

Simultaneous Use of Climatic Signals and Sea Surface Temperature for Flow Forecasting (Case study: Cheshmeh Kileh catchment area)

HESAM GHODOUSI^{1*}, LEILA KOOSHAFAR²

1. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2. MSc Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
(Received: Aug. 6, 2017- Revised: Feb. 10, 2018- Accepted: Feb. 24, 2018)

ABSTRACT

Regarding to the amount of water resources and per capita water consumption, Iran is one of those countries which faces with water shortage. Therefore, water resources forecasting and planning could have a considerable role on future water consumption decisions. Today, the researchers' findings about strong correlation between large scale climatic changes and hydrological phenomena have doubled the necessity of considering hydro-climatological discussions in hydrology. Accordingly, the use of statistical methods and advanced models has greatly contributed in forecasting hydrological phenomena. In the present study, the estimation of spring discharge in Cheshmeh kile's stream was investigated through common climatic signals related to the Pacific Ocean and the Atlantic includes Niño's, AMO, SOI, NAO and PDO and also through the Caspian Sea surface temperature in winter by using conceptual model of ANN. The stream flow forecasting error with ANN model and climatic signals entry-SOI-NINO4-NINO3.4 using RMSE was calculated to be 8.61 m³/sec. This error with signal entry NINO3.4 was decreased to 3.31 m³/sec. Also, the forecasting error with precipitation entry and the Caspian Sea surface temperature was reduced to 0.08.

Keyword: ANN model, Caspian Sea Surface Temperatures, Standard Climatic Signals, Stream flow forecasting

استفاده همزمان از سیگنال‌های اقلیمی و دمای سطح آب دریا در پیش‌بینی جریان (مطالعه موردی حوضه چشمه کیله)

حسام قدوسی^{۱*}، لیلا کوشافر^۲

۱. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
 ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
 (تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۱۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۲/۵)

چکیده

با توجه به میزان منابع آب و سرانه مصرف، ایران از جمله کشورهایی است که در گروه کشورهای مواجه با کمبود آب قرار دارد. لذا، پیش‌بینی و برنامه‌ریزی منابع آب می‌تواند نقش بسزایی در تصمیم‌گیری‌های آینده برای چگونگی مصرف آب داشته باشد. امروزه یافته‌های محققین در ایجاد ارتباط قوی بین تغییرات بزرگ مقیاس اقلیمی و پدیده‌های هیدرولوژیکی، ضرورت پرداختن به مباحث هیدرواقليم شناسی در هیدرولوژی را دو چندان نموده است و استفاده از روش‌های آماری و مدل‌های پیشرفته کمک قابل‌توجهی در جهت پیش‌بینی پدیده‌های هیدرولوژیکی داشته است. در این تحقیق، پیش‌بینی آبدی فصل بهار در رودخانه چشمه کیله واقع در شهرستان تنکابن در شمال کشور به کمک سیگنال‌های اقلیمی مرسوم مربوط به اقیانوس آرام و اطلس شامل Nino، AMO، SOI، NAO و PDO و تغییرات دمای سطح آب دریای خزر (SST) در فصل زمستان با استفاده از مدل مفهومی شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. خطای پیش‌بینی جریان رودخانه با مدل شبکه عصبی مصنوعی و ورودی سیگنال‌های اقلیمی SOI-NINO4-NINO3.4 به روش مجذور میانگین مربع خطا برابر ۸/۶۱ مترمکعب بر ثانیه بدست آمد. این خطا با ورودی سیگنال NINO3.4 به ۳/۳۱ مترمکعب بر ثانیه و همچنین خطای پیش‌بینی با ورودی بارندگی و دمای سطح آب دریای خزر تا ۰/۰۸ کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی آورد فصلی، دمای سطح آب دریای خزر، سیگنال‌های اقلیمی مرسوم، مدل شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

روابط پیش‌بینی جریان در رودخانه‌ها به دلیل وابستگی به مؤلفه‌های متفاوت زمانی و مکانی از حوضه، از جمله پیچیده‌ترین معادلات در هیدرولوژی محسوب می‌گردند. پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی را می‌توان به دو دسته کوتاه مدت و بلند مدت تقسیم نمود. پیش‌بینی‌های کوتاه مدت اغلب دارای افق زمانی در حد چند روز می‌باشند و به منظور هشدار سیلاب و بهره‌برداری زمانی واقعی سیستم‌های منابع آب به کار می‌روند. در مقابل پیش‌بینی‌های بلند مدت دارای افق زمانی بیش از یک هفته تا یک سال می‌باشند و برای مدیریت منابع آب مانند تخصیص آب برای آبیاری و کاهش اثرات خشکسالی از طریق مدیریت آب به کار می‌روند. اولین گام در مدل‌سازی برای پیش‌بینی، استفاده از پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب می‌باشد. استفاده از این پیش‌بینی‌کننده‌ها بستگی به شرایط فیزیکی

حاکم بر منطقه و حوضه مورد مطالعه دارد. شاخص‌هایی که به‌منظور کمی‌کردن نوسان‌های اقلیمی به کار می‌روند به‌طور عمده از مقادیر فشار جو و دمای سطح آب دریاها استفاده می‌کنند. مشاهده تأثیر سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی مانند^۱ (NAO) و دمای سطح آب اقیانوس‌ها^۲ (SST) به‌عنوان مشاهده جدیدی از تأثیرات اقلیمی، در سال‌های اخیر مورد توجه محققین مختلف در جهت بهبود دقت پیش‌بینی‌های بلند مدت قرار گرفته است. پدیده نوسانات جنوبی به نوسان فشار به صورت الاکلنگی بین نواحی شرقی و غربی اقیانوس آرام جنوبی اطلاق می‌شود. شاخص نوسانات جنوبی^۳ (SOI) معروف‌ترین و پرکاربردترین شاخص عددی پدیده نوسانات جنوبی است و برابر با شدت گرادیان فشار در امتداد شرقی-غربی اقیانوس آرام می‌باشد. پدیده نوسانات اقیانوس اطلس شمالی (NAO) یک

