

پیش‌بینی آورد فصلی سد دز با استفاده از سیگنالهای بزرگ مقیاس اقلیمی

محمود عظیمی^۱، مسعود تجربی^۲، احمد ابریشمی^۳

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

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

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

azimi98@gmail.com

خلاصه

حوزه رودخانه دز یکی از مناطق حساس و مهم در کشور از لحاظ برقایی می باشد. از اینرو پیش‌بینی جریان آب این رودخانه می تواند در تصمیم‌گیری های مدیریتی مفید واقع شده و منافع مالی و ملی قابل توجهی را در بر داشته باشد. در این مقاله به کمک سیگنالهای اقلیمی و اطلاعات بارندگی، معادلات رگرسیون خطی جهت پیش‌بینی آورد ورودی به سد دز در دو دوره ی پیش‌بینی (اسفند تا مرداد و فروردین تا مرداد) تهیه شده که نشانگر چگونگی به کارگیری شاخص‌های اقلیمی در افزایش دقت پیش‌بینی حجم آورد رودخانه‌ها خصوصاً در حوزه هایی که با فقر اطلاعات برفسنجی مواجهیم می باشد.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی حجم آورد، حوزه آبریز دز، سیگنالهای اقلیمی، مدل رگرسیونی

۱. مقدمه

با توجه به افزایش رشد جمعیت و نیاز آب آشامیدنی و کشاورزی و کمبود منابع آب شیرین، همچنین تغییرات اقلیمی و نوسانات هیدرولوژیکی در دهه‌های اخیر، اهمیت پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها و حجم آب ورودی به پشت مخازن سدها امری بدیهی است. پیش‌بینی بلند مدت جریان به مدیران و برنامه ریزان آب کمک میکند تا برای رهاسازی یا ذخیره آب مخازن در زمان های حساس تصمیم بهتری اتخاذ کنند. در واقع هدف از پیش‌بینی بلند مدت جریان، تخمین علمی حجم آورد در یک نقطه خاص در دوره زمانی مشخص است.

در دهه‌های اخیر، شناسایی سیگنالهای بزرگ مقیاس اقلیمی (که در حقیقت تابع مکانی و زمانی از متغیرهای هواشناسی هستند و معمولاً با اندازه‌گیری تغییرات نسبی این متغیرها معرفی می شوند) به عنوان پیش‌بینی کننده های پدیده‌های هیدرولوژیکی، تحول عظیمی را در پیش‌بینی‌ها بوجود آورده‌اند. در سالیان اخیر مدل‌ها و ابزار پیش‌بینی هیدرولوژیکی برپایه روش‌های تجربی و آماری در کنار مدل‌های عددی پیشنهاد شده و به عنوان ابزاری برای مدیریت بهتر منابع آب به کار گرفته شده‌اند. پیشرفت‌های بیشتر در مدل‌های پیش‌بینی منوط به شناخت بیشتر ارتباط پدیده‌های اقلیمی و رویدادهای هیدرولوژیکی، بهبود و توسعه مدل‌ها و پیشنهاد مدل‌های جدید می‌باشد.

سیگنال به پدیده‌های بزرگ مقیاسی گفته می‌شود که تغییرات اقلیمی جهان و چرخه جو را تحت تاثیر قرار دهند. یک سیگنال هواشناسی با توجه به تعامل و اثر پذیری پارامترهای مختلف جو می‌تواند اثرات متفاوتی در نقاط مختلف داشته باشد. پدیده‌هایی نظیر ENSO، PDO و NAO از سیگنالهای بزرگ مقیاس شناخته شده می‌باشند که در مورد نحوه تاثیر آنها بر اقلیم نواحی مختلف جهان تحقیقات وسیعی انجام شده است.

انسو از دو واژه الینو و نوسانات جنوبی گرفته شده است (El Nino South Oscillation) و یکی از شاخص‌ترین رویدادهایی است که باعث ایجاد ناهنجاری های بزرگ آب و هوایی در نقاط مختلف می‌شود. یکی از شاخصهای اندازه‌گیری شدت پدیده انسو گرادیان فشار در امتداد شرقی غربی اقیانوس آرام می‌باشد که توسط شاخص SOI (South Oscillation Index) بیان می‌شود. مقادیر منفی شاخص SOI (فاز گرم انسو El Nino) همزمان با گرم شدن بیش از معمول آبهای شرقی و مرکزی اقیانوس آرام و مقادیر مثبت (فاز سرد انسو La Nina) آن همزمان با سرد شدن سواحل غربی آمریکا و حرکت توده های هوا از شرق اقیانوس به سواحل شرقی استرالیا رخ می‌دهد. شاخص SOI بر اساس اختلاف فشار بارومتری هوای سطح دریا در داروین استرالیا و جزیره تاهیتی در منطقه جنوب شرقی آسیا محاسبه میشود.

