

پیش‌بینی بارش فصلی با استفاده از پیوند از دور: مطالعه موردی حوزه آبریز دریاچه ارومیه

احمد فاتحی مرج^۱، علیرضا برهانی داریان^۱ و محمد حسین مهدیان^۲

چکیده

حوزه آبریز دریاچه ارومیه از نقطه نظر منابع آب و محیط زیست یکی از مناطق مهم کشور به حساب می‌آید. در این حوزه بارندگی، نقش عمده‌ای در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دارد و بیشترین بارندگی به ترتیب در فصل بهار، زمستان و پاییز به وقوع می‌پیوندد. با توجه به این که این حوزه از نظر اقلیمی نیمه خشک محسوب می‌شود، پیش‌بینی بارندگی برای برنامه‌ریزی منابع آب مخصوصاً دوره‌های خشک‌سالی و جلوگیری از خسارات ناشی از آن می‌تواند نقش اساسی داشته باشد. بررسی‌های موجود نشان می‌دهد که پدیده‌های ارتباط از دور (Teleconnections patterns) بر میزان نزولات جوی نقش تعیین کننده‌ای دارند. در این مقاله تأثیر چند پدیده مهم اقلیمی بر بارندگی حوزه دریاچه ارومیه مورد تحقیق قرار گرفته است تا با استفاده از روابط بین آنها، بارندگی در فصول موردنظر پیش‌بینی گردد. از میان ایستگاه‌های بارندگی در حوزه، تعداد ۱۸ ایستگاه که آمار بارندگی آنها بیش از ۳۵ سال بود انتخاب و شاخص SPI تهیه گردید. از بین شاخص‌های اقلیمی، شش شاخص SOI (Southern Oscillation Index)، PNA (Pacific Decadal Oscillation)، PDO (Pacific North America)، NAO (North Atlantic Oscillation)، NOI (North Oscillation Index) NINO3.4 (Pacific North America) که به عنوان شاخص‌های تأثیر گذار در فواصل دور مطرح هستند، انتخاب شدند. با یک روش جدید و با استفاده از فاز مثبت و منفی شاخص‌ها، تأثیر پدیده‌های اقلیمی بر بارندگی دقیق‌تر بررسی شد. بدین صورت که فاز مثبت یا منفی یکی از شاخص‌ها در یک فصل خاص در نظر گرفته شد و سپس ارتباط هم‌زمان آن و بقیه شاخص‌ها با بارش بررسی گردید. نتایج نشان داد هرگاه از ترکیب هم‌زمان دو شاخص استفاده شود همبستگی بیشتری بین بارندگی و شاخص‌ها حاصل می‌گردد. هم‌چنین، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بارندگی پاییزه بیشتر تحت تأثیر SOI و بارندگی زمستانه بیشتر تحت تأثیر شاخص NAO است. بنابراین بارندگی هر دو فصل با استفاده از شاخص‌های اقلیمی فصل قبل قابل پیش‌بینی است.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، پیش‌بینی، حوزه دریاچه ارومیه، خشک‌سالی، شاخص‌های اقلیمی، NAO، PDO، SPI، NOI، PNA

مقدمه

مناطقی در جهان وجود دارند که ارتباط بارندگی آن مناطق با پدیده‌های اقلیمی و به عبارتی دیگر سیگنال‌های اقلیمی بررسی نتایج تحقیقات انجام شده در سطح جهان نشان می‌دهد

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
۲. استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

الگوی اقیانوس آرام شمال آمریکا یا PNA (Pacific North) یکی از شاخص‌های برجسته تغییرات اقلیمی نیم کره شمالی، مخصوصاً در زمستان است. PNA ارتباط زیادی با درجه حرارت و بارندگی در شمال آمریکا دارد. الگوی PNA در خلال زمستان طولانی‌تر است. شاخص PNA با استفاده از متوسط ماهانه استاندارد شده فشار هوا (Sea Level Pressure) در سه منطقه Rockies (47.9 N-170 W) و Aleutian (49 N-111 W) و جنوب شرق ایالات متحده (29.7 N-86.3 W) محاسبه می‌شود. پدیده نوسان شمالی یا NOI در اثر اختلاف فشار هوا در شمال اقیانوس آرام و منطقه داروین استرالیا به وجود می‌آید. NOI یک شاخص جدید از تغییرات اقلیم در عرض میانی نیم کره شمالی است. این شاخص در استوا و مناطق حاره‌ای بازتاب می‌کند و دامنه وسیعی از سیگنال‌های محلی را نشان می‌دهد. وزش بادهای گرم از پرفشار شمال و جنوب اقیانوس آرام به سمت کم‌فارش در غرب اقیانوس باعث می‌شود تا دما و رطوبت هوا افزایش یابد و سیستم هالی واکر به وجود بیاید. این هوای گرم به تدریج سرد می‌شود و به سمت شمال شرق و جنوب شرق حرکت می‌کند و توده هوای پرفشار را تقویت می‌کند. این توده هوا منبع اصلی بادهای تجاری می‌باشد. این پدیده به صورت متغیر NOI که از تفاوت بین فشار هوا در پرفشار شمال اقیانوس آرام واقع در شمال آن و داروین استرالیا محاسبه می‌شود. مقادیر شاخص NINO3,4 با استفاده از اندازه‌گیری‌های دمای سطح دریا در یک محدوده مشخص به دست می‌آیند. در واقع، میانگین دمای چند نقطه در محدوده مشخص (5N-5S و 170W-120W) محاسبه و سپس نرمال شده و به صورت استاندارد تبدیل می‌شود.

هم‌بستگی و روابط این شاخص‌ها، با بارندگی در مناطق مختلف کره زمین توسط محققین بررسی شده است. هیوز و ساندرز (۱۳) بارندگی ماهانه را در شبکه‌های $5 \times 5^{\circ}$ درجه و دمای ماهانه را در شبکه‌های 5×5 درجه برای یک دوره بین سال‌های ۱۹۰۱ تا ۱۹۹۶ روی منطقه اروپا بررسی نموده و از

مشخص شده است. این پدیده‌ها به صورت شاخص‌های عددی مانند PDO، NAO، SOI و NOI تعریف شده‌اند. این شاخص‌ها با استفاده از اندازه‌گیری‌های درجه حرارت و فشار هوا در نقاط مختلف اقیانوس‌ها تهیه و استاندارد می‌شوند که مختصرأً به معنی این پدیده‌ها و محل اندازه‌گیری شاخص‌های مربوطه اشاره می‌شود.

پدیده نوسانات اطلس شمالی یا NAO تغییرات اقلیمی بزرگ مقیاس نیم کره شمالی است که به دلیل حالات نسبتاً ثابت دهه‌ای می‌تواند به تغییرات آب و هوایی در مناطق مختلف از جمله، شمال آمریکا تا اروپا و حتی تا شمال آسیا منجر شود. شاخص این پدیده بر اساس نوسانات فشار هوا در مقیاس نصف‌النهاری بین پرفشار آزور (Azore) و کم‌فارش ایسلند (Iceland) می‌باشد (۷).

انسو (ENSO) از دو واژه النینو و نوسان جنوبی (Southern Oscillation) گرفته شده است. پدیده النینو- نوسان جنوبی، یکی از مهم‌ترین منابع تغییرات جوی و اقلیمی در جهان و مخصوصاً در منطقه حاره می‌باشد. زمانی که دمای آب دریا بالا و اختلاف فشار سطح در استوا پایین باشد، رویداد النینو- نوسان جنوبی (ENSO) اتفاق می‌افتد. این رویداد یکی از شاخص‌ترین و مهم‌ترین رویدادهایی است که باعث ظهور ناهنجاری‌های بزرگ آب و هوایی در بسیاری از نقاط جهان می‌شود. اختلاف فشار بین تاهیتی در شرق و داروین استرالیا در غرب اقیانوس آرام به عنوان مبنای اندازه‌گیری شاخص نوسان جنوبی (SOI) مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقادیر مثبت یا منفی بیانگر فازهای مختلف انسو (لانینا یا النینو) می‌باشد (۱۴).

نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام یا PDO الگوی نوسانی تغییرات اقلیمی مانند النینو می‌باشد که مرکز تغییرات آن روی اقیانوس آرام و شمال آمریکاست. در شمال آمریکا، تغییرات PDO در زمستان و بهار از انرژی بیشتری برخوردار است. PDO به طور قابل توجهی بر روی منابع آب مانند پوشش برف و آب شرب مناطقی مانند شمال آمریکا و ساحل شمال کالیفرنیا تا خلیج آلاسکا تأثیر دارد (۱۴).

نواحی جنوبی برزیل بررسی کردند. آنها این نواحی را به ۴ منطقه همگن تقسیم و ناهنجاری‌های بارندگی را در دوران ENSO بررسی نمودند. در این بررسی مشخص شد که در این ۴ منطقه بارندگی بهاره تحت تأثیر ENSO است. ولی این تأثیر به صورت کاهش بارندگی در دوران لانینا (La Nina) (Dideh شده که غالباً در ماه‌های اکتبر و نوامبر بوده است. همچنین افزایش بارندگی در پاییز و زمستان در سه منطقه از چهار منطقه، در دوران النینو (فاز منفی ENSO) وجود داشته است. پیسیاتانو و همکاران (۱۸) گزارش کرده‌اند که افزایش بارندگی در اوروگوئه در دوران SOI مثبت (لانینا) دیده شده است. دیاز و همکاران (۹) ناهنجاری بارندگی را در ماه‌های پاییز و زمستان در اوروگوئه با هم‌بستگی بیشتر با ناهنجاری SST در اقیانوس اطلس نسبت به اقیانوس آرام پیدا کردند. بر اساس این گزارش سال‌های با SST گرم در جنوب اقیانوس اطلس باران بیشتری را در اوروگوئه نشان می‌دهد.

