تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 2, Summer 2018 (IR-WRR)
۱-۱۱

تأثیرپذیری تراز آب زیرزمینی از پدیده انسو (مطالعه موردی: استان‌های هرمزگان و اصفهان)

مریم بیات ورکشی[۱*] و پریسا قیصری[۲]

چکیده

در این مطالعه به بررسی اثر پدیده انسو بر تغییرات تراز آب زیرزمینی ماهانه ۲۲ چاه پیزومتری واقع در دو استان اصفهان و هرمزگان پرداخته شد. نتایج نشان داد که از بین ۱۰ شاخص مختلف انسو، بیشترین همبستگی تراز آب زیرزمینی استان هرمزگان و اصفهان به‌ترتیب به شاخص نوسان شمالی (NOI) و شاخص چند متغیره انسو (MEI) تعلق داشت، به‌طوری که درصد چاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار تراز آب زیرزمینی با شاخص MEI در استان اصفهان برابر ۲۶ درصد و در استان هرمزگان با لحاظ شاخص NOI برابر ۵۵ درصد بود. مقایسه مقدار همبستگی تراز آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری هر استان با فازهای ال‌نینو و لانینا نشان داد که اثر فاز ال‌نینو بر تغییرات تراز آب زیرزمینی هر دو استان بیش از فاز لانینا بود، به‌گونه‌ای که در هر دو استان تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار تراز آب زیرزمینی با فاز ال‌نینو به مراتب بیش از فاز لانینا بود. در استان اصفهان، اثر فاز ال‌نینو بر تغییرات تراز آب زیرزمینی بیش از استان هرمزگان مشاهده گردید (۶۴ درصد در مقابل ۳۶ درصد). نتایج بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری در فاز لانینا نسبت به فاز ال‌نینو نیز بیان‌گر عدم وجود رفتار هماهنگ و مشابه در ایستگاه‌های مورد مطالعه بود.

کلمات کلیدی: ال‌نینو، تراز آب زیرزمینی، شاخص نوسان شمالی، شاخص چندمتغیره انسو.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۳/۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۵/۳۰

The Effect of Enso Phenomenon on Groundwater Table (Case Study: Isfahan and Hormozgan Provinces)

M. Bayat-Varkeshi[1] and P. Gheysari[2]*

Abstract

In this study, the effect of ENSO was evaluated on groundwater table changes using 22 piezometers wells located in Isfahan and Hormozgan Provinces. The results showed that among 10 ENSO indexes, the Pacific North American Index (NOI) and the Multivariable Enso Index (MEI) presented the maximum correlation of groundwater table in Isfahan and Hormozgan provinces, correspondingly. In Isfahan the percent of wells that had significant correlation between groundwater table and MEI was 26%. In Hormozgan the correlation for NOI was 55%. The comparison of correlation values of groundwater table in each province with El Niño and La Niña phases indicated that the effect of El Niño phase on groundwater table in both provinces was more than La Niña phase; as in each province, the number of stations with significant correlation in El Niño phase was more than La Niña phase. In Isfahan province, the effect of El Niño phase on groundwater table changes was more than Hormozgan province (64% compared to 36%). The results of percent of groundwater table changes in each province in La Niña to El Niño phases illustrated that there was no similarity and matching behavior in the studied stations.

Keywords: El Niño, Groundwater Table, NOI, MEI.

Received: May 29, 2017
Accepted: August 21, 2017

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

1- Assistant Professor, Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Malayer University, Malayer, Iran. Email: m.bayat.v@malayeru.ac.ir
2- M.Sc. Student of Water Resources Engineering, Agriculture Faculty, Malayer University, Malayer, Iran.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

پدیده‌ی انسو[1] از مهم‌ترین عوامل تغییردهندی اقلیم است که با بوجود آوردن پدیده‌های ال‌نینو (فاز گرم) و لانینا (فاز سرد) تغییراتی را در اقلیم ایجاد می‌نماید (Khorshid Doost and Ghavidel, 2006). واژه‌ی انسو ترکیبی از دو واژه‌ی نوسان جنوبی[2] به عنوان مؤلفه اتمسفری و ال‌نینو[3] به‌عنوان مؤلفهٔ اقیانوسی این پدیده است. این پدیده نشان‌گر یک ساز و کار جهانی است که بر شرایط هوایی و الگوهای اقلیمی جهانی تأثیر می‌گذارد (Mohammadi et al., 2010). مطالعات بسیاری در داخل و خارج از کشور در زمینه بررسی اثر پدیده انسو بر تغییرات اقلیمی و منابع طبیعی صورت گرفته است. از آن جمله می‌توان به اثر انسو بر تغییرات منابع آب سطحی همدان (Zareabyaneh, 2014)، ارتباط انسو با خشکسالی زاینده‌رود (Khodagholi et al., 2013)، مطالعه تأثیرپذیری تعداد روزهای بارانی کشور از پدیده انسو (Zareabyaneh and Bayat Varkeshi, 2012b) و تبعات پدیده انسو بر دما و بارش مشهد (Mohammadi Sabet et al., 2017) اشاره داشت. Zaroug et al (2014) نشان دادند که کاهش بارش و خشکسالی حوضه نیل با پدیده ال‌نینو در ارتباط است. مطالعه Jochen and Wolfgang (2006) بیان‌گر هماهنگی تغییرات دبی رودخانه‌ها در مناطق حاره‌ای با شاخص‌های انسو بود. Salau et al. (2016) نیز به ارتباط معنی‌دار پدیده انسو با دما و بارش فصلی نیجریه اشاره داشتند.