نوسانات دهه ای اقیانوس آرام، PDO (Pacific Decadal Oscillation) نیز یک الگوی ده ساله با اثرات مکانی آب و هوایی مشابه با ENSO ولی با رفتار زمانی متفاوت می‌باشد. PDO به طور قابل توجهی بر روی منابع آب مانند پوشش برف و آب شرب مناطقی مانند شمال آمریکا و سواحل شمال کالیفرنیا تا خلیج آلاسکا تاثیر دارد. پدیده نوسانات اطلس شمالی، NAO (North Atlantic Oscillation) بیانگر وضعیت تکرار پذیر در توده های اتمسفری میان مراکز پرفشار استوایی و کم فشار قطبی می‌باشد که به دلیل حالات نسبتا ثابت دهه ای می تواند به تغییرات آب و هوایی در نواحی مختلف از جمله شمال آمریکا تا اروپا و حتی تا شمال آسیا منجر شود. این پدیده بر اساس نوسانات فشار هوا در مقیاس نصف النهاری بین پر فشار آزور (Azore) و کم فشار ایسلند (Iceland) می‌باشد. شاخص NAO به صورت مقادیر استاندارد شده اختلاف میانگین فشار سطح آب بین آزور و ایسلند بیان میشود.

تحقیقات انجام شده در مورد استفاده از سیگنال‌ها و پدیده های اقلیمی و اقیانوسی و تغییرات دمای سطح آب در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها، به طور گسترده در آمریکا و استرالیا صورت گرفته است. به طوری که تغییرات اقیانوسی و جوی به صورت شاخص های عددی فشار و دمای آب در نواحی مختلف تعریف می شود. (نظیر ENSO، PDO، NAO و SOI) پس از بررسی ارتباط این پدیده‌ها با تغییرات آورد منطقه‌ی مورد مطالعه، مقادیر شاخص ها در مدل پیش بینی جریان گنجانده شده و پیش‌بینی صورت می‌گیرد.

در مقالات مختلف ارتباط و همبستگی مقادیر سیگنالها با بارندگی در نقاط مختلف دنیا و در ایران بررسی شده است. تحلیل های Barlow و Salstein (۲۰۰۵) نشان می‌دهد که بخش بزرگی از بارش های فصل سرد مرتبط با تغییرات ناشی از El Nino می‌باشد که این ارتباط به عنوان فاکتور اولیه در خشکسالی منطقه‌ای و همچنین به عنوان ابزاری در پیش‌بینی های فصلی می‌باشد. منطقه‌ی مورد مطالعه ایشان در برگیرنده آسیای مرکزی و بعلاوه مناطق از عراق تا شمال شرق هند می‌باشد [۱]. نتایج تحقیقات Kaplan و Cullen (۲۰۰۲) بیانگر وابستگی تغییرات دما و بارش و جریان دوره دسامبر-مارس رودخانه های خاور میانه از پدیده اقلیمی نوسانات اطلس شمالی است [۲]. در مطالعه دیگری که توسط Barlow و همکاران انجام شده است (۲۰۰۱)، ارتباط میان خشکسالی های سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ با پدیده ENSO بررسی شده و نشان داده شده است که در طول دوره های سرد شمالی، ارتباط معکوسی میان بارندگی در شرق اقیانوس هند و جنوب غرب آسیا وجود دارد و عدم بارندگی در جنوب غرب آسیا همراه با طوفان‌های کوتاه مدت در شرق اقیانوس هند می‌باشد. او این موضوع را مرتبط با پدیده النینو نوسانات جنوبی دانست و بیان کرد که دمای گرم آبهای نواحی غربی اقیانوس آرام و وقوع فاز سرد ENSO (لانیئا) طی سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ به افزایش شدت خشکسالی این سالها کمک کرده است [۳].

فتاحی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی ارتباط سطح پوشش برف در حوضه کرخه و سیگنالهای اقلیمی پرداختند. آنها پس از تخمین سطح برف توسط تصاویر ماهواره ای NOAA، ارتباط آن را با داده های ماهانه شاخص نوسانات جنوبی (SOI)، نوسانات اطلس شمالی (NAO)، و پدیده PDO در مناطق NINO4, NINO1.2, NINO3, NINO3.4 برای بازه های زمانی همزمان، سه ماهه و شش ماهه بررسی کردند. نتایج نشان داد که سیگنالهای اقلیمی ENSO، NAO، SOI، NINO4، NINO1.2، به عنوان موثرترین سیگنالها بر سطح پوشش برف حوضه کرخه مطرح بوده و برای پیش آگاهی از سطح پوشش برف این حوزه می توان از این سیگنالها استفاده کرد [۴]. فاتحی و مرج و برهانی (۱۳۸۵) بر نقش تعیین کننده پدیده‌های ارتباط از دور (Teleconnection patterns) بر میزان نزولات جوی در حوزه آبریز دریاچه ارومیه پرداخته و با استفاده از روابط بین آن‌ها، بارندگی در فصول مختلف را پیش‌بینی نمودند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بارندگی پاییزه بیشتر تحت تاثیر SOI و بارندگی زمستانه بیشتر تحت تاثیر شاخص NAO است [۵]. کوره پزان و کارآموز (۱۳۸۲) تاثیر سیگنالهای ENSO، NAO، SST (دمای سطح آب) خلیج فارس را بر بارندگی فصلی منطقه جنوب غرب ایران بررسی نمودند. در این تحقیق این محققین با در نظر گرفتن فازهای گرم و سرد برای این سیگنالها، میزان تاثیرپذیری بارندگی در دوران النینو با ترسالی مواجهیم [۶]. حضرتی (۱۳۸۲) نیز ارتباط بین پدیده‌های ENSO و NAO را با بارش در حوزه ارومیه بررسی نمود. در این رابطه او از نسبت میانگین بارش سال‌های النینو به میانگین دراز مدت بارش در هر ایستگاه به روش همبستگی خطی، میزان تاثیر النینو بر بارش منطقه را مطالعه کرد. طی این بررسی مشخص شد که به طور کلی النینو باعث افزایش بارش پاییزه در اکثر ایستگاه‌ها می‌شود [۷]. همچنین ناظم السادات (۲۰۰۱) تاثیر ENSO را بر بارندگی های زمستانه برخی از ایستگاه‌های ایران بررسی نموده است. او میزان بارندگی زمستانه هر ایستگاه را در زمان النینو (فاز منفی) و لانیئا (فاز مثبت) با شاخص SOI زمستان (بدون تاخیر) مقایسه کرد. او به این نتیجه رسید که اکثر ایستگاه‌ها در زمان النینو بیشتر از زمان لانیئا بارندگی داشته اند [۸]. در تحقیقی که توسط ناظم السادات (۱۹۹۹) انجام شد، در بررسی ارتباط بارش پاییزه در نواحی مختلف کشور با پدیده ENSO (با در نظر گرفتن شاخص SOI)، مشخص شد که بارش پاییزه با شاخص SOI همبستگی معکوس دارد و خشکسالی پاییزه غالیا در سالهای La Nina روی میدهد و شدت آن زمانی که SOI بیش از ۵ می باشد شدیدتر است [۹].

