

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 was 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),

DOI:

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

Water and Soil Management and Modeling, 2022, Vol.2, No. 2, pp.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





تأثیر شاخص‌های 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 پدیده‌ای اقلیمی است که در اثر کمبود رطوبت ناشی از کاهش بارندگی در مناطق مختلف اتفاق می‌افتد. لذا شناخت و بررسی عوامل مهم مؤثر بر کمبود بارش و به تبع آن ایجاد خشکسالی دارای اهمیت ویژه‌ای است. انسو جزو پدیده‌های دور پیوند اقلیمی است که می‌تواند آب و هوای مناطق مختلف سطح کره زمین را تحت‌الشعاع قرار دهد و بر خشکسالی نیز تأثیرگذار باشد. هدف از انجام مطالعه حاضر، بررسی تأثیر شاخص‌های دمایی انسو بر خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک در نیمه غربی ایران است. در این راستا برای دست‌یابی به هدف مورد نظر، ابتدا شاخص *SPI* در مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه شد. در مرحله بعد، با استفاده از نرم‌افزارهای آماری، رابطه هم‌بستگی هم‌زمان و غیرهم‌زمان بین شاخص‌های دمایی انسو با *SPI* و سپس مدل‌سازی رگرسیون بررسی شد. تحلیل نتایج نشان داد که رابطه با معناداری بیش‌تر در فصول پاییز و بهار و به ترتیب در شاخص‌های *Nino1+2* و *Nino3*، *Nino3.4*، *Nino4* وجود دارد که در حالت غیرهم‌زمان بهتر از حالت هم‌زمان بود. با بررسی معادلات رگرسیون و روابط همبستگی بر مبنای وجود هم‌بستگی سطوح معناداری ۱ درصد و ۵ درصد در بین شاخص‌های مذکور مشخص شد که معناداری بهتر رابطه غیرهم‌زمان نسبت به هم‌زمان حاکی از تأثیر حالت غیرهم‌زمان این شاخص بر آب و هوا و به تبع آن، خشکسالی در ایران است. لذا، نتایج حاصل نشان‌دهنده هم‌بستگی بالای این شاخص‌ها با خشکسالی است که می‌تواند در پیش‌بینی شرایط اقلیمی، خشکسالی، بروز سیلاب، برنامه‌ریزی و مدیریت بحران برای آن در حوزه‌های آبخیز کشور مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: انسو، خشکسالی، غرب ایران، مدل‌سازی رگرسیون، هم‌بستگی

نوع مقاله: پژوهشی

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

استناد: محمدرضایی، م، سلطانی، س، و مدرس، ر. (۱۴۰۱). تأثیر شاخص‌های دمایی انسو بر خشکسالی هواشناسی در نیمه غربی ایران. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۲(۲)،
DOI:.....

تاریخ دریافت: ۱۳/۰۷/۱۴۰۰، تاریخ بازنگری: ۲۶/۰۸/۱۴۰۰، تاریخ پذیرش: ۲۶/۰۸/۱۴۰۰، تاریخ انتشار:
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۲، صفحه ... تا



© 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، می‌تواند 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 بزرگ مقیاس 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 ترموکلاین 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 (El Niño Southern Oscillation)

² El Niño

³ La Niña

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 تخیل 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.

