

شناسایی متغیرهای اقلیمی تأثیرگذار بر حجم ورودی سد بوکان

راضیه ترقی دلگرم^۱، مسعود تجریشی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۲- استاد گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

Razieh.Taraghi@gmail.com

خلاصه

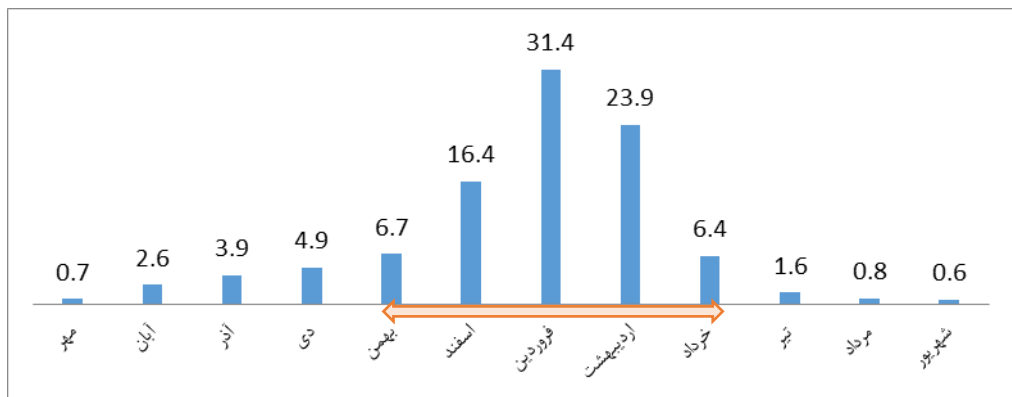
محدودیت منابع آب و افزایش تقاضاهای آبی، بهره برداری های بهینه از منابع آبی موجود در کشور را بیش از پیش ضروری کرده است. بهره برداری بهینه از این منابع، نیازمند پیش بینی هر چه دقیقتر جریان رودخانه ورودی به سد با بازه زمانی پیش بینی یک تا چند ماه می باشد. یکی از مهمترین اصول برنامه ریزی و مدیریت منابع آب در هر کشور از دیدگاه هیدرولوژیکی، بحث پیش بینی آورد می باشد. در این مطالعه با در نظر گرفتن بارش به عنوان متغیر هواشناختی، سیگنال های بزرگ مقیاس اقلیمی، دمای سطح آب در دریاها و مجاور به عنوان متغیر اقیانوسی و جوی و نیز ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال، متغیر های مناسب جهت پیش بینی حجم جریان در بالادست سد بوکان در سه دوره (بهمن-خرداد)، (اسفند-خرداد) و (فروردین-خرداد) پیش بینی می شود. نتایج این تحقیق کمک شایانی به پیش بینی رواناب و همچنین برنامه ریزی و مدیریت منابع آبی این سد می نماید. نتایج نشان دهنده ارتباط معنی دار آورد ورودی سد بوکان با متغیر های ارتفاع ژئوپتانسیل، دمای سطح آب اقیانوس اطلس شمالی و شاخص های انسو می باشد. همچنین آورد پاییز و زمستان می تواند از فاکتور های پیش آگاهی مهم برای پیش بینی آورد محسوب شود.

کلمات کلیدی: پیش بینی بلند مدت، متغیرهای اقیانوسی جوی، سد بوکان

۱. مقدمه

افزایش برای تقاضای آب در مناطق مختلف، نیاز به مدیریت بهینه منابع آب را بیش از پیش نشان می دهد. پیش بینی به موقع و دقیق منابع آب در دسترس را می توان نکته کلیدی در برنامه ریزی، مدیریت و بهره برداری بهینه از منابع آب قلمداد کرد. بر این پایه دستیابی به روش های مطمئن پیش بینی جریان رودخانه ها و شناسایی متغیر های مناسب جهت پیش بینی به منظور برنامه ریزی در بهره برداری از منابع آب از اهمیت روزافزونی برخوردار است. این مقاله تمرکز بر شناسایی متغیرهای اقلیمی مناسب جهت پیش بینی بلندمدت حجم آورد سد بوکان می باشد. نقص یا نبود داده های هواشناسی یا برف سنجی (خصوصاً در مناطق کوهستانی) اهمیت شناسایی شاخص های اقلیمی بلند مقیاس را بیشتر می نماید. سد بوکان در حوضه آبریز زربینه رود در شمال غرب کشور، در مختصات جغرافیایی ۳۲ دقیقه و ۴۶ درجه عرض شمالی قرار دارد. این حوضه به لحاظ مشخصه های توپوگرافی و هیدرولوژی از ۴ زیرحوضه جیغاتوچای، سقزچای و ساروق چای و خرخره چای تشکیل شده است که جریان خروجی از آن ها وارد مخزن سد بوکان می شود. با تحلیل های انجام شده بر روی آورد رودخانه زربینه رود در محل سد بوکان می توان گفت دبی میانگین این رودخانه در طول دوره آماری ۴۵-۱۳۴۴ تا سال ۹۲-۱۳۹۱، در کل سال آبی برابر با ۵۷ و در فصل های پاییز، زمستان، بهار و تابستان به ترتیب برابر با ۱۹، ۱۳۳، ۶۷ و ۸ متر مکعب بر ثانیه می باشد که در نهایت منجر به آورد میانگین سالانه به ترتیب در حدود ۱۸۰۵، ۱۵۰، ۵۱۴، ۱۰۷۲ و ۶۸ میلیون متر مکعب خواهد شد. با توجه به تحلیل ماهانه جریان مشاهده می شود که به صورت میانگین (با میانگین گیری درصد آورد ایستگاه های منتخب و داده های ورودی سد)، سهم آورد ماهانه در فروردین ماه از دیگر ماه ها بیشتر و سپس ماه های اردیبهشت و اسفند بالاترین سهم آورد در سال را دارند (شکل ۱). همانطور

