



Significance Level in the ENSO- based Prediction of Autumnal Dryness and Wetness in Iran

M. J. Nazemosadat¹, A. Ansaribasir²
and M. R. Pishvaei³

Abstract

Reliable prediction of dry and wet periods is an essential component in competent management of water resources. A more reliable prediction of the climate, pushes the public approach to these predictions further and lowers the disaster costs. Since the (ENSO)¹ has recently been introduced as an important predictor for the anticipation of seasonal wet and dry conditions in Iran, the present study evaluates the significance level of such prediction for autumnal and six-monthly (October- march) precipitation using Fisher² Exact test. Using the summer time (SOI)³ as the predictor, the significance of the occurrence of meteorological dry and wet conditions during following autumn is investigated. It has been shown that after a strong El Niño event in summer (SOI<-5), wet conditions are anticipated for most parts of the country at a 95% significance level. On the other hand, the prediction of dry conditions is not significant for such an event. It has found that the occurrence of normal rather than wet or dry conditions is significant for the eastern coasts of the Caspian Sea as the El Niño is prevalence. During strong vigorous cold ENSO periods (SOI >5), the occurrence of autumnal dry conditions are significant for most of the studied stations at the 95% level. During such periods the prediction of wet conditions were found to be statistically meaningless for all parts of the country. It is shown that the occurrence of summer El Niño leads to the dominance of wet conditions in about half of the studied stations. The prevalence of summer La Nina does not however lead to the wide spread six-monthly drought.

Keywords: Iran, Drought, ENSO, El Nino, Precipitation, Fisher exact test, Contingency table.

ارزیابی سطح معنی داری برای پیش‌بینی دوران خشکسالی و ترسالی فصل پاییز و شش ماهه سرد ایران براساس وضعیت فازهای تابستانه ENSO

سید محمد جعفر ناظم السادات^۱، ارمغان انصاری بصیر^۲ و محمد رضا پیشوایی^۳

چکیده

پیش‌بینی قابل اعتماد از وضعیت آبی دوره‌های خشک و تر، یکی از مبانی اصلی موفقیت در برنامه‌ریزی منابع آب است. هر چه پیش‌بینی‌ها از مبانی علمی و سطح معنی‌داری بالاتری برخوردار باشند، اعتماد عمومی به آنها بیشتر شده و حجم خسارات کاهش می‌یابد. تعیین سطح معنی‌داری پیش‌بینی‌ها روش‌های آماری خاص خود را طلب می‌نماید که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است. با توجه به این که در تحقیقات قبلی پدیده ال‌نینو - نوسانات جنوبی (ENSO)^۱ یکی از نمایه‌های مهم در امر پیش‌بینی دوران خشک و تر ایران شناخته شده است، در تحقیق حاضر سطح معنی‌داری برای پیش‌بینی وقوع این دوران‌ها براساس وضعیت فازهای ENSO از طریق کاربرد آزمون دقیق فیشر^۲ مورد بررسی قرار گرفت. مقدار شاخص SOI^۳ در فصل تابستان به عنوان پیش‌گوکننده و شرایط خشک و تر در فاصله زمانی اکتبر تا دسامبر (پاییز) و همچنین شش ماهه سرد سال (اکتبر تا مارس) به عنوان پیش‌گویشونده در نظر گرفته شدند. نتایج به دست آمده بیانگر آن بود که با وقوع یک ال‌نینوی تابستانه و در شرایطی که مقدار SOI کمتر از (-۵) باشد، پیش‌بینی ترسالی پاییزه در بسیاری از نقاط کشور از سطح معنی‌داری ۹۵٪ یا بالاتر برخوردار است. در این شرایط پیش‌بینی شرایط خشکسالی از نظر آماری ممکن نیست. همچنین نتایج نشان می‌دهند که در دوران ال‌نینوی تابستانه، پیش‌بینی معقول برای مناطق شرقی سواحل دریای خزر وقوع شرایط نرمال (نه ترسالی) می‌باشد. همچنین در دوران لائینای تابستانه (SOI >۵) در تعداد زیادی از ایستگاه‌های مورد مطالعه، شرایط خشکسالی پیش‌بینی می‌گردد که در نتیجه عملاً پیش‌بینی ترسالی در سطح کشور منطقی نیست. در حالی که وقوع ال‌نینوی تابستانه احتمال وقوع ترسالی در شش ماهه سرد سال را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد، وقوع لائینای تابستانه تأثیر معنی‌داری بر وقوع خشکسالی ۶ ماهه ندارد.

کلمات کلیدی: ایران، خشکسالی، انسو، ترسالی، بارش، آزمون فیشر، جدول توافق.

1- Associate Professor, College of Agriculture, Shiraz University
2- MS, College of Agriculture, Shiraz University
3- Assistant Professor, College of Agriculture, Shiraz University

۱- دانشیار بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه شیراز
۳- استادیار بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۱- مقدمه

بیان احتمالاتی وضعیت اقلیمی آینده مورد توجه محققین قرار گرفته است (Mason and Goddard, 2001). استفاده از روش‌های ناپارامتری می‌تواند اثر متغیر مستقل بر وقوع رخداد اقلیمی را با احتمال مشخص و سطح معنی‌داری معین بیان نماید (Shu and Lau, 1991; Shukla and Paolina, 1983; Partharsarathy et al., 1988). در ایران، ارائه سطح معنی‌داری برای احتمال شرطی (مثلاً احتمال وقوع دوران خشک اگر پدیده ال‌نینو یا لائینا حادث گردد) کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است.

(Nazemosadat and Cordery 2000) نشان دادند که شاخص نوسانات جنوبی SOI با میزان بارش پاییزه بسیاری از نقاط ایران بخصوص استانهای آذربایجان غربی و شرقی، کردستان، زنجان، قزوین، تهران و مرکزی مرتبط است.

(Nazemosadat and Ghasemi 2004) نشان دادند که علاوه بر بارش پاییز، بارش‌های زمستانه و مجموعه بارش‌های شش ماهه سرد سال ایران نیز متأثر از پدیده ENSO می‌باشد. ناظم‌السادات و شیروانی (۱۳۸۵) توانایی SOI، $Nino_{1+2}$ ، $Nino_3$ و $Nino_{3.4}$ جهت پیش‌بینی بارش در نواحی شمالی ایران را مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. نتایج بیانگر آن بود که نوسانات SOI از فصل بهار و تغییرات SST از تابستان به بعد نقش مهمی در پیش‌بینی بارش زمستانه سواحل دریای خزر دارند. ناظم‌السادات و همکاران (۱۳۸۴) نشان دادند که پدیده ENSO به عنوان یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در تغییر اقلیم ایران است. بنابراین توجه بیشتر به ویژگی‌ها و رفتار این پدیده نقش مهمی در برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع آب ایران دارد.

با توجه به محدود بودن سال‌های آماری بارش (حداکثر حدود ۵۵ سال در ایران) که در آن تعداد معدودی دوره‌های خشک و تر اتفاق افتاده و برخی از این وقایع خشک و تر مرتبط با پدیده ENSO و برخی با این پدیده ارتباط ندارند، ارزیابی این نکته که آیا تأثیر هر یک از فازهای ENSO بر دوران تر یا خشک از نظر آماری معنی‌دار است، کار نسبتاً مشکلی می‌باشد که کمتر مورد توجه محققین ایرانی بوده است. در تحقیقات قبلی میزان بارش در فازهای گرم و سرد ENSO از نظر آماری مورد مقایسه و آزمون قرار می‌گرفت و تفاوت معنی‌دار بین میانه یا میانگین بارش در این فازها به عنوان تأثیر این پدیده در افزایش یا کاهش بارش در نظر گرفته می‌شد. ولی تشخیص اثر معنی‌دار هر یک از فازهای ENSO بر فراوانی دوره‌های تر، خشک و معمولی مورد توجه تحقیقات قبلی نبوده است.

در طول سال‌های اخیر مطالعات زیادی به منظور شناخت عوامل موثر بر نوسانات بارش و پیش‌بینی دوران‌های خشک و تر به انجام رسیده است. در این راستا دانشمندان تلاش زیادی نمودند تا ارتباط نوسانات بارش در نواحی مختلف کره زمین با دیگر عوامل اقلیمی که خود قابل پیش‌بینی می‌باشند را به صورت مدل‌های مشخص ریاضی بیان نمایند.

