

Effect of Enso indices on meteorological drought in the midwest of Iran

Maryam Mohammadrezaei^{1*}, Saeid Soltani², Reza Modarres³

¹ Ph.D. Candidate, Department of Watershed Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, Iran

² Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Natural resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

³ Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Natural resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Abstract

Introduction

Drought occurs due to lack of humidity and deficiency in precipitation amount. Therefore, it is important to recognize and investigate the effective factors on precipitation deficiency and consequently drought occurrence. Enso is a phenomenon of climatic teleconnection that can affect weather in different regions of the world. Enso is one of the important large-scale phenomena affecting the temporal and spatial distribution of rainfall and consequently the drought that occurs in the tropical Pacific. The objective of this research was to investigate the effect of Enso on meteorological drought in the midwest of Iran.

Materials and Methods

First, precipitation data of synoptic stations in 14 locations were obtained in the west of Iran. Then, SPI values were calculated at different time scales of 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24, and 48 month using the spi-sl-6.exe software package. In the next step, using the data of Enso including Nino1+2, Nino3, Nino3.4, and Nino4, the Spearman correlation test was simultaneously performed in the Minitab16 program. Then, the asynchronous relationship was investigated with the cross-correlation function between Enso and SPI in time series of months 1 to 48 in SPSS16. Finally, linear regression modeling was performed. Multivariate regression test with simultaneous and delayed states of 1-6, 12, 24, and 48 months was used based on the stepwise method.

Results and Discussion

Results are presented in three sections: simultaneous, asynchronous relations, and regression equations. Results showed a high correlation between seasons of autumn and spring with indices of Nino4, Nino3.4, Nino3, and Nino1+2. In addition, the asynchronous relationship was better than the simultaneous mode. Better significance in the asynchronous mode is due to the effect of Enso on weather and drought in Iran. Considering the p-value <0.05, it was shown that the highest significance was observed between Enso indices and drought index in Bushehr station. In addition, in a number of stations, including Arak, Urmia, Shiraz and Hamedan, no significant relationship was observed in their simultaneous state. The regression analysis showed that Nino4, Nino3.4, Nino3 and Nino1+2 indices had the highest effect in different time series of SPI with the highest positive and negative coefficients of atmospheric oceanic index in all stations. The results showed that high correlation between Enso and SPI can affect predicting climatic conditions, drought, floods, planning, and crisis management in watershed scale.

Conclusion

Enso can be used as predictors of long-term climatic factors such as precipitation and temperature. Enso phenomenon in Nino1 + 2, Nino3, Nino3.4 and Nino4 regions can be used as predictors of climatic factors such as rainfall for long-term forecast of precipitation and finally drought and wet season in different parts due to the universal Enso phenomenon. It seems that due to the mechanism of the Enso phenomenon and its relationship with natural disasters, further studies can be effective in predicting climatic conditions, drought and floods in Iran which ultimately can be used in predicting hydro-climatic events.

Keywords: Correlation, Drought, Enso, Regression Modeling, Western Iran.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: Mrezaei501@yahoo.com

Citation: Mohammadrezaei, M., Soltani, S., & Modarres, R. (2022). Effect of Enso indices on meteorological drought in the midwest of Iran. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(2), 13-27.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.9632.1053

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.2.2.9

Received: 05 October 2021, Received in revised form: 17 November 2021, Accepted: 17 November 2021, Published online: 11 April 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2022, Vol.2, No. 2, pp. 13-27

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





تأثیر شاخص های دمایی انسو بر خشکسالی هواشناسی در نیمه غربی ایران

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

^۱ دانشجوی دکتری، گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۲ استاد، گروه منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

^۳ استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

خشکسالی پدیده ای اقلیمی است که در اثر کمبود رطوبت ناشی از کاهش بارندگی در مناطق مختلف اتفاق می افتد. لذا شناخت و بررسی عوامل مهم مؤثر بر کمبود بارش و به تبع آن ایجاد خشکسالی دارای اهمیت ویژه ای است. انسو جزو پدیده های دور پیوند اقلیمی است که می تواند آب و هوای مناطق مختلف سطح کره زمین را تحت الشعاع قرار دهد و بر خشکسالی نیز تأثیرگذار باشد. هدف از انجام مطالعه حاضر، بررسی تأثیر شاخص های دمایی انسو بر خشکسالی هواشناسی در ایستگاه های سینوپتیک در نیمه غربی ایران است. در این راستا برای دستیابی به هدف مورد نظر، ابتدا شاخص SPI در مقیاس های زمانی مختلف محاسبه شد. در مرحله بعد، با استفاده از نرم افزارهای آماری، رابطه همبستگی هم زمان و غیرهم زمان بین شاخص های دمایی انسو با SPI و سپس مدل سازی رگرسیون بررسی شد. تحلیل نتایج نشان داد که رابطه با معناداری بیش تر در فصول پاییز و بهار و به ترتیب در شاخص های $Nino1+2$ و $Nino3$ ، $Nino3.4$ ، $Nino4$ وجود دارد که در حالت غیرهم زمان بهتر از حالت هم زمان بود. با بررسی معادلات رگرسیون و روابط همبستگی بر مبنای وجود همبستگی سطوح معناداری ۱ درصد و ۵ درصد در بین شاخص های مذکور مشخص شد که معناداری بهتر رابطه غیرهم زمان نسبت به هم زمان حاکی از تأثیر حالت غیرهم زمان این شاخص بر آب و هوا و به تبع آن، خشکسالی در ایران است. لذا، نتایج حاصل نشان دهنده همبستگی بالای این شاخص ها با خشکسالی است که می تواند در پیش بینی شرایط اقلیمی، خشکسالی، بروز سیلاب، برنامه ریزی و مدیریت بحران برای آن در حوزه های آبخیز کشور مؤثر باشد.

واژه های کلیدی: انسو، خشکسالی، غرب ایران، مدل سازی رگرسیون، همبستگی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Mrezaei501@yahoo.com

استناد: محمدرضایی، م.، سلطانی، س.، و مدرس، ر. (۱۴۰۱). تأثیر شاخص های دمایی انسو بر خشکسالی هواشناسی در نیمه غربی ایران. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۲)، ۱۳-۲۷.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.9632.1053

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.2.2.9

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲



مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۲، صفحه ۱۳ تا ۲۷

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

۱- مقدمه

خشکسالی یکی از پدیده‌های هواشناسی شرایط اقلیمی کشورهای واقع در عرض‌های جنب حاره‌ای هم‌چون کشور ایران است که به‌طور دوره‌ای در اثر کمبود رطوبت ناشی از کاهش میزان بارندگی به وقوع می‌پیوندد. این پدیده اختلالی موقتی است و با خشکی تفاوت دارد، زیرا خشکی فقط محدود به مناطقی با بارندگی اندک است و حالت دائمی از اقلیم یک منطقه تعریف می‌شود. پدیده خشکسالی در صورت تداوم، خسارات بسیار گسترده‌ای را در جنبه‌های کشاورزی، هیدرولوژیک و اجتماعی-اقتصادی به‌جای خواهد گذاشت و گاه اثرات غیرمستقیم و مضر آن تا حدی است که می‌تواند به بحران جهانی تبدیل شود (Kaviani, 2001). درجه‌بندی برخی حوادث طبیعی با توجه به ویژگی‌ها و اثرات آن‌ها نشان می‌دهد که خشکسالی در مقایسه با سایر حوادث طبیعی مانند سیلاب، زلزله و طوفان‌های حاره‌ای از نظر درجه، شدت، مدت، مجموع فضای تحت پوشش، خسارات جانی و مالی و اثرات شدید دراز مدت در بالاترین درجه از نظر بزرگی و اهمیت قرار دارد. به دلیل ماهیت خشکسالی و بطئی بودن شروع و خاتمه آن، تشخیص و ارزیابی آن مشکل است (Mosaedi et al., 2009). سیگنال‌های هواشناسی که در اثر تغییرات میدان‌های فشار در مناطق مختلف زمین شناخته شده‌اند، می‌توانند با تغییر توزیع فشار در سطح زمین، الگوهای بارش و به‌ویژه دمای سطح زمین را تعیین کنند (Moetamedi et al., 2007). بنابراین بررسی‌ها نشان‌دهنده ارتباط الگوهای پیوند از دور در مناطقی از جهان با تغییرات کوچک مقیاس اقلیمی مناطق دیگر برای تبیین رفتار اقلیمی است (Yarahmadi and Azizi, 2008).

انسو^۱ از پدیده‌های مهم بزرگ‌مقیاس اقلیمی مؤثر در توزیع زمانی و مکانی بارش و به تبع آن خشکسالی است که در اقیانوس آرام حاره‌ای به وقوع می‌پیوندد. در دو فاز گرم ال‌نینو^۲ و فاز سرد لانینا^۳، انسو تغییرات شدیدی در پارامترهای جوی اقیانوسی در غرب و شرق این اقیانوس صورت می‌گیرد. از جمله این تغییرات می‌توان به تغییرات فشار سطحی و باد سطحی، مناطق صعودی و نزولی هوا، آلودگی، ابرناکی و بارش در جو و همچنین تغییرات دمای سطح آب، ارتفاع سطح آب و عمق ترموکلاइन در اقیانوس اشاره کرد (Delitala et al., 2000). ویژگی‌های مهم انسو و تأثیر آن پدیده بر بارندگی‌های پاییزه و زمستانی در بسیاری از نقاط ایران بررسی شده است. نتیجه کلی این بررسی‌ها، حاکی از تأثیر پدیده انسو بر بارندگی‌ها و به تبع آن خشکسالی‌ها در ایران

است (Ahmadi-Givi et al., 2010; Zare Abianeh, 2015; Ghavidel Rahimi et al., 2014; Rahimi et al., 2016; Nasiri et al., 2016; Karimi and Bazrafshan, 2016; Ildromi et al., 2017).

