Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سوم، شماره ۱، بهار ۱۳۸۶
Volume 3, No. 1, Spring 2007 (IR-WRR)
۱۲-۲۴

ارزیابی سطح معنی‌داری 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 آتی دوره‌های خشک و تر، یکی از مبانی اصلی موفقیت در برنامه‌ریزی منابع آب است. هر چه پیش‌بینی‌ها از مبنای 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 ـ 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 (اکتبرتا مارس) به عنوان پیشگوشونده 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 لانینای تابستانه (۵< SOI) 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 لانینای تابستانه تأثیر معنی‌داری بر وقوع خشکسالی ۶ ماهه ندارد.

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

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

M. J. Nazemosadat [1], *A. Ansaribasir* [2] *and M. R. Pishvaei* [3]

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 autumal and six-monthly (October- march) precipitation using Fisher[2] 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.

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

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

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

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 لانینای بسیار شدید، که عمدتاً به صورت مقادیر حدی SOI و یا $Nino_{3.4}$ تعریف می‌گردد، تأثیر معنی‌داری بر مقادیر انحراف از میانگین (Anomally) بارش می‌گذارد. آنها نشان دادند فازهای گرم (ال‌نینو) و یا سرد (لانینا) 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)، Halpert and Ropelewski (1992)، Kiladis and Diaz (1989) 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[5] و 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 لانینا 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. ناظم السادات 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 هریک 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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:

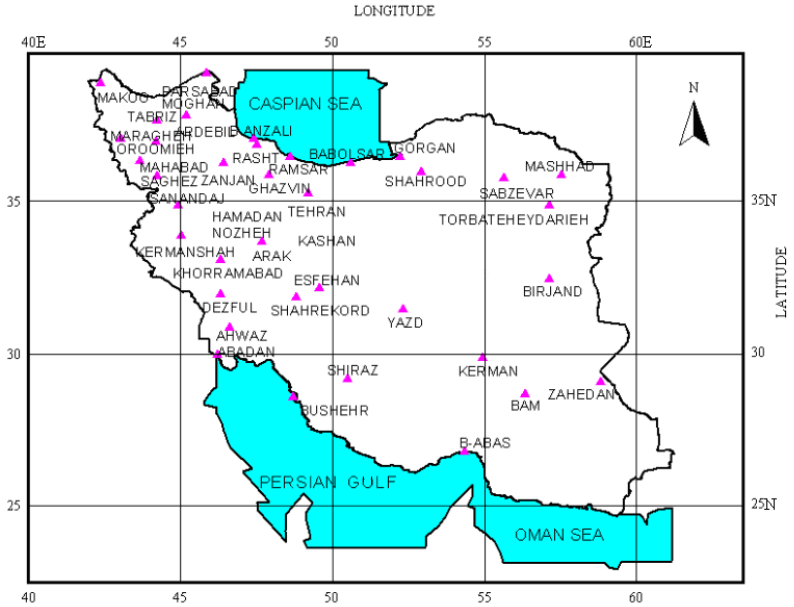
۱- استفاده از شاخص SOI به منظور مشخص نمودن سال‌هایی که پدیده ENSO در یکی از فازهای گرم (ال‌نینو)، سرد (لانینا) و خنثی قرار دارد.
۲- تعیین فراوانی سال‌هایی که فازهای گرم و سرد ENSO با یکی از سه دوره تر، خشک و معمولی ایستگاه‌های مختلف مطابقت دارد و تعیین جداول توافقی.
۳- ارائه یک روش آماری مناسب که اخیراً 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.

۲- داده‌ها و روش محاسباتی

۲-۱- داده‌های بارش وتعیین دوره‌های خشک و تر

داده‌های ماهانه بارش در طول ماه‌های اکتبر تا مارس برای ۳۷ ایستگاه همدیدی و اقلیم شناسی ایران (شکل ۱) از سایت اینترنتی (www.weather.ir) و یا سالنامه هواشناسی انتشارات سازمان هواشناسی کل کشور در فاصله زمانی۱۹۶۱ تا ۲۰۰۲ استخراج گردید.

