



بررسی تاثیرات پدیده‌های النینو-نوسانات جنوبی و نوسانات ده‌ساله اقیانوس آرام بر حجم جریان ورودی به سد زاینده‌رود

حامد عاشوری، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب، دانشگاه صنعتی شریف*

احمد ابریشم‌چی، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

حمید مرادخانی، استادیار، دپارتمان مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه پرتلند، آرگان، آمریکا

مسعود تجریشی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

*تلفن نویسنده اصلی: ۰۹۱۳۱۰۳۹۱۳۲، شماره: ۰۲۱۶۶۰۱۴۸۲۸، پست الکترونیکی: hamedashoori@civil.sharif.edu

چکیده

به منظور بررسی و ارزیابی تاثیرات نوسانات بزرگ مقیاس اقلیمی بر حجم جریان ورودی به سد زاینده‌رود، دو پدیده النینو-نوسانات جنوبی (ENSO) و نوسانات ده‌ساله اقیانوس آرام (PDO) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بدین منظور، هرگونه تغییر در میانگین و واریانس حجم جریان ورودی به سد زاینده‌رود در گروه‌های اقلیمی مختلف (حاصل از ترکیب فازهای ENSO و PDO) نسبت به حالت خنثی بررسی گردید تا مشخص شود که آیا این اختلاف از لحاظ آماری با آماره‌های نظیر در حالت خنثی تفاوت معنی‌داری دارد یا خیر. آنالیز همبستگی نشان می‌دهد که آورد سد زاینده‌رود با شاخص نوسانات جنوبی (SOI) رابطه معکوس و با شاخص نوسانات ده‌ساله اقیانوس آرام (PDO) رابطه مستقیم دارد. همچنین مشخص شد که تغییر قابل توجه در متوسط حجم آورد دوره Jan-Jul هنگامی وجود دارد که رخدادهای El Nino در فاز مثبت PDO و رخدادهای La Nina در فاز منفی PDO اتفاق می‌افتد. به منظور ارائه توجیه فیزیکی این تغییرات، الگوهای دما و بارش حوضه بالادست سد زاینده‌رود نیز بررسی شده است.

کلید واژه‌ها: آورد سد زاینده‌رود، آنالیز همبستگی، النینو-نوسانات جنوبی، نوسانات ده ساله اقیانوس آرام

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر رخدادهایی مانند افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای، گرم شدن زمین، نابهنجاری‌های جوی از قبیل النینو و لانینا که متعاقب آنها خشکسالی‌ها، سیل‌ها و آتش‌سوزی‌هایی ایجاد شده‌اند، توجه دانشمندان و محققان را پیرامون علل و عواقب این تغییرات آب و هوایی به خود جلب نموده است. در ایران، استوار (۱۳۷۹) ارتباط پدیده النینو را با بارش ماهیانه کشور مورد ارزیابی قرار داد و نتیجه گرفت که تاثیر پدیده النینو بر بارش‌های ایران، همزمان با تغییر الگوی فشار در اقیانوس آرام نبوده و با تاخیر زمانی همراه است [۱]. ناظم‌السادات (۱۳۸۰) تاثیر ENSO را بر بارش ۴۱ ایستگاه واقع در ایران بررسی نمود [۲]. حضرتی (۱۳۸۲) به بررسی تاثیر پدیده‌های اقلیمی جهانی النینو-نوسانات جنوبی و نوسانات اطلس شمالی بر تراز دریاچه ارومیه و پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناختی حوضه دریاچه ارومیه پرداخت و دریافت که فاز منفی پدیده نوسانات اطلس شمالی باعث ترسالی و گرم‌تر شدن هوای حوضه و فاز مثبت آن، باعث خشکسالی و سردتر شدن هوای حوضه می‌گردد [۳].

امروزه استفاده از سیگنالهای بزرگ مقیاس اقلیمی تحول عظیمی در انجام پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی درازمدت به وجود آورده، به گونه‌ای که استفاده از این سیگنال‌های هم در افزایش دقت و هم در افزایش بازه زمانی پیش‌بینی‌ها موثر شناخته شده است [۴، ۵]. این امر ضرورت و اهمیت بررسی تاثیر این سیگنال‌ها را بر پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناختی حوضه‌های مختلف بیش از پیش مشخص می‌نماید. به همین منظور، در این تحقیق به بررسی تاثیرات نوسانات بزرگ مقیاس اقلیمی و خصوصاً تغییرات الگوهای فشار و دما در اقیانوس آرام بر حجم جریان ورودی به سد زاینده‌رود و الگوهای بارش و دما در حوضه بالادست سد زاینده‌رود پرداخته شده است.

