

# بررسی میزان تأثیر پدیده ال نینو-نوسانات جنوبی بر سیلابهای حداکثر سالانه جنوب غرب ایران

امین حق‌نگهدار<sup>۱</sup> بهرام ثقفیان<sup>۲</sup> روح انگیز اختری<sup>۱</sup>

(دریافت ۸۴/۱۲/۱۷ پذیرش ۸۶/۷/۲۶)

## چکیده

بررسی عوامل مؤثر بر سیلابها و پیش‌بینی وقوع آنها از اهمیت بسیاری در مطالعات منابع آب برخوردار است. در سالهای اخیر، تأثیر پدیده‌های بزرگ مقیاس اقلیمی بر سیلابها بیش از پیش مورد توجه واقع شده است. در این مقاله نتایج بررسی تأثیر پدیده ال نینو-نوسان جنوبی (ENSO) بر وقوع سیلاب حداکثر سالانه (AMF) در جنوب غرب ایران در تعدادی از ایستگاههای بالادست سد های دز و کارون گزارش می‌شود. تأثیر پدیده ENSO بر احتمال، بزرگی و شدت وقوع AMF (احتمال×بزرگی) در دوره اسفند-فروردین، به عنوان مهم‌ترین دوره وقوع AMF، بررسی گردیده است. نتایج نشان داد که برای ماههای اسفند و فروردین در حوضه‌های دز و کارون با وقوع پدیده ال نینو، احتمال وقوع مقادیر AMF بیشتر از متوسط حالت خنثی وجود دارد. این امر در مورد پدیده لانینا برعکس است. همچنین، شدت تغییرات AMF در حالت ال نینو بیش از لانینا است.

**واژه‌های کلیدی:** پدیده‌های اقلیمی، انسو، ال نینو، نوسان جنوبی، سیلاب حداکثر سالانه، جنوب غرب ایران.

## Effect of El Nino-Southern Oscillation on Annual Maximum Flood in Southwestern of Iran

Amin Haghnegahdar<sup>1</sup> Bahram Saghafian<sup>2</sup> Roohangiz Akhtari<sup>1</sup>

(Received Mar. 7, 2006 Accepted Oct. 18, 2007)

### Abstract

Flood forecasting and the study of the factors involved in flood events form important issues of concern in water resources management. In recent years, the influence of large-scale global climate phenomena on flood peaks has attracted more attention. In this paper, the effect of El Nino-Southern Oscillation (ENSO) is investigated on annual maximum flood (AMF) in Iran's southwestern basins. The basins are located upstream of Dez and Karun-I dams. ENSO effects on probability, magnitude, and intensity (probability times magnitude) of AMF in the Esfand-Farvardin (March-April) period are examined. The results indicate that following El Nino, the probability of an AMF occurrence larger than the AMF corresponding to neutral ENSO conditions is higher in the study period. The opposite is true for La Nina conditions. It is also seen that El Nino effects are more intense than those of La Nina period.

**Keywords:** Climate Signals, ENSO, El Nino, Southern Oscillation, AMF, Southwestern of Iran.

1. Former Research Associate, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
2. Assoc. Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, b. saghafian@gmail.com

- ۱- کارشناس ارشد منابع آب - همکار سابق مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری
- ۲- دانشیار مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، b. saghafian@gmail.com

گرم شدن سطح آب و افت فشار در ناحیه شرقی اقیانوس آرام همراه می‌باشد. در این شرایط الگوی فشار هوا و حرکت باد در عرضهای استوایی اقیانوس آرام دچار اغتشاشاتی شده و از حالت طبیعی خارج می‌گردد. لائینا (که در اصل، لائینیا (La Niña) است) و در زبان اسپانیایی به معنای دختر می‌باشد، عکس وضعیت ال‌نینو است و به شرایطی گفته می‌شود که در آن دمای سطح آب در نواحی شرقی اقیانوس آرام خیلی کمتر از معمول و فشار هوا نیز به میزان زیادی بیشتر از میانگین درازمدت گردد [۸].