رینولدز با استفاده از مرتبه‌بندی شدت ENSO که توسط راسموسن (۱۹) انجام شده، شدت ENSO را از سال ۱۸۹۹ تا ۱۹۸۳ در جنوب ایالات متحده، به چهار طبقه از ۱ (ضعیفترین) تا ۴ (قوی‌ترین) تقسیم و طبقات ۳ و ۴ را به ۲۴ دلیل فراوانی بیشتر آنها استفاده نمود. از ۳۶ واقعه ENSO واقعه در طبقات ۳ و ۴ جای گرفت. در این تحقیق مشخص شد که قوی‌ترین واقعه ENSO باعث افزایش بارندگی در جنوب غربی ایالات متحده (مخصوصاً در فصل پائیز سال شروع واقعه ENSO و همچنین در بهار بعد از آن) می‌شود. سیلورمن و دراکوب (۲۰) پس از بررسی ارتباط بین بارندگی ماهانه و شاخص‌های فشار هوا و SOI متوجه شدند که هم‌بستگی این شاخص‌ها با بارندگی خطی نبوده و به وسیله مدل‌های آماری چند مرتبه‌ای نیز قابل تشخیص نمی‌باشد و ممکن است شبکه عصبی بتواند این ارتباطات را مشخص کند. بنابراین، آنها کل منطقه را به هفت اقلیم تقسیم و از تعداد زیادی از شاخص‌های اقلیمی استفاده کردند. آنها از داده‌های ماهانه استفاده و میزان بارندگی را برای سال آبی آینده با استفاده از شبکه عصبی

شاخص‌های SOI و NINO3,4 برای هم‌بستگی با بارندگی استفاده کردند. آنها از هم‌بستگی ماهانه، فصلی و سالانه بین بارندگی و NINO3,4 استفاده و به این نتیجه رسیدند که هم‌بستگی بارندگی فصلی (دوره مارس، آوریل و می) با NINO3,4 ماهانه و سالانه بیشتر است. در این بررسی، یک هم‌بستگی مثبت دیده می‌شود که مرکز آن در هلند، شمال فرانسه و انگلستان است. در بررسی دیگری که در شمال آفریقا انجام شده، یک هم‌بستگی منفی که مرکز آن در الجزایر و شمال مراکش می‌باشد دیده شده است.

نیکلسون (۱۷) از آمار بارندگی ماهانه استاندارد شده ۱۲۲ ایستگاه در ۷ منطقه در اقیانوس آرام و ۱۰ منطقه در اقیانوس اطلس طی دوره آماری ۱۹۴۶ تا ۱۹۹۶ استفاده نموده و برای پیش‌بینی بارش شاخص‌های NINO 3,4 و SOI را بررسی کردند. آنها در این تحقیق، از SOI برای تعیین سال ENSO استفاده نموده و سال ENSO را به صورت چهار فصل و دو فصل قبل و دو فصل بعد از آن (مجموعاً ۸ فصل AMJ, JAS, OND, JFM, AMJ, JAS, OND, JFM, گرفتند و متوسط فصلی بارندگی در مناطق همگن ۱۷ گانه را با هم مقایسه نمودند. در دوره آماری یاد شده ۲۰ واقعه النینو (El-Nino) وجود داشته که در اکثر مناطق همراه با باران کمتر از میانگین بوده است. این مقایسه نشان می‌دهد که کمبود بارندگی در سال النینو از نیمه دوم سال شروع و تا نیمه اول سال بعد نیز ادامه دارد. آنها علاوه بر هم‌بستگی فصلی هم‌زمان بارندگی و شاخص‌ها، هم‌بستگی تا تأخیر سه فصل بعد از ENSO را نیز بررسی کردند. نتایج نشان دهنده هم‌بستگی ضعیف است. محققین یاد شده از مجموع بررسی‌هایی که روی روابط خشک‌سالی، درجه حرارت و پدیده ENSO انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که SST (Sea Surface Temperature) برای پیش‌بینی خشک‌سالی محدودیت دارد و هم‌بستگی بارندگی و ENSO پتانسیل بهتری برای پیش‌بینی است.

گریم و همکاران (۱۰) تأثیر ENSO را بر بارندگی در

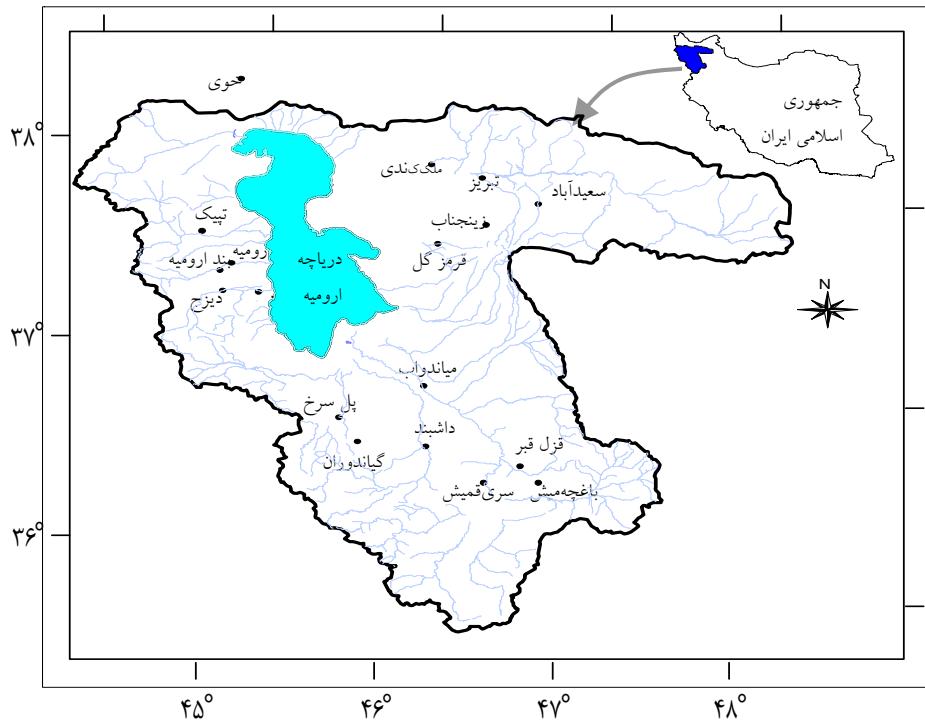
بندرعباس النینو تأثیری نداشته است. همین بررسی اشاره می‌کند که تأثیر ENSO در پاییز بیشتر از فصل زمستان است و در مجموع در ایران النینو باعث افزایش بارندگی پاییزه و کاهش بارندگی زمستانه می‌شود. او معتقد است که بارندگی زمستانه عموماً حساسیت کمتری نسبت به پدیده ENSO در مقایسه با بارندگی پاییزه دارد. غیور (۴) تأثیر پدیده انسو را بر ناهنجاری‌های بارش تابستان و پائیز منطقه جنوب شرق ایران بررسی کرد. او با استفاده از آزمون‌های آماری به این نتیجه رسید که خشکسالی پائیزه عموماً طی لانینا (فاز سرد) به وقوع می‌پیوندد. نظام السادات و قاسمی (۶) خشکسالی و ارتباط آن را با پدیده انسو در استان سیستان و بلوچستان مورد بررسی قرار دادند. آنها با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه ۵ ایستگاه واقع در استان و داده‌های SOI تأثیر انسو را بررسی نمودند. آنها به این نتیجه دست یافتند که النینو باعث افزایش بارندگی پاییزه و لانینو باعث کاهش بارندگی پاییزه شده، ولی میزان آن در ایستگاه‌های مختلف فرق می‌کند، همچنین در تحقیق دیگری که توسط نظام السادات و همکاران (۱۶) در شمال غرب ایران انجام شده نشان می‌دهد نوسانات بارندگی پاییز این منطقه از ایران، با بارندگی ایالت New South Wales استرالیا به طور قابل توجه ارتباط دارد. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد تأثیر فاز مثبت و منفی ENSO بر بارندگی در شمال غرب ایران قوی‌تر از تأثیر آن در ایالت New South Wales در استرالیاست. حضرتی (۱) ارتباط بین پدیده‌های ENSO و NAO را با بارش در حوزه ارومیه بررسی نموده است. در این رابطه او از نسبت میانگین بارش سال‌های النینو به میانگین دراز مدت بارش در هر ایستگاه به روش همبستگی خطی، میزان تأثیر النینو بر بارش را مطالعه کرد. طی این بررسی مشخص شد که به طورکلی النینو باعث افزایش بارش پاییزه در اکثر ایستگاه‌ها می‌شود. میزان این تأثیر از ۳ تا ۶۶ درصد متغیر است. برای بررسی میزان تأثیر NAO بر بارش هر ایستگاه، از شاخص زمستانه NAO و بارش فصول مختلف سال، مخصوصاً دوره پر بارش دسامبر-آوریل هر سال، و از روش همبستگی خطی

پیش‌بینی کردند.

مطالعاتی که در جنوب آمریکای جنوبی انجام شده است نشان می‌دهد، ناهنجاری مثبت باران غالباً در سال‌های النینو و ناهنجاری منفی باران غالباً در سال‌های لانینا در طول فصل بهار و تابستان است. در این مطالعه همچنین مشخص شد اثرات لانینا روی باران و نیز روی تولید محصول شدیدتر از النینو است.