1. North Atlantic Oscillation (NAO)
 2. Sea Surface Temperature (SST)
 3. Southern Oscillation Index (SOI)

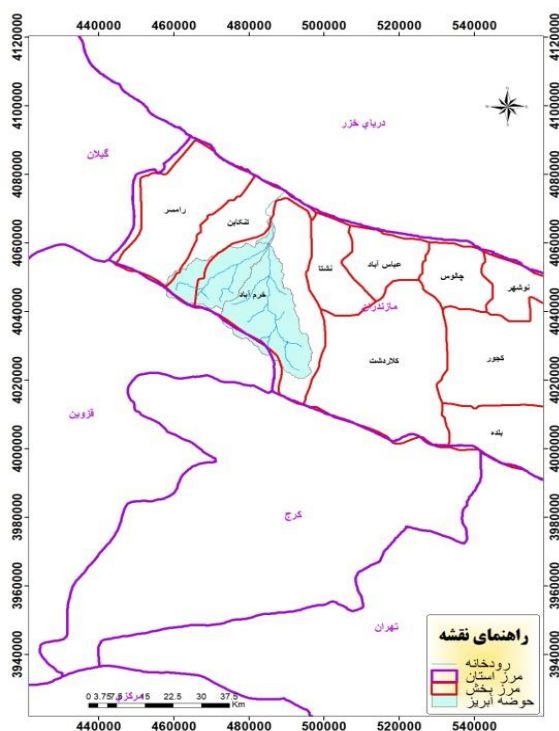
North در آمریکا علاوه بر شاخص‌های PDO، ENSO و AMO، داده‌های دمای سطح آب اقیانوس آرام و اطللس و ارتفاع فشار ۵۰۰ میلی بار را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه بررسی‌ها نشان داد، ورود داده‌های جدید منجر به افزایش دقت پیش‌بینی گردید. همچنین Murgulet *et al.* (2017) نیز به تعیین ارتباط بین دمای سطح آب اقیانوس آرام و اطللس و تغییرات آبدی و بارندگی در جنوب تگزاس پرداختند. ایشان ضمن بیان این نکته که تاکنون کمتر به مطالعه ارتباط بین پدیده‌های اقلیمی و بارش و رواناب در مقیاس‌های منطقه‌ای پرداخته شده است به بررسی آماری تغییرات زمانی بارندگی و رواناب در منطقه نیمه‌خشک جنوب تگزاس از طریق سه شاخص اقلیمی نوسانات جنوبی النینو (ENSO)، نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام (PDO) و نوسانات چند دهه‌ای اقیانوس اطللس (AMO) پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص‌های ENSO و PDO می‌توانند بارندگی را در فصول سرد سال و آبدی را فصول سرد و گرم سال به دقت پیش‌بینی نمایند. در رابطه با ارتباط مخابراتی بین نوسانات جنوبی النینو و الگوهای بارش نیز Honglee and Julien (2016) بر اساس تجزیه و تحلیل‌های هماهنگ و چندگانه‌ای به بررسی این ارتباط در سه منطقه بالایی، میانی و جنوبی کره جنوبی پرداختند.

پیش‌بینی بلند مدت جریان رودخانه‌ای در جنوب غربی ایران را Meidani and Araghinejad (2014) با استفاده از دمای سطح آب دریای مدیترانه انجام دادند. در این مطالعه از دمای سطح آب دریای مدیترانه و تغییرات بارندگی و جریان در جنوب غربی ایران برای توسعه سری‌های زمانی استفاده شد. این بررسی‌ها نشان داد، استفاده از دمای سطح آب دریای مدیترانه برای پیش‌بینی مناسب‌تر از اطلاعات ایستگاه‌ها در دوره خشک نسبت به دوره مرطوب می‌باشد. همچنین، این تحقیق نتایج بهتر استفاده از داده‌های دمای سطح آب دریای مدیترانه به عنوان پیش‌بینی کننده جریان در مقایسه با شاخص‌های اقلیمی مرسوم شامل شاخص نوسانات جنوبی، شاخص نوسانات اقیانوس اطللس شمالی و نوسانات اقیانوس آرام را نشان می‌دهد. در مطالعه Yaduvanshi and Arande (2015)، نیز خصوصیات اقلیمی، ویژگی‌های نوسانی و چرخه‌های دوره‌ای سری‌های بارندگی ماهیانه، سالیانه و فصلی و همچنین رابطه تغییرات دمای زمین و پدیده‌های النینو و لائینا مورد بررسی قرار گرفت. ایشان به این نتیجه رسیدند در ۲۰ سال اخیر بارندگی‌های موسمی روندی کاهشی داشته است و نوسانات کوتاه مدت کمتر از ۱۰ سال، عمدتاً عامل تغییرات بارندگی‌های سالانه و موسمی بوده است. در تحقیق Hartman *et al.* (2016) نیز به

وضعیت تکرارپذیر و بزرگ مقیاس بوده که بین ناحیه محدود به مرکز پرفشار استوایی و کم فشار قطبی رخ می‌دهد (Karamouz and Araghinejad, 2005).

اثر نوسانات دمای سطح آب دریای خزر بر بارش فصول زمستان و بهار نواحی شمالی و جنوب غربی ایران توسط Nazamalsadat and Ghasemi (2004) بررسی شد و نتایج حاکی از آن بود که سردی بیش از معمول سطح دریای خزر در زمستان منجر به افزایش بارش زمستانه در ناحیه غربی و مرکزی این دریا، مناطق مرکزی و جنوبی استان فارس و تمام ایستگاه‌های استان خوزستان می‌شود. در تحقیقی Nazamalsadat and Shirvani (2004) با استفاده از مدل تحلیل همبستگی متعارف (CCA)، امکان پیش‌بینی بارش زمستانه بر اساس وضعیت پدیده النینو- نوسانات جنوبی را مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق، سری‌های زمانی شاخص نوسانات جنوبی (SOI) و دمای سطح آب در نینوها (Nino's SST) به عنوان پیشگویی کننده‌ها و بارش در بندر انزلی و نوشهر به عنوان پیشگویی شونده در نظر گرفته شدند. از نتایج مشاهده شد، ضرایب همبستگی بین مقادیر بارش مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در سطح ۰.۷٪ معنی‌دار می‌باشند و در موارد علائم مقادیر نرمال دیده شده و شبیه‌سازی شده یکسان بودند که این توانایی معقول مدل برای پیش‌بینی خشکسالی و ترسالی را نشان می‌دهد. برای بررسی تأثیر پدیده النینو بر بارش در ایران Araghinezhad *et al.* (2016) اثر این پدیده را به طور مستقیم بر شرایط ترسالی و خشکسالی به‌عنوان نمایه‌ای از افزایش یا کاهش بارندگی نسبت به وضعیت متوسط بارندگی در نظر گرفتند و با استفاده از تحلیل داده‌های طولانی مدت به مطالعه پرداختند. نتیجه این مطالعات نشان داد که پدیده النینو بیشترین تأثیر را بر وقوع ترسالی و بعد از آن بر شرایط نرمال دارد و بیشترین تأثیر النینو بر ترسالی مناطق غرب، جنوب غرب و مناطق جنوبی رشته کوه‌های البرز می‌باشد. در تحقیق Shams (2018) نیز به بررسی ارتباط بین شاخص‌های اقلیمی اقیانوس-اتمسفر و آبدی رودخانه در استرالیا پرداختند. در این مطالعه همبستگی بین سه شاخص اقلیمی دمای سطح آب دریا، بادهای نصف‌النهاری، ارتفاع از سطح دریای آزاد و تعداد ۱۳۵ نمونه از جریان اندازه‌گیری شده رودخانه در سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۷۱ با استفاده از روش تجزیه به مقادیر منفرد مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق همبستگی مثبت را برای مناطق جنوب و جنوب شرقی استرالیا و همبستگی منفی را برای مناطق شمال شرقی استرالیا نشان داد. در تحقیق دیگری Soukup *et al.* (2009) برای پیش‌بینی آورد رودخانه Platte

می‌باشد و با توجه به طول و آبدی قابل توجه آن، به عنوان رودخانه اصلی محدوده مطالعاتی معرفی شده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت محدوده مطالعاتی

رودخانه چشمه کیله قبل از ایستگاه هیدرومتری چشمه کیله-هراتیر از دو سرشاخه اصلی دو هزار و سه هزار تشکیل شده است که مهمترین رودخانه‌های زیر سیستم رودخانه چشمه کیله به شمار می‌آیند. این ایستگاه در سال ۱۳۲۸ تأسیس شده و دارای ۴۸ سال آمار می‌باشد. اطلاعات آبدی و بارندگی در این ایستگاه از شرکت مدیریت منابع آب (تماب) دریافت شده است. در مطالعه حاضر یک دوره آماری ۳۴ ساله از سال ۶۱- تا ۱۳۶۰ تا ۹۴-۱۳۹۳ این ایستگاه مورد استفاده قرار گرفته است. متوسط آبدی سالیانه رودخانه چشمه کیله برابر ۱۴/۰۹ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. موقعیت ایستگاه هیدرومتری و زیرسیستم رودخانه چشمه کیله در شکل (۲) نمایش داده شده است.