شاخصهای عددی مختلفی برای بیان شدت پدیده انسو وجود دارد، که یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین آنها شاخص نوسان جنوبی<sup>۳</sup> است. این شاخص بیانگر شدت گرادیان فشار در امتداد شرقی-غربی اقیانوس آرام می‌باشد. این شاخص که مبین ویژگیهای بخش جوی پدیده انسو یعنی نوسان جنوبی است، عموماً بر اساس تفاضل مقادیر استاندارد شده فشار هوای سطح آب در داروین<sup>۴</sup> استرالیا و جزیره تاهیتی<sup>۵</sup>، در نواحی مرکزی اقیانوس آرام، محاسبه می‌گردد. شاخص SOI تروپ<sup>۶</sup> عبارت است از ۱۰ برابر اختلاف مقادیر استاندارد شده فشار سطح آب در داروین واقع در شرق اقیانوس آرام و تاهیتی واقع در غرب اقیانوس آرام [۹]. اطلاعات سری زمانی ماهانه این شاخص در شبکه جهانی قابل دسترسی است. به وقوع پیوستن حالت‌های شدید پدیده انسو اغلب با وقوع سیلها و خشکسالیهای بزرگی در سطح جهان همراه است [۱۰]. دیلی و همین در سال ۱۹۹۵ نشان دادند که در مقیاس جهانی، فراوانی وقوع خشکسالی در دومین سال وقوع ال‌نینو، دو برابر سالهای دیگر است. همچنین، در دومین سال وقوع ال‌نینو، خشکسالیها در آفریقای جنوبی و جنوب شرقی آسیا به شکل قابل ملاحظه‌ای فراوان‌تر از سالهای دیگر هستند [۲]. چنگ در سال ۱۹۹۷ دریافت که تمام وقایع شدید اقلیمی طی ۵۰۰ سال گذشته در منطقه دلتای رود یانگ تسه، همزمان یا بلافاصله پس از یک پدیده انسو رخ داده است [۱۱]. سایان و همکاران در سال ۱۹۹۹ مشاهده کردند که در سالهای ال‌نینو روزهای با بارش و جریان زیاد، در جنوب غرب آمریکا فراوان‌تر هستند؛ در شمال غرب آمریکا روند برعکس است. افزایش تعداد روزهایی که از نظر بارش و جریان بیش از صدک ۹۰ درصد هستند نسبت به صدک ۵۰ درصد محسوس‌تر می‌باشد [۱].

کانل<sup>۷</sup> و کُتز<sup>۸</sup> در سال ۲۰۰۰ ضریب همبستگی قابل ملاحظه ۰/۵ را بین SOI سالانه (از ماه ژوئیه تا ماه ژوئن سال بعد) و

به دلیل تلفات سنگین مالی و انسانی ناشی از سیلابها، تجزیه و تحلیل ویژگیهای مختلف آنها پیوسته مورد توجه محققان بوده است. بنابراین، درک صحیح از فرآیندهای دخیل در زمان وقوع، بزرگی و تداوم سیلابها برای طراحی و مدیریت سازه‌های آبی و پروژه‌های کنترل سیلاب از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. در سالهای اخیر، تأثیر پدیده‌های اقلیمی بر وقوع سیلابها بیش از پیش مورد توجه واقع شده است [۱، ۲ و ۳].

پدیده‌های بزرگ مقیاس اقلیمی ممکن است، رژیم وقوع سیلابها را از طریق تغییرات الگوهای انتقال رطوبت جوی در دوره سیلاب و به دنبال آن، تغییر ویژگیهای احتمالی سیلابها در یک سال معین و در یک مکان مشخص، تحت تأثیر قرار دهند [۴]. از جمله این پدیده‌ها می‌توان به پدیده ال‌نینو-نوسان جنوبی<sup>۱</sup> (انسو) اشاره کرد که وقوع آن سبب بروز ناهنجاریهای اقلیمی در بسیاری از نقاط کره زمین می‌شود [۵].

پدیده ال‌نینو-نوسان جنوبی مهم‌ترین برهم‌کنش شناخته شده و پیچیده اقیانوس-جو در قسمت استوایی اقیانوس آرام است که بخش اقیانوسی آن ال‌نینو و بخش جوی آن نوسان جنوبی می‌باشد [۶]. با توجه به ارتباط نزدیک بین دو پدیده ال‌نینو و نوسان جنوبی، به مجموعه آنها پدیده ال‌نینو-نوسان جنوبی و یا اصطلاحاً انسو می‌گویند. به طور معمول، فاز گرم انسو را ال‌نینو و فاز سرد آن را لائینا می‌نامند. واکر<sup>۲</sup> در سال ۱۹۲۴ برای اولین بار نشان داد که فشار هوا بین نواحی شرقی و غربی اقیانوس آرام جنوبی به صورت آلکانگی نوسان می‌نماید و آن را پدیده نوسان جنوبی نامید. نوسان جنوبی، یک الگوی چرخش استوایی است که اثرات گسترده‌ای بر اقلیم جهانی دارد [۷].