محققان بسیاری در سراسر جهان به بررسی ارتباط میان پدیده های اقلیمی و جریان رودخانه پرداخته اند. از زمانی که مشخص شد امکان تعیین رابطه معنی دار بین شاخص های اقلیمی همزمان و یا با تاخیر با جریان رودخانه وجود دارد، توجه بسیاری از محققان روی پیش بینی جریان معطوف شد. Sokoup و Tootle (۲۰۰۹) جهت پیش‌بینی آورد رودخانه North Platte در آمریکا علاوه بر بکارگیری ENSO، PDO و MJO به کمک

داده‌های دمای سطح آب اقیانوس آرام، اقیانوس اطلس و ارتفاع فشار 500mbar جو و یافتن مناطق موثر، دقت پیش بینی را افزایش دادند [۱۰]. در مطالعه ای در حوزه آبریز Churchill fall در کانادا (۲۰۰۸) عملکرد مدل‌های مختلف در پیش بینی آورد فصل بهار مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت با مقایسه عملکرد مدل اتورگرسو با بکارگیری سری زمانی آورد سالهای گذشته به عنوان پیش بینی کننده و مدل اتورگرسو با بارش و رواناب گذشته و مدل رگرسیون خطی که مولفه های اصلی متغیرهای اتمسفری و اقیانوسی را به عنوان پیش بینی کننده به کار برده بود، به این نتیجه رسیده است که به کارگیری این سیگنالها دقت پیش بینی را افزایش می دهد [۱۱]. در تحقیقی که در کالیفرنیا شرقی انجام شد، به ارزیابی فاکتورهای اقلیمی مناسب جهت پیش بینی آورد رودخانه Upper Truckee پرداخته شده که با بررسی سیگنالهای SOI، PDO، NAO و تغییرات دمای سطح آب اقیانوس آرام قابلیت پیش بینی جریان تابستانه رودخانه (April, May, June, July) بررسی گردید. به صورتی که همبستگی مقادیر فاکتورهای ذکر شده را به صورت میانگین فصلی، در سه ماه (OND)، شش ماه (JAS) و نه ماه قبل (AMJ) با مقادیر جریان رودخانه محاسبه نموده و متوجه شدند که همبستگی تغییرات دمای سطح آب در نواحی مشخص شده در اقیانوس آرام بیشتر بوده و برای پیش بینی مناسب ترند [۱۲]. تاثیر پدیده های ENSO و PDO بر روی آورد زمستان و بهار زاینده رود در حوزه های اسکندری و قلعه شاهرخ توسط عاشوری و همکاران (۱۳۸۷) ارزیابی شده و تغییر در میانگین و واریانس حجم جریان ورودی به زاینده رود در گروه های اقلیمی مختلف (حاصل از ترکیبات فازهای ENSO و PDO) نسبت به حالت خنثی بررسی گردید و در نهایت مشخص شد که آورد زاینده رود با شاخص نوسانات جنوبی (SOI) رابطه معکوس و با شاخص نوسانات ده ساله اقیانوس آرام (PDO) رابطه مستقیم دارد [۱۳]. فاتحی مرج و برهانی (۱۳۸۴) پیش بینی حجم آورد سیمینه رود در ایستگاه دشبند را با استفاده از شاخص های SOI، PDO، NAO انجام دادند. ایشان پس از بررسی همبستگی های ماهانه، فصلی و سالانه شاخص ها با دبی رودخانه متوجه شدند که جریان فصل بهار بیشتر تحت تاثیر NAO سال قبل می باشد [۱۴]. ابریشمی و تجربی (۱۳۸۴) در مطالعه ای با استفاده از سیگنالهای ENSO و NAO در جهت بهبود نتایج به پیش بینی آورد حوزه آبریز زاینده رود پرداختند [۱۵]. حق نگهدار و کارآموز (۱۳۸۲) با استفاده از تحلیل طیفی در بررسی تاثیر ENSO روی آورد زاینده رود نشان دادند که وقوع ال نینو و لانینا به ترتیب سبب افزایش و کاهش جریان می شوند که تاثیر در زمان لانینا تقریباً دو برابر سالهای ال نینو بوده است [۱۶].