آب‌های زیرزمینی همواره به‌عنوان منبع قابل اطمینان، به‌ویژه در مواقع کمبود آب برای جبران کم‌آبی و رفع نیازهای کشاورزی، مورد توجه بوده است (Heydari Aghagol et al., 2017). افت سطح آب زیرزمینی منجر به خشک شدن چاه‌های آب، کاهش آب‌های سطحی، تنزل کیفیت آب، افزایش هزینه پمپاژ، استحصال آب و نشست زمین می‌گردد که این امر مستلزم مطالعه دقیق آبخوان و شناخت عوامل مؤثر بر تغییرات سطح آب زیرزمینی می‌باشد (Habibi et al., 2016). بیشتر مطالعات صورت گرفته در ایران معطوف به تأثیرپذیری منابع آب زیرزمینی از خشکسالی و تغییرات اقلیمی می‌باشد (Ghanbari, 2015; Akbar Zadeh et al., 2014; Forozandeh, 2013). لیکن مطالعات اندکی به‌منظور بررسی اثر پدیده انسو بر تغییرات تراز آب زیرزمینی صورت گرفته است. Kuss and Gurdak (2014) طی تحقیقی به پاسخ تراز آب‌های زیرزمینی و سفره‌های اصلی آب به شاخص‌های انسو در ایالات متحده پرداختند. آنان در مطالعه خود به تأثیر شاخص‌های انسو بر تغییرات تراز آب زیرزمینی اشاره نمودند. Mitraet et al. (2014) ضمن تأیید ارتباط قوی بین انسو و تغییرات تراز آب زیرزمینی، اظهار داشتند در فصول بارندگی این ارتباط قوی‌تر از فصول خشک می‌باشند. Bayat Varkeshi (2016) با بررسی اثر پدیده انسو بر تغییرات تراز آب زیرزمینی کشور، به تأثیر پذیری تراز آب زیرزمینی ۸۰ درصد از ایستگاه‌های کشور از پدیده انسو اشاره داشت. Zareabyaneh (2014) با مطالعه تأثیر پدیده انسو بر تغییرپذیری منابع آب‌های سطحی استان همدان اظهار داشت که پدیده انسو ۷۵ درصد از تغییرات جریان منطقه مورد مطالعه را توصیف می‌نماید. نتایج مطالعات Karamouz and Zahraie (2004) نشان داد که بین سیگنال‌های بزرگ مقیاس آب و هوایی و جریان رودخانه سالت در ایالت آریزونا ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. Komasi et al. (2017) نقش عوامل انسانی را مؤثرتر از عوامل اقلیمی بر تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت سیلاخور دانستند. Gograni and Bazrafshan (2016) با بررسی شاخص‌های پیوند از دور بر نوسانات آب‌های زیرزمینی استان هرمزگان، ارتباط معنی‌دار بین انسو و تراز آب زیرزمینی را گزارش نمودند. مطالعه اثر شاخص‌های هواشناسی بر بیلان آب زیرزمینی دشت تویسرکان نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین شاخص‌های هواشناسی و بیلان آب زیرزمینی وجود داشت (Poormohammadi et al., 2017).

بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات تراز آب زیرزمینی هر منطقه به‌ویژه مناطق خشک و نیمه خشک به‌دلیل کمبود آب‌های سطحی، از اهمیت فراوانی برخوردار است. هدف از انجام این پژوهش مطالعه و بررسی تأثیرپذیری تغییرات تراز آب زیرزمینی از پدیده انسو با لحاظ شاخص‌های مختلف در دو استان هرمزگان و اصفهان می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

ناحیه مورد مطالعه در این تحقیق دو استان هرمزگان و اصفهان می‌باشد. استان هرمزگان با وسعتی حدود ۶۹۷۰۰ کیلومترمربع، دارای متوسط دمای هوای سالانه ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد با میانگین رطوبت نسبی ۶۸ درصد است (Rafie and Spahbod, 2015). میانگین نزولات سالیانه این استان کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر با پراکنش زمانی و مکانی ناهماهنگ و غالباً به‌صورت رگبارهای شدید به‌همراه بروز سیلاب‌های مخرب و زودگذر است. استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۴۴/۲۹۱ کیلومتر مربع حدود ۶/۲۵ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. متوسط دمای هوای سالانه این استان ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارش سالانه ۱۶۰ میلی‌متر با میانگین رطوبت نسبی ۳۹ درصد می‌باشد. به‌منظور انجام مطالعه حاضر، از اطلاعات ماهانه تراز آب زیرزمینی ۱۱ چاه پیزومتری در استان هرمزگان و ۱۱ چاه پیزومتری در استان اصفهان واقع در ایستگاه‌های مختلف هر استان طی سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۱ استفاده شد. ازآن‌جا

که اطلاعات چاه‌های پیزومتری بر حسب ماه‌های شمسی و اطلاعات شاخص‌های انسو بر حسب ماه‌های میلادی تنظیم هستند، لذا مقیاس زمانی اطلاعات چاه‌های پیزومتری با اطلاعات انسو همسان‌سازی گردید. جدول ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های پیزومتری این دو استان را نشان می‌دهد. برای پدیده انسو، اطلاعات ۱۰ شاخص مختلف انسو طی دوره آماری (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ میلادی) از وب‌گاه WWW.NOAA.Climate.indices دریافت گردید. شاخص‌های مورد بررسی شامل شاخص نوسان جنوبی[۴] (SOI)، شاخص اقیانوس آرام آمریکای شمالی[۵] (PNA)، شاخص نوسان شمال[۶] (NOI)، شاخص دمای سطح آب در ناحیه نینو ۳/۴ (NINO 3.4)، شاخص نینو ۱+۲ (NINO 1+2)، شاخص نینو ۳ (NINO 3) و شاخص نینو ۴ (NINO 4)، شاخص چند متغیره انسو[۷] (MEI)، شاخص انتقالی نینو[۸] (TNI) و شاخص دمای سطح اقیانوس آرام[۹] (SST) بودند. این شاخص‌ها حاصل اندازه‌گیری متغیرهای فشار یا دمای سطح آب در مناطق مختلف جهان است. اطلاعات ماهانه شاخص‌های انسو در ستون‌هایی به تعداد شاخص‌های انسو و در ردیف‌هایی به تعداد سال‌های مورد استفاده تنظیم گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS صحت و همگنی داده‌ها با آزمون ران[۱۰] مورد آزمون قرار گرفت. پس از کنترل کمی و کیفی اطلاعات، اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌ها گردید. در گام نخست، به‌منظور شناسایی مؤثرترین شاخص انسو بر تغییرات تراز آب زیرزمینی، همبستگی بین تراز آب زیرزمینی با هر یک از شاخص‌های انسو با آزمون پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS بررسی گردید. از بین شاخص‌های اقلیمی، شاخص دارای بیشترین درصد همبستگی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. پس از این مرحله، اقدام به بررسی اثر فازهای ال‌نینو و لانینا بر تغییرات تراز آب زیرزمینی در قالب شاخص با همبستگی بالا گردید. تعیین فازهای ال‌نینو و لانینا، بر اساس معیار Trenberth (1997) و با لحاظ محدوده توصیه شده انجام گرفت.

شیوه محاسبه تعیین تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار شامل محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین سری زمانی تراز آب زیرزمینی و سری زمانی انسو برای هر یک از شاخص‌ها در دو فاز ال‌نینو و لانینا بود. بدین منظور تعداد همبستگی‌های با سطح معنی‌داری پنج درصد و بالاتر شمارش شد. از آنجاکه ممکن است نتایج همبستگی تراز آب زیرزمینی با مقدار شاخص‌های انسو در حالت کلی متفاوت از میزان تأثیر فازهای مختلف انسو بر تراز آب زیرزمینی باشد، لذا پس از تعیین شاخص مؤثر، تحلیل‌ها بر روی میانگین مقدار تراز آب زیرزمینی هر یک از ایستگاه‌ها در دو فاز ال‌نینو و لانینا متمرکز شد. در تأیید تأثیرپذیری تراز آب زیرزمینی از فازهای غالب، مقدار همبستگی تراز آب زیرزمینی هر یک از ایستگاه‌های در دو فاز ال‌نینو و لانینا محاسبه و نتیجه به‌صورت جدول همبستگی سال‌های وقوع ارائه گردید. هدف از این اقدام، بررسی رفتار تراز آب زیرزمینی در هر یک از فازها می‌باشد.