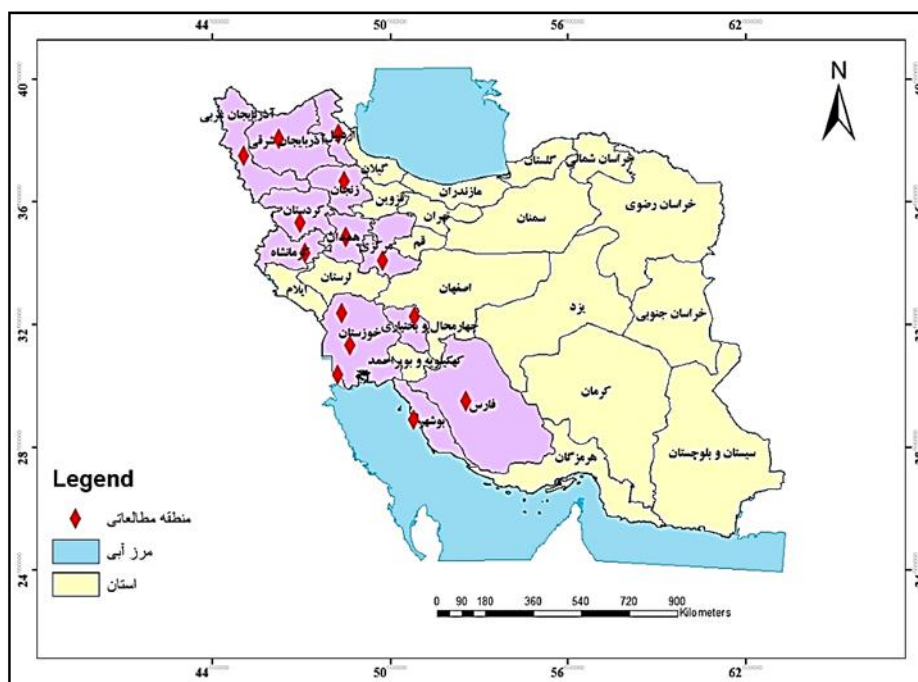
درصد) دارد. علاوه بر این، از هم‌بستگی پنجره متحرک می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌ترین اثر سیگنال در پاییز و زمستان روی ایستگاه‌های بوشهر، بوشهر ساحلی، بندرعباس، کیش و کنارک است. در پژوهشی Van de Vyver and Van den Bergh (2018) یک رابطه جدید شدت-مدت-فراوانی^۱ خشکسالی ارائه داده‌اند که بر اساس ویژگی چندمقیاسی 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 Temelilyeh 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 این که 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 این که 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)



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در غرب ایران
Figure1- Location of the study stations in the west of Iran

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table1- Geographical location of the study stations

نام	استان	عرض جغرافیایی (شمال-درجه)	طول جغرافیایی (شرقی-درجه)	ارتفاع (متر)	سال شروع	سال پایان	تعداد سال
آبادان	خوزستان	30°22'	48°15'	6.60	1951	2018	68
اراک	مرکزی	34°04'	49°47'	1702.80	1955	2018	64
اردبیل	اردبیل	38°13'	48°19'	1335.20	1976	2018	43
ارومیه	آذربایجان غربی	37°39'	45°03'	1328.00	1951	2018	68
اهواز	خوزستان	31°20'	48°40'	22.50	1951	2018	68
بوشهر	بوشهر	28°57'	50°51'	8.40	1986	2018	33
تبریز	آذربایجان شرقی	38°05'	46°17'	1361.00	1951	2018	68
دزفول	خوزستان	32°20'	48°31'	1457.00	1961	2018	58
زنجان	زنجان	36°41'	48°29'	1659.40	1955	2018	64
سنندج	کردستان	35°20'	47°00'	1373.40	1959	2018	60
شهرکرد	چهارمحال و بختیاری	32°17'	50°51'	2048.90	1955	2018	64
شیراز	فارس	29°32'	52°35'	1488.00	1951	2018	68
کرمانشاه	کرمانشاه	34°21'	47°09'	1318.50	1951	2018	68
همدان	همدان	34°51'	48°32'	1679.70	1951	2018	68

از آن‌جا که تابع گاما برای مقادیر صفر تعریف شده نمی‌باشد و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد. احتمال تجمعی به روش زیر است:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (3)$$

در این رابطه q احتمال وجود صفر در مقادیر بارش است، اگر m تعداد صفرها در سری‌های زمانی بارشی باشد، (Thom 1958) ثابت می‌کند که q از تقسیم m بر n می‌تواند محاسبه شود. تام

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{For } x > 0 \quad (1)$$

که در آن، $\alpha > 0$. α : پارامتر شکل، $\beta > 0$: پارامتر مقیاس، $x > 0$: مقدار بارش، $\Gamma(\alpha)$: تابع گاما است. تابع گاما از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

نقطه در محدوده مشخص محاسبه و سپس نرمال شده و به صورت استاندارد تبدیل می‌شود. محدوده تعریف این شاخص‌ها در جدول ۲ و موقعیت آن‌ها در اقیانوس آرام در شکل ۲ نشان داده شده است.

