

مقاله پژوهشی

بررسی ارتباط شاخص های NAO و NINO4 با خشکسالی هواشناسی در ایستگاه های سینوپتیک نواحی شمالی ایران

مریم محمدرضایی^{۱*}، سعید سلطانی^۲، رضا مدرس^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۹

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

* مسول مکاتبات، پست الکترونیکی: mrezaei501@yahoo.com

چکیده

خشکسالی مخاطره اقلیمی است که در پهنه وسیعی از کشور ایران خود را به اشکال متفاوتی نشان می‌دهد. پیوند از دور نیز شاخه‌ای جدید از اقلیم شناسی سینوپتیک است که به شناخت روابط بین عناصر اقلیمی، دورتر از رخدادهای اصلی می‌پردازد. هدف از این مطالعه، بررسی تاثیر شاخص های NAO و NINO4 بر خشکسالی هواشناسی در ایستگاه های سینوپتیک نواحی شمالی ایران است. برای این منظور، ابتدا شاخص بارش استاندارد شده (SPI) محاسبه گردید. سپس با استفاده از نرم افزارهای آماری MINTAB16 و SPSS16، رابطه هم‌زمان و غیرهم‌زمان بین شاخص‌ها با استفاده از آزمون هم‌بستگی اسپیرمن و تابع هم‌بستگی عرضی تعیین و در گام بعدی مدل‌های رگرسیون با در نظر گرفتن حالت هم‌زمان و غیرهم‌زمان محاسبه شد. نتایج نشان داد که بین NAO با SPI در ایستگاه‌های اردبیل و بابلسر در ماه‌های ژانویه (دی)، آوریل (فروردین)، آگوست (مرداد) و دسامبر (آذر) و شاخص NINO4 با SPI در ایستگاه اردبیل در تمام ماه‌های سال به جز اکتبر (مهر) و دسامبر (آذر) رابطه معناداری وجود دارد. همچنین در سری‌های مختلف زمانی SPI، شاخص NINO4 دارای بالاترین و شاخص NAO دارای پایین‌ترین هم‌بستگی با خشکسالی در مناطق مورد مطالعه بودند. در انتها نیز با محاسبه آماره‌های خطا بهترین مدل در ایستگاه گرگان مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: آماره های خطا، رگرسیون، مدلسازی، نوسانات اقیانوسی-اتمسفری، هم بستگی.

Investigation of the Relationship *NINO4* and *NAO* Indices with Meteorological Drought in Synoptic Stations in Northern Iran

M Mohammadrezaei^{1*}, S Soltani², R Modarres³

Received: October 15, 2021

Accepted: February 8, 2022

1-PhD candidate of watershed management, Dept. of Watershed & Rangeland, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources

2-Prof. of Rangeland and Watershed, Dept. of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan.

3-Assoc. Prof. of Rangeland and Watershed, Dept. of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan.

*Corresponding Author, Email: mrezaei501@yahoo.com

Abstract

Background and Objectives

Water shortages in an area and in a certain time period are called drought. This phenomenon is time dependent rather than aridity, and it is quite temporary. Drought in various regions of Iran in arid, semi-arid and even humid areas shows different forms and causes great damage. Drought is calculated using indices such as precipitation and evapotranspiration. The teleconnection is also a new branch of synoptic climatology, which recognizes the relationships between phenomena and climatic elements such as rainfall, drought, and temperature in remote locations. In other words, teleconnection patterns are the occurrence and continuation of large-scale models of circulation abnormalities and air pressure that extend over a wide geographical range. These patterns are also oscillatory behavior of low frequencies. Teleconnection mechanisms are one of the important issues in justifying the behavior of the climate, and its effects do not always appear in the same form everywhere (Khosravi 2004). In worldwide, many studies have been done on climate signals in variety ways. Iran is also affected by rainfall systems, which affects the pattern of rainfall and drought in it.

Methodology

The purpose of this study was to investigate the relationship between *NINO4* and *NAO* indices with meteorological droughts in synoptic stations in the southern part of the Caspian Sea. For this purpose, data of rainfall were obtained monthly from the Meteorological Organization of Iran. Then, SPI was calculated for different time scales of months including 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24, 48. The next step was to obtain the values of the Ocean Atmospheric indices, including *NINO4* and *NAO*, at the monthly scale from the Australian Meteorological Organization. For analysis, the MINITAB16 and SPSS16 softwares were used. In this case, the simultaneous and asynchronous relationship between the time series of SPI and the *NAO* and *NINO4* indices was determined. In this stage, Spearman's correlation test and cross-correlation function were determined. In the next step, regression modeling was done. In this way, regression models for the time series of SPI were calculated taking into the simultaneous and asynchronous state of the *NAO* and *NINO4* indices. The lag times were 1-6, 12, 24, 48 months. Finally, errors for regression models were determined at all stations to select the best model.

Findings

The results showed relationships between NAO with SPI different series at Ardabil and Babolsar stations in January, April, August and December; the NINO4 with SPI at Ardebil station in all months except October and December. Also, the results of regression equations showed that in SPI time series of NINO4 with the highest coefficient, the highest and NAO with lowest coefficient, had the lowest effect on drought in studied areas. In this case, the Ardabil has the highest coefficient in SPI24 months. At the end, the error statistics including RMSE, R, R2, CE were calculated for model reliability and calculation of errors.

Conclusion

In this case, the best model was found at the Gorgan station by calculating the error statistics. The result suggests that these stations are neighbor to the Caspian Sea, which has affected the rainfall and drought pattern of the regions. This can also be the result of the universality of the Enso phenomenon that affects the world's climate. In order to obtain better results, it is recommended to study the precipitation and temperature pattern of these areas with other Ocean Atmospheric indices such as SOI and AO. Regarding the fact that the distant teleconnection indices do not occur in all directions in one way, it is suggested to study rainfall and temperature pattern of other parts of Iran in relation to climate signals. This study is also in line with another study by researchers who through statistical and synoptic methods have investigated the relationship between climatic factors such as rainfall and temperature with climatic signals. Study of other researchers determine that there is a significant relationship between the annual rainfall of Iran and the South Oscillation Index.

Keywords: Correlation, Error statistic, Modeling, Ocean- Atmospheric oscillations, Regression.

مقدمه

دوره نسبتاً طولانی، عدم امکان تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه و وسعت جغرافیایی تاثیر آن می-باشد. مطالعه روند خشکسالی و ارتباط آن با سایر پدیده‌های جوی و در نتیجه پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شاخص‌ها نقش مهمی در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب ایفا می‌کند.

یکی از روش‌های مطالعه تغییرات عناصر اقلیمی به کمک کشف روابط بین پدیده‌ها در مکان‌های دوردست، استفاده از سیگنال‌های اقلیمی می-باشد که می‌توانند برای پیش‌گویی و تخمین تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار گیرند. اعتقاد بر این است که پدیده‌های جوی اقیانوسی مسئول بسیاری از تغییرات اقلیمی هستند که در بخش‌های زیادی از جهان رخ می‌دهند. بنابراین طبق نتایج مطالعه اسچونگارت و ژونک (۲۰۰۷)، شناخت نوسانات

خشکسالی یک پدیده طبیعی است که به کندی آغاز، به آرامی گسترش و به شدت بر همه جوانب فعالیت‌های بشری تأثیر می‌گذارد. پس شناخت کامل، همه جانبه و پایش دقیق آن می‌تواند ابزار مناسبی را برای مقابله و کاهش اثرات زیان بار آن فراهم کند. کشور ایران به دلیل ریزش‌های جوی کم و نامناسب بودن پراکنش‌های زمانی و مکانی بارش در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد و به شدت از این بابت آسیب‌پذیر است (باقرزاده چهره ۲۰۰۵).

