



گروه مهندسی آبیاری و آبادانی

سومین کنفرانس ملی هواشناسی کشاورزی

کرج- پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

6 و 7 مهر ماه 95

بررسی پیش‌بینی پذیری بارش بهاره بر اساس نوسانات دمای سطح آب دریای مدیترانه و خلیج فارس (مطالعه موردی: حوضه کرخه)

فرشته مدرسی^{1*}، شهاب عراقی‌نژاد²، کیومرث ابراهیمی³

1- دکتری مهندسی منابع آب- دانشگاه تهران، fmodaresi@ut.ac.ir

2- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

3- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

چکیده

بارش بهاره تأمین کننده بخش اعظم آب مورد نیاز کشاورزی در فصول بهار و تابستان است. از این‌رو، پیش‌بینی آن در برنامه‌ریزی‌های زراعی و تعیین نوع کشت نقش بسیار مهمی را ایفاء می‌نماید. در این مقاله، پیش‌بینی پذیری بارش بهاره در حوضه کرخه که دربرگیرنده دشت حاصلخیز خوزستان است، تحت نوسانات فصلی دمای سطح آب خلیج فارس و دریای مدیترانه مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور، از روش داده‌کاوی تجزیه به مقادیر منفرد (SVD) برای ایجاد سری‌های زمانی همبسته از مقادیر دمای سطح آب دریاها با بارش بهاره و یک شبکه عصبی مصنوعی با ساختار بهینه برای بررسی نحوه پیش‌بینی پذیری بارش استفاده شده است. با توجه به وسعت حوضه کرخه و تنوع آب و هوا در بخش شمالی و جنوبی آن، تحقیق حاضر در دو زیرحوضه بالادست سد سیمره و بالادست سد کرخه صورت گرفته است. نتایج حاصل از روش SVD نشان می‌دهد که نوسانات پاییزه دمای سطح آب خلیج فارس و نوسانات زمستانه دمای سطح آب دریای مدیترانه اثرگذارترین متغیرها بر بارش بهاره در هر دو زیرحوضه می‌باشند. با این وجود، بررسی پیش‌بینی پذیری بارش بهاره در هر زیر حوضه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد که دو متغیر دمای پاییزه سطح آب خلیج فارس و دمای زمستانه سطح آب دریای مدیترانه به‌طور هم‌زمان بهترین پیش‌بینی کننده‌های بارش بهاره در زیرحوضه سیمره می‌باشند؛ در حالیکه متغیر دمای زمستانه سطح آب دریای مدیترانه به تنهایی سبب ایجاد بهترین پیش‌بینی برای بارش بهاره در زیرحوضه کرخه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی بارش، دمای سطح دریا، روش تجزیه به مقادیر منفرد، شبکه عصبی مصنوعی.

یکی از عوامل اثرگذار بر مدیریت و برنامه‌ریزی زراعی و تعیین نوع کشت، آگاهی از میزان بارش و آب در دسترس و قابل استحصال می‌باشد. بارش بهاره تأمین کننده آب مورد نیاز کشت دیم بهاره و نیز بخش قابل توجهی از ذخیره آب مورد نیاز کشاورزی در بهار و تابستان است. از این رو پیش‌بینی بارش بهاره در برنامه‌ریزی‌های زراعی و تعیین نوع کشت بر اساس میزان آب قابل استحصال نقش بسیار مهمی را ایفاء می‌نماید. با این وجود، پیش‌بینی بارش بهاره در مقابل بارش پاییزه و زمستانه کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است.

از آنجایی که بارش یک پدیده کاملاً جوی و اقلیمی است و تحت تأثیر عوامل انسانی قابل کنترل نمی‌باشد، پیش‌بینی این پدیده در بلندمدت فرآیندی بسیار پیچیده می‌باشد. یکی از عواملی که به انجام پیش‌بینی‌های بلندمدت در سال‌های اخیر رونق داده است، مشاهده تأثیرات از راه دور اقلیم در الگوی بارش‌های فصلی در نقاط مختلف جهان بوده است. از این رو، استفاده از سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی به عنوان پیش‌بینی‌کننده بارش در یک مدل پیش‌بینی از چالش‌های مهم در فرآیند مدل‌سازی پیش‌بینی‌های بلندمدت می‌باشد.

سیگنال‌های اقلیمی که بر اساس شاخص‌هایی ناشی از نوسانات فشار هوا و دمای سطح آب اقیانوس‌ها محاسبه می‌شوند، نشانگر برهم‌کنش اقیانوس و جو می‌باشند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به شاخص نوسانات جنوبی النینو¹ (ENSO)، نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام² (PDO)، شاخص نوسانات جنوبی³ (SOI)، نوسانات اقیانوس اطلس شمالی⁴ (NAO)، نوسانات چند دهه‌ای اقیانوس اطلس⁵ (AMO) اشاره نمود.