ناحیه شاخص ترکیبی Nino1+2 در بخش مرکزی آرام حاره‌ای واقع شده و این ناحیه نسبت به نواحی شاخص‌های یک و دو، واکنش کم‌تری نسبت به تأثیرات اقلیمی دارد. ناحیه شاخص Nino4 ناحیه‌ای از آرام حاره‌ای غربی را در برمی‌گیرد، جایی که دمای سطح دریا به طور معمول بالاست. ناحیه شاخص Nino3.4 ناحیه مشترک شاخص‌های Nino3 و Nino4 است که ناحیه‌ای از محدوده عرض جغرافیایی پنج درجه جنوبی تا پنج درجه شمالی و طول ۱۲۱ درجه غربی تا ۱۷۱ درجه غربی است. مقادیر این شاخص‌ها 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 ایستگاه‌های سینوپتیک ۱۴ ایستگاه در نیمه غربی کشور اخذ شد. سپس اقدام به مرتب کردن این داده‌ها و انجام آزمون همگنی داده‌ها و محاسبه شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه با استفاده از نرم‌افزار spi-sl-6.exe شد. در گام دوم با دریافت داده‌های شاخص‌های دمایی انسو شامل Nino1+2، Nino3، Nino3.4 و Nino4، اقدام به بررسی آزمون همبستگی اسپیرمن^۲ در حالت هم‌زمان بین شاخص‌های مذکور در نرم‌افزار 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 هم‌چنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا -۱ بوده و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر برابر صفر است. ضریب همبستگی رتبه‌ای 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 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).

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 می‌شود که این متغیر هم همان مقادیر می‌باشد که یک تبدیل با مقادیر یکسان است. در این تحقیق، شاخص بارش استاندارد با در نظر گرفتن مزایایی که در تحلیل منطقه‌ای و ایجاد ارتباط بین رخدادهای خشکسالی در نواحی مختلف یک پهله دارد، انتخاب شده است. بر طبق تعریف Mckee et al. (1993) یک دوره خشکی زمانی که مقدار SPI به‌طور مداوم منفی و مقدار آن مساوی یا کم‌تر از -۱ باشد، آغاز می‌شود. این دوره، زمانی که SPI به مقادیر مثبت برگردد، تمام می‌شود. شدت خشکسالی برابر مقادیر تجمعی SPI رابطه ۴، در طول مدت یک رویداد خشکسالی در نظر گرفته می‌شود.