خشکسالی خسارات زیادی به زندگی انسان و اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌کند و با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و زلزله تفاوت‌هایی دارد. عمده این تفاوت‌ها در تاثیر تدریجی خشکسالی و

اقیانوسی اتمسفری در جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیمی هر منطقه مفید خواهد بود.

در این راستا محققین بسیاری به مطالعه و بررسی سیگنال‌های اقلیمی در ارتباط با اثرگذاری بر عوامل هواشناسی به خصوص بارش و خشکسالی پرداخته‌اند. مرادی (۲۰۰۴) به بررسی ارتباط بین نوسان اطلس شمالی و بارش و دمای ایران از طریق روش آماری هم‌بستگی پرداخته و بیان می‌کند که بین شاخص نوسان اطلس شمالی با بارش ایران رابطه مستقیم و با دمای ایران رابطه معکوس وجود دارد. ناظم السادات و قاسمی (۲۰۰۴)، در مطالعه ای نشان دادند که وقوع شرایط گرم در دمای دریای خزر عموماً موجب ۲۰ درصد کاهش در بارش فصل زمستان در سواحل دریای خزر و نواحی شمالی استان‌های فارس و خوزستان شده است. در فاز گرم دمای سطح دریا^۱ (SST) زمستانه، تمام ایستگاه‌های مورد بررسی در نواحی ساحلی دریای خزر با افزایش بارش بهاره همراه می‌باشند. بیش‌ترین تأثیر در بندر انزلی و آستارا دیده شد، به نحوی که وقوع فاز گرم دمای دریا موجب ۸۰٪ افزایش در بارش این دو ایستگاه و در مقابل وقوع شرایط سرد SST زمستانه منجر به کاهش بارش بهاره در ناحیه غربی دریای خزر شده است. هم‌چنین مبانی فیزیکی مربوط به تأثیر دمای سطح آب دریای خزر بر بارش نواحی جنوب ایران تشریح گردید. نتایج نشان داد که نوسان‌های دمای سطح آب دریای خزر بیان‌گر پایداری زمانی و مکانی سامانه پرفشار سیبری بوده و بنابراین می‌تواند در پیش‌گویی وضعیت بارش ایران مورد استفاده قرار گیرد. تورکس و ارلات (۲۰۰۵)، طی مطالعه ای بیان

کردند که هم‌بستگی منفی بین تغییرات شاخص نوسان اطلس شمالی و بارش فصل زمستان در ترکیه وجود دارد بطوری‌که فاز منفی و مثبت الگوی شاخص نوسان شمالی^۲ (NAO) به ترتیب توأم با افزایش بارش و کاهش بارش زمستانه و ظهور خشکسالی زمستانی در سراسر ترکیه شده است. سید و همکاران (۲۰۰۶)، به بررسی اثر انسو و NAO بر بارندگی زمستانه جنوب غربی آسیای مرکزی با استفاده از روش‌های هم‌بستگی، آنالیزهای ترکیبی و SVD^۳ پرداخت. نتایج حاصله نشان داد که ناهنجاری‌های مثبت مناطقی مانند شمال پاکستان، افغانستان، تاجیکستان و جنوب ازبکستان معمولاً با فاز منفی نوسان اطلس شمالی و فاز گرم انسو همراه است. یاراحمدی و عزیزی (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای به بررسی تحلیل چند متغیره ارتباط میزان بارش فصلی ایران و شاخص‌های اقلیمی پرداختند. نتایج نشان داد که بین میزان بارش و شاخص‌های اقلیمی مذکور در فصل بهار ارتباط بسیار ضعیفی وجود داشته است. روغنی و همکاران (۲۰۱۰)، به بررسی میان بارش ماهانه و فصلی ایران با شاخص نوسان جنوبی^۴ (SOI) و SST اقیانوس‌های آرام و هند پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص SOI در فصل تابستان به طور غیرهم‌زمان با بارش‌های ماه مهر و پاییزه در نواحی غرب و شمال غرب ایران و سواحل غربی دریای خزر رابطه معنی‌دار و پایداری دارد، به طوری که فازهای النینو (منفی) و لانینا (مثبت) اغلب به ترتیب با کاهش و افزایش بارش در این نواحی همراه هستند. صداقت کردار و فتاحی (۲۰۱۰) نتیجه گرفتند که شاخص انسو در مناطق Nino1+2 و Nino3 پر اهمیت‌ترین سیگنال در بارش ایران هستند.

¹ Sea Surface Temperature

² North Atlantic Oscillation

³ Singular Value Decomposition

⁴ Southern Oscillation Index

بندرعباس، کیش، کنارک می‌باشد. بیات ورکنشی و شیر محمدی (۲۰۱۹) در بررسی اثر خشکسالی و پدیده انسو بر تغییرات جریان آب‌های سطحی در دو استان همدان و زنجان به این نتیجه رسیدند که هم-بستگی معنی‌داری بین این دو پدیده در دو ایستگاه مذکور وجود دارد، ضمن این‌که اثر فاز النینو نیز افزایش دبی ایستگاه‌های هیدرومتری را به دنبال داشت. خانی تملیه و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای تحت عنوان تحلیل دومتغیره ریسک خشکسالی در غرب و شمال‌غرب ایران با استفاده از الگوریتم PSO و توابع مفصل به مطالعه شدت و مدت خشکسالی هواشناسی در هشت ایستگاه غرب و شمال‌غرب کشور پرداختند. نتایج آن‌ها ریسک خشکسالی را در ایستگاه‌های مذکور بر اساس شاخص‌های برگشت‌پذیری، آسیب‌پذیری، اعتمادپذیری و شاخص ریسک خشکسالی مورد ارزیابی قرار داد. بنابراین با توجه به اینکه در مطالعات مشابه قبلی، تاکید بیش‌تر بر روی رابطه بارش و نوسانات اقیانوسی اتمسفری بوده، از یک طرف خشکسالی، پدیده ای است که بر جنبه‌های مختلف زندگی بشر تاثیرگذار است و از طرف دیگر بر اساس اعتقاد یاراحمدی و عزیزی (۲۰۰۷)، بررسی‌ها نشان دهنده ارتباط الگوهای پیوند از دور در مناطقی از جهان با تغییرات کوچک مقیاس اقلیمی مناطق دیگر برای تبیین رفتار اقلیمی است. لذا با در نظر گرفتن تاثیرپذیری الگوهای بارش و به تبع آن خشکسالی مناطق مختلف کشور ایران و مرزهای آبی آن از این نوسانات، هدف از انجام این تحقیق، بررسی و پایش اثر شاخص‌های NAO و NINO4 بر خشکسالی و همچنین امکان مدلسازی ارتباط این شاخص‌ها با وقوع وضعیت‌های مختلف خشکسالی به منظور