علاوه بر شاخص‌های اقلیمی، محققین ارتباط مستقیم میان نوسانات دمایی سطح آب اقیانوس‌ها و بارش‌های رخ داده در نواحی مختلف جهان را نیز مورد ارزیابی قرار داده و به وجود ارتباط‌های مؤثری پی‌برده‌اند؛ نظیر اثرگذاری دمای سطح آب اقیانوس آرام و هند بر میزان بارش زمستانه در استرالیا [1]، اثرگذاری دمای سطح آب اقیانوس آرام و اطلس گرمسیری بر میزان بارش ماهانه در شمال شرق برزیل [2]، پیش‌بینی پذیری بارش تابستانه هند بر اساس نوسانات دمای سطح آب اقیانوس هند [3] و نیز اثرگذاری نوسانات دمای سطح آب اقیانوس اطلس در تابستان بر بارش زمستانه در جنوب غرب اروپا و شمال غرب آفریقا [4].

علاوه بر اقیانوس‌ها، دریاهای بزرگ نیز یکی از عوامل اثرگذار بر اقلیم نواحی اطرافشان به‌شمار می‌آیند. از آن جمله، می‌توان به دریای مدیترانه اشاره نمود. دریای مدیترانه یکی از منابع مهم تولید رطوبت در غرب ایران است و شواهد نشان می‌دهد که نوسانات دمایی و فشاری سطح آب این دریا بر اقلیم کشورهای اطرافش نظیر ترکیه [5]، کشور ساحل در آفریقا [6] و یونان [7] اثرگذار می‌باشد.

¹ El- Niño Southern Oscillation

² Pacific Decadal Oscillation

³ the Southern Oscillation Index

⁴ the North Atlantic Oscillation

⁵ Atlantic Multi decadal Oscillation

همچنین، تحقیقات نشان می‌دهد که نوسانات دمایی سطح آب این دریا بر اقلیم ایران نیز اثرگذار است؛ از آن جمله، رضایی بنفشه و همکاران [8] از نوسانات دمایی سطح آب دریای مدیترانه به ترتیب در فصل پاییز و تابستان برای پیش‌بینی میزان بارش زمستانه و پاییزه ایستگاه‌هایی در منطقه غرب ایران استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که شرایط سردتر دمای سطح آب در پاییز در مقایسه با شرایط گرمتر آن سبب افزایش بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل زمستان شده است. همچنین میزان دمای سطح آب دریای مدیترانه در فصل تابستان و بارش در فصل پاییز در هیچ یک از ایستگاه‌ها همبستگی معنی‌داری نداشته است. در تحقیق دیگری، میدانی و عراقی‌نژاد [9] نشان دادند که متوسط دمای پاییزه سطح آب دریای مدیترانه بر بارش زمستانه (ماه‌های ژانویه تا مارس) و جریان متوسط زمستانه - بهاره (فوریه تا می) در ناحیه جنوب غرب ایران اثرگذار است و آنها توصیه کردند که نوسانات پاییزه سطح آب مدیترانه می‌تواند به عنوان یک متغیر پیش‌بینی کننده برای پیش‌بینی بارش در این ناحیه بکار رود.

دریای دیگری که تحقیقات صورت گرفته نشان می‌دهد که بر اقلیم نواحی جنوبی، جنوب غرب و غرب ایران اثرگذار است، خلیج فارس می‌باشد. ناظم‌السادات و کوردی [10] نشان دادند که دمای سطح آب خلیج فارس همبستگی قابل توجهی با بارش در نواحی جنوبی ایران دارد. همچنین، در تحقیق دیگری، ناظم‌السادات [11] ثابت کرد که همبستگی منفی قابل توجهی میان دمای سطح آب خلیج فارس و بارش زمستانه در استان‌های واقع در غرب و جنوب ایران وجود دارد؛ چنانکه وقتی دمای سطح آب خلیج فارس کمتر از میانگین است، بارش زمستانه در این نواحی بیشتر از میانگین است. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، ناظم‌السادات [12] از دمای سطح آب خلیج فارس در پاییز و زمستان برای پیش‌بینی بارش در این فصول در ایستگاه‌های هواشناسی شیراز و بوشهر در جنوب غرب ایران استفاده نمود.

همچنین، افشین و همکاران [13] برای پیش‌بینی بلندمدت بارش در حوضه کارون واقع در جنوب غرب ایران از شاخص‌های SOI، NAO و دما و فشار سطح آب خلیج فارس استفاده نمودند. در نتایج این تحقیق، شاخص NAO و دمای سطح آب خلیج فارس به عنوان بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های بلندمدت بارش در حوضه کارون شناسایی شدند.

با توجه به مطالعات صورت گرفته مشاهده می‌شود که نوسانات دمای سطح آب دو دریای مدیترانه و خلیج فارس به‌طور جداگانه بر مقادیر بارش پاییزه و زمستانه در نواحی غرب و جنوب غرب ایران اثرگذار است. با این وجود، اثرپذیری بارش بهاره از نوسانات دمایی سطح آب این دو دریا به‌طور هم‌زمان در حوضه‌های نواحی غربی و جنوب غربی کشور مورد بررسی قرار نگرفته است. از این‌رو، در این مقاله، پیش‌بینی پذیری بارش بهاره تحت نوسانات دمایی هر دو دریا در حوضه کرخه که از نظر کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و دربرگیرنده دشت حاصلخیز خوزستان است مورد بررسی قرار گرفته است.