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

۲-۲-۲- شاخص‌های دمایی انسو

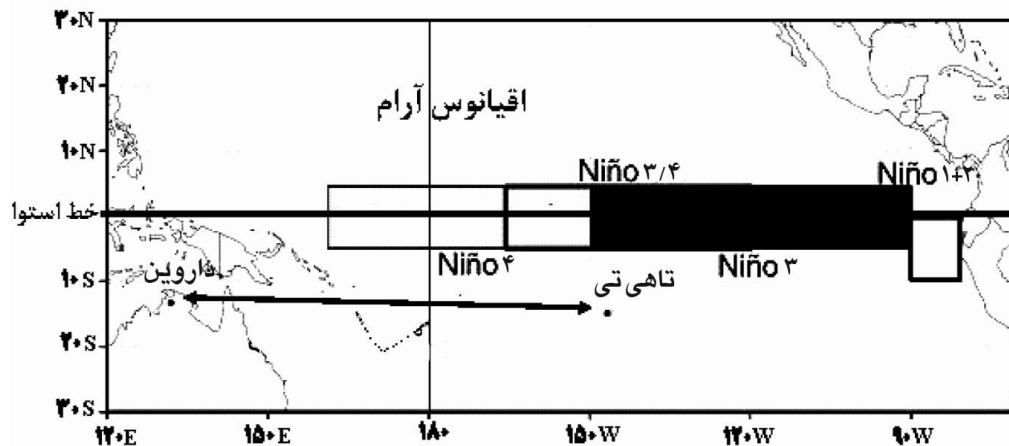
در شاخص‌های نوسانات اقیانوسی - اتمسفری عموماً فشار و دمای سطح آب در دو نقطه (قطب) از اقیانوس‌ها به صورت الکلنگی تغییر می‌کند. بدین معنا که اگر در قطبی فشار و یا دمای سطح آب^۱ افزایش یابد، در قطب دیگر کاهش خواهد یافت. اختلاف فشار میان دو قطب به صورت شاخصی برای بیان کمی این نوسانات به کار برده می‌شود. یکی از این شاخص‌ها، نوسانات دمایی انسو است. پدیده ENSO به‌عنوان پدیده‌ای مستمر و پویا و از مهم‌ترین پدیده‌های شناخته شده ناشی از واکنش‌های متقابل اقیانوس - خشکی و خشکی، هم‌چنین از مهم‌ترین عوامل تغییر اقلیم در مقیاس جهانی بوده و تغییرات اقلیمی در مقیاس سالانه در برخی از مناطق کره زمین را موجب می‌شود که با به‌وجود آوردن پدیده‌های ال‌نینو و لائینا تغییراتی را در اقلیم خصوصاً توزیع زمانی-مکانی بارش به‌وجود می‌آورد. این پدیده اقلیمی از دهه ۱۹۲۰ شناخته شده و به‌طور گسترده‌ای مطالعه شده است (Walker, 1924). اگر چه ENSO در اقیانوس آرام رخ می‌دهد ولی بیش‌ترین تأثیر را بر اقلیم جهانی تمامی نوسانات تاکنون شناخته شده می‌گذارد (Alexander et al., 2005). در این مطالعه از شاخص‌های دمایی Nino4، Nino3.4، Nino3 و Nino1+2 برای تعیین زمان وقوع پدیده‌های ال‌نینو و لائینا استفاده شد. نوسانات دمایی اقیانوس آرام شامل WHWP1 PACWARM3، Nino1+2، Nino3.4، Nino3 و Nino4 است 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

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.