مختاری و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی شاخص‌ها و نوسانات خشکسالی در ایران به کمک شاخص‌های نوسانات اقیانوسی پرداختند. در این مطالعه ارتباط بین شاخص نوسانات اقیانوسی NAO و SOI و شاخص‌های خشکسالی احیایی و استاندارد⁵ (RDI) و⁶ (SPI) با استفاده از آزمون همبستگی بررسی شد. نتایج نشان داد نواحی شمال کشور بیش‌ترین میزان همبستگی را نشان دادند که این می‌تواند به دلایلی چون مجاورت آن با سواحل دریای خزر و در نتیجه تاثیرپذیری الگوی بارش و خشکسالی از نوسانات اقیانوسی باشد. هم چنین در مطالعات بسیاری، ویژگی‌های مهم انسو و تاثیر آن پدیده بر بارش‌های پاییزه و زمستانی در بسیاری از نقاط ایران بررسی شده است (احمدی گیوی و پرهیزکار ۲۰۰۸، زارع ایبانه ۲۰۱۳، قویدل رحیمی و همکاران ۲۰۱۳، رحیمی و همکاران ۲۰۱۵، نصیری و همکاران ۲۰۱۵، کریمی و بذرافشان ۲۰۱۵ و ایلدورمی و همکاران ۲۰۱۶). نتیجه کلی این بررسی‌ها، حاکی از تاثیر پدیده انسو بر بارش‌ها و به تبع آن وقوع خشکسالی‌ها در ایران است. نتایج پژوهش شمالی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی ارتباط بین پدیده انسو بر خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در استان‌های ساحلی جنوبی ایران، حاکی از آن است که سیگنال بالاترین همبستگی را در مقیاس ماهانه با ایستگاه کنارک، در مقیاس فصلی با ایستگاه‌های بندرعباس، بندرلنگه، جاسک، کیش، کنارک، بوشهر و بوشهر ساحلی و در مقیاس سالانه با ایستگاه‌های آبادان و بوشهر ساحلی (در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد) دارد. علاوه بر این، از همبستگی پنجره متحرک می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌ترین اثر سیگنال در پاییز و زمستان بر روی ایستگاه‌های بوشهر، بوشهر ساحلی،

⁵ Reclamation Drought Index

⁶ Standardized Precipitation Index

موقعیت ایستگاه‌ها در کشور ایران در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نام و موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده در مطالعه.

داده‌های بارندگی از سازمان هواشناسی کشور ایران و مقادیر شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری از سایت هواشناسی کشور استرالیا اخذ گردید (www.bom.gov.au و www.irimo.ir). نام و اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده نیز در جدول ۱ آورده شده است.

پیش‌بینی این پدیده در نواحی شمالی ایران می‌باشد. علاوه بر این، با توجه به اینکه پژوهش‌ها بر روی بررسی خشکسالی با استفاده از الگوهای پیوند از دور در ایران فقط بر روی چند شاخص و هر کدام در چند ایستگاه محدود انجام شده، لذا در تحقیق حاضر، نقش شاخص دمایی انسو شامل NINO4 و شاخص NAO بر خشکسالی در نواحی جنوبی دریای خزر در ایستگاه‌های اردبیل، بابلسر، رشت و گرگان مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

الف) معرفی منطقه مورد مطالعه

شمال ایران به طور کلی در طبقه بندی‌های اقلیمی دارای اقلیم مدیترانه‌ای است که معمولاً آب و هوای معتدل و مرطوب در آن حاکم است. میزان بارش سالانه به‌طور متوسط ۱۰۰۰ میلی‌متر است که بیش‌ترین آن در قسمت‌های غربی و کم‌ترین آن در نواحی شرقی است. درجه حرارت متوسط سالانه بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سلسیوس است. در این مطالعه، از داده‌های بارندگی ماهانه ۴ ایستگاه سینوپتیک در شمال کشور ایران شامل اردبیل، بابلسر، رشت و گرگان با حداقل ۳۰ سال دوره آماری از بدو تاسیس تا سال ۲۰۱۸ و مقادیر شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری نیز تا سال ۲۰۱۹ استفاده شد. نام و

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های منتخب و داده‌های مورد استفاده در مطالعه.

سال پایان	تعداد سال	سال شروع	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی (شمالی)	استان	نام
۲۰۱۸	۴۳	۱۹۷۶	۱۳۳۵/۲	48°19'	38°13'	اردبیل	اردبیل
۲۰۱۸	۶۸	۱۹۵۱	-۲۱	53°5'	36°51'	مازندران	بابلسر
۲۰۱۸	۶۲	۱۹۵۶	-۸/۶	50°12'	37°19'	گیلان	رشت
۲۰۱۸	۶۶	۱۹۵۳	۰	54°41'	37°30'	گلستان	گرگان

ب) روش انجام پژوهش

در این مطالعه با در نظر گرفتن هدف، ابتدا داده های ماهانه بارش ایستگاههای سینوپتیک منتخب در نواحی شمالی ایران شامل ایستگاههای اردبیل، بابلسر، رشت و گرگان اخذ گردید. پس از مرتب کردن این داده‌ها، به محاسبه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با استفاده از نرم افزار spi-sl-6.exe پرداخته شد. محاسبه شاخص مذکور در سری های زمانی ۱۳،۶،۹،۱۲،۱۵،۱۸،۲۴،۴۸ ماهه انجام گردید.

در ادامه با دریافت داده مربوط به شاخصهای نوسانات اقیانوسی-اتمسفری، اقدام به انجام آزمون همبستگی همزمان بین شاخصهای مذکور در نرم افزار آماری MINITAB16 گردید. شاخصهای مورد استفاده در این تحقیق، شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) و شاخص دمای سطحی بخش مرکزی اقیانوس آرام استوایی (NINO4) مربوط به شاخص انسوی^۷ است. همچنین آزمون همبستگی مورد استفاده در این مطالعه، اسپیرمن بود(رابطه ۵) که ضریب همبستگی معیار برای وجود رابطه معنی دار ۰/۵ در نظر گرفته شد. گام بعدی، بررسی رابطه غیر همزمان و دارای تاخیر بین شاخصهای مذکور در نرم افزار SPSS16 بود. بررسی این رابطه با استفاده از تابع همبستگی عرضی (CCF^۸) در تاخیرهای ۱-۴۸ ماهه انجام شد(رابطه ۶). در نهایت اقدام به مدلسازی این شاخصها با خشکسالی شد، تا پایش و پیش بینی خشکسالی را بتوان سریعتر و راحتتر انجام داد. جهت انجام مدلسازی، از آزمون

رگرسیون چندمتغیره در نرم افزار SPSS16 با حالت های همزمان و تاخیردار ۱،۲،۳،۴،۵،۶،۱۲،۲۴،۴۸ ماهه روش گام به گام^۹ استفاده شد. در نهایت جهت بیان دقت مدل، آماره‌های خطا شامل R^2 ، CE و $RMSE^{10}$ در سایت hydro-test.org محاسبه گردید که در روابط ۱ تا ۴ ارائه شده است:

در تمامی این فرمول ها، Q_i مقادیر مشاهداتی در زمان i ، \hat{Q}_i مقادیر مدلسازی در زمان i ، \bar{Q} میانگین مقادیر مشاهداتی، \bar{Q} میانگین مقادیر مدلسازی و n تعداد کل داده ها می باشد. ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^{11}$)، تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - Q_i)^2}{n}} \quad [۱]$$

ضریب تعیین (R^2 ¹²) فرض می‌کند که هر متغیر مستقل مشاهده شده در مدل، تغییرات موجود در متغیر وابسته را تبیین می کند. بنابراین درصد نشان داده شده توسط ضریب تعیین، با فرض تاثیر همه متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته می باشد.

$$RSqr = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})(\hat{Q}_i - \bar{Q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - \bar{Q})^2}} \right]^2 \quad [۲]$$

هر چه مقدار ضریب کارایی (CE^{13}) بالاتر باشد، معادله به دست آمده بهتر می‌تواند روابط بین دو پارامتر مورد نظر را بیان کند.

