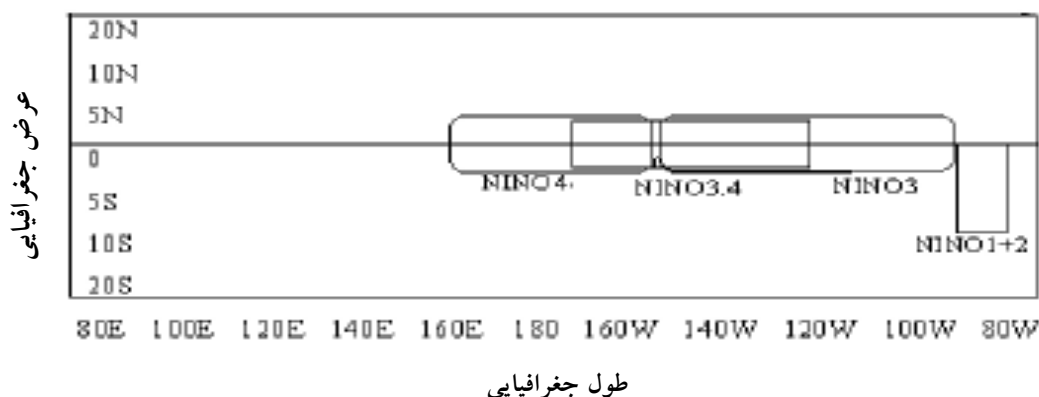
بنابراین، لازم است که وزارتخانه‌ها و سازمان‌هایی همچون وزارت جهاد کشاورزی، وزارت نیرو، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور و شرکت‌های بیمه مخصوصاً بیمه محصولات کشاورزی که خدمات آنها با قشر وسیعی از جامعه به طور مستقیم در ارتباط است پیش‌بینی‌های دراز مدت اقلیمی را مبنای بسیاری از تصمیم‌گیری‌های کلان خود قرار دهند.

ناظم السادات و کوردی (۱۳)، ناظم السادات (۱۲) با بررسی تأثیر پدیده ENSO بر بارش زمستانه ایران نشان دادند که در

مقایسه با سایر ایستگاه‌های کشور، دو ایستگاه بندر انزلی و نوشهر بیشترین حساسیت را به این پدیده دارند. توضیحات بیشتر در مورد پدیده ENSO، شاخص SOI و تأثیر آن بر بارش کشور توسط ناظم السادات (۱) ارائه شده است. علاوه بر بارش دو ایستگاه یاد شده، بارش زمستانه در برخی از نواحی شرقی کشور نیز به طور معنی داری متأثر از پدیده ENSO بود. در عین حال، به علت کمبود داده‌های مورد نیاز در شرق کشور و ضعیف تر بودن روابط استخراج شده در مقایسه با ایستگاه‌های بندر انزلی و نوشهر، بررسی حاضر توجه خود را تنها به ناحیه جنوبی دریای خزر معطوف نمود. با توجه به نقش اساسی که بارش شمال کشور در تولید برنج و امنیت غذایی مردم ایران دارد، بررسی بیشتر و دقیق تأثیر پدیده ENSO به منظور پیش‌بینی بارش این نواحی حائز اهمیت می‌باشد.

بررسی‌های انجام شده (۱۲) نشانگر آن است که تلفیق شاخص SOI و دمای سطح آب در ناحیه مرکزی اقیانوس آرام (Nino3.4) می‌تواند توانایی پیش‌بینی‌ها را افزایش داده و برای مدل‌های شبیه‌سازی و برآورد بارش زمستانه در این ناحیه از کشور استفاده شود. یادآور می‌شود همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده، ناحیه استوایی اقیانوس آرام به چهار ناحیه جداگانه تقسیم شده است که ویژگی‌های اقلیمی آنها و مخصوصاً دمای سطح آب در این نواحی که اصطلاحاً Nino's SST گفته می‌شود، تأثیر محسوسی بر آب و هوای نقاط مختلف جهان دارد. علاوه بر SOI، مقادیر Nino's SST نیز به‌عنوان شاخصی از پدیده ENSO در نظر گرفته شده و گرم و سرد شدن شدید آنها به ترتیب نشانگر وقوع پدیده النینو و لانینا می‌باشند. روشن شده است که واکنش بارش در نقاط مختلف دنیا به دمای سطح آب این نواحی تابع زمان و مکان می‌باشد. مثلاً ممکن است بارش زمستانه یک ناحیه بیشتر متأثر از Nino1+2 و در بهار بیشتر متأثر از Nino3.4 باشد.

یادآوری می‌شود که، پژوهش‌های قبلی (۱۲ و ۱۳) توانایی SOI و Nino's SST را در امر پیش‌بینی بارش نواحی شمالی ایران را با یکدیگر مقایسه ننموده و ارائه مدلی برای امر



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی Niño ها در اقیانوس آرام

برآورد بارش زمستانه بندر انزلی و نوشهر مورد توجه قرار گرفت. با توجه به توضیحات داده شده اهداف پژوهش حاضر به شرح زیر خلاصه می‌گردد:

الف) تعیین کمیت و مقایسه توانایی شاخص SOI و دمای سطح آب در هر یک از Niño های چهار گانه بر امر پیش بینی بارش نواحی مورد بررسی.

ب) استخراج سری زمانی الگوهای متعامد از نوسان‌های فصلی SOI و Nino's SST به عنوان شاخصی جدید در ارزیابی بارش نواحی مورد بررسی.

ج) بررسی نقش تحول زمانی Nino's SST و SOI فصلی در نوسان های بارش زمستانه نوشهر و بندر انزلی.

د) ارائه پیش بینی بارش زمستانه و ارزیابی مقادیر شبیه سازی شده با مشاهدات.

مواد و روش‌ها

داده‌ها

الف) داده‌های بارش

سری زمانی بارش سه ماهه ژانویه، فوریه و مارچ ایستگاه‌های سینوپتیک نوشهر و بندر انزلی برای دوره زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۷ از سالنامه هوا شناسی استخراج گردیدند. با میانگین‌گیری از داده‌های این سه ماهه، سری زمانی زمستانه بارش به دست آمد.

پیش‌بینی از اهداف آنها نبوده است. علاوه بر این، پژوهش‌های انجام شده مشخص ننموده‌اند که آیا به غیر از ناحیه Niño 3.4 دمای سطح آب در دیگر نقاط اقیانوس آرام نیز می‌تواند در امر پیش‌بینی استفاده شود یا خیر. تأثیر تحول زمانی Nino's SST و نیز SOI در امر پیش‌بینی بارش ایران نیز مورد توجه پژوهش‌های یاد شده نبوده است. نکته دیگر آن‌که در پژوهش‌های گذشته بر تأثیر هم‌زمان SOI و دمای Niño 3.4 زمستانه روی بارش همین فصل تأکید شده است ولی در پژوهش حاضر وضعیت پیشگو کننده‌ها در فصول قبل از زمستان (زمستان سال قبل، بهار، تابستان و پاییز) برای پیش‌بینی بارش زمستانه استفاده می‌شوند.