که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، عمده حجم آورد رودخانه های حوضه، در ماه های بهمن تا خرداد است. از طرفی در مناطق غرب کشور عمده حجم رواناب در فصل ذوب برف (اواخر زمستان تا اواخر بهار) جریان دارد، انتخاب سه دوره زمانی پیش بینی بهمن - خرداد، اسفند - خرداد و فروردین - خرداد منطقی به نظر می‌رسد. حدود ۸۵ درصد از کل حجم آورد سالانه ایستگاه های اصلی زیرحوضه های حوضه آبریز بوکان، در طی ماه های بهمن تا خرداد جریان دارد. به عبارت دیگر با انتخاب این دوره زمانی پیش بینی می توان حدود ۸۵ درصد حجم آورد سالانه رودخانه را پیش بینی نمود. از این روشناسایی متغیرهایی که بتوانند با دقت قابل قبولی آورد ورودی به سد را پیش بینی کنند، ضروری به نظر می‌رسد.



شکل ۱- میانگین درصد رواناب ورودی به سد (میلیون مترمکعب) از سال ۹۱-۹۲ تا ۴۴-۴۵

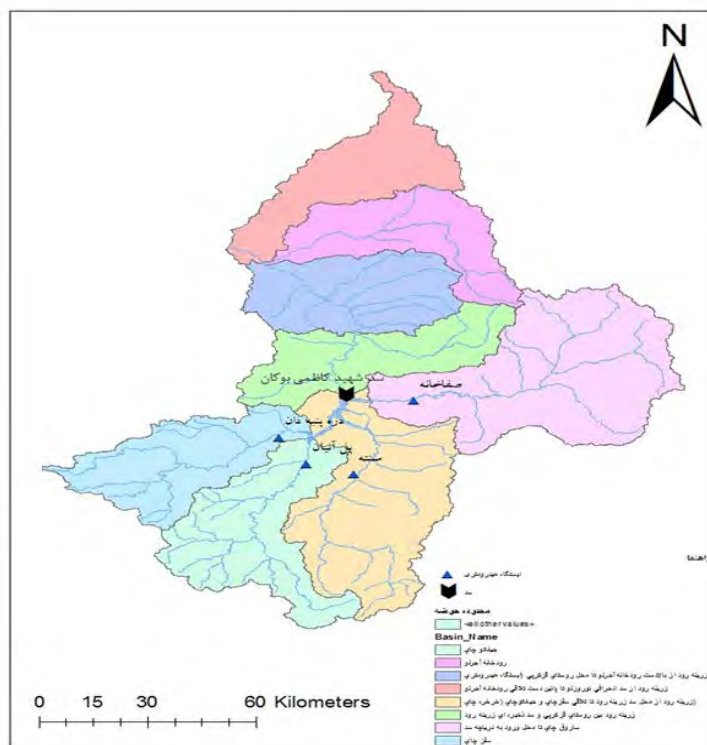
۲-۱- پیش‌زمینه

از زمانی که مشخص شد امکان تعیین رابطه معنی‌دار بین شاخص های اقلیمی با بارش و به تبع آن رواناب ورودی به سد وجود دارد، توجه بسیاری از محققان روی پیش بینی جریان معطوف شد. Sokoup و همکاران (۲۰۰۹) جهت پیش بینی آورد رودخانه North Platte در امریکا علاوه بر به کارگیری شاخص های ENSO و MJO, PDO و ENSO به کمک داده های دمای سطح آب اقیانوس آرام و اطلس و ارتفاع فشار ۵۰۰ میلی بار جو و یافتن مناطق مؤثر، دقت پیش بینی را افزایش دادند [۱]. Sveinsson و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه ای به شناسایی مؤلفه های اتمسفری یا اقیانوسی مرتبط با آورد فصل بهار حوضه Churchill fall در کانادا پرداخته و سپس با مقایسه عملکرد مدل های مختلف در پیش بینی آورد نشان دادند که به کارگیری این سیگنال ها در افزایش دقت پیش بینی مؤثرند [۲]. Yadav و همکاران (۲۰۱۳) نیز به بررسی ارتباط بین شاخص ENSO و بارش زمستانه در شمال و مرکز هند پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که تغییرات بارش فصلی درون‌سال و بارش زمستانه در هند به شاخص ال نینو نوسانات جنوبی (ENSO) بستگی دارد [۳]. Chalery و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر نوسان اطلس شمالی NAO را روی الگوهای بارش باربادوس مطالعه کرده‌اند. در این مطالعه از داده های بارش ایستگاه های ساحلی جنوب شرق باربادوس در دوره آماری ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۴ استفاده شده است. نتایج تحقیق آنها نشان داد که NAO تأثیر مهمی در تغییرات بارش ماهانه منطقه در طول دوره های النینو و لانینا دارد [۴]. Rowell (۲۰۰۷) تأثیر دمای سطح آب دریای مدیترانه را بر روی بارش های فصلی منطقه ساحل، شامل کشور های واقع بر روی خط استوا در غرب آفریقا را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده است که در سال هایی که دمای سطح آب دریای مدیترانه نسبت به شرایط نرمال آن سردتر باشد، منطقه ساحل دارای شرایط خشک تر می باشد [۵].