ال‌نینو (که در اصل، ال‌نینیو (El Niño) است) در زبان اسپانیایی به معنای پسر می‌باشد و در ابتدا توسط ماهیگیران، به جریان ضعیفی از آب گرم اطلاق می‌شد که در حوالی ژانویه (کریسمس) در امتداد سواحل پرو (واقع در ناحیه حاره‌ای اقیانوس آرام جنوبی) ظاهر می‌شد؛ این جریان از شمال به سمت جنوب به حرکت در می‌آمد و چندین ماه ادامه داشت [۸]. با گذشت سالها این واژه برای اشاره به بازه‌های زمانی بسیار گرم و استثنایی که همراه با مختل شدن زندگی ماهیگیران و بارانهای شدید و سیل آسا در آن نواحی بود، به کار برده شد. از دیدگاه علمی، گرم شدن بیش از معمول آبهای شرقی و مرکزی اقیانوس آرام که از دوام و پایداری کافی زمانی برخوردار باشد را ال‌نینو گویند. وقوع پدیده ال‌نینو با

<sup>3</sup> Southern Oscillation Index (SOI)

<sup>4</sup> Darwin

<sup>5</sup> Tahiti

<sup>6</sup> Troup

<sup>7</sup> Kahnel

<sup>8</sup> Coates

<sup>1</sup> El Niño-Southern Oscillation

<sup>2</sup> Walker

سیلاب یافتند. نتایج تحلیل ریسک نشان داد که احتمال وقوع سیلاب در مواقع لانینا در حدود چهار برابر مواقع ال‌نینو است [۳]. چودری<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۳ دریافت که برخلاف همبستگی ضعیف میان انسو و بارشهای غیر معمول، اقلیم بنگلادش ارتباطی قوی با مقادیر حدی SOI دارد، مقادیر بسیار منفی SOI با سالهای خشک و مقادیر بسیار مثبت آن با سالهای تر. در مواردی که تغییرات SOI ملایم‌تر است این ارتباط مغایر حالت قبل می‌شود و به طور خاص، در سالهای ال‌نینوی متعادل، بنگلادش دارای اقلیم مرطوب است [۱۲]. اندروز و همکاران در سال ۲۰۰۴ اثر پدیده انسو را بر سیلاب حداکثر سالانه در جریانهای ساحلی کالیفرنیا بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که با وجود همبستگی ضعیف میان شاخص چند متغیری انسو<sup>۲</sup> و سیلاب حداکثر سالانه، میانگین هندسی سیلابها در ایستگاههای واقع در جنوب عرض ۳۵° شمالی و شمال عرض ۴۱° شمالی، در سالهای ال‌نینو و غیر ال‌نینو، دارای اختلاف معنی‌داری به لحاظ آماری می‌باشد. همچنین، تغییرات عرض جغرافیایی، حدود ۷۶ تا ۹۰ درصد از تغییرات مشاهده شده در بزرگی نسبی سیلابها در سالهای ال‌نینو و غیر ال‌نینو را توجیه می‌کند [۱۳].

بارلو و همکاران در سال ۲۰۰۲ نشان دادند که طولانی شدن فاز لانینا و نیز آبهای گرم غیر معمول در غرب اقیانوس آرام، سبب شدت خشکسالی بی‌سابقه در سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ در مرکز و جنوب غرب آسیا (شامل ایران) بودند [۱۴]. ماریوتی و همکاران در سال ۲۰۰۲ دریافتند که در مناطق جنوب اروپا، شمال آفریقا و خاورمیانه، افزایش (کاهش) بارش عموماً، با فاز گرم (سرد) انسو همراه است و در پاییز قبل از تکمیل فاز انسو رخ می‌دهد [۱۵].

ناظم السادات در سال ۱۹۹۹ با بررسی همبستگی بارش و خشکسالیهای ایران با شاخص SOI، همبستگی منفی و معنی‌داری را طی فصل پاییز در بسیاری از نقاط کشور نشان داد. این بررسی بروز خشکسالیهای پاییزه را در فازهای مثبت انسو (لانینا) و بروز بارشهای سنگین را طی فازهای منفی (ال‌نینو) تأیید می‌کند [۱۶].

مسعودیان در سال ۲۰۰۲ عنوان کرد که در نیم سده گذشته، بارش ایران در ماههای اکتبر، نوامبر و ژوئن پیوندی معکوس با انسو دارد [۱۷]. ناظم السادات و قاسمی در سال ۲۰۰۴ نشان دادند که اساساً پدیده ال‌نینو، شدت و احتمال وقوع خشکسالی (ترسالی) پاییزی را مخصوصاً در مناطق جنوبی ایران کاهش (افزایش) می‌دهد و شرایط در حالت لانینا برعکس است به طوری که لانینای شدید احتمال وقوع خشکسالی شدید پاییزی را افزایش می‌دهد. همچنین در حالت ال‌نینو بارش در اکثر مناطق کشور بیشتر از حد

خشکسالی است، به جز در شمال غرب و جنوب شرق ایران که احتمال وقوع خشکسالی زمستانی بالاست. در حالت لانینا احتمال و شدت وقوع خشکسالی زمستانی در غرب و شمال غرب ایران کم است [۱۸].