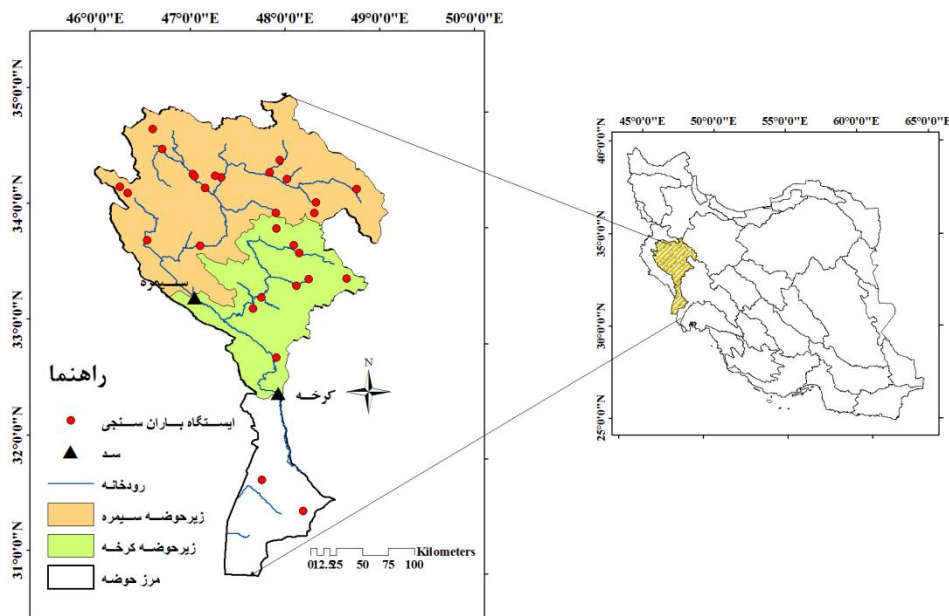
2- مواد و روش‌ها

2-1- معرفی منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

2-1-1- حوضه آبریز کرخه

حوضه آبریز کرخه در غرب کشور و در مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوه‌های زاگرس قرار دارد و در زمره‌ی یکی از حوضه‌های خلیج فارس به شمار می‌آید. این حوضه در محدوده جغرافیایی $46^{\circ} 23'$ تا $49^{\circ} 12'$ طول شرقی و 33° تا $35^{\circ} 00'$ عرض شمالی قرار گرفته و از لحاظ تقسیمات کشوری در استان‌های همدان، کرمانشاه، ایلام، لرستان و خوزستان واقع شده است. مجموع مساحت این حوضه در خاک ایران 50764 کیلومتر مربع است که 55/5% آن را مناطق کوهستانی (بخش شمالی و شرقی حوضه) و 44/5% آن را دشت و کوهپایه (بخش جنوبی و غربی حوضه) تشکیل می‌دهد. بخش عمده بارندگی در حوضه کرخه، ناشی از جریان‌های هوای نماداری است که به همراه مراکز کم‌فشار مهاجر از سمت مدیترانه، خلیج فارس به منطقه می‌رسند. فراوانی نسبی سالانه بارش ناشی از جریان‌های فوق‌الذکر به ترتیب 64/5 درصد، 22/9 درصد می‌باشد.

با توجه به وسعت زیاد حوضه کرخه و متفاوت بودن نوع آب و هوا و اقلیم در بخش شمالی و جنوبی این حوضه، در مقاله حاضر، پیش‌بینی پذیری بارش بهاره در دو زیرحوضه بالادست سد سیمره و بالادست سد کرخه به‌طور جداگانه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور، از آمار ماهانه بارش 32 ساله (1362-1393) در 18 و 9 ایستگاه باران سنجی به ترتیب در بالادست سد سیمره و کرخه استفاده شده است. در شکل 1، موقعیت ایستگاه‌های بارش در حوضه‌های مطالعاتی نشان داده شده است.



شکل 1: موقعیت حوضه کرخه و سدها و ایستگاه‌های باران سنجی آن

2-2- دمای سطح آب دریای مدیترانه و خلیج فارس

با توجه به اثرپذیری غالب آب و هوای حوضه کرخه از توده‌های هوای نمدار مهاجر از سمت دریای مدیترانه و خلیج فارس، در این مقاله، از داده‌های دمای سطح آب رینولدز (OI-V2) در محدوده این دو دریا به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده بارش بهاره استفاده شده است. این داده‌ها در مقیاس زمانی ماهانه ماهانه با دقت 1° در 1° برای تمام پهله آبی موجود می‌باشند. با توجه به وسعت دریای مدیترانه و خلیج فارس، داده‌های دمای سطح آب در 101 گره برای دریای مدیترانه و 26 گره برای خلیج فارس موجود می‌باشند. این داده‌ها از سال 1982 میلادی برابر با سال 1361 شمسی تا امروز در سایت NOAA⁶ به آدرس زیر موجود هستند که از آنها در بازه زمانی 1982 تا 2014 میلادی استفاده شده است.