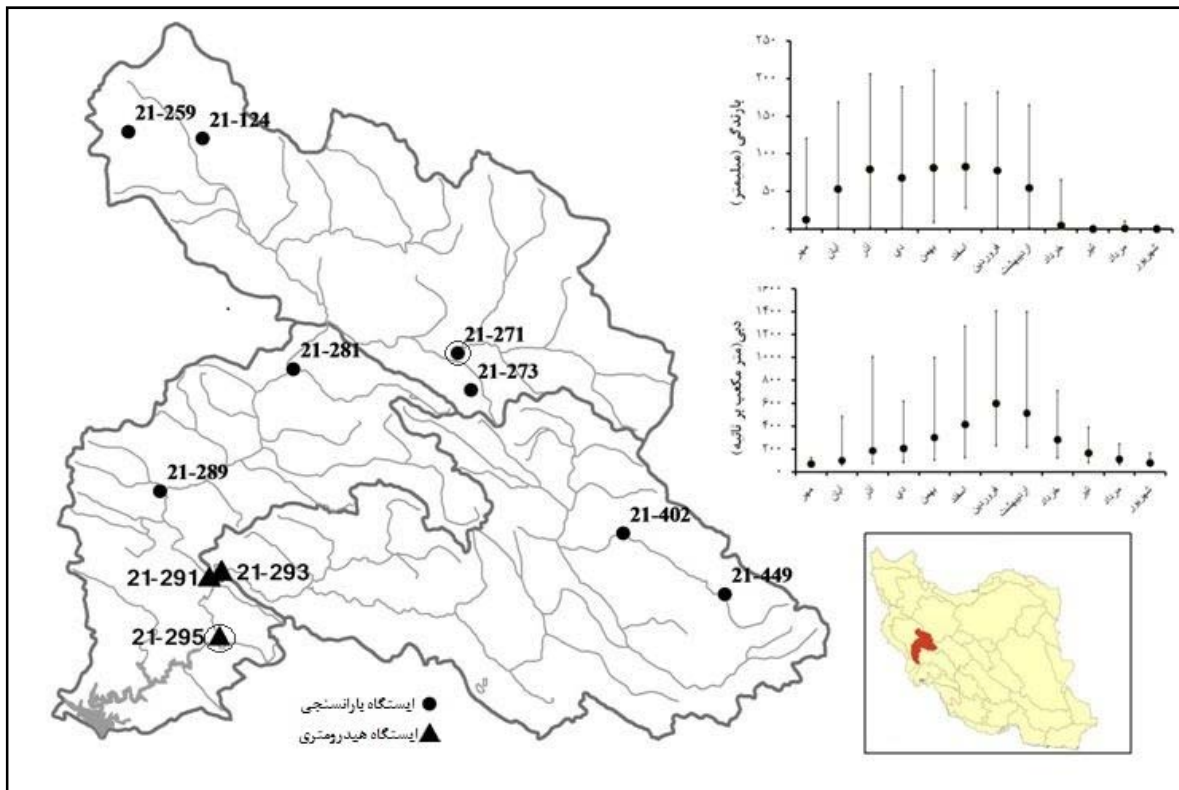
۲. منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز رودخانه دز در ارتفاعات زاگرس میانی واقع شده و در محدوده ای به مختصات جغرافیایی 10° ، 48° تا $20'$ ، 50° درجه طول شرقی و $36'$ ، 31° تا $08'$ ، 34° عرض شمالی قرار گرفته و یکی از حوزه های آبریز منتهی به خلیج فارس می باشد. این حوزه با مساحت ۲۳۲۵۲ کیلومتر مربع از زیر حوزه های تیره، سزار، بختیاری و دز پایین (بعد از محل سد دز) تشکیل شده و نیمی از بارندگی در این منطقه در فصل زمستان رخ می دهد. از آنجا که ارتفاع بیش از دوسوم مساحت این حوزه بالاتر از ۱۰۰۰ متر و بیش از یک سوم آن بالاتر از ۲۰۰۰ متر می باشد، بارندگی غالب به صورت برف می باشد. رودخانه دز از دو شاخه اصلی بنام سزار و بختیاری تشکیل می شود [۱۷]. در شکل ۱ موقعیت حوزه آبریز دز در بالادست سد دز به همراه پراکندگی میزان بارندگی و نیز دبی ماهانه در ایستگاه بارانسنجی چمزمان (۱۳۸۶-۱۳۴۶) و ایستگاه هیدرومتری تله زنگ (۱۳۳۵-۱۳۸۷) به منظور آشنائی با رژیم بارش و تغییرات آورد نشان داده شده است.