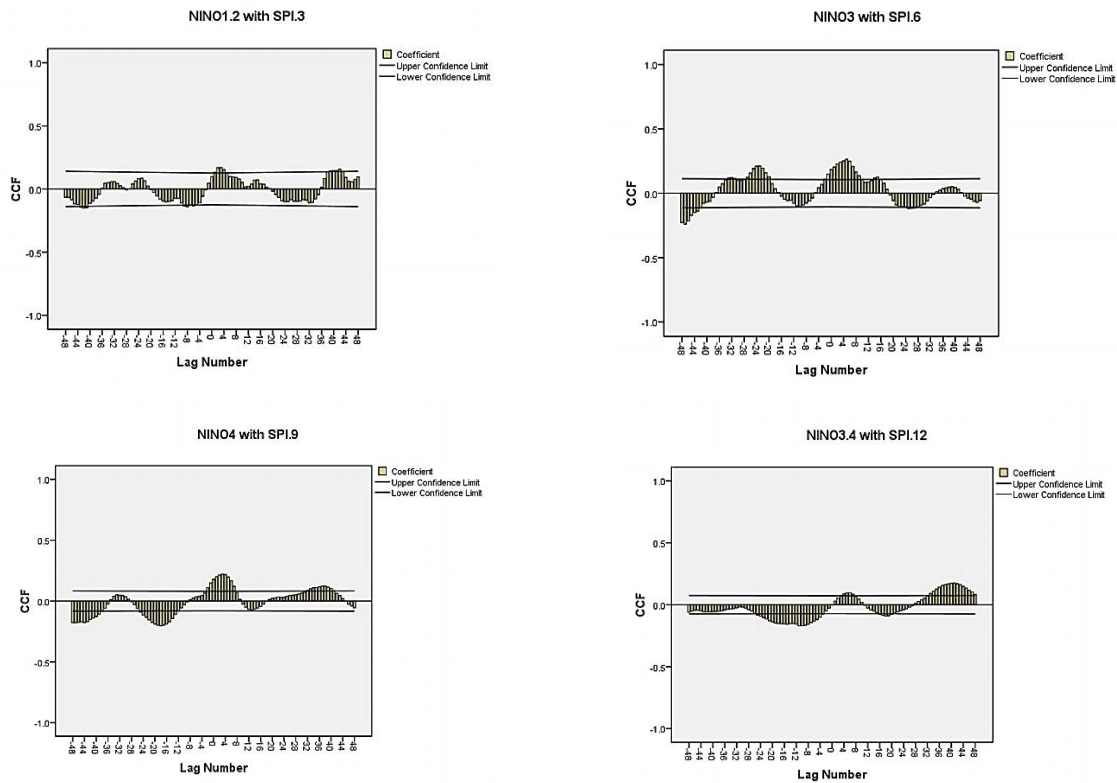
ضریب هم‌بستگی معیار برای وجود رابطه معنادار ۰/۵ در نظر گرفته شد. گام سوم، بررسی رابطه غیر هم‌زمان یا دارای تأخیر با رابطه تابع هم‌بستگی عرضی^۱ بین شاخص‌های مذکور در حالت زمان‌های تأخیر ۱ تا ۴۸ ماهه در نرم‌افزار آماری SPSS16 بود. در پایان نیز مدل‌سازی رگرسیون خطی این شاخص‌ها با خشکسالی محاسبه شد تا تأثیر 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 $\hat{A}m$ متغیر کمی وابسته است. p تعداد پیش‌گوهاست، b_j مقدار ضریب $\hat{A}m$ است، $j = 0, \dots, p$ و X_{ij} : مقدار مورد $\hat{A}m$ از پیش‌گوی $\hat{A}m$ است، e_i خطای در مقدار مشاهده شده برای مورد $\hat{A}m$ است. آزمون رگرسیون چندمتغیره با حالت‌های هم‌زمان و تأخیردار ۱-۶ و ۱۲ و ۲۴ و ۴۸

