

بررسی ارتباط بین پدیده انسو و وقوع خشکسالی در ایران

علیرضا ایلدرومی^۱، حمید نوری^۲، مریم بیات ورکشی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۱

۱- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۲- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۳- استادیار مهندسی منابع آب، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.bayat.v@gmail.com

چکیده

نقش پدیده‌های جوی - اقیانوسی انسو در وقوع خشکسالی کشور براساس اطلاعات ۳۰ ایستگاه همدید در یک بازه زمانی بلند مدت از بدو تاسیس تا سال ۲۰۱۰ بررسی گردید. از برخی شاخص‌های انسو (شامل MEI, SOI, NINO_{۱+۲}, NINO_{۳/۴}, NINO_۴, NOI, TNI و PNA) به‌عنوان متغیر مستقل و از شاخص بارش استاندارد (SPI) به‌عنوان متغیر وابسته برای بیان خشکسالی استفاده شد. نتایج حاصل از بکارگیری روش تحلیل همبستگی پیرسون نیز بیان‌گر ارتباط بین شاخص‌های اقلیمی انسو و SPI بود. بیشترین همبستگی به‌میزان ۴۳/۳۳ درصد به شاخص SOI تعلق داشت. همبستگی شاخص‌های MEI, NINO_{۳/۴}, NINO_۴, NOI, NINO_{۱+۲}, TNI و PNA به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. از طرفی، همبستگی خشکسالی نواحی غرب و شمال غرب کشور با شاخص SOI بیش از سایر نواحی بود. مقایسه تعداد وقوع خشکسالی در فازهای گرم (النینو) و سرد (لانینا) انسو نشان داد که تعداد وقوع خشکسالی در فاز لانینا بیش از النینو بود که موید آن است که وقوع فاز النینو منجر به کاهش خشکسالی کشور شده است.

واژه‌های کلیدی: النینو، ایران، لانینا، SPI، SOI

Study of Relation between ENSO Phenomenon and Drought Occurrence in Iran

AR Ildoromi¹, H Nouri², M Bayat Varkeshi^{*3}

Received: 13 April 2016 Accepted: 31 December 2016

1. Assoc. Prof., Dept. of Natural Resources and Environment, University of Malayer, Iran

2. Assist. Prof., Dept. of Natural Resources and Environment, University of Malayer, Iran

2. Assist. Prof. of Water Engineering, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Iran

*Corresponding Author, Email: m.bayat.v@gmail.com

Abstract

The role of ENSO ocean- atmosphere phenomena in occurrence of country drought was studied based on 30 synoptic stations in a time span from station construction to 2010. For assessment of ENSO role some indices, including SOI, MEI, NINO₁₊₂, NINO_{3,4}, NINO₃, NINO₄, NOI, TNI and PNA were used as independent variables and *SPI* as dependent variable to determine drought occurrence. The results of the Pearson correlation analysis expressed the relationship between ENSO climatic indices and the *SPI*. The maximum correlation belonged to SOI with 43.33 %. The correlation values of MEI, NINO 3.4, NINO 4, NOI, NINO 1+2, TNI and PNA were in the next ranks, respectively. Moreover, drought correlation with SOI in parts of the west and North West of the country were more than other areas. Comparison of drought occurrence number in El Nino as warm phase of ENSO and La Nina as cold phase of ENSO showed that the droughts number in the La Niña phase was more than the El Nino, which confirmed that the El Nino phase led to reduce the country drought.

Keywords: El Nino, Iran, La Nina, *SPI*, SOI

مقدمه

(یاراحمدی و عزیزى ۱۳۸۶). انسو^۲ از پدیده‌های مهم بزرگ مقیاس اقلیمی موثر در توزیع زمانی و مکانی بارش و به تبع آن خشکسالی است. انسو معمولاً در قالب دو فاز النینو^۳ و لانینای^۴ الگوهای پیوند از دور بزرگ مقیاس جهت تعدیل علت‌های واقعی اثرگذار بر چرخه آب و فرآیندهای محیطی مورد بررسی قرار می‌گیرد (دلیتالیا و همکاران ۲۰۰۰). این الگوها در واقع همبستگی‌های هم‌زمان معنی‌دار بین فراسنجه‌های هواشناسی در پهنه‌های بزرگ و جدا از همدیگر در سطح زمین هستند. لیم و کیم (۲۰۰۷) ضمن تایید تاثیرپذیری توزیع زمانی و مکانی بارش از فازهای انسو، دیگر عوامل جوی را نیز در نوسانات بارش موثر دانستند. خورشیددوست و همکاران (۱۳۸۹) افزایش معنی‌دار بارش‌های پاییزی منطقه اهر (استان آذربایجان

خشکسالی یکی از پدیده‌های هواشناختی و جدایی ناپذیر از شرایط اقلیمی کشورهای واقع در عرض‌های جنب حاره‌ای مثل ایران است. بارش و نوسانات آن در دوره‌های خشک و تر، عمده‌ترین فراسنجه در تعریف خشکسالی و شاخص‌های مربوط به آن است. بررسی هم‌زمان تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی، اطلاعات جامع و کاملی جهت شناخت رابطه آن با الگوهای پیوند از دور^۱ در اختیار کاربران قرار می‌دهد. به عبارت دیگر، پیوند از دور، بصورت ارتباط هم‌زمان نوسان‌های عناصر اقلیمی یک مکان با تغییرات زمانی شدت و تغییرات مکانی الگوهای گردش جوی - اقیانوسی زمین در نقاط جغرافیایی دیگر تعریف شده است. بررسی‌ها نشان‌دهنده ارتباط الگوهای پیوند از دور در مناطقی از جهان با تغییرات کوچک مقیاس اقلیمی مناطق دیگر برای تبیین رفتار اقلیمی است

² Enso

³ El-Nino

⁴ La-Nina

¹ Teleconnection

انسو بر بارش‌های اروپا، اظهار داشتند پدیده انسو تأثیرات کمی بر بارش‌های زمستانه اروپا دارد. زارع ابیانه و بیات ورکشی (۱۳۹۱الف) با بررسی اثر پدیده انسو بر تعداد روزهای بارانی ۳۰ ایستگاه کشور نشان داد تعداد روزهای بارانی در فاز النینو بیش از لانینا بود که موید افزایش تعداد روزهای بارانی کشور در فاز النینو می‌باشد. تأثیرپذیری قابل ملاحظه دمای هوای نیمه جنوبی کشور از پدیده انسو در مطالعه زارع ابیانه و بیات ورکشی (۱۳۹۱ب) گزارش شد. ارسال و عزیزی (۱۳۹۲) در بررسی‌های خود نشان دادند برخی ترسالی‌های منطقه زاگرس میانی ایران هم‌زمان با رخدادهای تاریخی النینو از شاخص SOI، بوده است. سبزی پرور و تنیان (۱۳۹۲) ضمن تایید اثر پدیده انسو بر تبخیر- تعرق گیاه مرجع ۱۳ ایستگاه واقع در اقلیم سرد کشور، اظهار داشتند تأثیرپذیری تبخیر- تعرق مرجع از پدیده انسو در فصل پاییز ۶۸٪ از تأثیرپذیری کل فصول را در شهرهای مورد مطالعه شامل می‌شود.