۳. داده ها و روش پیش بینی

۱.۳. داده های هیدرومتری و بارندگی

مشخصات ایستگاههای هیدرومتری و بارندگی که در این مقاله از آنها استفاده شده در جدول ۱ و موقعیت آنها در شکل ۱ مشخص شده است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و بارانسنجی واقع در حوزه آبریز سد دز به همراه تغییرات بارش در ایستگاه بارانسنجی چزمان و نیز تغییرات دبی در ایستگاه هیدرومتری تله زنگ

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری و بارانسنجی واقع در محدوده مطالعاتی

ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول دوره آماری (سال)	بازه آماری
۱	تله زنگ	۲۱-۲۹۵	۴۸.۷۷	۳۲.۸۱	۴۴۰	۵۳	۱۳۳۴-۱۳۸۶
۲	تنگ پنج سزار	۲۱-۲۹۱	۴۸.۷۵	۳۲.۹۳	۶۰۰	۲۹	۱۳۵۶-۱۳۸۶
۳	تنگ پنج بختیاری	۲۱-۲۹۳	۴۸.۷۷	۳۲.۹۳	۶۰۰	۵۳	۱۳۳۴-۱۳۸۶
۴	زرد قهره	۲۱-۴۰۲	۴۹.۸	۳۳	۲۰۰۰	۲۴	۱۳۶۱-۱۳۸۵
۵	چرخ فلک سبیک	۲۱-۴۴۹	۵۰.۰۵	۳۲.۸۶	۲۴۹۰	۲۴	۱۳۶۱-۱۳۸۴
۶	بروجرد	۲۱-۱۲۴	۴۸.۷۷	۳۳.۸۸	۱۵۲۰	۳۱	۱۳۵۴-۱۳۸۵
۷	ونائی (گله رود)	۲۱-۲۵۹	۴۸.۵۸	۳۳.۹	۲۰۰۰	۳۸	۱۳۴۷-۱۳۸۵
۸	کمندان	۲۱-۲۷۳	۴۹.۴۳	۳۳.۲۲	۱۹۲۰	۳۹	۱۳۴۶-۱۳۸۵
۹	چم زمان	۲۱-۲۷۱	۴۹.۴	۳۳.۴	۱۸۳۰	۴۰	۱۳۴۵-۱۳۸۵
۱۰	چم چیت (آب سبزه)	۲۱-۲۸۱	۴۸.۹۸	۳۳.۲۸	۱۲۹۰	۴۰	۱۳۴۵-۱۳۸۵
۱۱	کشور	۲۱-۲۸۹	۴۸.۶۳	۳۳.۱۳	۷۷۰	۴۰	۱۳۴۵-۱۳۸۵

۲.۳. سیگنالهای اقلیمی

مقادیر عددی شاخص‌های اقلیمی را می‌توان از پایگاه‌های اینترنتی و مراکز بین‌المللی فعال در زمینه علوم جوی و اقلیمی اخذ نمود. اطلاعات ماهانه شاخص‌های SOI، PDO و NAO از موسسه مطالعات اتمسفری و اقیانوسی دانشگاه واشنگتن، JISAO (از طریق وبسایت <http://jisao.washington.edu>) و پایگاه بین‌المللی علوم اقیانوسی جوی، NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov>) تهیه شده است.

۳.۳. روش پیش‌بینی

از آنجا که حوزه آبریز دز یک حوزه برفگیر بوده و اطلاعات و بودجه برفی در زمستان در پیش‌بینی آورد بسیار مهم است، لذا ابتدا به بررسی اطلاعات برفسنجی در ایستگاه‌های برفسنجی منطقه پرداخته شد. به علت برداشت اطلاعات مربوط به خصوصیات برف (ارتفاع، چگالی و آب معادل برف) در زمانهای مختلف در عمل امکان استفاده از این خصوصیات میسر نشده و تنها به اطلاعات ایستگاه‌های بارانسنجی و شاخص‌های اقلیمی بسنده گردید. پس از بررسی حجم آورد ایستگاه‌های هیدرومتری در ماههای مختلف، مجموع حجم آورد در دوره‌های پیش‌بینی اسفند تا مرداد و فروردین تا مرداد به عنوان متغیرهای وابسته جهت پیش‌بینی در نظر گرفته شد. سپس از طریق محاسبه همبستگی سری زمانی حجم آورد با اطلاعات بارندگی و سیگنالها به صورت ماهانه در ماههای قبل از اسفند و فروردین، متغیرهای مستقل پیش‌بینی کننده در هر دوره برای هر ایستگاه هیدرومتری شناسایی و در مدل رگرسیونی قرار داده شده و در نهایت معادله رگرسیونی بدست آمده است. شکل ۲ ضرایب همبستگی میان آورد ایستگاه‌های هیدرومتری در دوره‌های پیش‌بینی و سیگنالهای SOI، PDO و NAO را در ماه‌های قبل از آغاز دوره پیش‌بینی نشان می‌دهد. سری زمانی شاخص‌های عددی در ماههایی که ضریب همبستگی (r) از ضریب همبستگی با سطح معنی داری ۹۵ درصد بیشتر باشد (از نظر آماری معنی دار باشد)، به عنوان متغیر مستقل وارد مدل شده‌اند.

همانگونه که در شکل ۲ مشخص است شاخص NAO در ماه اکتبر بیشترین همبستگی را با حجم آورد رودخانه (خصوصاً در ایستگاه‌های تله زنگ و تنگ پنج بختیاری) دارد و همبستگی این شاخص در این ماه برخلاف دیگر ماهها به صورت معکوس می‌باشد. شاخص SOI در ماه ژانویه در ایستگاه‌های تله زنگ و تنگ پنج بختیاری و در ماههای اکتبر تا ژانویه در ایستگاه تنگ پنج سزار همبستگی معنی دار معکوسی با حجم آورد نشان می‌دهد. همبستگی شاخص PDO با حجم آورد در ایستگاه‌های هیدرومتری مثبت و در ماههای آگوست تا سپتامبر از دیگر ماهها بیشتر می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت در حوزه آبریز دز در رودخانه سزار شاخصهای PDO و SOI و در رودخانه بختیاری شاخص NAO نسبت به شاخص‌های دیگر همبستگی بیشتری با حجم آورد در زمستان و بهار دارند.