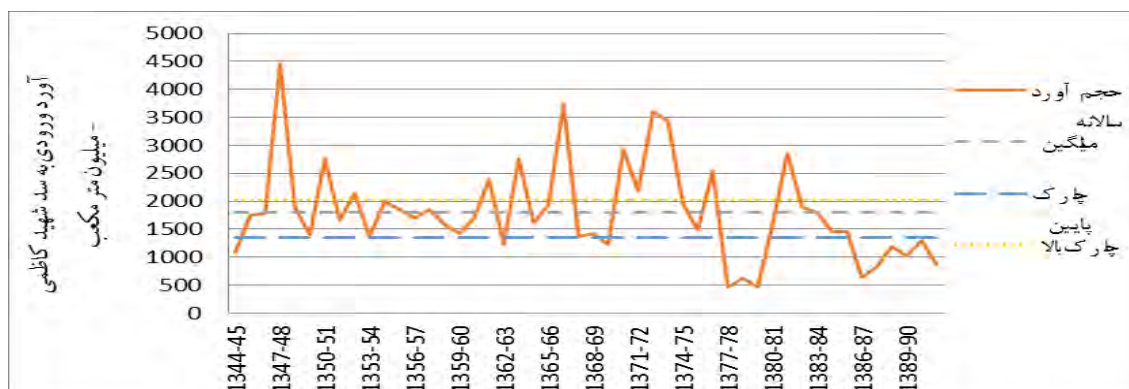
در ایران نیز مطالعات مختلفی در مورد تأثیر سیگنال های اقلیمی متداول و نیز به کارگیری این ارتباطات در پیش بینی بارش و آورد انجام شده است. رویگر و گلیان (۱۳۹۳) به بررسی نقش سیگنال های بزرگ مقیاس اقلیمی در میزان بارش و دبی حوضه آبریز مادرسو واقع در بالادست سد گلستان پرداختند. انجام تحلیل همبستگی و به دست آوردن ضرایب همبستگی، ارتباط بین سیگنال های اقلیمی و بارش و دبی را تأیید کرد و نشان داد که شاخص NINO 1+2 بیشترین تأثیر را در حوضه مطالعاتی دارد [۶]. فلاح قاهره (۱۳۹۰) به ارزیابی نقش تغییرات سیگنال های اقلیمی بر نوسان های بارش بهاره در استان خراسان رضوی پرداخت. با بررسی همبستگی به دست آمده بین بارش متوسط منطقه ای و سیگنال های هواشناسی شاخص در بازه های زمانی گوناگون، سیگنال های اقلیمی مؤثر بر آب و هوای استان خراسان رضوی مشخص شد که از این سیگنال ها می توان در مدل های پیش بینی بارش و همچنین تشخیص دوره های خشک، تر و نرمال استفاده کرد [۷].

۲. مواد و روش‌ها

داده های هواشناختی و هیدرومتری استفاده شده در این تحقیق شامل حجم آورد ورودی به سد بوکان در دوره ۴۵-۱۳۴۴ تا ۹۲-۱۳۹۱ می باشد. داده های بارش ماهانه و آورد از سازمان مدیریت منابع آب و داده های شاخص های اقلیمی از مرکز Climate Diagnostics Center (<http://www.cdc.noaa.gov>) استخراج شده اند. هدف کلی این تحقیق مشخص شدن متغیرهای اقلیمی مناسب جهت به کارگیری در مدل های پیش بینی جهت حجم آورد (فروردین تا خرداد) و ورودی به سد بوکان می باشد. لذا متغیرهایی که ضریب همبستگی آن ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد از نظر آماری معنی دار باشد به عنوان متغیر ورودی به مدل معرفی گردیده اند. نقشه ایستگاه های هیدرومتری حوضه سد بوکان در شکل ۲ نشان داده شده است. تابع ACF نشان می دهد که حجم آورد در سال های قبل نمی تواند به عنوان پیش بینی کننده مناسبی در نظر گرفته شود. سری زمانی آورد ورودی به سد در شکل ۳ و تابع ACF آورد سالانه در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۲- ایستگاه های هیدرومتری حوضه سد بوکان



