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 به‌ترتیب در فصل بهار، زمستان و پاییز به وقوع می‌پیوندد. با توجه به این‌که 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 مورد نظر 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)، PDO (Pacific Decadal Oscillation)، PNA (Pacific North America)، NAO (North Atlantic Oscillation)، NINO3.4 و NOI (North Oscillation Index) 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 و 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، PDO, NAO, PNA, NINO3.4, NOI, SOI, SPI

مقدمه

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

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]

مشخص شده است. این پدیده‌ها به صورت شاخص‌های عددی مانند PNA, 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 مختصراً به معرفی 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 کم‌فشار 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).

الگوی اقیانوس آرام شمال آمریکا یا PNA (Pacific North American Pattern) 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 Aleutian (47.9 N-170 W) و Rockies (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 به‌وجود 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 کم‌فشار در غرب اقیانوس باعث می‌شود تا دما و رطوبت هوا افزایش یابد و سیستم هالی واکر به وجود بیاید. این هوای گرم به‌تدریج 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 پر فشار 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 به‌دست 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 ۰/۵× ۰/۵ درجه و دمای ماهانه را در شبکه‌های ۵ × ۵ درجه برای یک دوره بین سال‌های ۱۹۰۱ تا ۱۹۹۶ روی منطقه اروپا بررسی نموده و از

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]

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 فصلی (دوره دسامبر، ژانویه و فوریه) از هم‌بستگی 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,) در نظر 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 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) دیده 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 دلیل فراوانی بیشتر آنها استفاده نمود. از ۳۶ واقعه ENSO، ۲۴ واقعه در طبقات ۳ و۴ 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 دراکوپ (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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]

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.

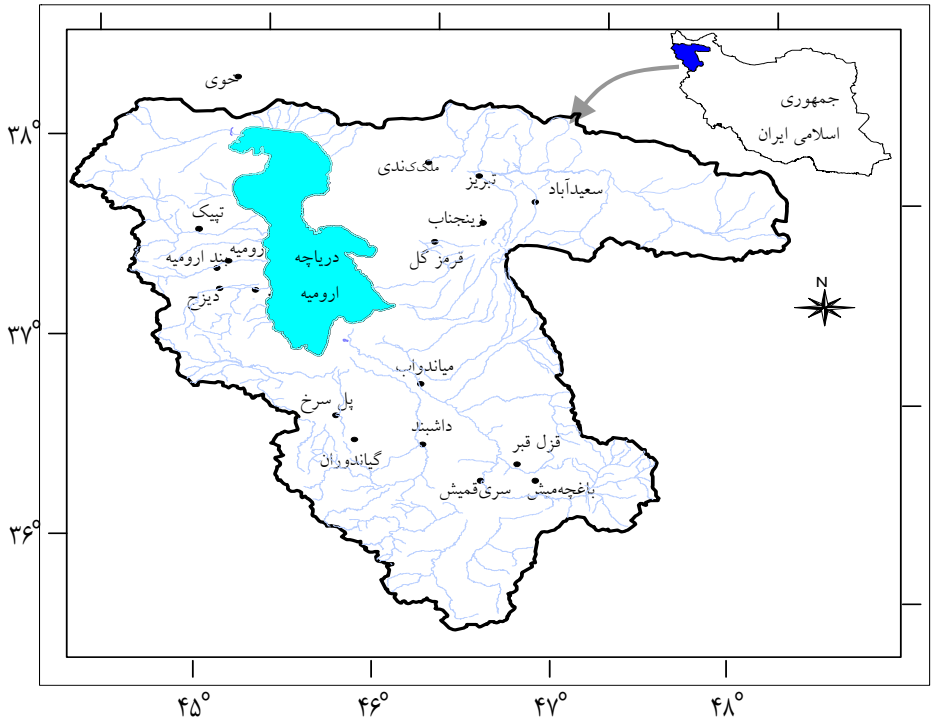
کوردری و مک‌کال (۸) به منظور بررسی خشک‌سالی‌ها در استرالیا، تأثیر ENSO را بر بارندگی فصول مختلف بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که بر اساس ENSO، رابطه مناسبی برای برآورد باران در استرالیا نمی‌توان پیدا کرد بنابراین به کمک GpH (Geopotential Height) می‌توان این کار را انجام داد. GpH فشار هوا در ارتفاع ۷۰۰ پایی 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 ۰/۵- تا ۰/۸- به‌دست آمد که در سطح ۹۵٪ 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 ۰/۹ است.