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html>

2-3- روش انجام تحقیق

با توجه به تعداد گره‌های پوشاننده سطح هر یک از دریا‌های مدیترانه و خلیج فارس، 101 و 26 سری زمانی دمای ماهانه سطح آب به ترتیب برای این دو دریا موجود می‌باشد. بنابراین لازم است که اطلاعات موجود به نحوی ساماندهی شوند که بتوان از داده‌های برداشت شده از سطح آب هر یک از این دو دریا در قالب یک سری زمانی به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده در مدل‌سازی استفاده نمود.

برای این منظور، روش‌هایی نظیر میانگین‌گیری، آنالیز اجزای اصلی⁷ (PCA) و تجزیه به مقادیر منفرد⁸ (SVD) وجود دارد. روش SVD به علت استفاده از ماتریس کواریانس متقاطع، قادر است که از دو متغیر زمانی - مکانی⁹ (نظیر سری‌های زمانی دمای سطح آب دریا در سلول‌های مختلف و سری‌های زمانی بارش در ایستگاه‌های باران سنجی مختلف) سری‌های زمانی با بیشترین همبستگی را ایجاد نماید در حالیکه روش PCA می‌تواند فقط برای یک متغیر زمانی - مکانی مورد استفاده قرار گیرد. از این‌رو، در این مقاله از روش SVD برای ایجاد سری‌های زمانی همبسته از متغیرهای پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی شونده استفاده شده است که به شرح زیر می‌باشد:

2-4- روش تجزیه به مقادیر منفرد (SVD)

روش تجزیه به مقادیر منفرد یک روش آماری قوی بر مبنای نظریه جبر خطی است. با بکارگیری این روش که یکی از روش‌های داده کاوی است، می‌توان از میان حجم زیادی از داده‌ها، سری‌هایی با بیشترین همبستگی ممکن را استخراج نمود. روش SVD ماتریس مستطیلی A_{mn} را به ماتریس‌های مربعی متعامد U_{mm} و V_{nn} و ماتریس قطری

S_{mn} تبدیل می‌نماید. به صورت ریاضی، روش SVD به صورت زیر بیان می‌شود [14]:

$$SVD(A_{mn}) = U_{mm} S_{mn} V_{nn}^T \quad (1)$$

⁶ NOAA: National Ocean and Atmospheric Administration

⁷ Principal Component Analysis

⁸ Singular Value Decomposition

⁹ Spatio-temporal

که در این رابطه، $V^T V = I_{nn}$ و $U^T U = I_{mm}$.

بنابراین اگر A_{mn} ماتریس کواریانس مقادیر استاندارد شده متغیرهای پیش‌بینی کننده (سری زمانی متوسط فصلی دمای سطح آب دریای مدیترانه در 101 گره یا خلیج فارس در 26 گره) و پیش‌بینی شونده (مقادیر بارش فصلی ایستگاه‌های بارش هر زیرحوضه) باشد که در آن، m : تعداد نقاط اندازه‌گیری دمای سطح آب و n : تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی است، آنگاه ماتریس‌های U_{mm} و V_{nn} ماتریس‌هایی می‌باشند که در هر ستون آنها ضرایبی برای ایجاد سری‌های همبسته به ترتیب از متغیرهای پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی شونده وجود دارد.

برای تعیین مناسب‌ترین ستون ضرایب ماتریس‌های مذکور از ماتریس S_{mn} استفاده می‌شود. زیرا ماتریس S یک ماتریس قطری است که دربرگیرنده مقادیر منفرد می‌باشد و مقادیر منفرد به صورت نزولی بر روی قطر قرار گرفته‌اند. برای مقایسه اهمیت نسبی مقادیر منفرد، برترتون و همکاران [14] تابع کواریانس مربعی را به صورت زیر تعریف کردند:

$$SCF_j = \frac{C_j^2}{\sum C^2} \quad (2)$$

در رابطه (2)، C_j : نشان دهنده هر یک از مقادیر منفرد روی قطر ماتریس S است. در صورتی که مقدار SCF هر یک از مقادیر منفرد بسیار بزرگ‌تر از SCF سایر مقادیر باشد، محل قرارگیری آن مقدار منفرد نشان دهنده ستون ضرایب ارزشمند در ماتریس‌های U و V است.

اگر بر اساس رابطه (2) ستون i ام ماتریس‌های U و V مناسب‌ترین ستون برای ایجاد سری‌های همبسته از متغیرهای پیش‌بینی کننده (SST) و پیش‌بینی شونده (p) باشد، آنگاه سری‌های مذکور از رابطه (3) محاسبه می‌شوند.

$$SSTP(i) = \begin{bmatrix} SST_{1,1} & \cdots & SST_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ SST_{y,1} & \cdots & SST_{y,m} \end{bmatrix} U(:,i) \quad (3)$$

$$PP(i) = \begin{bmatrix} P_{1,1} & \cdots & P_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{y,1} & \cdots & P_{y,n} \end{bmatrix} V(:,i)$$

در رابطه (3)، y : تعداد سال‌های اندازه‌گیری داده‌ها و $SSTP(i)$ و $PP(i)$ به ترتیب نشان دهنده دمای سطح آب و بارش تبدیل یافته تحت تأثیر ستون i ام ماتریس‌های U و V می‌باشند.