شکل ۳- آورد ورودی به سد بوکان



شکل ۴- تابع خودهمبستگی آورد سالانه

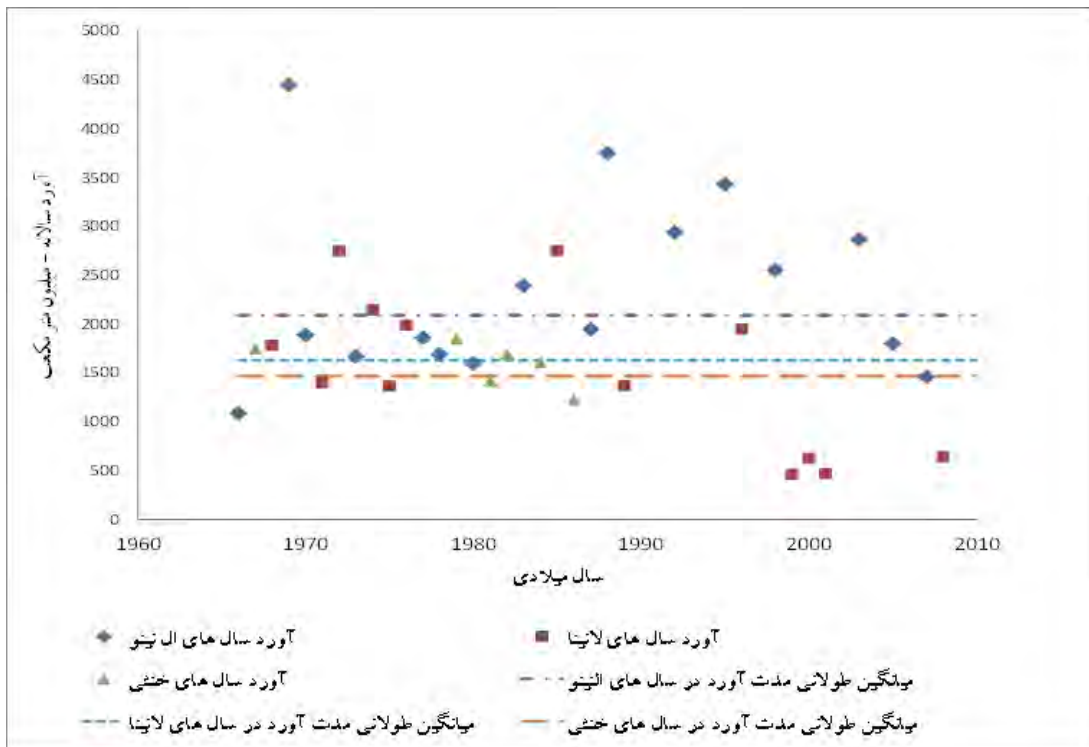
همچنین از آن جا که حجم آبریزه نشان‌دهنده وضعیت بارش پیشین و رطوبت قبلی خاک است، می‌تواند همبستگی معناداری با حجم آبریز در فصل بهار و زمستان داشته باشد. به طور مثال ضریب همبستگی آورد فروردین تا خرداد و آبریزه برابر با $r = 0,29$ می‌باشد که از سطح اطمینان ۹۵ درصد بیشتر می‌باشد و لذا می‌تواند به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده آبریز به کار رود.

۲-۱- ارتباط آورد و شاخص‌های اقلیمی

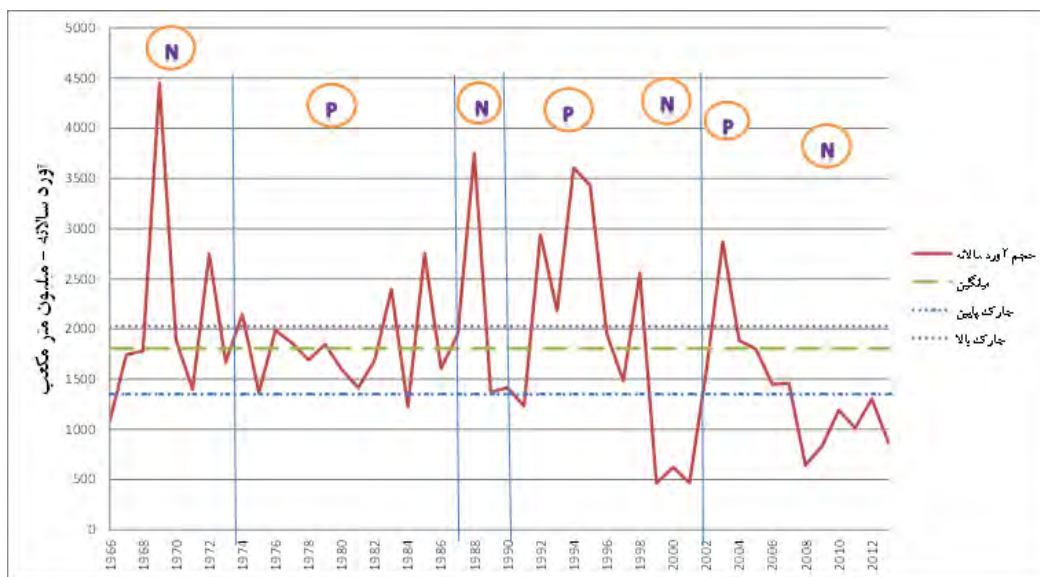
به منظور شناسایی سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی مؤثر بر تغییرات آورد در ایستگاه‌های اصلی حوضه، بین مجموع میانگین آورد ماهانه ورودی سد در دوره (فروردین تا خرداد) با سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی AO, BEST, MEI, NAO, NINO1+2, NINO3.4, NINO4, NOI, ONI, PDO, PNA, SOI, TNA, TSA, WP, WHWP در ماه‌های قبل همبستگی برقرار گردید.