از میان پیشگوکننده‌های اقلیمی پدیده ال‌نینو- نوسانات جنوبی (ENSO) یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی است که در سال‌های اخیر در جهت توجیه علل تغییرات سالانه بارش مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته است. (Mason and Goddard 2001) نشان دادند که در بسیاری از نقاط زمین وقوع ال‌نینو یا لائینا بسیار شدید، که عمدتاً به صورت مقادیر حدی SOI و یا $Nino_{3.4}$ تعریف می‌گردد، تأثیر معنی‌داری بر مقادیر انحراف از میانگین (Anomaly) بارش می‌گذارد. آنها نشان دادند فازهای گرم (ال‌نینو) و یا سرد (لائینا) احتمال وقوع بارش و تناوب دوران‌های خشک و تر در برخی از مناطق جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

(Bradley et al. 1987, Ropelewski 1996, 1989, 1987), (Kiladis and Diaz 1989), (Halpert and Ropelewski 1992) نشان دادند فاز گرم پدیده ال‌نینو نوسانات جنوبی بر اقلیم بسیاری از نقاط جهان تأثیر می‌گذارد. همچنین (Kane 1999), (Latif and Coauthors 1998), (Neelin et al. 1998) و (Stockdale et al. 1998) با داشتن اطلاعات قبلی از وضعیت فشار و دما در پهنه اقیانوس آرام گرمسیری تغییر اقلیم فصلی بر روی خشکی‌ها در مناطق گرمسیری و حتی مناطق دورتر را پیش‌بینی کرد. (Hui et al. 2006) نشان داده‌اند که در طول دو دهه اخیر تأثیر ENSO بر بارش تابستانه چین سطح معنی‌داری کمتری نسبت به دو دهه ما قبل آن داشته است. پایداری زمانی در روابط بارش و ENSO در منطقه حاره‌ای اقیانوس هند توسط (Timm et al. 2005) مطالعه شده است.

جهت پیش‌بینی مقدار بارش و یا وقوع بررسی دوره‌های خشک و تر استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های ENSO و مقدار بارش توصیه نمی‌شود چرا که این ضریب نسبت به توزیع احتمالی حساس بوده مخصوصاً در مناطقی که توزیع تابع (به طور مثال بارش) نرمال نباشد این ضریب کارایی لازم جهت پیش‌بینی را ندارد. با توجه به کارایی کم معادلات رگرسیونی در پیش‌بینی‌های اقلیمی، استفاده از روش‌های ناپارامتری و تشکیل جداول توافقی^۵ و

۲- داده‌ها و روش محاسباتی

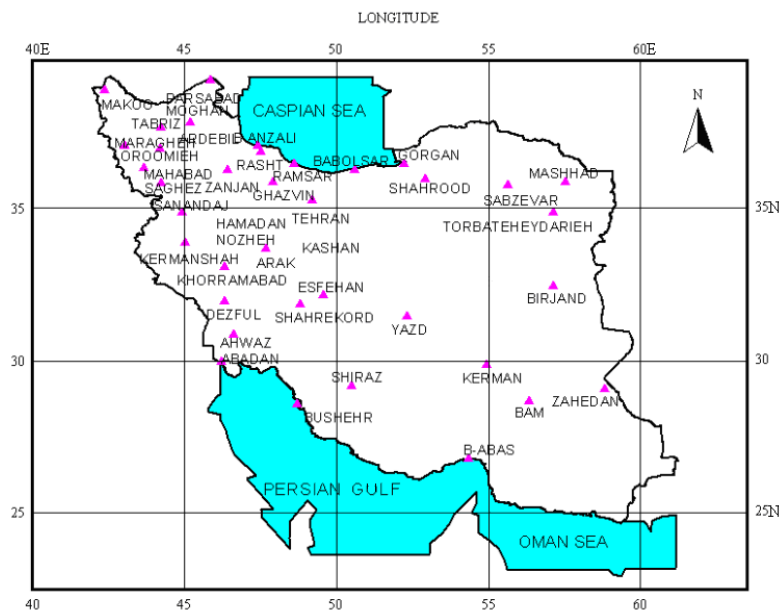
۲-۱- داده‌های بارش و تعیین دوره‌های خشک و تر

داده‌های ماهانه بارش در طول ماه‌های اکتبر تا مارس برای ۳۷ ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی ایران (شکل ۱) از سایت اینترنتی (www.weather.ir) و یا سالنامه هواشناسی انتشارات سازمان هواشناسی کل کشور در فاصله زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۲ استخراج گردید.

در مرحله بعد، متوسط بارش در هر یک از دوره‌های اکتبر تا دسامبر، و شش ماهه سرد سال (اکتبر تا مارس) به صورت میانگین‌گیری معمولی محاسبه گردید. بعد از تشکیل سری زمانی بارش برای یک دوره سه ماهه و یک دوره شش ماهه، هر یک از این دوره‌ها به سه بازه خشک، معمولی و تر تقسیم گردیدند. برای نیل به این تقسیم بندی در ابتدا سری‌های زمانی ۴۲ ساله بارش از بزرگ به کوچک مرتب شده و سپس به سه قسمت مساوی تقسیم شدند. بدین ترتیب در فاصله زمانی (۲۰۰۲-۱۹۶۱)، به سه سری ۱۴ ساله شامل سال‌های مرطوب، سال‌هایی با بارش متوسط و سال‌های خشک تقسیم گردید. به بیان دیگر، سال‌هایی که بارش آنها کمتر از صدک ۳۳ می‌باشد به عنوان دوران خشک، سال‌هایی که بارش آنها بزرگتر از صدک ۶۷ درصد است به عنوان دوران مرطوب و نهایتاً سال‌هایی که میزان بارش در آنها بین دو صدک (۶۷ و ۳۳) است به عنوان دوره معمولی در نظر گرفته شدند. برای نمونه در جدول ۱ ستون‌های ۲ و ۳ مقدار بارش و نوع دوره برای ایستگاه بندرانزلی را در بازه زمانی اکتبر تا دسامبر نشان می‌دهد.

به علت محدود بودن تعداد وقایعی از فازهای ENSO که با یکی از دوره‌های خشک، معمولی و تر همزمان شده است، انجام آزمون معنی‌داری جهت ارزیابی ارتباط بین این دو پدیده و تفسیر نتایج آن نیازمند به کارگیری روش‌های بخصوص آماری است. احاطه علمی به این روش‌ها و به کارگیری آنها یکی از ضرورت‌هایی است که در پیش‌بینی‌های اقلیمی بایستی مورد توجه دقیق قرار گیرد. با توجه به مطالب گفته شده (مقدمه بالا) پیش‌بینی وضعیت بارش پاییزه و شش ماهه سرد سال ایران (بخصوص وقوع دوران‌های خشک و تر) براساس فازهای این پدیده و تعیین سطح معنی‌داری این پیش‌بینی‌ها مورد توجه قرار گرفت. اهداف کلی این پژوهش به شرح زیر خلاصه می‌گردد:

- ۱- استفاده از شاخص SOI به منظور مشخص نمودن سال‌هایی که پدیده ENSO در یکی از فازهای گرم (ال نینو)، سرد (لانینا) و خنثی قرار دارد.
- ۲- تعیین فراوانی سال‌هایی که فازهای گرم و سرد ENSO با یکی از سه دوره تر، خشک و معمولی ایستگاه‌های مختلف مطابقت دارد و تعیین جداول توافقی.
- ۳- ارائه یک روش آماری مناسب که اخیراً توسط محققین جهت آزمون معنی‌داری پیش‌گویی‌ها مورد تأیید قرار گرفته است.
- ۴- تعیین سطح معنی‌داری برای پیش‌گویی دوره‌های خشک و تر پاییزه و شش ماهه سرد سال ایستگاه‌های مختلف کشور براساس فازهای مختلف ENSO در تابستان قبل.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۱، بهار ۱۳۸۶

Volume 3, No. 1, Spring 2007 (IR-WRR)

همان طور که در ستون ۲ این جدول ملاحظه می‌گردد، سال‌هایی که بارش آن‌ها بیشتر از صدک ۶۷ است (بارش که بین دو حد ۴۳۸/۲ تا ۲۹۹/۱ میلی‌متر تغییر می‌کند) به عنوان دوران مرطوب، بارش بین صدک‌های ۶۷ و ۳۳ (۲۹۴/۴ تا ۲۳۳/۱ میلی‌متر) به عنوان دوره معمولی و در نهایت بارش کمتر از صدک ۳۳ که بین دو حد ۲۲۲/۵ تا ۱۳۵/۴ میلی‌متر می‌باشند به عنوان دوران خشک تلقی می‌گردد. مشابه این جدول برای کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه و همچنین برای دوره سه ماهه پاییز و شش ماهه سرد سال تشکیل گردید.