الگوهای پیوند از دور، معیارها یا سنجه‌هایی هستند که به‌وسیله آن‌ها، تغییرات زمانی شدت و تغییرات مکانی الگوهای گردش جوی اقیانوسی زمین یا بخش‌هایی از آن اندازه‌گیری می‌شود (Alijani, 2011). علاوه بر این، Rajagopalan et al. (2000) نشان دادند که شاخص انسو نقش بسیار زیادی بر خشکسالی‌های تابستانی قرن بیستم ایالات متحده دارد. مطالعات Azizi (2000) بیان‌گر ارتباط نسبتاً قوی بین بارش سالانه ایران و ال‌نینو است. Hughes and Saunders (2001) به بررسی دما و بارندگی‌های ماهانه منطقه اروپا پرداختند و مشخص کردند که هم‌بستگی بارندگی فصلی (مارس، آوریل و می) با Nino3.4 فصلی (دسامبر، ژانویه و فوریه) از هم‌بستگی ماهانه و سالانه بیش‌تر است.

Lyon and Barnston (2005) نشان دادند که ارتباط بسیار زیاد بین بارش‌های فرین و خشکسالی‌های مناطق حاره‌ای با پدیده انسو وجود دارد. در این تحقیق، فاز گرم انسو (ال‌نینو) به کاهش بارش، خشکسالی و گسترش آن منجر می‌شود و برای فاز سرد آن (لانینا) برعکس است. Khorshiddost and Ghavidel (2006) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر انسو بر بارش آذربایجان شرقی پرداختند. آن‌ها نشان دادند که در این استان در فصل پاییز از غرب به شرق و از شمال به جنوب بر میزان تأثیرپذیری پدیده انسو افزوده می‌شود. در این مناطق، بارش هنگام ال‌نینو افزایش و هنگام لانینا کاهش می‌یابد. Lim and Kim (2007) ضمن تأیید تأثیرپذیری توزیع زمانی و مکانی بارش از فازهای انسو، دیگر عوامل جوی را نیز در نوسانات بارش مؤثر دانستند. Rezaei Sadr and Behnia (2009) در بررسی رابطه پدیده انسو و خشکسالی در جنوب ایران نشان دادند که در فصل پاییز در کلیه ایستگاه‌های تحت مطالعه وقوع فاز سرد با کاهش بارندگی و وقوع فاز گرم با افزایش بارندگی هم‌زمان شده است. نتایج Fatehi Marj and Mahdian (2009) نشان داد که با به‌کارگیری مدل شبکه عصبی و نمایی ENSO می‌توان بارش پاییزه حوضه دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران را یک فصل زودتر پیش‌بینی کرد. نتایج پژوهش Samali et al. (2019) 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 معناداری ۹۹

¹ ENSO (Elnino Southern Oscillation)

² Elnino

³ Lanina

ایستگاه‌های مذکور پرداخته است و نتیجه آن در هر دو حالت هم‌زمان و غیرهم‌زمان ارائه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در مطالعه حاضر، منطقه مورد مطالعه، نیمه غربی کشور ایران است. این منطقه در ایران تحت تأثیر اکثر سیستم‌های باران‌زا و توده‌های آب و هوایی و تنوع ناهمواری‌ها و شرایط بارشی متفاوت است که در بین عرض‌های جغرافیایی 29° و 58° دقیقه تا 39° و 49° دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 44° و 3° دقیقه تا 50° و 39° دقیقه شرقی قرار دارد. به دلیل شرایط جغرافیایی، توپوگرافی و اقلیمی منطقه، تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران بسیار زیاد بوده و در بسیاری از نقاط آن، بارش سالانه خیلی کمتر از تبخیر و تعرق بالقوه است. بر اساس مطالعات طرح اطلس اقلیمی ایران در دوره زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ در حالی که بیش از دو سوم از خاک کشور دارای میانگین بارش سالانه کمتر از 300 میلی‌متر است، مناطقی از زاگرس و دامنه‌های شمالی البرز و دشت کویر و لوت به ترتیب بارش‌های بیش از 1000 میلی‌متر و کمتر از 50 میلی‌متر را تجربه می‌کنند (Azizi, 2000). منطقه مورد مطالعه شامل ایستگاه‌های سینوپتیک اراک، اردبیل، ارومیه، تبریز، سنندج، کرمانشاه، همدان، زنجان، شهرکرد، دزفول، اهواز، آبادان، بوشهر و شیراز است (شکل ۱). در پژوهش حاضر از داده‌های بارندگی ماهانه ۱۴ ایستگاه سینوپتیک ذکر شده در غرب کشور پس از آزمون همگنی داده‌ها با روش دنباله‌ای (توالی) برای هر ایستگاه و اطمینان از همگن بودن آن‌ها، با حداقل ۳۰ سال دوره آماری از بدو تأسیس با اخذ از سازمان هواشناسی کشور استفاده شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

۲-۲- شاخص‌های مورد استفاده

۲-۲-۱- شاخص بارش استاندارد^۳

شاخص بارش استاندارد بر مبنای احتمال تجمعی بارندگی در یک ایستگاه محاسبه می‌شود که پس از استخراج داده‌های بارندگی در مقیاس ماهانه طی یک دوره آماری (حداقل ۳۰ سال) دوره زمانی مجموع بارندگی در مقیاس‌های مورد نظر تشکیل می‌شود که بایستی این سری زمانی با یک توزیع آماری مناسب برازش داده شود. Thom (1958) دریافت که توزیع گاما برای سری‌های زمانی بارش کلیماتولوژی بهترین برازش را دارد. به همین جهت Mckee et al. (1993) شاخص SPI را بر مبنای توزیع گاما قرار داد که به صورت زیر این توزیع تعریف می‌شود.

درصد) دارد. علاوه بر این، از هم‌بستگی پنجره متحرک می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌ترین اثر سیگنال در پاییز و زمستان روی ایستگاه‌های بوشهر، بوشهر ساحلی، بندرعباس، کیش و کنارک است. در پژوهشی Van de Vyver and Van den Bergh (2018) یک رابطه جدید شدت-مدت-فراوانی^۱ خشکسالی ارائه داده‌اند که بر اساس ویژگی چندمقیاسی تنظیم شده است. Yu et al. (2018) ریسک خشکسالی را تحت شرایط تغییر اقلیم در کره جنوبی به صورت منطقه‌ای با استفاده از سه شاخص اعتمادپذیری، آسیب‌پذیری و برگشت‌پذیری مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. همچنین با به‌کارگیری تحلیل دومتغیره خشکسالی و توابع ریاضی، ضرایب مهندسی و مدیریتی برای سه شاخص مذکور، شاخص ریسک خشکسالی^۲ را ارائه کردند. Khani Temeliyeh et al. (2020) در مطالعه‌ای تحت عنوان تحلیل دومتغیره ریسک خشکسالی در غرب و شمال غرب ایران با استفاده از الگوریتم PSO و توابع مفصل به مطالعه شدت و مدت خشکسالی هواشناسی در هشت ایستگاه غرب و شمال غرب کشور پرداختند. نتایج آن‌ها ریسک خشکسالی را در ایستگاه‌های مذکور بر اساس شاخص‌های برگشت‌پذیری، آسیب‌پذیری، اعتمادپذیری و شاخص ریسک خشکسالی مورد ارزیابی قرار داد.

با توجه به وجود رشته کوه زاگرس در نیمه غربی و تحت تأثیر بودن بارش ایران از سمت غرب و این‌که تأثیر رشته کوه زاگرس در دامنه‌های غربی آشکارتر از سایر نقاط است و همچنین به دلیل قرار گرفتن در ابتدای مسیر ورود توده‌های هوای وارد شده به کشور، این منطقه جهت بررسی تأثیر شاخص‌های اقیانوسی-اتمسفری بر وقوع پدیده خشکسالی انتخاب شد. علاوه بر این به دلیل این‌که تحقیقات در زمینه بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص انسو در ایران تنها بر چند شاخص و هر کدام در چند ایستگاه محدود انجام شده است، لذا در مطالعه حاضر، نقش شاخص‌های دمایی انسو شامل Nino1+2، Nino3، Nino3.4 و Nino4 بر خشکسالی در نیمه غربی ایران با استفاده از شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه مورد مطالعه قرار گرفت. در پژوهش حاضر برای بررسی ارتباط پدیده انسو با خشکسالی، بخش گسترده‌ای از کشور شامل ایستگاه‌های سینوپتیک ۱۴ استان شامل اراک، اردبیل، ارومیه، تبریز، سنندج، کرمانشاه، همدان، زنجان، شهرکرد، دزفول، اهواز، آبادان، بوشهر و شیراز به عنوان منطقه مورد بررسی، مورد توجه قرار گرفت، که مطالعه حاضر جهت ارائه نوآوری به بررسی ارتباط چهار شاخص مهم دمایی انسو با خشکسالی هواشناسی در

¹ Intensify Duration Frequency (IDF)

² Drought Risk Index (DRI)

³ Standardized Precipitation Index (SPI)

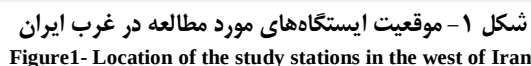


Table1- Geographical location of the study stations

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (7)$$

نقطه در محدوده مشخص محاسبه و سپس نرمال شده و به صورت استاندارد تبدیل می شود. محدوده تعریف این شاخص ها در جدول ۲ و موقعیت آن ها در اقیانوس آرام در شکل ۲ نشان داده شده است.