۲- پدیده‌های اقلیمی جهانی ENSO^۱ و PDO^۲

۲-۱- الینو-نوسانات جنوبی (ENSO)

پدیده ENSO اندرکنش پیچیده اقیانوسی-اتمسفری است که بخش اقیانوسی آن الینو و بخش اتمسفری آن را نوسانات جنوبی تشکیل می‌دهد. این پدیده دارای دو فاز گرم الینو و فاز سرد لانینا می‌باشد که دارای دوره بازگشت ۴ تا ۶ سال است و معمولاً بین ۱ تا ۲ سال ادامه دارد. الینو (لانینا) سبب رخداد دماهای بالاتر (پایین‌تر) و بارش کمتر (بیشتر) از میانگین بلندمدت در ماه‌های زمستان و افزایش احتمال وقوع جریان‌ات رودخانه‌ای کمتر (بیشتر) از میانگین در بهار و تابستان در منطقه شمال غربی اقیانوس آرام (PNW) می‌گردد [۲، ۳]. شاخص نوسانات جنوبی (SOI) به عنوان معیار اولیه تعیین فازهای پدیده ENSO استفاده می‌شود و بر اساس اختلاف فشار بارومتری هوای سطح دریا در جزیره تاهیتی (Tahiti) و داروین استرالیا (Darwin) به صورت زیر تعریف می‌شود [۲، ۳، ۶].

$$SOI = P(T) - P(D) \quad (1)$$

۲-۲- نوسانات ده‌ساله اقیانوس آرام (PDO)

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). تاثیرات فاز گرم PDO (مقدار مثبت شاخص عددی) مشابه تاثیرات فاز گرم ENSO و تاثیرات فاز سرد PDO (مقدار منفی شاخص عددی) مشابه فاز سرد ENSO است. شاخص نوسانات ده‌ساله 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 SSTهای کمتر (بیشتر) از حالت نرمال در بخش مرکزی اقیانوس آرام نشان می‌دهد [۶، ۷].

۳- توصیف حوضه مورد مطالعه

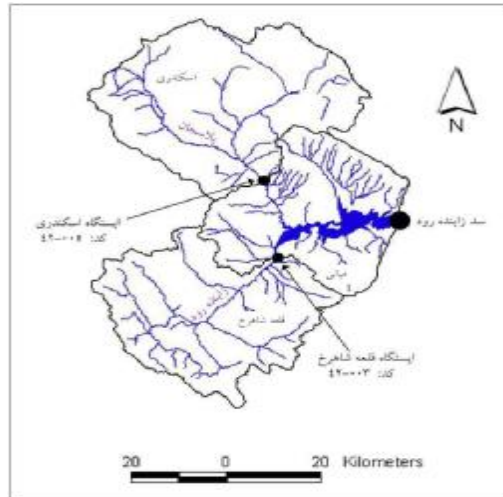
در این تحقیق، حوضه آبریز طبیعی بالادست سد زاینده‌رود به سه زیر حوضه کوچک‌تر تقسیم شده است. زیر حوضه ایستگاه هیدرومتری اسکندری که در قسمت شمال حوضه و بر روی رودخانه پلاسجان قرار دارد، زیر حوضه قلعه‌شاهرخ که بر روی رودخانه زاینده‌رود و در قسمت جنوبی حوضه قرار دارد، و زیر حوضه میانی که در میان دو زیر حوضه اسکندری و قلعه‌شاهرخ قرار گرفته و کلیه ورودی‌های به دریاچه از این زیر حوضه عبور می‌کند. جریان رودخانه

¹ El Nino-Southern Oscillation

² Pacific Decadal Oscillation

³ Southern Oscillation Index

های پلاسجان و زاینده‌رود به ترتیب پس از عبور از ایستگاه‌های اسکندری و قلعه‌شاهرخ و پس از طی مسیر نسبتاً کوتاهی وارد دریاچه سد زاینده‌رود می‌شود. شکل ۱ تقسیم بندی حوضه اصلی و به سه زیر حوضه فوق و رودخانه‌های جاری در این ناحیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: زیر حوضه‌های مورد مطالعه و رودخانه‌های موجود در بالادست سد زاینده‌رود

۴- داده‌ها و روش تحقیق

داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های حجم جریان ورودی به سد زاینده‌رود، بارش و دما از سازمان آب منطقه‌ای اصفهان، مرکز تحقیقات منابع آب ایران و سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است. همچنین، داده‌های مربوط به شاخص‌های SOI و PDO از موسسه مطالعات اتمسفری و اقیانوسی (JISAO) دانشگاه واشنگتن و از طریق وب سایت <http://jisao.washington.edu> تهیه شده است.

