کاربرد CCA به‌منظور 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 حاصل‌خیز از کشور دارد. با به‌کارگیری مدل تحلیل هم‌بستگی متعارف (Canonical Correlation Analysis, CCA)، امکان پیش بینی بارش زمستانه این استان‌ها براساس وضعیت پدیده النینیو- 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، چهارمؤلفه 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 پیش بینی 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 شبیه سازی 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، پیش بینی، زمستان، گیلان، مازندران، خشکسالی، ENSO، EOF، Nino، SST*

---

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]

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 ۷۹-۷۸ و ۸۰-۷۹ به‌ترتیب 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، به‌طوری‌که بخش وسیعی از مواد غذایی تهران و نواحی اطراف در نواحی شمالی تولید می‌شود. شناسایی عوامل موثر بر نوسان‌های بارش در یک فصل و پیش بینی 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). پیش بینی بارش، از اقدامات اساسی به منظور به حداقل رسانیدن تصمیم گیری‌های نسنجیده و فوری در هنگام وقوع حوادثی مانند سیل و خشک‌سالی می‌باشد. بدون پیش بینی‌های دراز مدت اقلیمی مدیریت منابع آب و خاک عموماً بر مبنای داخل شدن در بحران و تصمیم گیری در مواقع اضطراری استوار می‌باشد. پیش بینی 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 به‌طور مستقیم در ارتباط است پیش بینی‌های دراز مدت اقلیمی را مبنای بسیاری از تصمیم گیری‌های کلان خود قرار دهند.

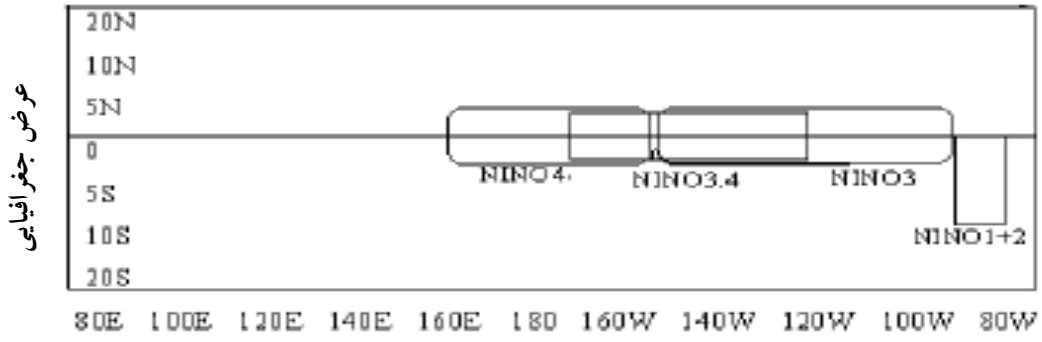
ناظم السادات و کوردی (۱۳)، ناظم السادات (۱۲) با بررسی تأثیر پدیده ENSO بر بارش زمستانه ایران نشان دادند که در مقایسه با سایر ایستگاه‌های کشور، دو ایستگاه بندر انزلی و نوشهر بیشترین حساسیت را به این پدیده دارند. توضیحات بیشتر در مورد پدیده ENSO ، شاخص SOI و تأثیر آن بر بارش کشور توسط ناظم السادات(۱) ارائه شده است. علاوه بر بارش دو ایستگاه یاد شده، بارش زمستانه در برخی از نواحی شرقی کشور نیز به‌طور 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 حاضرتوجه 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 پیش بینی 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) می تواند توانایی پیش بینی‌ها را افزایش داده و برای مدل های شبیه سازی 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 برSOI، 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 پیش بینی بارش نواحی شمالی ایران را با یکدیگر مقایسه ننموده و ارائه مدلی برای امر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]



شکل۱. موقعیت جغرافیایی Ninoها در اقیانوس آرام

پیش‌بینی از اهداف آنها نبوده است. علاوه بر این، پژوهش‌های انجام شده مشخص ننموده‌اند که آیا به غیر ازناحیه Nino3.4 دمای سطح آب در دیگر نقاط اقیانوس آرام نیز می‌تواند در امر پیش بینی استفاده شود یا خیر. تأثیر تحول زمانی Nino's SST و نیز SOI در امر پیش بینی بارش ایران نیز مورد توجه پژوهش‌های یاد شده نبوده است. نکته دیگر آن‌که در پژوهش‌های گذشته بر تأثیر هم‌زمان SOI و دمای Nino3.4 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 پیش بینی بارش زمستانه استفاده می‌شوند.