ناحیه شاخص ترکیبی Nino1+2 در بخش مرکزی آرام حاره ای واقع شده و این ناحیه نسبت به نواحی شاخص های یک و دو، واکنش کمتری نسبت به تأثیرات اقلیمی دارد. ناحیه شاخص Nino4 ناحیه ای از آرام حاره ای غربی را در برمی گیرد، جایی که دمای سطح دریا به طور معمول بالاست. ناحیه شاخص Nino3.4 ناحیه مشترک شاخص های Nino3 و Nino4 است که ناحیه ای از محدوده عرض جغرافیایی پنج درجه جنوبی تا پنج درجه شمالی و طول ۱۲۱ درجه غربی تا ۱۷۱ درجه غربی است. مقادیر این شاخص ها از وبسایت سازمان هواشناسی کشور استرالیا دریافت شد. در مطالعه حاضر از این چهار شاخص برای بررسی موضوع استفاده شد.

۲-۳- روش تحقیق

روش کار تحقیق حاضر، طبق نمودار جریانی نشان داده شده در شکل ۴ به این صورت است که ابتدا مقادیر داده بارش ایستگاه های سینوپتیک ۱۴ ایستگاه در نیمه غربی کشور اخذ شد. سپس اقدام به مرتب کردن این داده ها و انجام آزمون همگنی داده ها و محاسبه شاخص SPI در مقیاس های مختلف زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه با استفاده از نرم افزار spi-sl-6.exe شد. در گام دوم با دریافت داده های شاخص های دمایی انسو شامل Nino1+2، Nino3، Nino3.4 و Nino4 اقدام به بررسی آزمون همبستگی اسپیرمن^۲ در حالت هم زمان بین شاخص های مذکور در نرم افزار آماری MINITAB16 شد. در واقع تحلیل همبستگی ابزاری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین همبستگی دو متغیر است. ضریب همبستگی شدت رابطه و هم چنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می دهد. این ضریب بین ۱ تا -۱ بوده و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر برابر صفر است. ضریب همبستگی رتبه ای اسپیرمن توسط Spearman (1945-1863) روانشناس و آماردان انگلیسی در سال ۱۹۰۴ معرفی شد. این ضریب میزان همبستگی رابطه میان دو متغیر ترتیبی را نشان می دهد و به عبارت دیگر متناظر ناپارامتری ضریب همبستگی پیرسون است. در این ضریب همبستگی به جای استفاده از خود مقادیر متغیرها از رتبه های آنان استفاده می شود. رابطه مربوط به ضریب همبستگی رتبه ای اسپیرمن به صورت زیر تعریف می شود (رابطه ۵).

جدول تابع گامای ناقص را برای تعیین احتمال تجمعی $G(x)$ بکار برد. سپس احتمال تجمعی به متغیر تصادفی استاندارد نرمال با میانگین صفر و واریانس یک تعریف می شود که این متغیر هم همان مقادیر می باشد که یک تبدیل با مقادیر یکسان است. در این تحقیق، شاخص بارش استاندارد با در نظر گرفتن مزایایی که در تحلیل منطقه ای و ایجاد ارتباط بین رخدادهای خشکسالی در نواحی مختلف یک پهنه دارد، انتخاب شده است. بر طبق تعریف Mckee et al. (1993) یک دوره خشکی زمانی که مقدار SPI به طور مداوم منفی و مقدار آن مساوی یا کمتر از -۱ باشد، آغاز می شود. این دوره، زمانی که SPI به مقادیر مثبت برگردد، تمام می شود. شدت خشکسالی برابر مقادیر تجمعی SPI رابطه ۴، در طول مدت یک رویداد خشکسالی در نظر گرفته می شود.

$$S = - \sum_{j=1}^D SPI_{ij} \quad (4)$$

۲-۲-۲- شاخص های دمایی انسو

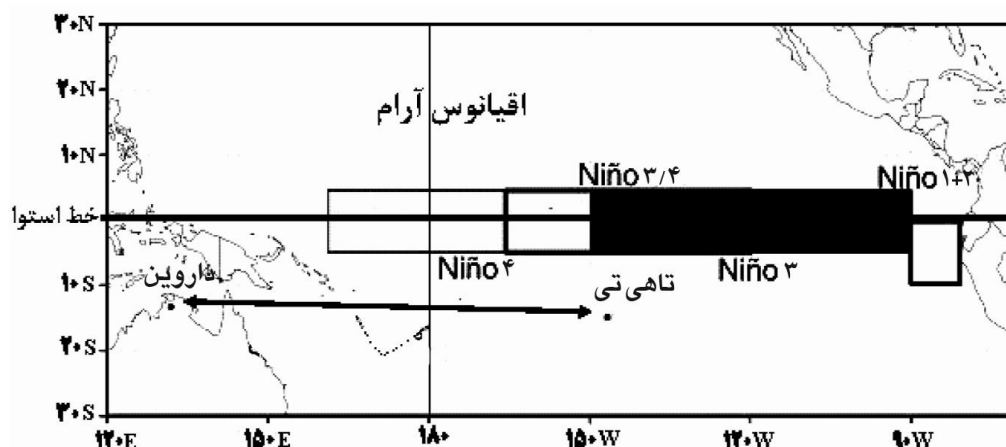
در شاخص های نوسانات اقیانوسی - اتمسفری عموماً فشار و دمای سطح آب در دو نقطه (قطب) از اقیانوس ها به صورت الکلنگی تغییر می کند. بدین معنا که اگر در قطبی فشار و یا دمای سطح آب افزایش یابد، در قطب دیگر کاهش خواهد یافت. اختلاف فشار میان دو قطب به صورت شاخصی برای بیان کمی این نوسانات به کار برده می شود. یکی از این شاخص ها، نوسانات دمایی انسو است. پدیده ENSO به عنوان پدیده ای مستمر و پویا و از مهم ترین پدیده های شناخته شده ناشی از واکنش های متقابل اقیانوس - خشکی و خشکی، همچنین از مهم ترین عوامل تغییر اقلیم در مقیاس جهانی بوده و تغییرات اقلیمی در مقیاس سالانه در برخی از مناطق کره زمین را موجب می شود که با به وجود آوردن پدیده های ال نینو و لانینا تغییراتی را در اقلیم خصوصاً توزیع زمانی - مکانی بارش به وجود می آورد. این پدیده اقلیمی از دهه ۱۹۲۰ شناخته شده و به طور گسترده ای مطالعه شده است (Walker, 1924). اگر چه ENSO در اقیانوس آرام رخ می دهد ولی بیش ترین تأثیر را بر اقلیم جهانی تمامی نوسانات تاکنون شناخته شده می گذارد (Alexander et al., 2005). در این مطالعه از شاخص های دمایی Nino4، Nino3.4، Nino3 و Nino1+2 برای تعیین زمان وقوع پدیده های ال نینو و لانینا استفاده شد. نوسانات دمایی اقیانوس آرام شامل Nino3.4، Nino3، Nino1+2، WHWP1 PACWARM3 و Nino4 است که از مجموعه شاخص های ENSO هستند. این شاخص ها با استفاده از دمای متوسط ماهانه سطح آب دریا در یک محدوده مشخص محاسبه می شوند. در واقع میانگین دمای چند

²Spearman

¹ Sea Surface Temperature (SST)

جدول ۲- موقعیت جغرافیایی شاخص‌های دمایی انسو در اقیانوس آرام
Table 2- Geographic location of ENSO temperature indices in the Pacific Ocean

شاخص	محدوده عرض جغرافیایی	محدوده طول جغرافیایی
Nino1+2	0 تا 10° جنوبی	80° غربی تا 90° غربی
Nino3	4° جنوبی تا 4° شمالی	90° غربی تا 150° غربی
Nino3.4	5° جنوبی تا 5° شمالی	120° غربی تا 170° غربی
Nino4	5° جنوبی تا 5° شمالی	150° غربی تا 160° شرقی



شکل ۲- محدوده شاخص‌های دمایی انسو در اقیانوس آرام
Figure 2- Range of ENSO temperature indices in the Pacific Ocean

ماهه و استفاده از روش گام به گام^۲ جهت انجام مدل‌سازی در نرم افزار آماری SPSS16 به کار گرفته شد. شکل ۳ نمونه‌ای از سری‌های زمانی SPI در مقیاس‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای ایستگاه‌های دزفول با شاخص Nino1+2 شیراز با شاخص Nino3 کرمانشاه با شاخص Nino4 و همدان با شاخص Nino3.4 ارائه شده است.

۳- نتایج و بحث

با توجه به اهمیت پدیده خشکسالی و لزوم مدیریت منابع آب، ارزیابی و بررسی عوامل مؤثر بر خشکسالی در ایران بسیار ضروری به نظر می‌رسد. لذا مطالعه حاضر، به بررسی نقش شاخص‌های دمایی انسو بر خشکسالی در نیمه غربی ایران پرداخته است، در ادامه نتایج در سه بخش روابط هم‌زمان، غیر هم‌زمان و معادلات رگرسیون ارائه شده است.