به‌منظور بررسی میزان تأثیرپذیری تغییرات تراز آب زیرزمینی هر ماه از فازهای ال‌نینو و لانینا، مقادیر شاخص‌های معرفی شده در هر استان، به‌صورت صعودی مرتب و سری زمانی ترازآب زیرزمینی نیز، به‌صورت متناظر با هر دو شاخص انسو جابه‌جا شد.

Table 1- The studied piezometer stations located in Isfahan and Hormozgan Provinces

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های پیزومتری مورد مطالعه در استان‌های هرمزگان و اصفهان

Province	Station	Geographical Coordinates		Province	Station	Geographical Coordinates	
		Latitude (°)	Longitude (°)			Latitude (°)	Longitude (°)
Hormozgan	Kahorestan	27.19	55.54	Isfahan	Morcheh	33.06	51.28
	Isin	27.29	56.06		Meymeh	33.26	51.11
	Saadat Abad	27.17	57.08		Najaf Abad	32.4	51.15
	Shamil	28.00	56.32		Keron	32.42	51.09
	Faregan	28.02	56.25		Northern Mahyar	32.16	51.48
	Tashkoyeh	28.14	56.86		Chadegan	32.36	50.38
	Eastern Isin	27.25	56.40		Chehel Khane	32.2	51.47
	Shamil Takht	27.49	56.06		Damaneh Daran	33.01	50.29
	Minab	27.27	56.21		Southern Mahyat	32.27	51.80
	Jegin	25.7	58.27		Ardestan	33.31	52.11
	Gabrik	25.78	58.46		Torogh	32.2	51.47

برای هر دو شاخص، درصد تغییرات تراز آب زیرزمینی در فاز لانینا نسبت به ال‌نینو با شاخص آماری تفاضل درصدی تعیین گردید. بدین ترتیب که تفاضل مقدار میانگین تراز آب زیرزمینی در هر دو با میانگین تراز آب زیرزمینی بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه شد (Zareabyaneh and Bayat Varkeshi, 2012b):

$$\%\Delta GW = \frac{\overline{GW}_{Li} - \overline{GW}_{Ei}}{\overline{GW}_{Ei}} \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه، $\overline{GW}_L$ و $\overline{GW}_E$ به‌ترتیب متوسط تراز آب زیرزمینی در فاز ال‌نینو و لانینا در ماه iام است. مقادیر iام در گام زمانی ماهانه بین ۱ تا ۱۲ ماه می‌باشد. نتیجه کاربرد رابطه ۱، به‌دست آوردن مقادیر منفی یا مثبت برای کاهش یا افزایش تراز آب زیرزمینی در هر یک از ماه‌های انسو است.

۳- نتایج و بحث

در شکل ۱ روند تغییرات ترازآب زیرزمینی هر یک از استان‌ها به‌صورت هیستوگرام و در قالب معادله رگرسیونی درجه ۱، آمده است. در این شکل میانگین تراز آب زیرزمینی کلیه چاه‌های پیزومتری هر استان طی دوره مورد مطالعه مورد سنجش قرار گرفت.

شکل ۱ بیان‌گر آن است که تراز آب زیرزمینی هر دو استان طی دوره مورد مطالعه روند کاهشی داشته است. به‌عبارت دیگر، جهت منفی شیب معادله خطی برازش یافته بر هر دو نمودار نشان‌دهنده افت تراز آب زیرزمینی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ می‌باشد. شکل ۱ نشان می‌دهد بیشترین افت تراز آب زیرزمینی استان اصفهان مربوط به سال ۲۰۰۶ و استان هرمزگان سال ۲۰۱۳ است. همان‌گونه که Najafzadeh et al. (2015) نیز بیان نمودند کاهش مقدار بارش‌ها، افزایش دوره‌های خشکسالی و افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری ازمهم‌ترین عوامل مؤثر بر افت تراز آب زیرزمینی مناطق گرم و خشک می‌باشد. Soltani and Modares (2006) ضمن تأیید خشکسالی استان اصفهان، افزایش سطح زیرکشت محصولات پرآب از جمله برنج و برخی محصولات باغی را در تشدید خشکسالی و به‌دنبال آن افزایش برداشت از آب زیرزمینی مؤثر دانستند. کاهش روند تراز آب زیرزمینی دو استان هم‌سو با مطالعات سایر محققین می‌باشد. در مطالعه Behyar and Parandeh Khozani (2007) نیز نوسانات منفی شدید مقادیر بارندگی استان اصفهان گزارش شد که می‌تواند در افت تراز آب زیرزمینی نقش به‌سزایی داشته باشد. Jamali and Khorani (2014) پس از تأیید وقوع خشکسالی با شدت‌های مختلف در استان هرمزگان، مهم‌ترین مانع بارندگی در استان‌های جنوبی کشور به‌ویژه استان هرمزگان را سیستم پرفشار جنب حاره‌ای دانستند. سیستم فوق از نفوذ سیستم باران‌زا و صعود هوای مرطوب مستقر برروی خلیج فارس و دریای عمان مخالفت نموده و عملاً رخداد بارندگی را غیر ممکن می‌سازد. هم‌چنین شکل ۱ نشان می‌دهد شیب افت تراز آب زیرزمینی در استان هرمزگان ۰/۳۹ است که به‌میزان ۲/۵۷ درصد بیش از شیب افت استان اصفهان (۰/۱۵) است. شاید بتوان اظهار نمود که باتوجه به افزایش تراز آب زیرزمینی در چهار سال انتهایی دوره مورد مطالعه نسبت به چهار ساله قبل، احتمال مدیریت نمودن برداشت‌ها باشد. بدین ترتیب که ابتدا تراز آب زیرزمینی طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹ میلادی (۱۳۸۴ تا ۱۳۸۷ شمسی) به‌واسطه‌ی مدیریت، تثبیت نموده و سپس با مدیریت کارآمدتر تراز آب زیرزمینی افزایش یافته است.

مقایسه ضریب همبستگی هر یک از شاخص‌های انسو با تغییرات تراز آب زیرزمینی به تفکیک هر دو استان در شکل ۲ ارائه گردید. همان‌گونه که در مواد و روش‌ها بیان شد، در ترسیم این شکل، درصد تعداد چاه‌های پیزومتری دارای همبستگی معنی‌دار (۵ درصد و بالاتر) با هر یک از شاخص‌ها، مدنظر قرار گرفت.