در حال حاضر، مدل های مختلفی در ایالات متحده آمریکا، اروپا و استرالیا به منظور پیش بینی‌های بارش مورد استفاده قرار می‌گیرد(۷). یکی از مدل‌های مقبول که به‌طور 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 پیش بینی وضعیت آب و هوایی در سال ۲۰۰٤ میلادی بر اساس این مدل در سایت اینترنتی NOAA موجود می‌باشد. با توجه به توانایی زیاد این مدل در امر پیش بینی اقلیمی، استفاده از آن به منظور 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 Nino 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 ۱۹۹۷-۱۹۶۱ از سالنامه هوا شناسی استخراج گردیدند. با میانگین‌گیری از داده‌های این سه ماهه، سری زمانی زمستانه بارش به‌دست آمد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]

ب) داده‌های Nino's SST

سری زمانی دوازده ماهه دمای سطح آب (SST) اقیانوس آرام برای هر چهار منطقه Nino1+2، Nino3، Nino3.4، Nino4 از بانک اطلاعاتی سازمان NOAA برای دوره زمانی ۱۹۹۶- ۱۹۶۰ 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 اکتبرتا دسامبر به‌ترتیب 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 ۱۹۹۶- ۱۹۶۰ استخراج شده و مانند داده‌های بارش به سری زمانی فصلی تبدیل گردیدند.

روش‌های محاسباتی

الف) نرمال نمودن داده ها

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 منظو ر کاهش تعداد سری‌های زمانی اولیه و استخراج تعداد معدودی سری‌های زمانی مستقل از آنها روش EOF مورد توجه محققان علوم هوا و اقلیم شناسی و اقیانوس شناسی قرار گرفته است(٦ و ١٥). روش‌های محاسباتی، اهمیت و اهداف استفاده ازروش تحلیل مؤلفه‌های اصلی که مشابه روش EOF می باشد توسط ناظم السادات و همکاران(۲) ارائه گردیده است. در بررسی حاضر، سری زمانی فصلیSST برای فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز هر یک از چهارNino 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 ش رح زیر در ماتریسNS به شرح زیر با بیست ستون قرار داده شد.

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

به طوری که ستون N_{ij} بیانگرسری 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_i 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 تولیدشده به‌عنوان پیشگو کننده‌های ورودی CCA در نظر گرفته شدند. این سری داده‌ها می‌توانند به‌عنوان یک شاخص جدید در توجیه نوسان‌های بارش کشور استفاده شوند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]

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 پریزندورفر (۳)، بارنستون (۴)، بارنستون و راپلوسکی (۵) و لاندمن و میسون (۱۰ و ۱۱) در علم هواشناسی به‌کار برده‌اند.

روش CCA توابع خطی بین دو مجموعه از متغیرهای $X_1,...,X_p$ (مثلاً پیشگو کننده‌ها مانندNino ها و SOI) و $Y_1,...,Y_q$ (مثلاً ایستگاه‌های بارش) را به‌گونه‌ای تولید می‌نماید که ضریب هم‌بستگی بین توابع متناظر پیشگو کننده‌ها و پیشگوشونده‌ها به بیشینه مقدار خود برسد. به بیان دیگر، با به‌کارگیری روش CCA چند ترکیب خطی پیشگو کننده‌ها (Wi) و پیشگو شونده‌ها (Zi) استخراج می‌شوند، به‌طوری‌که ضریب هم‌بستگی بین هر Wi و Zi به بیشترین مقدار ممکن می‌رسد. Wi و Zi به‌ترتیب ترکیب خطی از متغیرهای پیشگوکننده ($X_1,...,X_p$) و پیشگوشونده ($Y_1,...,Y_q$) می‌باشند. برای نمونه، ترکیب خطی ازمتغیرهای پیشگوکننده و پیشگوشونده به‌صورت زیر نوشته می شوند:

$$W1 = \beta_{11}X_1 + \beta_{12}X_2 + ... + \beta_{1p}X_p \qquad [۲]$$

$$Z1 = \gamma_{11}Y_1 + \gamma_{12}Y_2 + ... + \gamma_{1q}Y_q \qquad [۳]$$

روش CCA مقادیر $\beta_{11},\beta_{12},...,\beta_{1p}$ و $\gamma_{11},\gamma_{12},...,\gamma_{1q}$ را به گونه‌ای محاسبه می‌نماید که ضریب هم‌بستگی بین W1 و Z1، $[Rc1 = corr(W1, Z1)]$، بیشترین مقدار ممکن شود.

در مرحله بعدی، ترکیب‌های خطی برای تولید W2 و Z2 با شرط آن‌که ضریب هم‌بستگی بین آنها ، $[Rc2 = corr(W2, Z2)]$، بیشترین مقدار باشد و نیز ضریب هم‌بستگی Z1 با $Z2$، $Z1$با W1 ،W2 با Z2و W1 با W2 صفر باشند، به‌صورت زیر تعریف می شود:

$$W2 = \beta_{21}X_1 + \beta_{22}X_2 + ... + \beta_{2p}X_p \qquad [۴]$$

$$Z2 = \gamma_{21}Y_1 + \gamma_{22}Y_2 + ... + \gamma_{2q}Y_q \qquad [۵]$$

این روش تا به‌دست آمدن m مجموعه از متغیرهای متعارف ادامه پیدا می‌کند ($m = \min(p, q)$). بنابراین m مجموعه از متغیرهای متعارف $(W1, Z1), (W2, Z1),..., (Wm, Zm)$ حاصل می شود به طوری که دو شرط زیر برقرار باشند:

۱. هم‌بستگی‌های متعارف $Rc1, Rc2,...Rcm$ بیشترین مقدار را داشته باشند.

۲. $corr(Zj, Zk) = corr(Wj, Wk)$
$= corr(Wj, Zk) = ۰; j \neq k$

Wi و Zi به ترتیب i امین متغیر متعارف پیشگو کننده و پیشگو شونده و Rci، iامین هم‌بستگی متعارف نامیده می‌شود. چون در پژوهش حاضر پیش‌بینی در دو ایستگاه بارش مورد توجه بوده است بنابراین m=۲ می‌باشد.

ج) ارزیابی زمانی و مکانی تأثیر پیشگوکننده‌ها بر بارش ایستگاه‌ها

برای روشن نمودن تأثیر هر یک از عناصر ماتریس NS بر سری زمانی Wi ضریب هم‌بستگی ساده بین متغیرهای متعارف پیشگو کننده $(W1, W2,..., Wm)$و هر یک از بردارهای ستونی عضو ماتریس NS (معادله ۱) محاسبه گردید. هدف از انجام این محاسبات آن بود که روشن شود کدام‌یک از فصول و متغیرهای پیشگو کننده هم‌بستگی بیشتری با $W1, W2,..., Wm$ دارند. به بیان دیگر، هدف این مرحله از محاسبات، آن است که روشن نماید کدام یک از ستون‌های ماتریس NS بهترین معرف برای توابع خطی W می‌باشند. برای نمونه، ممکن است مشخص شود که ستون دوم این ماتریس (که مثلاً سری زمانی بهاره Nino3.4 می‌باشد) بیشترین هم‌بستگی را با W1 دارد.