۳-۱- تحلیل روابط هم‌زمان

در این مطالعه برای بررسی روابط هم‌بستگی بین شاخص‌های SPI و انسو از نرم‌افزار MINITAB16 و آزمون اسپیرمن با تعداد سال برابر استفاده شد. به‌طور کلی آزمون اسپیرمن در سطوح یک درصد و پنج درصد انجام شد. در صورتی که معیار

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

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

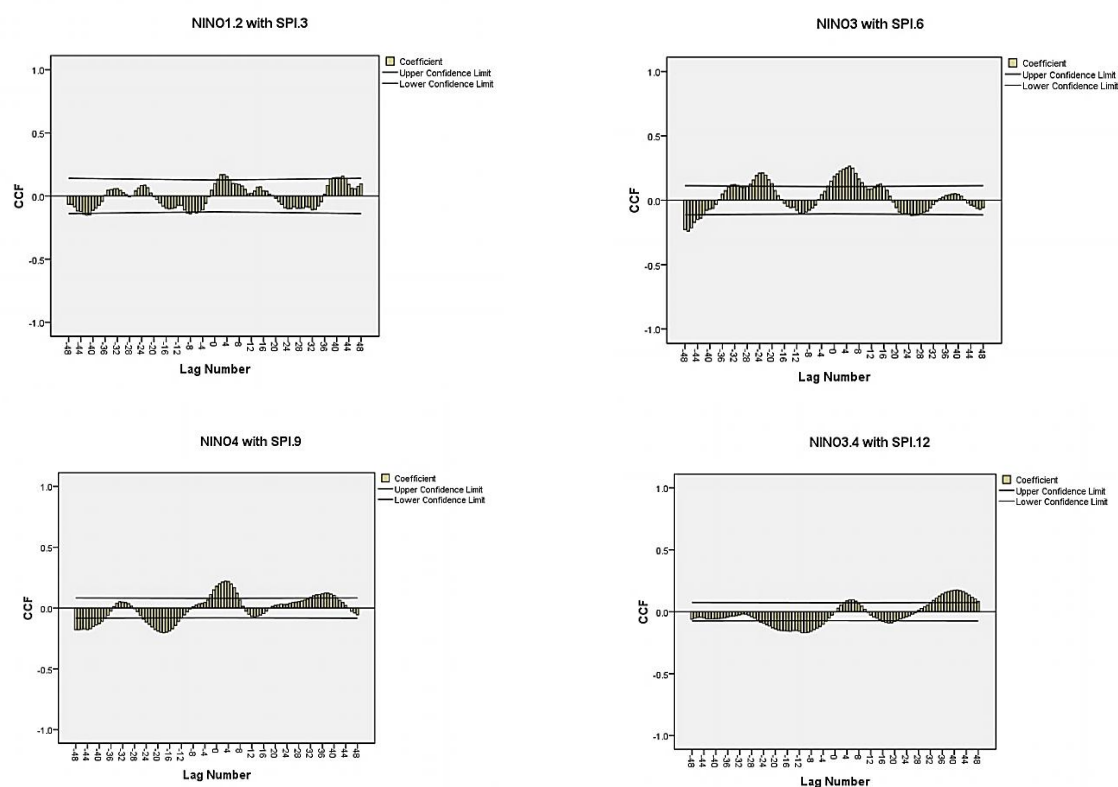
ضریب هم‌بستگی معیار برای وجود رابطه معنادار ۰/۵ در نظر گرفته شد. گام سوم، بررسی رابطه غیر هم‌زمان یا دارای تأخیر با رابطه تابع هم‌بستگی عرضی^۱ بین شاخص‌های مذکور در حالت زمان‌های تأخیر ۱ تا ۴۸ ماهه در نرم‌افزار آماری SPSS16 بود. در پایان نیز مدل‌سازی رگرسیون خطی این شاخص‌ها با خشکسالی محاسبه شد تا تأثیر هر کدام از شاخص‌ها روی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه مشخص شود. مدل رگرسیون خطی فرض می‌کند که یک رابطه خطی (یا خط مستقیم) بین متغیر وابسته و هر پیش‌گو وجود دارد (رابطه ۶).

$$y_i = b_0 + b_1x_{i1} + \dots + b_px_{ip} + e_i \quad (6)$$

که در آن، y_i : مقدار مورد $\hat{\lambda}$ متغیر کمی وابسته است. p : تعداد پیش‌گوهاست، b_j : مقدار ضریب $\hat{\lambda}$ ام است، $j = 0, \dots, p$ و X_{ij} : مقدار مورد $\hat{\lambda}$ ام از پیش‌گوی $\hat{\lambda}$ ام است، e_i : خطای در مقدار مشاهده شده برای مورد $\hat{\lambda}$ ام است. آزمون رگرسیون چندمتغیره با حالت‌های هم‌زمان و تأخیردار ۱-۶ و ۱۲ و ۲۴ و ۴۸

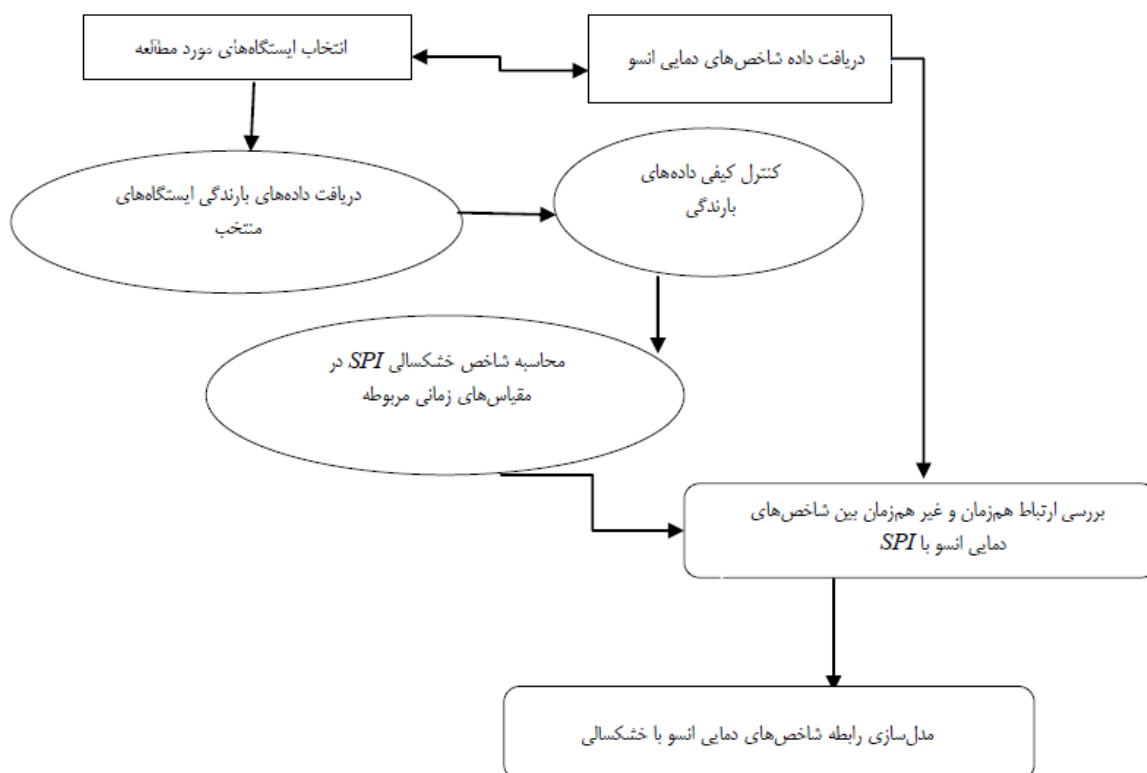
^۲Stepwise

^۱Cross Correlation Function (CCF)



شکل ۳- نمودار روابط غیرهمزمان سری های زمانی SPI در مقیاس های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و ارتباط آن با شاخص های مختلف دمایی انسو به ترتیب در ایستگاه های دزفول، شیراز، کرمانشاه و همدان

Figure 3- Diagram of asynchronous relationships of SPI time series in 3, 6, 9, and 12 -month scales and its relationship with different temperature indices of Enso in Dezful, Shiraz, Kermanshah and Hamedan stations, respectively



شکل ۴- نمودار جریانی روش انجام تحقیق
Figure 4- Flowchart of methodology

هستند. علاوه بر این (Nazemosadat and Ghasemi 2003، Karamooz et al. (2006 و Nazemosadat et al. (2007 نتیجه گرفت که مناطق مختلف در فصول مختلف و هم‌زمان با شرایط ال‌نینو وضعیت مشابهی را تجربه نمی‌کنند و اندازه تأثیرپذیری بارندگی و دما با انسو از فصلی به فصلی و از مکانی به مکان دیگر متفاوت است.

Wallace and Gutzler (1981) پیوند از دور را ارتباط هم‌زمان بین نوسانات عناصر اقلیمی یک مکان با تغییرات الگوهای فشار و درجه حرارت سطح دریا در نقاط جغرافیایی دیگر تعریف کرده‌اند. مطالعه پژوهشگران بسیاری نشان‌دهنده تأثیر پدیده‌های بزرگ‌مقیاس جوی-اقیانوسی در مناطق جنوبی، جنوب غرب و جنوب شرق کشور ایران است. همچنین، نتایج پژوهش Yarahmadi and Azizi (2008) نشان داده است که از میان شاخص‌های اقلیمی مرتبط با انسو، شاخص Nino3.4 بیش‌ترین ارتباط را با میزان بارش پاییزه و زمستانه در ایران دارد. همچنین، Mohammadi et al. (2010) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر پدیده انسو بر خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در ایستگاه سینوپتیک شهر بوشهر پرداختند. آن‌ها نشان دادند که خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه سینوپتیک بوشهر به‌طور معناداری تحت تأثیر پدیده جوی-اقیانوسی انسو قرار دارد. Bayat Varkashi and Shirmohammadi (2019) در بررسی اثر خشکسالی و پدیده انسو بر تغییرات جریان آب‌های سطحی در دو استان همدان و زنجان به این نتیجه رسیدند که هم‌بستگی معناداری بین این دو پدیده در دو ایستگاه مذکور وجود دارد، ضمن این‌که اثر فاز ال‌نینو نیز افزایش دبی ایستگاه‌های هیدرومتری را به دنبال داشت. طبق مطالعات Ghavidel Rahimi et al., (2014) بارش مناطق غرب کشور را می‌توان ناشی از تأثیر الگوهای مختلف پیوند از دور دانست که این تأثیر در بارش‌های دسامبر ملموس‌تر است. لذا مطالعات مذکور با مطالعه پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