فازهای النینو و لائینا عموماً از حدود ماه‌های سپتامبر یا اکتبر استقرار می‌یابند [۶]. به منظور انطباق مناسب رخدادهای ENSO با داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناختی موجود، شروع سال آبی را از ماه اکتبر در نظر می‌گیریم و چهار فصل سال آبی را به صورت زیر تعریف می‌کنیم: (۱) پاییز: اکتبر تا دسامبر، (۲) زمستان: ژانویه تا مارچ، (۳) بهار: آوریل تا جون و (۴) تابستان: جولای تا سپتامبر. همچنین، به دلیل مسائل مدیریتی و مباحث کنترل سیل و ...، حجم جریان ورودی از ژانویه تا جولای (Jan-Jul) به عنوان نماینده آورد یک سال آبی در نظر گرفته می‌شود [۶، ۸]. این دوره، فرایندهایی که بیشترین تاثیر را در میزان حجم آورد مخزن دارند شامل رواناب‌های حاصل از بارش پاییزه که به این دوره می‌رسند، ریزش و ذخیره برف و ذوب تقریباً کامل برف تا اواخر جولای را در بر می‌گیرد.

به منظور بررسی دقیق‌تر میزان تاثیر ENSO و PDO بر پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناختی منطقه مورد مطالعه، تاثیر فازهای گرم و سرد این دو پدیده به صورت ترکیبی در نظر گرفته می‌شود. ابتدا با استفاد از روش ارائه شده توسط Trenberth (۱۹۹۷)، سال‌های النینو و لائینا تعیین می‌گردد. بر اساس این روش، زمانی که شاخص NINO3.4 زمستانه (متوسط دسامبر تا فوریه)، به اندازه 0.5 برابر انحراف معیار بیشتر (کمتر) از میانگین دراز مدت گردد، آن سال را یک سال النینو (لائینا) می‌نامیم. در غیر این دو حالت، وضعیت ENSO خنثی خواهد بود [۶]. نتایج این تقسیم بندی در جدول ۱ ارائه شده است. برای تعیین سال‌های فاز مثبت و منفی PDO از روش تقسیم بندی Mantua و همکاران (۱۹۹۷) استفاده می‌

کنیم. بر اساس روش Mantua، چنانچه شاخص PDO متوسط ماه‌های اکتبر تا مارچ به اندازه 0.5 برابر انحراف معیار از میانگین بلند مدت این شاخص فراتر رود (کمتر گردد)، در فاز مثبت (منفی) PDO قرار خواهیم داشت. وی این تقسیم بندی را در سال ۲۰۰۶ نیز انجام داده است [۶، ۹]. بر این اساس، دوره‌های ۱۹۲۴-۱۹۰۰، ۱۹۷۶-۱۹۴۷ و ۲۰۰۲-۱۹۹۹ در فاز منفی و دوره‌های ۱۹۴۶-۱۹۲۵، ۱۹۹۸-۱۹۷۷ و ۲۰۰۵-۲۰۰۳ در فاز مثبت PDO قرار دارند. این کار برای تمامی سال‌های دوره آماری داده‌های آورد، دما و بارش مورد استفاده در این تحقیق از ۱۹۷۰-۲۰۰۷ انجام شد و علاوه بر استخراج نتایج مشابه، مشخص شد که سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ نیز در فاز مثبت PDO قرار داشته‌اند. با تعیین سال‌های فاز مثبت و منفی PDO، سال‌های جدول ۱ را می‌توان مجدداً گروه‌بندی کرد و به چهار گروه اقلیمی اصلی طبق جدول ۲ رسید. با استفاده از آزمون چولگی مشخص شد که داده‌های حجم آورد در تمامی گروه‌های فوق، به خوبی از توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

جدول ۲: گروه‌های اقلیمی حاصل از ترکیب فازهای ENSO و PDO

Positive PDO		Negative PDO	
El Nino (CC1)	La Nina (CC2)	El Nino (CC3)	La Nina (CC4)
1977	1984	1970	1971
1978	1985	1973	1972
1980	1986		1974
1983	1989		1975
1987	1996		1976
1988	2006		1999
1992			2000
1995			2001
1998			
2003			
2005			
2007			