5-2- پیش‌بینی بارش بهاره با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

در مقاله حاضر برای بررسی توانمندی متغیرهای دمای سطح آب خلیج فارس و دریای مدیترانه (که از مرحله پیش‌پردازش توسط روش SVD مستخرج و انتخاب شده‌اند) به عنوان پیش‌بینی کننده‌های بارش بهاره در دو زیرحوضه کرخه و سیمره و تعیین بهترین ترکیب از متغیرهای پیش‌بینی کننده، مدل شبکه عصبی مصنوعی بکار

گرفته شده است. در این مدل از یک ساختار سه لایه پیشخور با اتصال کامل استفاده شده است که در آن، تعداد بهینه نورون‌های لایه میانی و مقادیر بهینه وزن‌ها و بایاس‌های اتصال نورون‌های لایه‌های مختلف با استفاده از روش صحت سنجی متقاطع تعیین شده‌اند.

2-6- شاخص‌های ارزیابی نتایج

در این مقاله از دو شاخص ارزیابی نش- ساتکلیف و ضریب همبستگی برای ارزیابی میزان دقت نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش بهاره نسبت به مقادیر مشاهداتی استفاده شده است.

اگر Y_o^t و Y_f^t به ترتیب مقادیر بارش پیش‌بینی شده و مشاهداتی برای گام زمانی t و \bar{Y}_o و \bar{Y}_f به ترتیب میانگین مقادیر بارش پیش‌بینی شده و مشاهداتی و n تعداد داده‌ها باشد، آنگاه شاخص نش- ساتکلیف و ضریب همبستگی از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_o^t - Y_f^t)^2}{\sum_{t=1}^n (Y_o^t - \bar{Y}_o)^2} \quad (4)$$

شاخص نش- ساتکلیف

شاخص نش- ساتکلیف در بازه $-\infty$ تا یک تغییر می‌کند؛ چنانکه هر چه دقت نتایج بالاتر باشد، مقدار این شاخص به یک نزدیک‌تر است.

$$R = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_o^t - \bar{Y}_o)(Y_f^t - \bar{Y}_f)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_o^t - \bar{Y}_o)^2} \cdot \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_f^t - \bar{Y}_f)^2}} \quad (5)$$

ضریب همبستگی

مقدار ضریب همبستگی در بازه -1 تا $+1$ تغییر می‌کند. مقادیر مثبت و منفی این شاخص به ترتیب نشان دهنده میزان همبستگی مستقیم و غیرمستقیم می‌باشند؛ هرچه قدر مطلق این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد، همبستگی بیشتری میان دو متغیر وجود دارد.

3- نتایج

در مقاله حاضر، روش SVD بر دمای متوسط فصلی سطح آب هر یک از دو دریای مدیترانه و خلیج فارس و مقادیر بارش بهاره ایستگاه‌های باران سنجی هر یک از دو زیرحوضه اعمال شد. نتایج حاصل از میزان همبستگی سری زمانی متوسط فصلی سطح آب مدیترانه و خلیج فارس (حاصل از روش SVD) در هر یک از فصول با بارش بهاره هر یک از دو زیرحوضه سیمره و کرخه به ترتیب در جداول 1 و 2 آورده شده است.

جدول 1: میزان همبستگی سری‌های زمانی دمای متوسط فصلی حاصل از روش SVD با بارش بهاره زیرحوضه سیمره

دمای متوسط فصلی				نام دریا
زمستان	پاییز	تابستان	بهار	
0/527	0/269	0/371	0/203	دریای مدیترانه
0/385	0/538	0/353	0/169	خلیج فارس

با توجه به جدول 1 مشاهده می‌شود که دمای متوسط سطح آب دریای مدیترانه در زمستان و دمای متوسط سطح آب خلیج فارس در پاییز دارای همبستگی بالاتر از 0/5 با بارش بهاره زیرحوضه سیمره می‌باشند و این دو سری زمانی نسبت به دمای متوسط سطح آب دو دریا در سایر فصول قابلیت بکارگیری به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده بارش بهاره را در زیرحوضه سیمره دارا می‌باشند.

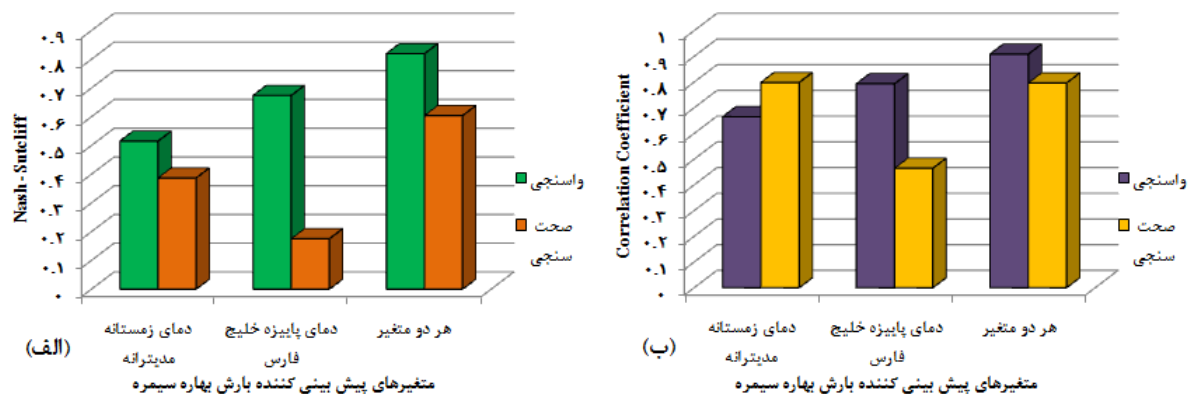
جدول 2: میزان همبستگی سری‌های زمانی دمای متوسط فصلی حاصل از روش SVD با بارش بهاره زیرحوضه کرخه