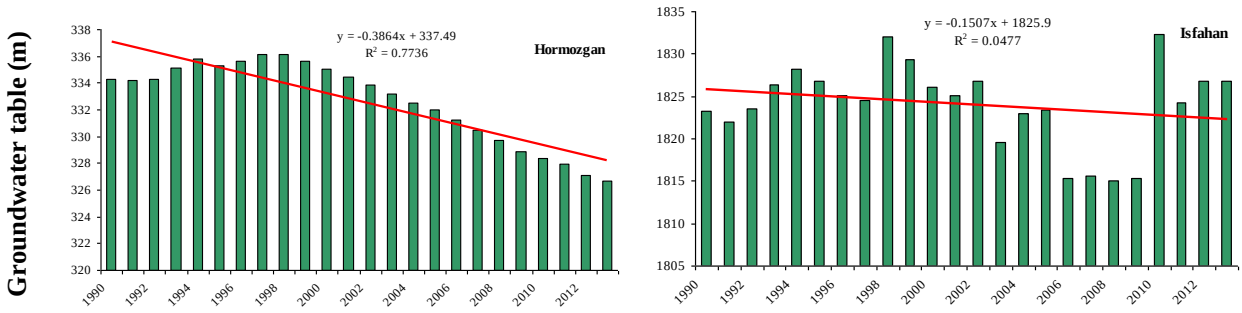

Fig. 1- The annual changes of groundwater table of Isfahan and Hormozgan provinces in the studied period

شکل ۱- تغییرات سالانه تراز آب زیرزمینی استان اصفهان و هرمزگان طی دوره مورد مطالعه

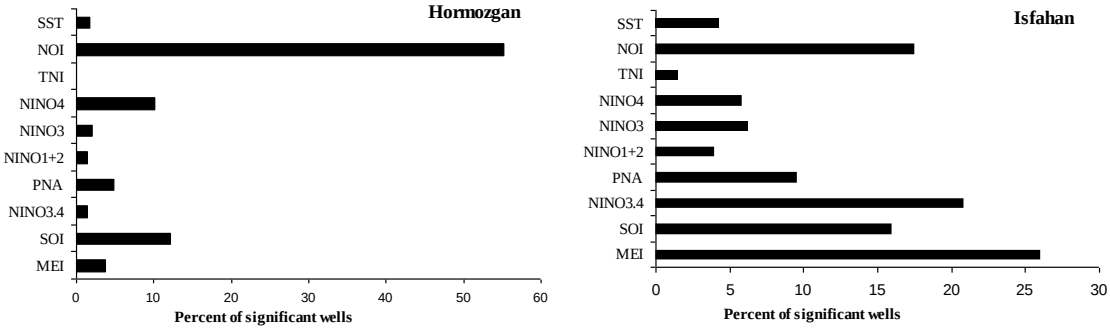

Fig. 2- The percentage of piezometer wells with significant correlation between groundwater table and ENSO indexes

شکل ۲- درصد چاه‌های پیزومتری با همبستگی معنی‌دار بین تراز آب زیرزمینی و شاخص‌های انسو

مطابق نتایج شکل ۲، رفتار تراز آب زیرزمینی در هر دو استان نسبت به هر یک از شاخص‌ها متفاوت می‌باشد. دلیل این امر می‌تواند ماهیت متفاوت شاخص‌های انسو باشد که در مطالعه Zareabyaneh and Bayat Varkeshi (2012b) بدان اشاره شده است. در مطالعات Kuss and Gurdak (2014) و Jochen and Wolfgang (2006) نیز ضمن تأیید همبستگی تراز آب‌های زیرزمینی با پدیده انسو، تأثیرات متفاوتی از شاخص‌های انسو بر مقادیر تراز آب زیرزمینی گزارش شده است. مقایسه درصد چاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار با شاخص‌های انسو نشان می‌دهد که شاخص MEI در استان اصفهان و شاخص NOI در استان هرمزگان بیشترین همبستگی را با تغییرات تراز آب زیرزمینی دارند. درصد چاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار با شاخص MEI در استان اصفهان ۲۶ درصد و برای شاخص NOI در استان هرمزگان ۵۵ درصد است. در مطالعه Mohammadi et al. (2010) و Khorshid Doost and Ghavidel (2006) نیز اثر شاخص MEI و هم‌چنین در مطالعه Mahmoudi et al. (2015) اثر شاخص NOI بر پدیده‌های هیدرولوژیکی تأیید شدکه هم‌سو با نتایج این مطالعه می‌باشند. از طرفی شکل ۲ نشان می‌دهد در هر دو استان، کمترین همبستگی به شاخص TNI تعلق دارد. این شاخص در هر دو استان کمترین تأثیر را در تغییرات تراز آب زیرزمینی دارد. در حالی‌که در مطالعه Zareabyaneh (2014) شاخص TNI بیشترین همبستگی را با منابع آب سطحی داشت. این نتیجه نشان می‌دهد که تأثیر هر یک از شاخص‌های انسو نه‌تنها متأثر از موقعیت منطقه مورد مطالعه بلکه متأثر از نوع پارامتر مورد بررسی نیز می‌باشد. از طرفی، عدم معنی‌داری همبستگی تراز آب زیرزمینی برخی از چاه‌های پیزومتری با شاخص‌های انسو نیز بیان‌گر آن است که تغییرات تراز آب زیرزمینی فقط متأثر از الگوهای پیوند از دور نبوده و به سایر عوامل اقلیمی و انسانی نیز وابسته است. Najaf Zadeh et al. (2015) به نقش عوامل زمین‌شناسی در تغییرات تراز آب زیرزمینی اشاره داشت. Ali Abadi et al. (2014) وجود گسل‌ها و خطواره‌های تکتونیکی را به‌عنوان عامل پتانسیل در تغذیه سفره‌های آب‌زیرزمینی دانستند. Rahman et al. (2016) برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی را از عوامل تأثیرگذار مهم انسانی در تغییرات کاهشی تراز آب سفره‌های زیر زمینی گزارش نمودند.

با انتخاب دو شاخص MEI و NOI به‌عنوان شاخص‌های مؤثر بر تغییرات تراز آب زیرزمینی هر دو استان، اقدام به محاسبه ضریب همبستگی تراز آب زیرزمینی در هر دو فاز ال‌نینو و لانینا گردید که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

بر اساس نتایج جدول ۲، مقدار همبستگی تراز آب زیرزمینی تمامی چاه‌های هر دو منطقه با شاخص‌های انسو در فاز ال‌نینو و لانینا به جز ایستگاه کهورستان در استان هرمزگان و مورچه‌خورت در استان اصفهان، منفی می‌باشد. مقادیر همبستگی در جدول ۲ نشان می‌دهد که در استان هرمزگان، مقدار همبستگی تراز آب زیرزمینی ۴ چاه (حدود ۳۶ درصد) مورد مطالعه دارای همبستگی معنی‌دار با مقدار شاخص NOI در فاز ال‌نینو هستند. بیشترین مقدار قدر مطلق ضریب همبستگی در استان هرمزگان در فاز ال‌نینو برابر ۰/۲۱۳ می‌باشد که به ایستگاه میناب تعلق دارد. به‌همین ترتیب بیشترین مقدار قدر مطلق ضریب همبستگی در فاز ال‌نینو برابر ۰/۲۹۵ است که به ایستگاه کرون در منطقه اصفهان تعلق دارد. در فاز لانینا، تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار در استان هرمزگان به ۲ ایستگاه کاهش یافت که بیشترین مقدار قدر مطلق همبستگی ۰/۲۴۶ از ایستگاه جگین می‌باشد. با توجه به بیشتر بودن تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار در فاز ال‌نینو در منطقه هرمزگان می‌توان اثر فاز ال‌نینو در توجیه رفتار تراز آب زیرزمینی استان هرمزگان را بیش از فاز لانینا دانست.