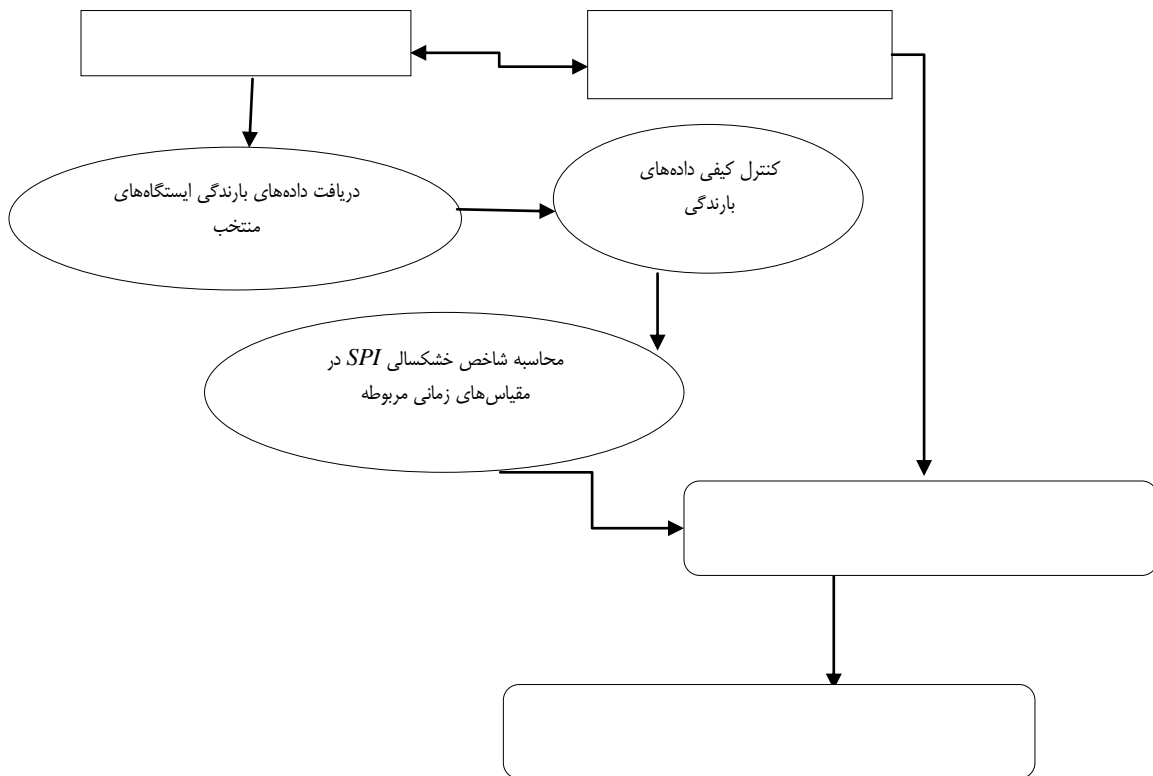
^۲Stepwise

^۱Cross Correlation Function (CCF)



شکل ۳- نمودار روابط غیرهمزمان سری‌های زمانی SPI در مقیاس‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و ارتباط آن با شاخص‌های مختلف دمایی انسو به ترتیب در ایستگاه‌های 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) Nazemosadat et al. (2007) و Karamooz et al. (2006) 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