کوردری و مک‌کال (۸) به منظور بررسی خشکسالی‌ها در استرالیا، تأثیر ENSO را بر بارندگی فصول مختلف بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که بر اساس ENSO، رابطه مناسبی برای برآورده باران در استرالیا نمی‌توان پیدا کرد بنابراین به کمک GpH (Geopotential Height) می‌توان این کار را انجام داد. GpH فشار هوا در ارتفاع ۷۰۰ پائیز است که در منطقه وومرا (Woomera) و چند نقطه دیگر در استرالیا اندازه‌گیری می‌شود. در مطالعات آنان ضمن این که رابطه معنی‌داری بین SOI و بارندگی حاصل نشد، همبستگی خطی بین GpH و بارندگی نیز معنی‌دار نبود. اما با استفاده از یک مدل شرطی (ده سالی که SOI در فصل بهار کمترین مقدار بود) همبستگی بین GpH بهار و بارندگی بهار در قسمت‌های مختلف استرالیا از $-0.5/8$ تا -0.05 به دست آمد که در سطح 95% معنی‌دار بود. بنابراین، بهترین شرایط برای پیش‌بینی بارندگی بهار زمانی حاصل شد که ده سال از بین سال‌هایی که بیشترین GpH را داشت انتخاب و همبستگی SOI پاییز با بارندگی بهار محاسبه شده و مشخص گردید که ضریب همبستگی بیش از 0.9 است.

نظام السادات (۵) تأثیر ENSO را بر بارندگی‌های زمستانه برخی از ایستگاه‌های ایران بررسی نموده است. او میزان بارندگی زمستانه هر ایستگاه را در زمان النینو (فاز منفی) و لانینا (فاز مثبت) با شاخص SOI زمستان (بدون تأخیر) مقایسه کرد. او به این نتیجه رسید که اکثر ایستگاه‌ها در زمان النینو بیشتر از زمان لانینا بارندگی داشتند. براساس این گزارش، در تعدادی از ایستگاه‌ها مانند اصفهان، یزد، تبریز، نیشابور، سقز، زابل و



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوزه دریاچه ارومیه

روی هم رفته ۱۳۵ ایستگاه باران‌سنجی وجود دارد که از این میان تنها ۱۸ ایستگاه دارای آمار بیش از ۳۵ سال می‌باشند. در این بین، طول دوره آماری در دسترس سه ایستگاه تبریز، خوی و ارومیه که متعلق به سازمان هواشناسی است، از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۱ میلادی می‌باشد و بقیه ایستگاه‌ها متعلق به وزارت نیرو بوده و طول آماری آنها عموماً از سال ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۱ قابل دسترس است. با توجه به استفاده وزارت نیرو از ماههای ایرانی و سازمان هواشناسی از تقویم میلادی، به منظور حفظ دقیق محاسبات از آمار بارندگی روزانه برای برآورد بارندگی ماهانه ایستگاه‌ها بر اساس تقویم میلادی استفاده شده است. موقعیت ایستگاه‌های بارندگی که از آمار و اطلاعات آنها استفاده شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

هم‌چنین، آمار و اطلاعات ۱۱ شاخص اقلیمی جمع آوری شده و با تحلیل خوشه‌ای (Cluster analysis)،^۶ مورد از آنها انتخاب گردید. این شش شاخص شامل PNA، PDO، SOI، NINO3,4 و NOI می‌باشند. با توجه به این که بعضی از شاخص‌ها مانند PDO چرخه ۲۰ تا ۳۰ ساله دارند، سعی گردید

استفاده کرد. این بررسی نشان می‌دهد که همبستگی بارش در ایستگاه تبریز و ارومیه با فاز منفی NAO بیشتر است و فاز منفی NAO باعث افزایش بارندگی به اندازه ۲۴ درصد در تبریز و ۱۱ درصد در ارومیه شده است. زهرایی^(۳) با استفاده از تغییرات فشار سطح آب دریای عمان، خلیج فارس، دریای عرب، اقیانوس هند، دریای سیاه، دریای مدیترانه و دریای خزر بارندگی فصل زمستان و بهار حوزه آبریز کارون را پیش‌بینی کردند. آنها از تئوری فازی کمک گرفتند و به این نتیجه رسیدند که بارش واقعی در ۶۸ درصد از سال‌ها در دامنه مقادیر پیش‌بینی شده قرار می‌گیرد.

در پژوهش حاضر ارتباط بین پدیده‌های اقلیمی با بارندگی فصول مختلف در حوزه دریاچه ارومیه بررسی شد و شاخص‌های اقلیمی که می‌توان با استفاده از آنها بارندگی حوزه را برای فصول آینده پیش‌بینی کرد معرفی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

در حوزه دریاچه ارومیه با مساحتی حدود ۵۱۰۰۰ کیلومتر مربع،

و در این حالت همبستگی آن شاخص و شاخص‌های دیگر با SPI همان فصل و فصول آینده، با استفاده از همبستگی ساده بررسی شد. این روند تا آنجا ادامه پیدا کرد که فازهای مثبت و منفی همه شاخص‌ها در نظر گرفته شود. با بررسی همبستگی‌های بین SPI و شاخص‌ها در هر مرحله، مواردی که دارای همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۵٪ بوده علامت‌گذاری شدند. سپس، یک بررسی جامع در سطح کلیه ایستگاه‌ها برای همه همبستگی‌های معنی‌دار بین SPI و شاخص‌ها انجام گردید. مضافاً، شرایط پیش‌بینی در همه ایستگاه‌ها بررسی شده و حالت‌های مشترک برای همه ایستگاه‌ها انتخاب شد. از روش همبستگی متوالی برای میزان تغییرات ضربیت همبستگی بین بارندگی و شاخص‌ها در دوره‌های کوتاه مدت استفاده شده است. در این روش با انتخاب پنجره‌هایی با طول زمان کمتر از دوره آماری، مشخص می‌گردد آیا همبستگی بین دو متغیر در دوره‌های زمانی مختلف تغییر می‌کند یا خیر.^(۵)

نتایج و بحث

بر اساس آمار و اطلاعات ایستگاه‌ها، عمدۀ بارندگی سالیانه به ترتیب در فصل زمستان، بهار، پاییز و تابستان است. جدول ۱ متوسط بارندگی فصول مختلف، درصد سالانه و ضربیت تغییرات بارندگی هر ایستگاه را نشان می‌دهد. با توجه به ضربیت تغییرات بارندگی، بیشترین نوسانات بارندگی در فصل تابستان و کمترین آن در فصل زمستان است اما میزان بارندگی در تابستان در مقابل با فصول دیگر ناچیز بوده به طوری که متوسط بارندگی تابستان کمتر از ۵ درصد بارندگی سالانه است. بنابراین، بارندگی فصل‌های زمستان، بهار و پاییز از لحاظ مقدار در تصمیم گیری‌ها دارای اهمیت است.

تأثیر هم‌زمان شاخص‌های اقلیمی و بارندگی

حوزه دریاچه ارومیه از نظر اقلیمی یک‌نواخت و دارای اقلیم نیمه خشک با هوای سرد است. اکثر بارندگی‌های این حوزه ناشی از توده‌های هوای مدیترانه‌ای است که از سمت غرب به

از ایستگاه‌هایی استفاده شود که حداقل دوره آماری آنها ۳۵ سال است. تحلیل خوش‌بندی روشنی است که برای طبقه‌بندی مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس شباهت بیشتر درون گروهی و اختلاف بیشتر بین گروهی انجام می‌شود. تمامی روش‌های خوش‌بندی بر مبنای ماتریس شباهت‌ها مانند روش وارد الگوریتم‌های مختلفی برای محاسبه شباهت‌ها مانند روش وارد (Wards method)، روش ارتباط نزدیک‌ترین همسایه (Nearest Neighbor Linkage) و روش ارتباط میانگین (Mean Linkage) وجود دارند که در اینجا از روش وارد به خاطر طبقه‌بندی مناسب‌تر آن استفاده شد. با این کار حجم عملیات بدون این که تأثیری در نتایج داشته باشد به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا کرد.

شاخص‌های اقلیمی نیز به صورت ماهانه از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۱ و متناسب با دوره آماری ایستگاه‌ها استفاده شد. از آنجایی که شاخص‌های اقلیمی به صورت نرمال و استاندارد در دسترس SPI می‌باشند، بارندگی نیز ترجیحاً به صورت نرمال و استاندارد یا تهیه شد. برای اولین بار مک‌کی و همکاران (۱۵) شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) را به منظور تعریف و پایش خشک‌سالی توسعه دادند. اساس شاخص بارندگی استاندارد شده بر محاسبه احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. ویژگی SPI این است که امکان مقایسه آن با شاخص‌های اقلیمی که استاندارد و نرمال هستند، آسان‌تر می‌باشد. برای تهیه شاخص SPI صرفاً از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده و برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه تهیه می‌شود.

متوسط سالانه و ماهانه شاخص‌ها و SPI به صورت هم‌زمان و با تأخیر، مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه شاخص‌های ماهانه با تأخیر تا ۱۲ ماه با SPI مقایسه شدند. هم‌چنین، مقایسه هم‌زمان و با تأخیر SPI با شاخص‌ها به صورت فضلی انجام شد.