ناظم 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 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. ناظم 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 ناظم‌السادات 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 به‌طورکلی النینو باعث افزایش بارش پاییزه در اکثر ایستگاه‌ها می‌شود. میزان این تأثیر از ۳ تا ٦٦ 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوزه دریاچه ارومیه

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 ۲٤ 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، 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 دقت 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 SOI، PDO، PNA، NAO، NINO3,4 و NOI می‌باشند. با توجه به این که بعضی از شاخص‌ها مانند PDO چرخه ۲۰ تا ۳۰ ساله دارند، سعی گردید

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]

از ایستگاه‌هایی استفاده شود که حداقل دوره آماری آنها ۳۵ سال است. تحلیل خوشه‌ای روشی است که برای طبقه‌بندی مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس شباهت بیشتر درون گروهی و اختلاف بیشتر بین گروهی انجام می‌شود. تمامی روش‌های خوشه‌بندی بر مبنای ماتریس شباهت‌هاست (۱۱). 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 به‌خاطر 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 آنجایی‌که شاخص‌های اقلیمی به صورت نرمال و استاندارد در دسترس می‌باشند، بارندگی نیز ترجیحاً به صورت نرمال و استاندارد یا SPI 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 محاسبهٔ 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 به‌صورت فصلی انجام شد.

برای بررسی دقیق‌تر اثر پدیده‌های اقلیمی بر بارندگی و در نهایت دست‌یابی به روشی مناسب برای پیش‌بینی بارندگی، ابتدا فاز مثبت و منفی یکی از شاخص‌های اقلیمی در نظر گرفته شد 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 ضریب 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، عمده بارندگی سالیانه به ترتیب در فصل زمستان، بهار، پاییز و تابستان است. جدول ۱ متوسط بارندگی فصول مختلف، درصد سالانه و ضریب تغییرات بارندگی هر ایستگاه را نشان می‌دهد. با توجه به ضریب 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]