در حال حاضر، مدل‌های مختلفی در ایالات متحده آمریکا، اروپا و استرالیا به منظور پیش‌بینی بارش مورد استفاده قرار می‌گیرد (۷). یکی از مدل‌های مقبول که به طور مکرر در پیش‌بینی‌های منظم این کشورها به خصوص سازمان مدیریت جوی - اقیانوسی آمریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل تحلیل هم‌بستگی متعارف (Canonical Correlation Analysis, CCA) است (۹). جدیدترین انتشارات مربوط به پیش‌بینی وضعیت آب و هوایی در سال ۲۰۰۴ میلادی بر اساس این مدل در سایت اینترنتی NOAA موجود می‌باشد. با توجه به توانایی زیاد این مدل در امر پیش‌بینی اقلیمی، استفاده از آن به منظور

محققان علوم هوا و اقلیم شناسی و اقیانوس شناسی قرار گرفته است (۶ و ۱۵). روش‌های محاسباتی، اهمیت و اهداف استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی که مشابه روش EOF می باشد توسط ناظم السادات و همکاران (۲) ارائه گردیده است. در بررسی حاضر، سری زمانی فصلی SST برای فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز هر یک از چهار Nino و SOI که مجموعاً یک ماتریس با بیست ستون را تشکیل می‌دادند به عنوان پیشگوکننده‌ها در نظر گرفته شدند.

با فرض این که خواننده با مفاهیم و اهمیت EOF که در مراجع بالا ذکر شد آشنایی دارد، فقط عناصر تشکیل دهنده ماتریس ورودی برای تجزیه و تحلیل EOF معرفی می‌گردند. سری‌های زمانی داده‌های Nino's SST و SOI برای هر چهار فصل سال به شرح زیر در ماتریس NS به شرح زیر با بیست ستون قرار داده شد.

$$NS = [N_{1(1+2)}, \dots, N_{4(1+2)}, \dots, N_{1(4)}, \dots, N_{4(4)}, S_1, \dots, S_4] \quad [1]$$

به طوری که ستون N_{ij} بیانگر سری زمانی دمای سطح آب (Nino's SST) در فصل i ام و موقعیت j ام می‌باشند ($i=1,2,3,4$ و $j=1+2, 3, 3.4, 4$) هم چنین S_j بیانگر سری زمانی SOI در فصل i است.

با توجه به تعداد زیاد متغیرهای پیشگو کننده و وابستگی شدید خطی که بین آنها موجود بود، کاربرد آنها در مدل CCA مورد اشکال می‌باشد. برای رفع مشکل، از روش EOF به منظور استخراج تعداد کمتری سری زمانی مستقل و غیر وابسته که قسمت اعظم واریانس مجموعه Nino's SST و نیز SOI را توجیه نمایند، استفاده شد. این روش به‌عنوان پیش پردازش (فیلتر) برای داده‌هایی که در مدل CCA استفاده می‌گردند مورد لزوم می‌باشد. سری زمانی متغیرهای مستقل و متعامد تولید شده به‌عنوان پیشگو کننده‌های ورودی CCA در نظر گرفته شدند. این سری داده‌ها می‌توانند به‌عنوان یک شاخص جدید در توجیه نوسان‌های بارش کشور استفاده شوند.

ب) داده‌های Nino's SST

سری زمانی دوازده ماهه دمای سطح آب (SST) اقیانوس آرام برای هر چهار منطقه Nino3.4, Nino3, Nino1+2, Nino4 از بانک اطلاعاتی سازمان NOAA برای دوره زمانی ۱۹۶۰-۱۹۹۶ استخراج شده و به عنوان شاخص‌های ENSO مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بعدی، سری زمانی ماهانه Nino's SST نیز به سری زمانی فصلی تبدیل گردیدند. میانگین دمای سطح آب ماهانه از آوریل تا ژوئن، جولای تا سپتامبر و اکتبر تا دسامبر به ترتیب به‌عنوان دمای سطح آب در فصول بهار، تابستان و پاییز در نظر گرفته شدند. یادآوری می‌شود که برای پیش بینی بارش زمستانه، تهیه این سری داده‌ها از ضروریات بود.

ج) داده‌های SOI

سری زمانی دوازده ماهه شاخص نوسان‌های جنوبی نیز به عنوان دیگر شاخص پدیده ENSO مورد استفاده قرار گرفت. این داده‌ها نیز از بانک اطلاعاتی سازمان NOAA برای دوره‌های زمانی ۱۹۶۰-۱۹۹۶ استخراج شده و مانند داده‌های بارش به سری زمانی فصلی تبدیل گردیدند.

روش‌های محاسباتی

الف) نرمال نمودن داده‌ها

کلیه سری‌های زمانی فصلی بارش و هر یک از Nino's SST نخست به صورت سری زمانی استاندارد شده یا مقادیر نرمال تبدیل گردیدند. مزیت نرمال نمودن داده‌ها و نیز روش محاسباتی مربوطه توسط ناظم السادات و همکاران (۲) توضیح داده شده است. یاد آور می‌شود که داده‌های ماهانه SOI به‌صورت نرمال شده در اختیار قرار می‌گیرد و نیازی بر نرمال نمودن آنها نیست.

ب) توابع متعامد تجربی (Empirical orthogonal functions, EOF)

به منظور کاهش تعداد سری‌های زمانی اولیه و استخراج تعداد معدودی سری‌های زمانی مستقل از آنها روش EOF مورد توجه

متغیرهای متعارف $(W_1, Z_1), (W_2, Z_2), \dots, (W_m, Z_m)$ حاصل می شود به طوری که دو شرط زیر برقرار باشند:

۱. همبستگی های متعارف Rc_1, Rc_2, \dots, Rc_m بیشترین مقدار را داشته باشند.

$$\text{corr}(Z_j, Z_k) = \text{corr}(W_j, W_k) \quad 2.$$

$$= \text{corr}(W_j, Z_k) = 0; j \neq k$$

W_i و Z_i به ترتیب i امین متغیر متعارف پیشگو کننده و پیشگو شونده و Rc_i ، i امین همبستگی متعارف نامیده می شود. چون در پژوهش حاضر پیش بینی در دو ایستگاه بارش مورد توجه بوده است بنابراین $m=2$ می باشد.

ج) ارزیابی زمانی و مکانی تأثیر پیشگو کننده ها بر بارش ایستگاه ها
برای روشن نمودن تأثیر هر یک از عناصر ماتریس NS بر سری زمانی W_i ضریب همبستگی ساده بین متغیرهای متعارف پیشگو کننده (W_1, W_2, \dots, W_m) و هر یک از بردارهای ستونی عضو ماتریس NS (معادله ۱) محاسبه گردید. هدف از انجام این محاسبات آن بود که روشن شود کدام یک از فصول و متغیرهای پیشگو کننده همبستگی بیشتری با W_1, W_2, \dots, W_m دارند. به بیان دیگر، هدف این مرحله از محاسبات، آن است که روشن نماید کدام یک از ستون های ماتریس NS بهترین معرف برای توابع خطی W می باشند. برای نمونه، ممکن است مشخص شود که ستون دوم این ماتریس (که مثلاً سری زمانی بهاره Nino3.4 می باشد) بیشترین همبستگی را با W_1 دارد.