سیگنال‌های اقلیمی

نوسانات پدیده انسو (ENSO)

واژه انسو (ENSO) از ترکیب دو واژه نوسان جنوبی (Southern Oscillation) و النینو (El Nino) گرفته شده است پدیده انسو یکی از عوامل ایجاد تغییر اقلیم می‌باشد. این پدیده یک زوج اقیانوسی-اتمسفری است که هر چهار تا هفت سال یکبار اتفاق

بررسی تأثیر پیش‌بینی بارندگی در مدیریت منابع آب و ارائه مدلی برای پیش‌بینی بارندگی ماهیانه پرداخته شد و ایشان نشان دادند بارندگی در همه زیرحوضه‌ها با دمای سطح آب دریا و شاخص‌های موسمی در مقایسه با شاخص شدت بالای سیبری^۱ (SHI) و شاخص گردش باختری^۲ (WCI) دارای همبستگی مناسبی است. ایشان سرانجام یک مدل پیش‌بینی چند متغیره خطی برای بارندگی‌های بیش از پنج‌ماه در زیرحوضه رودخانه Hotan ارائه نمودند.

سیگنال‌های اقلیمی به‌عنوان متغیر پیش‌بینی کننده در خشکسالی و سیل مورد استفاده قرار می‌گیرند که تأثیر این سیگنال‌ها در مناطق مختلف متفاوت است و تاکنون برای پیش‌بینی جریان رودخانه در شمال ایران مورد توجه قرار نگرفته است. در تحقیقات گذشته به منظور پیش‌بینی جریان رودخانه بیشتر تمرکز بر روی روش‌هایی مانند آرما، آرما و K نزدیکترین همسایه بوده است. اما در تحقیق حاضر با توجه به توانایی بالای شبکه عصبی در پیش‌بینی آورد رودخانه، اقدام به پیش‌بینی بلند مدت جریان رودخانه با استفاده از این روش گردیده است. همچنین در تحقیقات قبل برای پیش‌بینی بلند مدت جریان رودخانه، بررسی نوسانات دمای سطح آب مدیترانه مدنظر بوده در حالی که در ایران بررسی نوسانات دمای سطح آب دریای خزر و خلیج فارس نیز که جریان‌های هوایی سودانی از آن مسیر وارد ایران می‌شود می‌تواند در شناسایی پارامترهای جدید کمک‌کننده باشد. در مطالعه حاضر، به‌منظور پیش‌بینی بلند مدت جریان رودخانه در حوضه چشمه کیله در محل ایستگاه هیدرومتری هراتیر-چشمه کیله از سیگنال‌های اقلیمی استفاده شده است. همچنین تأثیر نوسانات دمای سطح آب دریای خزر در مقایسه با سیگنال‌های اقلیمی مرسوم در بهبود پیش‌بینی‌ها، مدنظر قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

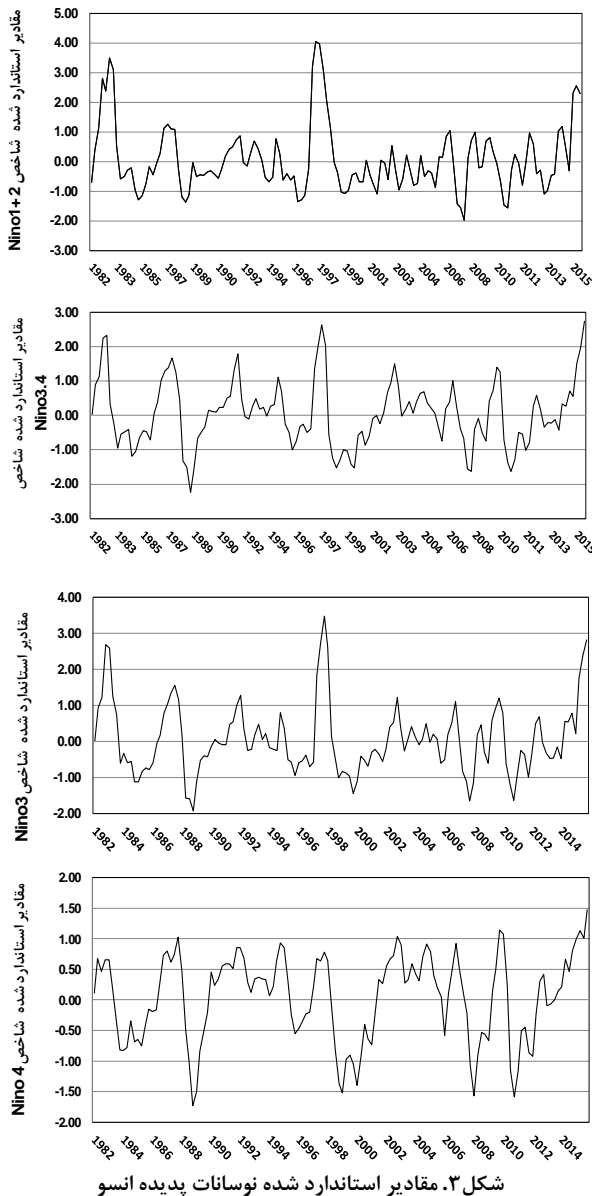
معرفی حوضه مورد مطالعه

حوضه رودخانه چشمه کیله در محل ایستگاه هیدرومتری هراتیر-چشمه کیله با وسعتی برابر ۷۷۳/۳۳ کیلومترمربع در بخش شمالی کشور (ساحل جنوبی دریای خزر-در شهرستان تنکابن) واقع گردیده است. شکل (۱)، نقشه موقعیت محدوده مطالعاتی را نمایش می‌دهد. رودخانه دائمی چشمه کیله با طولی برابر ۶۸/۲ کیلومتر دارای شیب متوسط وزنی ۳/۶ درصد

1. The Siberian High Intensity (SHI)

2. The Westerly Circulation Index (WCI)

(V2) ساخته شده‌اند و از سال ۱۹۸۲ تا امروز را پوشش می‌دهند. برای انجام این تحقیق، از داده‌های سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵ میلادی استفاده شده و برای از بین بردن روند و ایجاد بازه یکسان در سیگنال‌های اقلیمی موجود، ابتدا داده‌های مربوطه برای آماده‌سازی و ورود به مدل استاندارد شدند. شکل (۳) نیز مقادیر استاندارد شده نوسانات پدیده انسو را نشان می‌دهد.