دمای متوسط فصلی				نام دریا
زمستان	پاییز	تابستان	بهار	
0/552	0/274	0/153	0/354	دریای مدیترانه
0/396	0/458	0/230	0/123	خلیج فارس

با توجه به جدول 2 مشاهده می‌شود که نظیر زیرحوضه سیمره، در زیرحوضه کرخه نیز دمای متوسط سطح آب دریای مدیترانه در زمستان و دمای متوسط سطح آب خلیج فارس در پاییز به ترتیب دارای همبستگی بزرگتر از 0/5 و نزدیک به 0/5 با بارش بهاره در این زیرحوضه می‌باشند. در نتیجه این دو متغیر قابلیت بکارگیری برای پیش‌بینی بارش را نسبت به سایر فصول دارا می‌باشند.

با توجه به تشابه نتایج موجود در دو جدول 1 و 2 می‌توان گفت که نوسانات زمستانه دمای سطح آب دریای مدیترانه و نوسانات پاییزه دمای سطح آب خلیج فارس دو متغیر اقلیمی اثرگذار بر بارش بهاره در حوضه کرخه هستند. با این وجود، با توجه به متفاوت بودن شرایط اقلیمی در دو زیرحوضه سیمره و کرخه، لازم است که نحوه عملکرد آنها در فرآیند پیش‌بینی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد و بهترین متغیر پیش‌بینی کننده بارش بهاره در هر یک از این دو زیرحوضه تعیین شود. از این‌رو، هر یک از متغیرهای دمای زمستانه سطح آب مدیترانه و دمای پاییزه سطح آب خلیج فارس به‌طور جداگانه و نیز توأم به عنوان پیش‌بینی کننده برای پیش‌بینی بارش بهاره در هر یک از دو زیرحوضه سیمره و کرخه بکار گرفته شدند و مدل‌سازی پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی صورت گرفت.

نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش بهاره با انواع حالات متغیرهای پیش‌بینی کننده برای هر یک از دو زیرحوضه سیمره و کرخه به ترتیب در شکل‌های 2 و 3 آورده شده است.



شکل 2: نتایج پیش‌بینی بارش بهاره در زیرحوضه سیمره بر اساس دو شاخص نش - ساتکلیف (الف) و ضریب همبستگی (ب) در دو مرحله واسنجی و صحت سنجی با مدل شبکه عصبی مصنوعی

با توجه به شکل 2 مشاهده می‌شود که بر اساس شاخص نش - ساتکلیف اگرچه دقت نتایج حاصل از بکارگیری نوسانات پاییزه دمای سطح آب خلیج فارس در بخش واسنجی برای پیش‌بینی بارش بهاره در زیرحوضه سیمره، بیشتر از دقت نتایج حاصل از بکارگیری دمای زمستانه سطح آب دریای مدیترانه است، ولی با بکارگیری نوسانات دمای سطح آب دریای مدیترانه در زمستان، پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از بارش بهاره در مرحله صحت سنجی در مقایسه با متوسط پاییزه دمای سطح آب خلیج فارس ایجاد می‌شود. با این وجود، دقت نتایج حاصل از بکارگیری هم‌زمان هر دو متغیر دمای زمستانه مدیترانه و دمای پاییزه خلیج فارس در هر دو مرحله واسنجی و صحت سنجی بر اساس شاخص نش - ساتکلیف بیشتر از بکارگیری جداگانه هر یک از متغیرها به تنهایی می‌باشد.

بر اساس شاخص ضریب همبستگی میان مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده نیز مشاهده می‌شود که با بکارگیری هم‌زمان هر دو متغیر دمای زمستانه سطح آب مدیترانه و دمای پاییزه سطح آب خلیج فارس، ضریب همبستگی مقادیر بارش بهاره پیش‌بینی شده در زیرحوضه سیمره و مقادیر مشاهداتی در هر دو مرحله واسنجی و صحت سنجی از دقت بالاتری نسبت به بکارگیری جداگانه هر یک از متغیرهای مذکور برخوردار است.

بنابراین، دو متغیر دمای زمستانه سطح آب دریای مدیترانه و دمای پاییزه سطح آب خلیج فارس بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده بارش بهاره در زیرحوضه سیمره می‌باشند؛ به طوری که بکارگیری هم‌زمان آنها پیش‌بینی‌هایی با بالاترین دقت را توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی در هر دو مرحله واسنجی (شاخص نش: 0/820 و ضریب همبستگی: 0/909) و صحت سنجی (شاخص نش: 0/604 و ضریب همبستگی: 0/796) ایجاد می‌کند.