۲-۲- داده‌های SOI و تعیین فازهای ENSO

داده‌های ماهانه شاخص نوسانات جنوبی در طی ماه‌های جولای تا سپتامبر در دوره زمانی یاد شده از سایت اینترنتی ([Http://www.bom.gov.au/index.shtml](http://www.bom.gov.au/index.shtml)) استخراج گردیده و متوسط سه ماهه آن به عنوان SOI تابستانه در نظر گرفته شد.

برای تعیین دوره سرد و گرم پدیده ENSO بدین صورت عمل شد که مقادیر SOI تابستانه را از کوچک به بزرگ مرتب کرده و سال‌هایی که مقادیر SOI تابستانه بزرگتر از (+۵)، کوچکتر از (-۵) و بین این دو رقم قرار داشتند به ترتیب به عنوان فازهای سرد (لانینا)، گرم (ال‌نینو) و فاز خنثی پدیده ENSO در نظر گرفته شدند. بنابراین از میان سال‌های مورد مطالعه ۱۲ سال به عنوان دوران ال‌نینو، ۹ سال به عنوان دوران لانینا و ۲۱ سال به عنوان دوران معمولی در نظر گرفته شد (جدول ۱).

به دلیل این که هدف این پژوهش ارزیابی معنی‌دار بودن رخدادهای فاز گرم و سرد ENSO در هر یک از سه بازه خشک، معمولی و تر هر ایستگاه است، بنابراین در فاز گرم این پدیده اثر ۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۹ مورد از شدیدترین وقایع ال‌نینو بر ایجاد دوران خشک و مرطوب مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین ترتیب، اثر ۹، ۸ و ۷ واقعه از شدیدترین لانینا ثبت شده برای ایجاد این دوران‌ها بررسی شد. با توجه به جدول ۱، چنانچه ۱۲ واقعه ال‌نینو در نظر گرفته شود، مقدار SOI در ضعیف‌ترین سال (۱۹۶۹) و قوی‌ترین سال (۱۹۸۲) به ترتیب برابر ۷/۳- و ۲۱/۴- می‌باشد. اگر تنها ۹ واقعه شدید ال‌نینو در نظر گرفته شود مقدار SOI در ضعیف‌ترین و قوی‌ترین واقعه ال‌نینو برابر ۱۰/۸- و ۲۱/۴- خواهد بود. به همین ترتیب چنانچه ۹ واقعه از شدیدترین لانینا در نظر گرفته شود مقدار SOI بین ۱۰/۶ تا ۲۱/۴ و اگر ۷ واقعه در نظر گرفته شود، این شاخص بین ۱۰/۳ تا ۲۱/۴ خواهد بود.

۲-۳- جداول توافقی جهت تطابق دوره‌های خشک و تر با فازهای گرم و سرد ENSO

بعد از تعیین دوره‌های خشک و تر و نیز مشخص شدن سال‌هایی که تابستان آن همزمان با وقوع ال‌نینو یا لانینا بوده است، اقدام به تشکیل جداول توافقی گردید. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، ترسالی در سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۷۶، ۱۹۷۷، ۱۹۸۲، ۱۹۸۷، ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ (۷ سال از ۱۴ سال) ایستگاه بندر انزلی را می‌توان به واقعه ال‌نینو نسبت داد که از تابستان قبل به درستی قابل پیش‌بینی بوده اند. در عین حال، با وجود این که در تابستان سال‌های ۱۹۶۵، ۱۹۹۷، ۲۰۰۲، ۱۹۹۱، ۱۹۶۹، ۱۹۷۹ و ۱۹۸۶ شرایط ال‌نینو حاکم بوده است، بارش سه ماهه پاییز آن‌ها بسیار کم است به طوری که این سال‌ها جزء دوران مرطوب قلمداد نشده و بنابراین جزئی از دوران معمولی یا خشک می‌باشند. این امر به معنی آن است که برای بسیاری از ایستگاه‌ها، گرچه وقوع پدیده ال‌نینو یا لانینا می‌تواند در ایجاد ترسالی و خشکسالی موثر واقع شود، شدیدترین واقعه ال‌نینو یا لانینا الزاماً با شدیدترین واقعه ترسالی یا خشکسالی همراه نیست. نکته قابل توجه دیگر آن که برای هر یک از ایستگاه‌ها، تطبیق فازهای ENSO با دوران‌های بارش نتیجه خاصی را ارائه می‌دهد که عموماً با دیگر ایستگاه‌ها متفاوت است.

در جدول ۲ (الف) نشان داده شده است که برای ایستگاه بندر انزلی از ۱۲ واقعه ال‌نینوی تابستانه، برای ۷ سال دوره ترسالی را در دوره اکتبر تا دسامبر شاهد بوده‌ایم. در عین حال، برای ۵ سال، وقوع ال‌نینوی تابستانه ترسالی سه ماهه را به دنبال نداشته است. افزون بر این، نشان داده شده است که از ۱۴ واقعه ترسالی، ۷ واقعه در دوران ال‌نینو و ۷ واقعه بعدی در دوره غیرال‌نینو (معمولی و احیاناً لانینا) اتفاق افتاده است. در همین حال از ۲۸ سال دوره غیرمرطوب، فراوانی وقایع ال‌نینو و غیرال‌نینو برابر ۵ و ۲۳ می‌باشد. جدول ۲ (ب) مشابه جدول ۲ (الف) می‌باشد با این تفاوت که در این جدول همزمانی دوره خشک و غیرخشک با سال‌های لانینا و غیرلانینا مورد مقایسه قرار گرفته است. برای نمونه نشان داده شده است که از ۱۴ واقعه خشکسالی مشاهده شده، در ۶ سال (۱۹۶۴، ۱۹۷۱، ۱۹۷۳، ۱۹۷۴ و ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۸ در جدول شماره ۱) خشکسالی پاییزه همزمان با پدیده لانینا بوده است. مشابه این جداول برای کلیه ۳۷ ایستگاه مورد مطالعه (در فصل پاییز و دوره شش‌ماهه سردسال) تشکیل شد و ارقام مندرج در آنها جهت تجزیه و تحلیل سطح معنی‌داری مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به آن که تمامی محاسبات بر مبنای دو سری زمانی متفاوت (پاییزه و شش‌ماهه) صورت گرفته، بنابراین تعداد کل جداول تشکیل شده برابر ۱۴۸ (۲×۳۷) است. بدیهی است که هر چقدر همزمانی وقوع وقایع مرطوب یا خشک با دوران ال‌نینو یا لانینا بیشتر باشد، سطح معنی‌داری پیش‌بینی‌ها افزایش خواهد یافت.

جدول ۱- متوسط بارش سه ماهه اکتبر تا دسامبر در دوران‌های مرطوب، معمولی و خشک در ایستگاه بندرانزلی و هم‌زمانی این دوره‌های با فازهای مختلف ENSO.

| ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ |
|-------------|---------------|-------|---|--------------|------|
| فازهای ENSO | SOI(July_Sep) | سال | فاز بارش | بارش Oct_Dec | سال |
| فاز گرم | -۲۱/۴ | ۱۹۸۲ | دوران مرطوب → افزایش ترسالی | ۴۸۳/۲ | ۱۹۸۲ |
| | -۱۷/۵ | ۱۹۹۴ | | ۴۸۳/۱ | ۱۹۷۵ |
| | -۱۶/۱ | ۱۹۶۵ | | ۴۳۵/۵ | ۱۹۷۸ |
| | -۱۴/۷ | ۱۹۹۷ | | ۴۳۴/۱ | ۱۹۷۲ |
| | -۱۴/۶ | ۱۹۸۷ | | ۴۰۴/۳ | ۱۹۷۷ |
| | -۱۴/۱ | ۱۹۷۲ | | ۴۰۳ | ۱۹۸۶ |
| | -۱۲/۶ | ۱۹۷۶ | | ۳۹۷/۳ | ۱۹۸۴ |
| | -۱۲/۱ | ۱۹۷۷ | | ۳۸۵/۰ | ۲۰۰۰ |
| | -۱۰/۸ | ۱۹۹۳ | | ۳۵۸/۳ | ۱۹۶۳ |
| | -۹/۹ | ۲۰۰۲ | | ۳۵۷/۹ | ۱۹۸۵ |
| | -۸/۶ | ۱۹۹۱ | | ۳۴۱/۰ | ۱۹۹۳ |
| | -۷/۳ | ۱۹۶۹ | | ۳۳۳/۴ | ۱۹۷۶ |
| فاز خنثی | -۳/۹ | ۱۹۷۹ | افزایش خشکسالی → دوران معمولی → افزایش ترسالی | ۳۰۸/۷ | ۱۹۸۷ |
| | -۳/۵ | ۱۹۸۶ | | ۲۹۹/۱ | ۱۹۹۴ |
| | -۳/۵ | ۲۰۰۱ | | ۲۹۴/۴ | ۲۰۰۱ |
| | -۲/۹ | ۱۹۶۳ | | ۲۸۴/۷ | ۲۰۰۲ |
| | -۲/۴ | ۱۹۹۰ | | ۲۸۲/۲ | ۱۹۶۲ |
| | -۱/۸ | ۱۹۸۰ | | ۲۶۶/۳ | ۱۹۹۰ |
| | -۱/۶ | ۱۹۹۲ | | ۲۶۳/۷ | ۱۹۶۸ |
| | ۰/۳ | ۱۹۶۶ | | ۲۶۰/۶ | ۱۹۶۸ |
| | ۰/۸ | ۱۹۸۳ | | ۲۴۸/۴ | ۱۹۶۹ |
| | ۱/۰ | ۱۹۶۱ | | ۲۴۸/۳ | ۱۹۸۰ |
| | ۱/۶ | ۱۹۶۸ | | ۲۴۴/۳ | ۱۹۷۹ |
| | ۲/۱ | ۱۹۸۵ | | ۲۴۴/۲ | ۱۹۸۹ |
| | ۲/۲ | ۱۹۹۹ | | ۲۳۹/۱ | ۱۹۶۷ |
| | ۲/۳ | ۱۹۸۴ | | ۲۳۶/۷ | ۱۹۶۶ |
| | ۲/۷ | ۱۹۹۵ | | ۲۳۶/۵ | ۱۹۷۰ |
| | ۲/۸ | ۱۹۷۸ | | ۲۳۳/۱ | ۱۹۶۶ |
| | ۲/۹ | ۱۹۸۹ | | ۲۲۲/۵ | ۱۹۶۵ |
| | ۳/۱ | ۱۹۶۲ | | ۲۱۷/۴ | ۱۹۹۵ |
| ۳/۸ | ۱۹۷۰ | ۲۰۶/۷ | ۱۹۶۱ | | |
| ۳/۸ | ۲۰۰۰ | ۲۰۶/۰ | ۱۹۸۳ | | |
| فاز سرد | ۴/۲ | ۱۹۶۷ | دوران خشک ۱۴ سال → افزایش خشکسالی | ۱۹۹/۸ | ۱۹۹۹ |
| | ۶/۱ | ۱۹۹۶ | | ۱۹۸/۱ | ۱۹۷۱ |
| | ۷/۶ | ۱۹۸۱ | | ۱۸۴/۱ | ۱۹۹۱ |
| | ۱۰/۳ | ۱۹۷۴ | | ۱۸۴/۰ | ۱۹۷۴ |
| | ۱۰/۶ | ۱۹۷۳ | | ۱۸۲/۲ | ۱۹۹۷ |
| | ۱۰/۸ | ۱۹۷۱ | | ۱۶۹/۷ | ۱۹۸۸ |
| | ۱۱/۷ | ۱۹۶۴ | | ۱۶۵/۴ | ۱۹۶۴ |
| | ۱۱/۸ | ۱۹۹۸ | | ۱۵۷/۸ | ۱۹۹۲ |
| | ۱۵/۴ | ۱۹۸۸ | | ۱۵۷/۲ | ۱۹۷۳ |
| | ۲۱/۴ | ۱۹۷۵ | | ۱۳۵/۴ | ۱۹۸۱ |

*ارقام پررنگ ستون ۴ بیانگر سال‌هایی است که فازهای گرم و سرد این پدیده به ترتیب با دوران‌های ترسالی و خشکسالی هم‌زمان شده است.

جدول ۳ - نمونه جدول توافقی ۲*۲ برای محاسبه سطح معنی داری

| مشاهده | ال نینو | غیر ال نینو | کل |
|-----------|---------|-------------|-----|
| مرطوب | x | b-x | b |
| غیر مرطوب | r-x | n-r-b+x | n-b |
| کل | r | n-r | n |

سطح غیر قابل قبول^۴ که با عنوان P-Value نشان داده می شود برابر با قسمت سمت راست تابع توزیع هیپرژئومتریک (فوق هندسی) بوده که توسط فرمول زیر بیان می شود: (Agresti, 1996, 1990)

$$\sum_{k=x}^{\min(r,b)} \frac{\binom{b}{k} \binom{n-b}{r-k}}{\binom{n}{r}} P_x(X \geq x) = H(x, r, b, n) = \quad (1)$$

که به آزمون دقیق فیشر معروف است (Fisher 1935, 1970). برای روشن شدن روش محاسباتی مطلب فرض شود که در طول دوره مورد مطالعه n=۴۲ و دوره مرطوب برابر ۱۴ سال باشد. اگر تعداد سال‌های ال نینو برابر ۱۲ باشد و ۷ سال از این ۱۲ سال همراه با واقعه ترسالی باشد، مقدار p محاسبه شده از رابطه (۱) برابر ۰/۰۳۶ است که نشان دهنده این است که برای دوره مورد مطالعه پدیده ال نینو به طور معنی داری ترسالی در ایستگاه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است. اینطور استدلال می شود که از ۱۲ سال ال نینو احتمال آن که تعداد رخدادهای ترسالی کمتر از ۷ باشد (۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ و صفر رخداد) برابر ۰/۰۳۶ می باشد. بنابراین پیشگویی واقعه ترسالی براساس رخداد ال نینو از سطح معنی داری ۹۵ درصد صحت برخوردار است. اگر تعداد ترسالی‌های برابر ۸ سال باشد مقدار P برابر ۰/۰۰۶ خواهد بود که پیشگویی در سطح ۹۹ درصد معنی دار می باشد برای مقادیر بزرگتر از ۸ مقدار P به صفر نزدیک شده که نشان دهنده سطح بالای اعتماد (بالاتر از ۹۹ درصد) به پیش بینی می باشد.

لازم به ذکر است به کارگیری آزمون فیشر در مواردی صادق است که داده‌ها مستقل از یکدیگر می باشند و بین آن‌ها همبستگی وجود ندارد که این امر از طریق آزمون اتو رگرسیون محقق می شود. چنانچه در داده‌ها روندی مشاهده گردد یا اینکه داده‌های مشابه در چند سال متوالی تکرار شوند، فرضیه استقلال رد می شود. اگر سال‌های انتخابی به طور تصادفی در طول دوره زمانی خوب توزیع شده باشد اثر خودهمبستگی و روند محسوس نبوده و سطح معنی دار محاسبه شده قابل اعتماد است. در مقابل، اگر در سری زمانی اولیه سال‌های انتخابی در یک بازه زمانی خاص توزیع شود، اثر پدیده بر روی یک دوره خاص متمرکز می گردد و استفاده از آزمون فیشر برای بیان سطح معنی داری توصیه نمی شود.