Table 2- The significant correlation of groundwater table of studied stations with each of El-Niño and La-Niña phases

جدول ۲- همبستگی تراز آب زیرزمینی ایستگاه‌های مورد مطالعه با هر یک از فازهای ال‌نینو و لانینا

Province	Station	El-Nino	La-Nina	Province	Station	El-Nino	La-Nina
Hormozgan	Kahorestan	-0.079	0.006	Isfahan	Morcheh	-0.184*	0.098
	Isin	-0.14	-0.097		Meymeh	-0.165*	-0.427**
	Saadat Abad	-0.154	-0.144		Najaf Abad	-0.255**	-0.258**
	Shamil	-0.191*	-0.147		Keron	-0.295**	-0.054
	Faregan	-0.197*	-0.157		Northern Mahyar	*-0.161	-0.023
	Tashkoyeh	-0.129	-0.147		Chadegan	-0.048	-0.067
	Eastern Isin	-0.190	-0.193*		Chehel Khane	**-0.216	-0.248**
	Shamil Takht	-0.192*	-0.125		Damaneh Daran	**-0.208	-0.173
	Minab	-0.213*	-0.160		Southern Mahyat	-0.143	-0.049
	Jegin	-0.153	-0.246*		Ardestan	-0.039	-0.050
	Gabrik	-0.098	-0.145		Torogh	-0.112	*-0.225

**: significant at 0.01 level, *: significant at 0.05 level

برای استان اصفهان نیز همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار تراز آب زیرزمینی با شاخص انسو (MEI) در فاز النینو به‌مراتب بیش از فاز لانینا است. به‌طوری که در فاز ال‌نینو، ۷ ایستگاه و در فاز لانینا ۴ ایستگاه دارای همبستگی معنی‌دار می‌باشند. در فاز لانینا نیز بیشترین مقدار قدر مطلق ضریب همبستگی ۰/۴۲۷ است که به ایستگاه میمه تعلق دارد. با درنظر گرفتن نتایج هر دو ایستگاه می‌توان اظهار داشت، اثر فاز النینو بر تغییرات تراز آب زیرزمینی بیش از فاز لانینا می‌باشد.

بررسی بیشتر نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، ۶ ایستگاه در استان هرمزگان با فازهای انسو در سطح ۵ درصد معنی‌دار هستند. ۵ ایستگاه در هیچ یک از فازهای انسو، اثر معنی‌داری را بر تغییرات تراز آب زیرزمینی نشان ندادند. لیکن در استان اصفهان، ۹ ایستگاه به‌تفکیک ۵ ایستگاه در سطح ۰/۰۱ و ۴ ایستگاه در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار می‌باشند. در این منطقه تعداد ایستگاه‌های معنی‌دار و به‌طور مطلق ایستگاه‌های معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ بیش از استان هرمزگان است. از طرفی سطح معنی‌داری ۲ ایستگاه به‌طور مشترک در هر دو فاز در سطح ۰/۰۱ و یک ایستگاه میمه در فاز النینو در سطح ۰/۰۵ و در فاز لانینا در سطح ۰/۰۱ تأثیرپذیری خود را از انسو نشان داده است. سه ایستگاه نیز در هیچ یک از فازها تأثیرپذیری معنی‌داری را نشان ندادند. در مجموع اثرات انسو در استان اصفهان به‌مراتب بیش از اثرات انسو در استان هرمزگان است. از آن‌جا که استان هرمزگان در مجاورت دریای عمان و خلیج فارس واقع است و با توجه به این‌که ماهیت پدیده انسو بر مبنای تغییرات فشار یا دمای تراز آب می‌باشد، شاید بتوان اظهار داشت که اثر انسو بر مناطق مجاور دریا کمتر از سایر مناطق می‌باشد. به‌عبارتی وجود دریای عمان و خلیج فارس مانع از آشکار شدن اثرات شاخص‌های انسو در ایـــن منطقه شده است. Nazemosadat and Cordery (2004) نیز با بررسی اثر انسو بر بارش‌های فصلی ایران، همبستگی کمی بین بارش مناطق سواحل دریا با پدیده انسو در مقایسه با سایر مناطق کشور، مشاهده و گزارش نمودند.

به‌منظور بررسی جزیی‌تر نتایج، درصد تراز آب زیرزمینی ماهانه هر یک از ۲۲ ایستگاه مورد مطالعه به تفکیک دو فاز ال‌نینو و لانینا در شکل ۳ آورده شد.

بر اساس نتایج شکل ۳، در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه استان هرمزگان، درصد تغییرات ترازآب زیرزمینی در فاز لانینا نسبت به ال‌نینو مثبت می‌باشد. این بدان معنی است که با وقوع فاز لانینا تراز آب زیرزمینی افزایش یافته است، در حالی‌که افزایش جریان‌های سطحی در فاز ال‌نینو (Nazemosadat et al., 2006)، کاهش دمای هوا در فاز ال‌نینو (Zareabyaneh and Bayat Varkeshi, 2012a) وکـــاهـش تبخـیـر و تعـرق در فـــاز ال‌نینـــو (Sabziparvar and Tanian, 2013) گزارش شده است. این اختلاف نتایج می‌تواند به‌دلیل ماهیت متفاوت تراز آب زیرزمینی با پارامترهای جریان سطحی، دمای هوا و تبخیر و تعرق باشد که ارتباط مستقیم با عوامل جوی دارند. حال آن‌که نوسانات تراز آب زیرزمینی دارای پیچیدگی بیشترمی‌باشد به‌گونه‌ای که نه‌تنها عوامل مستقیم جوی، بلکه عوامل انسانی، زمین‌شناسی و ژئولوژی نیز در تغییرات تراز آب زیرزمینی دخالت دارند.