محسنی‌پور در سال ۱۳۷۸ و ناظم السادات و همکاران در سال ۱۳۸۱ تأثیر پدیده ال‌نینو بر روی رودخانه کر در استان فارس را مورد بررسی قرار دادند [۱۹ و ۲۰]. امامی در سال ۱۳۷۹ برای اولین بار در ایران از پیش‌بینی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی، با توجه به وقایع ال‌نینو و لانینا، در آب‌گیری زود هنگام سد کرخه، برای سال آبی ۱۳۷۸ تا ۷۹ استفاده نمود [۲۱]. خسروی در سال ۱۳۸۰ تأثیر پدیده انسو بر ناهنجاریهای بارش تابستانی و پاییزی منطقه جنوب شرقی ایران را بررسی کرد و همبستگی خشکسالیهای پاییزه را با فاز سرد انسو (لانینا) نشان داد [۲۲]. حق‌نگهدار در سال ۱۳۸۲ دریافت که غالباً پدیده ال‌نینو سبب وقوع مقدار جریان بیش از متوسط و پدیده لانینا سبب وقوع جریان کمتر از متوسط در رودخانه کارون می‌شود. همچنین او نشان داد که با حرکت از فاز منفی سیگنال اقلیمی نوسان آتلانتیک شمالی<sup>۳</sup> (NAO) به سمت فاز مثبت آن، احتمال وقوع جریان بیشتر از متوسط در کارون افزایش می‌یابد [۲۳]. کارآموز و حق‌نگهدار در سال ۱۳۸۲ با استفاده از تحلیل طیفی، تأثیر انسو را بر جریان ورودی سد زاینده‌رود در اصفهان مورد مطالعه قرار دادند [۲۴]. همچنین کارآموز و همکاران در سال ۱۳۸۳ با استفاده از دسته بندی فازی نشان دادند که عواملی مانند انسو، نوسان آتلانتیک شمالی و دمای سطح آب در خلیج فارس می‌توانند به عنوان شاخصهای خشکسالی اقلیمی در جنوب غرب ایران مد نظر قرار گیرند [۲۵].

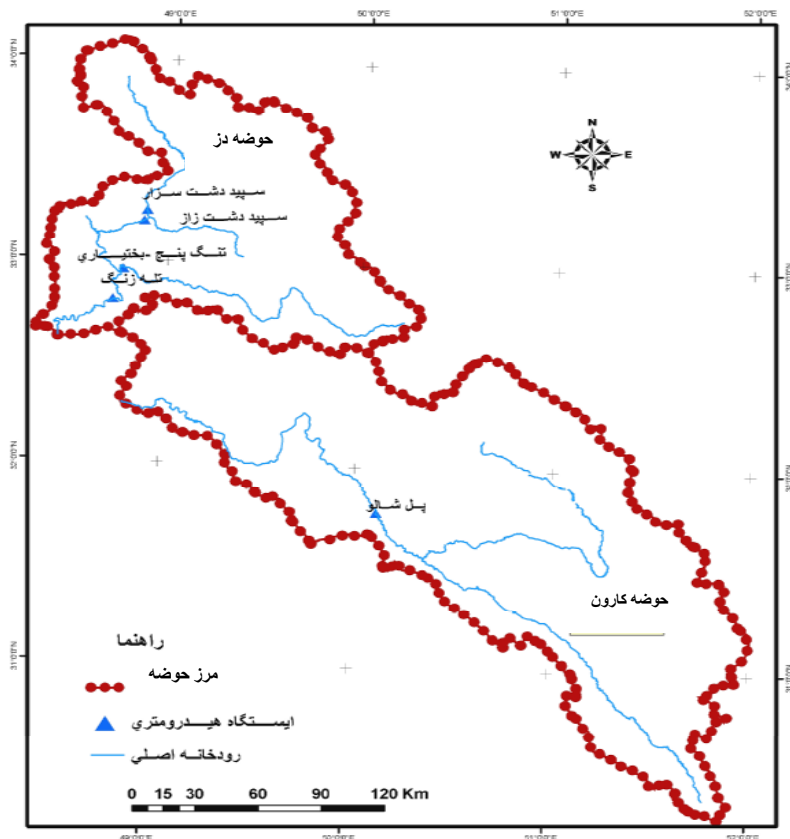
بر اساس بررسی منابع موجود، می‌توان عنوان کرد که پدیده انسو بر رژیم هیدرولوژیکی نقاط مختلف کره زمین مؤثر است. شدت این تأثیر در نقاط مختلف، متفاوت گزارش شده است. هدف از این تحقیق، بررسی میزان تأثیر احتمالی پدیده انسو بر حداکثر سیلابهای سالانه در منطقه جنوب غرب ایران است. سیلاب حداکثر سالانه (AMF) عبارت است از بیشترین مقدار دبی لحظه‌ای مشاهده شده در طول یک سال آبی در یک ایستگاه. حوضه‌های مورد بررسی عبارت‌اند از: حوضه کارون تا محل سد کارون ۱ و حوضه دز تا محل سد دز. این حوضه‌ها از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین حوضه‌های آبی ایران به شمار می‌روند.