در مرحله بعد، متوسط بارش در هر یک ازدوره‌های 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.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور 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 میلی متر) 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 (Htpp://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 و۲۱ 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 درفاز 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 لانینای ثبت شده برایجاد 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- و۲۱/۴- 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 واگر 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 سال‌های۱۹۷۲، 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 و۱۹۸۶شرایط ال‌نینو حاکم بوده است، بارش سه ماهه پاییزه آن‌ها بسیار کم است به‌طوری 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 جدول۲(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، ۱۹۷۴و ۱۹۸۱ 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 معنی داری مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به آن که تمامی محاسبات بر مبنای دو سری زمانی متفاوت (پاییزه و شش ماهه) صورت گرفته، بنابراین تعداد کل جداول تشکیل شده برابر ۱۴۸ (۳۷×۲×۲) 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

۱	۲	۳	۴	۵	۶
سال	بارشOct_Dec	فاز بارش	سال	SOI(July_Sep)	فازهای ENSO
۱۹۸۲	۴۸۳/۲	دوران مرطوب← افزایش ترسالی	**۱۹۸۲**	-۲۱/۴	فاز گرم
۱۹۷۵	۴۸۳/۱		**۱۹۹۴**	-۱۷/۵	
۱۹۷۸	۴۳۵/۵		۱۹۶۵	-۱۶/۱	
۱۹۷۲	۴۳۴/۱		۱۹۹۷	-۱۴/۷	
۱۹۷۷	۴۰۴/۳		**۱۹۸۷**	-۱۴/۶	
۱۹۸۶	۴۰۳		**۱۹۷۲**	-۱۴/۱	
۱۹۸۴	۳۹۷/۳		**۱۹۷۶**	-۱۲/۶	
۲۰۰۰	۳۸۵/۰		**۱۹۷۷**	-۱۲/۱	
۱۹۶۳	۳۵۸/۳		**۱۹۹۳**	-۱۰/۸	
۱۹۸۵	۳۵۷/۹		۲۰۰۲	-۹/۹	
۱۹۹۳	۳۴۱/۰		۱۹۹۱	-۸/۶	
۱۹۷۶	۳۲۳/۴		۱۹۶۹	-۷/۳	
۱۹۸۷	۳۰۸/۷		۱۹۷۹	-۳/۹	فاز خشکی
۱۹۹۴	۲۹۹/۱		۱۹۸۶	-۳/۵	
۲۰۰۱	۲۹۴/۴	افزایش خشکسالی← دوران معمولی← افزایش ترسالی	۲۰۰۱	-۳/۵	
۲۰۰۲	۲۸۴/۷		۱۹۶۳	-۲/۹	
۱۹۶۲	۲۸۲/۲		۱۹۹۰	-۲/۴	
۱۹۹۰	۲۶۶/۳		۱۹۸۰	-۱/۸	
۱۹۹۸	۲۶۳/۷		۱۹۹۲	-۱/۶	
۱۹۶۸	۲۶۰/۶		۱۹۶۶	۰/۳	
۱۹۶۹	۲۴۸/۴		۱۹۸۳	۰/۸	
۱۹۸۰	۲۴۸/۳		۱۹۶۱	۱/۰	
۱۹۷۹	۲۴۴/۳		۱۹۶۸	۱/۶	
۱۹۸۹	۲۴۴/۲		۱۹۸۵	۲/۱	
۱۹۶۷	۲۳۹/۱		۱۹۹۹	۲/۲	
۱۹۹۶	۲۳۶/۷		۱۹۸۴	۲/۳	
۱۹۷۰	۲۳۶/۵		۱۹۹۵	۲/۷	
۱۹۶۶	۲۳۳/۱		۱۹۷۸	۲/۸	
۱۹۶۵	۲۲۲/۵	دوران خشک ۱۴ سال →افزایش خشکسالی	۱۹۸۹	۲/۹	
۱۹۹۵	۲۱۷/۴		۱۹۶۲	۳/۱	
۱۹۶۱	۲۰۶/۷		۱۹۷۰	۳/۸	
۱۹۸۳	۲۰۶/۰		۲۰۰۰	۳/۸	
۱۹۹۹	۱۹۹/۸		۱۹۶۷	۴/۲	
۱۹۷۱	۱۹۸/۱		۱۹۹۶	۶/۱	فاز سرد
۱۹۹۱	۱۸۴/۱		**۱۹۸۱**	۷/۶	
۱۹۷۴	۱۸۴/۰		**۱۹۷۴**	۱۰/۳	
۱۹۹۷	۱۸۲/۲		**۱۹۷۳**	۱۰/۶	
۱۹۸۸	۱۶۹/۷		**۱۹۷۱**	۱۰/۸	
۱۹۶۴	۱۶۵/۴		**۱۹۶۴**	۱۱/۷	
۱۹۹۲	۱۵۷/۸		۱۹۹۸	۱۱/۸	
۱۹۷۳	۱۵۷/۲		**۱۹۸۸**	۱۵/۴	
۱۹۸۱	۱۳۵/۴		۱۹۷۵	۲۱/۴	