ضریب هم‌بستگی بین متغیرهای متعارف پیشگو کننده و متغیرهای اولیه پیشگوکننده که Nino's SST و SOI در فصول مختلف سال هستند، به‌صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$rn^m{}_{i(j)} = corr(Wm, N_{i(j)})$$

وقتی که:

$$i=1,2,3,4 \quad j=1+2,3,4,3.4 \qquad [۶]$$

$$rs^m{}_i = corr(Wm, S_i)$$

وقتی که:

$$i=1,2,3,4 \qquad [۷]$$

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]

در روابط بالا، $rn^{m}_{i(j)}$ و rs^{m}_{i} ضرایب هم‌بستگی، m شماره متغیر پیشگو کننده، i بیانگر فصل و j بیانگر شماره Nino می باشند. برای مثال، $rn^{1}_{1(3.4)}$ ضریب هم‌بستگی بین W1 و داده های زمستان (i=1) در Nino3.4 می‌باشد. به همین ترتیب rs^{2}_{4} ضریب هم‌بستگی بین W2 و شاخص SOI در فصل پاییز i =٤ می‌باشد. متناظر با این هم‌بستگی‌ها، مقادیر R^{m}_{1} و $R^{m}_{۲}$ 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 رابطه۶ و ۷، چنانچه در نظر باشد تأثیر متغیرهای پیشگو کننده اعم از Nino هاو SOI در فصل i ام بر m امین مؤلفه متعارف پیشگوکننده (Wm) اندازه‌گیری شود، از عامل Mr^{m}_{i} در رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$Mr^{m}_{i} = \frac{\sum_{j=1+2,3,3.4,4} (rn^{m}_{i(j)})^2 + (rs^{m}_{i})^2}{\sum_{j=1+2,3,3.4,4} \sum_{i=1,2,3,4} \left((rn^{m}_{i(j)})^2 + (rs^{m}_{i})^2 \right)}$$

$$i=1, 2, 3, 4$$

[۸]

حال اگر اندازه‌گیری تأثیرهر یک از Nino های خاص و SOI در مجموع چهار فصل سال بر Wm مورد نظر باشد به‌ترتیب از مقدار $M'rn^{m}_{j}$ و $M'rs^{m}_{i}$ در روابط زیر استفاده خواهد شد.

$$M'rn^{m}_{j} = \frac{\sum_{i=1,2,3,4} (rn^{m}_{i(j)})^2}{\sum_{j=1+2,3,3.4,4} \sum_{i=1,2,3,4} \left((rn^{m}_{i(j)})^2 + (rs^{m}_{i})^2 \right)}$$

$$j=1+2,3,3.4,4$$

[۹]

$$M'rs^{m}_{i} = \frac{\sum_{i=1,2,3,4} (rs^{m}_{i})^2}{\sum_{j=1+2,3,3.4,4} \sum_{i=1,2,3,4} \left((rn^{m}_{i(j)})^2 + (rs^{m}_{i})^2 \right)}$$

$$i=1,2,3,4$$

[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 برررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست 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 باکلیه Nino's SST درفصول 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]

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
اعضای ماتریس NS که وابستگی بیشتری با هر یک از مؤلفه‌های EOF دارند	Nino1+2 پاییزه Nino3 تابستانه Nino3 پاییزه Nino3.4 تابستانه Nino3.4 پاییزه Nino4 پاییزه Nino4 تابستانه SOI بهاره SOI تابستانه SOI پاییزه	Nino3.4 بهاره Nino4 بهاره Nino1+2 زمستانه Nino3 زمستانه Nino3.4 زمستانه Nino4 زمستانه SOI زمستان	Nino1+2 بهاره Nino1+2 تابستانه Nino3 بهاره	هم‌بستگی‌ها اغلب ضعیف بودند ولی هم‌بستگی‌های بالاتر بیشتر در فصل تابستان و پاییز بود

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 به عنوان یک شاخص جدید که ویژگی‌های بهاره تا پاییزه 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 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 حالی‌که 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]

Ninos در فصل زمستان می باشد. 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 می کنند 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 متغیر های متعارف شامل (W1, Z1) و (W2, Z2) به‌دست 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 Rc۱ = ۰/۶۱ می‌باشد و توان دوم این عدد بیانگر آن است که ۳۷/۲٪ از پراکنش موجود در سری زمانی Z1 توسط W1 توجیه می‌گردد.