## ۲- ویژگیهای منطقه تحقیق و اطلاعات مورد استفاده

به منظور بررسی تأثیر پدیده انسو بر سیلابهای جنوب غرب ایران، ایستگاه پل شالو در حوضه کارون و ایستگاههای تله‌زنگ،

<sup>3</sup> North Atlantic Oscillation

<sup>1</sup> Chowdhury  
<sup>2</sup> Multivariate ENSO Index (MEI)



شکل ۱- نقشه موقعیت ایستگاههای منطقه

جای در نظر گرفتن تمام سیلابها، تحلیلها بر روی مهم ترین ماههای وقوع AMF در هر سال آبی متمرکز شده است.

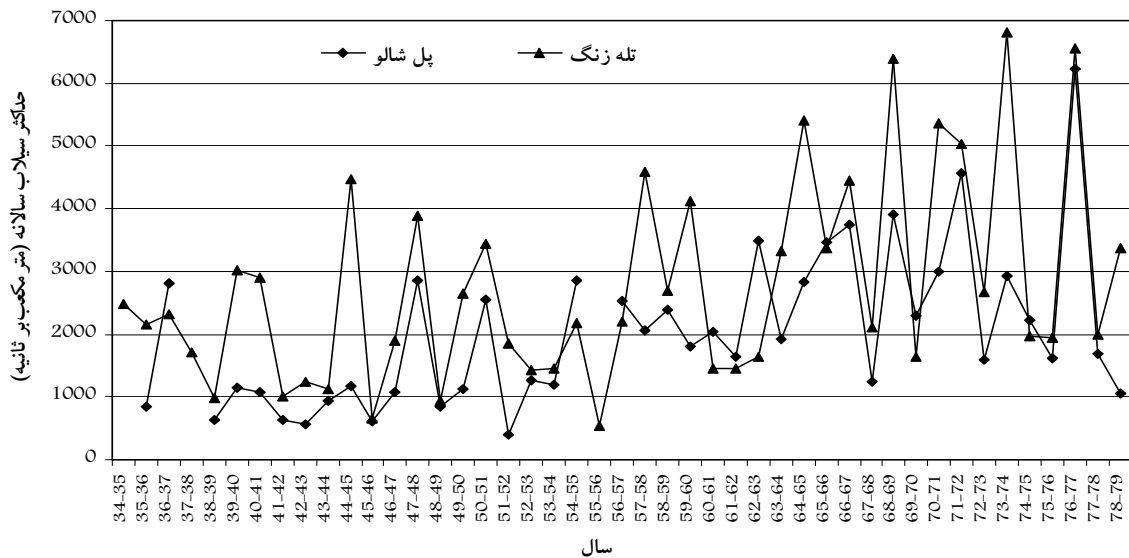
برای تعیین مهم ترین دوره وقوع AMF، ابتدا سیلابهای AMF بر اساس ماه وقوع تفکیک می شوند. سپس، فراوانی وقوع  $(n_i)$  و متوسط دبی AMF در هر ماه  $(AMF_i)$  تعیین می گردد. نسبت فراوانی وقوع AMF در هر ماه به تعداد کل وقایع AMF  $(N)$ ، به عنوان احتمال وقوع AMF  $(P_i)$  در آن ماه در نظر گرفته می شود. از آنجا که ممکن است نتایج تعیین مهم ترین دوره سیلاب بر اساس دو عامل احتمال وقوع و مقدار متوسط به طور جداگانه متفاوت باشد، عامل سومی بر اساس حاصل ضرب احتمال وقوع AMF در متوسط دبی AMF در هر ماه، تحت عنوان شدت AMF در آن ماه  $(I_i)$  تعریف و محاسبه می گردد. لازم به ذکر است که عامل شدت AMF بدین صورت برای اولین بار توسط نگارندگان تعریف شده است و ملاک تعیین مهم ترین دوره سیلاب بر اساس اثر هر دو عامل احتمال و متوسط AMF با هم و نه به طور جداگانه می باشد. ماههایی که از نظر هر یک از عوامل احتمال وقوع، متوسط و شدت AMF دارای مقادیری بیش از متوسط سالانه همان عامل باشند، به عنوان ماههای مهم از لحاظ همان عامل در نظر گرفته می شوند. سپس، مهم ترین دوره AMF با توجه به مهم ترین ماههای AMF