خشکسالی از آثار تغییر اقلیم به‌ویژه کاهش بارندگی‌ها نسبت به حد میانگین دراز مدت است که بر جنبه‌های مختلف زندگی بشر تأثیر دارد. بررسی‌ها نشان داد که تغییرات اقلیمی مثل تغییرات دمایی و بارندگی، در یک مکان می‌تواند با تغییرات الگوهای فشار سطح دریا در دیگر نقاط جغرافیایی کره زمین در ارتباط باشد. مطالعات صورت گرفته در خصوص خشکسالی بیشتر به روش‌های پیش‌بینی، گستره جغرافیایی و شدت خشکسالی معطوف بوده است. لذا مطالعه ارتباط رفتاری خشکسالی، با شاخص‌های گوناگون انسو و فازهای النینو و لانینای شاخص‌ها برای کمینه‌سازی ریسک، عدم قطعیت و خسارت‌های ناشی از آن ضرورت دارد. در این پژوهش، برای بررسی ارتباط پدیده انسو با خشکسالی، بخش گسترده‌ای از کشور مورد توجه قرار گرفت. بدین ترتیب نقش تفکیکی و بازخوردی شاخص‌های مختلف

شرقی) در فاز گرم (النینو) از شاخص نوسان جنوبی^۵ (SOI) و کاهش بارندگی‌ها یا بروز خشکسالی در فاز سرد (لانینا) SOI را گزارش نمودند. مطالعات یاراحمدی و عزیزی (۱۳۸۶)، حاکی از ارتباط بارش‌های پاییزه و زمستانه ایران با شاخص‌های اقلیمی نینو ۳/۴، نوسان جنوبی و چند متغیره انسو^۶ (MEI) است. در مطالعه‌ای مشابه ناظم‌السادات و قاسمی (۲۰۰۴) بر احتمال وقوع ترسالی‌های پاییزی در فاز النینو و بروز خشکسالی‌ها در فاز لانینا برای مناطق جنوبی ایران تاکید نمودند. ناظم‌السادات و قائد امینی (۱۳۸۷) ضمن تایید همبستگی نوسانات دمای سطح خلیج فارس با فازهای گرم و سرد النینو نشان دادند که در صورت گرمی دمای سطح خلیج فارس احتمال خشکسالی زیاد است. همبستگی بسیار خوبی بین مقادیر مثبت SOI با سال‌های تر و مقادیر منفی آن با سال‌های خشک در اقلیم بنگلادش گزارش شده است (چودری ۲۰۰۳). اندروز و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی رابطه حداکثر سیلاب‌های ساحلی کالیفرنیا با شاخص چند متغیره انسو دریافتند که میانگین سیلاب‌های سالانه علاوه بر پدیده انسو به عرض جغرافیایی ناحیه سیلابی نیز وابسته است. مطالعه داده‌های ۴۷ ساله بارش مالزی نشان داد که ناهنجاری بارش‌های فصل خشک، به‌شدت به دمای سطحی دریا و فاز گرم انسو وابسته است (هندن ۲۰۰۳). داوی و همکاران (۲۰۱۴) اثر پدیده انسو بر بارندگی و دمای نزدیک سطح زمین را طی سال‌های گذشته گزارش نمودند. نتایج بررسی اثر انسو بر بارندگی و دمای هوا در آمریکای جنوب نشان داد که میزان بارش و دمای هوا متأثر از پدیده انسو می‌باشد (شیمیزو و آمبریزی ۲۰۱۵). اثر النینو بر اقلیم آمازون توسط لی و همکاران (۲۰۱۱) بررسی شد. در این مطالعه وقوع بارش‌های زیر نرمال در مرکز، شمال و شرق آمازون طی دوره‌های النینو گزارش گردید. شامن (۲۰۱۴) با بررسی تأثیر فصلی

⁵ Southern oscillation index

⁶ Multivariate ENSO index

انسو بر تغییرات خشکسالی کشور، در چارچوب روش- های آماری همبستگی، بررسی شد.

مواد و روش‌ها

از آنجایی که لازمه بررسی خشکسالی و ارتباط آن با پدیده انسو، به‌کارگرفتن داده‌های طولانی

مدت تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها است، بنابراین از داده- های طولانی مدت سالانه بارندگی ۳۰ ایستگاه هواشناسی از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۰ مطابق جدول ۱، استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه.

شماره ایستگاه	مختصات جغرافیایی (درجه و دقیقه)		ارتفاع از سطح دریا (m)	دوره آماری	شماره ایستگاه	مختصات جغرافیایی (درجه و دقیقه)		ارتفاع از سطح دریا (m)	دوره آماری
	عرض	طول				عرض	طول		
۱	۲۸°۰۵'	۴۶°۱۷'	۱۳۶۱	۱۹۵۱-۲۰۱۰	۱۶	۳۱°۵۴'	۵۴°۱۷'	۱۲۳۷	۱۹۵۳-۲۰۱۰
۲	۳۱°۲۰'	۴۸°۴۰'	۲۲	۱۹۵۷-۲۰۱۰	۱۷	۳۰°۱۵'	۵۶°۵۸'	۱۷۵۴	۱۹۵۱-۲۰۱۰
۳	۳۵°۴۱'	۵۱°۱۹'	۱۱۹۱	۱۹۵۱-۲۰۱۰	۱۸	۳۲°۵۲'	۵۹°۱۲'	۱۴۹۱	۱۹۵۶-۲۰۱۰
۴	۳۴°۲۱'	۴۷°۰۹'	۱۳۱۹	۱۹۵۱-۲۰۱۰	۱۹	۳۶°۴۱'	۴۸°۳۲'	۱۶۶۳	۱۹۵۶-۲۰۱۰
۵	۲۸°۵۹'	۵۰°۵۰'	۲۰	۱۹۵۱-۲۰۱۰	۲۰	۳۰°۴۱'	۵۱°۳۳'	۱۸۱۶	۱۹۸۷-۲۰۱۰
۶	۳۶°۵۱'	۵۴°۱۶'	۱۳	۱۹۵۳-۲۰۱۰	۲۱	۳۲°۱۷'	۵۰°۵۱'	۲۰۴۹	۱۹۵۶-۲۰۱۰
۷	۲۹°۳۲'	۵۲°۳۶'	۱۴۸۴	۱۹۵۱-۲۰۱۰	۲۲	۳۵°۲۰'	۴۷°۰۰'	۱۳۷۳	۱۹۶۰-۲۰۱۰
۸	۳۲°۳۷'	۵۱°۴۰'	۱۵۵۰	۱۹۵۱-۲۰۱۰	۲۳	۳۶°۳۹'	۵۱°۳۰'	-۲۱	۱۹۷۷-۲۰۱۰
۹	۳۳°۲۶'	۴۸°۱۷'	۱۱۴۸	۱۹۵۱-۲۰۱۰	۲۴	۳۳°۳۸'	۴۶°۲۶'	۱۳۳۷	۱۹۸۷-۲۰۱۰
۱۰	۳۶°۱۶'	۵۹°۳۸'	۹۹۹	۱۹۵۱-۲۰۱۰	۲۵	۳۴°۵۲'	۴۸°۳۲'	۱۷۴۱	۱۹۷۷-۲۰۱۰
۱۱	۲۷°۱۳'	۵۶°۲۲'	۱۰	۱۹۵۷-۲۰۱۰	۲۶	۳۴°۴۲'	۵۰°۵۱'	۸۷۷	۱۹۸۷-۲۰۱۰
۱۲	۳۵°۳۵'	۵۳°۳۳'	۱۱۳۱	۱۹۶۵-۲۰۱۰	۲۷	۳۶°۱۵'	۵۰°۰۳'	۱۲۷۹	۱۹۵۹-۲۰۱۰
۱۳	۳۷°۳۲'	۴۵°۰۵'	۱۳۱۶	۱۹۵۱-۲۰۱۰	۲۸	۳۷°۲۸'	۵۷°۱۶'	۱۱۱۲	۱۹۷۸-۲۰۱۰
۱۴	۳۷°۱۵'	۴۹°۳۶'	-۷	۱۹۵۶-۲۰۱۰	۲۹	۳۸°۱۵'	۴۸°۱۷'	۱۳۳۲	۱۹۷۷-۲۰۱۰
۱۵	۲۹°۲۸'	۶۰°۵۳'	۱۳۷۰	۱۹۵۱-۲۰۱۰	۳۰	۳۴°۰۶'	۴۹°۴۶'	۱۷۰۸	۱۹۵۶-۲۰۱۰