دومین هم‌بستگی متعارف (Rc2) بین (W2, Z2) برابر با Rc2 = ۰/۲۸ می‌باشد که توان دوم آن بیانگر آن است که ۷/۸٪ از پراکندگی موجود در سری زمانی Z2 توسط W2 شرح داده می‌شود.

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 می باشد، شناسایی نمایه‌هایی که بتواند بخش قابل توجهی از واریانس داده‌های آن را تعریف نمایند از اهمیت فوق العاده ای 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 ٤٥٪ از واریانس بارش توسط یک شاخص نشانگر اهمیت زیاد آن شاخص در پیش‌بینی بارش می‌باشد.

۳. نقش EOF ها در پیش بینی

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 مقدار می باشد (CORR(W1,EOF1)= -۰/۷). 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]

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	−۰/٦۲
W2	۰/۷	−۰/۰۲	۰/۱٦	−۰/٦۹

جدول ۳. تأثیر هر یک از فصول در توجیه واریانس W1 و W2 برحسب 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

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 پیش‌بینی

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 می گردد ۱۰۰ فرض شود، ۳۵٪ از این واریانس توسط نوسان‌های دمای سطح آب در Nino های چهارگانه و SOI در فصل بهار توجیه می‌گردد. در مرحله بعدی نوسان‌های مربوط به Nino های چهارگانه و SOI به‌ترتیب اهمیت مربوط به فصول از فصل 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 SST و SOI در این سه فصل از نقطه نظر پیش بینی بارش در ناحیه مورد 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 می گردد ۱۰۰٪ فرض شود، سهم عمده از این واریانس(۳۵٪) توسط Nino های چهار گانه و SOI در فصل پاییز توجیه می‌شود. در مرحله بعدی، نوسان‌های Nino 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 درفصل 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]

جدول۴. سهم هر یک از Nino's SST وSOI در توجیه واریانس W1 و W2 برحسب 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 تأثیرNino's SST وSOI 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 حدود۳۰٪ 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 شاخصSOI 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 کاربردSST در محدوده ۵ درجه شمالی تا ۵ درجه جنوبی و ۱۶۰ درجه شرقی تا ۱۵۰درجه 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 پیشگوشونده

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 وبندر 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 پیشگوشونده و بارش در ایستگاه بندر انزلی و نوشهر به‌ترتیب برابر با $R^1_1 = ۰/۶$ و $R^1_2 = ۰/۴۳$ بود. هم‌بستگی بین دومین متغیر متعارف پیشگو شونده و بارش در ایستگاه بندر انزلی و نوشهر به‌ترتیب برابر با $R^2_1 = ۰$ و $R^2_2 = -۰/۲$ 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 می کند. 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]

جدول۵ . ضریب هم‌بستگی بین Z1 و Z2 با بارش‌های زمستانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

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

۷. کارایی مدل CCA در پیش‌بینی

توانایی مدل CCA در امر پیش بینی بارش زمستانه از طریق مقایسه مقادیر شبیه سازی 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 پیش بینی شده بارش به‌دست آمد(شکل‌های ۲- ب و۳- ب). مقادیر ارائه شده ضریب هم‌بستگی بین این دو سری زمانی (سری پیش بینی شده و سری مشاهدات) و نیز میزان انحراف از میانگین داده‌ها بیانگر دقت مدل CCA به‌منظور پیش بینی بارش زمستانه می‌باشد. مشخص شد که این ضریب برای ایستگاه نوشهر و بندر انزلی به‌ترتیب برابر با ۰/۴۷و۰/۶۰ 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 پیش بینی‌ها 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 پیش بینی شده رسم شده است. یادآوری می گردد 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، ۱۹۷۲و ۱۹۸۲ اتفاق افتاده است.