جدول ۱: سال‌های النینو، لانیانو خنثی

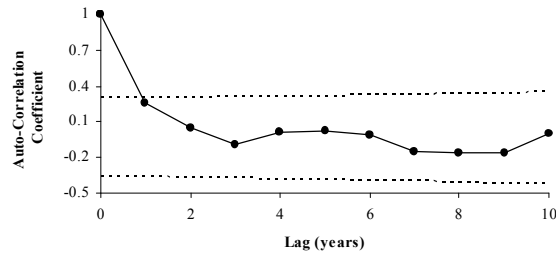
El Nino	Neutral	La Nina
1973	1979	1971
1977	1981	1972
1978	1982	1974
1980	1990	1975
1983	1991	1976
1987	1993	1984
1988	1994	1985
1992	1997	1986
1995	2002	1989
1998	2004	1996
2003		1999
2005		2000
2007		2001
		2006

هدف اصلی در این تحقیق، تعیین الگوهای تغییر حجم آورد Jan-Jul با فازهای ENSO و PDO و بررسی معنی‌داری این تغییرات از لحاظ آماری می‌باشد. بدین منظور، هرگونه تغییر در میانگین و واریانس هر گروه اقلیمی خاص نسبت به حالت خنثی در سطح ۹۵٪ و ۹۰٪ بررسی شد تا مشخص شود که آیا این اختلاف از لحاظ آماری با میانگین و واریانس در حالت خنثی تفاوت معنی‌داری دارد یا خیر. شرایط خنثی زمانی است که پدیده ENSO، بدون توجه به فازهای PDO، نه در فاز النینو باشد و نه در فاز لانیانو. از آزمون t و آزمون F به ترتیب برای بررسی تفاوت در میانگین و واریانس توزیع‌های حجم آورد Jan-Jul در هر گروه اقلیمی نسبت به حالت خنثی استفاده شد [۱۰]. در نهایت، به منظور بررسی دلایل فیزیکی این تغییرات الگوهای بارش و دمای این گروه‌های اقلیمی نیز در هر سه زیر حوضه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۵- نتایج و بحث

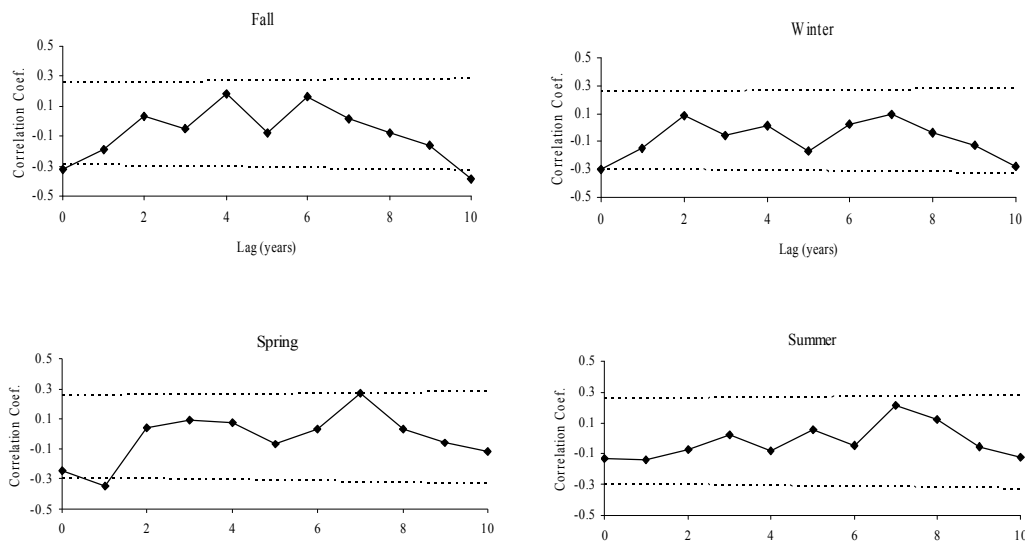
قبل از بررسی نوسانات حجم آورد Jan-Jul با شاخص‌های اقلیمی به جاست که تابع خودهمبستگی حجم جریان ورودی به سد را بررسی کنیم. هرگونه خودهمبستگی قابل توجه و معنی‌دار باید قبل از انجام آنالیزها حذف گردد. همانطور که در شکل ۲ نیز مشخص است ضریب خودهمبستگی در سطح ۹۵٪ در هیچ کدام از lagهای بزرگتر از صفر معنی‌دار نیست و لذا مشکلی در ادامه آنالیز بوجود نمی‌آورد.