NAO و PDO شاخص‌های پدیده‌های نوسانات اطلس شمالی و نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام می‌باشند. TNA و TSA بیانگر تغییرات دمای سطح آب در اقیانوس اطلس، NOI بر اساس تغییرات فشار سطح آب در بالای اقیانوس آرام و نزدیک داروین استرالیا، WHWP به صورت تغییرات ماهانه دمای سطح آب نسبت به میانگین در اقیانوس آرام و غرب اقیانوس اطلس و در نواحی گرم‌تر از $28,5$ درجه سانتیگراد بیان می‌شود. ONI بیانگر میانگین متحرک سه ماهه دمای سطح اقیانوس در منطقه Nino 3.4 در محدوده 5N-5S و 120W-170W می‌باشد. 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 (یک فاز مشخص PDO معمولاً در حدود ۲۵ سال پایدار می‌ماند). تأثیرات فاز گرم PDO (مقدار مثبت شاخص عددی) مشابه تأثیرات فاز گرم ENSO و تأثیرات فاز سرد PDO (مقدار منفی شاخص عددی) مشابه فاز سرد ENSO است. شاخص نوسانات ده ساله اقیانوس آرام PDO (Index) با استفاده از الگوهای دمای سطح دریا (SST) در اقیانوس آرام شمالی تعیین می‌گردد. فاز مثبت (منفی) PDO خود را به صورت SST های کمتر (بیشتر) از حالت نرمال در بخش مرکزی اقیانوس آرام نشان می‌دهد. PDO به صورت قابل توجهی بر روی منابع آب مانند پوشش برف و آب شرب مناطقی مانند شمال آمریکا و ساحل شمال آمریکا تا خلیج آلاسکا تأثیر دارد.

در این بخش ارتباط میان آورد سالانه ورودی به سد بوکان با وقوع فازهای مختلف پدیده‌های ENSO و PDO و نیز ارتباط بارش سالانه و فازهای مختلف پدیده ENSO بررسی شده است. در شکل ۵ مقادیر حجم آورد ورودی به سد بوکان در سال‌های مختلف ال نینو، لائینا و خنثی به همراه میانگین آورد مشاهده شده در این سال‌ها نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است در طول دوره آماری ۴۹ ساله میانگین آورد در سال‌های ال نینو بیشتر از سال‌های خنثی و لائینا بوده است. شکل ۶ سری زمانی آورد ورودی به سد بوکان را در سال‌های مختلف وقوع فازهای مثبت و منفی PDO نشان داده است. مشخص است که وقوع فاز مثبت PDO با ترسالی و فاز منفی آن با خشکسالی همراه بوده است.



شکل ۵- حجم آورد ورودی به سد بوکان در سال های مختلف ال نینو، لانینا و خنثی



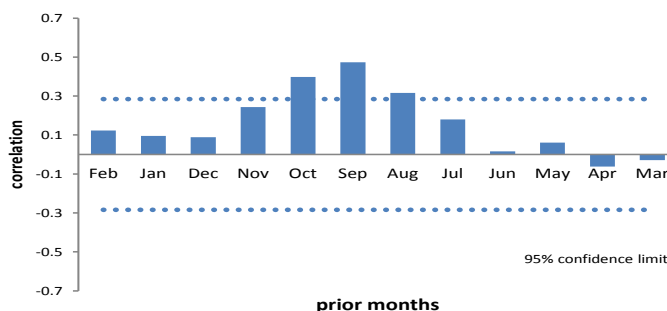
شکل ۶- سری زمانی آورد ورودی به سد در سال های وقوع فازهای مثبت و منفی PDO

در جدول ۱ اثر همزمان این دو پدیده بر آورد سالانه نشان داده شده است. در این جدول سال هایی که به صورت برجسته نشان داده شده سال هایی می باشند که آورد بیشتر از میانگین در آن ها مشاهده شد و در دیگر سال ها آورد کمتر از میانگین بوده است. در انتهای جدول نیز نسبت میانگین آورد در هر دسته به میانگین دراز مدت آورد در دوره آماری نشان داده شده است. وقوع همزمان ال نینو و فاز گرم PDO باعث افزایش مشهود حجم آورد در سد بوکان شده است. (افزایش ۳۵ درصدی آورد به صورت میانگین).