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

ایستگاه	بهار			تابستان			پاییز			زمستان		
	میانگین (میلی‌متر)	درصد سالانه	ضریب تغییرات	میانگین (میلی‌متر)	درصد سالانه	ضریب تغییرات	میانگین (میلی‌متر)	درصد سالانه	ضریب تغییرات	میانگین (میلی‌متر)	درصد 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
باباروود	۱۰۵/۴۷	۳۰/۵	۰/۵۷	۶/۱۶	۱/۷	۱/۶	۱۰۷/۲۵	۳۰/۹	۰/۴۸	۱۲۷/۲۶	۳۶/۸	۰/۳۴
بند ارومیه	۱۳۵/۹۱	۳۲/۸	۰/۴۳	۱۱/۷۸	۲/۸	۱/۱۷	۱۲۵/۲	۳۰/۳	۰/۴۸	۱۴۳/۷۶	۳۴/۷	۰/۳۲
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
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
تبریز	۱۰۹/۲	۳۸/۶	۰/۴۴	۱۵/۸۹	۵/۶	۰/۹۳	۷۸/۲۲	۲۷/۶	۰/۵۱	۸۰/۴۹	۲۸/۵	۰/۳۵
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
خوی	۱۲۸/۹۷	۴۳/۲	۰/۴۴	۲۴/۳۳	۸/۱	۰/۹۸	۷۰/۲۶	۲۳/۶	۰/۵۴	۷۶/۶۴	۲۵/۰	۰/۴۴
دشبند	۱۴۹/۷۶	۳۵/۲	۰/۶۴	۲/۱۱	۰/۵	۲/۲۸	۱۲۲/۸۲	۲۸/۹	۰/۶۳	۱۴۹/۲۷	۳۵/۲	۰/۵
دیزج	۱۰۸/۵۱	۳۲/۵	۰/۵۶	۶/۸۱	۲/۰	۱/۳۷	۱۰۱/۷۷	۳۰/۴	۰/۴۷	۱۱۷/۳۵	۳۵/۰	۰/۳۸
زینجناب	۱۳۶/۹۸	۴۵/۳	۰/۴۳	۲۵/۴۴	۸/۴	۱/۳۱	۷۶/۱۷	۲۵/۲	۰/۵۱	۶۳/۸۱	۲۱/۱	۰/۴۶
سعیدآباد	۱۸۹/۶۹	۴۵/۴	۰/۵۴	۲۱/۵۹	۵	۱/۷	۹۶/۴۹	۲۳/۳	۰/۶۳	۱۰۶/۷	۲۵/۸	۰/۴۵
سریقمیش	۱۱۴/۷۶	۳۲/۴	۰/۶۸	۲/۴۸	۰/۷	۲/۱۱	۱۱۸/۱۷	۳۳/۴	۰/۶۹	۱۱۹/۲۳	۳۳/۷	۰/۵۴
قرمز گل	۱۲۱/۸۸	۳۹/۲	۰/۵۴	۱۲/۰۹	۳/۹	۱/۷۷	۷۷/۶۹	۲۵/۰	۰/۴۷	۹۹/۱۴	۳۱/۹	۰/۴۶
قزل قبر	۱۰۸/۹۶	۳۲/۶	۰/۵۶	۳/۰۵	۰/۹	۲/۱۷	۸۸/۴۱	۲۶/۵	۰/۵۳	۱۳۴/۱۷	۴۰/۲	۰/۴
گیاهدوران	۱۵۰/۳۵	۳۰/۴	۰/۵۵	۲/۱	۰/۴	۲/۰۵	۱۲۷/۴۸	۲۵/۸	۰/۵۶	۲۱۴/۸۴	۴۳/۴	۰/۵۷
ملک‌کندی	۹۹/۹۵	۳۶/۱	۰/۵۷	۳/۰۱	۱/۱	۱/۷۹	۸۳/۷۹	۳۰/۲	۰/۵۴	۹۰/۴	۳۲/۶	۰/۵۲
میاندوآب	۱۰۷/۱۴	۳۳/۲	۰/۴۵	۴/۰۷	۱/۳	۱/۶۷	۹۶/۷۹	۳۰	۰/۴۳	۱۱۴/۹۵	۳۵/۵	۰/۳۳

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 ایستگاه‌ها یکسان است. مقایسه شاخص‌ها با SPI سالانه به‌طور 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 پاییز 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). یکی این که SOI فصل پاییز با SPI هم‌زمان در اکثر ایستگاه‌ها هم‌بستگی معنی‌داری دارد. ضریب هم‌بستگی در حدود ۰/۴- تا ۰/۶- در ایستگاه‌های مختلف متغیر است. فقط دو ایستگاه سعیدآباد و زینجناب از ۱۸ ایستگاه یعنی در حدود ۱۱٪ ایستگاه‌ها هم‌بستگی معنی‌داری نشان ندادند اما ضریب هم‌بستگی آنها هم بیش از ۰/۳ با علامت منفی است (هم علامت با دیگر ایستگاه‌ها). شاخص NINO3,4 پاییز با SPI پاییز نیز در اکثر ایستگاه‌ها در سطح بیش از ۹۵٪ هم‌بستگی معنی‌دار مثبتی را نشان می‌دهد که مقدار آن بین ۰/۴ تا ۰/۶ در تغییر است. در این حالت نیز همان دو ایستگاه از ۱۸ ایستگاه دارای هم‌بستگی معنی‌دار در سطح ۹۵٪ نمی‌باشند ولی ضرایب هم‌بستگی آنها بین ۰/۲۰ تا ۰/۳۵ بوده و با بقیه ایستگاه‌ها هم علامت هستند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]