مدلسازی به کمک نرم افزار آماری SPSS انجام شده و سالهای آبی ۶۳-۱۳۶۲ تا ۸۲-۱۳۸۱ به عنوان دوره کالیبراسیون و سالهای آبی ۸۳-۱۳۸۲ تا ۸۵-۱۳۸۴ به عنوان دوره صحت سنجی در نظر گرفته شده است. پس از شناسایی تمامی متغیرهای ورودی مدل (سری‌های زمانی ماهانه بارندگی و سیگنالها) از طریق آنالیز همبستگی، به روش پسرو (backward) و به صورت مرحله‌ای، متغیرهایی که از نظر آماری ضرایب آنها در معادله رگرسیونی معنی دار نمی‌باشد حذف شده و در نهایت متغیرهای اصلی باقی می‌مانند. هر قدر میزان تولرانس $(T=1-R^2)$ میان متغیرهای باقیمانده به صفر نزدیکتر باشد، همبستگی میان متغیرها (R) به یک نزدیکتر بوده و دقت مدل کمتر می‌باشد و میبایست از روشهای آماری مناسب (نظیر آنالیز مولفه‌های اصلی PCA) استفاده کرد (در معادلات بدست آمده در این مقاله تولرانس میان متغیرهای مستقل مدل نزدیک به یک می‌باشد).

پس از برآورد معادله خط رگرسیونی لازم است میزان اعتماد به آن نیز محاسبه شود. به طور کلی هر چه مقدار واقعی سری به مقدار پیش‌بینی شده آن نزدیکتر باشد، بر «صحت» بیشتر مدل پیش‌بینی دلالت دارد. به منظور ارزیابی درستی مدل می‌توان از شاخص‌های آماری متنوعی استفاده نمود. در ادامه شاخص‌هایی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند، شرح داده می‌شود [۱۸].

- خطای معیار (Standard Error): این شاخص میزان پراکندگی داده‌ها را حول رگرسیون برآوردی نشان می‌دهد. محاسبه آن برای رگرسیون چندگانه به صورت زیر است.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{(n - k - 1)}} \quad (1)$$

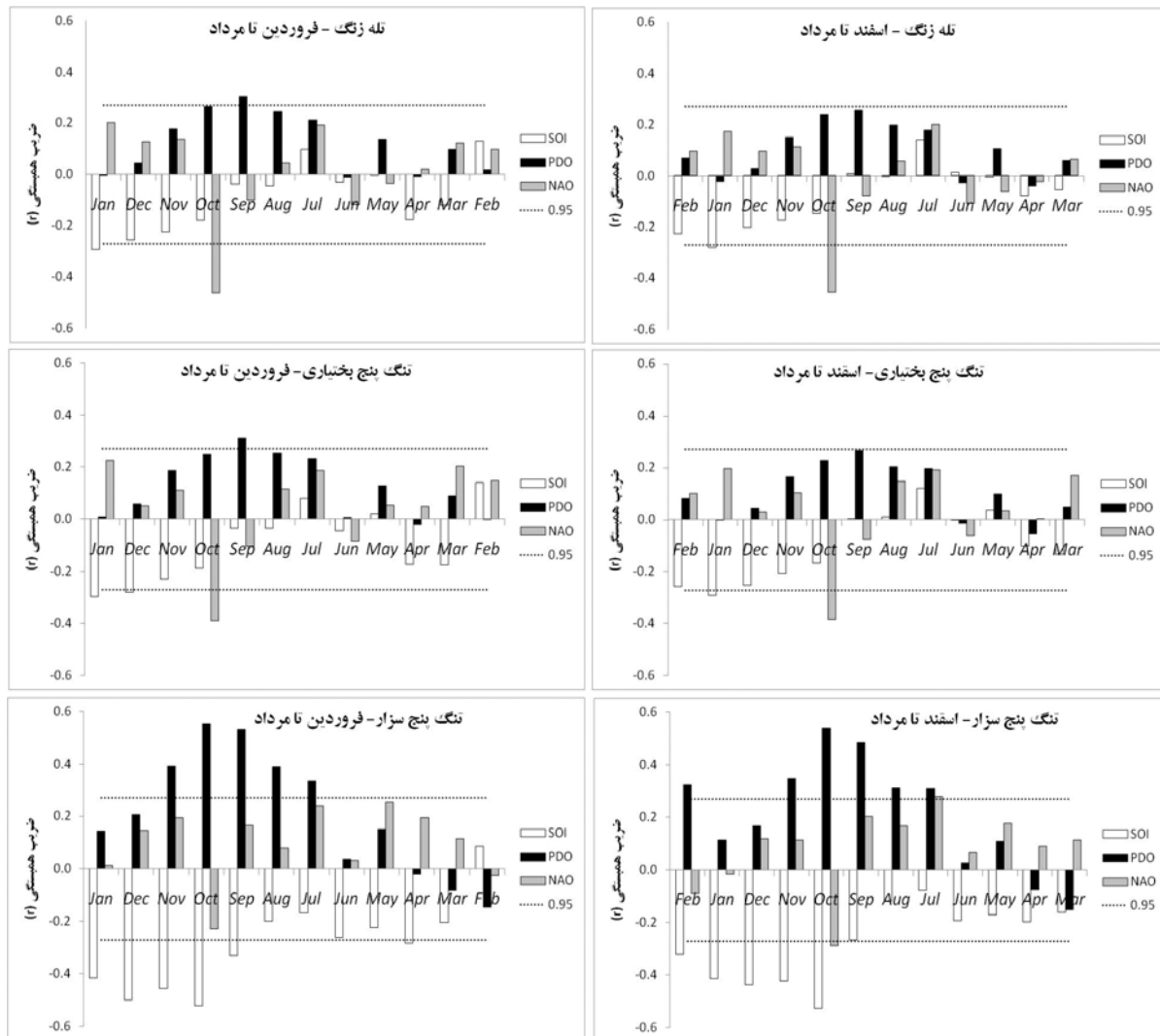
۲- جذر میانگین مجذور خطاها (Root Mean Square Errors): که از رابطه ۲ محاسبه می شود و مانند خطای معیار مقادیر این شاخص از جنس حجم آورد (میلیون متر مکعب) بوده و هر چه مقدار خطا کمتر باشد کیفیت بیشتر مدل را نشان می دهد.