جدول ۲ (الف) - جدول توافقی به منظور نشان دادن همزمانی رخداد دوران‌های مرطوب و غیر مرطوب با فازهای ال نینو و غیرال نینو در ایستگاه بندرانزلی

| کل | غیر ال نینو | ال نینو | تعداد مشاهدات |
|----|-------------|---------|---------------|
| ۱۴ | ۷ | ۷ | مرطوب |
| ۲۸ | ۲۳ | ۵ | غیر مرطوب |
| ۴۲ | ۳۰ | ۱۲ | کل |

جدول ۲ (ب) - جدول توافقی به منظور نشان دادن همزمانی رخداد دوران‌های خشک و غیر خشک با فازهای لائینا و غیر لائینا در ایستگاه بندرانزلی

| کل | غیر لائینا | لائینا | تعداد مشاهدات |
|----|------------|--------|---------------|
| ۱۴ | ۸ | ۶ | خشک |
| ۲۸ | ۲۵ | ۳ | غیر خشک |
| ۴۲ | ۳۳ | ۹ | کل |

آزمون‌های اولیه نشان داد که هر قدر تعداد کمتری از وقایع شدید ENSO به عنوان فازهای مثبت یا منفی انتخاب گردد، عموماً موجب کاهش سطح معنی داری پیش بینی‌ها می شود. به همین دلیل، برای حالتی که تعداد رخدادهای ال نینو و لائینا به ترتیب کمتر از ۸ و ۶ بود نتایج ارائه نشد.

۲-۴ - محاسبات سطح معنی داری

فرض شود از طول n سال دوره آماری (در این مطالعه ۴۲ سال) b سال آن را به عنوان دوره مرطوب در نظر گرفته شود (در این مطالعه ۱۴ سال). همچنین فرض شود که تعداد سال‌هایی که به عنوان دوره شدید ENSO در نظر گرفته شده است برابر r سال باشد. در اینجا برای دوران ال نینو r برابر ۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۹ سال و برای دوران لائینا ۸، ۷ سال می باشد. اگر فراوانی همزمانی هر یک از دوران‌های خشک، معمولی و مرطوب را با یکی از سه فاز پدیده ENSO را X فرض نماییم، دامنه نوسانات x (داده مشاهده شده) بین صفر و کمینه دو مقدار r و b در تغییر است. به عنوان مثال، در تطبیق دوران ال نینو با رخدادهای مرطوب و غیر مرطوب اگر x برابر صفر باشد هیچ دوره ترسالی متناظر با ال نینو نمی باشد و اگر تمام دوران ال نینو با وقوع ترسالی هم زمان باشد مقدار x با r برابر می گردد. با فرض اینکه از تعداد r سال ال نینو یا لائینا، x سال آن منجر به ترسالی و یا خشکسالی می شود، جدول توافقی مطابق جدول شماره ۳ قابل تشکیل است. ارزیابی معنی دار بودن تعداد وقایع ال نینو و یا لائینا در هر یک از دوران‌های خشک، معمولی و تر با استفاده از اطلاعات ارائه شده در چنین جدولی امکان پذیر می گردد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- معنی دار بودن پیشگویی در دوران ال نینو

در جدول ۴ نتایج مربوط به جدول توافقی مربوط به فصل پاییز خلاصه شده است. مشابه چنین جدولی برای شش ماهه سرد سال تهیه شد که جهت اختصار از ارائه آن خودداری می‌شود. برای نمونه نشان داده شده است که در بندر انزلی از ۱۲ واقعه ال نینو تابستانه، بارش پاییزه سه سال همراه با خشکسالی، دو سال شرایط معمولی و ۷ سال همراه با ترسالی بوده است. در تبریز از ۱۱ واقعه ال نینو در ۲ سال بارش، اکتبر تا دسامبر در شرایط خشکسالی قرار داشته و در سه سال وضعیت بارش به صورت معمولی و در ۶ سال ترسالی حاکم بوده است. در سفر تمامی دوران ال نینوی تابستانه، شرایط خشکسالی پاییزه را در پی نداشته و بارش‌های پاییزه در قالب دوران معمولی و یا تر طبقه بندی می‌شوند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، در حالی که از ۱۲ واقعه ال نینو تابستانه ۸ تا آن ترسالی پاییزه در سفر را به همراه داشته است، ۹ واقعه شدیدتر ال نینو ۶ واقعه ترسالی را موجب شده است. سوالی که در اینجا مطرح می‌شود آن است که ارقام ارائه شده در جدول ۴ دارای چه سطح از معنی‌داری هستند؟ آیا پیش‌گویی وقوع خشکسالی پاییزه در بندر انزلی در هنگامی که ال نینو تابستانه حاکم است از سطح معنی‌داری قابل قبولی برخوردار است؟ برای ارائه پاسخ به این‌گونه سوالات از آزمون دقیق فیشر بر اساس جدول توافقی استفاده گردید (رابطه ۱) که نتایج حاصل از این آزمون و سطح معنی‌داری متناظر با ارقام جدول ۴ در جدول ۵ خلاصه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در دوران خشکسالی پاییزه بندر انزلی فراوانی وقوع ال نینوی تابستانه تنها در سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد معنی‌دار است. می‌توان این‌طور نتیجه‌گیری نمود که تعداد بسیار کمی از رخداد‌های ال نینوی تابستانه، خشکسالی پاییزه را به همراه داشته و بنابراین تعداد این رخدادها از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. به بیان دیگر در زمان ال نینو تابستانه، فراوانی رخداد خشکسالی‌های پاییزه بندر انزلی به‌گونه‌ای نبوده است که پیشگویی این رخداد از نظر آماری معنی‌دار باشد. در مقابل، پیش‌گویی ترسالی پاییزه در بندر انزلی هنگامی که ال نینوی تابستانه حاکم است از سطح معنی‌داری ۹۵ تا ۹۹ درصد برخوردار می‌باشد. بنابراین وقوع ال نینوی تابستانه به طور معنی‌داری در ایجاد ترسالی پاییزه بندر انزلی نقش ایفا می‌کند. در تبریز سطح معنی‌داری برای ۱۱ واقعه ال نینو در سطح ۹۰ درصد و برای ۱۰، ۱۲ و ۹ واقعه گرم ENSO در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار هستند. در سقز و زنجان پیشگویی خشکسالی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار نمی‌باشد و رخداد خشکسالی پاییزه در دورانی که ال نینوی تابستانه حاکم بوده است، از اعتبار علمی برخوردار نیستند. ارقام ارائه شده در جدول ۵ بیانگر آن است که در هنگام وقوع ال نینوی تابستانه

پیش‌بینی خشکسالی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه معنی‌دار نمی‌باشد. در این شرایط در محدودی از مناطق کشور وقوع شرایط نرمال و در بیشتر ایستگاه‌های ترسالی پاییزه از سطح معنی‌داری قابل قبولی برخوردار می‌باشند. با توجه به آنکه پیشگویی شرایط نرمال تنها برای گرگان معنی‌دار است، در زمان وقوع ال نینو تابستانه انتظار معقول آن است که در پاییز بعدی شرایط نزدیک به نرمال را در گرگان شاهد باشیم. به جز گرگان در سایر ایستگاه‌های مورد اشاره در جدول ۶ وضعیت ترسالی پاییزه مورد انتظار است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این ایستگاه‌ها عموماً در نیمه شمالی و بخصوص در ناحیه شمال و شمال‌غرب کشور قرار گرفته‌اند. در جداول ۴ و ۵، ارقام مربوط به ۲۲ ایستگاه که نتایج معنی‌داری داشته‌اند ارائه شده است.

نتایج نشان داد که در مقایسه با پاییز، در دوران شش ماهه سرد سال رخداد ال نینو بر تعداد کمتری از ایستگاه‌ها تأثیر معنی‌داری دارد. این تأثیر برای ایستگاه‌های قزوین، تهران، ارومیه، مغان، سقز، تبریز و تربت حیدریه کاملاً نمایان است. همچنین مشخص شد که در مقایسه با پاییز رخداد ال نینو باعث افزایش سطح معنی‌داری ایستگاه‌های حاشیه شمال غربی کشور (تبریز، ارومیه و پارس آباد) در مقایسه با فصل پاییز می‌گردد که جهت اختصار از ارائه آن خودداری شد.