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

www.SID.ir

Archive of SID

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

کل	غیر ال‌نینو	ال‌نینو	تعداد مشاهدات
۱۴	۷	۷	مرطوب
۲۸	۲۳	۵	غیرمرطوب
۴۲	۳۰	۱۲	کل

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

کل	غیر لانینا	لانینا	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 معنی‌داری پیش‌بینی‌ها می‌شود. به همین دلیل، برای حالاتی که تعداد رخدادهای ال‌نینو و لانینا به ترتیب کمتر از ۸ و ۶ بود نتایج ارائه نشد.

۲-۴- محاسبات سطح معنی‌داری

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 ال‌نینو r برابر ۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۹ سال و برای دوران لانینا ۹، ۸ و ۷ سال می‌باشد. 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 ال‌نینو با رخدادهای مرطوب و غیر مرطوب اگر x برابر صفر باشد هیچ دوره تر سالی متناظر با ال‌نینو نمی‌باشد و اگر تمام دوران ال‌نینو با وقوع تر سالی هم زمان باشد مقدار x با r برابر می‌گردد. با فرض اینکه از تعداد r سال ال‌نینو یا لانینا، x سال آن منجر به ترسالی و یا خشکسالی می‌شود، جدول توافقی مطابق جدول شماره ۳ قابل تشکیل است. ارزیابی معنی‌دار بودن تعداد وقایع ال‌نینو و یا لانینا در هر یک از دوران‌های خشک، معمولی و تر با استفاده از اطلاعات ارائه شده در چنین جدولی امکان پذیر می‌گردد.

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

کل	غیر ال‌نینو	ال‌نینو	مشاهده
b	b-x	x	مرطوب
n-b	n-r-b+x	r-x	غیر مرطوب
n	n-r	r	کل

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

$$P_x(X \geq x) = H(x,r,b,n) = \sum_{k=x}^{\min(r,b)} \frac{\binom{b}{k}\binom{n-b}{r-k}}{\binom{n}{r}} \qquad (۱)$$

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 ال‌نینو 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 ال‌نینو به طور معنی داری ترسالی در ایستگاه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است. اینطور استدلال می‌شود که از ۱۲ سال ال‌نینو احتمال آن که تعداد رخدادهای ترسالی کمتر از ۷ باشد (۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ و صفر رخداد) برابر ۰/۰۳۶ می‌باشد. بنابراین پیشگویی واقعه ترسالی براساس رخداد ال‌نینو از سطح معنی‌داری ۹۵ درصد صحت برخوردار است. اگر تعداد ترسالی‌های برابر ۸ سال باشد مقدار P برابر ۰/۰۰۶ خواهد بود که پیشگویی در سطح ۹۹ در صد معنی‌دار می‌باشد برای مقادیر بزرگتر از ۸ مقدار P به صفر نزدیک شده که نشان دهنده سطح بالای اعتماد (بالاتر از ۹۹ درصد) به پیش‌بینی می‌باشد.