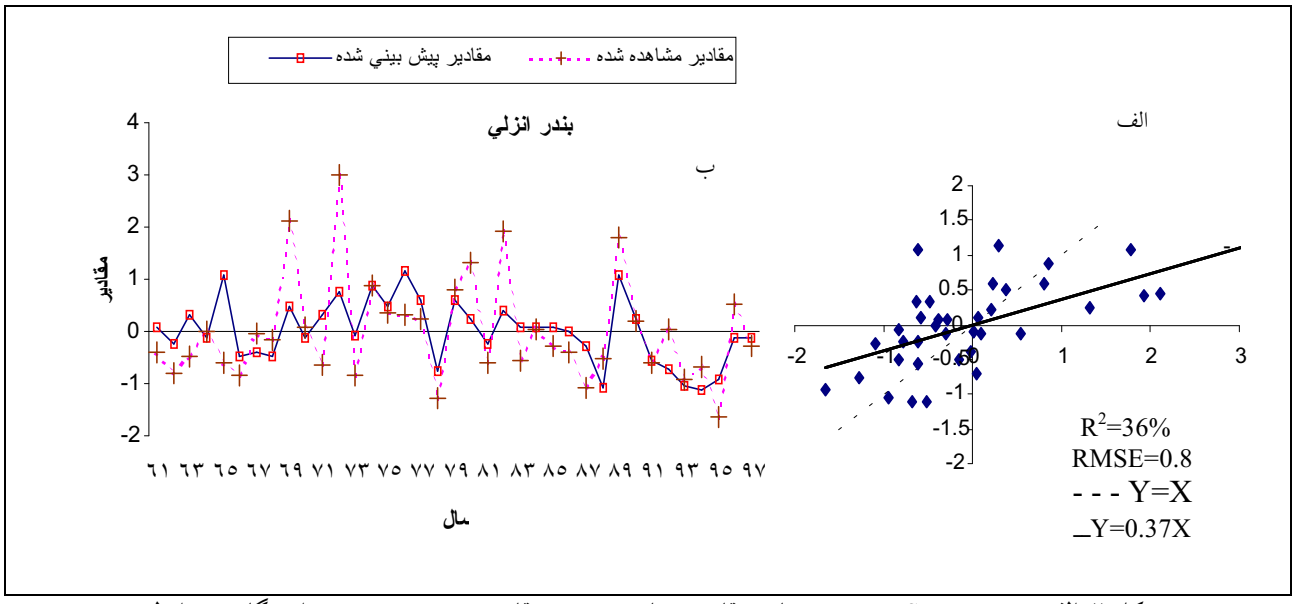
نتایج به دست آمده بیانگر آن است که در بیش از ۷۰٪ موارد، بارش بیشتر یا کمتر از میانگین دراز مدت به درستی توسط مدل برآورد شده است. به عبارت دیگر، شاخص‌های به کار گرفته شده قادرند که تا ۷۰٪ موارد در جواب به این سوال که آیا بارش بیشتر یا کمتر از معمول است، پاسخ صحیح ارائه نمایند. یادآوری می‌شود که در پیش‌بینی‌های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

در سال ۱۹۶۵برخلاف مشاهده، مدل CCA مقدار بارش هر دو ایستگاه را بیشتر از میانگین پیش بینی نموده است. بررسی وضعیت دمای سطح آب و شاخص SOI در سال ۱۹۶۴ بیانگر آن بود که بر اساس اطلاعات موجود، مدل در امر پیش بینی خطا نرفته و آنچه موجب عدم صحت پیش بینی 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 (۱٤) نشان داده‌اند که نوسان‌های دمای سطح آب دریای خزر تأثیر معنی داری 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.