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad [۳]$$

⁷ Elnino Sothern Oscillation

⁸ Cross Correlation Function

⁹ Stepwise

¹⁰ Root Mean Square Error

¹¹ Root Mean Squared Error

¹² Coefficient of Determination

¹³ Coefficient of Efficiency

که در آن k : تاخیر زمانی موثر (lag) در سری زمانی حاصل از داده‌های خروجی و n : تعداد داده‌های مشاهداتی در سری‌های زمانی می‌باشد.

ج) شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری مورد استفاده

۱- شاخص NAO

شاخص NAO یک شاخص مهم تغییرپذیری اقلیم بین پرفشار جنب حاره‌ای و کم فشار ایسلند- اطلس شمالی بویژه در طی زمستان در نیم‌کره شمالی می‌باشد. NAO معیاری برای نشان دادن شدت پدیده نوسان اقیانوس اطلس شمالی می‌باشد. شاخص NAO در ابتدا و به سادگی، به عنوان اختلاف فشار بین پرفشار آزر^{۱۴} و کم فشار ایسلند در نظر گرفته شد (واکر ۱۹۲۴). در حال حاضر، شاخص NAO از اختلاف فشار تراز دریا (SLP¹⁵) استاندارد شده بین منطقه آزر و منطقه ایسلند برای فصل زمستان (دسامبر- مارس) محاسبه می‌شود (لامب و پپلر ۱۹۸۷). سری زمانی ماهانه مقادیر NAOi در سایت سازمان تحقیقات اقلیمی انگلیس موجود می‌باشد (www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao).

۲- شاخص NINO4

نوسانات دمایی اقیانوس آرام شامل Nino, Nino 3, Nino1+2, WHWP1, PACWARM3 و 3.4 و Nino4 می‌باشد که از مجموعه شاخص‌های ENSO هستند. این شاخص‌ها با استفاده از دمای متوسط ماهانه سطح آب دریا در یک محدوده مشخص محاسبه می‌شوند. در واقع میانگین دمای چند نقطه در محدوده مشخص محاسبه و سپس نرمال شده و به صورت استاندارد تبدیل می‌شود. در این مطالعه شاخص مورد استفاده شاخص Nino4 که مربوط به دمای سطح اقیانوس آرام

ضریب همبستگی (R) شاخصی است که میزان رابطه بین متغیرها را نشان می‌دهد. ضریب هم- بستگی، میزان تغییر در متغیر y را به ازای هر واحد تغییر در متغیر x نشان می‌دهد. در معادله زیر، n تعداد داده‌ها را نشان می‌دهد.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2] \times [n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \quad [4]$$

الف) ضریب همبستگی اسپیرمن

ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن توسط Spearman (۱۸۶۳-۱۹۴۵) روانشناس و آماردان انگلیسی در سال ۱۹۰۴ معرفی شد. این ضریب میزان همبستگی رابطه میان دو متغیر ترتیبی را نشان می‌دهد و به عبارت دیگر متناظر ناپارامتری ضریب همبستگی پیرسون است. در این ضریب همبستگی به جای استفاده از خود مقادیر متغیرها از رتبه‌های آنان استفاده می‌شود. رابطه مربوط به ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن به صورت زیر تعریف می‌شود (رابطه ۵).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n(n^2-1)} \quad [5]$$

D: تفاوت بین رتبه‌های اعضای متناظر دو گروه مورد بررسی.

n: حجم هر گروه.

ب) تابع همبستگی عرضی

برای اینکه بتوان تاثیر یک سری زمانی را بر روی سری‌های زمانی دیگر به دست آورد، بایستی از تابع هم بستگی عرضی (CCF) استفاده نمود. در این حالت بازه زمانی موثر به صورت زیر به دست می‌آید:

$$-(10 + \sqrt{n}) \leq k \leq (10 + \sqrt{n}) \quad [6]$$

¹⁴ Azor

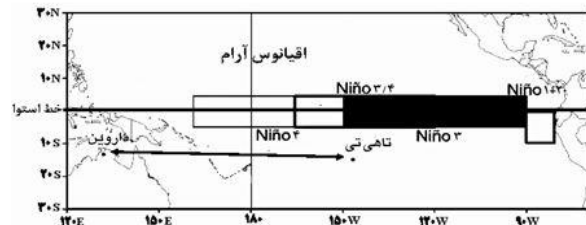
¹⁵ Sea Level Pressure

در این مطالعه برای بررسی روابط همبستگی بین شاخص های SPI و اقیانوسی- اتمسفری از نرم افزار MINITAB16 و آزمون اسپیرمن با تعداد سال برابر استفاده شد. به طور کلی آزمون اسپیرمن در سطوح ۱٪ و ۵٪ انجام شد. در صورتی که معیار تصمیم به ترتیب از ۱٪ و ۵٪ کمتر باشد، نشان دهنده وجود رابطه همبستگی بین دو متغیر است و نشان می دهد که این دو متغیر به یکدیگر وابسته می باشند. در تحلیل نتایج با در نظر گرفتن فرض های مسئله و پذیرفتن $Pvalue < 0.05$ نشان داده شد که در ایستگاه رشت و گرگان میزان ضرایب همبستگی پایین بود و رابطه معناداری بین هیچ کدام از شاخص های اقیانوسی- اتمسفری با شاخص خشکسالی به طور همزمان وجود ندارد. با این وجود در ایستگاه های اردبیل و بابلسر، رابطه معناداری بین شاخص های نام برده وجود داشت که نوع آن مشخص گردید. مقادیر ضرایب هم بستگی NAO در ماه های ژانویه (دی)، آوریل (فروردین)، آگوست (مرداد) و دسامبر (آذر) و NINO4 در تمام ماه های سال به غیر از اکتبر-دسامبر (مهر-آذر) بالا بود.

در ایستگاه بابلسر رابطه به صورت منفی بین شاخص NAO با $SPI_{12,24,48}$ ماهه، در ماه فوریه (بهمن)، در ایستگاه اردبیل رابطه مثبت و منفی بین شاخص NAO در ماه های آگوست (مرداد) و سپتامبر (شهریور) با $SPI_{24,48}$ ماهه و در مورد شاخص NINO4 در ماه های ژانویه (دی)، فوریه (بهمن) و مارس (اسفند) با SPI های ۹،۱۲،۱۵ ماهه وجود دارد.

ب) نتایج تحلیل همبستگی با روابط غیرهمزمان
منظور از حالت غیر همزمان یا دارای تاخیر این است که در هر تاخیری بسته به عدد مربوطه، آن میزان فاصله زمانی ماهانه میان دوره خشکسالی و شاخص های اقیانوسی اتمسفری در نظر گرفته شده است. بنابراین جهت بررسی روابط غیرهمزمان یا

استوایی در بخش مرکزی بوده و از ۵ درجه شمالی تا ۵ درجه جنوبی و بین ۱۵۰ تا ۱۸۰ درجه غربی را در بر می گیرد (شکل ۲).