تمامی اطلاعات پلاایش یافته و پردازش شده بارندگی با فرمت استاندارد از پایگاه اطلاعاتی سازمان هواشناسی کشور اخذ و در پوشه‌هایی به تفکیک هر ایستگاه در رایانه در محیط نرم‌افزار SPSS ذخیره گردید. داده‌های هر ایستگاه به‌صورت سری زمانی سالانه ۱۲ ستونه، به تعداد ماه‌های سال و یک ستون، مقادیر سالانه، در ردیف‌هایی به تعداد سال‌های آماری مرتب شدند. بدین‌ترتیب جامعه آماری این تحقیق داده- های سالانه بارندگی با حجم نمونه ۱۴۹۲ الگو بود که

پس از مرتب کردن و آماده‌سازی، نسبت به صحت داده‌ها با آزمون توالی^۷، اطمینان حاصل شد. برای کمی نمودن رخدادهای خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده^۸ (SPI) استفاده شد. محاسبه‌ی شاخص SPI مستلزم برازش توزیع احتمالاتی مناسب به سری طولانی مدت داده‌های بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه در هر ایستگاه است. بسیاری از پژوهشگران از جمله مککی و همکاران (۱۹۹۵) توزیع

^۷ Run Test

^۸ Standardized precipitation index

در این رابطه q احتمال وقوع بارندگی صفر میلی‌متر می‌باشد.

سرانجام $H(x)$ با استفاده از رابطه ۶ و ۷ به توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف از معیار یک انتقال داده می‌شود که نتیجه به دست آمده مقدار SPI شناخته می‌شود:

برای $0 < H(x) \leq 0.5$:

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad [6]$$

برای $0.5 < H(x) \leq 1$:

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad [7]$$

برای $0 < H(x) \leq 0.5$ و $0.5 < H(x) \leq 1$:

مؤلفه t به ترتیب، از رابطه‌های ۸ و ۹ به دست می‌آید:

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{H(x)^2}\right)} \quad [8]$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} \quad [9]$$

مؤلفه‌های $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$ نیز ضرایب

ثابتی هستند که برابر $c_0=2.515517, c_1=0.802853, c_2=0.010328, d_1=1.432788, d_2=0.001308, d_3=0.001308$ می‌باشند.

بدین ترتیب، مقادیر SPI برابر با نمره استاندارد

در توزیع نرمال استاندارد می‌باشد که طبق جدول ۲ طبقه‌بندی می‌شود.

جدول ۲- طبقه‌بندی مختلف خشکسالی در

شاخص SPI (ادوارد و مک‌کی ۱۹۹۷).

مقدار SPI	طبقات خشکسالی
۲ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
-۱/۴۹ تا -۱	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵۰	خشکسالی شدید
-۲ یا کمتر	خشکسالی بسیار شدید

گاما را پیشنهاد دادند. برای برآزش داده‌های بارندگی به توزیع گاما لازم است که α و β برآورد گردند. ادوارد و مک‌کی (۱۹۹۷) برای برآورد این دو پارامتر استفاده از روش بیشینه درست، نمایی را پیشنهاد نمودند که از رابطه‌های ۱ و ۲ تخمین زده شدند:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right) \quad [1]$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad [2]$$

مقدار A برای n مشاهده از رابطه ۳ برآورد گردید:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad [3]$$

که در آن n تعداد مشاهداتی است که در آن

بارندگی روی داده است و \bar{x} نیز میانگین بارندگی بازه زمانی مورد نظر می‌باشد.

با فرض پیروی مقدار بارندگی از توزیع گاما،

گام بعدی در محاسبه‌ی شاخص SPI انتقال احتمال تجمعی به دست آمده از توزیع گاما به توزیع نرمال استاندارد تجمعی با میانگین صفر و انحراف از معیار یک می‌باشد. در واقع SPI عبارتست از متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر مورد نظر از توزیع گامای به دست آمده، مساوی باشد. با استفاده از پارامترهای برآورد شده در رابطه‌های بالا می‌توان احتمال تجمعی بارندگی را برای هر ایستگاه محاسبه نمود. با فرض $t=x/\beta$ احتمال تجمعی به شکل تابع گامای ناقص درخواهد آمد و با رابطه ۴ تعریف گردید:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\tau(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad [4]$$

از آنجایی که تابع گاما برای $x=0$ قابل تعریف

نمی‌باشد و داده‌های بارندگی همواره دربرگیرنده تعداد زیادی مشاهده با بارندگی صفر می‌باشد، احتمال تجمعی بارندگی به شکل رابطه ۵ تبدیل می‌گردد:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad [5]$$

شاخصی از انسو با بیشترین درصد همبستگی نمایش گردید. به منظور تعیین دوره‌های النینو (گرم) و لانینای (سرد) از معیار پیشنهادی ترنبرس (۱۹۹۷) استفاده شد. در این معیار تعداد وقوع سال‌های مرطوب، نرمال و خشک هر یک از ایستگاه‌ها براساس طبقه‌بندی ادوارد و مککی (۱۹۹۷) در هر یک از فازهای انسو برای هر ایستگاه محاسبه گردید.

نتایج و بحث

روند تغییرات بارش هر یک از ایستگاه‌ها بر حسب سال‌های آماری رسمیم و با محاسبه میزان انحراف از میانگین داده‌ها، کیفیت داده‌های انتخابی تایید شد. همچنین نتایج آزمون‌های کمی داده‌های بارندگی نشان‌دهنده مناسب بودن حجم داده‌ها و کیفیت مناسب آن‌ها دارد. محاسبات شاخص خشکسالی نشان داد کلیه ایستگاه‌ها در طول دوره آماری با شدت‌های مختلف خشکسالی مواجه بوده‌اند. بیشترین مقدار SPI منفی که بیانگر شدیدترین خشکسالی است به مقدار $-۳/۷۶$ به سال ۱۹۶۲ در ایستگاه بندرعباس تعلق دارد. در مقابل بیشترین مقدار مثبت شاخص SPI برابر $۳/۹۱$ محاسبه شد که بیانگر ترسالی شدید بوده و مربوط به سال ۱۹۵۹ در ایستگاه گلستان بود. بررسی وضعیت خشکسالی طی دوره آماری نشان داد تعداد و درصد ایستگاه‌های مواجه با پدیده خشکسالی از شرق کشور بیش از تعداد و درصد ایستگاه‌های درگیر با خشکسالی در غرب کشور بود. نتایج فوق در راستای مطالعات زارع ایبانه و بیات ورکشی (۱۳۹۱-الف) مبنی بر ناهمگونی زمانی و مکانی بارندگی‌های درازمدت ایران و بروز شدت‌های مختلف خشکسالی است.