لازم به ذکر است به‌کارگیری آزمون فیشر در مواردی صادق است که داده‌ها مستقل از یکدیگر می‌باشند و بین آن‌ها همبستگی وجود ندارد که این امر از طریق آزمون اتو رگرسیو محقق می‌شود. چنانچه در داده‌ها روندی مشاهده گردد یا اینکه داده‌های مشابه در چند سال متوالی تکرار شوند، فرضیه استقلال رد می‌شود. اگر سال‌های انتخابی به طور تصادفی در طول دوره زمانی خوب توزیع شده باشد اثر خودهمبستگی و روند محسوس نبوده و سطح معنی‌دار 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 می‌گردد و استفاده از آزمون فیشر برای بیان سطح معنی‌داری توصیه نمی‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- نتایج و بحث

۳-۱- معنی دار بودن پیشگویی در دوران ال‌نینو

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 ال‌نینو 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 ال‌نینو 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 سقز تمامی دوران ال‌نینوی 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 ال‌نینو تابستانه ۸ تای آن ترسالی پاییزه در سقز را به همراه داشته است، ۹ واقعه شدیدتر ال‌نینو 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 ال‌نینو تابستانه حاکم است از سطح معنی‌داری قابل قبولی برخوردار است؟ برای ارائه پاسخ به این‌گونه سوالات از آزمون دقیق فیشر بر اساس جداول تواقفی استفاده گردید (رابطه ۱) که نتایج حاصل از این آزمون و سطح معنی‌داری متناظر با ارقام جدول ۴ در جدول ۵ خلاصه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، در دوران خشکسالی پاییزه بندر انزلی فراوانی وقوع ال‌نینوی تابستانه تنها در سطح ۵ ،۱۰و ۱۵ درصد معنی‌دار است. می‌توان اینطور نتیجه‌گیری نمود که تعداد بسیار کمی از رخدادهای ال‌نینوی تابستانه، خشکسالی پاییزه را به همراه داشته و بنابراین تعداد این رخدادها از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. به بیان دیگر در زمان ال‌نینو تابستانه، فراوانی رخداد خشکسالی‌های پاییزه بندرانزلی به‌گونه‌ای نبوده است که پیشگویی این رخداد از نظر آماری معنی‌دار باشد. در مقابل، پیش‌گویی ترسالی پاییزه در بندر انزلی هنگامی که ال‌نینوی تابستانه حاکم است از سطح معنی‌داری ۹۵ تا ۹۹ درصد برخوردار می‌باشد. بنابراین وقوع ال‌نینوی تابستانه به طور معنی‌داری در ایجاد ترسالی پاییزه بندر انزلی نقش ایفا می‌کند. در تبریز سطح معنی‌داری برای ۱۱ واقعه ال‌نینو در سطح ۹۰ درصد و برای ۱۲، ۱۰ 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 ال‌نینوی تابستانه حاکم بوده است، از اعتبار علمی برخوردار نیستند. ارقام ارائه شده در جدول ۵ بیانگر آن است که درهنگام وقوع ال‌نینوی 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 ال‌نینو 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 ۴و 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 ال‌نینو 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 ال‌نینو باعث افزایش سطح معنی داری 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 پیش بینی 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 برخورد 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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

	تعداد رخدادهای مشاهده شده خشک پائیزه بعد از ال‌نینوی تابستانه				تعداد رخدادهای مشاهده شده معمولی پائیزه بعد از ال‌نینوی تابستانه				تعداد رخدادهای مشاهده شده تر پائیزه بعد از ال‌نینوی تابستانه			
	۱۲واقعه ال‌نینو	۱۱واقعه ال‌نینو	۱۰واقعه ال‌نینو	۹واقعه ال‌نینو	۱۲واقعه ال‌نینو	۱۱واقعه ال‌نینو	۱۰واقعه ال‌نینو	۹واقعه ال‌نینو	۱۲واقعه ال‌نینو	۱۱واقعه ال‌نینو	۱۰واقعه ال‌نینو	۹واقعه ال‌نینو
اراک	۲	۲	۲	۱	۴	۳	۲	۲	۶	۶	۶	۶
ارومیه	۲	۲	۲	۱	۴	۳	۳	۳	۶	۶	۵	۵
اصفهان	۳	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۲	۶	۶	۵	۵
انزلی	۳	۳	۲	۲	۲	۱	۱	۰	۷	۷	۷	۷
بابلسر	۱	۱	۰	۰	۵	۴	۴	۴	۶	۶	۶	۵
پارس‌آباد	۲	۱	۱	۱	۴	۴	۳	۲	۶	۶	۶	۶
تبریز	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۲	۱	۷	۶	۶	۶
تهران	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۲	۲	۸	۷	۷	۶
دزفول	۳	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۷	۷	۶	۶
رشت	۲	۱	۱	۱	۳	۳	۲	۱	۷	۷	۷	۷
زنجان	۰	۰	۰	۰	۵	۵	۵	۴	۷	۶	۵	۵
سبزوار	۲	۲	۲	۲	۴	۳	۳	۲	۶	۶	۵	۵
سقز	۰	۰	۰	۰	۴	۳	۳	۳	۸	۸	۷	۶
سنندج	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۲	۱	۷	۶	۶	۶
شاهرود	۲	۲	۲	۲	۴	۳	۳	۲	۶	۶	۵	۵
شهر کرد	۲	۲	۲	۲	۳	۲	۲	۱	۷	۷	۶	۶
قزوین	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۸	۸	۷	۶
کرمانشاه	۲	۲	۲	۱	۴	۳	۳	۳	۶	۶	۵	۵
گرگان	۴	۴	۳	۲	۶	۶	۶	۶	۲	۱	۱	۱
ماکو	۲	۲	۲	۲	۴	۳	۳	۲	۶	۶	۵	۵
مراغه	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۲	۷	۶	۵	۵
مهاباد	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۸	۷	۶	۵