برای بررسی دقیق‌تر اثر پدیده‌های اقلیمی بر بارندگی و در نهایت دست‌یابی به روشنی مناسب برای پیش‌بینی بارندگی، ابتدا فاز مثبت و منفی یکی از شاخص‌های اقلیمی در نظر گرفته شد

جدول ۱. ميانگين، انحراف معیار و ضریب تغییرات فصلی ايستگاه‌های بارندگی حوزه دریاچه ارومیه (۱۹۶۶-۲۰۰۰)

ايستگاه	بهار						تابستان						پايز						زمستان					
	ايستگاه			بهار			تابستان			پايز			زمستان			ايستگاه			بايز			زمستان		
	ميانگين (میلی‌متر)	درصد تغییرات سالانه	ضریب تغییرات																					
ارومیه	۱۲۵/۰۹	۳۶/۲	۰/۴۹	۱۲/۳۹	۳/۶	۱/۲۱	۹۷/۸۹	۲/۳۶	۰/۵۴	۱۱۰/۲۵	۳۱/۹	۰/۳۹	۱۲۵/۰۹	۳۱/۹	۰/۳۹	۱۱۰/۲۵	۰/۵۴	۰/۴۸	۱۲۷/۲۶	۳۶/۸	۰/۳۴	۱۲۷/۲۶	۰/۴۸	
بابارود	۱۰۵/۴۷	۳۰/۵	۰/۵۷	۶/۱۶	۱/۷	۱/۶	۱۰۷/۲۵	۳۰/۹	۰/۴۸	۱۲۳/۷۶	۳۴/۷	۰/۳۲	۱۰۵/۴۷	۳۰/۵	۰/۳۴	۱۲۷/۲۶	۰/۴۸	۰/۴۸	۱۲۳/۷۶	۰/۴۸	۰/۴۸	۱۰۵/۴۷	۰/۳۲	۱۰۵/۴۷
بند ارومیه	۱۳۵/۹۱	۳۲/۸	۰/۴۳	۱۱/۷۸	۲/۸	۱/۱۷	۱۲۵/۲	۳۰/۳	۰/۴۸	۱۲۳/۷۶	۳۴/۷	۰/۳۲	۱۳۵/۹۱	۳۲/۸	۰/۳۲	۱۲۳/۷۶	۰/۴۸	۰/۴۸	۱۲۳/۷۶	۰/۴۸	۰/۴۸	۱۳۵/۹۱	۰/۳۲	۱۳۵/۹۱
باغچه‌میش	۱۳۲/۶۵	۳۹/۷	۰/۷۸	۳/۵۲	۱/۰	۱/۶۵	۸۵/۲۱	۲۵/۵	۰/۶۳	۱۳۳/۲۴	۳۳/۹	۰/۶	۱۳۲/۶۵	۳۹/۷	۰/۶	۱۳۳/۲۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۱۳۳/۲۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۱۳۲/۶۵	۰/۶	۱۳۲/۶۵
پل سرخ	۱۰۹/۷۹	۳۰/۵	۰/۵۲	۳/۳۲	۰/۹	۱/۴۶	۱۱۴/۲۳	۳۱/۷	۰/۵۳	۱۳۲/۷۱	۳۶/۹	۰/۳۲	۱۰۹/۷۹	۳۰/۵	۰/۳۲	۱۳۲/۷۱	۰/۵۳	۰/۵۳	۱۳۲/۷۱	۰/۵۳	۰/۵۳	۱۰۹/۷۹	۰/۳۲	۱۰۹/۷۹
تبریز	۱۰۹/۲	۳۸/۶	۰/۴۴	۵/۶	۱۵/۸۹	۰/۹۳	۲۷/۶	۷۸/۲۲	۰/۵۱	۸۰/۴۹	۲۸/۵	۰/۳۵	۱۰۹/۲	۳۸/۶	۰/۳۵	۸۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۵۱	۷۸/۲۲	۰/۹۳	۰/۹۳	۱۵/۸۹	۰/۹۳	۱۰۹/۲
تپیک	۱۴۳/۸	۳۶/۶	۰/۵۸	۱۶/۵۶	۴/۲	۱/۸۱	۱۰۶/۹۳	۲۷/۲	۰/۶	۱۲۶/۶۸	۳۲/۲	۰/۵۴	۱۴۳/۸	۳۶/۶	۰/۵۴	۱۲۶/۶۸	۰/۶	۰/۶	۱۰۶/۹۳	۰/۸۱	۰/۸۱	۱۶/۵۶	۰/۸۱	۱۴۳/۸
خوی	۱۲۸/۹۷	۴۳/۲	۰/۴۴	۲۴/۳۳	۸/۱	۲/۲۸	۷۰/۲۶	۲۳/۶	۰/۵۴	۷۶/۶۴	۲۵/۰	۰/۴۴	۱۲۸/۹۷	۴۳/۲	۰/۴۴	۷۶/۶۴	۰/۵۴	۰/۵۴	۷۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۸	۲۴/۳۳	۰/۲۸	۱۲۸/۹۷
دشمند	۱۴۹/۷۶	۳۵/۲	۰/۶۴	۲/۱۱	۰/۵	۰/۵	۱۲۲/۸۲	۲۸/۹	۰/۶۳	۱۴۹/۲۷	۳۵/۰	۰/۵	۱۴۹/۷۶	۳۵/۰	۰/۵	۱۴۹/۲۷	۰/۶۳	۰/۶۳	۱۴۹/۷۶	۰/۶۳	۰/۶۳	۱۴۹/۷۶	۰/۶۳	۱۴۹/۷۶
دیزج	۱۰۸/۵۱	۳۲/۵	۰/۵۶	۶/۸۱	۲/۰	۲/۰	۱۰۱/۷۷	۳۰/۴	۰/۴۷	۱۱۷/۳۵	۳۵/۰	۰/۳۸	۱۰۸/۵۱	۳۲/۵	۰/۳۸	۱۱۷/۳۵	۰/۴۷	۰/۴۷	۱۰۱/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۷	۶/۸۱	۰/۷۷	۱۰۸/۵۱
زینجناب	۱۳۶/۹۸	۴۵/۳	۰/۴۳	۲۵/۴۴	۸/۴	۰/۵۱	۷۶/۱۷	۲۵/۲	۰/۵۱	۶۳/۸۱	۲۱/۱	۰/۴۶	۱۳۶/۹۸	۴۵/۳	۰/۴۶	۶۳/۸۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۷۶/۱۷	۰/۵۱	۰/۵۱	۲۵/۴۴	۰/۵۱	۱۳۶/۹۸
سعیدآباد	۱۸۹/۶۹	۴۵/۴	۰/۵۴	۲۱/۵۹	۵	۰/۷	۹۶/۴۹	۲۳/۳	۰/۶۳	۱۰۶/۷	۲۵/۸	۰/۴۵	۱۸۹/۶۹	۴۵/۴	۰/۴۵	۱۰۶/۷	۰/۶۳	۰/۶۳	۹۶/۴۹	۰/۷	۰/۷	۲۱/۵۹	۰/۷	۱۸۹/۶۹
سریق‌میش	۱۱۴/۷۶	۳۲/۴	۰/۶۸	۲/۴۸	۰/۷	۰/۷	۱۱۸/۱۷	۳۳/۴	۰/۶۹	۱۱۹/۲۳	۳۳/۷	۰/۴۴	۱۱۴/۷۶	۳۲/۴	۰/۴۴	۱۱۹/۲۳	۰/۶۹	۰/۶۹	۱۱۸/۱۷	۰/۷	۰/۷	۲/۴۸	۰/۷	۱۱۴/۷۶
قرمز گل	۱۲۱/۸۸	۳۹/۲	۰/۵۴	۱۲/۰۹	۳/۹	۰/۷۷	۷۷/۶۹	۲۵/۰	۰/۴۷	۹۹/۱۴	۳۱/۹	۰/۴۶	۱۲۱/۸۸	۳۹/۲	۰/۴۶	۹۹/۱۴	۰/۴۷	۰/۴۷	۷۷/۶۹	۰/۷۷	۰/۷۷	۱۲/۰۹	۰/۷۷	۱۲۱/۸۸
قزل قبر	۱۰۸/۹۶	۳۲/۶	۰/۵۶	۳/۰۵	۰/۹	۰/۹	۸۸/۴۱	۲۶/۵	۰/۵۳	۱۳۴/۱۷	۴۰/۲	۰/۴	۱۰۸/۹۶	۳۲/۶	۰/۴	۱۳۴/۱۷	۰/۵۳	۰/۵۳	۸۸/۴۱	۰/۹	۰/۹	۳/۰۵	۰/۹	۱۰۸/۹۶
گیاه‌دوران	۱۵۰/۳۵	۳۰/۴	۰/۵۵	۲/۱	۰/۴	۰/۴	۱۲۷/۴۸	۲۵/۸	۰/۵۶	۲۱۴/۸۴	۴۲/۴	۰/۵۷	۱۵۰/۳۵	۳۰/۴	۰/۵۷	۲۱۴/۸۴	۰/۵۶	۰/۵۶	۱۲۷/۴۸	۰/۵۶	۰/۵۶	۲/۱	۰/۵۶	۱۵۰/۳۵
ملک‌کندي	۹۹/۹۵	۳۶/۱	۰/۵۷	۳/۰۱	۱/۱	۱/۱	۸۳/۷۹	۳۰/۲	۰/۵۴	۹۰/۴	۳۲/۶	۰/۵۲	۹۹/۹۵	۳۶/۱	۰/۵۲	۹۰/۴	۰/۵۴	۰/۵۴	۸۳/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۳/۰۱	۰/۷۹	۹۹/۹۵
میاندوآب	۱۰۷/۱۴	۳۳/۲	۰/۴۵	۴/۰۷	۱/۳	۱/۳	۹۶/۷۹	۳۰	۰/۴۳	۱۱۴/۹۵	۳۵/۵	۰/۳۳	۱۰۷/۱۴	۳۳/۲	۰/۳۳	۱۱۴/۹۵	۰/۴۳	۰/۴۳	۹۶/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۴/۰۷	۰/۷۹	۱۰۷/۱۴