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*	-۰/۵۹۳**	-۰/۳۹۲*	-۰/۵۴۳**	-۰/۴۳۶*
PDO	۰/۲۰۰	۰/۲۲۰	۰/۳۲۲	۰/۲۸۷	۰/۱۷۳	۰/۳۲۴	۰/۱۳۹	۰/۲۵۳	۰/۲۵۹
PNA	۰/۰۹۷	۰/۰۴۵	۰/۰۹۲	۰/۰۸۴	-۰/۰۶۸	۰/۰۸۶	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*	۰/۵۰۷**	۰/۳۷۸*
NOI	-۰/۳۶۱*	-۰/۴۱۷*	-۰/۳۸۶*	-۰/۳۴۰	-۰/۲۳۸	-۰/۵۰۸**	-۰/۲۲۵	-۰/۴۱۷*	-۰/۲۲۱
شاخص	تبریز	ارومیه	خوی	زینجناب	تپیک	سریقمیش	سعیدآباد	پل‌سرخ	میاندوآب
SOI	-۰/۳۶۳*	-۰/۵۱۲**	-۰/۴۳۰*	-۰/۳۳۴	-۰/۴۰۸*	-۰/۵۱۶**	-۰/۳۲۲	-۰/۴۴۴**	-۰/۵۹۲**
PDO	۰/۰۱۳	۰/۱۹۶	۰/۲۰۵	۰/۰۲۸	۰/۲۲۴	۰/۲۸۶	۰/۰۲۸	۰/۴۳۸*	۰/۴۲۹*
PNA	-۰/۰۴۹	۰/۰۱۰	۰/۱۲۱	۰/۰۳۹	۰/۰۴۹	۰/۲۶۶	۰/۰۵۵	۰/۱۰۰	۰/۲۷۱
NAO	۰/۱۴۰	۰/۲۹۲	۰/۳۳۱	۰/۰۶۴	۰/۳۶۹*	۰/۳۶۵*	۰/۱۵۲	۰/۲۶۰	۰/۱۱۶
NINO34	۰/۳۵۵*	۰/۴۸۰**	۰/۵۰۰**	۰/۲۹۰	۰/۳۹۱*	۰/۴۷۶**	۰/۲۳۹	۰/۴۰۹*	۰/۵۲۷**
NOI	-۰/۲۶۱	-۰/۳۴۱	-۰/۳۷۶*	-۰/۱۷۱	-۰/۲۸۲	-۰/۴۷۲**	-۰/۱۰۴	-۰/۴۰۳*	-۰/۴۶۲**

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

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 پاییزه برای ۱۰ ایستگاه از ۱۸ ایستگاه (۵۶٪ از ایستگاه‌ها) در سطح بیش از ۹۵ درصد معنی‌دار بوده و مقدار آن از ۰/۳- تا ۰/۵- متغیر است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ضریب هم‌بستگی بین SOI و NINO3,4 در فصل پاییز ۰/۹- و بین SOI و NOI، ۰/۶۸ بوده و هر دو در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند (جدول ۳). بنابراین به‌دلیل وابسته بودن این سه شاخص به‌هم تنها یکی از آنها، و در این مورد خاص شاخص SOI به‌خاطر 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 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 متوالی استفاده می‌شود. میانه ضریب هم‌بستگی متوالی، احتمال ۵۰ درصد ضریب هم‌بستگی شاخص اقلیمی و بارندگی را بیان می‌کند (۵). برای مثال ضریب هم‌بستگی متوالی برای ایستگاه بابارود ۰/۴۸ به‌دست 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 داده‌شده است. برای بقیه ایستگاه‌ها نیز ضریب ستاره‌دار تقریبا ضریب هم‌بستگی واقعی بین بارندگی و شاخص‌هاست.