برای تصمیم‌گیری در خصوص شاخص‌های انسو وضعیت همبستگی آن‌ها با شاخص خشکسالی SPI در مقیاس زمانی سالانه، محاسبه و نتیجه به صورت درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار

در این طبقه‌بندی مقادیر بیش از $+۱$ به‌عنوان ترسالی با شدت‌های متفاوت ترسالی، مقادیر بین $۰/۹۹$ و $-۰/۹۹$ بیانگر وضعیت نرمال و مقادیر کمتر از -۱ معادل خشکسالی با شدت‌های مختلف خشکسالی است (ادوارد و مککی ۱۹۹۷). همچنین از داده‌های نمایان‌گر شاخص‌های اقلیمی بزرگ مقیاس چند متغیره انسو^۱ (MEI)، نوسان جنوبی (SOI)، نینو $۱+۲$ (NINO_{۱+۲})، نینو $۳/۴$ (NINO_{۳/۴})، نینو ۴ (NINO_۴)، نوسان شمالی^۲ (NOI)، انتقالی انسو^۳ (TNI) و اقیانوس آرام آمریکای شمالی^۴ (PNA) استفاده شد (فاتحی مرچ و همکاران ۱۳۸۵). این شاخص‌ها حاصل اندازه‌گیری فراسنجه‌هایی از جنس فشار، دمای سطح آب، دمای هوای سطح، ابرناکی، باد و فراسنجه‌های دیگر به‌صورت مجزا یا ترکیبی در مناطق مختلف جهان می‌باشند. اطلاعات مربوط این شاخص‌ها برای دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ از طریق آرشیو الکترونیکی سازمان هواشناسی استرالیا^۵ و آرشیو مرکز تشخیص اقلیمی آمریکا^۶ (CDC) دریافت گردید. تمامی داده‌های بارندگی متناظر با داده‌های انسو به‌صورت ماه‌ها و سال‌های میلادی مرتب شدند. محاسبات آماری مربوط به تحلیل داده‌های بارندگی و داده‌های انسو براساس آزمون همبستگی پیرسون در دو سطح معنی‌داری $۰/۰۵$ و $۰/۰۱$ برای هر یک از ایستگاه‌ها در محیط SPSS انجام گرفت. در نهایت نتایج به‌صورت درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی خشکسالی با شاخص‌های بزرگ مقیاس اقلیمی (انسو) ترسیم و تحلیل شد. همچنین نمودار مقدار ضریب همبستگی خشکسالی با شاخصی از انسو که دارای بیشترین درصد همبستگی بود، رسم گردید. به‌همین ترتیب تعداد سال‌های خشک، نرمال و مرطوب در دو فاز النینو و لانینا برای هر یک از ایستگاه‌ها برای

¹ Multivariate ENSO index

² North pacific decadal oscillation

³ Trans-Niño index

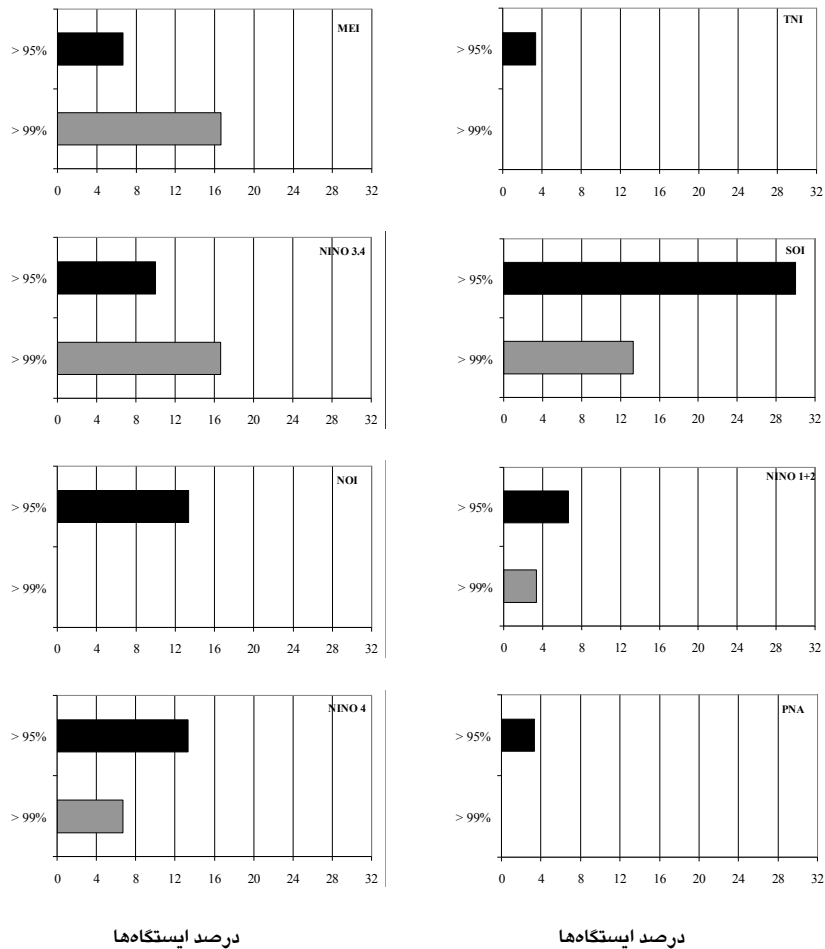
⁴ Pacific north america

⁵ <http://www.bom.gov.au/index.shtm>

⁶ Climate diagnostics center

بر متغیر مدنظر در زمان‌ها و مکان‌های مختلف گوناگون است. در تحقیقی مشابه محمدی و همکاران (۱۳۸۹) همبستگی معنی‌داری را برای خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه همدید بوشهر با شاخص انسوی MEI، و جعفرزاده و صلاحی (۱۳۹۰) نقش شاخص SOI بر رفتار خشکسالی‌های استان اردبیل گزارش نمودند. محاسبات جزئی‌تر نشان داد در ۳/۳۳ درصد ایستگاه‌ها همبستگی معنی‌داری بین *SPI*، با شاخص *TNI* و *PNA*، ۲۳/۳۳ درصد ایستگاه‌ها با شاخص *MEI* و ۱۳/۳۳ درصد ایستگاه‌ها با شاخص *NOI* برقرار بود. به‌همین ترتیب همبستگی بین *SPI* با شاخص‌های *NINO ۳/۴*، *NINO ۱+۲*، *NINO ۴* و *SOI* در ۲۶/۶۷، ۱۰، ۲۰ و ۴۳/۳۳ درصد ایستگاه‌ها معنی‌دار شد.

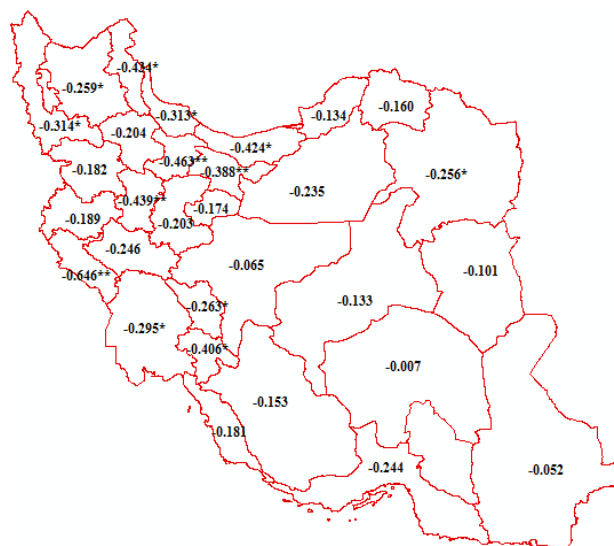
ترسیم شد. در شکل ۱، درصد همبستگی‌های معنی‌دار در دو سطح اطمینان ۰/۹۵ و ۰/۹۹ آمده است. شکل ۱ نشان می‌دهد که درصد همبستگی هر یک از شاخص‌های انسو با شاخص *SPI*، در سطح ایستگاه‌های باران‌سنجی متفاوت است. عدم همبستگی کامل بین روند تغییرات خشکسالی و شاخص‌های انسو در مطالعات جعفرزاده و صلاحی (۱۳۹۰) نیز گزارش شده است. محققان بر همبستگی نسبی بین پدیده خشکسالی با انسو و عدم همبستگی در برخی از زمان‌ها و مکان‌ها تاکید داشته‌اند (محمدی و همکاران ۱۳۸۹ و جعفرزاده و صلاحی ۱۳۹۰). این نتیجه می‌تواند نشان‌دهنده تفاوت رفتاری شاخص‌های انسو نسبت به پدیده خشکسالی در سطح ایستگاه‌های باران‌سنجی باشد. رودو و باعرت (۱۹۹۷) نشان دادند رفتار هر یک از شاخص‌های انسو



شکل ۱- درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار خشکسالی با شاخص‌های انسو.