ضریب همبستگی بین متغیرهای متعارف پیشگو کننده و متغیرهای اولیه پیشگو کننده که Nino's SST و SOI در فصول مختلف سال هستند، به صورت زیر تعریف می گردند:

$$rn^m_{i(j)} = \text{corr}(W_m, N_{i(j)})$$

وقتی که:

$$i=1,2,3,4 \quad j=1+2,3,4,3,4 \quad [6]$$

$$rs^m_i = \text{corr}(W_m, S_i)$$

وقتی که:

$$i=1,2,3,4 \quad [7]$$

پ) تحلیل همبستگی متعارف (CCA)

هاتلینگ (۸) نخستین بار CCA را برای بررسی ارتباط دو مجموعه از داده پیشنهاد کرد. این روش را افراد متعددی از جمله بارنت و پریندورفر (۳)، بارنتون (۴)، بارنتون و راپلوسکی (۵) و لاندمن و میسون (۱۰ و ۱۱) در علم هواشناسی به کار برده اند.

روش CCA توابع خطی بین دو مجموعه از متغیرهای X_1, \dots, X_p (مثلاً پیشگو کننده ها مانند Nino ها و SOI) و Y_1, \dots, Y_q (مثلاً ایستگاه های بارش) را به گونه ای تولید می نماید که ضریب همبستگی بین توابع متناظر پیشگو کننده ها و پیشگو شونده ها به بیشینه مقدار خود برسد. به بیان دیگر، با به کارگیری روش CCA چند ترکیب خطی پیشگو کننده ها (W_i) و پیشگو شونده ها (Z_i) استخراج می شوند، به طوری که ضریب همبستگی بین هر W_i و Z_i به بیشترین مقدار ممکن می رسد. Z_i و W_i به ترتیب ترکیب خطی از متغیرهای پیشگو کننده (X_1, \dots, X_p) و پیشگو شونده (Y_1, \dots, Y_q) می باشند. برای نمونه، ترکیب خطی از متغیرهای پیشگو کننده و پیشگو شونده به صورت زیر نوشته می شوند:

$$W_1 = \beta_{11}X_1 + \beta_{12}X_2 + \dots + \beta_{1p}X_p \quad [2]$$

$$Z_1 = \gamma_{11}Y_1 + \gamma_{12}Y_2 + \dots + \gamma_{1q}Y_q \quad [3]$$

روش CCA مقادیر $\beta_{11}, \beta_{12}, \dots, \beta_{1p}$ و $\gamma_{11}, \gamma_{12}, \dots, \gamma_{1q}$ را به گونه ای محاسبه می نماید که ضریب همبستگی بین W_1 و Z_1 ، $[Rc_1 = \text{corr}(W_1, Z_1)]$ ، بیشترین مقدار ممکن شود.

در مرحله بعدی، ترکیب های خطی برای تولید W_2 و Z_2 با شرط آن که ضریب همبستگی بین آنها، $[Rc_2 = \text{corr}(W_2, Z_2)]$ ، بیشترین مقدار باشد و نیز ضریب همبستگی Z_1 با Z_2 ، W_1 با W_2 و Z_1 با W_2 صفر باشند، به صورت زیر تعریف می شود:

$$W_2 = \beta_{21}X_1 + \beta_{22}X_2 + \dots + \beta_{2p}X_p \quad [4]$$

$$Z_2 = \gamma_{21}Y_1 + \gamma_{22}Y_2 + \dots + \gamma_{2q}Y_q \quad [5]$$

این روش تا به دست آمدن m مجموعه از متغیرهای متعارف ادامه پیدا می کند ($m = \min(p, q)$). بنابراین m مجموعه از

$$M'rs^m_i = \frac{\sum_{i=1,2,3,4} (rs^m_i)^2}{\sum_{j=1+2,3,3,4,4} \sum_{i=1,2,3,4} ((rm^m_{i(j)})^2 + (rs^m_i)^2)}$$

[۱۰]

نتایج و بحث

۱. مؤلفه‌های اصلی Nino ها و SOI (EOFs)

با کاربرد روش توابع متعامد تجربی و اعمال روش ارائه شده توسط ناظم السادات وهمکاران (۲) در مورد انتخاب مؤلفه‌های اصلی، چهار EOF اولیه مربوط به Nino ها و SOI (ماتریس NS) برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی و ورود به محاسبات CCA در نظر گرفته شدند. مقدار واریانس توجیهی از کل واریانس متغیرهای پیشگو کننده توسط چهار مؤلفه اول در جدول ۱ بیان شده است. جدول ۱ نشان می دهد که مؤلفه‌های EOF1 تا EOF4 اولیه قادر به توجیه ۹۲ درصد از کل واریانس عناصر ماتریس NS (Nino's SST و SOI) بودند.

برای تشخیص آن‌که هر یک از EOF های نگه‌داری شده به کدام‌یک از عناصر ماتریس NS وابستگی بیشتری دارند، در مرحله اول عوامل بارگذاری (Loadings) چهارگانه با روش واریماکس (Varimax) دوران داده شد و وابستگی هر یک از عناصر این ماتریس با EOF های چهار گانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده که در جدول ۱ خلاصه گردیده بیانگر آن است که سری زمانی اولین EOF هم‌بستگی بالایی با SOI در فصول بهار، تابستان و پاییز دارد. علاوه بر این، این مؤلفه هم‌بستگی بالایی را با کلیه Nino's SST در فصول تابستان و پاییز نشان دادند که در این میان Nino1+2 تابستانه از هم‌بستگی ضعیفی برخوردار بود. بنابراین تغییرات بهاره، تابستانه و پاییزه SOI و نیز نوسان‌های Nino's SST در فصول تابستان و پاییز سهم عمده از واریانس موجود در سری زمانی EOF1 را توجیه می‌نمایند. بدین ترتیب بر خلاف SOI که

در روابط بالا، rs^m_i و $rm^m_{i(j)}$ ضرایب هم‌بستگی، m شماره متغیر پیشگو کننده، i بیانگر فصل و j بیانگر شماره Nino می باشند. برای مثال، $rm^m_{1(3,4)}$ ضریب هم‌بستگی بین $W1$ و داده های زمستان ($i=1$) در Nino3.4 می‌باشد. به همین ترتیب rs^m_4 ضریب هم‌بستگی بین $W2$ و شاخص SOI در فصل پاییز $i=4$ می‌باشد. متناظر با این هم‌بستگی‌ها، مقادیر R^m_1 و R^m_2 هستند که ترتیب نشانگر هم‌بستگی ساده بین m امین متغیر پیشگوشونده (Zm) و بارش در ایستگاه بندر انزلی و نوشهر می‌باشند. به عنوان نمونه R^2_1 ضریب هم‌بستگی بین دومین متغیر پیشگوشونده و بارش در ایستگاه بندر انزلی است. مقادیر R^m_1 و R^m_2 بیانگر شدت وابستگی بارش دیده شده هر ایستگاه با مؤلفه متعارف پیشگو شونده هستند.