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی شاخص NINO4 در اقیانوس آرام.

۳- شاخص SPI

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) بر مبنای احتمال تجمعی بارش در یک ایستگاه محاسبه می شود که پس از استخراج داده های بارش در مقیاس ماهانه طی یک دوره آماری (حداقل ۳۰ سال) دوره زمانی مجموع بارش در مقیاس های موردنظر تشکیل می شود. تام (۱۹۵۸) دریافت که توزیع گاما بر دوره های زمانی بارش بهترین برازش را دارد، به همین دلیل مک کی و همکاران (۱۹۹۳) شاخص SPI را بر مبنای توزیع گاما توسعه دادند. از آنجا که تابع گاما برای مقادیر صفر تعریف نشده و توزیع بارش ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، از حالت تابع احتمال تجمعی تغییر یافته گاما که در بر گیرنده مقادیر صفر هم باشد، استفاده می شود. پس از محاسبه تابع تجمعی کل، تغییر شکل هم احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z با میانگین صفر و واریانس یک صورت می گیرد که این متغیر همان مقادیر SPI بوده و یک تبدیل با احتمال یکسان است. Z یا SPI با استفاده از تقریبی بدست می آید که احتمالات تجمعی را به متغیر تصادفی نرمال استاندارد (Z) تبدیل می کند.

نتایج و بحث

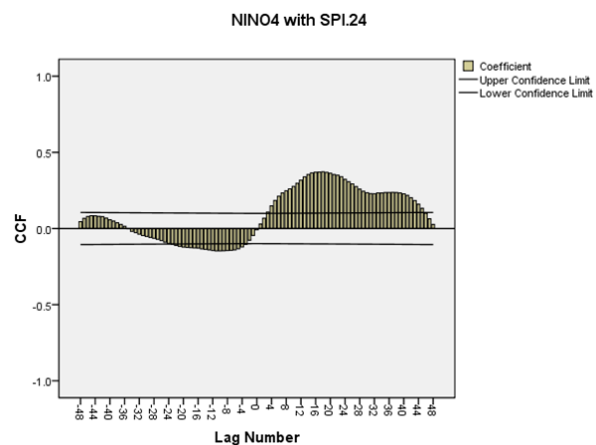
الف) نتایج تحلیل همبستگی با روابط همزمان

ج) نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون

محاسبه رگرسیون خطی چندمتغیره با استفاده از نرم افزار SPSS16 با روش گام به گام انجام شد. در معادلات رگرسیون، متغیر مستقل، مقادیر شاخص-های اقیانوسی- اتمسفری و متغیر وابسته، مقادیر سری‌های مختلف زمانی شاخص خشکسالی SPI در نظر گرفته شد. مقادیر تمام شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری که به عنوان متغیر مستقل بود، به حالت هم‌زمان و دارای زمان‌های تأخیر هم‌زمان و ۱،۲،۳،۴،۵،۶،۱۲،۲۴،۴۸ در معادله آورده شد. برای هر ایستگاه، ۹ معادله طبق سری‌های زمانی SPI به- دست آمد. این معادلات در جداول ۲ تا ۵ برای تمام ایستگاه‌ها آورده شده است.

در سری‌های مختلف زمانی SPI، شاخص NINO4 با بالاترین ضرایب مثبت و منفی متغیرهای شاخص نوسانات اقیانوسی- اتمسفری، دارای بیش‌ترین میزان تأثیر در معادلات و شاخص NAO با پایین‌ترین ضرایب دارای کم‌ترین میزان تأثیر هستند. بالاترین میزان ضریب متغیر اقیانوسی- اتمسفری مربوط به ایستگاه اردبیل در SPI24 می‌باشد.

دارای تأخیر بین شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری و شاخص خشکسالی با استفاده از نرم افزار SPSS16 از روش تابع هم‌بستگی عرضی (CCF) استفاده شد و در این روش روابط با در نظر گرفتن زمان تأخیرهای ۱-۲۴ ماهه در ۴ ایستگاه اردبیل، بابلسر، رشت و گرگان بررسی شد. نتایج نشان داد که رابطه غیرهم‌زمان در شاخص NAO در هیچ کدام از ایستگاه‌ها معنادار نشد. شاخص NINO4 در اردبیل دارای تأخیر مثبت ۱-۴۰ ماهه در ۱۲-۲۴ SPI و ۳۲-۴۸ ماهه در ۴۸ SPI، در بابلسر تأخیر مثبت ۱-۱۲ ماهه در ۱۲-۲۴ SPI، در رشت تأخیر مثبت ۲۴-۳۸ ماهه در ۱۲-۱۸ SPI، در گرگان تأخیر مثبت ۸-۲۰ ماهه در ۱۲-۱۸ SPI و منفی ۳۸-۴۸ ماهه در ۴۸ SPI معنادار شد. نمونه ای از نتایج تحلیل هم-بستگی در شکل ۳ ارائه گردیده است.



شکل ۳- نمونه ای از نتیجه آزمون CCF در ایستگاه

اردبیل بین NINO4 و SPI24.

جدول ۲- معادله رگرسیون برای سری‌های زمانی SPI ایستگاه اردبیل.

متغیر خشکسالی	معادله رگرسیون
SPI1	0.549lag 6 nao + 789lag 12 nino4 - 0.987lag 48 nino4 - 0.022
SPI3	1.354lag0 nino4 - 0.254lag 1nao + 0.687lag 24 nino4 - 0.154
SPI6	0.478lag3 nao + 0.943lag 0 nino4 - 0.235lag0 nao + 0.016
SPI9	0.772lag6 nino4 - 0.275lag12 nao - 0.124lag6 nao - 0.297
SPI12	0.809lag6 nino4 - 0.256lag1 nao + 0.687lag0 nino4 - 0.014
SPI15	0.421lag2 nao - 0.559 lag12 nino4 - 0.123lag24 nao + 0.054
SPI18	0.623lag3nao - 1.035lag48 nino4 + 0.066lag0 nao - 0.125
SPI24	0.257lag1 nao + 1.610lag4 nino4 - 0.322lag0nino4 + 0.261
SPI48	0.547lag6 nino4 - 0.032lag12 nao + 0.749lag48 nino4

جدول ۳- معادله رگرسیون برای سری های زمانی SPI ایستگاه بابلسر.

متغیر خشکسالی	معادله رگرسیون
SPI1	0.874lag24 nino4 -0.258lag12 nao + 0.125lag1 nao - 0.214
SPI3	0.217lag6 nao +0.751lag2 nino4 - 0.368 lag12 nao + 0.018
SPI6	0.129lag12 nao + 0.684lag24 nino4 -0.984lag48 nino4 -0.001
SPI9	0.173lag6 nao -0.547lag1 nino4 + 0.364lag0 nino4 + 0.270
SPI12	0.678lag12 nino4 - 0.251lag3 nao +0.589lag12 nino4 -0.102
SPI15	0.125lag24 nao +0.951lag48 nino4 -0.360lag0 nao- 0.011
SPI18	0.158lag6 nao -0.217lag1 nao +0.715lag3 nino4 -0.041
SPI24	0.358lag4 nino4 -0.105lag24 nao +0.598lag12 nino4 -0.084
SPI48	0.547lag0 nao -0.751lag12 nino4 +0.301lag 48 nao -0.028

جدول ۴ - معادله رگرسیون برای سری های زمانی SPI ایستگاه رشت.