به منظور بررسی ارتباط پدیده‌های ENSO و PDO با حجم جریان ورودی به مخزن سد، ضرائب همبستگی حجم آورد Jan-Jul با شاخص‌های فصلی SOI و PDO در سطح اطمینان ۹۵٪ بررسی گردید (شکل‌های ۳ و ۴). همانطور که در



شکل ۲: تابع خودهمبستگی (ACF) آورد Jan-Jul در محل سد زاینده‌رود (حدود اطمینان ۹۵٪)

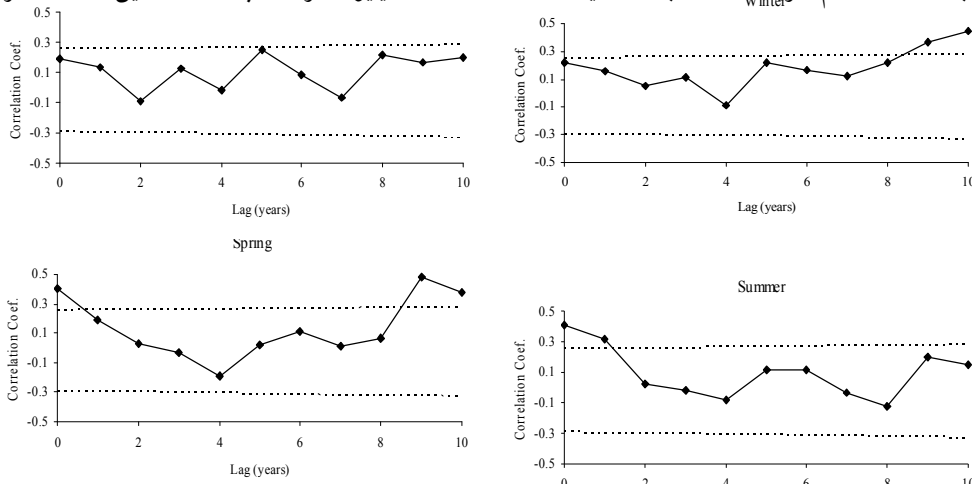
شکل ۳ مشاهده می‌شود همبستگی‌های SOI بیشتر در مقیاس کوتاه مدت معنی‌دار است و همبستگی معنی‌داری در lag های بزرگ‌تر از ۱ مشاهده نمی‌شود. قوی‌ترین همبستگی مربوط به شاخص فصل بهار و با تاخیر یک ساله می‌باشد. این بدان معناست که حجم جریان ورودی به سد زاینده‌رود با رخداد ENSO ای که ۹ ماه قبل از فصل تجمع برف استقرار یافته همبستگی بالایی دارد. هم‌چنین، همبستگی معنی‌داری بین شاخص پاییزه و زمستانه همان سال با حجم جریان ورودی مشاهده می‌شود. از طرف دیگر، ضرائب همبستگی منفی نشان می‌دهد که حجم جریان ورودی به مخزن سد زاینده‌رود با شاخص SOI رابطه معکوس دارد؛ بدین معنی که با افزایش (کاهش) SOI و نزدیک‌تر شدن به فاز (La Nina) (El Nino)، حجم جریان ورودی کاهش (افزایش) می‌یابد.



شکل ۳: تابع همبستگی عرضی حجم آورد Jan-Jul با شاخص فصلی SOI

هم‌چنین با توجه به شکل ۴، همبستگی معنی‌داری با PDO بهار همان سال و PDO تابستانه هم‌زمان و همین‌طور سال قبل نشان می‌دهد. ضریب همبستگی تابستانه با تاخیر یکساله با الگوهای مشاهده شده در همبستگی SOI، زمانی که این پدیده همبستگی معنی‌داری را ۹ ماه قبل از فصل تجمع برف داراست سازگار است. نکته قابل توجه دیگر، ضریب همبستگی مثبت شاخص PDO است که نشانگر ارتباط مستقیم بین این پدیده و حجم آورد سد می‌باشد.