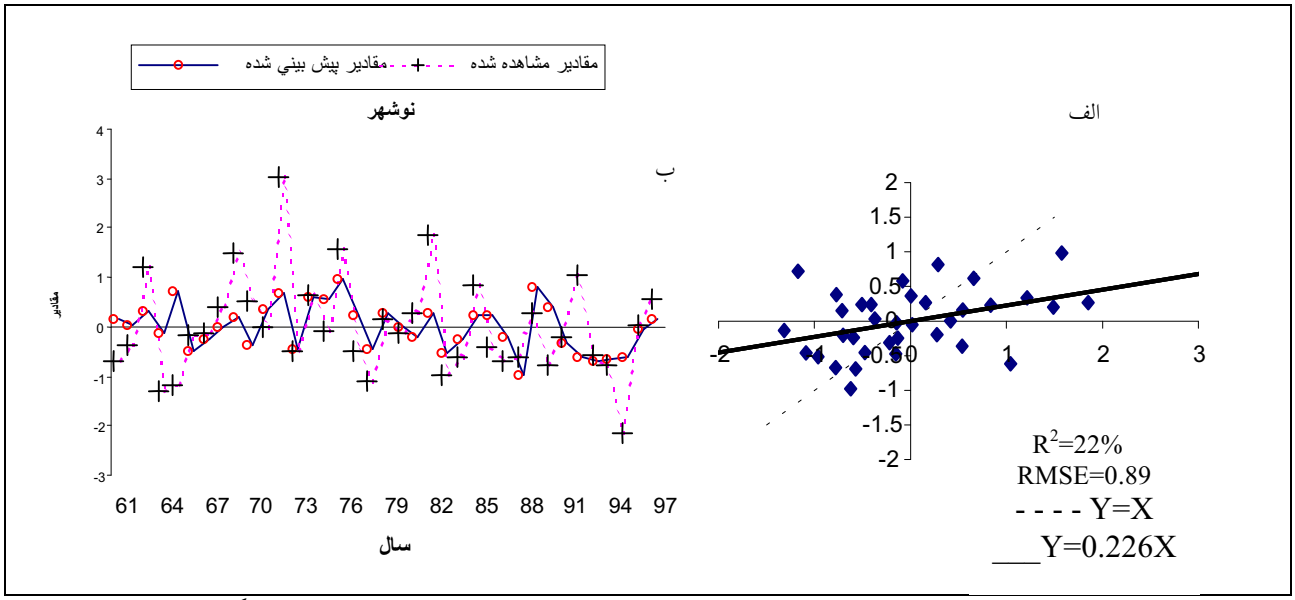
گرچه در سال‌های ۱۹۶۹، ۱۹۷۲و ۱۹۸۲ مقدار بارش زمستانه بیشتر از نرمال بوده و مدل نیز پیش بینی بیشتر از نرمال را نشان می‌دهد، در عین حال مقادیر برآورد شده و مشاهدات خیلی نزدیک نبوده‌اند. مشاهدات فصلی Nino's SST در سال‌های ۱۹۶۸و ۱۹۸۱ (یک سال قبل) نشان می‌دهند که در این سال‌ها تغییرات SST از یک روند خاص تبعیت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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]



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



شکل۳ . الف : Scatterplot ب: سری زمانی مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش بینی شده در ایستگاه نوشهر

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 نوسان می‌نموده است. نتایج به‌دست 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 افزاینده) تبعیت می‌نمایند، امکان پیش بینی به میزان زیادی افزایش می‌یابد. پژوهش‌های جدیدتر به منظور

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]