با توجه به دو رابطه ۶ و ۷، چنانچه در نظر باشد تأثیر متغیرهای پیشگو کننده اعم از Nino ها و SOI در فصل i ام بر m امین مؤلفه متعارف پیشگوکننده (Wm) اندازه‌گیری شود، از عامل Mr^m_i در رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$Mr^m_i = \frac{\sum_{j=1+2,3,3,4,4} (rm^m_{i(j)})^2 + (rs^m_i)^2}{\sum_{j=1+2,3,3,4,4} \sum_{i=1,2,3,4} ((rm^m_{i(j)})^2 + (rs^m_i)^2)}$$

[۸]

حال اگر اندازه‌گیری تأثیر هر یک از Nino های خاص و SOI در مجموع چهار فصل سال بر Wm مورد نظر باشد به ترتیب از مقدار $M'rm^m_j$ و $M'rs^m_i$ در روابط زیر استفاده خواهد شد.

$$M'rm^m_j = \frac{\sum_{i=1,2,3,4} (rm^m_{i(j)})^2}{\sum_{j=1+2,3,3,4,4} \sum_{i=1,2,3,4} ((rm^m_{i(j)})^2 + (rs^m_i)^2)}$$

[۹]

جدول ۱. مقدار واریانسی که توسط هر یک از مؤلفه اول تا چهارم تعریف می‌شود و وابستگی هر یک از این مؤلفه‌ها با اعضای ماتریس NS

EOFs	EOF1	EOF2	EOF3	EOF4
درصد واریانس تعریف EOF	۵۸/۲	۲۳/۳	۸/۱	۲/۴
در صد تجمعی واریانس	۵۸/۲	۸۱/۵	۸۹/۶	۹۲
	Nino1+2 پاییزه	Nino3.4 بهاره	Nino1+2 بهاره	هم‌بستگی‌ها
	Nino3 تابستانه	Nino4 بهاره	Nino1+2 تابستانه	اغلب ضعیف
	Nino3 پاییزه	Nino1+2 زمستانه	Nino3 بهاره	بودند ولی
اعضای ماتریس NS که وابستگی بیشتری با هر یک از مؤلفه‌های EOF دارند	Nino3.4 تابستانه	Nino3 زمستانه		هم‌بستگی‌های بالاتر بیشتر در فصل تابستان و پاییز بود
	Nino3.4 پاییزه	Nino3.4 زمستانه		
	Nino4 پاییزه	Nino4 زمستانه		
	Nino4 تابستانه	SOI زمستان		
	SOI بهاره			
	SOI تابستانه			
	SOI پاییزه			

فصل زمستان و دمای سطح آب (مؤلفه اقیانوسی) بهاره در ناحیه مرکزی اقیانوس آرام است. بنابراین نوسان‌ها و دمای سطح آب در زمستان سال قبل تأثیر چشم‌گیری بر واریانس دومین سری زمانی پیشگو کننده دارد.

سومین سری زمانی EOF هم‌بستگی بالایی را با مقدار SST در Nino1+2 در فصل بهار، تابستان و Nino3 بهاره نشان داد. بنابراین EOF3 بیشتر بیانگر تغییرات SST در فصل بهار و در مجاورت آب‌های سواحل پرو و اکودور می‌باشد.

در حالی که EOF1 بیشتر بر روی مؤلفه اتمسفری پدیده ENSO در فصل بهار تأکید دارد و EOF3 بیانگر مؤلفه‌های اقیانوسی این پدیده در این فصل می‌باشد. نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که آغاز فازهای گرم و سرد ENSO از تغییرات مقدار SOI و نیز نوسان‌های SST بهاره در ناحیه Nino1+2 و Nino3 بیشتر قابل تشخیص باشند. چهارمین سری زمانی EOF هم‌بستگی بالایی را با سری‌های زمانی موجود در ماتریس NS نشان نداد. در عین حال، بیشترین وابستگی EOF4 مربوط به Nino's SST در فصول تابستان و پاییز بودند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سری زمانی اول و چهارم نماینده خوبی از پاییز و تابستان هستند. هم‌چنین سری زمانی دوم بیانگر تغییرات

مؤلفه اتمسفری ENSO می‌باشد، دمای سطح آب (به‌عنوان مؤلفه اقیانوسی) در فصل بهار تأثیر قابل توجهی در سری زمانی EOF1 نشان نداد. این امر تا حدودی نشان‌دهنده آن است که نوسان‌های سری زمانی SOI در فصل بهار تأثیر قابل توجهی بر ویژگی اولین مؤلفه پیشگو کننده دارد. نوسان‌های شدید در این فصل (روند افزایشی یا کاهش‌ی آن) می‌تواند به‌عنوان یک شاخص برای پیش‌بینی وضعیت بارش در بندر انزلی و نوشهر مورد استفاده قرار گیرد. در مراحل بعدی، مؤلفه‌های اقیانوسی این پدیده در قالب تغییر دمای سطح آب در فصول تابستان و پاییز ظاهر می‌شوند که پایش تغییرات آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. علاوه بر این، نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که سری زمانی EOF1 می‌تواند به‌عنوان یک شاخص جدید که ویژگی‌های بهاره تا پاییز بسیاری از عناصر ماتریس NS را نیز دارد، برای پیشگویی بارش مورد آزمون قرار گیرد.

دومین سری زمانی متعامد (EOF2)، هم‌بستگی بالایی را با Nino's SST و SOI در فصل زمستان و هم‌چنین Nino4 و Nino3.4 در فصل بهار نشان داد. به بیان دیگر، EOF2 معرف مجموعه ویژگی‌های مؤلفه‌های اتمسفری و اقیانوسی پدیده در

مجموع توان دوم اولین و دومین ضریب هم‌بستگی متعارف $(R^2c1 + R^2c2)$ بیان می‌کند که در حدود ۴۵٪ از واریانس مجموع داده‌های پیشگو شونده (یعنی دو ایستگاه بارش) توسط مجموع داده‌های پیشگو کننده (یعنی چهار مؤلفه اصلی مربوط به Nino ها و SOI) تعریف می‌گردد. یادآور می‌شود به علت پراکندگی زیاد داده‌های بارش و توجه به این نکته که بارش تحت تأثیر عوامل بسیار زیاد محلی و جهانی می‌باشد، شناسایی نمایه‌هایی که بتواند بخش قابل توجهی از واریانس داده‌های آن را تعریف نمایند از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است. بنابراین نباید ضرایب هم‌بستگی بارش و سایر متغیرها را با آزمون‌های آزمایشگاهی یا مزرعه‌ای که تمام عوامل تحت کنترل می‌باشند، مقایسه نمود. در اقلیم شناسی تعریف ۴۵٪ از واریانس بارش توسط یک شاخص نشانگر اهمیت زیاد آن شاخص در پیش‌بینی بارش می‌باشد.

۳. نقش EOF ها در پیش‌بینی

هم‌بستگی‌های بین چهار EOF اصلی انتخاب شده و متغیرهای $W1$ و $W2$ نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد (جدول ۲) که در مقایسه با سایر موارد، هم‌بستگی بین EOF1 و $W1$ بیشترین مقیدار می‌باشد $(CORR(W1, EOF1) = -0.7)$. بنابراین، $W1$ بیشترین هم‌بستگی را با EOF1 نشان داده است. مقایسه این ضرایب هم‌بستگی با نتایج ارائه شده در جدول ۱ بیانگر آن است که تغییرات SOI و Nino's SST در فصول تابستان و پاییز و نیز SOI در فصل بهار بیشترین تأثیر را بر ترکیب خطی $W1$ دارند.

هم‌بستگی‌های بین مؤلفه‌های اول تا چهارم با دومین متغیر متعارف پیشگو کننده نیز در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول می‌توان چنین استنباط نمود که نوسان‌های مؤلفه‌های اول و چهارم نقش بسزایی در امر

Ninos در فصل زمستان می‌باشد. گرچه EOF3 بیشترین تمایل را به فصل بهار نشان داد ولی یک مؤلفه اصلی به تنهایی نماینده خوبی برای بهار تشخیص داده نشد.