شاخص نوسان جنوبی

مقادیر روزانه شاخص نوسان جنوبی (SOI) برابر ۸+ و بالاتر نشان‌دهنده وضعیت لانینا و ۸- و کمتر بیانگر وقوع النینو می‌باشد. ارقام نوسان جنوبی با توجه به دمای سطح دریاها و گردش عمومی جو، تغییرات فصلی و سالانه‌ای را نشان می‌دهد که در واقع در بر گیرنده شرایط عادی است. تشدید این شرایط به مرحله شاخص بالا می‌انجامد (لانینا)، ولی جابجایی الگوهای

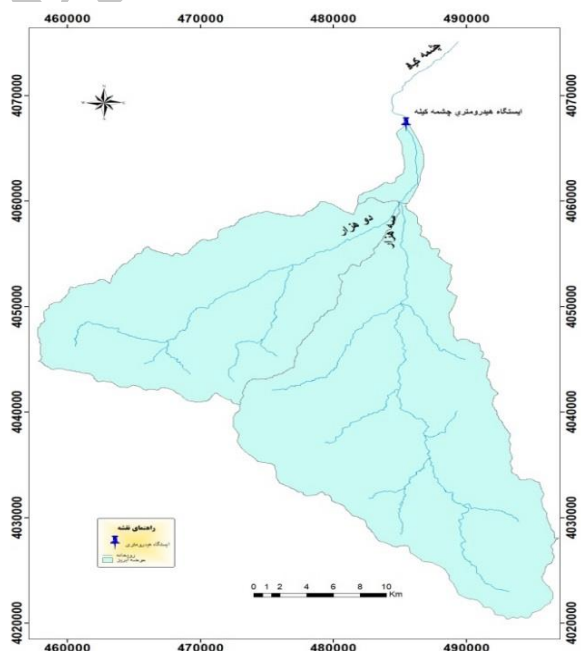
می‌افتد. مبنای اندازه‌گیری شاخص نوسانات جنوبی معمولاً اختلاف فشار سطحی بین دو جزیره تاهیتی در شرق و داروین استرالیا در غرب اقیانوس آرام می‌باشد. شاخص مثبت بیانگر فشار زیاد هوا در جزایر تاهیتی و فشار کم در حوالی اندونزی و داروین استرالیا است که تحت عنوان لانینا (LaNina) شناخته می‌شود. شاخص منفی نیز نشانگر فشار نسبتاً بالای هوا در حوالی اندونزی-داروین و فشار تقریباً کم در حوالی تاهیتی می‌باشد که تحت عنوان النینو (ElNino) شناخته می‌شود. در زمان وقوع النینو دمای سطح آب اقیانوس گرم‌تر از میانگین آن در طول سال خواهد بود. شاخص‌های نینو در مبنای متوسط نوسانات دمای سطح آب اقیانوس آرام در مناطق خاصی تعریف شده‌اند که شامل محدوده‌های زیر می‌باشند (Meidani et al., 2012).

$$\text{Nino } 1+2 \text{ (} 0 - 10^{\circ}\text{S و } 80 - 90^{\circ}\text{W)},$$

$$\text{Nino3 (} 5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S و } 90 - 150^{\circ}\text{W)},$$

$$\text{Nino4 (} 5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S و } 160^{\circ}\text{E} - 150^{\circ}\text{W)},$$

$$\text{Nino3.4 (} 5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S و } 120 - 170^{\circ}\text{W)}$$

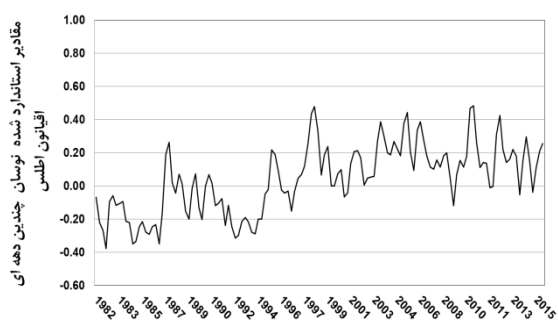


شکل ۲. نقشه موقعیت ایستگاه هیدرومتری محدوده مطالعاتی

مقادیر اولیه پارامترهای انسو از درگاه مرکز پیش‌بینی‌های اقلیم NOAA^۱ قابل دریافت می‌باشند. (<http://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/sstoi.indices>). این مقادیر از داده‌های دمای سطح آب رینولدز (OI-)

1. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

شاخص^۲ AMO، نوسانات اطلس شمالی بر پایه اختلاف فشار نرمال شده سطح دریا (P) بین منطقه جنب حاره و کم‌فشار جنب قطبی ایسلند می‌باشد. نوسان AMO به صورت تغییرات الگوهای ناهنجاری دمای سطح آب دریا در پهنه اقیانوس اطلس شمالی (مشخصاً آبهای جنوب گرینلند) با فازهای گرم (+) و سرد (-) به مدت ۲۰ الی ۴۰ سال به طول می‌انجامد. به‌طور کلی فاز گرم شاخص با کاهش بارش و افزایش دما و فاز سرد آن با افزایش بارش و افت دما در پاییز همراه می‌باشد. هنگامی که AMO در فاز گرم خود به سر می‌برد، خشکسالی‌ها تمایل به افزایش فراوانی و یا شدت (طول مدت) دارند. مقادیر ماهانه AMO از سایت مرکز تشخیص اقلیم NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/amon.sm.long.data>) قابل دسترسی می‌باشد. در شکل (۶) مقادیر استاندارد شده نوسانات چندین دهه اقیانوس اطلس ارائه شده است.

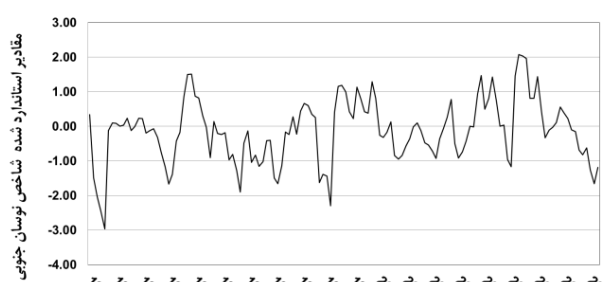


شکل ۶. مقادیر استاندارد شده شاخص چند دهه‌ای اقیانوس اطلس

نوسانات اقیانوس اطلس شمالی

نوسان اطلس شمالی (NAO) در واقع نماینده تغییرات بادهای غربی در تراز میانی و بالایی جو بر روی اطلس شمالی در فاصله مدار ۴۰ تا ۶۰ درجه است. تضعیف پرفشار آזור و کم‌فشار ایسلند و گرم شدن آبهای شرق اقیانوس اطلس شمالی و مقادیر شاخص نوسان اطلس شمالی منفی، معرف جابجایی مسیر سیکلون‌های با منشأ اقیانوس اطلس به سمت جنوب اروپا و خاورمیانه می‌باشد. این نوسانات با تغییرات مثبت دما در شرق ایالات متحده و شمال اروپا و تغییرات منفی دما در گرینلند و جنوب اروپا و خاورمیانه همراه می‌باشد. در اینجا، فاز مثبت با تغییرات مثبت بارش در شمال اروپا و اسکاندیناوی و تغییرات منفی بارش در جنوب و مرکز اروپا همراه می‌باشد. مقادیر ماهانه شاخص اقیانوس اطلس شمالی از سایت مرکز ملی تحقیقات جو امریکا (<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>) قابل دسترسی است. مقادیر استاندارد شده نوسان اقیانوس اطلس شمالی