SOI فصل پايز با SPI هم‌زمان در اکثر ايستگاه‌ها هم‌بستگی معنی‌داری دارد. ضریب هم‌بستگی در حدود -۰/۴ -۰/۶ تا -۰/۰ دارد. ايستگاه‌های مختلف متغیر است. فقط دو ايستگاه سعیدآباد و زینجناب از ۱۸ ايستگاه یعنی در حدود ۱۱٪ ايستگاه‌ها هم‌بستگی معنی‌داری نشان ندادند اما ضریب هم‌بستگی آنها هم بیش از ۰/۳ با علامت منفی است (هم علامت با دیگر ايستگاه‌ها). شاخص NINO3,4 پايز با SPI پايز نیز در اکثر ايستگاه‌ها در سطح بیش از ۹۵٪ هم‌بستگی معنی‌دار مثبتی را نشان می‌دهد. هم‌بستگی معنی‌داری بین آنها وجود ندارد. در ایستگاه‌ها در سطح بیش از ۹۵٪ هم‌بستگی معنی‌دار مثبتی را می‌توان در سطح بیش از ۹۵٪ درصد هم‌بستگی معنی‌دار مثبتی داشت. تعداد زوج اعداد استفاده شده در این مقایسه تحت عنوان تعداد در جدول مشخص گردیده است (جدول ۲). يکی این که

شرق جریان دارند (۲). بررسی اولیه در ارتباط بین بارندگی ماهانه و شاخص‌ها نشان می‌دهد که هم‌بستگی معنی‌داری بین آنها وجود ندارد. هم‌چنین، هم‌بستگی بین شاخص‌ها و بارندگی ماههای آینده نیز معنی‌دار نیست. این شرایط تقریباً برای همه ايستگاه‌ها یکسان است. مقایسه شاخص‌ها با SPI سالانه به طور هم‌زمان و با SPI سال‌های آینده نیز بررسی گردید که نتایج نشان می‌دهد هم‌بستگی معنی‌داری بین آنها وجود ندارد. در بررسی مقادیر فصلی شاخص‌ها و SPI متناظر آنها مشخص شد که در دو مورد شاخص‌های فصلی پايز با مقادیر SPI متناظرشان در سطح بیش از ۹۵ درصد هم‌بستگی معنی‌دار دارند. تعداد زوج اعداد استفاده شده در این مقایسه تحت عنوان تعداد در جدول مشخص گردیده است (جدول ۲). يکی این که

جدول ۲. ضریب همبستگی هم‌زمان بین شاخص‌های پاییز و SPI پاییز ایستگاه‌های حوزه دریاچه ارومیه (تعداد ۳۴)

شاخص	ملک کندی	گیاه‌دوران	قزل قبر	قرمزگل	دیزج	دشبند	بند ارومیه	باغچه میش	بابارود
SOI	-۰/۳۸۰*	-۰/۵۱۹**	-۰/۵۸۵**	-۰/۴۹۵**	-۰/۳۹۹*	-۰/۰۹۳**	-۰/۰۹۲*	-۰/۵۴۳**	-۰/۴۲۶*
PDO	۰/۲۰۰	۰/۲۲۰	۰/۳۲۲	۰/۲۸۷	۰/۱۷۳	۰/۳۲۴	۰/۱۳۹	۰/۲۵۳	۰/۲۰۹
PNA	۰/۰۹۷	۰/۰۴۵	۰/۰۹۲	۰/۰۸۴	۰/۰۸۶	۰/۰۶۸	۰/۰۶	۰/۱۰۱	۰/۰۳۹
NAO	۰/۱۱۹	۰/۲۸۸	۰/۰۲	۰/۲۴	۰/۱۶۶	۰/۲۹	۰/۲۱۴	۰/۳۰۲	۰/۳۱۶
NINO34	۰/۳۰۱	۰/۵۲۱**	۰/۵۶۱**	۰/۴۸۸**	۰/۳۱۴	۰/۶۰۰**	۰/۳۵۴*	۰/۰۵۷**	۰/۳۷۸*
NOI	-۰/۳۶۱*	-۰/۴۱۷*	-۰/۳۸۶*	-۰/۳۴۰	-۰/۲۳۸	-۰/۰۵۰۸**	-۰/۰۲۲۵	-۰/۴۱۷*	-۰/۲۲۱
شاخص	تبریز	ارومیه	خوی	زین‌جانب	تپیک	سری‌قمیش	سعیدآباد	پل‌سرخ	میاندوآب
SOI	-۰/۳۶۳*	-۰/۵۱۲**	-۰/۴۳۰*	-۰/۳۳۴	-۰/۴۰۸*	-۰/۰۱۶**	-۰/۰۲۲	-۰/۴۲۴**	-۰/۵۹۲**
PDO	۰/۰۱۳	۰/۱۹۶	۰/۲۰۵	۰/۰۲۸	۰/۲۸۶	۰/۰۲۸	۰/۴۲۹*	۰/۴۲۸*	۰/۴۲۹*
PNA	-۰/۰۴۹	۰/۰۱۰	۰/۱۲۱	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹	۰/۰۵۵	۰/۱۰۰	۰/۲۷۱	۰/۲۷۱
NAO	۰/۱۴۰	۰/۲۹۲	۰/۰۶۴	۰/۰۳۱	۰/۳۶۹*	۰/۱۵۲	۰/۲۶۰	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶
NINO34	۰/۳۵۵*	۰/۴۸۰**	۰/۵۰۰**	۰/۳۹۱*	۰/۴۷۶**	۰/۲۳۹	۰/۴۰۹*	۰/۵۲۷**	-۰/۴۶۴**
NOI	-۰/۲۶۱	-۰/۳۴۱	-۰/۳۷۶*	-۰/۱۷۱	-۰/۲۸۲	-۰/۴۷۴**	-۰/۱۰۴	-۰/۴۰۳*	-۰/۴۶۴**

** و * : به ترتیب ضریب همبستگی در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد معنی‌دار است.

پاییز (یک فصل بعد) در ۱۶ ایستگاه از ۱۸ ایستگاه (۹۰٪ ایستگاه‌ها) در سطح بیش از ۹۵٪ معنی‌دار بوده و مقدار آن از -۰/۳۵ تا -۰/۶ در ایستگاه‌های مختلف متغیر است. شاخص NINO3,4 تابستان با SPI پاییز برای ۱۳ ایستگاه از ۱۸ ایستگاه (۷۲٪ از ایستگاه‌ها) در سطح بیش از ۹۵٪ معنی‌دار است. با توجه به این که خصوصیات پدیده‌های اقلیمی با زمان تغییر می‌کنند در نتیجه ضریب همبستگی شاخص‌های اقلیمی نیز با بارندگی تغییر می‌کند. بنابراین برای اطمینان از ضریب همبستگی بین شاخص‌های اقلیمی با بارندگی از همبستگی متواالی استفاده می‌شود. میانه ضریب همبستگی متواالی، احتمال ۵۰ درصد ضریب همبستگی شاخص اقلیمی و بارندگی را بیان می‌کند (۵). برای مثال ضریب همبستگی متواالی برای ایستگاه بابارود ۰/۴۸ به دست آمد که بیانگر آن است با احتمال ۵۰ درصد همبستگی شاخص پاییز SOI با بارندگی پاییز ۰/۴۸ است. این ضریب تقریباً نزدیک به ضریب همبستگی معنی‌داری می‌باشد که در جدول ۲ نشان داده شده است. برای بقیه ایستگاه‌ها نیز ضریب ستاره‌دار تقریباً ضریب همبستگی واقعی بین بارندگی و شاخص‌هast است. همبستگی بارندگی زمستان با شاخص NAO زمستان در

این دو ایستگاه در یک سمت دریاچه واقع شده‌اند. اما با توجه به این که محدوده حوزه آبریز دریاچه ارومیه تقریباً دارای یک نوع اقلیم است و ایستگاه تبریز از ایستگاه‌های سازمان هواشناسی نیز در همین قسمت از حوزه آبریز دریاچه واقع شده است، بنابراین عدم معنی‌دار بودن همبستگی این دو ایستگاه با شاخص‌های اقلیمی ناشی از عدم دقت داده‌های این دو ایستگاه است.

هم‌بستگی شاخص NOI با SPI پاییز برای ۱۰ ایستگاه از ۱۸ ایستگاه (۵۶٪ از ایستگاه‌ها) در سطح بیش از ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و مقدار آن از -۰/۵ تا -۰/۹ درصد متغیر است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین SOI و NINO3,4 در فصل پاییز -۰/۹ و بین NOI و SOI ۰/۶۸ بوده و هر دو در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند (جدول ۳). بنابراین به دلیل واپسیه بودن این سه شاخص بهم تنها یکی از آنها، و در این مورد خاص شاخص SOI به خاطر همبستگی بیشتر آن با بارندگی انتخاب می‌شود.