برای افزایش دقت محاسبات، حالت‌هایی که سه مؤلفه اول و دو مؤلفه اول دوران داده شوند نیز مورد آزمون قرار گرفت. مقایسه نتایج این آزمون‌ها با آنچه در جدول ۱ آمده بیانگر آن بود که دوران سه مؤلفه اول یک حالت بهینه است. بنابراین سه مؤلفه اول، تأثیر مؤلفه‌های اقیانوسی و اتمسفری پدیده ENSO را مشخص می‌کنند ولی همان‌طور که بعداً توضیح داده خواهد شد به علت آن‌که نگه‌داری EOF4 نقش مفیدی در پیش‌بینی بارش ناحیه مورد نظر داشت، این مؤلفه نیز برای محاسبات بعدی در نظر گرفته شد.

۲. مقادیر ضریب هم‌بستگی متعارف

سری‌های زمانی چهار EOF اولیه مربوط به Nino's SST و SOI (متغیرهای پیشگو کننده) و دو سری زمانی مربوط به ایستگاه‌های بارش زمستانه نوشهر و بندر انزلی (متغیرهای پیشگو شونده) به عنوان ورودی CCA در نظر گرفته شدند. پس از انجام محاسبات توسط نرم افزار SAS دو مجموعه از متغیرهای متعارف شامل $(W1, Z1)$ و $(W2, Z2)$ به دست آمد. متذکر می‌شود که $W1$ و $W2$ متغیرهای متعارف پیشگو کننده و $Z1$ و $Z2$ متغیرهای متعارف پیشگو شونده هستند. با توجه به آن‌که تنها دو متغیر پیشگو شونده وارد مدل CCA گردید تعداد متغیرهای متعارف نیز برابر دو می‌باشد.

نخستین ضریب هم‌بستگی متعارف که نشانگر هم‌بستگی بین $(W1, Z1)$ است، برابر با $Rc1 = 0.61$ می‌باشد و توان دوم این عدد بیانگر آن است که $37/2\%$ از پراکنش موجود در سری زمانی $Z1$ توسط $W1$ توجیه می‌گردد.

دومین هم‌بستگی متعارف $(Rc2)$ بین $(W2, Z2)$ برابر با $Rc2 = 0.28$ می‌باشد که توان دوم آن بیانگر آن است که $7/8\%$ از پراکندگی موجود در سری زمانی $Z2$ توسط $W2$ شرح داده می‌شود.

جدول ۲. ضریب همبستگی بین هر یک از مؤلفه‌های اصلی و متغیرهای متعارف

همبستگی بین EOF ها و متغیرهای متعارف	EOF1	EOF2	EOF3	EOF4
W1	-۰/۷	-۰/۰۲	۰/۳۱	-۰/۶۲
W2	۰/۷	-۰/۰۲	۰/۱۶	-۰/۶۹

جدول ۳. تأثیر هر یک از فصول در توجیه واریانس W1 و W2 بر حسب درصد

فصل مربوط به پیشگوکننده‌ها	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	جمع
درصد واریانس از طریق W1	۹	۳۵	۳۰	۲۶	۱۰۰
درصد واریانس از طریق W2	۹	۲۲	۳۳	۳۵	۱۰۰

بررسی دارای ارزش نزدیک به هم می‌باشند. در عین حال، باید که تغییرات SST و SOI در فصل بهار با دقت بیشتری مورد توجه قرار گرفته و در مرحله بعدی روند این تغییرات در فصول تابستان و پاییز به‌طور دقیق پایش گردد. چنانچه این تغییرات در طول فصل‌های یاد شده از روند خاص و هم‌آهنگی لازم تبعیت نمایند توانایی مدل CCA در امر پیش بینی افزایش خواهد یافت.

تأثیر فصلی نوسان‌های Nino's SST و SOI بر روی دومین متغیر متعارف پیشگو کننده W2 نیز با استفاده از رابطه ۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج (جدول ۳) به دست آمده نشان داد که اگر کل واریانس بارش زمستانه که توسط W2 تعریف می‌گردد ۱۰۰٪ فرض شود، سهم عمده از این واریانس (۳۵٪) توسط Nino's SST های چهار گانه و SOI در فصل پاییز توجیه می‌شود. در مرحله بعدی، نوسان‌های Nino's SST های چهار گانه و SOI به‌ترتیب اهمیت عبارت بودند از فصل تابستان، بهار و زمستان که توانایی دومین متغیر متعارف پیشگوکننده در امر پیش بینی را تعریف می‌نمایند. بنابراین تغییرات SOI و Nino's SST در فصل پاییز و تابستان بیشترین و در زمستان کمترین ارتباط را با دومین متغیر متعارف پیشگو کننده نشان داد. نتایج به‌دست آمده بر نقش نسبتاً ناچیز نوسان‌های SOI و Nino's SST در فصل زمستان سال قبل، بر امر پیش بینی تأکید دارند.

پیش بینی بارش که از طریق هر دو متغیر متعارف پیشگوکننده حاصل می‌شود را بر عهده دارند. به بیان دیگر، سری‌های زمانی W1 و W2 بیشترین وابستگی را با EOF1 و EOF4 داشته و می‌توانند به عنوان نماینده اصلی این دو متغیر قلمداد شوند. این نتایج به نقش اساسی ترکیب تغییرات مؤلفه‌های اقیانوسی و اتمسفری پدیده ENSO (SOI و Nino's SST) بر افزایش توانایی پیشگویی بارش زمستانه ناحیه مورد بررسی تأکید دارند.

۴. نقش تحول زمانی Nino's SST و SOI در پیش بینی

تأثیر فصلی مربوط به Nino's SST و SOI در هر یک از فصول بر W1 با استفاده از رابطه ۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده (جدول ۳) نشان داد که اگر کل واریانس بارش زمستانه که توسط W1 تعریف می‌گردد ۱۰۰٪ فرض شود، ۳۵٪ از این واریانس توسط نوسان‌های دمای سطح آب در Nino's SST های چهار گانه و SOI در فصل بهار توجیه می‌گردد. در مرحله بعدی نوسان‌های مربوط به Nino's SST های چهار گانه و SOI به‌ترتیب اهمیت مربوط به فصول تابستان، پاییز و زمستان بودند که نشانگر توانایی W1 در امر پیش بینی بارش زمستانه می‌باشند. نزدیکی ارقام مربوط به فصول بهار، تابستان و پاییز به یکدیگر نشان دهنده آن است که تحولات SOI و Nino's SST در این سه فصل از نقطه نظر پیش بینی بارش در ناحیه مورد

جدول ۴. سهم هر یک از Nino's SST و SOI در توجیه واریانس W1 و W2 بر حسب درصد

پیشگوکننده‌ها	SOI	Nino1+2	Nino3	Nino3.4	Nino4	جمع
درصد واریانس از طریق W1	۲۵	۸	۱۵	۲۲	۳۰	۱۰۰
درصد واریانس از طریق W2	۱۴	۲۸	۲۵	۱۹	۱۴	۱۰۰