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (2)$$

۳- میانگین قدرمطلق درصد خطاها (Mean Absolute Percentage Errors): مقادیر این شاخص بیانگر نسبت خطای مدل به مقدار مشاهده شده به صورت میانگین در طول دوره آماری و یک معیار بدون بعد می باشد.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| \quad (3)$$

در معادلات بالا y_t متغیر وابسته مشاهده شده، \hat{y}_t متغیر وابسته برآورد شده، n تعداد مشاهدات و k تعداد پارامترهای مستقل می باشد.



شکل ۲- ضرایب همبستگی میان آورد ایستگاههای هیدرومتری در دوره های پیش بینی و سیگنالهای SOI، PDO و NAO

۴. نتایج

پس از مشخص شدن متغیرهای مستقل در هر ایستگاه، معادله رگرسیونی در هر دوره پیش بینی تهیه گردید. معادلات مربوطه و نیز معیارهای صحت سنجی آنها در جدول ۲ مشخص شده است.

جدول ۲- معادلات رگرسیونی بدست آمده و نتایج معیارهای صحت سنجی مدل

نتایج صحت سنجی مدل						معادله	دوره پیش بینی	ایستگاه	ردیف
Rr	Se	RMSE		MAPE					
		صحت سنجی	کالیبراسین	صحت سنجی	کالیبراسین				
۰.۵۵	۱۳۸۰	۱۹۰۹	۱۱۹۶	۰.۲۴	۰.۲۲	$Y = 3908 + 11.4 X_1 - 1025 X_5$	اسفند تا مرداد	۱	
۰.۶۶	۸۹۲	۸۳۰	۸۵۰	۰.۱۵	۰.۱۸	$Y = 3639 + 8.9 X_2 - 678 X_5$	فروردین تا مرداد	۲	
۰.۶۶	۵۶۱	۳۶۸	۵۴۲	۰.۱۶	۰.۲۲	$Y = 1360 + 5.8 X_3 - 567 X_6 + 284 X_7$	اسفند تا مرداد	۳	
۰.۵۶	۴۹۸	۴۶۸	۴۷۷	۰.۲۵	۰.۲۹	$Y = 723 + 8.6 X_4 - 370 X_6$	فروردین تا مرداد	۴	
۰.۶۱	۷۰۰	۷۳۰	۶۳۷	۰.۲۶	۰.۱۷	$Y = 3107 + 723 X_6$	اسفند تا مرداد	۵	
۰.۴۶	۶۳۹	۶۷۴	۶۱۶	۰.۲۶	۰.۱۸	$Y = 2781 - 419 X_5$	فروردین تا مرداد	۶	

Y: حجم جریان طبیعی رودخانه دز در ایستگاه هیدرومتری و دوره پیش بینی مربوطه (میلیون متر مکعب)

X_1 : بارش در ماه دی در ایستگاه کشور ۲۸۹-۲۱ (میلیمتر)

X_2 : بارش در ماه اسفند در ایستگاه ونائی ۲۵۹-۲۱ (میلیمتر)

X_3 : بارش در ماه دی ایستگاه ونائی ۲۵۹-۲۱ (میلیمتر)

X_4 : بارش در ماه اسفند ایستگاه چمزمان ۲۷۱-۲۱ (میلیمتر)

X_5 : شاخص SOI در ماه ژانویه

X_6 : شاخص SOI در ماه دسامبر

X_7 : شاخص PDO در ماه سپتامبر

۵. جمع بندی

بکارگیری از ارتباط شاخص های اقلیمی (که معرف پدیده های اقلیمی متأثر از تغییرات دمایی و فشاری اقیانوسی جوی می باشند) و بارندگی در نقاط مختلف دنیا، خصوصاً در نواحی که با کمبود و یا نقص داده های زمینی بارندگی و یا برفسنجی روبرو هستند بسیار متداول می باشد. به علاوه بکارگیری این شاخص ها می تواند تاخیر زمانی پیش بینی (lag) را افزایش داده که این امر مدیران و برنامه ریزان منابع آب را در اتخاذ تصمیمات سریعتر و کارآمدتر یاری می کند.