جدول ۱- اثر همزمان ENSO و PDO در آورد سالانه سد بوکان

فاز سرد (LaNina)		فاز خنثی (ENSO)		فاز گرم (ElNino)	
فاز سرد PDO	فاز گرم PDO	فاز سرد PDO	فاز گرم PDO	فاز سرد PDO	فاز گرم PDO
۱۹۶۸	۱۹۷۶	۱۹۶۷	۱۹۷۹	۱۹۶۶	۱۹۷۷
۱۹۷۱	۱۹۸۵	۱۹۹۰	۱۹۸۱	۱۹۶۹	۱۹۷۸
۱۹۷۲	۱۹۹۶	۱۹۹۱	۱۹۸۲	۱۹۷۰	۱۹۸۰
۱۹۷۴		۱۹۹۴	۱۹۸۴	۱۹۷۳	۱۹۸۳
۱۹۷۵		۲۰۰۹	۱۹۸۶	۲۰۰۷	۱۹۸۷
۱۹۸۹		۲۰۱۳	۱۹۹۳	۲۰۱۰	۱۹۸۸
۱۹۹۹			۱۹۹۷		۱۹۹۲
۲۰۰۰			۲۰۰۲		۱۹۹۵
۲۰۰۱			۲۰۰۴		۱۹۹۸
۲۰۰۸			۲۰۰۶		۲۰۰۳
۲۰۱۱					۲۰۰۵
۲۰۱۲					
Q/Q avg					
۰.۷	۱.۲	۰.۹	۰.۹	۱.۱	۱.۳۵

مقادیر همبستگی آورد (فروردین تا خرداد ورودی سد بوکان با شاخص PDO در شکل ۷ آورده شده است. همانطور که مشخص است، روند تغییرات مجموع آورد فروردین تا خرداد با شاخص PDO در ماه اکتبر (مهر)، سپتامبر (شهریور) و آگوست (مرداد) همبستگی معنی داری دارند.



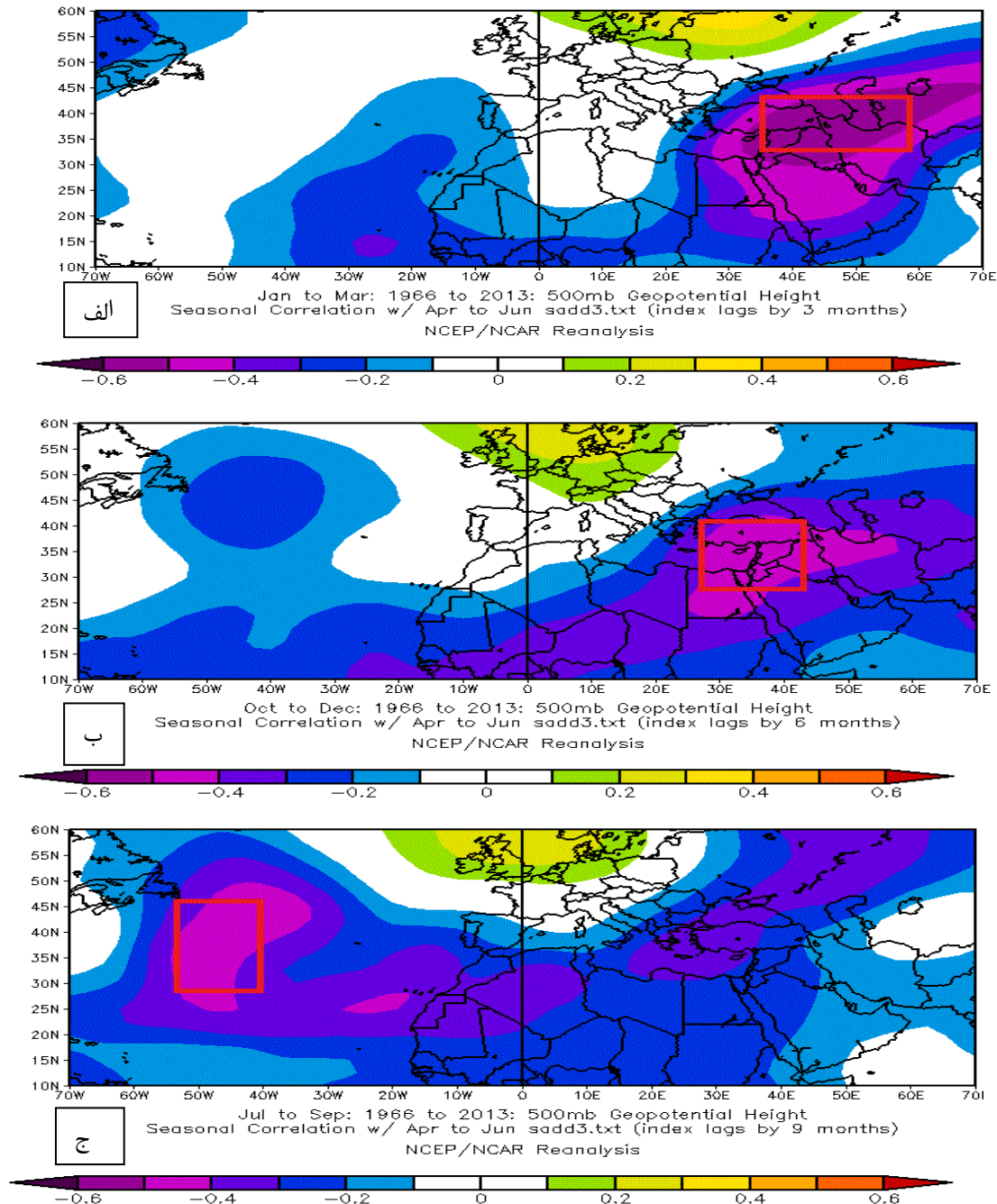
شکل ۷- همبستگی آورد ورودی سد با شاخص PDO