۵. مقایسه Nino ها و SOI در پیش بینی

روابط ۹ و ۱۰ به منظور مقایسه تأثیر Nino's SST و SOI بر سری‌های زمانی پیشگوکننده‌ها (W1, W2) مورد استفاده قرار گرفته که نتایج حاصل از این تحلیل در جدول ۴ خلاصه گردیده است. ارقام موجود در این جدول نشان می‌دهد که اگر کل واریانس موجود در سری زمانی بارش برابر ۱۰۰ فرض شود سری‌های زمانی SOI و هر یک از Nino ها چه مقدار از این ۱۰۰ واحد را تعریف می‌نمایند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود نوسان‌های Nino4 حدود ۳۰٪ از کل واریانس بارش را که از طریق اولین متغیر متعارف پیشگوکننده توجیه می‌شود، تعریف می‌نماید. شاخص SOI نیز با ۲۵٪ از کل واریانس در ردیف دوم قرار دارد. در مرحله بعدی Ninoها به ترتیب اهمیت عبارت بودند از Nino3.4، Nino3، Nino1+2 که در توجیه واریانس از اهمیت کمتری نسبت به Nino4 و شاخص SOI برخوردار می‌باشند. بنابراین در مقایسه با سایر موارد نوسان‌های Nino4 و SOI از اهمیت بالاتری برای پیش بینی بارش برخوردار می‌باشند. بدین ترتیب، برای بالابردن پیش بینی بارش در سواحل جنوب‌غربی دریای خزر، پایش و کاربرد SST در محدوده ۵ درجه شمالی تا ۵ درجه جنوبی و ۱۶۰ درجه شرقی تا ۱۵۰ درجه غربی اقیانوس آرام (Nino4) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. هم‌چنین مشخص گردید که نوسان‌های Nino1+2 حدود ۲۸٪ از واریانس بارش را که از طریق دومین متغیر متعارف پیشگوکننده توجیه می‌شود تعریف می‌کند. این امر نشان می‌دهد که در مقایسه با سایر Nino's SST و شاخص SOI، دمای سطح آب در ناحیه Nino1+2 از اهمیت بیشتری در توجیه واریانس دومین متغیر متعارف پیشگوکننده برخوردار است.

۶. وابستگی ایستگاه‌های بارش با متغیرهای متعارف

پیشگو شونده

به منظور بررسی میزان وابستگی بین داده‌های دیده شده در ایستگاه‌های بارش و سری‌های زمانی Z1 و Z2، ضریب‌های هم‌بستگی بین داده‌های بارش در ایستگاه بارش نوشهر و بندر انزلی و این دو سری زمانی محاسبه شد که نتایج به دست آمده در جدول ۵ خلاصه شده است. این جدول بیانگر آن است که هم‌بستگی بین نخستین متغیر متعارف پیشگو شونده و بارش در ایستگاه بندر انزلی و نوشهر به ترتیب برابر با $R^2_1 = 0/6$ و $R^2_2 = 0/43$ بود. هم‌بستگی بین دومین متغیر متعارف پیشگو شونده و بارش در ایستگاه بندر انزلی و نوشهر به ترتیب برابر با $R^2_1 = 0$ و $R^2_2 = -0/2$ تعیین گردید. این نتایج نشان می‌دهد که نوسان‌های بارش در ایستگاه بندر انزلی فقط از طریق نوسان‌های نخستین متغیر متعارف پیشگو کننده توجیه می‌شود. بنابراین با توجه به مباحث قبلی نقش Nino4 و SOI در توجیه واریانس بارش این ناحیه از اهمیت زیادی برخوردار است. در مورد نوسان‌های بارش در ایستگاه نوشهر چنین استنباط می‌شود که هر دو متغیر متعارف پیشگو کننده (W1 و W2) در توجیه نوسان‌های بارش در این ایستگاه اهمیت دارند ولی نخستین متغیر متعارف پیشگوکننده نقش مهم‌تری را ایفا می‌کند. بنابراین در مقایسه با بندر انزلی، نقش Nino1+2 در پیش‌بینی بارش نوشهر افزایش یافته و احتمالاً این نقش برابر یا بیشتر از Nino4 می‌شود. نتایج به‌دست آمده گویای آن است که هر چه از بندر انزلی به سمت شرق حرکت نماییم، نقش دمای سطح آب در مجاورت سواحل آمریکای جنوبی در امر پیش بینی بارش زمستانه افزایش می‌یابد.

جدول ۵. ضریب هم‌بستگی بین Z1 و Z2 با بارش‌های زمستانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نوشهر	بندر انزلی	ایستگاه بارش
		متغیر متعارف
۰/۴۳	۰/۶	Z1
-۰/۲	۰	Z2

۷. کارایی مدل CCA در پیش‌بینی

توانایی مدل CCA در امر پیش‌بینی بارش زمستانه از طریق مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مشاهدات مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس، برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه، فرض شد که بارش در آن ایستگاه موجود نبوده و سپس با استفاده از مدل CCA مقدار بارش در آن سال برآورد گردید. این عمل برای همه سال‌های مورد بررسی و برای هر دو ایستگاه تکرار شد.

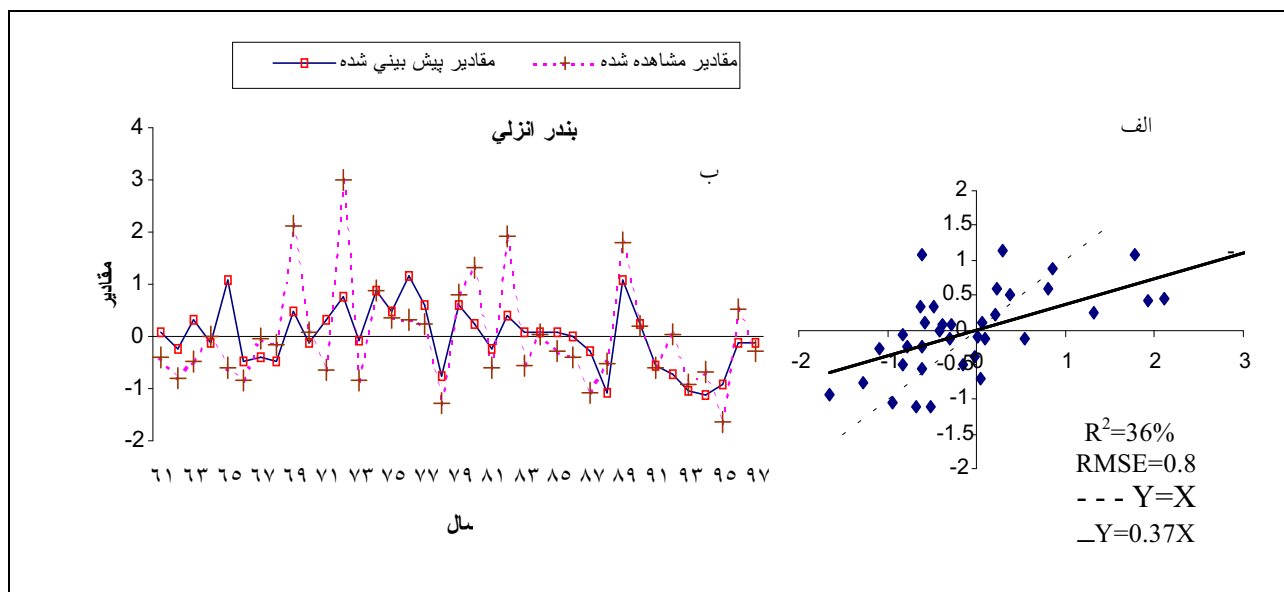
بنابراین برای هر ایستگاه علاوه بر سری‌های زمانی مشاهدات، یک سری زمانی از مقادیر پیش‌بینی شده بارش به‌دست آمد (شکل‌های ۲- ب و ۳- ب). مقادیر ارائه شده ضریب هم‌بستگی بین این دو سری زمانی (سری پیش‌بینی شده و سری مشاهدات) و نیز میزان انحراف از میانگین داده‌ها بیانگر دقت مدل CCA به‌منظور پیش‌بینی بارش زمستانه می‌باشد. مشخص شد که این ضریب برای ایستگاه نوشهر و بندر انزلی به‌ترتیب برابر با ۰/۴۷ و ۰/۶۰ هستند که هر دو از نظر آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار و قابل قبول می‌باشند. توان دوم این ضرایب (۲۲٪ و ۳۶٪) بیانگر مقدار واریانس بارش شرح داده شده توسط چهار مؤلفه اصلی هستند. جذر مجموع توان دوم خطا (Root Mean Square Error, RMSE) برای ایستگاه های انزلی و نوشهر به‌ترتیب برابر ۰/۸۰ و ۰/۸۹ بود که بیانگر آن است که پیش‌بینی‌ها در انزلی از دقت بالاتری برخوردار است. در شکل‌های ۲- الف و ۳- الف هم‌چنین نمودار Scatterplot، خط یک به یک و خط رگرسیونی بین سری مشاهده شده و پیش‌بینی شده رسم شده است. یادآوری می‌گردد که هر چه زاویه بین این دو خط کمتر باشد، مدل از دقت