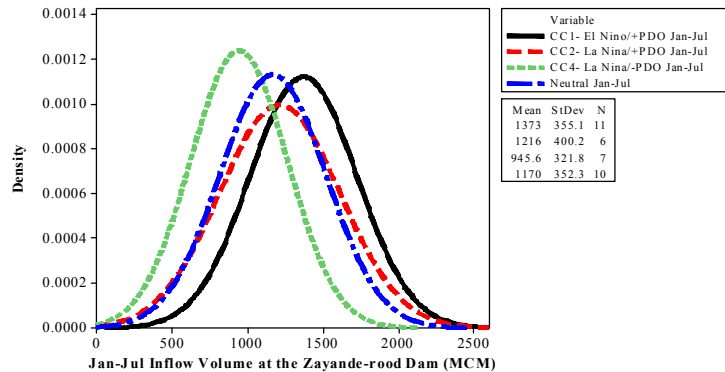
اکنون به هر یک از گروه‌های اقلیمی جدول ۲، توزیع نرمال برازش می‌دهیم. به دلیل کمبود شدید داده‌های گروه اقلیمی CC3 (برای این گروه فقط برای سال ۱۹۷۳ داده حجم جریان ورودی به سد وجود دارد)، از این گروه صرف نظر می‌شود. شکل ۵ تابع چگالی احتمال (PDF) را برای ۳ گروه اقلیمی CC1، CC2، و CC4 و حالت نرمال نشان می‌دهد. در شرایط خشتی میانگین بلند مدت حجم جریان ورودی به سد زاینده‌رود معادل ۱۱۷۰ میلیون متر مکعب است که این عدد در گروه



شکل ۴: تابع همبستگی عرضی حجم آورد Jan-Jul با شاخص فصلی PDO

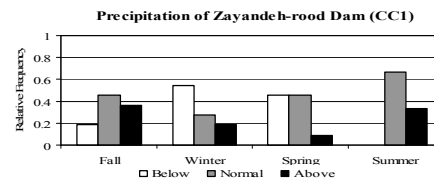
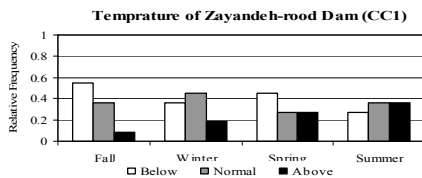
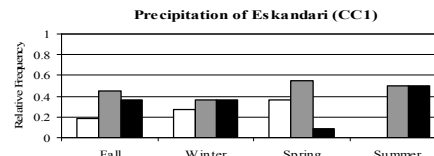
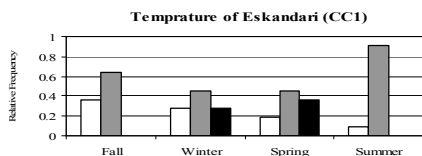
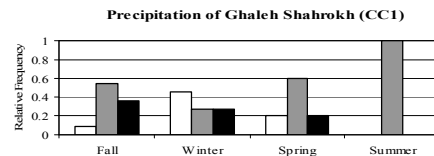
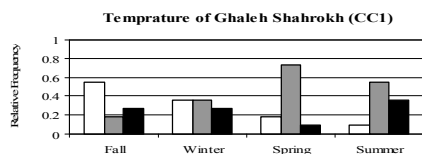
اقلیمی El Nino/+PDO برابر ۱۳۷۳ (۱۲۰٪ حالت خشتی)، در گروه اقلیمی La Nina/+PDO برابر ۱۲۱۶ (۱۰۴٪ حالت خشتی) و در گروه اقلیمی La Nina/-PDO برابر ۹۴۶ میلیون متر مکعب (۸۱٪ حالت خشتی) می‌باشد. بنابراین، بزرگ‌ترین تغییرات در میانگین توزیع‌ها هنگامی است که فاز گرم ENSO در درون فاز مثبت PDO و فاز سرد ENSO در درون فاز منفی PDO اتفاق می‌افتد. با اعمال تست t و مقایسه میانگین‌های توزیع حجم جریان ورودی در گروه‌های اقلیمی مختلف با حالت خشتی در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۰٪ مشخص شد که میانگین حجم آورد Jan-Jul برای شرایط El Nino/+PDO و La Nina/-PDO در سطح اطمینان ۹۰٪ با شرایط خشتی تفاوت معنی‌داری دارد.