متغیر خشکسالی	معادله رگرسیون
SPI1	-0.204lag2 nao -0.698lag12 nino4 +0.399lag24 nao -0.301
SPI3	0.946lag24nino4 +0.106lag6 nao -0.358lag1 nao +0.064
SPI6	0.358lag48 nino4 -0.158lag2 nao +0.697lag6 nino4 - 0.205
SPI9	0.398lag24 nao -0.647lag12 nino4 +0.102lag3 nao -0.003
SPI12	0.027lag2 nao +0.684lag12 nino4 -0.147lag0 nao +0.028
SPI15	0.398lag1 nao - 0.157lag3 nao +0.578lag12 nino4 - 0.007
SPI18	0.658lag4 nino4 + 1.028lag48 nino4 +0.364lag6 nao - 0.036
SPI24	0.358lag12 nao + 0.748lag0 nino4 -0.204lag2 nao +0.140
SPI48	0.658lag4 nino4 -0.148lag1 nao +0.701lag2 nino4 -0.077

جدول ۵ - معادله رگرسیون برای سری های زمانی SPI ایستگاه گرگان.

متغیر خشکسالی	معادله رگرسیون
SPI1	0.258lag0 nao +0.754lag12 nino4 -0.359lag12 nao +0.015
SPI3	0.418lag4 nao -1.057lag0 nino4 +0.062lag24 nao -0.047
SPI6	0.254lag6 nao +0.591lag48 nino4 - 0.058lag1 nao -0.311
SPI9	0.547lag24 nino4 -0.235lag6 nao +0.699lag48 nino4 -0.001
SPI12	0.587lag0 nino4 -0.322lag4 nao +0.847lag12 nino4 -0.033
SPI15	0.451lag6 nao +0.894lag3 nino4 -0.698lag12 nino4 +0.125
SPI18	0.847lag48 nino4 -0.320lag2 nao + 0.658lag0 nino4 -0.029
SPI24	1.060lag24 nino4 -0.158lag1 nao + 0.574lag6 nino4 -0.047
SPI48	0.568lag6 nino4 -0.084lag12 nao +0.741lag48 nino4 -0.021

د) ارزیابی مدل با بیان آماره های خطا

جهت انتخاب مدل مناسب، بایستی معیارهایی محاسبه گردد تا میزان دقت مدل را نشان دهد. در این مرحله، از مقادیر شاخص خشکسالی هر سری زمانی SPI و مقادیر پیش بینی شده یا محاسباتی آن در معادله رگرسیون استفاده شد. این محاسبات در سایت www.hydrotest.org.uk انجام شد و آماره هایی چون $RMSE$ ، R ، R^2 و CE برای هر سری زمانی از شاخص خشکسالی برای ایستگاهها محاسبه گردید. نتیجه این که هر کدام از سری های زمانی SPI در هر کدام از ایستگاهها که دارای میزان $RMSE$

کمتر و R ، R^2 و CE بالاتر بودند، به عنوان مدل مناسبتر انتخاب می شوند. مقادیر این آماره ها در جداول ۶ تا ۱۴ برای هر سری زمانی شاخص SPI در ایستگاههای مورد مطالعه در ادامه آورده شده است. بررسی جداول مذکور به این صورت انجام می گیرد که معیار بالا بودن مقادیر آماره های خطا عدد ۰/۵ می باشد، با این وجود ایستگاه های با مقادیر بالای ۰/۵ به صورت رابطه با برازش خوب داده ها انتخاب می شوند. همان طور که مشاهده می شود، بالاترین میزان R^2 ، R ، CE به ترتیب در SPI1,3,6 ایستگاه گرگان، در SPI9 ایستگاه بابلسر، در

مقدار R در SPI12 در ایستگاه بابلسر، بالاترین مقدار
 اردبیل، مشاهده شد. SPI12,15,24,48 ایستگاه رشت و در SPI18 ایستگاه
 R^2 در SPI1 در ایستگاه گرگان و کمترین مقدار
 هم چنین در کل ایستگاه های مطالعه شده،
 RMSE در SPI3 در ایستگاه گرگان مشاهده شد که
 بالاترین CE در SPI1 در ایستگاه گرگان، بالاترین
 این نشان از برازش خوب مدل است.

جدول ۶- مقادیر آماره های خطا مدل رگرسیون ایستگاه های مورد مطالعه برای SPI1.

ایستگاه	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R^2)	ضریب هم بستگی (R)	ضریب کارایی (CE)
اردبیل	۰/۶۵۸۷	۰/۳۶۵۸	۰/۵۴۷۸	۰/۳۶۵۸
بابلسر	۰/۷۸۴۵	۰/۳۰۵۶	۰/۲۶۵۹	۰/۳۰۵۳
رشت	۰/۹۸۴۷	۰/۲۱۵۴	۰/۳۵۸۴	۰/۲۱۵۰
گرگان	۰/۶۰۲۵	۰/۵۴۷۸	۰/۵۸۹۷	۰/۵۴۷۸

جدول ۷- مقادیر آماره های خطا مدل رگرسیون ایستگاه های مورد مطالعه برای SPI3.

ایستگاه	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R^2)	ضریب هم بستگی (R)	ضریب کارایی (CE)
اردبیل	۰/۵۷۸۹	۰/۴۱۰۲	۰/۴۷۸۵	۰/۴۱۰۲
بابلسر	۰/۶۵۸۷	۰/۳۶۵۷	۰/۴۱۲۴	۰/۳۶۵۸
رشت	۰/۸۷۴۵	۰/۳۵۴۷	۰/۳۹۲۲	۰/۳۵۴۷
گرگان	۰/۴۰۲۲	۰/۴۹۹۸	۰/۵۱۴۰	۰/۴۹۹۸

جدول ۸- مقادیر آماره های خطا مدل رگرسیون ایستگاه های مورد مطالعه برای SPI6.

ایستگاه	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R^2)	ضریب هم بستگی (R)	ضریب کارایی (CE)
اردبیل	۰/۵۲۲۴	۰/۳۶۸۴	۰/۴۱۲۸	۰/۳۶۸۴
بابلسر	۰/۶۳۸۷	۰/۲۲۰۱	۰/۳۰۶۹	۰/۲۲۰۱
رشت	۰/۸۱۴۹	۰/۳۴۸۷	۰/۴۲۶۷	۰/۳۴۸۷
گرگان	۰/۴۹۰۱	۰/۵۱۰۰	۰/۵۲۴۹	۰/۵۱۰۰

جدول ۹- مقادیر آماره های خطا مدل رگرسیون ایستگاه های مورد مطالعه برای SPI9.

ایستگاه	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R^2)	ضریب هم بستگی (R)	ضریب کارایی (CE)
اردبیل	۰/۶۲۵۸	۰/۴۲۸۷	۰/۴۶۹۸	۰/۴۲۸۷
بابلسر	۰/۴۷۵۲	۰/۴۸۹۰	۰/۴۹۸۱	۰/۴۸۹۰
رشت	۰/۷۸۵۸	۰/۳۵۹۴	۰/۳۶۲۵	۰/۳۵۹۴
گرگان	۰/۵۱۶۹	۰/۴۵۶۸	۰/۴۶۰۰	۰/۴۵۶۸

جدول ۱۰- مقادیر آماره‌های خطا مدل رگرسیون ایستگاه‌های مورد مطالعه برای SPI12.