۲-۲- ارتباط آورد با دمای سطح آب و ارتفاع ژئوپتانسیل

شکل ۸ نشان دهنده همبستگی میان آورد ورودی به سد بوکان از فروردین تا انتهای خرداد (آوریل- ژوئن) و تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ میلی بار به عنوان یکی از شاخص های نشان دهنده رفتار اتمسفر می باشد. محدوده های مشخص شده بیانگر مناطق جغرافیایی می باشند که همبستگی تغییرات این شاخص در آن نواحی با آورد دوره مورد نظر معنی دار بوده و به عنوان متغیر پیش بینی می تواند در نظر گرفته شود. این نقشه ها از طریق مراکز اینترنتی و با بکار گیری داده های زمینی منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. ^۱ همانطور که از شکل ۸-ج) مشخص است با تاخیر زمانی شش ماهه همبستگی معکوس معنی داری میان تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل سواحل غربی اقیانوس اطلس در تابستان (JAS) و آورد فروردین تا خرداد ورودی به سد بوکان وجود دارد. به علاوه در فصول پاییز و زمستان، در غرب حوضه تا مدیترانه شرقی، ضریب همبستگی با آورد بوکان از نظر آماری معنی دار است.

[1] <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation>

با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران، می توان گفت که بارندگی در حوضه سد بوکان ناشی از فعالیت سیستم های بارانزای عرض های پایین (سیستم های سودانی)، متأثر از تغییرات دمای سطح آب دریای سرخ و خلیج فارس و سیستم های بارانزای عرض های بالا (سیستم های مدیترانه ای) و دمای سطح آب در دریای سیاه، مدیترانه و اقیانوس اطلس شمالی می باشد (شکل ۹).

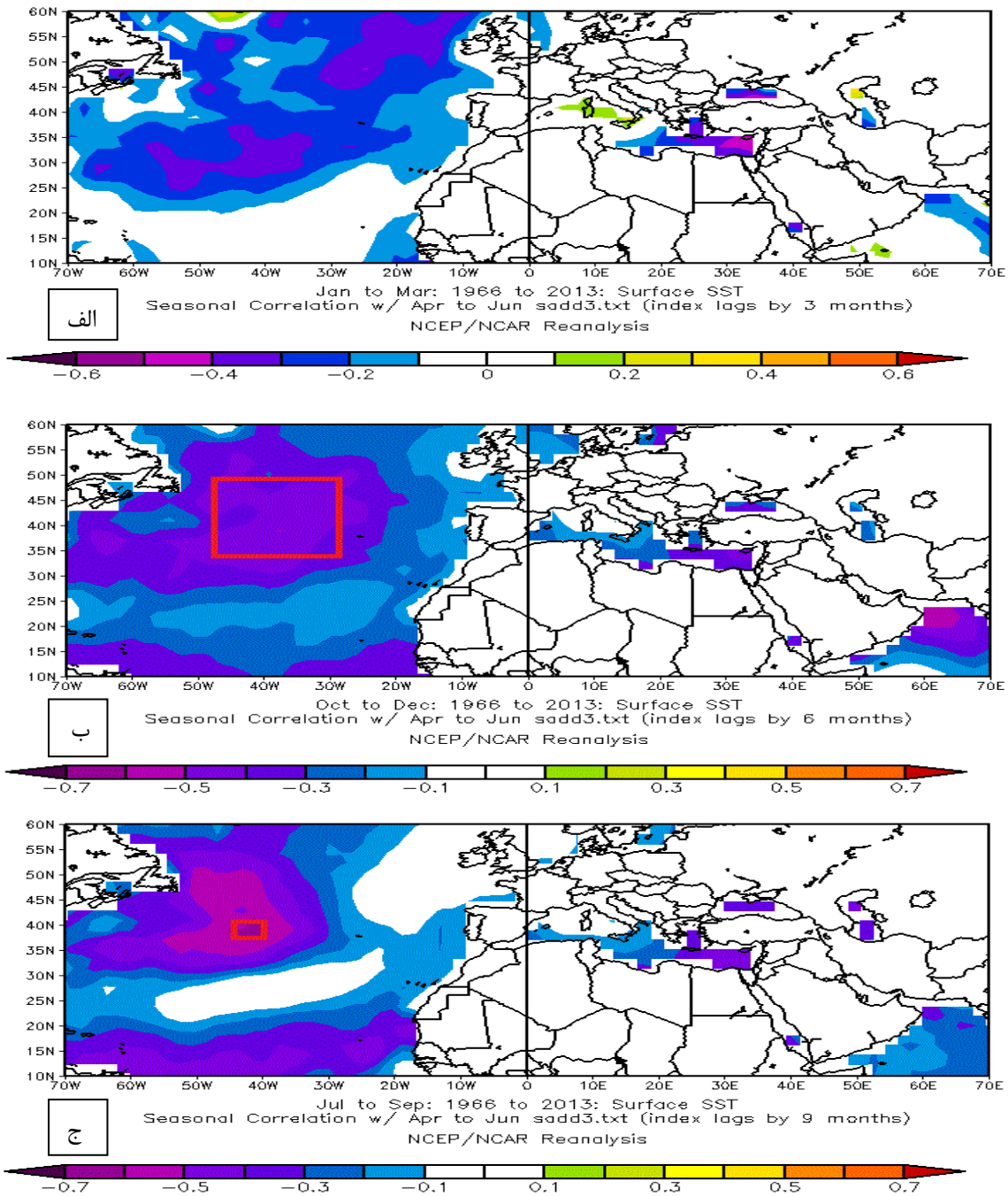


شکل ۸- نقشه همبستگی میان آورد دوره سوم پیش بینی و ارتفاع ژئوپتانسیل در الف) زمستان (JFM) ب) پاییز (OND) و ج) تابستان (JAS) سال قبل