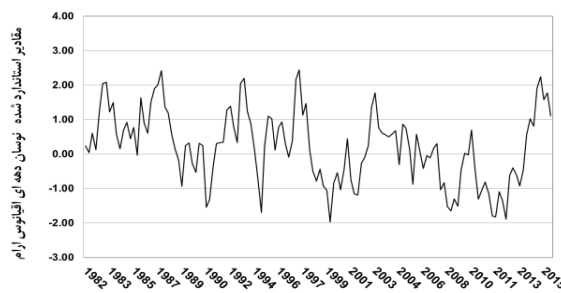
فشار و جریان‌های اقیانوسی باعث تحقق شرایط شاخص پایین و پدیده النینو می‌شود. ظهور این پدیده‌ها نظم زمانی خاصی نداشته و تکرار آنها بین ۲ تا ۱۰ سال (و بطور دقیق‌تر ۳ تا ۷ سال و متوسط ۵ سال) طول می‌کشد. این شاخص توسط دفتر هواشناسی استرالیا (<http://www.bom.gov.au/climate/enso/>) ارائه شده است و با استاندارد کردن مقادیر اندازه‌گیری شده اختلاف فشار سطح آب در دو جزیره تاهیتی و داروین بدست می‌آید. شکل (۴)، مقادیر استاندارد شده شاخص نوسان جنوبی را نمایش می‌دهد.



شکل ۴. مقادیر استاندارد شده شاخص نوسان جنوبی

نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام

شاخص^۱ PDO یک پدیده اقلیمی است که با پایداری الگوهای اقلیمی دو فازی در اقیانوس آرام شمالی همراه است و با دوره‌های زمانی از مرتبه ۵۰ سال نوسان می‌کند. این شاخص مشتمل بر دو فاز سرد و گرم می‌باشد و یکی از تبعات شناخته شده رخداد فازهای گرم و سرد در این شاخص، بروز تغییرات در الگوی وزش باد در ترازهای بالایی اتمسفر می‌باشد. شاخص PDO می‌تواند به مدت ۲۰ تا ۳۰ سال پی‌درپی در یک فاز مشخص ماندگاری داشته باشد اما چرخه‌های شاخص دور پیوندی آنسو حداکثر می‌توانند در حدود ۶ الی ۱۸ ماه تداوم داشته باشند. مقادیر استاندارد شده نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام در شکل (۵) نمایش داده شده است.



شکل ۵. مقادیر استاندارد شده نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام

نوسانات چندین دهه اقیانوس اطلس

1. The Pacific Decadal Oscillation (PDO)

2. The Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO)

عصبی پیشخور می‌باشد. در شبکه‌های پیشخور چند لایه‌ای هنگامی که خطایی در خروجی رخ می‌دهد این خطا باید به نحوی از خروجی به سمت ورودی برگشت کرده و باعث اصلاح وزن‌ها بشود (Moghsemi and Savareh, 2014). برای صحت-سنجی مدل‌های پیش‌بینی، تاکنون آماره‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. معروف‌ترین و پرکاربردترین آنها شامل میانگین مربعات خطا^۱ (MSE)، مجذور میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) و خطای پیش‌بینی^۳ (VE) می‌باشند که در روابط زیر ارائه شده‌اند (Karamouz and Araghinejad, 2005).

$$MSE = \frac{\sum_{i=0}^M (Y_i(model) - Y_i(actual))^2}{M} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=0}^M (Y_i(model) - Y_i(actual))^2}{M} \right]^{1/2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$VE = \frac{\sum |Y_i(actual) - Y_i(model)|}{M} \quad (\text{رابطه ۳})$$

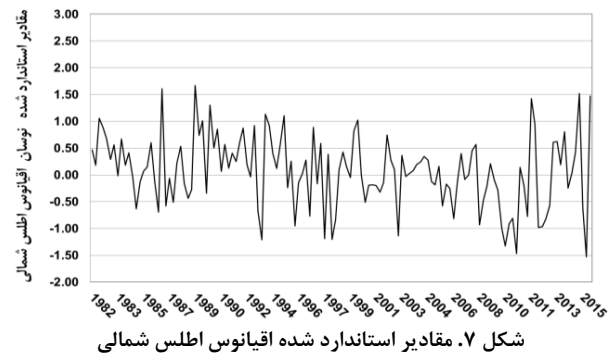
در این معادلات M تعداد متغیرها، $Y_i(model)$ مقدار پیش‌بینی شده متغیر وابسته و $Y_i(actual)$ مقدار واقعی متغیر وابسته می‌باشد. لازم به ذکر است که هرچه این مقادیر کمتر باشند و به صفر نزدیک شوند نشان‌دهنده پیش‌بینی بهتر داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

تعیین سیگنال‌های اقلیمی مؤثر

پس از نرمال‌سازی داده‌ها، ابتدا رابطه ماهیانه سیگنال‌های اقلیمی با آبدی ماه‌های فصل بهار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از عدم رابطه مناسب بین مقادیر ماهیانه سیگنال‌های اقلیمی و جریان رودخانه بود و لذا رابطه فصلی سیگنال‌های اقلیمی و جریان رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها نشان داد سیگنال‌های اقلیمی زمستان با مقادیر آبدی فصل بهار در مقایسه با فصول دیگر از همبستگی بالاتری برخوردار می‌باشد و این به آن دلیل است که نوسانات اقلیمی بیشتر در فصل زمستان اثر خود را نشان می‌دهند. برای انتخاب مناسب‌ترین سیگنال‌های اقلیمی در پیش‌بینی جریان نیز از ضرایب همبستگی استفاده شد. مقادیر ضریب همبستگی بین سیگنال‌های اقلیمی Nino3.4، SOI، AMO، Nino4، NAO، دمای سطح آب دریای خزر و بارندگی ایستگاه چشمه کیله در فصول مختلف سال با آبدی فصل بهار ایستگاه چشمه کیله در شکل (۹) ارائه شده است.

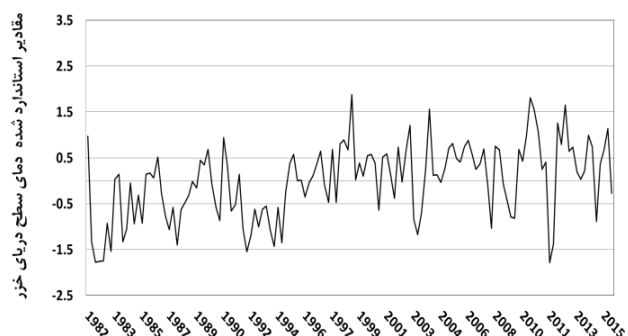
در شکل (۷) ارائه شده است.