این مطلب در شکل ۵ نیز به وضوح قابل تشخیص است؛ بدین صورت که توزیع نرمال برازش داده شده به گروه اقلیمی El Nino/+PDO نسبت به توزیع حالت خشتی دارای یک جا به جایی محسوس به سمت راست، یعنی افزایش آورد می‌باشد. در مورد گروه اقلیمی La Nina/-PDO شیف‌ت به سمت چپ توزیع، بیانگر کاهش آورد در طول سال‌های این گروه می‌باشد. نکته جالب توجه آن است که اگرچه تفاوت معنی‌داری در میانگین‌های گروه‌های اقلیمی CC1 و CC4 نسبت به حالت خشتی وجود دارد، اما آزمون‌های F نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری در واریانس این گروه‌ها نسبت به حالت خشتی در سطح ۹۵٪ وجود ندارد. به عبارت دیگر، اگرچه توزیع‌ها حول میانگین‌های متفاوتی متمرکزاند، اما "پراکندگی" داده‌ها حول آن میانگین‌ها مشابه حالت خشتی می‌باشد.



شکل ۵: تابع چگالی احتمال (PDF) حجم آورد در گروه‌های اقلیمی CC4، CC2، CC1 و حالت خنثی

به منظور ارائه توجیه فیزیکی این تغییرات، الگوهای دما و بارش در هر سه زیر حوضه قلعه‌شاهرخ، اسکندری و میانی سد زاینده‌رود در طول دوره‌های El Nino/+PDO و La Nina/-PDO بررسی شد (شکل‌های ۶ تا ۹). بازه معرف بارش و دمای نرمال شامل بازه 0.5 برابر انحراف معیار از میانگین بلندمدت در نظر گرفته شده است. در طول دوره اقلیمی El Nino/+PDO، تغییر محسوسی به سمت بارش‌های نرمال و نزدیک به بالاتر از نرمال بویژه در فصل پاییز قابل مشاهده است. الگوهای دما نیز جابه‌جایی دما را به سمت نرمال تا نزدیک به زیر نرمال بویژه در بهار و در ایستگاه سد زاینده‌رود نشان می‌دهد که باعث سردتر شدن هوا می‌شود. نتیجه این فرایند، علاوه بر گسترش دوره فصل تجمع برف، افزایش بارندگی‌ها و نهایتاً افزایش حجم جریان ورودی به مخزن سد در طول این دوره نسبت به حالت خنثی می‌باشد.



شکل ۶: فراوانی نسبی بارش در گروه El Nino/+PDO

شکل ۷: فراوانی نسبی دما در گروه El Nino/+PDO

در مورد گروه اقلیمی La Nina/-PDO، در فصل پاییز و همچنین در طول فصل زمستان، جابه‌جایی قابل توجهی به سمت بارش‌های کمتر از نرمال بویژه در زیر حوضه‌های اسکندری و میانی وجود دارد. هم‌چنین، الگوهای دما در این دوره نیز نرمال تا بالاتر از نرمال است که موجب گرم‌تر شدن هوا نسبت به حالت خنثی می‌گردد. بنابراین، مجموع این دو

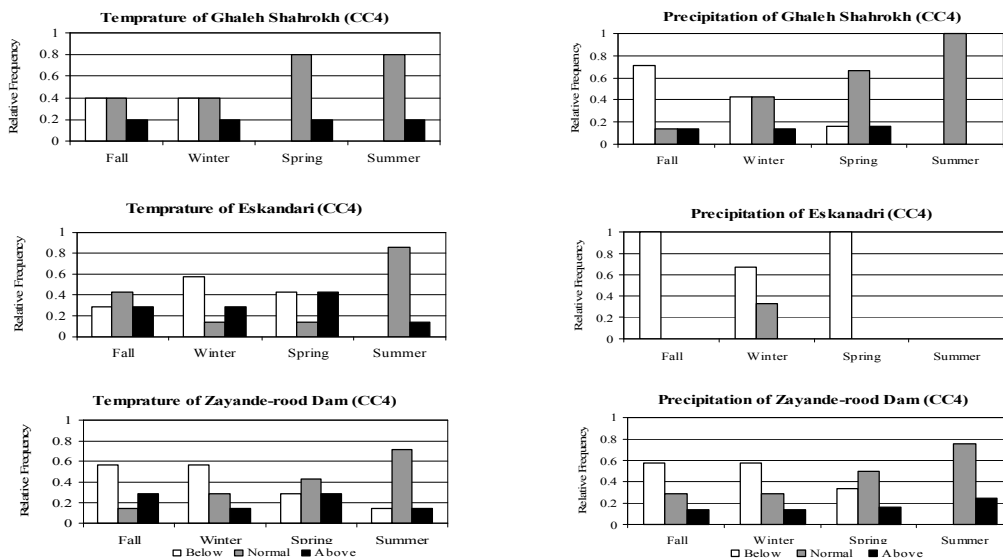
عامل باعث بارش‌های کمتر از حد معمول، کاهش مساحت سطح پوشش برف، ذوب زودهنگام برف، بارش نزولات جوی بیشتر به صورت باران تا برف و نهایتاً کاهش حجم جریان ورودی به مخزن سد نسبت به حالت خشتی می‌گردد.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله ضمن توصیف پدیده‌های بزرگ مقیاس اقلیمی ENSO و PDO، به بررسی ارتباط و همبستگی حجم جریان ورودی به سد زاینده‌رود با این پدیده‌ها و علل فیزیکی این تغییرات با در نظر گرفتن تغییرات الگوهای بارش و دما در حوضه آبریز سد زاینده‌رود پرداخته شد. نتایج حاصل را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد.