تنگ پنج-بختیاری، سپیددشت-زاز و سپیددشت-سزار در حوضه دز مد نظر قرار گرفتند. شکل ۱ نقشه پراکنش این ایستگاهها را در حوضهها نشان می دهد. ملاک انتخاب ایستگاهها در هر حوضه وجود رژیم طبیعی جریان بوده است.

داده های سیلاب در فاصله سالهای آبی ۱۳۳۳ - ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۸ - ۱۳۷۹ شمسی در ایستگاههای منتخب موجود می باشد. به منظور تهیه سری زمانی سیلاب حداکثر سالانه در هر ایستگاه، آمارهیدروگراف ساعتی هر سال آبی تفکیک و سپس حداکثر مقدار دبی ساعتی ثبت شده در هر سال آبی، به عنوان سیلاب حداکثر سالانه در آن سال منظور شد. شکل ۲ سری زمانی AMF را در دو ایستگاه پل شالو و تله زنگ در دوره آماری ۱۳۴۰ تا ۱۳۴۱ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹ نشان می دهد.

### ۳- روش تحقیق

تأثیر پدیده انسو بر سیلاب حداکثر سالانه، طی سه مرحله تعیین مهم ترین دوره وقوع AMF  $(T_{AMF})$ ، تعیین بازه زمانی بیشترین تأثیر انسو بر مهم ترین دوره سیلابی  $(T_{ENSO})$  و تعیین میزان تأثیر فازهای مختلف انسو بر سیلابهای مهم ترین دوره سیلابی، دنبال می شود. به عبارت دیگر به منظور تعیین تأثیر انسو بر AMF، به



شکل ۲- سری زمانی AMF در دو ایستگاه پل شالو و تله زنگ در سال‌های ۳۵-۱۳۳۴ تا ۷۹-۱۳۷۸

هر کدام از سه عامل احتمال، متوسط و شدت می‌تواند به تنهایی ملاک تعیین مهم‌ترین ماهها و دوره سیلاب AMF قرار گیرد. چنان که ذکر شد، در این تحقیق، ملاک نهایی تعیین مهم‌ترین دوره AMF، عامل شدت AMF در نظر گرفته شده است که در آن تأثیر دو عامل احتمال وقوع و متوسط AMF به طور همزمان لحاظ می‌شود. به عبارت دیگر،  $T_{AMF} = IM_I$ .

به منظور تعیین بازه زمانی بیشترین تأثیر پدیده انسو بر AMF (T<sub>ENSO</sub>)، همبستگی تأخیری بین سری زمانی سالانه AMF در ماههای مهم‌ترین دوره سیلاب (T<sub>AMF</sub>) با سری زمانی سالانه SOI تا شش ماه قبل، در هر ایستگاه بررسی می‌شود. به عبارت دیگر حداکثر ماندگاری تأثیر انسو تا شش ماه بعد فرض شده است. در این راستا، سری‌های زمانی سالانه مقادیر متوسط SOI یک ماهه تا شش ماهه قبل از اولین ماه دوره سیلاب (۲۱ سری زمانی) از طریق مقادیر ماهانه SOI در هر سال ساخته می‌شود و ضریب همبستگی خطی هر کدام از این سری‌ها با سری زمانی سالانه مقادیر AMF به وقوع پیوسته در مهم‌ترین دوره سیلاب محاسبه می‌گردد. بازه زمانی مربوط به سری SOI که متناظر با بیشترین مقدار همبستگی است، معرف بازه زمانی بیشترین تأثیر پدیده انسو بر AMF دوره سیلاب منتخب است. مقدار و علامت ضریب همبستگی، خود می‌تواند در کنار سایر تحلیلها به عنوان ملاکی برای تعیین میزان و الگوی تأثیر انسو بر سیلابها باشد که در بخش تحلیل نتایج بیشتر به آن پرداخته خواهد شد. رابطه ۶ بیانگر این تحلیلها می‌باشد.

$$T_{ENSO} = \left\{ (i, j) \mid \rho_{AMF, SOI(i, j)} = \max(\rho_{AMF, SOI(i, j)}) \right\} \quad (6)$$

که در آن

تعیین می‌گردد. لازم به ذکر است که به طور طبیعی ماههایی که فاقد AMF هستند در محاسبات وارد نمی‌شوند. روابط زیر بیانگر این تحلیلها است.