ایستگاه	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R ²)	ضریب هم بستگی (R)	ضریب کارایی (CE)
اردبیل	۰/۷۵۴۸	۰/۳۶۹۸	۰/۳۷۸۴	۰/۳۶۹۸
بابلسر	۰/۵۴۶۱	۰/۴۱۰۲	۰/۶۹۷۳	۰/۴۱۰۲
رشت	۰/۶۵۸۷	۰/۵۲۵۹	۰/۵۳۲۷	۰/۵۲۵۹
گرگان	۰/۵۲۰۰	۰/۴۹۵۷	۰/۵۱۴۸	۰/۴۹۵۷

جدول ۱۱- مقادیر آماره‌های خطا مدل رگرسیون ایستگاه‌های مورد مطالعه برای SPI15.

ایستگاه	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R ²)	ضریب هم بستگی (R)	ضریب کارایی (CE)
اردبیل	۰/۷۲۲۰	۰/۴۲۵۹	۰/۴۴۸۷	۰/۴۲۵۹
بابلسر	۰/۶۲۴۱	۰/۳۳۹۸	۰/۳۶۹۰	۰/۳۳۹۸
رشت	۰/۵۴۷۹	۰/۴۸۶۱	۰/۵۱۲۲	۰/۴۸۶۱
گرگان	۰/۶۰۱۸	۰/۳۰۵۸	۰/۵۰۶۷	۰/۳۰۵۹

جدول ۱۲- مقادیر آماره‌های خطا مدل رگرسیون ایستگاه‌های مورد مطالعه برای SPI18.

ایستگاه	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R ²)	ضریب هم بستگی (R)	ضریب کارایی (CE)
اردبیل	۰/۶۹۵۲	۰/۵۱۸۷	۰/۵۲۴۷	۰/۵۱۸۷
بابلسر	۰/۵۹۸۴	۰/۴۹۱۵	۰/۴۹۹۸	۰/۴۹۱۵
رشت	۰/۴۱۸۷	۰/۳۶۲۸	۰/۳۸۱۹	۰/۳۶۲۸
گرگان	۰/۶۰۳۶	۰/۳۹۲۶	۰/۴۲۱۷	۰/۳۹۲۷

جدول ۱۳- مقادیر آماره‌های خطا مدل رگرسیون ایستگاه‌های مورد مطالعه برای SPI24.

ایستگاه	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R ²)	ضریب هم بستگی (R)	ضریب کارایی (CE)
اردبیل	۰/۶۱۰۵	۰/۳۲۶۸	۰/۳۳۵۹	۰/۳۲۶۸
بابلسر	۰/۵۷۸۴	۰/۴۱۲۲	۰/۴۳۷۰	۰/۴۱۲۲
رشت	۰/۵۰۴۷	۰/۴۹۸۰	۰/۴۹۸۹	۰/۴۹۸۰
گرگان	۰/۶۰۴۷	۰/۴۵۶۶	۰/۴۶۰۰	۰/۴۵۶۶

جدول ۱۴- مقادیر آماره‌های خطا مدل رگرسیون ایستگاه‌های مورد مطالعه برای SPI48.

ایستگاه	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	ضریب تعیین (R ²)	ضریب هم بستگی (R)	ضریب کارایی (CE)
اردبیل	۰/۵۹۷۱	۰/۳۰۲۵	۰/۳۲۷۸	۰/۳۰۲۵
بابلسر	۰/۵۴۶۷	۰/۴۰۲۱	۰/۴۳۹۸	۰/۴۰۲۱
رشت	۰/۵۱۹۹	۰/۴۹۶۷	۰/۵۱۴۷	۰/۴۹۶۷
گرگان	۰/۵۳۶۲	۰/۴۰۲۳	۰/۴۲۸۰	۰/۴۰۲۳

نتیجه گیری کلی

بررسی رابطه همزمان با استفاده از آزمون همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌های SPI و اقیانوسی- اتمسفری نشان داد که NAO با SPI در ایستگاه‌های اردبیل و بابلسر در ماه‌های ژانویه (دی)، آوریل (فروردین)، آگوست (مرداد) و دسامبر (آذر) و شاخص NINO4 با SPI در ایستگاه اردبیل در تمام ماه‌های سال به جز اکتبر (مهر) و دسامبر (آذر) رابطه معناداری دارد. همچنین نتایج مدلسازی با استفاده از معادلات رگرسیون چندمتغیره نشان داد که در سری‌های زمانی SPI شاخص NINO4 دارای بالاترین میزان تاثیر و شاخص NAO دارای پایین‌ترین میزان تاثیر روی خشکسالی در مناطق مورد مطالعه بودند. این میزان تاثیر در حالت هم-زمان و تاخیرهای ۴۸ و ۲۴ و ۱۲ ماهه مشاهده شد.

در رابطه تاخیری یا غیرهمزمان، با افزایش مقیاس زمانی SPI، شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری با تاخیر بیشتر موثرترند. این نشان می‌دهد که این شاخص‌ها اولاً با تاخیر روی سیستم بارشی ایران موثرند و ثانياً رابطه مستقیم بین مقیاس زمانی خشکسالی و تاخیر در این شاخص‌ها وجود دارد. هم‌چنین بررسی رابطه‌های همزمان و غیرهمزمان بین شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری استفاده شده و SPI این نتیجه را می‌دهد که در حالت غیرهمزمان تاثیر بالاتری از شاخص‌های مذکور در ایستگاه‌های مورد مطالعه داریم که این می‌تواند نشان دهنده تاثیر بیشتر حالت‌های تاخیر دار این شاخص‌ها در رابطه با خشکسالی باشد.

در انتها نیز با محاسبه آماره‌های خطا بهترین مدل در ایستگاه گرگان دیده شد. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر این فرضیه است که در شمال، این ایستگاه‌ها در مجاورت سواحل دریای خزر هستند و عامل رطوبت هم تحت تاثیر عوامل محلی و عوامل بیرونی

دارای تغییرات زمانی- مکانی است. الگوهای بارش و خشکسالی این ایستگاه‌ها می‌تواند تحت تاثیر جهانی شاخص نوسانات اقیانوسی- اتمسفری و همچنین انسو باشد.

یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند به نوعی تأییدی بر یافته‌های محققان دیگر در گذشته باشد. در راستای مطالعه حاضر، نتایج مطالعه رود و بارت (۱۹۹۷) نشان داد که مقیاس زمانی و مکانی اثر دو پدیده نوسان اطلس شمالی و النیو نوسان جنوبی در میزان باران شبه جزیره ایبری متفاوت است. محدوده تاثیر پدیده نوسان اطلس شمالی از جنوب غرب تا شمال غرب در زمستان و محدوده تاثیر انسو تمامی شرق از جنوب تا شمال در بهار و پاییز است. در راستای پژوهش ما، خوش اخلاق و همکاران (۲۰۰۷)، به بررسی تاثیر نوسانات اطلس شمالی بر رژیم بارش و دمای سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از آزمون همبستگی پرداختند. نتایج نشان داد که فاز مثبت NAO با افزایش بارش و کاهش دما و فاز منفی آن با کاهش بارش و افزایش نسبی دما همراه است. همچنین روغنی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که NAO در ماه دسامبر (آذر) با تاخیر زمانی ۶ ماهه با بارندگی ماه ژانویه سواحل دریای خزر (شمال) ایستگاه‌های بندر انزلی، رشت، رامسر و نوشهر هم بستگی منفی و معنی داری دارد. همچنین شیوخی و موسوی بایگی (۲۰۱۹) اثر ۲۵ شاخص پیوند از دور بر بارش استان مازندران را بررسی نمودند که به لحاظ روش به کار رفته مشابه مقاله حاضر است. نتایج آن‌ها نشان داد ضریب همبستگی بین سیگنال-ها و بارش نشان داد که همبستگی دارای تاخیر، مقادیر بیشتری نسبت به بررسی همزمان داشت به-این صورت که همبستگی بین شاخص‌های اقلیمی و بارش ماهانه با یک گام تاخیر نشان داد که در ایستگاه بابلسر، شاخص‌های AMM، Nino1+2،

این مناطق باشد. پیشنهاد می‌شود برای کسب نتایج جامع، تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک بالاتر برده شود، همچنین رابطه بین شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری با سیلاب در این نواحی مطالعه شود.