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

نتیجه‌گیری

تأثیـر نوسـان‌هـای دو شـاخـص SOI و Nino's SST بر بـارش ایستگاه‌های بندر انزلی و نوشهر توسط مدل CCA مورد ارزیابی قـرار گـرفت. ایسـتگاه‌هـای مـورد مطالعه در اصلی‌ترین نواحی کشت برنج کشور واقع گردیده‌اند و نتایج حاصل از این بررسی مـی‌تـواند در پـیش بینـی مقدار بارش و تولید برنج کشور نقش مهمـی داشـته باشـد. سـری های زمانی فصلی Nino های چهار گانـه و شـاخص SOI بـه‌عـنوان پیشـگو کننده‌ها و سری زمانی بـارش زمسـتانه در ایسـتگاه‌هـای نوشـهر و بندر انزلی به‌عنوان پیشـگو شـونده مـنظور گـردیدند. روش توابـع مـتعامد تجربی (EOF) برای خلاصه سازی و فیلتر نمودن داده‌های پیشگوکننده اسـتفاده شـد. بـا کاربـرد روش EOF چهار مؤلفه اصلی پیشگو کننده که در حدود ۹۲٪ از کل واریانس داده‌های Nino's SST و SOI را تعـریف مـی‌نمـودند، انـتخاب شـدند. دوران عـوامل بارگـذاری نشان دادکه مؤلفه اول (EOF1) بیشترین وابستگی را بـه تغییـرات SOI از بهـار تا پاییـز و Nino's SST در فصـول تابستان و پاییز دارد. این نتایج بیانگر آن بود که نوسان‌های SOI از فصـل بهـار و تغییـرات SST از فصـل تابسـتان به بعد نقش مهمـی در پـیش بینـی بارش زمستانه سواحل دریای خزر دارند. پـایش رونـد ایـن نوسـان‌ها نقش مؤثری در بالابردن دقت پیش بینـی بـارش دارد. سری زمانی EOF2 و EOF3 به‌ترتیب بیانگر تغییـرات SOI و Nino's SST در فصـول زمستان و بهار بودند. مـؤلفه‌هـای اول و چهـارم نیـز نقـش مهمـی در امـر پیش بینی داشتند. نتایج نشان داد که نوسان‌های دمای سطح آب در Nino4 نقـش مهـم‌تـری نسـبت بـه سـایر Nino هـا و SOI در توجـیه واریانس بارش بندر انزلی داشت. هم‌چنین نوسان‌های Nino4 و Nino1+2 نقش مهمی در توجیه واریانس بارش نوشهر داشت.

نـتایج بیانگـر آن اسـت که فصول بهار و پاییز از نظر تحول زمانـی اهمـیت بسـزایی را در توجیه بارش بندر انزلی و نوشهر دارنـد. مقدار واریانس قابل توجیه توسط چهار مؤلفه اصلی اول در دو ایسـتگاه نوشـهر و بـندر انزلی به‌ترتیب برابر ۲۲٪ و ۳۶٪ بود. توانایی مدل CCA برای پیش بینی بارش در هر دو ایستگاه بـارش ارزیابـی شد و نتایج به‌دست آمده نشانگر معنی دار بودن آمـاری پـیش بینی‌ها بود. هم چنین نتایج نشان داد که مدل پیش بینـی در بیش از ۷۰٪ از موارد توانسته است روند بیشتر و کمتر از میانگـین بـارش را بـه خوبـی پیش بینی کند. عدم دقت مدل عمـوماً مـربوط بـه دوران‌هـــایـی بـــود کـه تغیـیـرات SOI یـا Nino's SST در طـــول فـصـــول از بـهـار تا پاییـــز از رونـــد خاصـی تبعـیت نمـی‌نمـودند. عـلاوه بـراین، به‌نظر می‌رسد که شـرایط سـینوپتیک محلی و مخصوصاً تغییرات اقلیمی در سطح دریـای خـــزر مـوجب مـــی‌گـردد تا پیش بینـی مـدل CCA دچـــار اختـلالاتـی گـــردد. داخـل نمودن شرایط اقلیمی دریای خزر در مدل می‌تواند موجب بهبود پیش بینی‌ها گردد.

سپاسگزاری

بـدین وسـیله از صـندوق بیمه محصولات کشاورزی و شورای پژوهشی دانشگاه شیراز به خاطر حمایت از اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. نـاظم السـادات، س. م. ج. ۱۳۸۰. *آیـا بـاران مـی‌بـارد؟ خشـک‌سـالی و بـارش مـازاد در ایـران و ارتـباط آنهـا بـا پدیده النینیو-نوسانات جنوبی*. انتشارات دانشگاه شیراز، ۱۰٤ صفحه.

۲. نـاظم السـادات، س. م. ج، ب. بیگـی و س. امـین.۱۳۸۲. پهـنه‌بـندی بـارش زمسـتانه اسـتان‌هـای بوشـهر، فـارس و کهگیلویه و بویر احمد. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۷(۱):٦۱-۷۲.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]

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.Ropelewiski. 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 Oceangraphy. 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 Oceangraphy. Development in Atmospheric 17, Elsevier Pub., New York.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.2.8]