هم‌چنین، به طوری که در جدول ۴ دیده می‌شود، بین SOI و NINO3,4 فصل تابستان با SPI فصل پاییز همبستگی معنی‌داری وجود دارد. همبستگی شاخص SOI تابستان با SPI

جدول ۳. همبستگی شاخص‌ها با یکدیگر در فصل پاییز (تعداد ۴۹)

PDO	PNA	NAO	NINO34	NOI	
-۰/۴۶۴**	-۰/۱۶۲	-۰/۱۹۸	-۰/۹۰۳**	۰/۶۸۳**	SOI
۱	۰/۳۸۶**	۰/۱۶	۰/۵۰۸**	-۰/۵۰۹**	PDO
	۱	۰/۰۴۲	۰/۲۱۵	-۰/۱۵۵	PNA
		۱	۰/۱۵۷	۰/۱۰۵	NAO
			۱	-۰/۶۳۶**	NINO3,4

** و * : به ترتیب ضریب همبستگی در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ۴. ضریب همبستگی بین شاخص‌های تابستان و SPI پاییز ایستگاه‌های حوزه دریاچه ارومیه (تعداد ۳۴)

شاخص	ملک کندی	گیاه‌دوران	قزل قبر	فرمزگل	دیزج	دشبند	بند ارومیه	باگچه میش	بابارود
-۰/۴۳۵*	-۰/۵۷۸**	-۰/۳۷۷*	-۰/۵۹۸**	-۰/۳۷۴*	-۰/۵۳۸**	-۰/۵۱۵**	-۰/۵۵۸**	-۰/۳۵۹*	SOI
۰/۲۰۹	۰/۱۴۹	۰/۰۰۸	۰/۲۱۳	۰/۱۵۱	۰/۲۶۲	۰/۲۷۶	۰/۱۰۰	۰/۰۱۹	PDO
-۰/۱۵۶	۰/۰۰۱	-۰/۰۶۹	-۰/۱۲۶	-۰/۱۶۶	-۰/۲۱۸	۰/۰۹۳	۰/۲۸۸	-۰/۱۴۰	PNA
-۰/۰۲۶	۰/۰۳۰	۰/۰۷۵	-۰/۰۷۳	-۰/۰۰۹	-۰/۱۴۱	-۰/۲۶۶	۰/۰۸۶	-۰/۱۷۲	NAO
۰/۳۶۶*	۰/۴۵۸**	۰/۳۳۶	۰/۶۰۸**	۰/۳۰۰	۰/۲۷۷**	۰/۰۳۱**	۰/۵۱۴**	۰/۲۸۱	NINO34
-۰/۰۷۷	-۰/۰۲۴	۰/۰۳۸	-۰/۲۲۹	-۰/۰۱۶	-۰/۱۱۲	-۰/۰۲۰	-۰/۰۲۲	۰/۰۸۲	NOI
شاخص	تبریز	ارومیه	خوی	زینجناب	تپیک	سریقمیش	سعیدآباد	پل سرخ	میاندوآب
-۰/۵۰۰**	-۰/۴۹۷**	-۰/۲۲۸	-۰/۰۴۶**	-۰/۰۴۹*	-۰/۰۲۴	-۰/۰۳۹۵*	-۰/۰۴۸۹**	-۰/۰۲۷۴*	SOI
۰/۳۹۴*	۰/۱۳۰	-۰/۰۳۵	۰/۱۷۹	۰/۰۵۷	۰/۱۳۸	-۰/۰۴۸	۰/۰۷۸	-۰/۱۱۷	PDO
-۰/۰۳۵	-۰/۱۲۷	-۰/۱۲۳	-۰/۱۵۴	-۰/۰۵۵	-۰/۰۱۹۸	۰/۰۰۵۵	۰/۰۳۲	-۰/۰۶۷	PNA
-۰/۱۱۶	-۰/۰۹۴	۰/۰۶۸	-۰/۰۲۲	۰/۰۹۴	-۰/۰۱۵۶	-۰/۰۱۱	۰/۰۷۲	-۰/۱۳۱	NAO
۰/۴۶۸**	۰/۴۷۵**	۰/۲۰۱	۰/۴۱۰*	۰/۴۰۷*	۰/۰۴۹	۰/۰۳۹*	۰/۰۳۵*	۰/۰۴۵*	NINO34
-۰/۱۳۶	-۰/۰۲۰	۰/۱۲۰	-۰/۰۳۲۸	-۰/۰۲۵	۰/۱۲۵	-۰/۰۰۵	-۰/۰۹۵	۰/۰۴۲	NOI

** و * : به ترتیب ضریب همبستگی در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد معنی‌دار است.

تأثیر فاز مثبت و منفی شاخص‌های اقلیمی

برای بررسی دقیق‌تر تأثیر پارسیوندهای اقلیمی بر بارندگی حوزه، مقادیر مثبت و منفی شاخص‌ها با مقادیر SPI متناظر آنها مقایسه شد. مقادیر کمتر از -۰/۵ را حالت منفی و مقادیر بیشتر از +۰/۵ را حالت مثبت هر یک از شاخص‌ها در نظر گرفته شده است (۱۲). بنابراین برای شش شاخص، مجموعاً ۱۲ حالت مثبت و منفی وجود دارد که با مقادیر SPI متناظر آنها تا چهار فصل بعد همبستگی داده شد. در هریک از ۱۲ حالت فوق شاخص‌ها با SPI همان فصل و چهار فصل بعد همبستگی داده شد. از بین ۵۳۱ حالت مختلف پنج حالت همبستگی‌ها در سطح بیش از

اکثر ایستگاه‌ها معنی‌دار است. نتایج این همبستگی برای تمام ایستگاه‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طوری که این جدول نشان می‌دهد با افزایش NAO بارندگی زمستان کاهش می‌یابد. اگرچه همبستگی بین بارندگی زمستان و شاخص NAO زمستان در همه ایستگاه‌ها معنی‌دار نیست اما رابطه معکوس شاخص NAO با بارندگی مشهود است. همچنان همبستگی بارندگی زمستان با شاخص NAO پاییز (یک فصل قبل) نیز در اکثر ایستگاه‌ها معنی‌دار است. جدول ۵ نشان می‌دهد کاهش شاخص NAO پاییز باعث افزایش بارندگی زمستان در حوزه دریاچه ارومیه می‌شود.

جدول ۵. همبستگی بین شاخص‌های زمستان با SPI زمستان (تعداد ۳۴)

شاخص	ملک کنندی	گیاه‌دوران	قزل قبر	قرمزگل	دیزج	دشبتند	بندارو میه	باغچه میش	بابارود
SOI	۰/۰۱۴	۰/۱۶۲	۰/۰۱۹	۰/۱۰۲	۰/۲۴۷	۰/۰۰۵	۰/۱۱۷	۰/۱۷۳	-۰/۱۴۵
PDO	۰/۰۳۰	-۰/۲۷۷	-۰/۰۲۲	-۰/۱۹۳	-۰/۰۱۵	-۰/۱۱۷	-۰/۰۳۷	-۰/۰۸۷	-۰/۰۵۲
PNA	۰/۰۶۹	-۰/۳۷۱*	-۰/۲۹۶	-۰/۱۶۶	-۰/۲۶۰	-۰/۱۱۹	-۰/۲۴۰	-۰/۱۹۷	-۰/۱۴۴
NAO	-۰/۴۸۰**	-۰/۳۴۸*	-۰/۱۹۱	-۰/۲۳۱	-۰/۲۴۴**	-۰/۰۳۰	-۰/۳۸۶*	-۰/۱۴۱*	-۰/۱۱
NINO34	۰/۱۹۱	-۰/۰۲۶	۰/۰۶۴	-۰/۰۴۰	-۰/۱۳۶	۰/۰۷۲	-۰/۰۱۴	-۰/۲۴۵	۰/۰۳۹
NOI	-۰/۰۶۷	-۰/۱۱۷	۰/۰۱۵	۰/۰۷۴	۰/۰۵۵	-۰/۰۳۸	-۰/۰۷۱	۰/۱۳۶	-۰/۰۹۶
شاخص	تبریز	ارومیه	خوی	زینجناب	تپیک	سریقمیش	سعیدآباد	پل سرخ	میاندوآب
SOI	۰/۱۵۴	۰/۱۲۷	۰/۲۹۱	۰/۳۰۲	۰/۲۰۸	۰/۱۰۳	۰/۱۸۰	۰/۱۰۶	-۰/۰۷۴
PDO	۰/۰۲۹	۰/۱۵۰	-۰/۰۴۴	-۰/۱۸۹	-۰/۰۳۷	-۰/۰۱۱	-۰/۱۵۵	-۰/۰۹۹	-۰/۰۹۹
PNA	-۰/۱۲۲	-۰/۰۸۹	-۰/۲۱۶	-۰/۲۱۰	-۰/۰۶۴	-۰/۱۰۵	-۰/۴۳۷**	-۰/۱۴۲	-۰/۲۹۶
NAO	-۰/۵۱۷**	-۰/۲۸۸	-۰/۲۸۱	-۰/۴۶۱**	-۰/۰۵۲	-۰/۱۰۹	-۰/۰۴۱*	-۰/۰۴۱*	-۰/۱۳۲
NINO34	۰/۰۰۵	-۰/۰۴۲	-۰/۲۲۷	-۰/۱۸۹	-۰/۱۲۲	-۰/۰۱۹	-۰/۰۶۰	-۰/۰۲۷	-۰/۰۴۵
NOI	۰/۲۸۵	۰/۰۱۴	۰/۲۶۴	۰/۲۷۶	۰/۱۴۹	-۰/۰۴۳	-۰/۰۲۰	-۰/۱۸۹	-۰/۰۹۲

** و * : به ترتیب ضریب همبستگی در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ۶. همبستگی شاخص‌های پاییز با SPI زمستان (تعداد ۳۴)