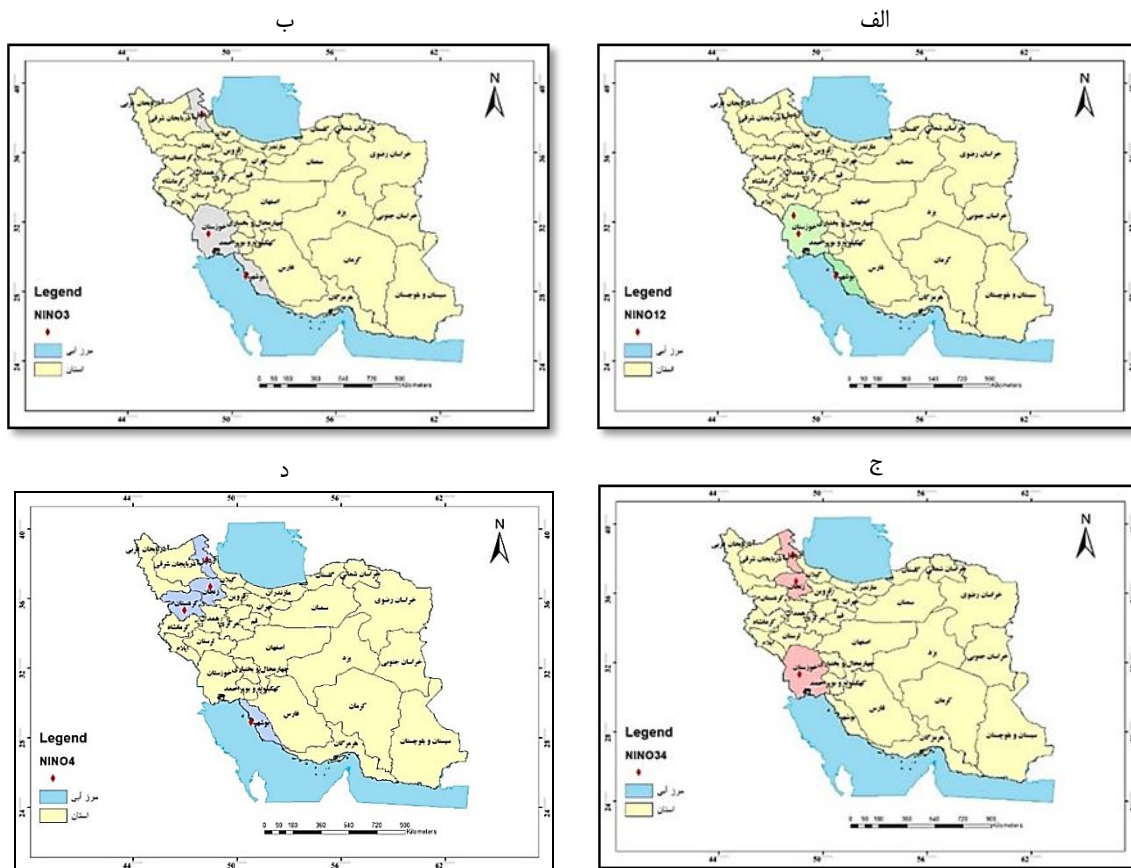
منظور از حالت غیر هم‌زمان یا دارای تأخیر این است که در هر تأخیری بسته به عدد مربوطه، آن میزان فاصله زمانی ماهانه میان دوره خشکسالی و شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری در نظر گرفته شده است. بنابراین جهت بررسی روابط غیرهم‌زمان یا دارای تأخیر بین شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری و شاخص خشکسالی با استفاده از نرم‌افزار 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، Nino 4