Nino3, Nino4, TNA و WHWP دارای همبستگی معنی‌دار با بارش است. بنابراین وقوع خشکسالی در ایران در ارتباط با شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری و خصوصاً شاخص‌های مربوط به انسو (NINO) می‌تواند به- دلیل تاثیر جهانی انسو و برهم‌کنش پیچیده این اثر با دیگر پدیده‌های بزرگ مقیاس جوی- اقیانوسی در

منابع مورد استفاده

- Ahmadigivi F and Parhizgar D, 2008. Investigating the effect of Enso on the distribution of seasonal rainfall in Iran in the period 1971-2000. *Journal of Earth and Space Physics* 35 (4): 25-37 (In Persian with English abstract).
- Baqerzadehchereh K, 2004. Evaluation of meteorological signals in drought prediction using artificial neural networks in Tehran province. Master Thesis. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University (In Persian with English abstract).
- Bayatvarkashi M and Shirmohammadi N, 2019. Investigation of the effect of drought and Enso on changes in surface water flow in Hamedan and Zanjan provinces. *Earth Knowledge Research* 10 (40): 1-17 (In Persian with English abstract).
- Ghavidelrahimi Y, Farajzadeh M and Kakapour S, 2014. Investigation of the effect of teleconnection pattern from the North-Caspian Sea on the oscillations of autumn rainfall in the western and northwestern regions of Iran. *Journal of Geography and Planning* 18 (49): 217-230 (In Persian with English abstract).
- Ildromi A, Nouri H and Bayatvarkashi M, 2017. Investigating the relationship between Enso and the occurrence of drought in Iran. *Journal of Soil and Water Science* 27 (2): 143-156 (In Persian with English abstract).
- Karimi A and Bazrafshan A, 2016. Investigating the effect of Enso on droughts and wetlands in Hormozgan province. First International Conference on Water, Environment and Sustainable Development. September 27-29. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil (In Persian with English abstract).
- Khanitemeliyeh Z, Rezaei H and Mirabbasi Najafabadi R, 2020. Bivariate analysis of drought risk in west and northwest of Iran using PSO algorithm and copula functions. *Journal of Water and Soil Conservation* 27(3): 125-144 (In Persian with English abstract).
- Khoshakhlaq F, Ghanbari N and Masoom Poursamakoush J, 2008. Study of the effects of North Atlantic oscillation on precipitation regime and temperature of the southern shores of the Caspian Sea. *Quarterly Journal of Geographical Research* 66: 70-57 (In Persian with English abstract).
- Lamb PJ and Pepler RA, 1987. North Atlantic Oscillation: Concept and an application. *Bulletin of the American Meteorological Society* 68: 1218 – 1225.
- Mckee TB, Doesken NJ and Kleist J, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Pp.176-184. 8th conference on Applied Climatology. January 17- 22, Anaheim, California.
- Modarres R, 2006. Regional precipitation climates of Iran. *Journal of Hydrology* 45: 13-27.
- Mokhtari A, Islamian SS and Mousavi SF, 2011. Study of drought indices and fluctuations in Iran with the help of ocean fluctuation indices. Master Thesis in Irrigation and Drainage. School of Agriculture. Isfahan University of Technology (In Persian with English abstract).
- Moradi H, 2004. North Atlantic Oscillation Index and its impact on Iran's climate. *Journal of Geographical Research* 48: 30-17 (In Persian with English abstract).
- Nasiri B, Naserzadeh MH, Toulabi Nejad M and Zarei Choghablaki Z, 2016. Effect of Enso Atmospheric-Large-Scale pattern on discharge of Kashkanrod. *Journal of Hydrogeomorphology* 2(5): 141-166 (In Persian with English abstract).

- NazemoSadat MJ and Ghasemi A, 2004. The effect of water temperature fluctuations in the Caspian Sea on winter and spring rainfall in the northwestern regions of southwestern Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources* 4: 14-17 (In Persian with English abstract).
- Rahimi D, Abdullahi Kh and Hashemi Nasab S, 2016. Identification of teleconnection pattern on precipitation in Karun basin. *Journal of Eco Hydrology* 3 (1): 95-105 (In Persian with English abstract).
- Roughani R, Sultani S and bashari H, 2010. Study of rainfall changes in Iran with the help of atmospheric oceanic indicators. Master Thesis in Watershed Management. Faculty of Natural Resources. Isfahan University of Technology (In Persian with English abstract).
- Samali R, Bazrafshan O, Biniiaz M and Musliemi H, 2018. Review the relationship between Enso on droughts and wetlands in the southern coastal provinces of Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 1(13): 217-231.
- Sedaghat Kerdar A and Fatahi E, 2008. Drought precautionary indicators in Iran. *Journal of Geography and Development* (11): 76-59 (In Persian with English abstract).
- Schongart J and Junk WJ, 2007. Forecasting the flood-pulse in central Amazonia by ENSO indices. *Journal of Hydrology* 335:124-132.
- Shoyokhi Soghanloo S, 2019. The effect of remote linking patterns (large-scale climatic signals) on rainfall in Mazandaran province, The Third National Conference on Water Resources Management in Coastal Areas. October 10 .Sari (In Persian with English abstract).
- Syed FS, Giorgi F, Pal JS and King MP, 2006. Effect of remote forcing on the winter precipitation of central Southwest Asia part1: observation. *Theoretical and Applied Climatology* 86:147-160.
- Thom HCS, 1958. A note on gamma distribution. *Monthly Weather Review* 86: 117-122.
- Turkes M and Erlat E, 2005. Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2001. *Theoretical and Applied Climatology* 78: 33-46.
- Rodo X and Baert E, 1997. Variation in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: Relationships with the North Atlantic Oscillation an the El Nino- SouthernOscillation. *Climate Dynamics* 13:275-28.
- Walker GT, 1923. Correlation in seasonal variations of weather, part VIII: A preliminary study of world weather. *Memoirs of the India Meteorological Department* 24(4): 75-131.
- Yar Ahmadi D and Azizi Q, 2007. Multivariate analysis of the relationship between seasonal rainfall in Iran and climatic indicators. *Journal of Geographical Research* 62: 174-161(In Persian with English abstract).
- Zareabyaneh H, 2014. The effect of Enso on the variability of surface water resources in Hamadan province. *Journal of Soil and Water Science* 24 (4): 153-167(In Persian with English abstract).