۳-۲- تحلیل روابط غیرهم‌زمان

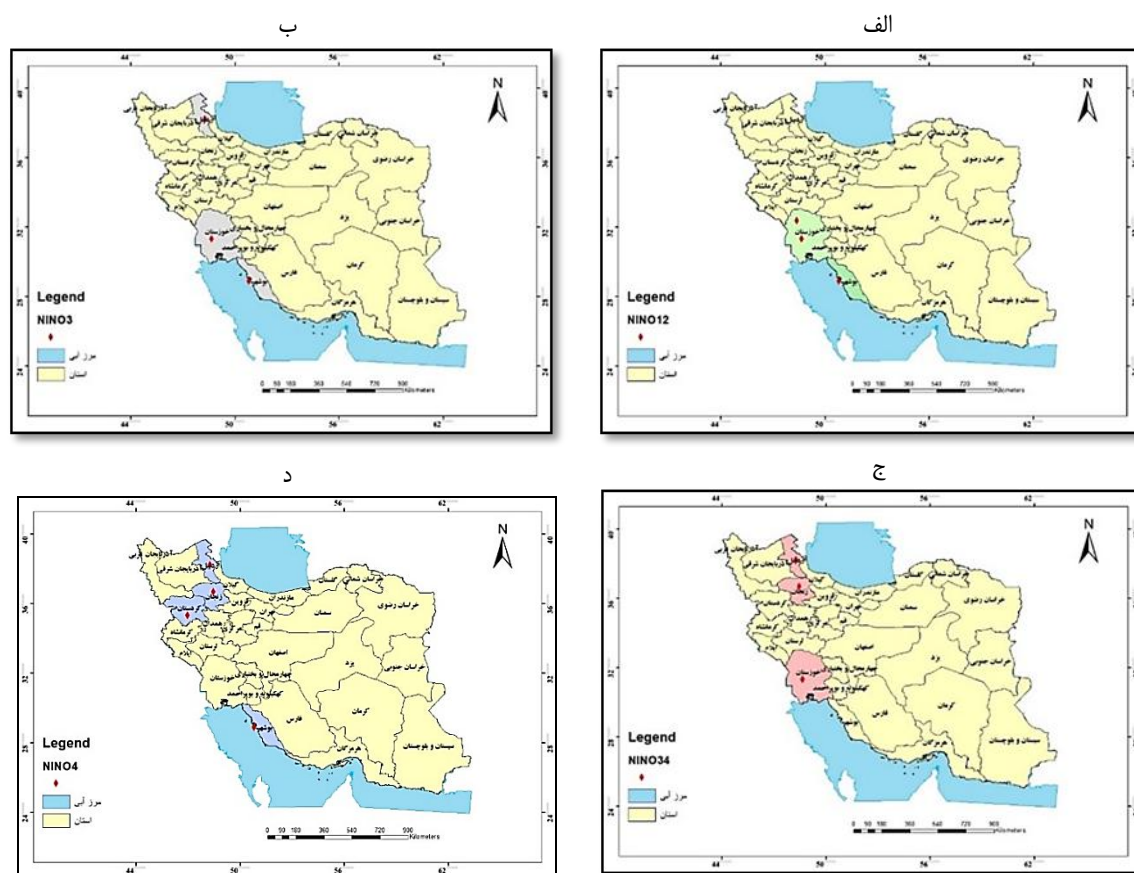
منظور از حالت غیر هم‌زمان یا دارای تأخیر این است که در هر تأخیری بسته به عدد مربوطه، آن میزان فاصله زمانی ماهانه میان دوره خشکسالی و شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری در نظر گرفته شده است. بنابراین جهت بررسی روابط غیرهم‌زمان یا دارای تأخیر بین شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری و شاخص خشکسالی با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 از روش تابع هم‌بستگی عرضی (CCF) استفاده شد و در این روش روابط با در نظر گرفتن زمان تأخیرهای ۱-۲۴ ماهه در ایستگاه‌های منتخب نیمه غربی کشور بررسی شد. در تحلیل حاصل از روابط غیرهم‌زمان، شاخص‌های Nino 1+2، Nino 3، Nino 3.4 و Nino 4 در تمام ایستگاه‌ها

تصمیم به ترتیب از یک درصد و پنج درصد کم‌تر باشد، نشان‌دهنده وجود رابطه هم‌بستگی بین دو متغیر است و نشان می‌دهد که این دو متغیر به یکدیگر وابسته می‌باشند. در تحلیل نتایج با در نظر گرفتن فرض‌های مسئله و پذیرفتن P-value < 0.05 نشان داده شد که بالاترین میزان معناداری بین شاخص‌های انسو و شاخص خشکسالی در ایستگاه بوشهر مشاهده شد. این معناداری در شاخص Nino1+2 با SPI سه ماهه در ماه ژانویه (دی) مشاهده شد. همچنین تعدادی از ایستگاه‌ها رابطه معناداری بین شاخص‌های مورد مطالعه نشان ندادند. این ایستگاه‌ها شامل ایستگاه‌های اراک، ارومیه، شیراز و همدان بود که رابطه معناداری در حالت هم‌زمان در آن‌ها دیده نشد. در این حالت در بقیه ایستگاه‌ها، شاخص Nino1+2 در تمام ماه‌های سال، Nino 3 در تمام ماه‌های سال به جز دسامبر (آذر)، Nino 3.4 در تمام ماه‌های سال به جز می (اردیبهشت)، اکتبر (مهر)، نوامبر (آبان) و دسامبر (آذر) و Nino 4 در تمام ماه‌های سال به غیر از اکتبر-دسامبر (مهر-آذر)، هم‌بستگی معناداری را داشتند. پراکندگی شاخص‌های دمایی انسو در نیمه غربی ایران در حالت هم‌زمان در ارتباط با شاخص SPI در شکل ۵ نشان داده شده است. شاخص‌های مربوطه شامل Nino 1+2، Nino 3، Nino 3.4 و Nino 4 می‌باشد. در این نقشه‌ها، شاخص Nino1+2 با ایستگاه اهواز در ماه‌های اکتبر-دسامبر (مهر-آذر) با SPI ۹ و ۱۸ ماهه، بوشهر در تمام ماه‌ها با SPI سه ماهه و دزفول در ماه‌های ژانویه-مارس (دی-اسفند) با SPI یک و سه ماهه، شاخص Nino3 با ایستگاه اهواز در ماه‌های ژانویه (دی)، فوریه (بهمن)، اوت (مرداد) و سپتامبر (شهریور) با SPI سه ماهه، اردیبهشت در ماه‌های ژانویه-مارس (دی-اسفند) با SPI ۹-۱۵ ماهه و بوشهر در ماه‌های ژانویه-آوریل (دی-فروردین) با SPI یک و سه ماهه، شاخص Nino3.4 با ایستگاه اهواز در ماه‌های ژانویه (دی)، فوریه (بهمن)، اوت (مرداد) و سپتامبر (شهریور) با SPI سه ماهه، اردیبهشت در ماه‌های ژانویه-مارس (دی-اسفند) با SPI ۹ و ۱۲ و ۱۵ ماهه و زنجان در ماه ژوئیه (تیر) با SPI یک ماهه، شاخص Nino4 با ایستگاه اردبیل در ماه‌های ژانویه-مارس (دی-اسفند) با SPI ۹، ۱۲، ۱۵ ماهه، بوشهر در ماه‌های اوت (مرداد) و سپتامبر (شهریور) با SPI سه و یک ماهه، زنجان در ماه‌های اوت (مرداد) و سپتامبر (شهریور) با SPI یک، سه و شش ماهه و سنج در ماه‌های ژانویه (دی) و فوریه (بهمن) با SPI شش و نه ماهه رابطه معناداری را نشان دادند.

بنابراین برای رابطه هم‌زمان، ایستگاه بوشهر بیش‌ترین میزان معناداری را نشان داد. در این راستا، Sedaghat Kerdar and Fatahi (2008) نتیجه گرفتند که شاخص انسو در مناطق Nino1+2 و Nino3 پر اهمیت‌ترین سیگنال در بارش ایران

انسو در نیمه غربی ایران در حالت غیرهمزمان یا دارای تأخیر در ارتباط با شاخص SPI در شکل ۶ نشان داده شده است. شاخص‌های مربوطه شامل Nino 1+2، Nino 3، Nino 3.4 و Nino 4 است، که در زمان تأخیرهای متفاوت از یک تا ۴۸ ماهه با علامت مثبت و منفی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده‌اند. در حالت غیر همزمان، تعداد ایستگاه‌های دارای رابطه معنادار نسبت به حالت همزمان، فراوانی بیشتری داشته و به ترتیب شاخص‌های Nino 4، Nino 3.4، Nino 1+2 و Nino 3 دارای بیشترین میزان فراوانی رابطه معنادار با SPI در این قسمت از ایران هستند.