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. به‌طور 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

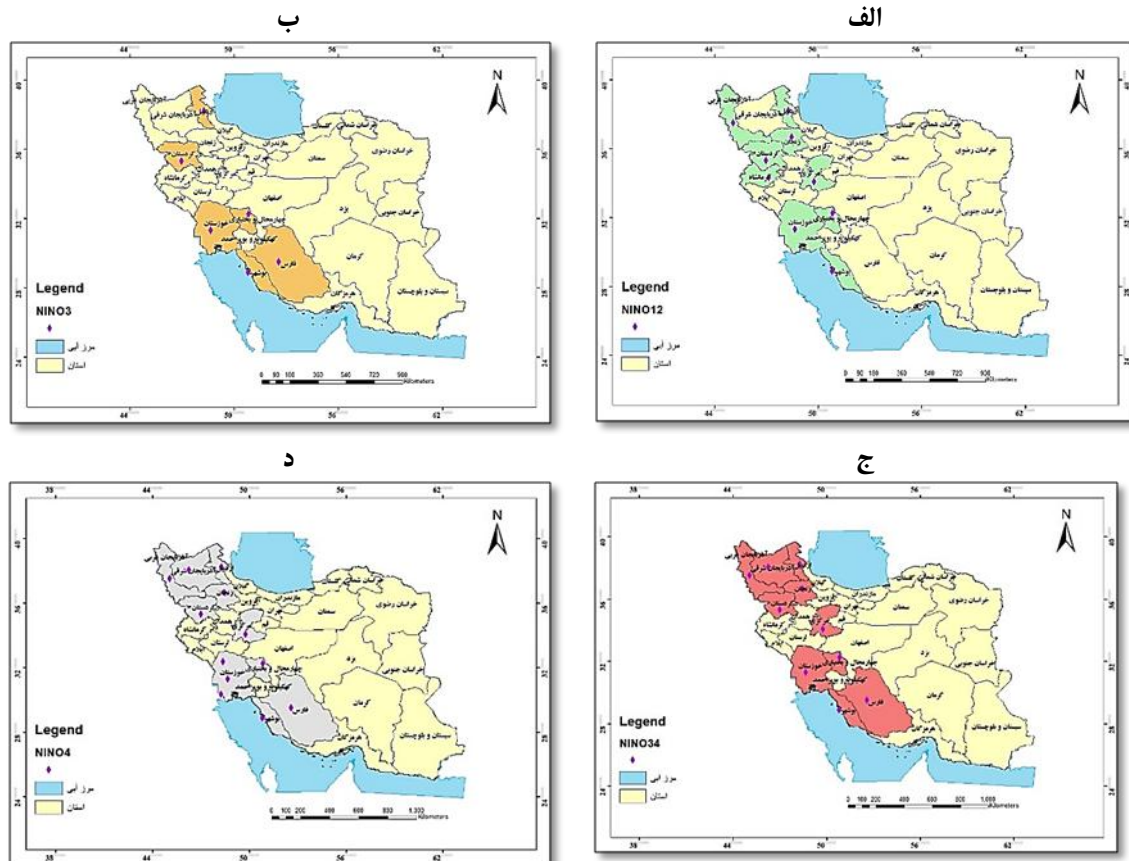


شکل ۵- پراکندگی مکانی ایستگاه‌های دارای رابطه هم‌زمان SPI با شاخص‌های دمایی انسو در نیمه غربی ایران: (الف) Nino 1+2، (ب) Nino 3، (ج) Nino 3.4 و (د) Nino 4

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 سری‌های 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 سری‌های 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 می‌شود در بررسی اثر پدیده انسو بر اقلیم و آب و هوای کشور ایران، باید آثار متقابل خشکسالی با دیگر پدیده‌های دورپیوند و هم‌چنین بررسی سیلاب در ارتباط با شاخص‌های نامبرده را نیز مد نظر قرار داد.

استفاده کرد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به‌نوعی تأییدی بر یافته‌های محققان دیگر در گذشته باشد.

به‌نظر می‌رسد که با توجه به ساز و کار پدیده انسو و ارتباط آن با بلایای طبیعی، بررسی و مطالعه بیش‌تر شاخص‌های آن می‌تواند در پیش‌بینی شرایط اقلیمی، بروز خشکسالی و سیلاب ایران و در نهایت جهت مدیریت بهتر بحران برای آن‌ها مؤثر

منابع

بیات‌ورکشی، م.، و شیرمحمدی، ن. (۱۳۹۸). بررسی اثر خشکسالی و پدیده انسو بر تغییرات جریان آب‌های سطحی در دو استان همدان و زنجان. *پژوهش‌های دانش زمین*، ۱۰(۴)، ۱-۱۷.

ثمالی، ر.، بذرافشان، ا.، بی‌نیاز، م.، و مسلمی، ح. (۱۳۹۷). بررسی ارتباط بین پدیده انسو بر خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در استان‌های 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 بارش‌های فصلی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص چندمتغیره انسو. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۵۷، ۱۵-۲۶.

استوار میمندی، ا. (۱۳۷۹). ال‌نینو و رابطه آن با بارش‌های ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

احمدی‌گیوی، 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 بیات‌ورکشی، م. (۱۳۹۶). بررسی ارتباط بین پدیده انسو و وقوع خشکسالی در ایران. *دانش آب و خاک*، ۲۷(۲)، ۱۴۳-۱۵۶.

کریمی، ق.، و بذرافشان، ا. (۱۳۹۵). بررسی تأثیر پدیده انسو بر خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان هرمزگان. اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط زیست و توسعه پایدار. دانشگاه محقق اردبیلی.

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.

متمدی، 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.ج.، طولایی‌نژاد، م.، و زارعی چغابلیکی، 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*، ۶۲، ۱۶۱-۱۷۴.

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 شمال‌غرب 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 فاتحی، ا. (۱۳۸۷). شاخص‌های پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۱۱(۱)، ۷۶-۵۹.

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

علیجانی، ب. (۱۳۹۰). هواشناسی سینوپتیک. چاپ چهارم، انتشارات سمت. فاتحی‌مرج، ا.، و مهدیان، م.ج. (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 شمال‌غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۸(۴)، 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.

کاوایانی، م. (۱۳۸۰). بررسی اقلیمی شاخص‌های خشکی و خشکسالی. *تحقیقات جغرافیایی*، ۱۶(۱)، ۷۱-۸۲.

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). El-nino 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-month precipitation over southwestern and central Iran and its relation to El Niño 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 Niño 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 Niño Southern Oscillation and drought in Southern of Iran. The First International Conference on Water Crisis, Zabol, Iran (in Persian).
- Samali, R., Bazrafshan, O., Biniiaz, 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).