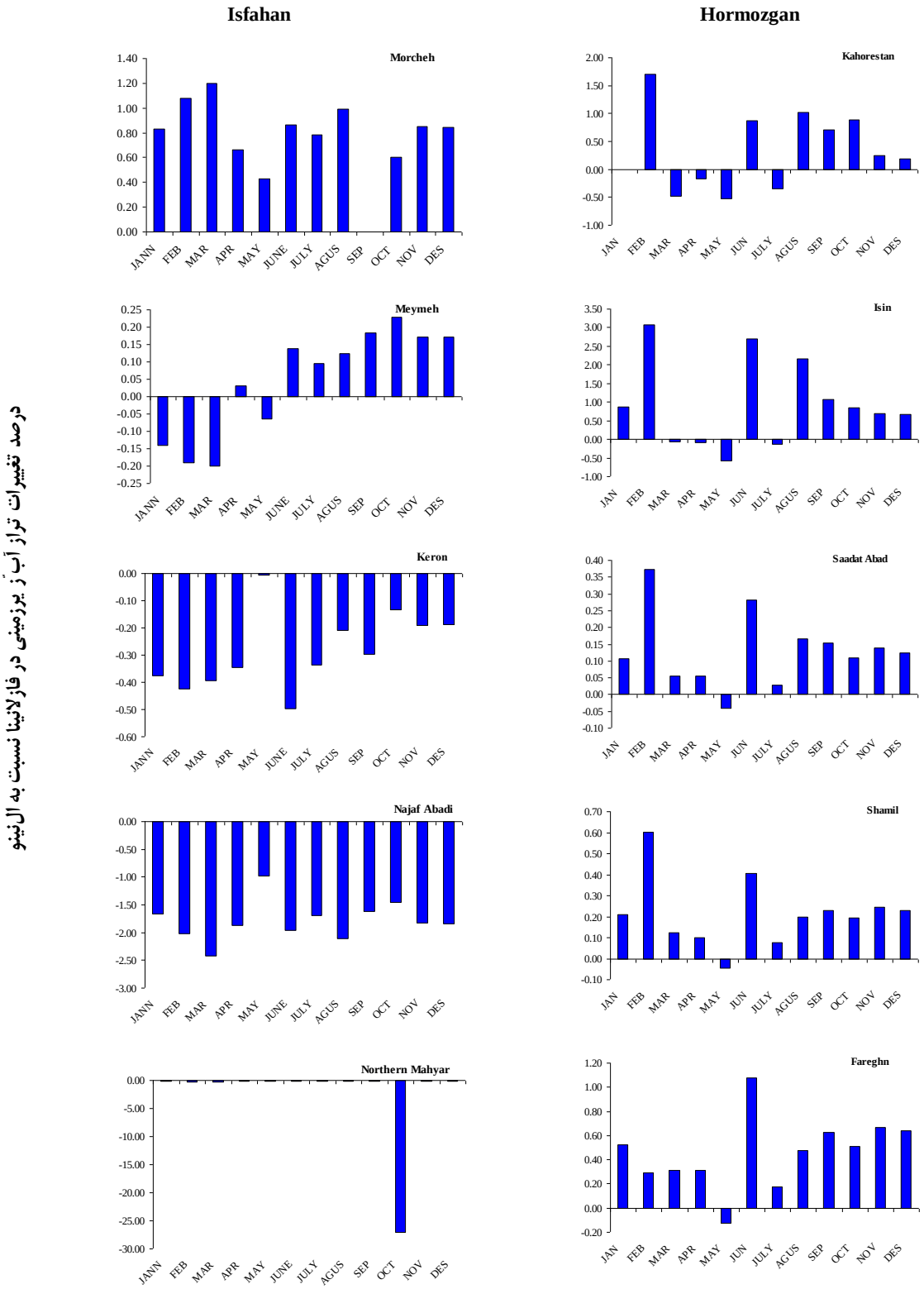

Fig. 3- The percentage of groundwater table changes in La-Niña phase to El-Niño in two provinces

شکل ۳- درصد تغییرات تراز آب زیرزمینی در فاز لانینا نسبت به ال‌نینو در دو استان

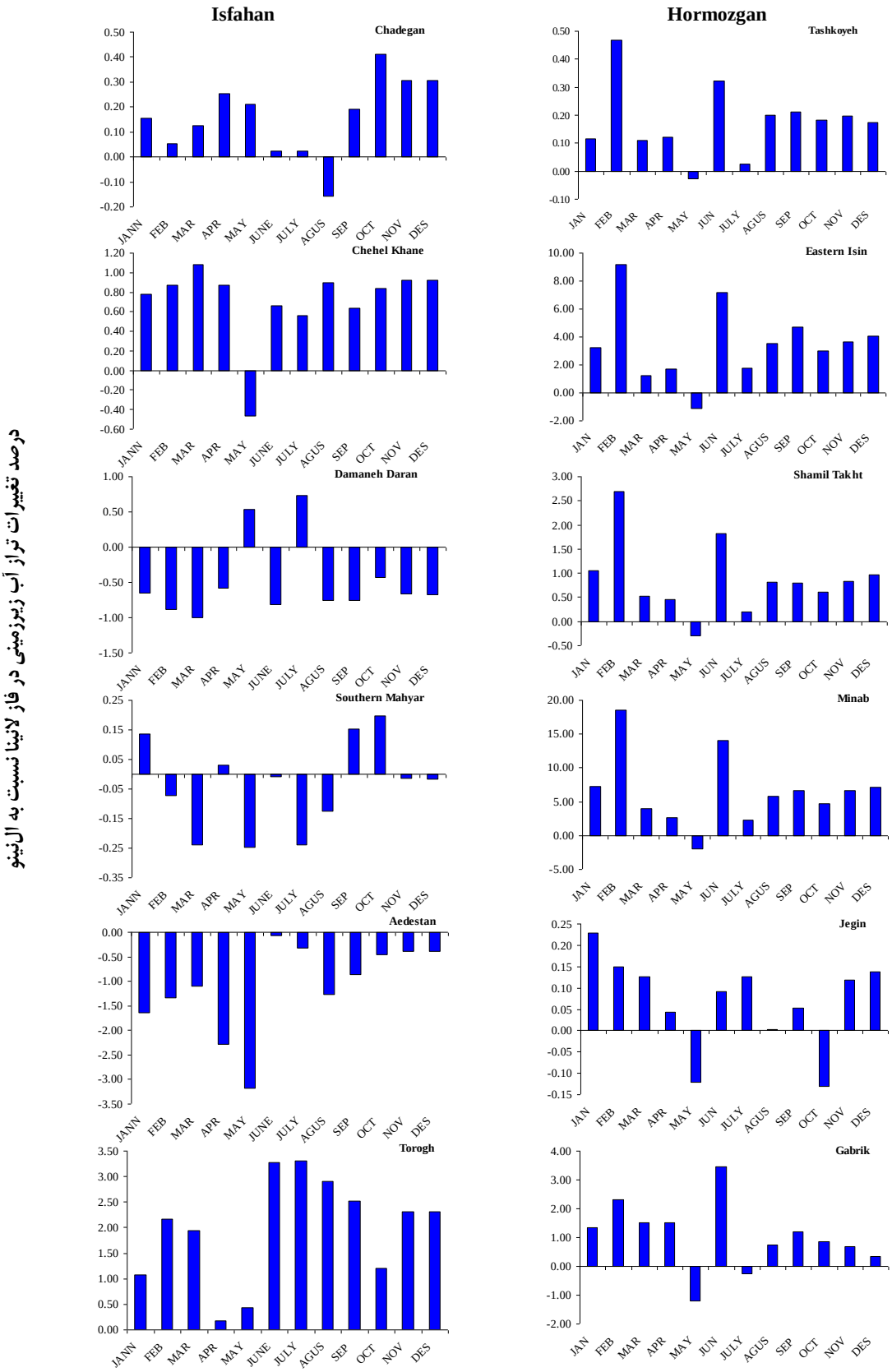

Fig. 3 (continued)- The percentage of groundwater table changes in La-Niña phase to El-Niño in two provinces