$$AMF_i = (1/n_i) \sum_{j=1}^{n_i} AMF_{ij} \quad (1)$$

$$P_i = n_i/N \quad (2)$$

$$I_i = P_i \times AMF_i \quad (3)$$

$$\overline{AMF} = (1/K) \sum_{i=1}^K AMF_i, \quad \bar{P} = (1/K) \sum_{i=1}^K P_i, \quad \bar{I} = (1/K) \sum_{i=1}^K I_i \quad (4)$$

$$IM_{AMF} = \{m_i \mid AMF_i > \overline{AMF}\}, \quad IM_P = \{m_i \mid P_i > \bar{P}\}, \quad IM_I = \{m_i \mid I_i > \bar{I}\} \quad (5)$$

که در آن

$n_i$ : تعداد وقایع AMF در ماه  $i$

$N$ : تعداد کل وقایع AMF

$K$ : تعداد ماههای دارای AMF

$m_i$ : ماه  $i$  ام بر اساس سال آبی (مهر  $m_1$  و شهریور  $m_{12}$ )

$I_i, P_i, AMF_i$ : به ترتیب متوسط AMF، احتمال وقوع AMF

و شدت وقوع AMF در ماه  $i$

$\bar{I}, \bar{P}, \overline{AMF}$ : به ترتیب متوسط ماهانه AMF، متوسط

احتمال وقوع AMF و متوسط شدت وقوع AMF

$IM_I, IM_P, IM_{AMF}$ : مهم‌ترین دوره AMF به ترتیب بر اساس

مقدار، احتمال وقوع و شدت وقوع AMF.

$(i,j)$ : بازه زمانی از ماه  $i$  تا ماه  $j$

$$i = m_{1T} - t_1, m_{1T} - t_1 + 1, \dots, m_{1T} - 1$$

$$j = i, i + 1, \dots, m_{1T} - 1$$

واضح است که اگر  $i$  منفی باشد آنگاه ماه  $i$  در واقع همان ماه

$$m_i = m_{i+12}$$

است؛ یعنی:  $m_{1T}$ : اولین ماه از مهم‌ترین دوره سیلابی ( $T_{AMF}$ ) و  $t_1$ : تأخیر

ماهانه در محاسبه همبستگی‌ها که در اینجا برابر شش ماه است.

$SOI(i,j)$ : متوسط مقدار  $SOI$  در بازه  $(i,j)$

$\rho_{AMF,SOI(i,j)}$ : ضریب همبستگی خطی بین سری زمانی  $AMF$

در مهم‌ترین دوره سیلاب و سری زمانی  $SOI(i,j)$ .

به منظور بررسی میزان تأثیر فازهای مختلف آنسو بر  $AMF$

مهم‌ترین دوره سیلاب، ابتدا باید فازهای مختلف پدیده آنسو تعیین

گردد تا از روی آن، سیلابهای متناظر با هر فاز مشخص شود و

تغییرات سیلابها در فازهای مختلف نسبت به فاز خنثی بررسی

شود. تعیین فاز آنسو بر اساس مقدار متوسط شاخص  $SOI$  در بازه

بیشترین تأثیر پدیده آنسو بر مهم‌ترین دوره سیلاب ( $T_{ENSO}$ ) انجام

می‌پذیرد. بدین ترتیب مقدار  $SOI$  به صورت

$\overline{SOI} = SOI(T_{ENSO})$  محاسبه می‌گردد و بر اساس آن، پنج فاز

مختلف برای پدیده آنسو به شکل زیر تعریف می‌شود [۶]:

الف)  $SOI \leq -1.0$ : به عنوان فاز بسیار سرد آنسو یا لانینای قوی

(SL):

ب)  $-1.0 < \overline{SOI} < 0.5$ : به عنوان فاز سرد آنسو یا لانینا (L):

ج)  $0.5 < \overline{SOI} < 0.5$ : به عنوان فاز خنثی (N):

د)  $-0.5 \leq \overline{SOI} < -1.0$ : به عنوان فاز گرم آنسو یا ال‌نینو (E):

ه)  $SOI \geq -1.0$ : به عنوان فاز بسیار گرم آنسو یا ال‌نینوی قوی

(SE).