در این مقاله با توجه به نقص داده های برفسنجی در حوزه دز و کیفیت کم داده های موجود و در نهایت عدم امکان بهره گیری از بودجه برفی زمستان در پیش بینی آورد بهار و تابستان، جهت پیش بینی حجم آورد اسفند تا مرداد و فروردین تا مرداد در رودخانه های سزار و بختیاری و نیز حجم آورد ورودی به سد دز، به کمک آمار بارندگی و شاخص های عددی پدیده های اقلیمی ENSO، PDO و NAO اقدام به تدوین معادلات رگرسیونی خطی ساده و کارآمد شده است. همانطور که در جدول شماره ۲ مشاهده شد در حوزه آبریز دز به کمک شاخص های اقلیمی و داده های بارش، حدود ۴۶ تا ۶۶ درصد تغییرات حجم آورد با خطای میانگین ۲۰ تا ۲۵ درصد تنها با ۲ یا ۳ متغیر مستقل پیش بینی شده است. دقت این معادلات را می توان با گسترش شبکه برفسنجی و برداشت میدانی خصوصیات برف (عمق، ارتفاع و آب معادل برف) در یک زمان از سال افزایش داد.

۶. تشکر و قدردانی

از سازمان آب و برق خوزستان جهت همکاری و پشتیبانی مالی از این مطالعه و نیز کارشناسان دفتر مطالعات آب و محیط زیست شریف مخصوصاً آقای مهندس شادزاد برای راهنمایی و آقای مهندس کرمانشاهی برای همکاری مفیدشان تشکر می شود.

۷. منابع

1. Barlow, M. and Salstein, D. A., (2005), "Hydrological extremes in Central-Southwest Asia", *Eos*, Vol. 86, No. 23, pp 218-221.
2. Cullen, H. M. and Kaplan, A., (2002), "Impact of the North Atlantic Oscillation on Middle Eastern Climate and Streamflow", *Climatic Change*, No.55, pages 315-338.
3. Barlow, M. and Cullen, H., (2002), "Drought in Central and Southwest Asia: La Nian, The warm pool, and Indian Ocean Precipitation", *Journal of Climate*, Vol.15, No. 7, Pages 697-700.
۴. فتاحی، نوحی، (۱۳۸۷)، "بررسی سطح پوشش برف در حوزه کرخه در ارتباط با سیگنالهای اقلیمی"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.
۵. ا. فاتحی مرج، ع. برهانی داریان، (۱۳۸۵)، "پیش بینی بارش فصلی با استفاده از پیوند از دور: مطالعه موردی حوزه آبریز دریاچه ارومیه"، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره سوم (الف)، پائیز.
۶. ا. کوره پزان، م. کارآموز، (۱۳۸۲)، "اقلیم بندی منطقه جنوب غرب ایران بر اساس نحوه تاثیر پذیری بارندگی از سیگنالهای بزرگ مقیاس اقلیمی با استفاده از خوشه بندی فازی"، دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران.
۷. ش. حضرتی، (۱۳۸۲)، "بررسی ارتباط تراز دریاچه ارومیه با شاخص های اقلیمی ENSO و NAO"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
8. Nasemosadat, M. J., (2000-2001), "Winter Drought in Iran: Associated with ENSO", *Drought Network News*, Vol. 13, No.1.
9. Nasemosadat, M. J., (1999), "ENSO's impact on the occurrence of autumnal drought in Iran", *Drought Network News*, Vol. 11, No.4.
10. Tyrel, L., Soukup, A., Oubeidillah A., Tootle G. A., (2009), "Long lead-time streamflow forecasting of the North Platte River incorporating oceanic-atmospheric climate variability", *Journal of Hydrology* 368, pp 131-142.
11. Sveinsson, G. B. and Upmanu, L., (2008), "Forecast Spring Reservoir in churchill falls basin in Quebec, Canada", *Journal of Hydraulic Eng*, Volume 13, Issue 6, Page 426-436.
12. Tootle, G., Piechota, T., (2004), "Evaluation of Climate Factors to Forecast Streamflow to the Upper Truckee River", *Journal of Nevada Water Resource Association*, Vol.1, No.1, Pages7-11.
۱۳. عاشوری، ح؛ ابریشمی، ا.، مرادخانی، ح.، تجریشی، م.، (۱۳۸۷)، "بررسی تاثیر پدیده های النینو نوسانات جنوبی و نوسانات ده ساله اقیانوس آرام بر حجم جریان ورودی به سد زاینده رود"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.
۱۴. فاتحی، برهانی، (۱۳۸۴)، "پیش بینی فصلی جریان رودخانه با استفاده از شاخص های اقلیمی مطالعه موردی: رودخانه سیمینه رود"، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران.
۱۵. دفتر مطالعات آب و محیط زیست (EWRC)، (۱۳۸۶)، "مطالعات پیش بینی آورد حوزه آبریز زاینده رود با استفاده از داده های تصاویر ماهواره ای و زمینی"، گزارش نهایی.
۱۶. حقنگهدار، ا.، کارآموز، م.، (۱۳۸۲)، "بررسی تاثیر پدیده النینو نوسانات جنوبی بر ورودی سد زاینده رود با استفاده از تحلیل طیفی"، دهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران.
۱۷. جاماب، (۱۳۸۴)، "مطالعات برنامه جامع سازگاری با اقلیم"، حوزه آبریز کارون بزرگ، جلد اول.
۱۸. آذر، ع.، مومنی، م.، (۱۳۸۵)، "آمار و کاربرد آن در مدیریت"، انتشارات سمت.