معنادار شد. این تأخیر در مقیاس‌های زمانی کوتاه دارای اعداد کوچک و در مقیاس زمانی بزرگ، بالاتر رفتند و به ترتیب در تأخیرهای کوچک و بزرگ دارای علامت مثبت و منفی شدند. در شاخص Nino 1+2 برای ایستگاه‌های آبادان، تبریز، دزفول، شیراز و همدان، شاخص Nino 3 ایستگاه‌های آبادان، ارومیه، اراک، تبریز، دزفول، زنجان، کرمانشاه و همدان، شاخص Nino 3.4 ایستگاه‌های آبادان، دزفول، کرمانشاه و همدان، شاخص Nino 4 ایستگاه‌های کرمانشاه و همدان تأخیر چندانی مشاهده نشد. به طور کلی ضرایب همبستگی در حالت‌های تأخیردار نسبت به حالت همزمان مقدار عددی کمتری دارد اما تعداد ایستگاه‌های دارای رابطه بیشتر شده است. پراکندگی شاخص‌های دمایی

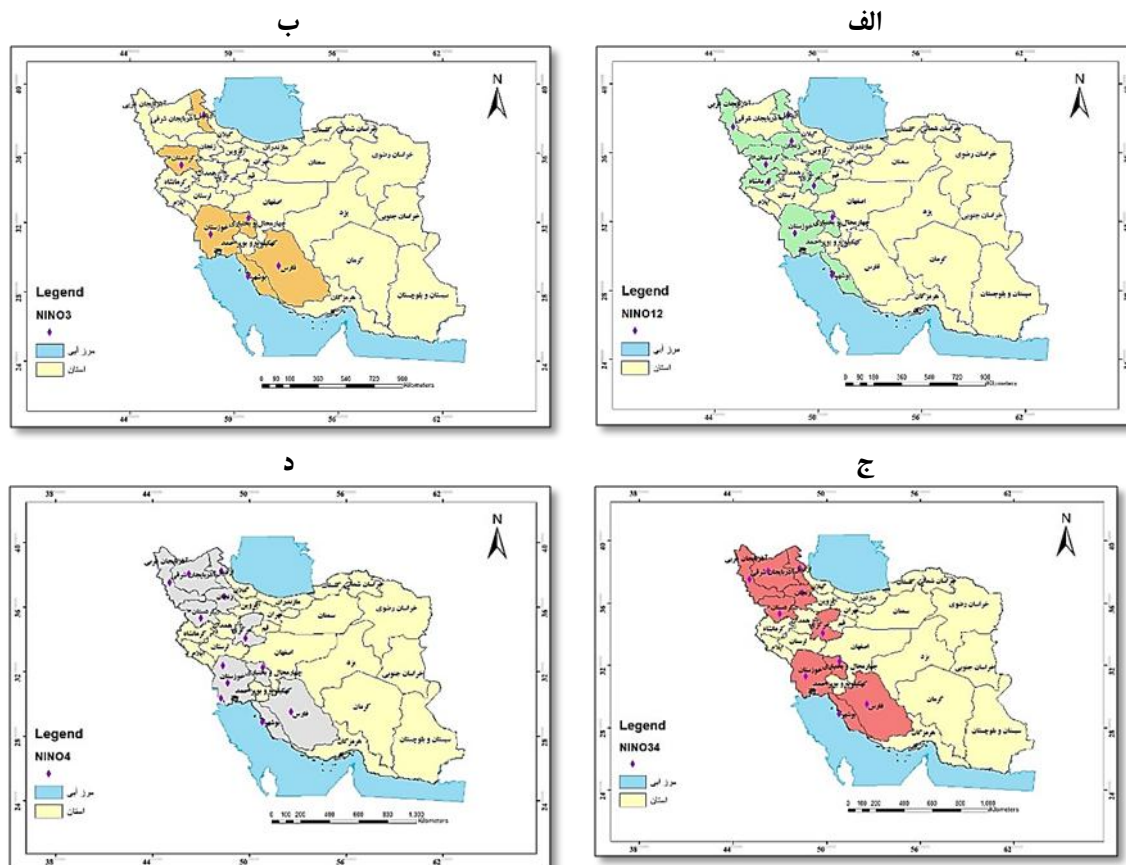


شکل ۵- پراکندگی مکانی ایستگاه‌های دارای رابطه همزمان SPI با شاخص‌های دمایی انسو در نیمه غربی ایران: (الف) Nino 1+2، (ب) Nino 3، (ج) Nino 3.4 و (د) Nino 4

Figure 5- Spatial distribution of stations with simultaneous relationship between SPI and ENSO temperature indices in the western half of Iran: (a) Nino 1+2, (b) Nino 3, (c) Nino 3.4, and (d) Nino 4

زمانی خشکسالی و تأخیر در این شاخص وجود دارد. در این راستا، Ostovarmeymandi (2000) نشان داد که اثرگذاری پدیده ال‌نینو بر بارش‌های ایران همزمان با تغییر الگوی فشار در اقیانوس آرام نبوده بلکه با تأخیر زمانی همراه است.

نتایج مطالعه حاضر، در حالت غیرهمزمان برای بررسی ارتباط بین انسو و خشکسالی به نسبت حالت همزمان بهتر نشان داده شد. در حالت غیرهمزمان، نتایج نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی SPI، شاخص انسو با تأخیر بیشتر مؤثرتر است، پس در این رابطه می‌توان نتیجه گرفت که این شاخص اولاً با تأخیر روی سیستم بارشی ایران مؤثر است و ثانیاً رابطه مستقیم بین مقیاس



شکل ۶- پراکندگی مکانی ایستگاه‌های دارای رابطه غیرهم‌زمان SPI با شاخص‌های دمایی انسو در نیمه غربی ایران: (الف) $Nino1+2$ ، (ب) $Nino3$ ، (ج) $Nino3.4$ و (د) $Nino4$

Figure 6- Spatial distribution of stations with Asynchronous relationship between SPI and Enso temperature indices in the western half of Iran: (a) $Nino1+2$, (b) $Nino3$, (c) $Nino3.4$, and (d) $Nino4$

هم‌چنین، تعداد متغیرهای وارد شده به معادله رگرسیون در سری‌های مختلف زمانی از SPI نشان می‌دهد با افزایش مقیاس زمانی SPI، تعداد متغیرهای هم‌زمان و غیرهم‌زمان وارد شده به معادله بالا می‌رود و این تغییرات طوری می‌باشد که با افزایش مقیاس زمانی در SPI، تعداد متغیرهای غیرهم‌زمان با زمان تأخیرهای بالاتر، رابطه معنادارتری را نشان می‌دهد. جدول‌های ۳ و ۴ نمونه‌ای از روابط تشکیل شده را بین شاخص خشکسالی مورد مطالعه و نوسانات دمایی انسو نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعه صورت گرفته، با در نظر گرفتن این‌که آثار پدیده انسو بر آب و هوای ایران با تأخیر زمانی نسبت به اصل این پدیده ظاهر می‌شود. به‌طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که از پدیده انسو در مناطق $Nino1+2$ ، $Nino3$ ، $Nino3.4$ و $Nino4$ به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده عوامل اقلیمی چون بارش و دما برای پیش‌آگاهی بلندمدت بارش و در نهایت وضعیت خشکسالی و ترسالی در نقاط مختلف به‌دلیل جهانی بودن پدیده انسو می‌توان

۳-۳- روابط مدل‌سازی حاصل از رگرسیون

محاسبه رگرسیون خطی چند متغیره با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 با روش گام به گام انجام شد. در معادلات رگرسیون، متغیر مستقل، مقادیر شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری و متغیر وابسته، مقادیر سری‌های مختلف زمانی شاخص خشکسالی SPI در نظر گرفته شد. مقادیر تمام شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری که به‌عنوان متغیر مستقل بود، به حالت هم‌زمان و دارای زمان‌های تأخیر ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ در معادله آورده شد. برای هر ایستگاه، نه معادله طبق سری‌های زمانی SPI به‌دست آورده شد. تحلیل حاصل از معادلات رگرسیون نشان داد که به‌ترتیب شاخص‌های $Nino1+2$ ، $Nino3$ ، $Nino3.4$ ، $Nino4$ و $Nino1+2$ دارای بیش‌ترین میزان تأثیر در سری‌های مختلف زمانی SPI با بالاترین ضرایب مثبت و منفی متغیرهای شاخص اقیانوسی اتمسفری در معادلات تمام ایستگاه‌ها نشان داده شد. در تحلیل حاصل از این روابط، با افزایش زمان تأخیر در مقابل سری‌های زمانی شاخص SPI، تعداد متغیرهای وارد شده به معادله نیز افزایش می‌یابد.

¹ stepwise

جدول ۳- معادله رگرسیون برای سری های زمانی SPI ایستگاه دزفول

Table 3- Regression equation for SPI time series of Dezful Station

متغیر خشکسالی	معادله رگرسیون دزفول
SPI1	$-1.483\text{lag}12 \text{ nino}4 + 0.603\text{lag}12 \text{ nino}3.4 - 0.542$
SPI3	$0.196\text{lag}48 \text{ nino}3 + 1.286\text{lag}24 \text{ nino}4 + 0.123\text{lag}5 \text{ nino}2.3 - 0.167$
SPI6	$-0.246\text{lag}0 \text{ nino}1.2 - 0.963\text{lag}12 \text{ nino}4 + 1.360 \text{lag}24 \text{ nino}3.4 - 0.853$
SPI9	$-0.452\text{lag}0 \text{ nino}1.2 - 0.216\text{lag}4 \text{ nino}1.2 - 0.316\text{lag}12 \text{ nino}1.2 - 0.282\text{lag}6 \text{ nino}1.2 - 0.310$
SPI12	$-0.361\text{lag}0 \text{ nino}1.2 - 1.140\text{lag}12 \text{ nino}4 + 0.233\text{lag}24 \text{ nino}1.2 + 0.638\text{lag}12 \text{ nino}3.4 - 0.429$
SPI15	$-0.483\text{lag}0 \text{ nino}1.2 + 0.302\text{lag}24 \text{ nino}1.2 - 0.180\text{lag} \text{ nino}1.2 - 1.116\text{lag}12 \text{ nino}4 + 0.579\text{lag}12 \text{ nino}3.4 - 0.226\text{lag}6 \text{ nino}1.2 - 0.763$
SPI18	$-0.683\text{lag}0 \text{ nino}1.2 - 0.432\text{lag}6 \text{ nino}1.2 - 0.385\text{lag}12 \text{ nino}1.2 - 0.501\text{lag}3 \text{ nino}1.2 + 0.453\text{lag}24 \text{ nino}1.2 - 0.242\text{lag}12 \text{ nino}4 - 1.45\text{lag}9 \text{ nino}4 + 0.246\text{lag}24 \text{ nino}3 - 0.872$
SPI24	$-0.467\text{lag}0 \text{ nino}1.2 - 0.484\text{lag}6 \text{ nino}1.2 - 0.451\text{lag}12 \text{ nino}1.2 - 0.649\text{lag}lag3 \text{ nino}4 - 0.134\text{lag}2 \text{ aao} + 0.343\text{lag}24 \text{ nino}1.2 - 0.897\text{lag}3 \text{ nino}3 - 0.705$
SPI48	$-0.585\text{lag}0 \text{ nino}1.2 - 0.483\text{lag}6 \text{ nino}1.2 - 0.251\text{lag}12 \text{ nino}1.2 + 0.273\text{lag}24 \text{ nino}1.2 - 0.363\text{lag}3 \text{ nino}1.2 - 0.413\text{lag}12 \text{ nino}4 + 0.424\text{lag}24 \text{ nino}3.4 + 0.130\text{lag}48 \text{ nino}1.2 + 0.239\text{lag}6 \text{ nino}3.4 - 0.676$