ادامه شکل ۳- درصد تغییرات تراز آب زیرزمینی در فاز لانینا نسبت به ال‌نینو در دو استان

بر اساس نتایج شکل ۳، بیشترین درصد افزایش تراز آب زیرزمینی برابر ۱۸/۶ درصد و مربوط به ماه فوریه ایستگاه میناب است. نکته قابل توجه در شکل ۳، کاهش تراز آب زیرزمینی کلیه ایستگاه‌ها در فاز لانینا نسبت به ال‌نینو در ماه می (معادل اردیبهشت) می‌باشد. این امر بیان‌گر آن است که در ماه می، وقوع فاز ال‌نینو منجر به افزایش تراز آب زیرزمینی شده است. افزایش ریزش‌های جوی و ذوب شدن برف‌های زمستانی در ماه می، می‌تواند در ایجاد این رفتار متفاوت مؤثر باشد. در مقابل، مقایسه تغییرات تراز آب زیرزمینی ایستگاه‌های استان اصفهان در شکل ۳ نشان می‌دهد که درصد تغییرات تراز آب زیرزمینی در فاز لانینا نسبت به ال‌نینو در ایستگاه‌های مورچه‌خورت، میمه، چادگان، چهل‌خانه و طرق ابیازن مثبت و در سایر ایستگاه‌ها مقادیر منفی غالب است. به‌عبارت دیگر، در استان اصفهان در بیشتر ایستگاه‌ها، با وقوع فاز لانینا تراز آب زیرزمینی کاهش یافته است. دلیل تفاوت رفتاری تراز آب زیرزمینی در دو استان اصفهان و هرمزگان نسبت به پدیده انسو را شاید بتوان به عوامل زمین‌شناسی دو منطقه و دوری و نزدیکی به دریا نسبت داد؛ زیرا در مناطق ساحلی از جمله استان هرمزگان، به‌دلیل ساختمان دانه‌ای و بافت سبک خاک، تغییرات تراز آب زیرزمینی متفاوت از مناطق مرکزی از جمله استان اصفهان می‌باشد (Ajami et al., 2012). بنابراین، این ویژگی می‌تواند در بروز تفاوت اثرات پدیده انسو نیز نقش بسزایی داشته باشد.

بیشترین درصد افزایش تراز آب زیرزمینی فاز لانینا نسبت به ال‌نینو در استان اصفهان برابر ۳/۳ درصد است که در ماه جولای ایستگاه طرق ابیازن قابل مشاهده است. در مقابل، کمترین درصد نیز که معادل بالا بودن تراز آب زیرزمینی فاز ال‌نینو نسبت به لانینا است در ماه اکتبر ایستگاه مهیار شمالی قابل مشاهده می‌باشد. درمجموع می‌توان اظهار داشت، که عکس‌العمل تراز آب زیرزمینی در هر دو فاز از یک منطقه و به همین ترتیب از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است. بنابراین بررسی رفتار آب زیرزمینی هر منطقه نسبت به پدیده انسو نیاز به مطالعه‌ای جداگانه داشته و قابل تعمیم نمی‌باشد. در تأیید این مطلب می‌توان به مطالعه Haghnegahdar et al. (2007) درخصوص تأثیرگذاری متفاوت پدیده انسو بر رژیم هیدرولوژیکی نقاط مختلف کره زمین اشاره نمود. آنان نیز اثر پدیده انسو بر رژیم‌های هیدرولوژیکی هر منطقه را متفاوت از مناطق دیگر دانستند. بررسی ارتباط تراز آب زیرزمینی ایستگاه‌ها با شاخص‌های انسو نشان داد که رفتار تراز آب زیرزمینی ایستگاه‌ها در فاز ال‌نینو با لانینا به‌طور کامل هماهنگ و مشابه نیست. این عدم تشابه رفتاری می‌تواند مربوط به ویژگی‌های متفاوت دو فاز ال‌نینو و لانینا باشد. این نتیجه در مطالعات Zareabyaneh and Bayat Varkeshi (2012a) برای دمای هوا و Ahmadi Givi et al. (2009) در بررسی توزیع بارش نیز گزارش شده است که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر پدیده انسو بر تراز آب زیرزمینی پیزومترهای استانهای هرمزگان و اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده دو شاخص NOI و MEI به‌عنوان مؤثرترین شاخص انسو بر تغییرات ترازآب زیرزمینی دو استان هرمزگان و اصفهان شناسایی شدند. بررسی نتایج نشان داد که نحوه تغییرات تراز آب زیرزمینی با دو شاخص انسو در طول ماه‌های مختلف یکنواخت نبود. از طرفی مقایسه همبستگی تراز آب زیرزمینی هر دو استان در دو فاز ال‌نینو و لانینا بیانگر غالب بودن اثر فاز ال‌نینو نسبت به لانینا بود. ضمن آن‌که این تأثیر در استان اصفهان به‌مراتب مشهودتر از استان هرمزگان مشاهده گردید. در مجموع می‌توان اظهار داشت، که عکس‌العمل تراز آب زیرزمینی در هر دو فاز یک منطقه و از منطقه به منطقه دیگر متفاوت است. بنابراین بررسی رفتار آب زیرزمینی هر منطقه نسبت به پدیده انسو نیاز به مطالعه داشته و قابل تعمیم نمی‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

1- El Niño-Southern Oscillation (ENSO)
2- Southern Oscillation
3- El Niño
4- Southern Oscillation Index
5- Pacific North American Index
6- North Pacific Decadal Oscillation
7- Multivariable Enso Index
8- Trans-Niño Index
9- Sea Surface Temperature
10- Run-Test

۵- مراجع

Ahmadi Givi F, Parhizkar D, Hajjam S (2009) 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)

Ajami M, Khormali F, Ayoubi S (2012) Role of deforestation and land use change on soil credibility of loess in eastern Golestan province. Watershed Management Research 94:34-44 (In Persian)

Akbar Zadeh Y, Eslahi M, Sadeghi F, Babae M (2014) Evaluation of climate change effect on groundwater resources of Soofi Chay Basin. The Second Regional Conference on Climate Change and Global

river basin in Arizona. ASCE, Journal of Hydrologic Engineering 9(6):523-533

Khodagholi M, Kavousi M, Arvin A, Sabouhi R (2013) Investigation of connection between SOI and NAO Signals and droughts in Zayanderoud watershed basin. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering 7(21):41-52 (In Persian)

Khorshid Doost AM, Ghavidel Y (2006) The effects of ENSO on seasonal rainfall fluctuations using multivariate ENSO index (MEI) in Eastern Azerbaijan Province. Journal of Geographical Researches 57:15-26 (In Persian)