شاخص	ملک کنندی	گیاه‌دوران	قزل قبر	قرمزگل	دیزج	دشبتند	بندارو میه	باغچه میش	بابارود
SOI	-۰/۰۶۰	۰/۲۷۶	-۰/۰۲۲	۰/۰۹۰	۰/۰۹۵	-۰/۰۱۸	-۰/۰۵۸	-۰/۰۷۰	-۰/۰۲۴
PDO	۰/۱۲۵	-۰/۰۳۱	/۲۵۷۰	-۰/۱۱۰	۰/۱۸۷	۰/۲۶۱	۰/۲۲۲	۰/۲۰۰	۰/۱۷۰
PNA	۰/۱۰۹	۰/۰۸۵	-۰/۱۲۷	-۰/۱۵۲	-۰/۰۳۵	۰/۰۶۵	۰/۰۴۲	۰/۱۷۹	-۰/۰۴۶
NAO	-۰/۲۳۸	-۰/۳۶۰*	-۰/۳۳۷	-۰/۵۷۶**	-۰/۳۰۶	-۰/۴۳۰**	-۰/۲۱۸	-۰/۴۰۰**	۰/۲۷۶
NINO34	۰/۲۰۴	۰/۰۸۵	-۰/۰۳۴	-۰/۰۶۹	-۰/۰۹۲	-۰/۰۶۵	۰/۰۳۶	۰/۱۹۹	۰/۰۸۵
NOI	-۰/۲۷۰	۰/۱۸۰	-۰/۰۶۷	۰/۲۱۶	۰/۰۴۱	-۰/۰۱۳	-۰/۰۰۴	-۰/۱۹۵	۰/۰۰۸
شاخص	تبریز	ارومیه	خوی	زینجناب	تپیک	سریقمیش	سعیدآباد	پل سرخ	میاندوآب
SOI	۰/۰۸۴	-۰/۰۵۹۰	۰/۲۰۵	۰/۱۷۹	۰/۱۱۲	۰/۰۱۵	۰/۱۹۶	-۰/۰۶۱	-۰/۰۱۹
PDO	۰/۲۲۶	۰/۲۳۶	۰/۰۳۰	-۰/۰۹۰	-۰/۰۵۸	۰/۴۰۶*	۰/۲۷۲	-۰/۰۳۴	-۰/۰۱۹
PNA	۰/۰۸۱	۰/۰۴۸	-۰/۱۸۵	-۰/۰۴۹	۰/۲۳۳	۰/۱۶۹	-۰/۰۲۵	-۰/۰۴۹	-۰/۱۵۰
NAO	-۰/۱۱۷	-۰/۴۲۸*	-۰/۳۴۴*	-۰/۲۵۴	-۰/۵۰۵**	-۰/۱۶۲	-۰/۳۸۶*	-۰/۳۵۹*	-۰/۰۱۲
NINO34	۰/۰۴۸	۰/۰۴۶	-۰/۲۰۸	-۰/۱۳۵	-۰/۰۴۴	-۰/۰۰۲	-۰/۱۰۴	-۰/۰۱۵	-۰/۰۶۵
NOI	-۰/۰۶۸	-۰/۰۳۱	-۰/۰۴۷	۰/۱۰۷	۰/۰۵۳	-۰/۰۸۷	-۰/۰۲۸	-۰/۰۱۷	-۰/۰۶۵

** و * : به ترتیب ضریب همبستگی در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد معنی‌دار است.

است. همچنین، تأثیر ENSO تابستان بر بارندگی پاییز مشخص و بر جسته است. بنابراین، می‌توان بارندگی پاییز را در تابستان و یک فصل قبل از پاییز پیش‌بینی کرد. همان‌طور که اشاره شد، مقدار بارندگی پاییز، زمستان و بهار قابل توجه است. نتایج نشان می‌دهد که بارندگی زمستان هم با شاخص‌های همزمان و هم با شاخص‌های یک فصل قبل همبستگی قابل قبولی داشته و بدین طریق قابل پیش‌بینی می‌باشد (جدول ۵ و ۶). اما برای

۹۵ درصد برای اکثر ایستگاه‌ها معنی‌دار شد. با بررسی ارتباط بین فازهای مثبت و منفی شاخص‌های اقلیمی و بارندگی، مشخص گردید که تأثیر شاخص‌های SOI، PDO، PNA و NAO از بقیه بیشتر است. ولی تأثیر این شاخص‌ها زمانی بهتر ظاهر می‌شود که بررسی هم‌زمان دو شاخص با هم بر بارندگی دیده شود. بر اساس نتایج به دست آمده، تأثیر ENSO (شاخص SOI) فصل پاییز بر بارندگی پاییز آشکار و بدیهی

جدول ۷. توابع پیش‌بینی بارندگی فصلی و ضریب همبستگی بین شاخص‌ها و SPI فصلی

ایستگاه												شاخص
	میاندوآب	قرزل قبر	پل سرخ	گیاه‌دوران	سعید آباد	بند ارومیه	باوارود	زینجناب	ساری قمیش	تعداد	تابع	
-0/567**	-./515**	-0/493**	-0/558**	-0/288	-0/377*	-0/435*	-0/244	-0/546**	۳۴	(تابستان f(SOI=باران پاییز)	SOI تابستان	
-0/592**	-0/585**	-0/444*	-0/519**	-0/322	-0/392*	-0/435*	-0/334	-0/516**	۳۴	(پاییز f(SOI=باران پاییز)	SOI پاییز	
-0/132	-0/191	-0/401*	-0/348*	-0/437**	-0/386*	-0/11	-0/458**	0/159	۳۴	(زمستان f(NAO=باران زمستان)	NAO زمستان	
-0/359*	-0/383*	0/386*	-0/360*	-0/162	-0/470**	0/276	-0/235	-0/505**	۳۴	(پاییز f(NAO=باران زمستان)	NAO پاییز	
0/777*	0/711*	0/907**	0/784*	0/386	0/669	0/537	0/503	0/734*	۱۰	(بهار f(PNA=باران بهار)	SOI+ بهار	
0/497	0/447	0/674**	0/615*	0/680**	0/755**	0/603*	0/466	0/393	۱۷	(بهار f(NAO=باران پاییز)	PDO+ بهار	
-0/556	-0/550	-0/616*	-0/593*	-0/512	-0/739**	-0/202	-0/800**	-0/795**	۱۶	(پاییز f(NAO=باران زمستان)	NINO3,4+ پاییز	
0/226	0/342	0/704*	0/677**	0/424	0/674*	0/650*	0/404	-0/66	۱۶	(پاییز f(SOI=باران زمستان)	NINO3,4+ پاییز	
-0/083	-0/507	-0/416	-0/718**	-0/674*	-0/694*	-0/828**	-0/594*	-0/131	۱۷	(زمستان f(PNA=باران زمستان)	NINO3,4+ زمستان	
-0/626*	-0/354	-0/696*	-0/823**	-0/499	-0/645*	-0/413	-0/482	-0/336	۱۷	(زمستان f(NAO=باران زمستان)	NINO3,4+ زمستان	
تابع	شاخص											
تیریز	ارومیه	خوی	تپیک	دیزج	دشنبه	دشنبه	باگچه میش	ملک‌کندي	قمرگل	تعداد	تابع	شاخص
-0/376**	-0/489**	-0/395*	-0/409*	-0/379*	-0/598	-0/578**	-0/359*	-0/538**	۳۴	(تابستان f(SOI=باران پاییز)	SOI تابستان	
-0/363**	-0/575**	-0/403*	-0/408*	-0/399*	-0/596**	-0/546**	-0/381*	-0/495**	۳۴	(پاییز f(SOI=باران پاییز)	SOI پاییز	
-0/517**	-0/288	-0/281	-0/461**	-0/231	-0/330	-0/341*	-0/238	-0/444**	۳۴	(زمستان f(NAO=باران زمستان)	NAO زمستان	
-0/117	-0/428*	0/344*	-0/254	-0/576**	-0/306	-0/218	-0/238	-0/337	۳۴	(پاییز f(NAO=باران زمستان)	NAO پاییز	
0/40	0/31	0/32	0/591	0/636	0/818*	0/729*	0/843**	0/438	۱۰	(بهار f(PNA=باران بهار)	SOI+ بهار	
0/698**	0/662**	0/630*	0/606*	0/757	0/482	0/468	0/670**	0/620*	۱۷	(بهار f(NAO=باران پاییز)	PDO+ بهار	
-0/504*	-0/730**	-0/233	-0/282	-0/789**	-0/615*	-0/599**	-0/795**	-0/622*	۱۶	(پاییز f(NAO=باران زمستان)	NINO3,4+ پاییز	
0/450	0/589*	0/419	0/607*	0/623*	0/304	0/184	0/356	0/642*	۱۶	(پاییز f(SOI=باران زمستان)	NINO3,4+ پاییز	
-0/783**	-0/682*	0/606*	-0/128	-0/586*	-0/497	-0/413	-0/613*	-0/612*	۱۷	(زمستان f(PNA=باران زمستان)	NINO3,4+ زمستان	
-0/591*	-0/671*	-0/655*	-0/796*	-0/705*	-0/505	-0/513	0/499	-0/793**	۱۷	(زمستان f(NAO=باران زمستان)	NINO3,4+ زمستان	

* و ** : به ترتیب ضریب همبستگی در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد معنی دار است.

پیش‌بینی کرد. این نتیجه با همبستگی معنی‌دار بین NAO بهار و SPI پاییز در ۱۲ ایستگاه از ۱۸ ایستگاه‌ها مشخص گردید. به همین صورت بارندگی فصل زمستان را به دو طریق می‌توان پیش‌بینی کرد. در روش اول زمانی که شاخص NINO3,4 پاییز مثبت است با استفاده از دو شاخص NAO و SOI پاییز می‌توان بارندگی زمستان را پیش‌بینی نمود. در روش دیگر زمانی که شاخص NINO3,4 زمستان مثبت است با استفاده از شاخص‌های PNA و NAO فصل زمستان، بارندگی زمستان پیش‌بینی می‌شود. البته در روش دوم باید از مقادیر شاخص‌های PNA و NAO زمستان که قبل از زمستان توسط مراکز معتبر جهانی پیش‌بینی می‌شوند استفاده نمود. حالات‌های ممکن برای پیش‌بینی بارندگی فصل‌های پائیز، زمستان و بهار

بارندگی بهار این امکان وجود ندارد. از بین حالت‌های مختلف فقط در یک مورد همبستگی مناسبی بین بارندگی بهاره با استفاده از PNA بهار، و زمانی که SOI منفی فرض شود، وجود دارد. این همبستگی بین شاخص SPI و SOI+ بهار برای ۸ ایستگاه از ۱۸ ایستگاه معنی‌دار است که از لحاظ آماری قابل توجه نیست.