جدول ۴- معادله رگرسیون برای سری های زمانی SPI ایستگاه شیراز

Table 4- Regression equation for SPI time series of Shiraz Station

متغیر خشکسالی	معادله رگرسیون شیراز
SPI1	$0.137\text{lag}2 \text{ nino}3.4 + 0.323$
SPI3	$0.517\text{lag}3 \text{ nino}4 - 0.117\text{lag}6 \text{ nino}1.2 - 0.017$
SPI6	$0.551\text{lag}4 \text{ nino}4 - 0.240\text{lag}48 \text{ nino}4 + 0.109\text{lag}3 \text{ nino}3 - 0.111\text{lag}48 \text{ nino}1.2 - 0.058$
SPI9	$0.548\text{lag}6 \text{ nino}4 - 1.274\text{lag}48 \text{ nino}4 + 1.665\text{lag}9 \text{ nino}3 + 0.165\text{lag}12 \text{ nino}1.2 - 0.227\text{lag}48 \text{ nino}3.4 + 0.108\text{lag}12 \text{ nino}3 + 0.050$
SPI12	$0.365\text{lag}6 \text{ nino}4 - 1.915\text{lag}48 \text{ nino}4 - 0.199\text{lag}0 \text{ nino}1.2 - 0.104\text{lag}9 \text{ nino}3.4 + 0.276\text{lag}12 \text{ nino}4 - 0.239\text{lag}12 \text{ nino}4 + 0.112\text{lag}48 \text{ nino}1.2 - 0.086\text{lag}48 \text{ nino}3.4 + 0.024$
SPI15	$0.561\text{lag}12 \text{ nino}4 - 0.223\text{lag}0 \text{ nino}1.2 - 0.223\text{lag}0 \text{ nino}1.2 + 0.490\text{lag}4 \text{ nino}4 + 0.243\text{lag}24 \text{ nino}3 + 0.147\text{lag}48 \text{ nino}1.2 + 0.101\text{lag}48 \text{ nino}4 - 0.091\text{lag}1 \text{ nino}1.2 - 0.086\text{lag}0 \text{ nino}4 - 0.010$
SPI18	$0.521\text{lag}12 \text{ nino}4 - 2.236\text{lag}48 \text{ nino}4 - 0.182\text{lag}0 \text{ nino}1.2 + 0.163\text{lag}24 \text{ nino}3.4 + 0.582\text{lag}4 \text{ nino}4 + 0.910\text{lag}12 \text{ nino}1.2 - 0.468\text{lag}4 \text{ nino}3.4 - 0.109\text{lag}0 \text{ nino}3 - 0.084\text{lag}4 \text{ nino}1.2 - 0.084\text{lag}5 \text{ nino}3.4 + 0.029$
SPI24	$-2.356\text{lag}48 \text{ nino}4 + 0.700\text{lag}12 \text{ nino}4 + 0.249\text{lag}24 \text{ nino}3.4 - 0.237\text{lag}12 \text{ nino}3 - 0.134\text{lag}0 \text{ nino}1.2 + 1.77\text{lag}12 \text{ nino}4 - 0.121\text{lag}0 \text{ nino}3 - 0.143\text{lag}4 \text{ nino}3 - 0.243\text{lag}6 \text{ nino}3 - 0.138\text{lag}5 \text{ nino}4 + 0.730\text{lag}6 \text{ nino}3.4 - 0.107\text{lag}3 \text{ nino}4 + 0.096\text{lag}48 \text{ nino}3 - 0.557\text{lag}2 \text{ nino}3.4 + 0.057$
SPI48	$-1.419\text{lag}48 \text{ nino}4 - 0.108\text{lag}12 \text{ nino}1.2 - 0.074\text{lag}24 \text{ nino}3 + 0.718\text{lag}9 \text{ nino}4 - 0.117\text{lag}3 \text{ nino}3.4 + 1.538\text{lag}12 \text{ nino}4 - 0.152\text{lag}6 \text{ nino}1.2 + 0.125\text{lag}12 \text{ nino}3 - 0.113\text{lag}0 \text{ nino}3.4 - 0.457\text{lag}2 \text{ nino}3.4 - 0.116\text{lag}4 \text{ nino}1.2 - 0.303\text{lag}5 \text{ nino}4 + 0.928\text{lag}24 \text{ nino}4 - 0.078\text{lag}1 \text{ nino}1.2 + 0.346\text{lag}48 \text{ nino}1.2 - 0.475\text{lag}48 \text{ nino}3 - 0.607\text{lag}24 \text{ nino}3.4 + 0.144\text{lag}24 \text{ nino}1.2 + 0.065\text{lag}5 \text{ nino}3.4 - 1.20\text{lag}3 \text{ nino}4 + 0.118$

باشد. پیشنهاد می شود در بررسی اثر پدیده انسو بر اقلیم و آب و هوای کشور ایران، باید آثار متقابل خشکسالی با دیگر پدیده های دورپیوند و هم چنین بررسی سیلاب در ارتباط با شاخص های نام برده را نیز مد نظر قرار داد.

استفاده کرد. یافته های این پژوهش می تواند به نوعی تأییدی بر یافته های محققان دیگر در گذشته باشد.

به نظر می رسد که با توجه به ساز و کار پدیده انسو و ارتباط آن با بلایای طبیعی، بررسی و مطالعه بیش تر شاخص های آن می تواند در پیش بینی شرایط اقلیمی، بروز خشکسالی و سیلاب ایران و در نهایت جهت مدیریت بهتر بحران برای آن ها مؤثر

منابع

بیات ورکشی، م.، و شیرمحمدی، ن. (۱۳۹۸). بررسی اثر خشکسالی و پدیده انسو بر تغییرات جریان آب های سطحی در دو استان همدان و زنجان. *پژوهش های دانش زمین*، ۱۰ (۴)، ۱-۱۷.

ثمالی، ر.، بذرافشان، ا.، بی نیاز، م.، و مسلمی، ح. (۱۳۹۷). بررسی ارتباط بین پدیده انسو بر خشکسالی ها و ترسالی ها در استان های ساحلی جنوبی ایران. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۳ (۱)، ۲۱۷-۲۳۱.

خورشیددوست، ع.م.، و قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۵). ارزیابی اثر پدیده انسو بر تغییرپذیری بارش های فصلی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص چندمتغیره انسو. *پژوهش های جغرافیایی*، ۵۷، ۱۵-۲۶.

استوار میمندی، ا. (۱۳۷۹). ال نینو و رابطه آن با بارش های ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

احمدی گیوی، ف.، پرهیزگار، د. و حجام، س. (۱۳۸۸). بررسی اثر انسو بر توزیع بارش فصلی ایران در دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱. *فیزیک زمین و فضا*، ۳۵ (۴)، ۹۵-۱۱۳.

ایلدرومی، ع.، نوری، ح. و بیات ورکشی، م. (۱۳۹۶). بررسی ارتباط بین پدیده انسو و وقوع خشکسالی در ایران. *دانش آب و خاک*، ۲۷ (۲)، ۱۴۳-۱۵۶.

رحیمی، د.، عبداللهی، خ.، و هاشمی‌نسب، س. (۱۳۹۵). شناسایی الگوی پیوند از دور بر بارش حوضه کارون. *اکوهیدرولوژی*، ۳(۱)، ۹۵-۱۰۵.

رضایی، ح.، میرعباسی نجف‌آبادی، ر.، و خانی‌تملیه، ذ.ا. (۱۳۹۹). تحلیل دومتغیره ریسک خشکسالی در غرب و شمال غرب ایران با استفاده از الگوریتم PSO و توابع مفصل. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۷(۳)، ۱۲۵-۱۴۴.

رضایی‌صدر، ح.، و بهنیا، ع. (۱۳۸۷). رابطه بین نوسانات جنوبی ال‌نینو و خشکسالی در جنوب ایران. اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل.

زارع‌ایبانه، ح. (۱۳۹۳). تأثیر پدیده انسو بر تغییرپذیری منابع آب‌های سطحی استان همدان. *دانش آب و خاک*، ۲۴(۴)، ۱۵۳-۱۶۷.

صداقت‌کردار، ع.، و فتاحی، ا. (۱۳۸۷). شاخص‌های پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۱۱(۶)، ۷۶-۵۹.

عزیزی، ق. (۱۳۷۹). ال‌نینو و دوره‌های خشکسالی و ترسالی ایران. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۲۸، ۷۱-۸۴.

علیچانی، ب. (۱۳۹۰). هواشناسی سینوپتیک. چاپ چهارم، انتشارات سمت. فتاحی‌مرج، ا.، و مهدیان، م.ح. (۱۳۸۸). پیش‌بینی بارش‌های پاییزه با استفاده از شاخص‌های ENSO به روش شبکه عصبی مصنوعی در حوضه دریاچه ارومیه. *پژوهش‌های آب‌خیزداری*، ۲۲(۳)، ۴۳-۵۲.

قویدل رحیمی، ی.، فرج‌زاده، م.، و کاکاپور، س. (۱۳۹۳). بررسی اثر الگوی پیوند از دور دریای شمال-خزر بر نوسانات بارش‌های پاییزی مناطق غرب و شمال غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۸(۴۹)، ۲۱۷-۲۳۰.