سامانه‌های بزرگ مقیاس نظیر سامانه‌های کم‌فشار (مدیترانه‌ای در غرب و شمال‌غرب) و کم‌فشار (سودان در جنوب و جنوب‌غرب) را در مناطق جغرافیایی مختلف متفاوت دانسته است. هم‌سو بودن نتایج حاصل از شکل ۱، با نتایج مطالعات زارع ایبانه و همکاران (۱۳۹۱ الف و ب) حاکی از تفاوت رفتار شاخص‌های اقلیمی انسو با فراسنجه‌های اقلیمی حتی در پهنه‌های کوچک کشوری است. همان‌گونه که از شکل ۱، ملاحظه می‌شود تأثیرپذیری خشکسالی کشور از شاخص SOI بیش از سایر شاخص‌های انسو است. به‌گونه‌ای که ضریب پیرسون شاخص خشکسالی SPI با شاخص نوسان جنوبی (SOI) نشان داد، همبستگی ۱۳/۳۳ درصد از ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ۳۰ درصد از ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. بنابراین، می‌توان شاخص SOI را در توجیه رفتار خشکسالی کشور، مناسب‌تر از دیگر شاخص‌ها دانست. به‌همین دلیل مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص خشکسالی SPI با شاخص انسو SOI برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه و در شکل ۲ ارائه گردید.

در تفسیر شکل ۱، باید یادآور شد که هرچه تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ با هر یک از شاخص‌های انسو بیشتر باشد مؤید ارتباط قوی‌تر خشکسالی با الگوهای پیوند از دور بزرگ مقیاس است. در این خصوص، می‌توان شاخص SOI را در تبیین رفتار خشکسالی نسبت به سایر شاخص‌ها مناسب‌تر دانست. چودری (۲۰۰۳) ارتباط مناسبی از خشکسالی و ترسالی‌های بنگلادش با شاخص SOI و یاراحمدی و عزیززی (۱۳۸۶) شاخص SOI را یکی از شاخص‌های خوب در تبیین رفتار بارندگی‌های پائیزه و زمستانه ایران معرفی نمودند. در حالی‌که ارتباط ضعیفی بین SPI هر یک از ایستگاه‌ها با شاخص‌های PNA و TNI به‌عنوان شاخص‌های تبیین‌کننده الگوهای پیوند از دور جوی - اقیانوسی پدیده انسو مشاهده شد (شکل ۱). در مطالعه زارع ایبانه و بیات و رکشی (۱۳۹۱-الف)، شاخص PNA به‌عنوان شاخص ضعیف در توجیه رفتار تعداد روزهای بارانی کشور گزارش شد که به‌علت وابستگی خشکسالی به بارش منطقی به‌نظر می‌رسد. ایزدنگهدار (۱۳۷۰) رفتار



شکل ۲- پراکنندگی ضریب همبستگی شاخص خشکسالی با شاخص SOI.

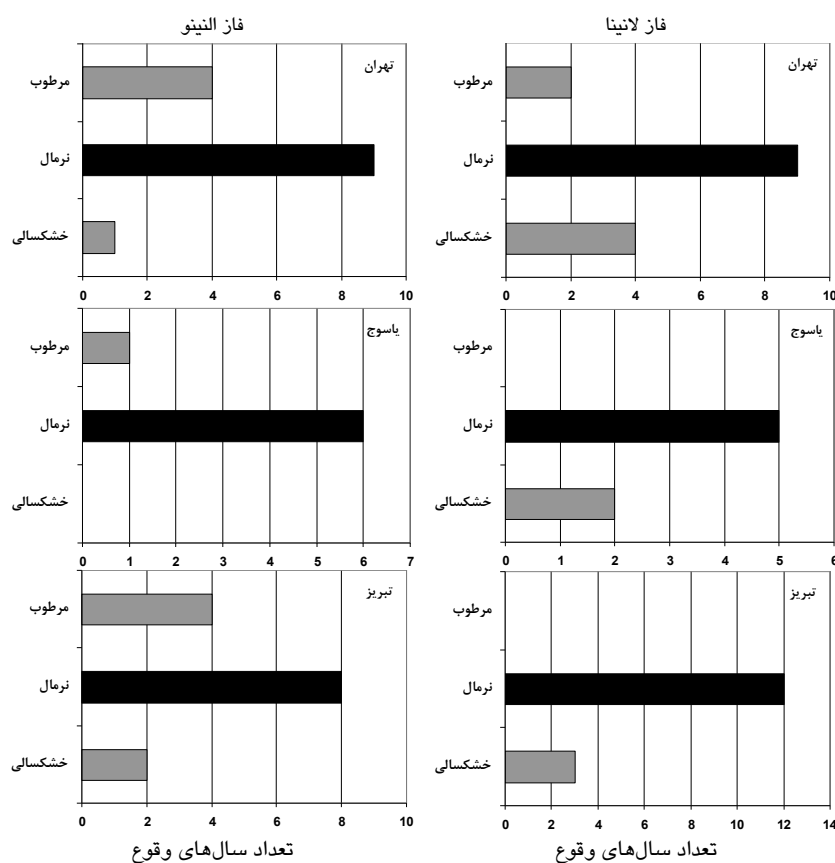
توجه: علامت‌های ** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد می‌باشد.

همبستگی معکوس شاخص SOI با شاخص SPI است. به‌عبارت دیگر هر قدر مقدار SOI افزایش می‌یابد مقدار