هم‌بستگی بارندگی زمستان با شاخص NAO زمستان در

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]

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

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

** 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	قرمزگل	دیزج	دشبند	بند ارومیه	باغچه میش	بابارود
SOI	−۰/۳۵۹*	−۰/۵۵۸**	−۰/۵۱۵**	−/۵۳۸**	−۰/۳۷۴*	−۰/۵۹۸**	−۰/۳۷۷*	−۰/۵۷۸**	−۰/۴۳۵*
PDO	۰/۰۱۹	۰/۱۰۰	۰/۲۷۶	۰/۲۶۲	۰/۱۵۱	۰/۲۱۳	۰/۰۰۸	۰/۱۴۹	۰/۲۰۹
PNA	−۰/۱۴۰	۰/۲۸۸	۰/۰۹۳	−۰/۲۱۸	−۰/۱۶۶	−۰/۱۲۶	−۰/۰۶۹	۰/۰۰۱	−۰/۱۵۶
NAO	−۰/۱۷۲	۰/۰۸۶	−۰/۲۶۶	−۰/۱۴۱	−۰/۰۰۹	−۰/۰۷۳	۰/۰۷۵	۰/۰۳۰	−۰/۰۲۶
NINO34	۰/۲۸۱	۰/۵۱۴**	۰/۵۳۱**	۰/۴۷۷**	۰/۳۰۰	۰/۶۰۸**	۰/۳۳۶	۰/۴۵۸**	۰/۳۶۶*
NOI	۰/۰۸۲	−۰/۲۳۲	−۰/۲۰۲	−۰/۱۱۲	−۰/۰۱۶	−۰/۲۲۹	۰/۰۳۸	−۰/۲۰۴	−۰/۰۷۷
شاخص	تبریز	ارومیه	خوی	زینجناب	تپیک	سریقمیش	سعیدآباد	پل‌سرخ	میاندوآب
SOI	−۰/۲۷۲*	−۰/۴۸۹**	−۰/۳۹۵*	−۰/۲۴۴	−۰/۴۰۹*	−۰/۵۴۶**	−۰/۲۲۸	−۰/۴۹۷**	−۰/۵۵۰**
PDO	−۰/۱۱۷	۰/۰۷۸	−۰/۰۴۸	۰/۱۳۸	۰/۰۵۷	۰/۱۷۹	−۰/۰۳۵	۰/۳۳۰	۰/۳۹۴*
PNA	−۰/۰۶۷	۰/۰۳۲	۰/۰۵۵	−۰/۱۹۸	−۰/۰۵۵	−۰/۱۵۴	−۰/۱۲۳	−۰/۱۲۷	−۰/۰۳۵
NAO	−۰/۱۳۱	۰/۰۷۲	−۰/۰۱۱	−۰/۱۵۶	۰/۰۹۴	−۰/۰۲۲	۰/۰۶۸	−۰/۰۹۴	−۰/۱۱۶
NINO34	۰/۳۴۵*	۰/۴۳۵*	۰/۴۳۹*	۰/۲۴۹	۰/۴۰۷*	۰/۴۱۰*	۰/۲۰۱	۰/۴۷۵**	۰/۴۶۸**
NOI	۰/۰۴۳	−۰/۰۹۵	−۰/۰۰۵	۰/۱۲۵	−۰/۰۲۵	−۰/۳۲۸	۰/۱۲۰	−۰/۲۰۸	−۰/۱۳۶

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

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. هم‌چنین 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.