www.SID.ir

Archive of SID

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

	سطح معنی‌داری برای پیشگویی دوره خشک بعد از ال‌نینوی تابستانه				سطح معنی‌داری برای پیشگویی دوره معمولی بعد از ال‌نینوی تابستانه				سطح معنی‌داری برای پیشگویی دوره تر بعد از ال‌نینوی تابستانه			
	۱۲واقعه ال‌نینو	۱۱واقعه ال‌نینو	۱۰واقعه ال‌نینو	۹واقعه ال‌نینو	۱۲واقعه ال‌نینو	۱۱واقعه ال‌نینو	۱۰واقعه ال‌نینو	۹واقعه ال‌نینو	۱۲واقعه ال‌نینو	۱۱واقعه ال‌نینو	۱۰واقعه ال‌نینو	۹واقعه ال‌نینو
اراک	۱	۵	۵	۱	۳۵	۱۵	۵	۱۰	۸۵	۹۰	۹۵	۹۵
ارومیه	۱	۵	۵	۱	۳۵	۱۵	۲۵	۳۵	۸۰	۹۰	۸۰	۸۵
اصفهان	۱۰	۵	۵	۱۰	۱۰	۱۵	۲۵	۱۰	۸۵	۹۰	۸۰	۸۵
انزلی	۱۰	۱۵	۵	۱۰	۱	۱	۱	۹۵	۹۵	۹۵	۹۹	۹۹
بابلسر	۱	۱	۹۹	۹۵	۶۰	۴۵	۵۵	۶۵	۸۵	۹۰	۹۵	۸۵
پارس آباد	۱	۱	۱	۱	۳۵	۴۵	۲۵	۱۰	۸۵	۹۰	۹۵	۹۵
تبریز	۱	۵	۵	۱۰	۱۰	۱۵	۵	۱	۹۵	۹۰	۹۵	۹۵
تهران	۱	۱	۱	۱	۱۰	۱۵	۵	۱۰	۹۹	۹۵	۹۹	۹۵
دزفول	۱۰	۵	۵	۱	۱	۵	۵	۱۰	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵
رشت	۱	۱	۱	۱	۱۰	۱۵	۵	۱	۹۵	۹۵	۹۹	۹۹
زنجان	۹۹	۹۹	۹۹	۹۵	۶۰	۷۰	۸۰	۶۵	۹۵	۹۰	۸۰	۸۵
سبزوار	۱	۵	۵	۱۰	۳۵	۱۵	۲۵	۱۰	۸۵	۹۰	۸۰	۸۵
سقز	۹۹	۹۹	۹۹	۹۵	۳۵	۱۵	۲۵	۳۵	۹۹	۹۹	۹۹	۹۵
سنندج	۱	۵	۵	۱۰	۱۰	۱۵	۵	۱	۹۵	۹۰	۹۵	۹۵
شاهرود	۱	۵	۵	۱۰	۳۵	۱۵	۲۵	۱۰	۸۵	۹۰	۸۰	۸۵
شهر کرد	۱	۵	۵	۱۰	۱۰	۵	۵	۱	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵
قزوین	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹۹	۹۹	۹۹	۹۵
کرمانشاه	۱	۵	۵	۱	۳۵	۱۵	۲۵	۳۵	۸۵	۹۰	۸۰	۸۵
گرگان	۳۵	۴۵	۲۵	۱۰	۸۵	۹۰	۹۵	۹۵	۱	۱	۱	۱
ماکو	۱	۵	۵	۱۰	۳۵	۱۵	۲۵	۱۰	۸۵	۹۰	۸۰	۸۵
مراغه	۱	۵	۵	۱۰	۱۰	۱۵	۲۵	۱۰	۹۵	۹۰	۸۰	۸۵
مهاباد	۱	۵	۵	۱۰	۱	۵	۵	۱۰	۹۹	۹۵	۹۵	۸۵