بالاتری برخوردار است. کاهش ضرایب هم‌بستگی عموماً مربوط به بارش خیلی زیادتر از میانگین است که در تاریخ‌های ۱۹۶۹، ۱۹۷۲ و ۱۹۸۲ اتفاق افتاده است.

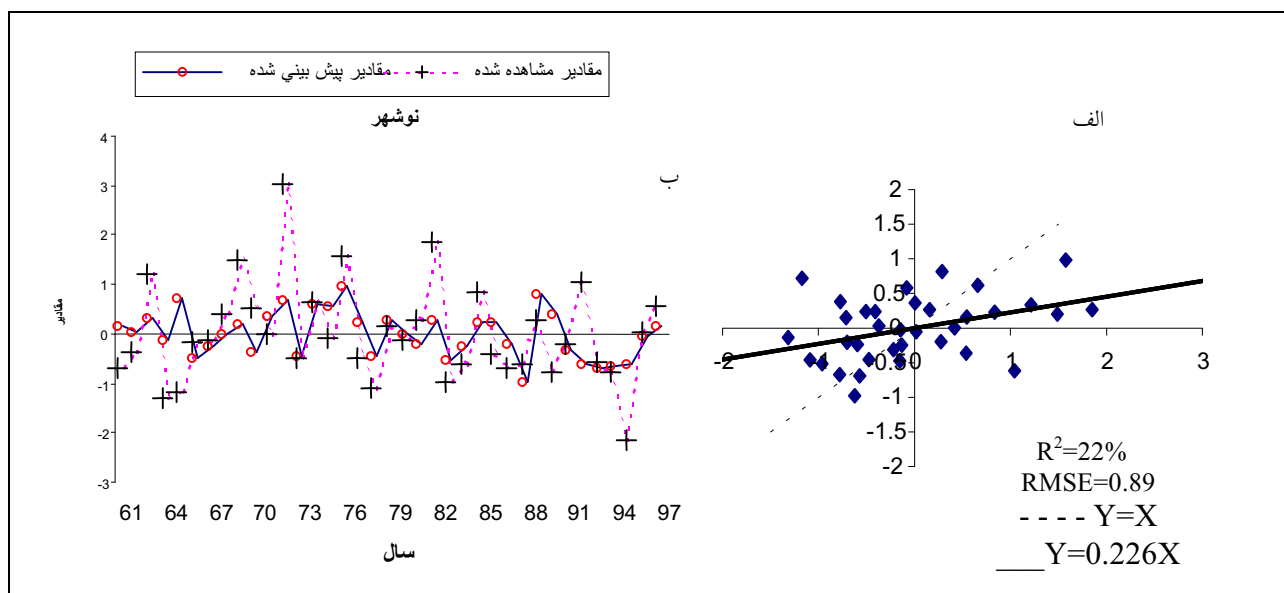
نتایج به دست آمده بیانگر آن است که در بیش از ۷۰٪ موارد، بارش بیشتر یا کمتر از میانگین دراز مدت به درستی توسط مدل برآورد شده است. به عبارت دیگر، شاخص‌های به کار گرفته شده قادرند که تا ۷۰٪ موارد در جواب به این سوال که آیا بارش بیشتر یا کمتر از معمول است، پاسخ صحیح ارائه نمایند. یادآوری می‌شود که در پیش‌بینی‌های بلند مدت اقلیمی تعیین مقدار بارش میسر نبوده و هدف اصلی مدل‌های پیش‌گویی تعیین روند کلی نزولات جوی است.

در سال ۱۹۶۵ برخلاف مشاهده، مدل CCA مقدار بارش هر دو ایستگاه را بیشتر از میانگین پیش‌بینی نموده است. بررسی وضعیت دمای سطح آب و شاخص SOI در سال ۱۹۶۴ بیانگر آن بود که بر اساس اطلاعات موجود، مدل در امر پیش‌بینی خطا نرفته و آنچه موجب عدم صحت پیش‌بینی گردیده وارد شدن یک پدیده اقلیمی ناشناخته دیگر در تغییر روند بارش بوده است. باید در نظر داشت که علاوه بر عوامل بزرگ مقیاس اقلیمی مانند ENSO پدیده‌های سینوپتیک محلی و مخصوصاً وضعیت اقلیم سطحی دریای خزر می‌تواند تأثیر زیادی بر بارش داشته باشد. ناظم السادات و قاسمی (۱۴) نشان داده‌اند که نوسان‌های دمای سطح آب دریای خزر تأثیر معنی‌داری بر بارش ایستگاه‌های یاد شده دارند. بررسی دقیق‌تر شرایط آب و هوایی سواحل جنوب غربی دریای مازندران در این سال‌ها می‌تواند در شناخت عواملی که در جهت افزایش دقت باید وارد مدل CCA گردند را مشخص نماید.

گرچه در سال‌های ۱۹۶۹، ۱۹۷۲ و ۱۹۸۲ مقدار بارش زمستانه بیشتر از نرمال بوده و مدل نیز پیش‌بینی بیشتر از نرمال را نشان می‌دهد، در عین حال مقادیر برآورد شده و مشاهدات خیلی نزدیک نبوده‌اند. مشاهدات فصلی Nino's SST در سال‌های ۱۹۶۸ و ۱۹۸۱ (یک سال قبل) نشان می‌دهند که در این سال‌ها تغییرات SST از یک روند خاص تبعیت ننموده است.