تأثیر فاز مثبت و منفی شاخص‌های اقلیمی

برای بررسی دقیق‌تر تأثیر پدیده‌های 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 شاخص ها 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]

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

شاخص	ملک کندی	گیاهدوران	قزل قبر	قرمزگل	دیزج	دشبند	بنداروميه	باغچه میش	بابارود
SOI	۰/۰۱۴	۰/۱۶۲	۰/۰۱۹	۰/۱۵۲	۰/۲۴۷	۰/۰۰۵	۰/۱۷۳	-۰/۱۴۵	۰/۰۷۹
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	-۰/۴۴۴**	-۰/۲۳۱	-۰/۳۳۰	-۰/۳۸۶*	-۰/۳۴۱*	-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	۰/۱۳۶	-۰/۰۷۱	-۰/۰۹۶
شاخص	تبریز	ارومیه	خوی	زینجناب	تپیک	سریقمیش	سعیدآباد	پل‌سرخ	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	۰/۱۳۷	-۰/۰۳۷	۰/۰۱۱	۰/۱۵۵	-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	-۰/۴۵۸**	-۰/۴۶۱**	۰/۱۵۹	-۰/۰۵۲	-۰/۴۰۱*	-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	۰/۱۲۹	-۰/۰۴۳	۰/۲۰۴	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 کندی	گیاهدوران	قزل قبر	قرمزگل	دیزج	دشبند	بنداروميه	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	۰/۲۳۲	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	-/۳۶۰*	-/۳۸۳*	-۰/۳۳۷	-/۵۷۶**	-۰/۳۰۶	-/۴۷۰**	-۰/۲۱۸	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	-۰/۱۰۳	۰/۰۰۴	-۰/۱۹۵	۰/۰۰۸
شاخص	تبریز	ارومیه	خوی	زینجناب	تپیک	سریقمیش	سعیدآباد	پل‌سرخ	میاندوآب
SOI	۰/۰۸۴	-/۰۵۹۰	۰/۲۰۵	۰/۱۷۹	۰/۱۱۲	۰/۰۱۵	۰/۱۹۶	-۰/۰۶۱	-۰/۰۱۹
PDO	۰/۲۲۶	۰/۲۳۶	۰/۰۳۰	-۰/۰۹۰	۰/۱۶۹	۰/۰۵۸	۰/۴۰۶*	۰/۲۷۲	۰/۰۳۴
PNA	۰/۰۸۱	۰/۰۴۸	-۰/۱۸۵	۰/۰۴۹	۰/۲۳۳	۰/۱۶۹	-۰/۰۲۵	۰/۰۴۹	-۰/۱۵۰
NAO	-۰/۱۱۷	-/۴۲۸*	-/۳۴۴*	-۰/۲۳۵	-۰/۲۵۴	-/۵۰۵**	-۰/۱۶۲	۰/۳۸۶*	-/۳۵۹*
NINO34	۰/۰۴۸	۰/۰۴۶	-/۲۰۸	-۰/۱۳۵	-۰/۰۴۴	-۰/۰۰۲	-۰/۱۰۴	۰/۰۱۵	-۰/۰۱۲
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.

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، NAO و NINO3,4 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 به‌دست آمده، تأثیر ENSO (شاخص SOI) فصل پاییز بر بارندگی پاییز آشکار و بدیهی است. هم‌چنین، تأثیر ENSO تابستان بر بارندگی پاییز مشخص و برجسته 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 (جداول ۵ و۶). اما برای

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]