شکل ۷. مقادیر استاندارد شده اقیانوس اطلس شمالی

تعیین دمای سطح آب دریای خزر

سال‌های اخیر، بررسی برهم‌کنش بین عوامل آب و هوایی در خشکی، اقیانوس و جو مورد توجه بسیاری از دانشمندان علوم هواشناسی و اقلیم‌شناسی قرار گرفته است. پژوهش‌های مختلف نشان داده است که تغییرات دما در سطح گستره‌های بزرگ آبی می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر نوسان‌های بارش در سطح خشکی‌های زمین داشته باشد. مقادیر اولیه دمای سطح دریای خزر از درگاه مرکز پیش‌بینی‌های اقلیم NOAA قابل استخراج می‌باشد. در این تحقیق، از داده‌های سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵ میلادی استفاده گردید و برای انتقال آنها به محیط اکسل نیز از نرم‌افزار Panoply استفاده شده است. اندازه‌گیری دمای سطح دریای خزر به صورت مشبک با فواصل یک درجه می‌باشد. در این مطالعه، محدوده نمونه‌برداری دمای سطح آب دریای خزر ۴ درجه طولی از طول جغرافیایی ۴۹/۵ تا ۵۳/۵ درجه و عرض جغرافیایی ۳۶/۵ تا ۳۸/۵ درجه را شامل می‌شود. مقادیر استاندارد شده دمای سطح دریای خزر در شکل (۸) نمایش داده شده است.



شکل ۸. مقادیر استاندارد شده دمای سطح آب دریای خزر

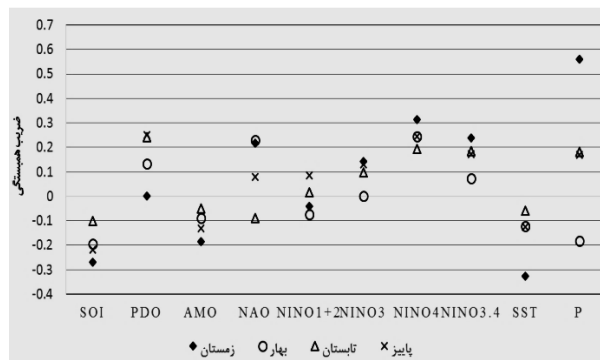
مدل مفهومی شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی با توانایی قابل توجه خود در استنتاج نتایج از داده‌های پیچیده می‌توانند در استخراج الگوها و شناسایی گرایش‌های مختلفی که برای انسان‌ها بسیار دشوار است، استفاده شوند. یکی از شبکه‌های معروف چند لایه‌ای، شبکه

1. Mean Square Error
2. Root Mean Square Error
3. Volume Error in Percent

قسمت اعتبارسنجی ۱۵ درصد و برای قسمت آزمون مرحله صحت سنجی نیز ۱۵ درصد از داده‌ها در نظر گرفته شده‌اند. مدل شبکه عصبی با ورودی‌های اشاره شده با تعداد لایه‌های پنهان مختلف ابتدا از پنج لایه پنهان شروع شد و تا رسیدن به نتیجه مطلوب تعداد لایه‌های پنهان افزایش یافت. در نهایت با استفاده از معیار خطا MSE و ضریب همبستگی و مقایسه کمترین خطا بین منحنی‌های آموزش و اعتبارسنجی بهترین نتیجه استخراج شد.

نتایج ضریب همبستگی مدل شبکه عصبی برای سیگنال‌های اقلیمی مؤثر شامل Nino4، SOI، AMO، Nino3.4 و NAO برای مراحل آموزش، اعتبارسنجی، آزمون و همچنین به صورت کلی در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که از نتایج مشاهده می‌شود از بین ورودی‌های مجزای سیگنال‌های اقلیمی، سیگنال‌های AMO و NAO با ضریب همبستگی کمتر از ۶۰ درصد دارای نتایج مناسبی در مقایسه با ورودی‌های دیگر نبودند و سیگنال Nino3.4 با ضریب همبستگی ۹۰ درصد بهترین نتیجه را داشته است. در شرایطی که پنج سیگنال اقلیمی مؤثر به‌طور هم‌زمان در مدل شبکه عصبی وارد شدند نتایج به دست آمده برای مرحله آموزش و اعتبارسنجی با ضریب همبستگی بالای ۹۵ درصد مناسب ارزیابی شد اما اختلاف قابل‌توجهی با مرحله صحت سنجی دارند و در مجموع با ضریب همبستگی ۷۲ درصد نتایج قابل قبولی به‌همراه داشت. در آخرین مرحله نیز سه سیگنال SOI، Nino4 و Nino3.4 با ضریب همبستگی ۸۴ درصد، نتایج قابل قبول‌تری نسبت به مرحله قبل داشتند.



شکل ۹. ضرایب همبستگی سیگنال‌های اقلیمی با آبدهی فصل بهار همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود دمای سطح دریای خزر را می‌توان به‌عنوان یکی از ورودی‌های مؤثر مدل در نظر گرفت. مقدار ضریب همبستگی بین سیگنال‌های اقلیمی مؤثر و دمای سطح آب دریای خزر با آبدهی فصل بهار در فصل‌های پاییز، تابستان و بهار کمتر از ۰/۱- است درحالی‌که ضریب همبستگی بین سیگنال‌های اقلیمی مؤثر و دمای سطح دریای خزر با آبدهی فصل بهار برای فصل زمستان بیش از ۰/۳- می‌باشد. به‌منظور انجام شبیه‌سازی‌ها در این تحقیق، ابتدا به صورت مجزا هر یک از سیگنال‌های اقلیمی ذکر شده به‌عنوان ورودی مدل شبکه عصبی مصنوعی و در مرحله بعد پنج سیگنال اقلیمی مؤثر به‌عنوان ورودی و در مرحله آخر سیگنال‌های اقلیمی که به صورت مجزا دارای بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطا بودند به‌عنوان ورودی مدل انتخاب شدند. طول دوره آماری سیگنال‌های اقلیمی مورد بررسی از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵ معادل ۳۴ سال آماری می‌باشد. در مدل شبکه عصبی برای مرحله آموزش ۷۰ درصد از داده‌ها، برای

جدول ۱. نتایج بررسی مدل شبکه عصبی مصنوعی برای سیگنال‌های اقلیمی مؤثر

کلّی	ضریب همبستگی		آموزش	تعداد نرون در لایه پنهان	سیگنال اقلیمی
	آزمون	اعتبارسنجی			
۰/۷۶	۰/۸۹	۰/۷۸	۰/۸۱	۲۰	SOI
۰/۵۷	۰/۶۳	۰/۷۱	۰/۶۸	۲۵	AMO
۰/۴۸	۰/۶۱	۰/۴۵	۰/۶	۲۰	NAO
۰/۷۹	۰/۸۲۱	۰/۸۷	۰/۸۲	۱۵	Nino4
۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۹۷	۱۵	Nino3.4
۰/۷۲	۰/۶۲	۰/۹۷	۰/۹۹	۲۵	SOI-AMO-NAO-Nino4-Nino3.4
۰/۸۴	۰/۶۸	۰/۸۳	۰/۹۱	۲۵	SOI-Nino4-Nino3.4

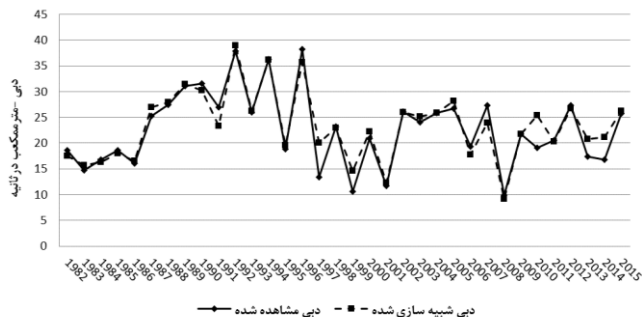
فصل زمستان در حوضه چشمه‌کیله و حالت سوم ترکیب حالت اول و دوم به‌عنوان ورودی مدل شبکه عصبی در نظر گرفته شدند. نتایج مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پارامترهای دمای سطح آب دریای خزر در جدول (۲) ارائه شده است.