۳-۲- معنی‌داری پیش‌گویی در دوران لانینا

جداول ۶ و ۷ که به ترتیب متناظر با جداول ۴ و ۵ می‌باشند، تعداد وقایع قابل پیش‌بینی و سطح معنی‌داری آنها در دوران لانینا را نشان می‌دهند. برای مثال در جدول ۵ نشان داده است که در بندر انزلی از ۹ رخداد لانینای تابستانه، ۶ رخداد خشکسالی، ۲ رخداد دوران معمولی و ۱ رخداد نیز ترسالی پاییزه را به دنبال داشته است. در سقز از ۹ رخداد لانینا، ۷ رخداد آن خشکسالی و ۲ رخداد آن دوره معمولی را در پی داشته و هیچ مورد ترسالی متأثر از لانینا مشاهده نگردیده است. نکته قابل توجه در جدول ۶ آن است که بعد از یک لانینای تابستانه تقریباً در هیچ یک از نقاط کشور پیش‌بینی ترسالی پاییزه از سطح معنی‌داری قابل قبول برخوردار نیستند. در بندرعباس وقوع خشکسالی پاییزه بعد از یک لانینای تابستانه از سطح معنی‌داری بالایی برخوردار نبوده و وضعیت نرمال پیش‌بینی می‌شود. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که در شرایط لانینا برای بسیاری از نقاط کشور پیش‌بینی حالت خشکسالی و بعضاً نرمال معقول می‌باشد. گستردگی دامنه خشکسالی متأسفانه بسیاری از بخش‌های کشور از آذربایجان و کردستان تا یزد و کرمان و زاهدان و آبادان را شامل می‌شود.

جدول ۴- تعداد دفعاتی که وقوع ال نینوی تابستانه با شدت‌های متفاوت یکی از دوران‌های خشک، معمولی و ترسالی را به همراه داشته است.

| | تعداد رخداد‌های مشاهده شده خشک پائیزه بعد از ال نینوی تابستانه | | | | تعداد رخداد‌های مشاهده شده معمولی پائیزه بعد از ال نینوی تابستانه | | | | تعداد رخداد‌های مشاهده شده ترسالی پائیزه بعد از ال نینوی تابستانه | | | |
|-----------|--|------------------|------------------|-----------------|---|------------------|------------------|-----------------|---|------------------|------------------|-----------------|
| | ۱۲ واقعه ال نینو | ۱۱ واقعه ال نینو | ۱۰ واقعه ال نینو | ۹ واقعه ال نینو | ۱۲ واقعه ال نینو | ۱۱ واقعه ال نینو | ۱۰ واقعه ال نینو | ۹ واقعه ال نینو | ۱۲ واقعه ال نینو | ۱۱ واقعه ال نینو | ۱۰ واقعه ال نینو | ۹ واقعه ال نینو |
| اراک | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ | ۴ | ۳ | ۲ | ۴ | ۲ | ۲ | ۲ | ۶ |
| ارومیه | ۲ | ۲ | ۶ | ۱ | ۳ | ۳ | ۳ | ۴ | ۲ | ۵ | ۵ | ۵ |
| اصفهان | ۳ | ۲ | ۶ | ۲ | ۳ | ۳ | ۲ | ۳ | ۲ | ۶ | ۵ | ۵ |
| انزلی | ۳ | ۳ | ۷ | ۲ | ۱ | ۱ | ۰ | ۲ | ۲ | ۷ | ۷ | ۷ |
| بایلسر | ۱ | ۱ | ۶ | ۰ | ۴ | ۴ | ۴ | ۵ | ۰ | ۶ | ۵ | ۵ |
| پارس آباد | ۲ | ۱ | ۶ | ۱ | ۲ | ۳ | ۲ | ۴ | ۱ | ۶ | ۶ | ۶ |
| تبریز | ۲ | ۲ | ۶ | ۲ | ۲ | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۶ | ۶ | ۶ |
| تهران | ۱ | ۱ | ۷ | ۱ | ۲ | ۲ | ۶ | ۳ | ۱ | ۷ | ۷ | ۶ |
| دزفول | ۳ | ۲ | ۷ | ۱ | ۲ | ۲ | ۶ | ۲ | ۲ | ۷ | ۶ | ۶ |
| رشت | ۲ | ۱ | ۷ | ۱ | ۲ | ۳ | ۷ | ۳ | ۱ | ۷ | ۷ | ۷ |
| زنجان | ۰ | ۰ | ۶ | ۰ | ۵ | ۵ | ۵ | ۵ | ۰ | ۵ | ۵ | ۵ |
| سبزوار | ۲ | ۲ | ۶ | ۲ | ۳ | ۳ | ۵ | ۴ | ۲ | ۶ | ۵ | ۵ |
| سقز | ۰ | ۰ | ۸ | ۰ | ۳ | ۳ | ۳ | ۴ | ۰ | ۷ | ۶ | ۶ |
| سنندج | ۲ | ۲ | ۶ | ۲ | ۲ | ۳ | ۶ | ۳ | ۲ | ۶ | ۶ | ۶ |
| شاهرود | ۲ | ۲ | ۶ | ۲ | ۳ | ۳ | ۵ | ۴ | ۲ | ۶ | ۵ | ۵ |
| شهرکرد | ۲ | ۲ | ۷ | ۲ | ۲ | ۲ | ۶ | ۳ | ۲ | ۷ | ۶ | ۶ |
| قزوین | ۲ | ۱ | ۸ | ۱ | ۱ | ۱ | ۶ | ۲ | ۱ | ۷ | ۶ | ۶ |
| کرمانشاه | ۲ | ۲ | ۶ | ۱ | ۳ | ۳ | ۶ | ۴ | ۲ | ۶ | ۵ | ۵ |
| گرگان | ۴ | ۴ | ۲ | ۲ | ۶ | ۶ | ۶ | ۶ | ۲ | ۱ | ۱ | ۱ |
| ماکو | ۲ | ۲ | ۶ | ۲ | ۳ | ۳ | ۵ | ۴ | ۲ | ۶ | ۵ | ۵ |
| مراغه | ۲ | ۲ | ۷ | ۲ | ۳ | ۳ | ۵ | ۳ | ۲ | ۶ | ۵ | ۵ |
| مهاباد | ۲ | ۲ | ۷ | ۲ | ۲ | ۲ | ۵ | ۲ | ۲ | ۶ | ۵ | ۵ |

جدول ۵- سطح معنی داری برای بیان معنی دار بودن تعداد رخدادهای ال نینو در دوران خشک، معمولی و تر. رنگ تیره به معنی آن است که پیش بینی در سطح ارائه شده معنی دار نیست.

| سطح معنی داری برای پیشگویی دوره تر بعد از ال نینوی تابستانه | | | | سطح معنی داری برای پیشگویی دوره معمولی بعد از ال نینوی تابستانه | | | | سطح معنی داری برای پیشگویی دوره خشک بعد از ال نینوی تابستانه | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|---|------------------|------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|-----------|
| واقعۀ ال نینو ۹ | واقعۀ ال نینو ۱۰ | واقعۀ ال نینو ۱۱ | واقعۀ ال نینو ۱۲ | واقعۀ ال نینو ۹ | واقعۀ ال نینو ۱۰ | واقعۀ ال نینو ۱۱ | واقعۀ ال نینو ۱۲ | واقعۀ ال نینو ۹ | واقعۀ ال نینو ۱۰ | واقعۀ ال نینو ۱۱ | واقعۀ ال نینو ۱۲ | |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۰ | ۸۵ | ۱۰ | ۵ | ۱۵ | ۳۵ | ۱ | ۵ | ۵ | ۱ | اراک |
| ۸۵ | ۸۰ | ۹۰ | ۸۰ | ۳۵ | ۲۵ | ۱۵ | ۳۵ | ۱ | ۵ | ۵ | ۱ | ارومیه |
| ۸۵ | ۸۰ | ۹۰ | ۸۵ | ۱۰ | ۲۵ | ۱۵ | ۱۰ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱۰ | اصفهان |
| ۹۹ | ۹۹ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۰ | ۵ | ۱۵ | ۱۰ | انزلی |
| ۸۵ | ۹۵ | ۹۰ | ۸۵ | ۶۵ | ۵۵ | ۴۵ | ۶۰ | ۹۵ | ۹۹ | ۱ | ۱ | بابلسر |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۰ | ۸۵ | ۱۰ | ۲۵ | ۴۵ | ۳۵ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | پارس آباد |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۰ | ۹۵ | ۱ | ۵ | ۱۵ | ۱۰ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱ | تبریز |
| ۹۵ | ۹۹ | ۹۵ | ۹۹ | ۱۰ | ۵ | ۱۵ | ۱۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | تهران |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱ | ۱ | ۵ | ۵ | ۱۰ | دزفول |
| ۹۹ | ۹۹ | ۹۵ | ۹۵ | ۱ | ۵ | ۱۵ | ۱۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | رشت |
| ۸۵ | ۸۰ | ۹۰ | ۹۵ | ۶۵ | ۸۰ | ۷۰ | ۶۰ | ۹۵ | ۹۹ | ۹۹ | ۹۹ | زنجان |
| ۸۵ | ۸۰ | ۹۰ | ۸۵ | ۱۰ | ۲۵ | ۱۵ | ۳۵ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱ | سبزوار |
| ۹۵ | ۹۹ | ۹۹ | ۹۹ | ۳۵ | ۲۵ | ۱۵ | ۳۵ | ۹۵ | ۹۹ | ۹۹ | ۹۹ | سقز |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۰ | ۹۵ | ۱ | ۵ | ۱۵ | ۱۰ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱ | سنندج |
| ۸۵ | ۸۰ | ۹۰ | ۸۵ | ۱۰ | ۲۵ | ۱۵ | ۳۵ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱ | شاهرود |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۱ | ۵ | ۵ | ۱۰ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱ | شهرکرد |
| ۹۵ | ۹۹ | ۹۹ | ۹۹ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | قزوین |
| ۸۵ | ۸۰ | ۹۰ | ۸۵ | ۳۵ | ۲۵ | ۱۵ | ۳۵ | ۱ | ۵ | ۵ | ۱ | کرمانشاه |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۰ | ۸۵ | ۱۰ | ۲۵ | ۴۵ | ۳۵ | گرگان |
| ۸۵ | ۸۰ | ۹۰ | ۸۵ | ۱۰ | ۲۵ | ۱۵ | ۳۵ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱ | ماکو |
| ۸۵ | ۸۰ | ۹۰ | ۹۵ | ۱۰ | ۲۵ | ۱۵ | ۱۰ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱ | مراغه |
| ۸۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۹ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۱ | مهاباد |