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

												ایستگاه					
شاخص	تابع	تعداد	ساری قمیش	زینجناب	بابارود	بند ارومیه	سعید آباد	گیاهدوران	پل سرخ	قزل قبر	میاندوآب
SOI تابستان	f(SOI تابستان) =باران پاییز	۳۴	-۰/۵۴۶**	-۰/۲۴۴	-۰/۴۳۵*	-۰/۳۷۷*	-۰/۲۸۸	-۰/۵۵۸**	-۰/۴۹۳**	-./۵۱۵**	-۰/۵۶۷**
SOI پاییز	f(SOI پاییز) =باران پاییز	۳۴	-۰/۵۱۶**	-۰/۳۳۴	-۰/۴۳۵*	-۰/۳۹۲*	-۰/۳۲۲	-۰/۵۱۹**	-۰/۴۴۴*	-۰/۵۸۵**	-۰/۵۹۲**
NAO زمستان	f̂(NAO زمستان) =باران زمستان	۳۴	۰/۱۵۹	-۰/۴۵۸**	-۰/۱۱	-۰/۳۸۶*	-۰/۴۳۷**	-۰/۳۴۸*	-۰/۴۰۱*	-۰/۱۹۱	-۰/۱۳۲
NAO پاییز	f̂(NAO پاییز) =باران زمستان	۳۴	-۰/۵۰۵**	-۰/۲۳۵	۰/۲۷۶	-۰/۴۷۰**	-۰/۱۶۲	-۰/۳۶۰*	۰/۳۸۶*	-۰/۳۸۳*	-۰/۳۵۹*
SOI+ بهار	f(PNA بهار) =باران بهار	۱۰	۰/۷۳۴*	۰/۵۰۳	۰/۵۳۷	۰/۶۶۹	۰/۳۸۶	۰/۷۸۴*	۰/۹۰۷**	۰/۷۱۱*	۰/۷۷۷*
PDO+ بهار	f(NAO بهار) =باران پاییز	۱۷	۰/۳۹۳	۰/۴۶۶	۰/۶۰۳*	۰/۷۵۵**	۰/۶۸۰**	۰/۶۱۵*	۰/۶۷۴**	۰/۴۴۷	۰/۴۹۷
NINO3,4+ پاییز	f(NAO پاییز) =باران زمستان	۱۶	-۰/۷۹۵**	-۰/۸۰۰**	-۰/۲۰۲	-۰/۷۳۹**	-۰/۵۱۲	-۰/۵۹۳*	-۰/۶۱۶*	-۰/۵۵۰	-۰/۵۵۶
NINO3,4+ پاییز	f(SOI پاییز) =باران زمستان	۱۶	-۰/۰۶۶	۰/۴۰۴	۰/۶۵۰*	۰/۶۷۴*	۰/۴۲۴	۰/۷۶۷**	۰/۷۰۴*	۰/۳۴۲	۰/۲۲۶
NINO3,4+ زمستان	f(PNA زمستان)=باران زمستان	۱۷	-۰/۱۳۱	-۰/۵۹۴*	-۰/۸۲۸**	-۰/۶۹۴*	-۰/۶۷۴*	-۰/۷۱۸**	-۰/۴۱۶	-۰/۵۰۷	-۰/۰۸۳
NINO3,4+ زمستان	f(NAO زمستان)=باران زمستان	۱۷	-۰/۳۳۶	-۰/۴۸۲	-۰/۴۱۳	-۰/۶۴۵*	-۰/۴۹۹	-۰/۸۲۳**	-۰/۶۹۶*	-۰/۳۵۴	-۰/۶۲۶*
شاخص	تابع	تعداد	قرمزگل	ملک‌کندی	باغچه میش	دشبند	دیزج	تپیک	خوی	ارومیه	تبریز
SOI تابستان	f(SOI تابستان) =باران پاییز	۳۴	-۰/۵۳۸**	-۰/۳۵۹*	-۰/۵۷۸**	-۰/۵۹۸	-۰/۳۷۹*	-۰/۴۰۹*	-۰/۳۹۵*	-۰/۴۸۹**	-۰/۳۷۶**
SOI پاییز	f(SOI پاییز) =باران پاییز	۳۴	-۰/۴۹۵**	-۰/۳۸۱*	-۰/۵۴۶**	-۰/۵۹۶**	-۰/۳۹۹*	-۰/۴۰۸*	-۰/۴۰۳*	-۰/۵۷۵**	-۰/۳۶۳**
NAO زمستان	f(NAO زمستان)=باران زمستان	۳۴	-۰/۴۴۴**	-۰/۲۳۸	-۰/۳۴۱*	-۰/۳۳۰	-۰/۲۳۱	-۰/۴۶۱**	-۰/۲۸۱	-۰/۲۸۸	-۰/۵۱۷**
NAO پاییز	f̂(NAO پاییز) =باران زمستان	۳۴	-۰/۳۳۷	-۰/۲۳۸	-۰/۲۱۸	-۰/۳۰۶	-۰/۵۷۶**	-۰/۲۵۴	۰/۳۴۴*	-۰/۴۲۸*	-۰/۱۱۷
SOI+ بهار	f(PNA بهار) =باران بهار	۱۰	۰/۴۳۸	۰/۸۴۳**	۰/۷۴۹*	۰/۸۱۸*	۰/۶۳۶	۰/۵۹۱	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۴۰
PDO+ بهار	f(NAO بهار) =باران پاییز	۱۷	۰/۶۲۰*	۰/۶۷۰**	۰/۴۶۸	۰/۴۸۲	۰/۷۵۷	۰/۶۰۶*	۰/۶۳۰*	۰/۶۶۲**	۰/۶۹۸**
NINO3,4+ پاییز	f(NAO پاییز) =باران زمستان	۱۶	-۰/۶۴۲*	-۰/۷۹۵**	-۰/۵۹۹**	-۰/۶۱۵*	-۰/۷۸۹**	-۰/۲۸۲	-۰/۲۳۳	-۰/۷۳۰**	-۰/۵۰۴*