در این قسمت به بررسی تأثیر دمای سطح آب دریای خزر بر آبدهی رودخانه چشمه‌کیله پرداخته شده است. ورودی‌های مدل در این مرحله، شامل سه حالت مختلف می‌باشد به‌طوری‌که در حالت اول دمای سطح آب دریای خزر در فصل زمستان به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شد و در حالت دوم بارندگی

جدول ۲. نتایج مدل شبکه عصبی برای پارامترهای دمای سطح آب دریای خزر

پارامتر	تعداد نرون پنهان	ضریب همبستگی	
		آموزش	اعتبارسنجی
دمای سطح دریای خزر SST	۲۵	۰/۸۲	۰/۷۳
بارندگی (P)	۱۰	۰/۷۱	۰/۶۷
دمای سطح دریای خزر و بارندگی	۲۰	۰/۹۶	۰/۹۶

با توجه به نحوه تغییرات دبی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده فصل بهار با سیگنال‌های مختلف اقلیمی ارائه شده ملاحظه می‌شود که استفاده از تک سیگنال Nino3.4 به‌عنوان ورودی مدل پیش‌بینی، نتایج رضایت‌بخش‌تر از زمانی است که هم‌زمان از سیگنال‌های SOI - Nino4 - Nino3.4 استفاده می‌گردد زیرا همان‌طور که در شکل (۱۰) دیده می‌شود در زمان استفاده از سیگنال Nino3.4 مقادیر دبی‌های پیش‌بینی شده به مقادیر واقعی نزدیک‌تر بوده و روند تغییرات داده‌ها نیز در اکثر سال‌ها همسو می‌باشد. با توجه به ماهیت اقلیمی تأثیر دمای سطح آب دریاها در تولید بارش همان‌گونه که در بخش‌های قبل نیز بیان شد از نتایج بررسی‌های انجام شده در این تحقیق نیز مشخص گردید که دمای سطح آب دریای خزر بر بارندگی منطقه اطراف خود یعنی ایستگاه چشمه کلیه تأثیرگذار است. همچنین از نتایج مشخص گردید تأثیر اقلیمی دریای خزر بر بارش در حوضه چشمه‌کیله به‌نحوی است که تغییرات مشخصات اقلیمی در فصل زمستان بیشترین همبستگی را با میزان بارش در فصل بهار دارد که این از نتایج ضرایب همبستگی ارائه شده در این مطالعه نیز به‌وضوح قابل مشاهده می‌باشد. لذا، در ادامه شبیه‌سازی پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از ورودی‌های دمای سطح آب دریای خزر و بارندگی حوضه چشمه‌کیله در فصل زمستان انجام گردید که نتایج در شکل (۱۲) نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱۲. دبی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده فصل بهار با پارامتر بارندگی و دمای سطح دریای خزر

بررسی نتایج شبیه‌سازی در این مرحله، بیانگر آن است که دبی‌های شبیه‌سازی شده با ورودی‌های دمای سطح آب دریای خزر و بارندگی حوضه چشمه‌کیله کمترین اختلاف را با

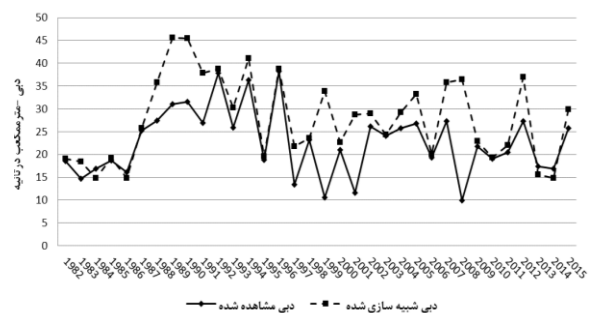
در حالت اول که ورودی مدل فقط دمای سطح آب دریای خزر می‌باشد، ضریب همبستگی ۰/۶۹ می‌باشد و در مرحله بعد که بارندگی فصل زمستان ایستگاه چشمه‌کیله نیز به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شد ضریب همبستگی کلی به ۰/۷۱ افزایش یافت. در مرحله بعد هم‌زمان دمای سطح دریای خزر و بارندگی ایستگاه چشمه‌کیله در فصل زمستان نیز به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شدند که در این حالت ضریب همبستگی به مقدار ۰/۹۵ افزایش پیدا کرد که بیانگر بهبود نتیجه پیش‌بینی می‌باشد.

نتایج پیش‌بینی جریان

در این قسمت به‌منظور مشاهده اختلافات مقادیر دبی‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از سیگنال Nino3.4 و سیگنال‌های SOI - Nino4 - Nino3.4 که بالاترین ضریب همبستگی را داشتند، این مقادیر در نمودارهایی رسم شده‌اند که برای سیگنال‌های اشاره شده به‌ترتیب در اشکال ۱۰ و ۱۱ ارائه شده‌اند.



شکل ۱۰. دبی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده فصل بهار با سیگنال اقلیمی Nino3.4



شکل ۱۱. دبی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده فصل بهار با سیگنال اقلیمی SOI - Nino4 - Nino3.4

دبی‌های مشاهده شده دارند که این نشان از انتخاب مناسب ورودی‌های مدل، برای پیش‌بینی جریان رودخانه چشمه‌کیله در فصل بهار را دارد. پس از مشاهده چشمی و شهودی مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده جریان، برای تعیین مقادیر عددی میزان خطا و انتخاب بهترین روش پیش‌بینی معمولاً از معادلات برآورد خطا شامل روش‌های میانگین مربع خطا، جذر میانگین مربع خطا و خطای پیش‌بینی که قبلاً ذکر آنها رفت استفاده می‌شود. در این تحقیق نیز این مقادیر محاسبه‌شده و نتایج آن در جدول (۳) خلاصه گردیده است. نتایج به‌دست آمده در این قسمت نیز بیان‌گر آن است که بر اساس شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه و مدل‌های گردش عمومی جو استفاده از تک سیگنال Nino3.4 نسبت به استفاده هم‌زمان از سیگنال‌های

SOI - Nino4 - Nino3.4 در همه معادلات دارای خطای کمتری می‌باشد و همچنین استفاده از ورودی‌های دمای سطح آب دریای خزر و بارندگی حوضه چشمه‌کیله در فصل زمستان برای پیش‌بینی آبدهی در فصل بهار حتی نسبت به استفاده از تک سیگنال Nino3.4 نیز دارای خطای کمتری بوده و نشان‌دهنده بهترین ارتباط بین این پارامترها و آبدهی فصل بهار در ایستگاه چشمه‌کیله می‌باشد. بیشترین همبستگی سیگنال Nino3.4 با آبدهی ایستگاه چشمه‌کیله بدان معناست که هر چه مقدار شاخص Nino3.4 افزایش (کاهش) یابد، میزان آبدهی فصل بهار در ایستگاه چشمه‌کیله نیز افزایش (کاهش) می‌یابد.