شکل ۹ - پهنه های آبی تأثیرگذار بر میزان بارش و رواناب حوضه های آبریز شمال غرب ایران

شکل ۱۰ نشان دهنده همبستگی میان آورد فروردین تا انتهای خرداد با تغییرات دمایی در این پهنه های آبی است. با توجه به این شکل درمی یابیم که دمای سطح آب در پهنه های آبی مجاور همبستگی معکوس با آورد دارد و افزایش دمای آب نسبت به میانگین درازمدت به طور معمول با کاهش آورد همراه بوده است. همانطور که در شکل ۱۰-ب) مشخص است با تأخیر زمانی شش ماهه، سواحل غربی اطلس شمالی همبستگی معنی داری با آورد از خود نشان می دهد ($r = -0.47$).



شکل ۱۰- نقشه همبستگی میان آورد دوره سوم پیش بینی و دمای سطح آب در الف) زمستان (JFM) ب) پاییز (OND) و ج) تابستان (JAS) سال قبل

۳. جمع بندی و نتیجه گیری

هدف این تحقیق شناسایی متغیرهای اقیانوسی-جوی در کنار متغیرهای هواشناختی اندازه گیری شده در حوضه آبریز سد بوکان، جهت پیش بینی آورد ورودی به این سد از آوریل تا آگوست (فروردین-مرداد) می باشد. اندازه گیری های زمینی و به صورت نقطه ای که در پیش بینی های سنتی به کار

می روند با تأخیر به روزرسانی می شوند و در بعضی مناطق حتی با کمبود و یا نقص آمار به خصوص در مورد مناطق برف گیر مواجه هستیم. مزیت استفاده از این شاخص ها به روزرسانی ماهانه آن ها می باشد. با توجه به تحلیل همبستگی انجام شده مشخص گردید که آورد پاییز و زمستان همبستگی معنی داری با آورد فروردین تا مرداد از خود نشان می دهد. همین طور مشخص شد که دمای سطح آب در بهنه های آبی مجاور، همبستگی معکوس با آورد این حوضه دارد و افزایش دمای سطح آب نسبت به میانگین درازمدت، به طور معمول با کاهش آورد همراه بوده است. به طور مثال، دمای سطح آب در خلیج فارس، همبستگی معنی داری با آورد از خود نشان می دهند ($r = -0.5$). علاوه بر در نظر گرفتن دمای سطح آب، ارتباط آماری میان ارتفاع ژئوپتانسیل و آورد دوره های پیش بینی نیز بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که همبستگی معنی داری میان تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل اقیانوس اطلس شمالی در فصل تابستان و پاییز وجود دارد و می تواند فاکتور پیش آگاهی از آورد فروردین تا خرداد ورودی سد باشد.

۱۲. مراجع

1. Tyrel L. Soukup, T. L., Aziz, O. A. and Tootle, G. L., (2009), *Long lead-time streamflow forecasting of the North Platte River incorporating oceanic-atmospheric climate variability*, Journal of Hydrology, 368, pp. 131-142.
2. Sveinsson, G. B., Lall, U., Fortin, V., Perrault, L., Gaudet, J., Zabiak, S. and Kushnir, Y. (2008), *Forecast Spring Reservoir in churchill falls basin in Quebec, Canada*, Journal of Hydrologic Engineering., pp. 426-436.
3. R.K. Yadava, D.A. Ramua, A.P. Dimrib (2013). *On the relationship between ENSO patterns and winter precipitation over North and Central India*, Global and Planetary Change 107 (2013) 50 – 58
4. Charleri, J., Nurse, L. & Whttehall, K., 2006, *Short Communication Exploring the Relationship between the North Atlantic Oscillation and Rainfall Patterns in Barbados*, Int. J. Climatol. 26: pp. 819-827.
5. Rowell, David P., 2002, *The Impact of Mediterranean SSTs on the Sahelian Rainfall Seasonal*, Journal of Climate, Volume 16, Issue 5, pp. 849 – 862.
۶. گلپان، س؛ رویگر، ح؛ (۱۳۹۳)، بررسی ارتباط شاخص های بزرگ مقیاس اقلیمی و میزان بارش ماهانه و آبدهی متوسط ماهانه حوضه سد گلستان، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، اهواز، ۸.
۷. فلاح قالهری. غ، (۱۳۹۰)، ارزیابی نقش تغییرات سیگنال های اقلیمی بر نوسان های بارش بهاره استان خراسان رضوی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، ۳: ۱۷۱-۱۵۵.