جدول ۶- تعداد دفعاتی که وقوع لاینیای تابستانه یکی از دوران‌های خشک، معمولی و ترسالی را به همراه داشته است.

| | تعداد رخداد‌های مشاهده شده خشک | | | تعداد رخداد‌های مشاهده شده معمولی | | | تعداد رخداد‌های مشاهده شده تر پائیزه بعد از لاینیای تابستانه | | |
|------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| | ۹ واقعه لاینیای تابستانه | ۸ واقعه لاینیای تابستانه | ۷ واقعه لاینیای تابستانه | ۹ واقعه لاینیای تابستانه | ۸ واقعه لاینیای تابستانه | ۷ واقعه لاینیای تابستانه | ۹ واقعه لاینیای تابستانه | ۸ واقعه لاینیای تابستانه | ۷ واقعه لاینیای تابستانه |
| آبادان | ۶ | ۵ | ۴ | ۲ | ۲ | ۲ | ۱ | ۱ | ۱ |
| بم | ۶ | ۵ | ۵ | ۳ | ۳ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ |
| بندر انزلی | ۶ | ۶ | ۵ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| بندر عباس | ۲ | ۲ | ۲ | ۶ | ۵ | ۴ | ۱ | ۱ | ۱ |
| تبریز | ۶ | ۶ | ۵ | ۳ | ۲ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ |
| تهران | ۵ | ۴ | ۳ | ۴ | ۴ | ۴ | ۰ | ۰ | ۰ |
| رامسر | ۷ | ۶ | ۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲ | ۲ | ۲ |
| رشت | ۷ | ۶ | ۶ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| زاهدان | ۶ | ۵ | ۴ | ۱ | ۱ | ۱ | ۲ | ۲ | ۲ |
| زنجان | ۶ | ۵ | ۵ | ۳ | ۳ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ |
| سقز | ۷ | ۶ | ۶ | ۲ | ۲ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ |
| سنندج | ۵ | ۵ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ |
| قزوین | ۷ | ۶ | ۶ | ۲ | ۲ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ |
| کرمان | ۶ | ۵ | ۵ | ۲ | ۲ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| ماکو | ۶ | ۵ | ۵ | ۲ | ۲ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ |
| مراغه | ۶ | ۶ | ۵ | ۳ | ۲ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ |
| مهاباد | ۶ | ۵ | ۵ | ۳ | ۳ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ |
| یزد | ۶ | ۵ | ۴ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ |

که لاینیای ضعیف‌تر نیز می‌تواند آثار زیانبار خشکسالی را موجب شود.

نتایج نشان داد که وقوع لاینیای تابستانه نمی‌تواند به‌طور معنی‌داری نشانگر وقوع خشکسالی در دوره شش ماهه سرد سال باشد. از ۳۷ ایستگاه مورد مطالعه ملاحظه گردید در هیچ ایستگاهی لاینیای تابستانه، خشکسالی شش ماهه را به دنبال نداشت. همان‌طور که اشاره شد این تعداد برای فصل پاییز برابر ۱۸ ایستگاه است (جدول ۶ و ۷). این امر به مفهوم آن است که در فصل زمستان (سه ماهه دوم و شش ماهه سرد سال) تأثیر پدیده ENSO بر بارش کشور دچار دگرگونی زیادی می‌شود که بطور مفصل توسط Nazemosadat & Ghasemi (2004) مورد بحث قرار گرفته است.

همان‌طور که از جدول ۷ استنباط می‌شود در شرایطی که لاینیای شدید تابستانه حاکم باشد، احتمال وقوع ترسالی در هیچ‌یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه معنی‌دار نمی‌باشد. ارقام ارائه شده در جداول ۶ و ۷ مربوط به ایستگاه‌هایی هستند که برخی از نتایج معنی‌دار بوده است. مقایسه جداول ۶ و ۷ با جداول ۵ و ۶ گویای آن است که تعداد ایستگاه‌هایی که بعد از یک لاینیای تابستانه دچار خشکسالی پاییزه می‌شوند کمتر از تعداد ایستگاه‌هایی است که بعد از یک ال‌نینوی تابستانه با ترسالی پاییزه روبرو می‌گردند. یکی از علل این تفاوت می‌تواند آن باشد که بیشینه تعداد وقایع ال‌نینو و لاینیای که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند به ترتیب برابر ۱۲ و ۹ رخداد بود. اگر فاز سرد ENSO طوری انتخاب می‌شد که SOI بجای ۵ برابر $+3/8$ بود (جدول ۱) و تعداد وقایع ال‌نینو و لاینیای مساوی بودند، به احتمال زیاد بسیاری از ایستگاه‌های مورد مطالعه با وقوع لاینیای دچار یک خشکسالی شدید می‌گردیدند. این امر به مفهوم آن است

جدول ۷- سطح معنی داری برای بیان معنی دار بودن تعداد رخداد‌های لائینا در دوران خشک، معمولی و تر. رنگ تیره به معنی آن است که پیش بینی در سطح ارائه شده معنی دار نیست.

| سطح معنی داری برای پیشگویی دوره تر بعد از لائینای تابستانه | سطح معنی داری برای پیشگویی دوره معمولی بعد از لائینای تابستانه | | | سطح معنی داری برای پیشگویی دوره خشک بعد از لائینای تابستانه | | | | | |
|--|--|-------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|----|----|------------|
| | واقعه لائینا ۹ | واقعه لائینا ۸ | واقعه لائینا ۷ | واقعه لائینا ۹ | واقعه لائینا ۸ | واقعه لائینا ۷ | | | |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۸۰ | ۹۰ | ۹۵ | آبادان |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۲۰ | ۴۵ | ۳۵ | ۹۵ | ۹۰ | ۹۵ | بم |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۰ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | بندر انزلی |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۸۰ | ۹۰ | ۹۵ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | بندر عباس |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۲۰ | ۱۵ | ۳۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | تبریز |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۸۰ | ۷۵ | ۶۵ | ۵۵ | ۷۵ | ۸۵ | تهران |
| ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۹ | رامسر |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۹۹ | ۹۵ | ۹۹ | رشت |
| ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۸۰ | ۹۰ | ۹۵ | زاهدان |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۲۰ | ۴۵ | ۳۵ | ۹۵ | ۹۰ | ۹۵ | زنجان |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۱ | ۱۵ | ۱۰ | ۹۹ | ۹۵ | ۹۹ | سقز |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۲۰ | ۴۵ | ۶۵ | ۹۵ | ۹۰ | ۸۵ | سنندج |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۱ | ۱۵ | ۱۰ | ۹۹ | ۹۵ | ۹۹ | قزوین |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱۵ | ۱۰ | ۹۵ | ۹۰ | ۹۵ | کرمان |
| ۹۵ | ۱ | ۱ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۹۵ | ۹۰ | ۹۵ | ماکو |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۲۰ | ۱۵ | ۳۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | مراغه |
| ۹۵ | ۹۵ | ۹۵ | ۲۰ | ۴۵ | ۳۵ | ۹۵ | ۹۰ | ۹۵ | مهاباد |
| ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۱۵ | ۱۰ | ۸۰ | ۹۰ | ۹۵ | یزد |