جدول ۳. نتایج خطاهای روش‌های مختلف پیش‌بینی جریان رودخانه

مدل شبکه عصبی مصنوعی			ورودی مدل
پارامتر SST-P	سیگنال Nino3.4	سیگنال‌های SOI- Nino4-Nino3.4	
۵/۲۹	۱۰/۹۷	۷۴/۱	میانگین مربع خطا (MSE)
۲/۲۹	۳/۳۱	۸/۶۱	جذر میانگین مربع خطا (RMSE)
۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۲۸	خطای پیش‌بینی (VE)

نتیجه‌گیری کلی

از نتایج کلی این تحقیق می‌توان به نقش مؤثر سیگنال‌های اقلیمی در پیش‌بینی جریان رودخانه در شمال ایران اشاره نمود. همچنین می‌توان گفت ورودی‌های بارندگی و دمای سطح آب دریای خزر در فصل زمستان با میانگین مربعات خطا برابر ۵/۲۹، جذر میانگین مربعات خطا برابر ۲/۲۹ و خطای پیش‌بینی برابر ۰/۰۸ کمترین خطا را پیش‌بینی جریان رودخانه به خود اختصاص داده‌اند و می‌توان آنها را به‌عنوان بهترین ورودی‌ها برای پیش‌بینی جریان فصل بهار در رودخانه چشمه‌کیله در نظر گرفت. در تحقیقات گذشته، جریان رودخانه‌های جنوب غرب ایران با استفاده از دمای سطح آب دریای مدیترانه و سیگنال‌های اقلیمی پیش‌بینی شده و نتایج استفاده از داده‌های دمای سطح آب دریای مدیترانه به عنوان پیش‌بینی کننده جریان را در مقایسه با شاخص‌های اقلیمی مرسوم توصیه نموده است. نتایج تحقیق حاضر نیز بیان نمود که شاخص‌های نوسانات جنوبی، Nino3.4 و Nino4 برای پیش‌بینی جریان رودخانه مناسب می‌باشند اما با ورود پارامترهای دمای سطح آب دریای خزر و بارندگی در حوضه مورد مطالعه، نتایج پیش‌بینی به‌مراتب دقیق‌تر می‌باشد.

در تحقیق (Meidani and Araghinejad (2014) جریان رودخانه‌های جنوب غرب ایران با استفاده از دمای سطح آب دریای مدیترانه و سیگنال‌های اقلیمی پیش‌بینی شد و در آن نتایج بهتر استفاده از داده‌های دمای سطح آب دریای مدیترانه به‌عنوان پیش‌بینی کننده جریان در مقایسه با شاخص‌های اقلیمی مرسوم را نشان داد. در نتایج تحقیق حاضر نیز استفاده از شاخص‌های نوسانات جنوبی، Nino3.4 و Nino4 برای پیش‌بینی جریان رودخانه مناسب تشخیص داده شد و سپس با ورود دمای سطح آب دریای خزر و بارندگی حوضه مورد مطالعه، نتایج حاصل شده مناسب‌تر از سیگنال‌های اقلیمی تعیین گردید. همچنین در تحقیقی که توسط Soukup et al. (2009) انجام شد به تأثیر شاخص‌های ENSO، PDO و AMO، داده‌های دمای سطح آب اقیانوس آرام و اطلس در پیش‌بینی جریان رودخانه پرداخته شد و نشان داد که انتخاب این پارامترها به‌عنوان پیش‌بینی کننده جریان رودخانه مناسب می‌باشد و در تحقیق حاضر نیز به نقش مؤثر سیگنال‌های اقلیمی مرسوم و دمای سطح دریای خزر در پیش‌بینی جریان رودخانه تأکید شده است. در تحقیق‌هایی که توسط Hartman et al. (2016)، Nazamalsadat and Yaduvanshi and Arande (2015) و Ghasemi (2004) نیز انجام شد همگی به تأثیر شاخص‌های اقلیمی مرسوم در پیش‌بینی بارندگی اشاره شده است.

REFERENCES

- Araghinezhad, SH., Shabanpour, F. and Jamali, S. (2016). Data analysis for effect of Elnino on annual rainfall in Iran. Proceeding of 6th National Congress on Water Resource Management of Iran. 1-3 May, Kourdestan university, Iran, pp. 1-10 (In Farsi).
- Hartman, H., Snow, J. A., Stein, S., Su, B., Zhai, J., Jiang, T., Valentina, K. and Zbigniew, W. (2016). Predictors of precipitation for improved water resources management in the tarim river basin creating a seasonal forecast model. *Journal of Arid Environments*, 125, 31-42.
- Honglee, J. and Julien, P. (2016). Teleconnections of the ENSO and South Korean precipitation patterns. *Journal of Hydrology*, 534, 237-250.
- Karamouz, M. and Araghinejad, SH. (2005) *Advanced hydrology*(4th ed.). Tehran: Amirkabir. (In Farsi)
- Meidani, E., Araghinejad, SH. and Hoorfar, A. (2012). *Long lead stream flow forecasting using statistical methods*. MSc. thesis, University of Tehran, Tehran. (In Farsi)
- Meidani, E. and Araghinejad, SH. (2014). Long lead stream flow forecasting in the southwest of Iran by sea surface temperature of the mediterranean sea. *Journal of Hydrology Engineering*, 19(8), 1-10.
- Moghsemi, H. R. and Alizadeh Savareh, B. (2014). *The neural network with matlab and C#*. Tehran: Niaz danesh. (In Farsi)
- Murgulet, D., Valeriu, M., Hay, R.R., Tissot, P. and Mestas, A. (2017). Relationships between sea surface temperature anomalies in the Pacific and Atlantic Oceans and South Texas precipitation and streamflow variability. *Journal of Hydrology*, 550, 726-739.
- Nazamalsadat, M. and Ghasemi, A. (2004). The fluctuation influence of water level in caspian sea surface temperature on precipitation of the winter and spring seasons northern and southwestern Iran. *Journal of water and soil sciences*, 8(4),1-15. (In Farsi)
- Nazamalsadat, M. and Shirvani, A. (2004). The application of CCA in order to assess and compare the ability of the SOI and Nino SST forecasts winter precipitation, the shores of the caspian sea. *Journal of water and soil sciences*, 8(1), 11-25. (In Farsi)
- Soukup, T. L., Aziz, O. A. and Tootle, G. L. (2009). Long lead-time stream flow forecasting of the north platte river incorporating oceanic-atmospheric climate variability. *Journal of Hydrology*, 368(1-4), 131-142.
- Shams, M.D., Faisal Anwar, A.H.M., Lamb, K.W. and Bari, M. (2018). Relating ocean-atmospheric climate indices with Australian river streamflow. *Journal of Hydrology*, 556, 294-309.
- Yaduvanshi, A. and Aranade, A. (2015). Effect of global temperature changes on rainfall fluctuations over river basins across eastern indo-gangetic plains. *Journal of Aquatic Procedia*, 4, 721-729.