www.SID.ir

Archive of SID

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

	تعداد رخدادهای مشاهده شده خشک پائیزه بعد از لانینای تابستانه			تعداد رخدادهای مشاهده شده معمولی پائیزه بعد از لانینای تابستانه			تعداد رخدادهای مشاهده شده تر پائیزه بعد از لانینای تابستانه		
	۹ واقعه لانینا	۸ واقعه لانینا	۷ واقعه لانینا	۹ واقعه لانینا	۸ واقعه لانینا	۷ واقعه لانینا	۹ واقعه لانینا	۸ واقعه لانینا	۷ واقعه لانینا
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	۲	۱	۱	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

همان طور که از جدول ۷ استنباط می‌شود در شرایطی که لانینای 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 و۷ با جداول ۵ و۶ گویای آن است که تعداد ایستگاه‌هایی که بعد از یک لانینای 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 لانینا 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 ۳/۸+ بود (جدول ۱) و تعداد وقایع ال‌نینو و لانینا مساوی بودند، به احتمال زیاد بسیاری از ایستگاه‌های مورد مطالعه با وقوع لانینا دچار یک خشکسالی شدید می‌گردیدند. این امر به مفهوم آن است که لانینای ضعیف‌تر نیز می‌تواند آثار زیانبار خشکسالی را موجب شود.

نتایج نشان داد که وقوع لانینای تابستانه نمی‌تواند به‌طور معنی‌داری نشانگر وقوع خشکسالی در دوره شش ماهه سرد سال باشد. از ۳۷ ایستگاه موردمطالعه ملاحظه گردید در هیچ ایستگاهی لانینای تابستانه، خشکسالی شش ماهه را به دنبال نداشت. همان طور که اشاره شد این تعداد برای فصل پاییز برابر ۱۸ ایستگاه است (جداول 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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

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

۴- نتیجه‌گیری

برای 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 لانینا) 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.

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 ال‌نینوی تابستانه این ایستگاه‌ها شاهد ۸ رخداد ترسالی بوده‌اند و ۴ رخداد بعدی عموماً شرایط نرمال را نشان داده‌اند. برای بسیاری از ایستگاه‌های کشور پیش‌بینی دوران‌تر پاییزه بعد از یک ال‌نینو تابستانه عموماً ازسطح معنی‌داری ٪۹۵ تا ٪۹۹ برخوردار است، در همین حال بعد از یک ال‌نینوی تابستانه انتظار خشکسالی پاییزه در ایستگاه‌های مورد مطالعه از دیدگاه آماری بی‌معنی تشخیص داده شد، روشن گردید که در گستره وسیعی از کشور وقوع لانینای 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

www.SID.ir

Archive of SID

جنوب‌غربی دریای خزر، قزوین و سقز مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد که بعد از لانینای شدید تابستانه انتظار ترسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر آماری بی‌معنی می‌باشد. نشان داده شد که بعد از یک وقوع ال‌نینوی تابستانه، در حدود نیمی از ایستگاههای کشور بارش شش ماهه سرد سال وضعیت ترسالی را نشان می‌دهد. در عین حال وقوع لانینای تابستانه نمی‌تواند نشانگر قابل اطمینانی برای وقوع خشکسالی در دوره شش ماهه باشد.

پی‌نوشت‌ها

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 ال‌نینو – 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.

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.

Partharsarathy, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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), Teleconection in global rainfall anomalies: Seasonal inter-decal time Scales:Teleconection 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

www.SID.ir