شکل 3: نتایج پیش‌بینی بارش بهاره در زیرحوضه کرخه بر اساس دو شاخص نش - ساتکلیف (الف) و ضریب همبستگی (ب) در دو مرحله واسنجی و صحت سنجی با مدل شبکه عصبی مصنوعی

با توجه به شکل 3 مشاهده می‌شود که دقت نتایج حاصل از بکارگیری دمای پاییزه سطح آب خلیج فارس به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده بارش بهاره زیرحوضه کرخه در هر دو مرحله واسنجی و صحت سنجی بر اساس هر دو شاخص نش - ساتکلیف و ضریب همبستگی به‌طور قابل توجهی کمتر از نتایج حاصل از بکارگیری دمای زمستانه سطح آب دریای مدیترانه می‌باشد.

همچنین، با وجود آنکه دقت نتایج حاصل از بکارگیری هر دو متغیر به عنوان پیش‌بینی کننده‌های بارش بهاره بر اساس هر دو شاخص نش - ساتکلیف و ضریب همبستگی از نتایج حاصل از بکارگیری دمای پاییزه سطح آب خلیج فارس بیشتر است، ولی مقایسه نتایج حاصل از بکارگیری هر دو متغیر با نتایج حاصل از بکارگیری دمای زمستانه سطح آب دریای مدیترانه نشان می‌دهد که دقت نتایج حاصل از بکارگیری تنها دمای زمستانه مدیترانه، در مرحله صحت سنجی بر اساس شاخص نش - ساتکلیف بیشتر از نتایج حاصل از بکارگیری هر دو متغیر است؛ هر چند که ضریب همبستگی نتایج در مرحله صحت سنجی در هر دو روش تقریباً برابر می‌باشد.

از این رو می‌توان گفت که نوسانات دمای سطح آب دریای مدیترانه با ایجاد نتایجی با دقت بالاتر توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی، در مرحله واسنجی (شاخص نش: 0/705 و ضریب همبستگی: 0/757) و صحت سنجی (شاخص نش: 0/687 و ضریب همبستگی: 0/853) بهترین متغیر پیش‌بینی کننده بارش بهاره زیرحوضه کرخه نسبت به حالات دیگر پیش‌بینی کننده‌ها می‌باشد.

4- بحث و نتیجه‌گیری

یکی از عوامل اثرگذار بر مدیریت و برنامه‌ریزی کشاورزی و تعیین نوع کشت، آگاهی از میزان بارش و آب موجود و قابل استحصال می‌باشد. بارش بهاره تأمین کننده آب مورد نیاز کشت دیم بهاره و نیز ذخیره آبی کشت آبی در بهار و تابستان است. از این رو پیش‌بینی بارش بهاره با دقت بالا از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. با توجه به قرارگرفتن دشت خوزستان در حوضه کرخه و اهمیت کشاورزی در این دشت، در این مقاله، پیش‌بینی پذیری بارش بهاره در حوضه کرخه تحت تأثیر نوسانات دمای سطح آب دریای مدیترانه و خلیج فارس مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به

وسعت حوضه کرخه و تنوع آب و هوا در بخش شمالی و جنوبی آن، تحقیق حاضر در دو زیرحوضه بالادست سد سیمره و بالادست سد کرخه صورت گرفته است.

از آنجایی که دمای سطح آب دریای مدیترانه و خلیج فارس توسط برداشت‌های ماهواره‌ای در گره‌هایی به فاصله یک درجه اندازه‌گیری می‌شوند، 101 سری زمانی برای دمای سطح آب دریای مدیترانه و 26 سری زمانی برای دمای سطح آب خلیج فارس برای همراه موجود می‌باشد. از این رو در مقاله حاضر، برای کاهش حجم داده‌ها و ایجاد سری‌هایی با بیشترین همبستگی از مقادیر دمای سطح آب هر دریا و مقادیر بارش بهاره در هر زیرحوضه از روش داده کاوی تجزیه به مقادیر منفرد (SVD)، استفاده شده است.

همچنین، برای بررسی پیش‌بینی پذیری بارش بهاره در هر زیر حوضه، از یک مدل شبکه عصبی مصنوعی سه لایه پیشخور اتصال کامل با ساختار بهینه در تعداد نورون‌های لایه میانی و وزن و بایاس اتصال نورون‌ها استفاده شده است.

نتایج حاصل از روش SVD در تحقیق حاضر نشان داد که دمای پاییزه سطح آب خلیج فارس و دمای زمستانه سطح آب دریای مدیترانه دارای همبستگی بزرگتر از 0/5 با بارش بهاره در هر دو زیرحوضه سیمره و کرخه می‌باشند. با این وجود، نتایج حاصل از پیش‌بینی پذیری بارش بهاره بر اساس متغیرهای مذکور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که بکارگیری هم‌زمان دمای پاییزه سطح آب خلیج فارس و دمای زمستانه سطح آب دریای مدیترانه به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده بارش بهاره، سبب انجام پیش‌بینی بارش بهاره در زیرحوضه سیمره با بالاترین دقت نسبت به هر یک از دو متغیر مذکور به‌طور جداگانه می‌شود.