مطابق شکل ۲، در ۱۰۰ درصد موارد جهت همبستگی‌های SOI با SPI منفی است که به‌معنی

SPI کاهش می‌یابد که به معنای حادث شدن شدت‌های مختلفی از شرایط خشکسالی است. علت این امر را می‌توان در کاهش بارندگی‌ها دانست که هم‌سو با مطالعات روغنی و همکاران (۱۳۹۱) و زارع ابیانه و بیات ورکشی (۱۳۹۱-الف) است. در مقابل کاهش مقدار *SOI*، بیان‌گر افزایش مقدار *SPI* است که به مفهوم استقرار و استمرار وضعیت مرطوب می‌باشد. بیشترین ضریب همبستگی به ایستگاه ایلام با مقدار $-0/643$ - تعلق دارد که در سطح $0/01$ معنی‌دار می‌باشد. ارسال و عزیزی (۱۳۹۲) بیان داشتند مقادیر منفی شاخص نوسان جنوبی حکایت از وقوع فازهای النینو دارد و هر چه میزان ضریب همبستگی منفی‌تر باشد تأثیر بیشتری بر روی بارش خواهد داشت. کمترین مقدار ضریب همبستگی معادل $0/007$ مربوط به ایستگاه کرمان است که فاقد سطح معنی‌داری است. در مطالعه زارع ابیانه و بیات ورکشی (۱۳۹۱-الف) نیز با بررسی اثر انسو بر تعداد روزهای بارانی، بیان داشتند که همبستگی شاخص *SOI* با تعداد روزهای بارانی در دامنه‌های زاگرس به مراتب بیش از نواحی مرکزی و شرقی کشور بود. چون عمده بارش‌های دریافتی کشور از سمت دامنه‌های زاگرس بوده و این دامنه به عنوان قلمرو پرآب کشور محسوب می‌شود (مسعودیان ۱۳۸۲)، بنابراین، نقش عوامل اقلیمی از جمله پدیده انسو می‌تواند در تغییرات بارندگی این ناحیه چشمگیر باشد. لیکن در نواحی مرکزی و شرقی کشور به دلیل کاهش بارندگی، عوامل اقلیمی موثر بر آن نیز به مراتب کاهش خواهد یافت. ضمن آن‌که در نواحی مرکزی، نقش سایر عوامل اقلیمی از جمله دمای هوا در مقدار بارندگی نسبت به پدیده انسو، مؤثرتر است (مسعودیان ۱۳۸۲). با نگاهی به شکل ۲، می‌توان دریافت، ایستگاه‌های بخش مرکزی، جنوب و شرق ایران نسبت به ایستگاه‌های غربی، به ویژه شمال غرب کشور از مقادیر همبستگی بزرگتری برخوردارند. در عین حال، همبستگی معنی‌داری بین خشکسالی ایستگاه‌های واقع در مرکز، شرق (به جز ایستگاه خراسان رضوی) و جنوب کشور با *SOI*، مشاهده نشد. این می‌تواند بدان معنی باشد که خشکسالی فقط به الگوهای پیوند از دور

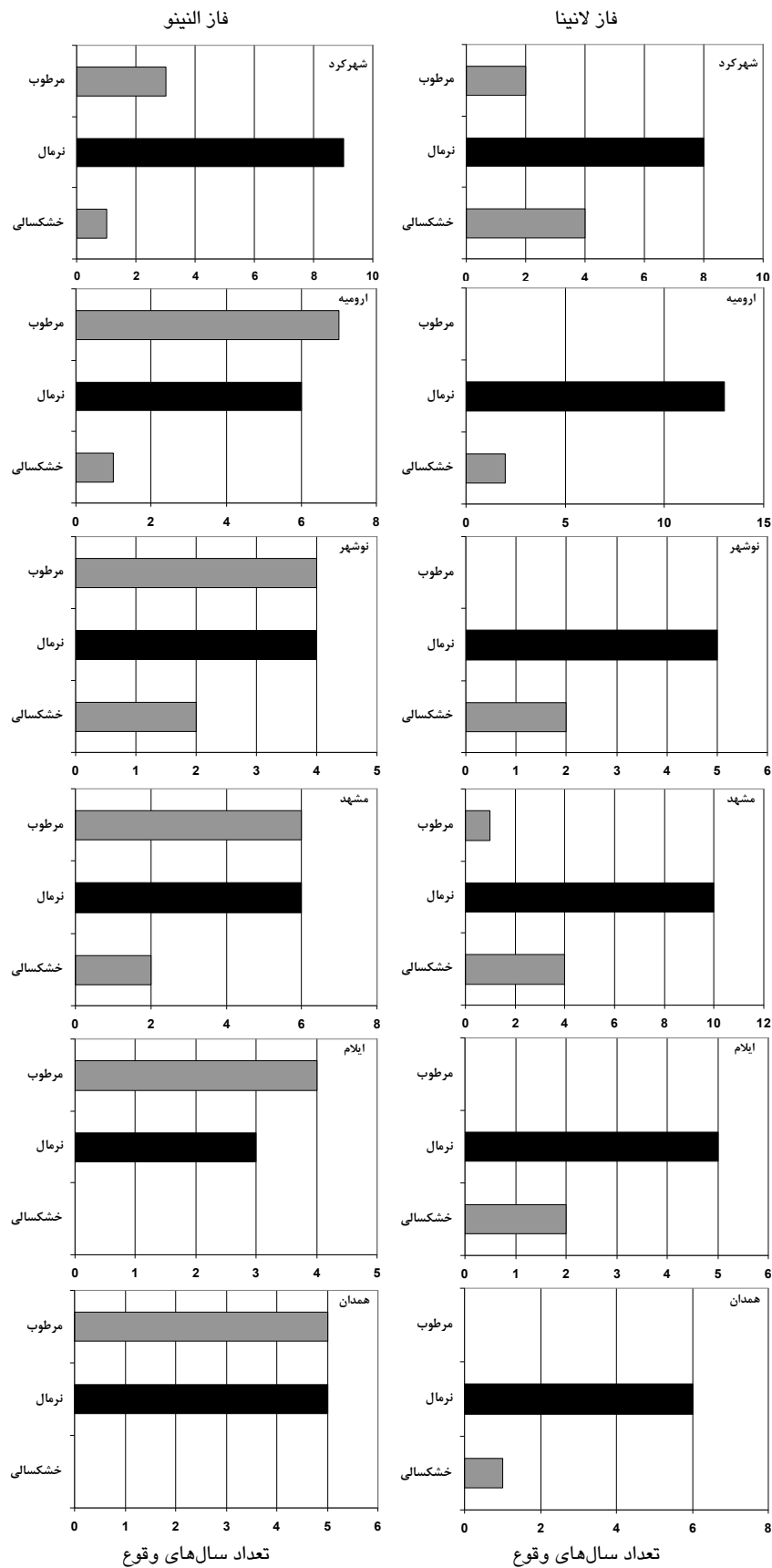
بستگی ندارد و عوامل دیگر اقلیمی و جغرافیایی نیز تأثیرگذار هستند. این نتیجه در راستای نتایج لیم و کیم (۲۰۰۷) و زارع ابیانه و بیات ورکشی (۱۳۹۱-الف) مبنی بر تأثیرپذیری پارامتر بارش از عوامل دیگر جوی به غیر از پدیده انسو می‌باشد. به همین ترتیب، در غرب و شمال غرب کشور، اعداد ضریب همبستگی پیرسون منفی‌تر بوده و سطح معنی‌داری بجز در پنج ایستگاه قم، کرمانشاه، خرم‌آباد، زنجان و اراک، در سایر ایستگاه‌ها در سطح $0/05$ معنی‌دار می‌باشند. بنابراین، می‌توان اظهار داشت با کاهش مقدار شاخص *SOI*، احتمال وقوع خشکسالی کاهش می‌یابد. از طرفی مقدار ضریب همبستگی ایستگاه‌ها در شکل ۲ نشان می‌دهد، همبستگی خشکسالی در نیمه غربی کشور با شاخص انسو معنی‌دار می‌باشد. بنابراین، می‌توان کاربرد شاخص *SOI* در بررسی رفتار خشکسالی نیمه غربی کشور مناسب ارزیابی کرد. ارسال و عزیزی (۱۳۹۲) آرایش مکانی و مکان‌گزینی سیستم‌های جوی به واسطه جابجایی هسته گرم آب‌های اقیانوس آرام استوایی در عناصر گردش عمومی جو را سبب تأثیر مثبت بر بارش‌های دریافتی ایران دانسته‌اند. مطالعات مختلف انجام شده نشان می‌دهد رخداد‌های اقلیمی النینو و لانینا به شکل پیوند از دور بر اقلیم ایران تأثیر دارند (ناظم‌السادات و قائد امینی ۱۳۸۷). بنابراین، در شکل ۳، ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار شاخص *SPI* با شاخص *SOI* برای دو فاز لانینا و النینو رسم شد. در این شکل تعداد رخداد‌های سال‌های خشکسالی، سال‌های نرمال و سال‌های مرطوب، فارغ از شدت رخدادها آمده است. مطابق شکل ۳، در تمامی ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار در طی فاز لانینا تعداد سال‌های نرمال بیش از تعداد سال‌های مرطوب و بیش از تعداد سال‌های خشکسالی و همچنین تعداد سال‌های خشکسالی از تعداد سال‌های مرطوب بیشتر است. به عبارت دیگر در فاز لانینای شاخص *SOI*، تعداد سال‌های خشکسالی بیش از تعداد سال‌های مرطوب است که نشان‌دهنده بروز خشکسالی‌ها در فاز لانینا است.