۴- نتیجه گیری

با توجه به جداول توافقی تشکیل شده روشن گردید که از بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بارش پاییزه در ایستگاه‌های تهران، سقز و مهاباد بیشترین واکنش را به فازهای ENSO نشان دادند به طوری که از دوازده واقعه ال‌نینو تابستانه این ایستگاه‌ها شاهد ۸ رخداد ترسالی بوده‌اند و ۴ رخداد بعدی عموماً شرایط نرمال را نشان داده‌اند. برای بسیاری از ایستگاه‌های کشور پیش‌بینی دوران تر پاییزه بعد از یک ال‌نینو تابستانه عموماً از سطح معنی‌داری ۹۵٪ تا ۹۹٪ برخوردار است، در همین حال بعد از یک ال‌نینو تابستانه انتظار خشکسالی پاییزه در ایستگاه‌های مورد مطالعه از دیدگاه آماری بی‌معنی تشخیص داده شد، روشن گردید که در گستره وسیعی از کشور وقوع لائینای تابستانه در اغلب موارد موجب خشکسالی پاییزه می‌گردد و این پیش‌بینی برای تعداد قابل توجهی از ایستگاه‌ها در سطح ۹۵٪ معنی‌دار است. بالاترین سطح معنی‌داری در ایستگاه‌های واقع در

پیش‌گویی‌های اقلیمی، تعیین سطح معنی‌داری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در صورتی که پیش‌بینی‌های بلندمدت اقلیمی از نظر آماری مورد آزمون قرار نگیرد، عدم اعتماد عمومی به امر پیش‌بینی را موجب خواهد شد. در این تحقیق این فرضیه مورد آزمون قرار گرفت که آیا وضعیت پدیده ال‌نینو- نوسانات جنوبی (دوران‌های شدید ال‌نینو و یا لائینا) تابستانه می‌تواند به عنوان پیش‌گوکننده قابل اعتمادی برای وضعیت بارش پاییزه و شش ماهه سرد سال ایران باشد؟ لذا آزمون ناپارامتری دقیق فیشر که از طرف محققین برجسته برای معنی‌داری این نوع پیش‌گویی‌ها پیشنهاد می‌شود مورد استفاده قرار گرفت.

- Hui, G., W. Yongguang, and Jinhai, H. (2006), Weakening significance of ENSO as a predictor of summer precipitation in China, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L09807, doi: 10.1029/2005GL025511.
- Kane, R. P. (1999), Some characteristics and precipitation effects of the El Nino of 1997-1998. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 61, pp. 1325-1346.
- Kiladis, G. N., and Diaz, H. F. (1989), Global climate anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *J. Climate.*, 2, pp. 1069-1090.
- Latif, M., and Coauthors. (1998), A review of the predictability and prediction of ENSO. *J. Geophys. Res.*, 103, pp. 14375-14393.
- Mason. S. J and Goddard. L. (2001), Probabilistic precipitation anomalies Associated with ENSO. *Bulletin of the American Meteorological Society*, pp. 619-638.
- Nazemosadat, M. J. and Cordery, I. (2000), On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran. *International Journal of Climatology*, No. 20. pp. 47-61.
- Nazemosadat, M. J., Ghasemi, A. R. (2004), Quantifying the ENSO Related Shifts in the intensity and Probability of Drought and Wet periods in Iran. *Journal Of Climate*, Vol. 17. No. 20 pp. 4005-4018.
- Neelin, J. D., D. S. Battisti, A. C. Hirst, F. F. Jin, Y. Wakata, T. Yamagata, and S. E. Zebiak (1998), ENSO theory. *J. Geophys. Res.*, 103, pp. 14261-14290.
- Parthasarathy, B., Diaz, H. F. and Eischeid, J. K. (1988), Predictions of all India summer monsoon rainfall and Southern Oscillation. *J. geophys. Res.*, 93, pp. 5341- 5350.
- Ropelewski, C. F., and Halpert, M. S. (1987), Global and regional scale precipitation patterns associated with the EL Nino Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, pp. 1606-1626.
- Ropelewski, C. F., and Halpert, M. S. (1989), Precipitation patterns associated with the EL Nino Southern Oscillation. *J. Climate*, 2, pp. 268-284.
- Ropelewski, C. F., and Halpert, M. S. (1996), Quantifying Southern Oscillation precipitation relationships. *J. Climate*, 9, pp. 1043-1059.
- Shukla, J., and Paolina, D.A. (1983), The southern oscillation and long range forecasting of the summer monsoon rainfall over India. *Mon. Wea. Rev.*, 111- pp. 1830-1837.
- جنوب غربی دریای خزر، قزوین و سقز مشاهده شد. نتایج نشان می دهد که بعد از لاینای شدید تابستانه انتظار ترسالی در ایستگاه های مورد مطالعه از نظر آماری بی معنی می باشد. نشان داده شد که بعد از یک وقوع ال نینوی تابستانه، در حدود نیمی از ایستگاه های کشور بارش شش ماهه سرد سال وضعیت ترسالی را نشان می دهد. در عین حال وقوع لاینای تابستانه نمی تواند نشانگر قابل اطمینانی برای وقوع خشکسالی در دوره شش ماهه باشد.

پی نوشتها

- 1- El Niño Southern Oscillation, ENSO
- 2- Fisher exact test
- 3- Southern Oscillation Index, (SOI)
- 4- Rejection Level
- 5- Contingency Table

۵- مراجع

- ناظم السادات، س. م. ج و شیروانی، ا. ۱۳۸۵، «کاربرد مدل تحلیل همبستگی متعارف برای مطالعه تأثیر دمای سطح آب خلیج فارس بر بارندگی زمستانه مناطق جنوبی ایران»، ارائه شده به مجله علمی کشاورزی دانشگاه اهواز، جلد ۲۹، شماره ۲ صص ۶۵-۷۷
- ناظم السادات، س. م. ج، سامانی، ن. و مصطفی مولایی نیکو. ۱۳۸۴. «تغییر اقلیم در جنوب و جنوب غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش؛ بر همکنش با پدیده ال نینو - نوسانات جنوبی»، مجله علوم کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، ج ۲. شماره ۲۸، زمستان ۸۴، صص ۸۲-۹۹.
- Agresti, A. (1990), *Categorical Data Analysis*. John Wiley, 558 p.
- Agresti, A. (1996), *An Introduction to Categorical Data Analysis*, John Wiley, 290 p.
- Bradley, R.S., H.F. Diaz, G. N. Kiladis, and J.K. Eischeid (1987), ENSO signal in continental temperature and precipitation records. *Nature*, 327, pp. 497-501.
- Fisher, R. A. (1935), The logic of inductive inference (with discussion). *J. Roy. Stat. Soc.*, 98, pp. 39-82.
- Fisher, R. A. (1970), *Statistical Methods for Research Workers*. Oliver and Boyd, 362 p.
- Halpert, M. S., and C. F. Ropelewski. (1992), Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation. *J. Climate.*, 5, pp. 577-593.

- Timm, O., Pfeiffer, M. and Dullo, W. C. (2005), Nonstationary ENSO-precipitation teleconnection over the equatorial Indian Ocean documented in a coral from the Chagos Archipelago, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L02701, doi: 10.1029/2004GL021738.
- Stockdale, T. N., Anderson, D. L. T., Alves, J. O. S. and Balmaseda, M. A. (1998), Global seasonal rainfall forecasts using a coupled ocean-atmosphere model. *Nature*, 392, pp. 370-373.
- Shu, P.J and Lau, K. M. (1991), Teleconnection in global rainfall anomalies: Seasonal inter-decadal time Scales:Teleconnection linking Worldwide Climate Anomalies: Scientific Basis and Social Impact., M. H. Glantz,R. W. Katz and N. Nicholls, Eds., Cambridge Univesity Press, pp. 227-256.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۴ مهر ۱۳۸۵

تاریخ اصلاح مقاله: ۱ اردیبهشت ۱۳۸۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹ تیر ۱۳۸۶