با انجام آنالیز همبستگی مشخص شد که وقوع فاز النینو باعث افزایش حجم جریان ورودی به سد زاینده‌رود و فاز لانینا باعث کاهش آن می‌شود. تاثیرات فاز مثبت و منفی PDO، به ترتیب مشابه تاثیرات فازهای النینو و لانینا بوده است. هم‌چنین، با توجه به علامت ضرائب همبستگی نشان می‌دهد که حجم جریان ورودی به مخزن سد زاینده‌رود با شاخص SOI رابطه معکوس و با شاخص PDO رابطه مستقیم دارد.

آزمون‌های آماری نشان می‌دهند که بزرگ‌ترین تغییرات در میانگین توزیع‌های حجم جریان ورودی هنگامی است که فاز



شکل ۹: فراوانی نسبی دما در گروه La Nina-/PDO

شکل ۸: فراوانی نسبی بارش در گروه La Nina-/PDO

گرم ENSO در درون فاز مثبت PDO و فاز سرد ENSO در درون فاز منفی PDO اتفاق می‌افتد. در این حالت الگوهای بارش و دما نیز این تغییرات را توجیه نموده و از افزایش نسبی (کاهش) بارش و کاهش نسبی (افزایش) دما در طول سال‌های El Nino+/PDO (La Nina-/PDO) خبر می‌دهد. هم‌چنین مشخص شد که اگرچه توزیع‌های حجم آورد در طول این سال‌ها حول میانگین‌های متفاوتی متمرکزاند، اما "پراکندگی" داده‌ها حول آن میانگین‌ها مشابه حالت خشتی می‌باشد.

۷- مراجع

[۱] استوار میمندی، ا. (۱۳۷۹). "النینو و رابطه آن با بارش‌های ایران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

- [۲] ناظم السادات، م. ج. (۱۳۸۰). آیا باران می بارد؟ خشکسالی و بارندگی مازاد در ایران و ارتباط آنها با پدیده النینو- نوسانات جنوبی، دانشگاه شیراز.
- [۳] حضرتی، ش. (۱۳۸۲). "بررسی ارتباط تراز دریاچه ارومیه با شاخص های اقلیمی ENSO و NAO"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
- [۴] جمالی، س.، ابریشم چی، ا. و تجریشی، م. (۱۳۸۶). "ساخت مدل های پیش بینی جریان رودخانه و بهره برداری از مخزن سد زاینده رود با استفاده از سیستم استنباط فازی"، مجله علمی-پژوهشی آب و فاضلاب، شماره ۱۸، ص ۳۴-۲۵
- [۵] عراقی نژاد، ش. (۱۳۸۴). "برنامه ریزی و مدیریت منابع آب بر اساس تحلیل های اقلیمی"، پایان نامه دوره دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- [6] Barton, S.B. and Ramirez, J.A. (2004). "Effects of El Nino Southern Oscillation and Pacific Interdecadal Oscillation on Water Supply in the Columbia River Basin", J. Water Resources Planning and Management, 130(4), 281-289.
- [7] Hamlet, A. F., and Lettenmaier, D. P. (1999). "Columbia River Streamflow Forecasting Based on ENSO and PDO Climate Signals", J. Water Resources Planning and Management, 125(6), pp.333-341.
- [8] Garen, D.C. (1992). "Improved Technique In Regression-Based Streamflow Volume Forecasting", J. Water Resources Planning and Management, 118(6), 654-669.
- [9] <http://ces.washington.edu/cig/fpt/waterfc/tables2.shtml>
- [10] Sallas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V., and Lane, W.L. (1980). Applied Modeling of Hydrologic Time Series, Water Resources Publication, Littleton. Colo.