حال برای بهبود نتایج می‌توان از همبستگی توأم چند شاخص با بارندگی استفاده نمود. برای نمونه، بررسی پیش‌بینی بارش پائیزه (جدول ۷) نشان می‌دهد که برای پیش‌بینی بارندگی پاییز می‌توان از تأثیر NAO و PDO بهار تواماً استفاده کرد. یعنی در فصل بهار زمانی که PDO مثبت است بارندگی پاییز (دو فصل بعد) را می‌توان با استفاده از شاخص NAO بهار

یا تابستان با بارندگی پاییز در اکثر ایستگاه‌ها افزایش یافته است. علاوه بر این، پیش‌بینی باران زمستانه با استفاده از شاخص‌های NAO و SOI پاییز در زمانی که NINO_{3,4} مثبت است، امکان پذیر خواهد بود. از طرفی، با استفاده از شاخص‌های NAO و PNA زمستان نیز می‌توان بارندگی زمستان را پیش‌بینی کرد. در این صورت لازم است از مقادیر پیش‌بینی شده NAO و PNA استفاده گردد. علاوه بر بارندگی زمستان و پاییز، بارندگی بهار نیز قابل توجه است. اما بررسی‌های انجام شده در این پژوهش نشان می‌دهد که در حوزه دریاچه ارومیه هم‌بستگی باران بهاره با شاخص‌های هواشناسی اندک است به‌طوری که تنها شاخص PNA بهار با SPI مثبت است دارای هم‌بستگی معنی‌دار می‌باشد. این حالت فقط در ۸ ایستگاه از ۱۸ ایستگاه (۴۴٪ ایستگاه‌ها) مشاهده می‌شود.

طی این تحقیق مشخص شد که بارندگی پاییزه حوزه ارومیه تحت تأثیر SOI، NAO⁺، PDO و بارندگی زمستانه تحت تأثیر SOI، NAO⁻، NAO⁺ و NINO_{3,4}⁺ است. هم‌چنین، به این نکته می‌توان اشاره کرد که تأثیر SOI بر بارندگی پاییزه، و تأثیر NAO بر بارندگی زمستانه بیشتر از دیگر شاخص‌هاست. تأثیر با تأخیر این شاخص‌ها بر بارندگی پاییز و زمستان از نتایج بسیار مهمی است که نتیجه آن در پیش‌بینی بارندگی نقش مؤثری دارد. بنابراین، با پیش‌بینی بارندگی پاییزه و زمستانه در یک یا دو فصل زودتر می‌توان اقدامات مؤثری در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب مخصوصاً در حشک‌سالی‌ها انجام داد.

سپاسگزاری

نتایج ارائه شده در این مقاله در قالب یک طرح تحقیقاتی با معاونت پژوهشی سازمان مدیریت منابع آب ایران صورت گرفته است که بدین وسیله از مدیران و کارشناسان آن معاونت به خاطر حمایت‌های مالی و علمی تشکر می‌شود.

در جدول ۷ نشان داده شده است. اگر چه بعضی از ضرایب در سطح ۹۵ یا بیشتر معنی‌دار نشده‌اند، ولی از لحاظ مقدار، تفاوت چندانی با ضرایب معنی‌دار در ایستگاه‌های دیگر ندارند. با توجه به این که این ضرایب هم‌علامت با بقیه هستند این عدم معنی‌دار بودن آنها ناشی از عدم دقیقت داده‌های بعضی از ایستگاه‌هاست.

نتیجه گیری

شاخص‌های اقلیمی که توسط مراکز معتبر بین‌المللی ثبت می‌شوند، غالباً دارای طول دوره آماری بیش از ۵۰ سال می‌باشند.

مطالعات بیش از یک دهه گذشته در سطح جهان نشان می‌دهد که با استفاده از ارتباط بین این شاخص‌ها و بارندگی‌های محلی امکان پیش‌بینی بارندگی در نقاط مختلف جهان وجود دارد.

طی این تحقیق، بررسی تأثیر پدیده‌های اقلیمی در حوزه دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که تأثیر ENSO بر بارندگی پاییز بیش از شاخص‌های دیگر است. هم‌بستگی معنی‌دار بین SPI پاییز و شاخص SOI پاییز و تابستان مؤید این موضوع است. بنابراین پیش‌بینی بارندگی پاییز با استفاده از شاخص SOI تابستان (یک فصل قبل) امکان پذیر است. هم‌بستگی معنی‌دار بین بارندگی زمستان و شاخص NAO در سطح بیش از ۹۵ درصد نشان می‌دهد، بارندگی زمستان بیشتر تحت تأثیر شاخص NAO است. به‌طوری که بارندگی زمستان را با استفاده از NAO زمستان و یا NAO پاییز می‌توان پیش‌بینی کرد.

با به کارگیری روش جدیدی که در این تحقیق استفاده شده است، نتایج بهتری در ارتباط بین شاخص‌های اقلیمی و بارندگی به دست آمد. بر اساس این روش با استفاده از شاخص NAO بهار (دو فصل قبل) در زمان‌هایی که شاخص PDO بهار مثبت است، امکان پیش‌بینی مناسب‌تر بارش پاییزه به وجود می‌آید. ضرایب هم‌بستگی معنی‌دار در این حالت نشان می‌دهد این ضرایب به‌طور قابل توجهی در مقایسه با حالت SOI پاییز

منابع مورد استفاده

۱. حضرتی، ش. ۱۳۸۲. بررسی ارتباط تراز دریاچه ارومیه با شاخص‌های اقلیمی ENSO و NAO، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
۲. خلیلی، ع.، س. حجام و پ. ایران نژاد. ۱۳۷۰. طرح جامع آب کشور، شناخت اقلیمی ایران. جلد چهارم، وزارت نیرو، تهران.
۳. زهراei، ب.، م. کارآموز و س. اقدامی راد. ۱۳۸۳. پیش‌بینی بارندگی فصلی با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی، کاربرد در حوزه آبریز رودخانه کارون. مجموعه مقالات اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تهران.
۴. غیور، ح. و. م. خسروی. ۱۳۸۰. تأثیر پدیده انسو بر ناهنجاری‌های بارش تابستانی و پاییزی منطقه جنوب شرقی ایران. تحقیقات جغرافیایی ۶۲: ۱۴۱-۱۷۴.
۵. نظام السادات، م. ج. ۱۳۸۰. آیا باران می‌بارد؟ خشک‌سالی و بارندگی مازاد در ایران و ارتباط آنها با پدیده النینو-نوسان جنوبی. انتشارات دانشگاه شیراز.
۶. نظام السادات، م. ج. و ا. ر. قاسمی. ۱۳۸۱. خشک‌سالی و بارندگی مازاد استان سیستان و بلوچستان و ارتباط آن با پدیده النینو-نوسانات جنوبی. مجموعه مقالات کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، کرمان.
7. Bradbury, J., A. S. L. Dingman and D. Keim. 2002. New England drought and relations with large scale atmospheric circulation pattern. *J. Amer. Water Resour. Assoc.* 38(5):1287-1299.
8. Cordery, I. and M. McCall. 2000. A method for forecasting drought from teleconnections. *Water Resour. Res.* 36(3): 763-768.
9. Diaz, A. C., D. Studzinski and C. R. Mechoso. 1993. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Sourface Temprature in the Pacific and Atlantic Oceans. *J. Climate* 11: 251-271.
10. Grimm, A. M., S. E. T. Ferraz and J. Gomes. 1998: Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Nino and La Nina events. *J. Climate* 11: 2863-2880.
11. Hair, J. F., R. E. Andersen, R. L. Tatham and W. C. Black. 1998. Multivariate Data Analysis. Prentice Hall Pub., New Jersey.
12. Hamlet A. F. and D. P. Lettenmaier. 1999. Columbia river streamflow forecasting based on ENSO and PDO climate signals. *J. Water Resour. Planning and Manag.* 125(6):333-341.
13. Hughes, B. L. and A. M. Saunders. 2001. Seasonal prediction of European spring, prediction from ENSO and local SST-International. *J. Climatol.* 14: 1-23.
14. Mantua, N. J. 2002. The Earth System, Physical and Chemical Dimension of Global Environmental Change. John Wiley Pub., USA.
15. McKee, T. B., N. J. Doesken. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time series. The Proceeding of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, 179-187
16. Nazemosadat, M. J., A. R. Ghasemi and I. Cordery. 2003. The linkage between precipitation in Iran and NSW Australia. The Proceeding of the Third Regional and First National Conference on Climate Change, Isfahan, Iran.
17. Nicholson, S. E. 2001. The Relationship between El-Nino and drought. *J. Climate* 14: 323-335.
18. Pisciottano G. J., A. F. Dias and C. R. Mechoso. 1994. EL Nino Southern Osillation impact on rainfall in Uruguay. *J. Climate* 7: 1286-1302.
19. Rasmusson, E. M. 1984. El Nino, The ocean atmosphere connection. *Oceanus* 27: 5-12.
20. Silverman, D. and J. A. Dracup. 2000. Artificial neural network and long range precipitation prediction in California. *J. Appl. Meteorol.* 31(1): 57-66.