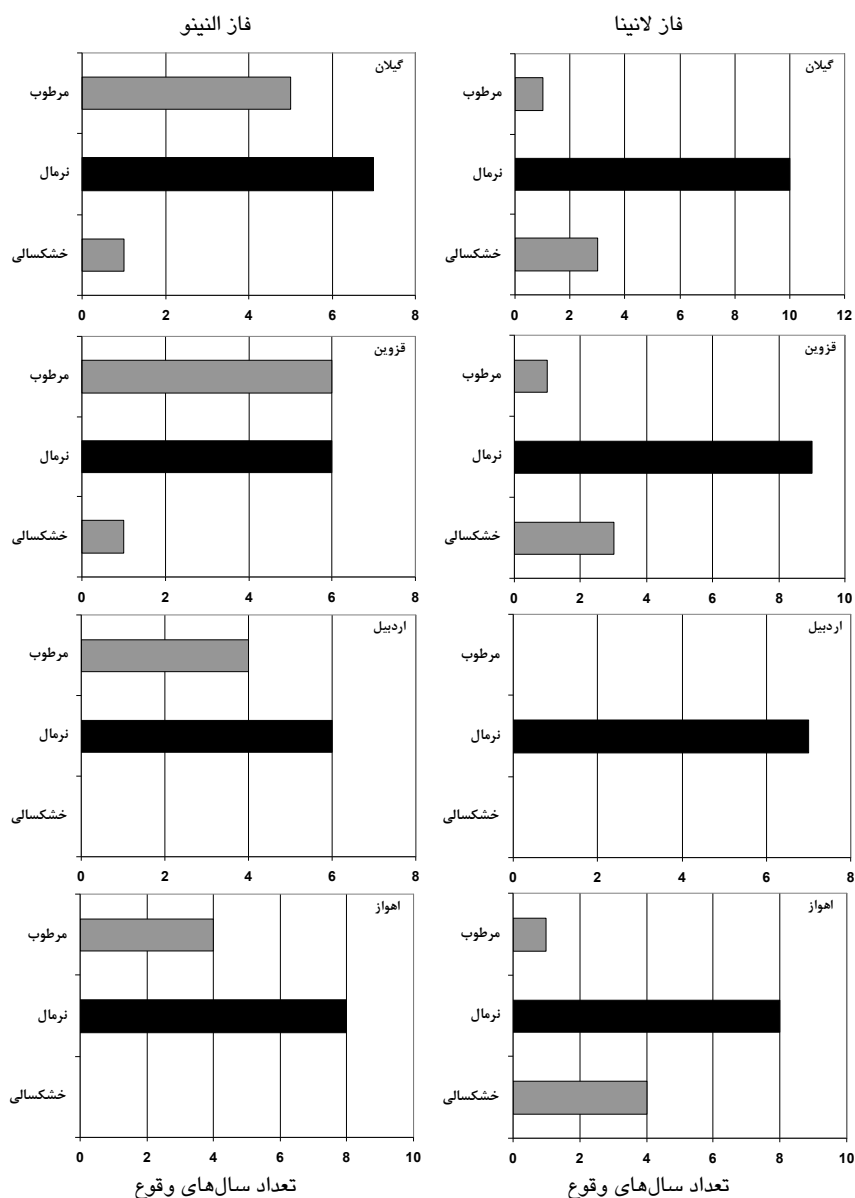
شکل ۳- مقایسه تعداد وقوع سال‌های خشک، نرمال و مرطوب در فازهای النینو و لانینو ایستگاه‌ها با همبستگی معنی‌دار.

براساس شکل ۳، در فاز النینو بیشترین تعداد سال نرمال به تعداد ۹ سال به دو ایستگاه تهران و شهرکرد تعلق دارد. هیچ‌یک از سال‌های آماری مورد بررسی در ایستگاه ایلام، در فاز النینو نشان‌دهنده خشکسالی و به‌طور متناظر در فاز لانینا، نشان‌دهنده سال‌های مرطوب نبود. بیشتر بودن تعداد سال‌های مرطوب در فاز النینو در راستای نتایج زارع ابیانه و بیات و رکشی (۱۳۹۰الف) مبنی بر بیشتر بودن تعداد روزهای بارانی در فاز النینو، نتایج روغنی و همکاران (۱۳۹۱) مبنی بر افزایش بارندگی در فاز النینو برای نواحی غرب، شمال غرب و سواحل غربی دریای خزر و نتایج ارسالانی و عزیزی (۱۳۹۲) برای منطقه زاگرس میانی ایران می‌باشد.

در تایید این نتیجه می‌توان به مطالعات خورشیددوست و همکاران (۱۳۸۹) و ناظم‌السادات و قاسمی (۲۰۰۴) اشاره نمود. آنان بروز خشکسالی برای منطقه اهواز و آذربایجان شرقی و احتمال بروز خشکسالی برای مناطق جنوبی ایران به‌واسطه کاهش بارندگی‌ها در فاز لانینای شاخص SOI را گزارش نمودند. بیشترین تعداد سال نرمال به‌تعداد ۱۳ سال به ایستگاه ارومیه و کمترین تعداد سال نرمال به تعداد ۵ سال به ایستگاه‌های یاسوج، نوشهر و ایلام مربوط است. به‌همین ترتیب در فاز النینو تعداد سال‌های نرمال و مرطوب در ایستگاه‌های نوشهر، مشهد، همدان و قزوین برابر ولی در سایر ایستگاه‌ها تعداد سال‌های نرمال بیش از تعداد سال‌های مرطوب و بیش از تعداد سال‌های خشک است.



ادامه شکل ۳- مقایسه تعداد وقوع سالهای خشک، نرمال و مرطوب در فازهای النینو و لانتینو ایستگاهها با همبستگی معنی‌دار.



ادامه شکل ۳- مقایسه تعداد وقوع سال‌های خشک، نرمال و مرطوب در فازهای النینو و لانینو ایستگاه‌ها با همبستگی معنی‌دار.

بود که موید افزایش تعداد روزهای بارانی کشور در فاز النینو است. بنابراین می‌توان نتایج این مطالعه هم-سو با گزارش آنان دانست.

نتیجه‌گیری کلی

تحلیل عوامل موثر بر وقوع خشکسالی کشور، با توجه به کمبود بارندگی طی سال‌های گذشته و لزوم مدیریت بهینه منابع آب، امروری ضروری است. این در حالی است که مطالعات اندکی درخصوص بررسی اثر پدیده انسو به‌عنوان الگوی پیوند از دور بزرگ مقیاس

همان‌گونه که از شکل ۳ به وضوح مشخص است، تعداد وقوع خشکسالی در فاز لانینا بیش از النینو می‌باشد که نشان می‌دهد با وقوع فاز النینو شاهد افزایش بارندگی کشور و به‌تبع آن کاهش خشکسالی هستیم. وضعیت معکوس شرایط مذکور که با ایجاد فاز لانینا همراه است، زمینه را برای کاهش بارندگی در کشور فراهم می‌آورد. زارع ایبانه و بیات ورکنشی (۱۳۹۱ الف) در بررسی اثر انسو بر تعداد روزهای بارانی کشور گزارش نمودند که تعداد روزهای بارانی سالانه در فازهای گرم (النینو) بیش از فاز سرد (لانینا)

کند. از طرفی با توجه به همبستگی معنی‌دار خشکسالی در نیمه غربی کشور با شاخص انسو، می‌توان کاربرد شاخص SOI در بررسی رفتار خشکسالی نیمه غربی کشور را مناسب ارزیابی کرد. مقایسه خشکسالی در فازهای النینو و لانینا انسو نیز نشان داد تعداد وقوع خشکسالی در فاز لانینا بیش از النینو بود که موید آن است که وقوع فاز النینو منجر به کاهش خشکسالی و افزایش سال‌های مرطوب کشور شده است.