NINO3,4+ پاییز	f(SOI پاییز) =باران زمستان	۱۶	۰/۶۴۲*	۰/۳۵۶	۰/۱۸۴	۰/۳۰۴	۰/۶۲۳*	۰/۶۰۷*	۰/۴۱۹	۰/۵۸۹*	۰/۴۵۰
NINO3,4+ زمستان	f(PNA زمستان)=باران زمستان	۱۷	-۰/۶۳۲*	-۰/۶۱۳*	-۰/۴۱۳	-۰/۴۹۷	-۰/۵۸۶*	-۰/۱۲۸	۰/۶۰۶*	-۰/۶۸۲*	-۰/۷۸۳**
NINO3,4+ زمستان	f(NAO زمستان)=باران زمستان	۱۷	-۰/۷۹۳**	۰/۴۹۹	-۰/۵۱۳	-۰/۵۰۵	-۰/۷۰۵*	-۰/۷۹۶*	-۰/۶۵۵*	-۰/۶۷۱*	-۰/۵۹۱*

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

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 +SOI و SPI 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 پیش بینی 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 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. حالت‌های ممکن برای پیش‌بینی بارندگی فصل‌های پائیز، زمستان و بهار

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]

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 این‌که این ضرایب هم‌علامت با بقیه هستند این عدم معنی‌دار بودن آنها ناشی از عدم دقت داده‌های بعضی از ایستگاه‌هاست.

نتیجه‌گیری

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. به طوری 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 به‌دست 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 به‌وجود می‌آید. ضرایب هم‌بستگی معنی‌دار در این حالت نشان می‌دهد این ضرایب به‌طور قابل توجهی در مقایسه با حالت SOI پاییز یا تابستان با بارندگی پاییز در اکثر ایستگاه‌ها افزایش یافته است. علاوه براین، پیش‌بینی باران زمستانه با استفاده از شاخص‌های NAO و SOI پاییز در زمانی که NINO3,4 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 بهار زمانی که SOI بهار 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، PNA و $NINO3,4^{+}$ 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 برنامه ریزی مدیریت منابع آب مخصوصاً در خشک‌سالی‌ها 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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]

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. زهرایی، 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. ناظم 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. ناظم 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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.4.3]