این در حالی است که در زیرحوضه کرخه، بکارگیری تنها دمای زمستانه سطح آب دریای مدیترانه، بهترین پیش‌بینی بارش بهاره را در مرحله صحت سنجی در مقایسه با دمای پاییزه سطح آب خلیج فارس و هر دو متغیر باهم، ایجاد می‌کند. بنابراین، می‌توان گفت که بهترین پیش‌بینی کننده‌های بارش بهاره در زیرحوضه سیمره، دو متغیر دمای پاییزه سطح آب خلیج فارس و دمای زمستانه سطح آب دریای مدیترانه به‌طور هم‌زمان هستند در حالی که بهترین متغیر پیش‌بینی کننده بارش بهاره در زیرحوضه کرخه، تنها دمای زمستانه سطح آب دریای مدیترانه می‌باشد.

مقایسه نتایج حاصل از بهترین پیش‌بینی کننده‌های بارش بهاره در دو زیرحوضه مطالعاتی کرخه و سیمره نشان می‌دهد که نوسانات دمای سطح آب دریای مدیترانه در زمستان بر میزان بارش بهاره در هر دو زیرحوضه اثرگذار است ولی نوسانات دمای سطح آب خلیج فارس در پاییز بیشتر بر بارش نواحی مرتفع و برف‌گیر حوضه که در واقع نواحی قرار گرفته در زیرحوضه سیمره هستند، اثر گذار می‌باشد. همچنین، کمتر بودن دقت پیش‌بینی بارش بهاره در زیرحوضه سیمره نسبت به زیرحوضه کرخه به علت رخداد بارش‌های اوروگرافیک در نواحی کوهستانی واقعی در زیرحوضه سیمره می‌باشد.

با توجه به اثرگذاری بزرگ مقیاس نوسانات دمایی سطح آب دریاها بر شرایط آب و هوایی، پیشنهاد می‌شود که اثر نوسانات فصلی دمایی سطح آب خلیج فارس و دریای مدیترانه بر سایر نواحی غربی و جنوب غربی کشور نظیر حوضه‌های کارون و دز نیز مورد ارزیابی قرار گرفته و با نتایج تحقیق حاضر مقایسه گردد.

منابع

- [1] Nicholls N. Sea surface temperature and Australian winter rainfall. *J. Climate*; 2: 965-973, 1989.
- [2] Uvo C B, Repelli C A, Zebiak S E, and Kushnir Y. The relationship between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. *J. Climate*; 11: 551-562, 1998.
- [3] Clark C O, Cole J E, and Webster P J. Indian Ocean SST and Indian summer rainfall: predictive relationships and their decadal variability. *J. Climate*; 13: 2503-2519, 2000.
- [4] Rodriguez-Fonseca B, and de Castro M. On the connection between winter anomalous precipitation in the Iberian Peninsula and North West Africa and the summer subtropical Atlantic sea surface temperature. *Geophys. Res. Lett*; 29(18): 1863, doi: 10.1029/2001GL014421, 2002.
- [5] Kutiel H, Hirsch-Eshkol T R, and Turkes M. Sea level pressure patterns associated with dry and wet monthly rainfall conditions in Turkey. *Theor. Appl. Climatol*; 69: 39-67, 2001.
- [6] Rowell D P. The impact of Mediterranean SSTs on the Sahelian rainfall seasonal. *J. Climate*; 16(5): 849-862, 2003.
- [7] Kassomenos P A, and McGregor G R. The interannual variability and trend of precipitable water over Southern Greece. *J. Hydrometeorol*; 7: 271-284, 2006.
- [8] رضایی بنفشه، م.، جهانبخش، س.، بیاتی خطیبی، م. و زینالی، ب. پیش بینی بارش پاییزه و زمستانه نیمه غربی ایران با استفاده از SST مدیترانه در فصول تابستان و پاییز. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی؛ 74: 47-62، 1389.
- [9] Meidani E, and Araghinejad S. Long-lead streamflow forecasting in the southwest of Iran by sea surface temperature of the Mediterranean Sea. *J. Hydrol. Eng*; 19(8): 05014005, 2014.
- [10] Nazemosadat M J, and Cordery I. The impact of the Persian Gulf sea surface temperature on Iranian rainfall. *Proceedings of the Iranian Water Resources Management*, Esfahan, Iran, 1995.
- [11] Nazemosadat M J. The Persian Gulf sea surface temperature as a drought diagnostic for southern parts of Iran. *Drought News Network*; 10:12-14, 1998.
- [12] Nazemosadat M J. Improving neural network models for forecasting seasonal precipitation in southwestern Iran: The evaluation of oceanic-atmospheric indices. *Advances in Geosciences*; 16: 133-145, 2008.
- [13] Afshin S, Fahmi H, Alizadeh A, Sedghi H, and Kaveh F. Long term rainfall forecasting by integrated artificial neural network-fuzzy logic-wavelet model in Karoon basin. *Sci. Res. Essays*; 6(6): 1200-1208, 2011.
- [14] Bretherton C S, Smith C, and Wallace J M. An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *J. Climate*; 5: 541-560, 1992.