Komasi M, Sharghi S, Nourani V (2017) Identifying effective factors on decline in groundwater level using wavelet-entropy index (case study: Silakhor plain aquifer). Hydrogeomorphology 9:63-86 (In Persian)

Kuss AJM, Gurdak JJ (2014) Groundwater level response in U.S. principal aquifers to ENSO, NAO, PDO, and AMO 519(27):1939-1952

Mahmoudi P, Khosravi M, Masoodian A, Alijani B (2015) Relationship between the connection patterns and Iran's pervasive frosts. Iranian Journal of Geography and Development 13(40):175-194 (In Persian)

Mitra S, Srivastava P, Singh S, Yates D (2014) Effect of ENSO-induced climate variability on groundwater levels in the lower. Apalachicola Chattahoochee-Flint River Basin. American Society of Agricultural and Biological Engineers 57(5):1393-1403

Mohammadi H, Afsharmanesh H, Khalili M (2010) Evaluation of NSO effect on drought and wet of Boosher Station. Quarterly Geographical Journal of Chashmandaz-E- Zagros 2(4):69-82 (In Persian)

Mohammadi Sabet V, Mousavi Baygi M, Rezaee Pazhand H (2017) Comparative study of the effects of ENSO phenomenon (El Niño, La Niña) on temperature and precipitation of Mashhad. Journal of Water and Soil 30(6):2101-2114 (In Persian)

Najafzadeh H, Zehtabian G, Khosravi H, Golkarian A (2015) The effect of climatic and geology parameters on groundwater resources quantitative and qualitative (case Study: Mahvelat). Ecohhydrology 2(3):325-336 (In Persian)

Nazemosadat MJ, Cordery I (2004) On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran. International Journal of Climatology 20:47-62

Nazemosadat MJ, Rahimi MJ, Keshavarzi A (2006) Evaluation of the impact of El Nino-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon on the discharge and drought (wet) hydrological important rivers of Warming, 11-13 November. Zanjan University (In Persian)

Ali Abadi k, Zangeneh M, Shyegan A, Jamal Abadi J (2014) The role of active tectonics and tectonic lineaments in the development of underground aquifers in Sabzevar plain using RS & GIS. Applied Geomorphology in Iran 2(4):16-30 (In Persian)

Bayat-Varkeshi M (2016) The impact of ENSO on groundwater variability in Iran.43rd IAH CONGRESS, 25-29th September, le Corum, Montpellier, France

Behyar M B, Parandeh Khozani A (2007) The statistical study of Isfahan province drought. Journal of Human Science 27(6):105-128 (In Persian)

Forozandeh A (2013) Evaluation of climate change effect on groundwater resources of Ardabil province. M.Sc. Thesis, Tabriz University (In Persian)

Ghanbari Y (2015) Effect of climate change from the aspect of rainfall and used on groundwater changes of Azar Shahr plain. M.Sc. Thesis. Tabriz University (In Persian)

Gorgani Z, Bazrafshan O (2016) Effect of ENSO on groundwater table changes in Hormozgan province. 11th National Conference in Watershed Management Sciences and Engineering in Iran, Watershed Management and Environmental Crises. 19-21 April, Yasouj University, Yasouj (In Persian)

Habibi MH, Nadiri AA, Asghari Moghaddam A (2016) Spatio-temporal groundwater level prediction using hybrid genetic-kriging model (case study: Hadishahr plain). Iran-Water Resources Research 11(3):85-99 (In Persian)

Haghnegahdar A, Saghafian B, Akhtari R (2007) Effect of El Nino-southern oscillation on annual maximum flood in southwestern of Iran. Water and Wastewater 64:66-78 (In Persian)

Heydari Aghagol M, Gholami E, Rostami Barani H (2017) Finding potential groundwater resources using fuzzy logic (Case study: south Khorasan province). Iran-Water Resources Research 13(1):211-215 (In Persian)

Jamali Z, Khorani A (2014) Evaluation of drought and wet of Hormozgan province using drought index. Journal Extension and Development of Watershed Management 2(4):1-6 (In Persian)

Jochen S, Wolfgang JJ (2006) Forecasting the flood-pulse in Central Mazonia by ENSO- indices. Journal of Hydrology 335:124-132

Karamouz M, Zahraie B (2004) Seasonal stream flow forecasting using snow budget and El-Nino southern oscillation climate signals: Application to the Salt

Soltani S, Modares R (2006) Role of deforestation and land use change on soil credibility of loess in eastern Golestan province. Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) 94:36-44 (In Persian)

Trenberth KE (1997) The definition of El Niño. Bulletin of the American Meteorological Society 78(12): 2771-2777

Zareabyaneh H (2014) Effect of ENSO phenomenon on variability of surface water resources in Hamedan province. Water and Soil Science 24(3):153-167 (In Persian)

Zareabyaneh H, Bayat Varkeshi M (2012a) Effect of ENSO phenomenon on monthly seasonal temperature variations of country half south. Physical Geography Research Quarterly 44(2):67-84 (In Persian)

Zareabyaneh H, Bayat Varkeshi M (2012b) Study of the number of rainy days and effect of ENSO phenomenon at the country level. Journal of Water and Soil Conservation 19(1):21-39 (In Persian)

Zaroug MAH, Giorgi F, Coppola E, Abdo GM, Eltahir EAB (2014) Simulating the connections of ENSO and the rainfall regime of east Africa and the upper Blue Nile region using a climate model of the Tropics, Citable, Massachusetts Institute of Technology. Department of Civil and Environmental Engineering, Publisher: Copernicus GmbH

Fars province. Journal of Iran Agricultural Sciences 37(2):361-369 (In Persian)

Poormohammadi S, Dastorani MT, Jafari H, Massah Bavani A, Goodarzi M, Baqeri F, Rahimian MH (2017) Assessing the effects of meteorological and hydrogeological droughts on groundwater balance in Tuyserkan Plain. Journal of Management and Engineering Watershed 9(1):46-57 (In Persian)

Rafie A, Spahbod M (2015) The effect of warm springs of Hormozgan on drinking water. 2nd National Conference on Strategies for Facing Water Crisis in Iran and the Middle East, 22 December, Shiraz (In Persian)

Rahman AS, Kamruzzama M, Jahan CS, Mazumder QH (2016) Long-term trend analysis of water table using 'MAKESENS'model and sustainability of groundwater resources in drought prone Barind Area, NW Bangladesh. Journal of the Geological Society of India 87(2):179-193

Sabziparvar AA, Tanian S (2013) The impact of ENSO event on reference crop evapotranspiration variability in some typical cold climates of Iran. Journal of Water and Soil 27(1):131-144 (In Persian)

Salau O, Fasuba A, Kelvin A, Adaskin G, Fatigun A (2016) Effect of changes in ENSO on seasonal mean temperature and rainfall in Nigeria. Climate Science Journal 4(1):5-17