شکل ۲. الف : Scatterplot ب: سری زمانی مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش بینی شده در ایستگاه بندر انزلی



شکل ۳. الف : Scatterplot ب: سری زمانی مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش بینی شده در ایستگاه نوشهر

نوسان می‌نموده است. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که دقت پیش بینی مدل در سال‌هایی که تغییرات فصلی دمای سطح آب یکنواخت نباشد و یا خیلی به نرمال نزدیک باشد، کاهش می‌یابد. در عین حال در سال‌هایی که نوسان‌های SST و SOI از زمستان سال قبل تا پاییز همان سال از یک الگوی ثابتی (کاهنده یا افزایشی) تبعیت می‌نمایند، امکان پیش بینی به میزان زیادی افزایش می‌یابد. پژوهش‌های جدیدتر به منظور

یادآوری می‌شود که مقادیر SST در زمستان و بهار این سال‌ها زیر نرمال بوده‌اند ولی در فصول تابستان و پاییز به تدریج افزایش یافته و بیشتر از میانگین دراز مدت شده‌اند. بدین ترتیب، تغییرات فصلی دمای سطح آب در فصول قبل، از روند خاصی تبعیت نمی‌نمودند. هم‌چنین، مشاهدات فصلی Nino's SST در سال ۱۹۷۱ بیانگر آن است که مقادیر SST در این سال حوالی نرمال (زیر نرمال) هستند و در محدوده مرزی

داشتند. نتایج نشان داد که نوسان‌های دمای سطح آب در Nino4 نقش مهم‌تری نسبت به سایر Nino ها و SOI در توجیه واریانس بارش بندر انزلی داشت. هم‌چنین نوسان‌های Nino4 و Nino1+2 نقش مهمی در توجیه واریانس بارش نوشهر داشت. نتایج بیانگر آن است که فصول بهار و پاییز از نظر تحول زمانی اهمیت بسزایی را در توجیه بارش بندر انزلی و نوشهر دارند. مقدار واریانس قابل توجیه توسط چهار مؤلفه اصلی اول در دو ایستگاه نوشهر و بندر انزلی به ترتیب برابر ۲۲٪ و ۳۶٪ بود. توانایی مدل CCA برای پیش بینی بارش در هر دو ایستگاه بارش ارزیابی شد و نتایج به دست آمده نشانگر معنی دار بودن آماری پیش بینی‌ها بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که مدل پیش بینی در بیش از ۷۰٪ از موارد توانسته است روند بیشتر و کمتر از میانگین بارش را به خوبی پیش بینی کند. عدم دقت مدل عموماً مربوط به دوران‌هایی بود که تغییرات SOI یا Nino's SST در طول فصول از بهار تا پاییز از روند خاصی تبعیت نمی‌نمودند. علاوه بر این، به نظر می‌رسد که شرایط سینوپتیک محلی و مخصوصاً تغییرات اقلیمی در سطح دریای خزر موجب می‌گردد تا پیش بینی مدل CCA دچار اختلالاتی گردد. داخل نمودن شرایط اقلیمی دریای خزر در مدل می‌تواند موجب بهبود پیش بینی‌ها گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از صندوق بیمه محصولات کشاورزی و شورای پژوهشی دانشگاه شیراز به خاطر حمایت از اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

افزایش دقت مدل CCA از طریق وارد نمودن دیگر متغیرهای موثر، می‌تواند دقت پیش بینی را به میزان زیادی افزایش دهد.

نتیجه گیری

تأثیر نوسان‌های دو شاخص SOI و Nino's SST بر بارش ایستگاه‌های بندر انزلی و نوشهر توسط مدل CCA مورد ارزیابی قرار گرفت. ایستگاه‌های مورد مطالعه در اصلی‌ترین نواحی کشت برنج کشور واقع گردیده‌اند و نتایج حاصل از این بررسی می‌تواند در پیش بینی مقدار بارش و تولید برنج کشور نقش مهمی داشته باشد. سری‌های زمانی فصلی Nino های چهار گانه و شاخص SOI به‌عنوان پیشگو کننده‌ها و سری زمانی بارش زمستانه در ایستگاه‌های نوشهر و بندر انزلی به‌عنوان پیشگو شونده منظور گردیدند. روش توابع متعامد تجربی (EOF) برای خلاصه سازی و فیلتر نمودن داده‌های پیشگوکننده استفاده شد. با کاربرد روش EOF چهار مؤلفه اصلی پیشگو کننده که در حدود ۹۲٪ از کل واریانس داده‌های Nino's SST و SOI را تعریف می‌نمودند، انتخاب شدند. دوران عوامل بارگذاری نشان داد که مؤلفه اول (EOF1) بیشترین وابستگی را به تغییرات SOI از بهار تا پاییز و Nino's SST در فصول تابستان و پاییز دارد. این نتایج بیانگر آن بود که نوسان‌های SOI از فصل بهار و تغییرات SST از فصل تابستان به بعد نقش مهمی در پیش بینی بارش زمستانه سواحل دریای خزر دارند. پیش روند این نوسان‌ها نقش مؤثری در بالابردن دقت پیش بینی بارش دارد. سری زمانی EOF2 و EOF3 به ترتیب بیانگر تغییرات SOI و Nino's SST در فصول زمستان و بهار بودند. مؤلفه‌های اول و چهارم نیز نقش مهمی در امر پیش بینی

منابع مورد استفاده

۱. ناظم السادات، س. م. ج. ۱۳۸۰. آیا باران می‌بارد؟ خشک‌سالی و بارش مازاد در ایران و ارتباط آنها با پدیده النینو-نوسانات جنوبی. انتشارات دانشگاه شیراز، ۱۰۴ صفحه.
۲. ناظم السادات، س. م. ج. ب. بیگی و س. امین. ۱۳۸۲. پهنه‌بندی بارش زمستانه استان‌های بوشهر، فارس و کهگیلویه و بویر احمد. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۷(۱): ۶۱-۷۲.

3. Barnett, T.P. and C. F. Preisendorfer .1987. Origins and levels of monthly and seasonal forecasting skill for United State surface air temperatures determined by canonical correlation analysis. *Mon. Wea. Rev.* 115:1825-1850.
4. Barnston, A. G. 1994. Linear statistical short-term climate predictive skill in the Northern Hemisphere. *J. Climate* 7:1513-1564.
5. Barnston, A. G and C.F.Ropelewski. 1992. Prediction of ENSO episodes using canonical correlation analysis. *J. Climate* 5:1316-1345.
6. Emery, WJ., RE. Thomson. 1997. *Data Analysis Method in Physical Oceanography*. Pergamon, Oxford.
7. Goddard, L., S. J. Mason, S. E. Zebiak, C.F. Ropelewski R. Basher and M. A. Cane. 2001. Current approaches to seasonal-to-interannual Climate Predictions. *Inter. J. Climatol.* 21:1111-1152.
8. Hotelling, H. 1936. Relations between two sets of variates. *Biometrika* 28:321-377.
9. Kousky, V. E., 2003, U.S. Department of commerce, national oceanic and atmospheric administration national weather service. *Climate Diagnostics Bulletin*, pp: 49-51.
10. Landman, W.A. and S. J. Mason. 1999. Operational long-lead prediction of south African rainfall, using canonical correlation analysis. *Inter. J. Climatol.* 19:1073-1090.
11. Landman, W.A. and S. J. Mason. 2001. Forecasts of near-global sea surface temperature using canonical correlation analysis. *J.Climate* 3819-3833.
12. Nazemosadat, M. J. 2001. Winter rainfall in Iran: ENSO and aloft wind interactions, *Iranian J. Sci & Technol.* 25(B4):611-624
13. Nazemosadat, M. J, I. Cordery. 2000. The impact of ENSO on Winter rainfall in Iran .*Proceedings of 3th international hydrology and water resources symposium of the institution of engineers, Astralia, 20-23 Nov, pp:538-543.*
14. Nazemosadat, M. J., A. R.Ghasemi. 2002. The influence of the Caspian sea SSTs on the Winter and Spring rainfalls over northern parts of Iran. *proceedings of international conference on hydrology and watershed managment, India, 18-20 December, pp:297-304.*
15. Preisendorfer, RM. 1988. *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*. Development in Atmospheric 17, Elsevier Pub., New York.