کارآموز، م.، رحیمی‌فراهانی، م.، و مریدی، ع. (۱۳۸۵). پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی، کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی (منطقه جنوب شرق ایران). دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان. کاویانی، م. (۱۳۸۰). بررسی اقلیمی شاخص‌های خشکی و خشکسالی. *تحقیقات جغرافیایی*، ۱۶(۱)، ۷۱-۸۲.

محمدی، ح.، افشارمنش، ح.، و خلیلی، م. (۱۳۸۹). بررسی تأثیر پدیده انسو بر خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک شهر بوشهر). *جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس*، ۴(۲)، ۶۹-۸۲.

مساعدی، ع.، مرعشی، م.، و کواکبی، ق. (۱۳۸۸). بررسی مقایسه‌ای اراضی خشک در مناطق پرباران و کم‌باران (مطالعه موردی: استان گلستان). *علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۶(۱)، ۲۷۷-۲۹۰.

معمدی، م.، احترامیان، ک.، و شهابفر، ع. (۱۳۸۶). بررسی ارتباط از دور سیگنال هواشناسی انسو با نوسانات بارندگی و دما در استان خراسان. *علوم محیطی*، ۴(۴)، ۷۵-۹۰.

ناظم‌السادات، س.م.ج.، و قاسمی، ا. (۱۳۸۲). بارندگی شش ماهه سرد مناطق مرکزی و جنوب غربی ایران و ارتباط آن با پدیده ال‌نینو نوسانات جنوبی. *علوم آب و خاک*، ۷(۳)، ۱-۱۲.

ناظم‌السادات، س.م.ج.، انصاری بصیر، ا.، و پیشوایی، م.ر. (۱۳۸۶). ارزیابی سطح معنی‌داری برای پیش‌بینی دوران خشکسالی و ترسالی فصل پاییز و شش ماهه سرد ایران بر اساس وضعیت فازهای تابستانه انسو. *تحقیقات منابع آب/ایران*، ۳(۱)، ۱۲-۲۴.

نصیری، ب.، ناصرزاده، م.ح.، طولایی‌نژاد، م.، و زارعی چغابلی، ز. (۱۳۹۵). اثر الگوی کلان مقیاس جوی-اقیانوسی انسو بر آبدی دبی کشکان رود. *هیدروژئومورفولوژی*، ۲(۵)، ۱۶۶-۱۴۱.

یاراحمدی، د.، و عزیزی، ق. (۱۳۸۶). تحلیل چندمتغیره ارتباط میزان بارش فصلی ایران و شاخص‌های اقلیمی. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۱۶-۱۷۴.

References

- Ahmadi-Givi, F., Parhizgar, D., & Hajjam, S. (2008). The study of the ENSO's effect on the seasonal precipitation of Iran in the period 1971-2000. *Journal of the Earth and Space Physics*, 35(4), 95-113 (in Persian).
- Alexander, L., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Ambenje, P., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., & Vazquez-Aguirre, J.L. (2005a). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111, D05109.

- Alijani, B. (2011). *Synoptic climatology*. Fourth Edition: Samt Publications (in Persian).
- Azizi, G.H. (2000). Elnino and drought-wet periods in Iran. *Geographical Research*, 38, 71-84 (in Persian).
- Bayat Varkashi, M., & Shirmohammadi, N. (2019). Assessment of drought and ENSO impact on surface water changes in Zanjan and Hamedan provinces. *Researches in Earth Sciences*, 10(4), 1-17 (in Persian).
- Delitala, A., Cesari, D., Chesa, P., & Ward, M. (2000). Precipitation over Sardinia (Italy) during the 1946-1993 rainy season and associated large scale climate variation. *International Journal of Climatology*, 20, 519-541.

- Fatehi Marj, A., & Mahdian, M.H. (2009). Autumn rainfall forecasting using ENSO indices by neural network method. *Watershed Management Research*, 22(3), 52-43 (in Persian).
- Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh, M., & Kakapour, S. (2014). Investigation on North Sea-Caspian teleconnection pattern effect on autumn rainfall fluctuations in West and Northwest Regions of Iran. *Geography and Planning*, 18(49), 217-230 (in Persian).
- Hughes, B.L., & Saunders, A.M. (2001). Seasonal prediction of European spring, prediction from ENSO and local SST-International. *International Journal of Climatology*, 22(1), 1-23.
- Ildromi, A., Nouri, H., & Bayat Varkashi, M. (2017). Study of relation between ENSO phenomenon and drought occurrence in Iran. *Water and Soil Science*, 27(2), 143-156 (in Persian).
- Karamooz, M., Rahimi Farahani, M., & Moridi, A. (2006). Long-term forecast of precipitation using meteorological signals, application of artificial neural networks (southeastern region of Iran). Second Conference on Water Resources Management, Isfahan, Iran (in Persian).
- Karimi, Gh., & Bazrafshan, O. (2016). Investigating the effect of Enso on droughts and wetlands in Hormozgan Province. First International Conference on Water, Environment and Sustainable Development, Ardabil, Iran (in Persian).
- Kaviani, M.R. (2002). Climatic investigation on aridity and drought indices. *Geographic Research*, 16(1), 71-82 (in Persian).
- Khani Temeliyeh, Z., Rezaei, H., & 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).
- Khorshiddost, A., & Ghavidel Rahimi, Y. (2006). Evaluating the effect of Enso on the rainfall seasonal variability of East Azerbaijan Province using the Enso multivariate index. *Geographical Research*, 57, 15-26 (in Persian).
- Lim, Y.K., & Kim, K.Y. (2007). ENSO Impact on the space-time evolution of the regional Asian summer monsoons. *Journal of Climate*, 20, 2397-2415.
- Lyon, B., & Barnston, B. (2005). ENSO and the spatial extent of interannual precipitation extremes in tropical land areas. *Journal of Climate*, 18, 5095-5109.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology. Anaheim, California, Pp. 179-184.
- Moetamedi, M., Ehteramian, K., & Shahabfar, A.R. (2007). The study of teleconnection between ENSO as a weather signals and rainfall and temperature fluctuations of the Khorasan Province. *Environmental Science*, 4(4), 75-90 (in Persian).
- Mohammadi, H., Afsharmanesh, H., & Khalili, M. (2010). Survey the effect of the ENSO phenomenon (ENSO) on drought and wet years (Case Study: synoptic station of Bushehr). *Zagros Geographic Outlook*, 2(4), 69-82 (in Persian).
- Mosaedi, A., Marashi, M., & Kavakebi, Gh. (2009). Comparison of drought frequency in arid and humid regions (Case study: Golestan Province). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16(1), 277-290 (in Persian).
- Nasiri, B., Naserzadeh, M.H., Toulabi Nejad, M., & Zarei Choghablaki, Z. (2016). The effect of ENSO large scale atmospheric-oceanic pattern on Kashkan River Discharge. *Hydrogeomorphology*, 2(5), 141-166 (in Persian).
- Nazemosadat, S.M.J., & Ghasemi, A.R. (2003). Six-cold-month precipitation over southwestern and central Iran and its relation to E1 Ninio Southern Oscillation. *Journal of Water and Soil Science*, 7(2), 1-12 (in Persian).
- Nazemosadat, S.M.J., Ansaribasir, A., & Pishvaei, M.R. (2007). Significance level in the ENSO-based prediction of autumnal dryness and wetness in Iran. *Iran Water Resources Research*, 3(1), 12-24 (in Persian).
- Ostovarmeymandi, E. (2000). El Nino and its relationship with Iranian rainfalls. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran (in Persian).
- Rahimi, D., Abdullahi, Kh., & Hashemi Nasab, S. (2016). Identify tele-connection patterns affecting on rainfall in Karoon Basin. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 3(1), 95-105 (in Persian).
- Rajagopalan, B., Cook, E., Lall, U., & Ray, B.K. (2000). Spatiotemporal variability of ENSO and SST teleconnections to summer drought over the United States during the twentieth century. *Journal of Climate*, 13(24), 4244-4254.
- Rezaei Sadr, H., & Behnia, A. (2009). The relationship between El Nino Southern Oscillation and drought in Southern of Iran. The First International Conference on Water Crisis, Zabol, Iran (in Persian).
- Samali, R., Bazrafshan, O., Biniaz, M., & Moslemi, H. (2019). Investigation of the relationship between the phenomenon of Enso on the droughts and wet year in the Douthern Coastal Provinces of Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1(13), 217-231 (in Persian).
- Sedaghat Kerdar, A., & Fatahi, E. (2008). Drought early warning methods over Iran. *Geography*

- and Development Iranian Journal, 6(11), 59-76 (in Persian).
- Thom, H.C.S. (1958). A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review*, 86(4), 117-122.
- Van de Vyver, H., & Van den Bergh, J. (2018). The Gaussian copula model for the joint deficit index for droughts. *Journal of Hydrology*, 561, 987-999.
- Walker, G.T. (1923). *Correlation in seasonal variations of weather, Volume 24, Part VIII: A preliminary study of world weather, Memoirs of the India Meteorological Department*. Meteorological Office, 57 pages.
- Wallace, J.M., & Gutzler, A. (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 109(4), 784-812.
- Yarahmadi, D., & Azizi, G.H. (2008). Multivariate analysis of relationship between seasonal rainfall in Iran with climate indices. *Geographical Research Quarterly*, 40(1), 161-174 (in Persian).
- Yu, J., Choi, S.J., Kwon, H.H., & Kim, T.W. (2018). Assessment of regional drought risk under climate change using bivariate frequency analysis. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32, 3439-3453.
- Zare Abianeh, H. (2015). Effect of ENSO phenomenon on variability of surface water resources in Hamedan Province. *Water and Soil Science*, 24(4), 153-167 (in Persian).