بر وقوع خشکسالی کشور صورت گرفته است. در این مطالعه نقش پدیده انسو در قالب شاخص‌های اقلیمی SOI، MEI، NINO ۱+۲، NINO ۳/۴، NINO ۴، NOI، TNI و PNA با شاخص خشکسالی بررسی شد. نتایج بیان‌گر تفاوت رفتاری شاخص‌های انسو نسبت به پدیده خشکسالی بود. بیشترین همبستگی شاخص خشکسالی با شاخص SOI مشاهده شد که تغییرات خشکسالی ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه (۴۳ درصد) کشور را توجیه می‌-

منابع مورد استفاده

- ارسلانی م و عزیزی ق، ۱۳۹۲. بررسی ارتباط بین شاخص نوسان جنوبی (SOI) و بارش بازسازی شده زاگرس میانی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. شماره ۲۴، شماره ۳، صفحه‌های ۴۱ تا ۵۴.
- ایزدنگهدار ز، ۱۳۷۰. بررسی سینوپتیکی بعضی از سیستم‌های مدیترانه‌ای مخصوص و اثرات آن بر روی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. موسسه ژئوفیزیک. دانشگاه تهران.
- جعفرزاده ف و صلاحی ب، ۱۳۹۰. بررسی رابطه بین پدیده النینو - نوسانات جنوبی (انسو) و خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان اردبیل. صفحه‌های ۱ تا ۱۰. یازدهمین کنگره جغرافیدانان ایران. ۲۴-۲۵ شهریور. دانشگاه شهید بهشتی.
- خورشیددوست عم، قویدل رحیمی ی و عباس زاده ک، ۱۳۸۹. کاربرد الگوهای کلان مقیاس جوی - اقیانوسی در تحلیل نوسانات بارش (مطالعه موردی: ایستگاه اهر). مجله فضای جغرافیایی، شماره ۲۹، دوره ۱، صفحه‌های ۹۵ تا ۱۲۸.
- روغنی ر، سلطانی س و بشری ح، ۱۳۹۱. بررسی روابط شاخص نوسان جنوبی و دمای سطح آب اقیانوس‌های آوأم و هند با بارش‌های فصلی و ماهانه ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۶، شماره ۶۱، صفحه‌های ۲۷۳ تا ۲۸۹.
- زارع ابیانه ح و بیات ورکشی م، ۱۳۹۱الف. مطالعه تاثیرپذیری تعداد روزهای بارانی از پدیده انسو در ایران. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۱۹، شماره ۱، صفحه‌های ۲۱ تا ۳۹.
- زارع ابیانه ح و بیات ورکشی م، ۱۳۹۱ب. تاثیر پدیده انسو بر تغییرات دمای ماهانه و فصلی نیمه جنوبی کشور. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، دوره ۴۴، شماره ۲ (پیاپی ۸۰)، صفحه‌های ۶۷ تا ۸۴.
- سبزی پرورع ا و تنیان س، ۱۳۹۲. تأثیر پدیده انسو بر نوسانات تبخیر و تعرق مرجع در چند اقلیم نمونه سرد کشور. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۱، صفحه‌های ۱۳۱ تا ۱۴۴.
- فاتحی مرج، برهانی داریان‌عرو و مهدیان م، ۱۳۸۵. پیش‌بینی فصلی جریان رودخانه‌های دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص‌های اقلیمی. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۱، صفحه‌های ۴۱ تا ۵۱.
- مسعودیان ا، ۱۳۸۲. بررسی پراکنندگی جغرافیایی بارش در ایران به روش تحلیل عاملی دوران یافته. مجله جغرافیا و توسعه، جلد ۱، شماره ۱، صفحه‌های ۷۹ تا ۸۸.
- محمدی ح، افشارمنش ح و خلیلی م، ۱۳۸۹. بررسی تاثیر پدیده انسو (ENSO) بر خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک شهر بوشهر). فصل‌نامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس، دوره ۲، شماره ۴، صفحه‌های ۶۹ تا ۸۲.

- ناظم السادات سرج و قائد امینی اسدآبادی ح، ۱۳۸۷. بررسی تأثیر نوسانات ماندن جولیان بر وقوع کرانه بالایی و پایینی بارش (سیلاب و خشکی) ماه‌های بهمن تا فروردین در استان فارس. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۲، شماره ۶، صفحه‌های ۴۸۹ تا ۴۷۷.
- یاراحمدی د و عزیزی ق، ۱۳۸۶. تحلیل چند متغیره ارتباط میزان بارش فصلی ایران و شاخص‌های اقلیمی. پژوهش‌های جغرافیایی، جلد ۳۹، شماره ۶۲، صفحه‌های ۱۶۱ تا ۱۷۴.
- Andrews ED, Antweiler RC and Neiman PJ, 2004. Influence of ENSO on flood frequency along the California coast. *Journal of Climate* 17 (2): 337-348.
- Chowdhury MR, 2003. The El Nino-southern oscillation (ENSO) and seasonal flooding Bangladesh. *Theoretical and Applied Climatology* 76 (1-2): 105-124.
- Davey MK, Brookshaw A and Ineson S, 2014. The probability of the impact of ENSO on precipitation and near-surface temperature. *Climate Risk Management* 1: 5-24.
- Delitala A, Cesari D, Chesa P and 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.
- Edwards DC and McKee TB, 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report Number 97-2*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Hendon HH, 2003. Indonesian rainfall variability: Impacts of ENSO and local air-sea interaction. *Journal of Climate* 16: 1775-1790.
- Li W, Zhang P, Ye J, Li L and Baker P, 2011. Impact of two different types of El Niño events on the Amazon climate and ecosystem productivity. *Journal of Plant Ecology* 4(1-2): 91-99.
- Lim YK and Kim KY, 2007. ENSO Impact on the space-time evolution of the regional Asian summer monsoons. *Journal of Climate* 20: 2397-2415.
- Mackee B, Nolan T, Dooesken J and Kleist J, 1995. Drought monitoring with multiple timescales. 9th. Conference on Applied Climatology. 15-20 January, Boston, Massachusetts. Pp. 223-236.
- Nazemosadat MJ and Ghasemi AR, 2004. Quantifying the ENSO-related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran. *Journal of Climate* 17(20): 4005-4018.
- Rodo X, Baert E and Comin FA, 1997. Variation in seasonal rainfall in southerneurope during the present century: relationships with the north atlanticoscillation an Elnino-Southern oscillation, *Climate Dynamics* 13(2): 275-285.
- Shaman J, 2014. The seasonal effects of ENSO on European precipitation: Observational analysis. *Journal of Climate* 27(3): 1010-1028
- Shimizu M and Ambrizzi T, 2015. MJO influence on ENSO effects in precipitation and temperature over South America. *Theoretical and Applied Climatology* 124 (1): 291-301
- Trenberth KE, 1997. The definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78(12): 2771-2777.