پس از تعیین فازهای مختلف پدیده آنسو، سیلابهای متناظر با

هر فاز تعیین می‌گردد. به منظور بررسی دقیق‌تر وضعیت  $AMF$  در

هر فاز، مقادیر  $AMF$  بیشتر و کمتر از مقدار متوسط  $AMF$  در

حالت خنثی، به دو دسته تفکیک می‌شوند و تحلیلها بر روی این دو

دسته به طور جداگانه انجام می‌گردد، تا بتوان تعیین کرد که هر فاز

پدیده آنسو بر مقادیر  $AMF$  بیشتر از متوسط، مؤثرتر واقع می‌شود

یا بر مقادیر  $AMF$  کمتر از متوسط. به عبارت دیگر، در جهت

افزایش مقدار  $AMF$  نسبت به حالت خنثی، قوی‌تر عمل می‌کند یا

در جهت کاهش آن.

روند کار در این قسمت بسیار شبیه به حالت تعیین مهم‌ترین

دوره سیلاب است. در این راستا، ابتدا فراوانی وقوع و متوسط دبی

$AMF$  هر دسته در هر فاز تعیین می‌گردد. با محاسبه نسبت فراوانی

وقوع  $AMF$  به فراوانی کل در هر فاز، احتمال وقوع  $AMF$  کمتر و

بیشتر از متوسط در هر فاز حاصل می‌شود. سپس، درصد تغییر

$AMF$  در هر دسته، در هر فاز نسبت به فاز خنثی محاسبه می‌شود.

واضح است که درصد تغییر در دسته بیش از متوسط، در جهت

افزایش (با علامت مثبت) و در دسته کمتر از متوسط، در جهت

کاهش (با علامت منفی) خواهد بود. در نهایت، حاصل ضرب

احتمال وقوع در درصد تغییر  $AMF$ ، که شدت تغییر  $AMF$  نامیده

می‌شود، در هر فاز محاسبه می‌گردد تا در کنار دو عامل قبل، بتواند

ملاک تعیین میزان تأثیر فازهای پدیده آنسو بر  $AMF$  و به طور

همزمان بر احتمال وقوع و درصد تغییر  $AMF$  قرار گیرد. روابط زیر

بیانگر این تحلیلهاست:

$$AMF_N = (1/f_N) \sum_{j=1}^{f_N} AMF_{N,j} \quad (7)$$

$$P_{Gi} = F_{gi}/F_i, P_{Li} = f_{Li}/F_i, F_i = f_{Gi} + f_{Li} \quad i = \{SL, L, E, SE\} \quad (8)$$

$$AMF_{Li} = (1/f_{Li}) \sum_{j=1}^{f_{Li}} AMF_{Li,j}, AMF_{Gi} = (1/f_{Gi}) \sum_{j=1}^{f_{Gi}} AMF_{Gi,j} \quad (9)$$

$$D_{Gi} = \frac{AMF_{Gi} - AMF_N}{AMF_N} \times 100, D_{Li} = \frac{AMF_{Li} - AMF_N}{AMF_N} \times 100 \quad (10)$$

$$ID_{Gi} = P_{Gi} \times D_{Gi}, ID_{Li} = P_{Li} \times D_{Li} \quad (11)$$

که در آن

$AMF_N$ : متوسط وقایع  $AMF$  در حالت خنثی؛

$f_{Gi}$  و  $f_{Li}$ : به ترتیب، تعداد وقایع  $AMF$  بیشتر (G) و کمتر (L)

از  $AMF_N$  در فاز  $i$ ؛

$F_i$ : تعداد کل وقایع  $AMF$  در فاز  $i$ ؛

$P_{Gi}$  و  $P_{Li}$ : به ترتیب، احتمال وقوع  $AMF$  بیشتر (G) و کمتر

(L) از  $AMF_N$  در فاز  $i$ ؛

$AMF_{Gi}$  و  $AMF_{Li}$ : به ترتیب، متوسط  $AMF$  بیشتر (G) و

کمتر (L) از  $AMF_N$  در فاز  $i$ ؛

$D_{Gi}$  و  $D_{Li}$ : به ترتیب، درصد تغییر متوسط  $AMF$  بیشتر (G) و

کمتر (L) از  $AMF_N$  در فاز  $i$  نسبت به حالت خنثی؛

$ID_{Gi}$  و  $ID_{Li}$ : به ترتیب، شدت تغییر متوسط  $AMF$  بیشتر (G)

و کمتر (L) از  $AMF_N$  در فاز  $i$  نسبت به حالت خنثی.

بر این اساس، معین می‌شود که در هر ایستگاه، هر فاز پدیده

آنسو، چگونه بر احتمال وقوع، درصد تغییر و شدت تغییر  $AMF$  اثر

می‌گذارد و در جهت تشدید یا تضعیف هر کدام از عوامل ذکر شده،

عمل می‌نماید. در این تحقیق، ضمن بررسی دو عامل اول، در نهایت

عامل سوم؛ یعنی شدت تغییر (ID)، که دربردارنده اثر هم‌زمان دو

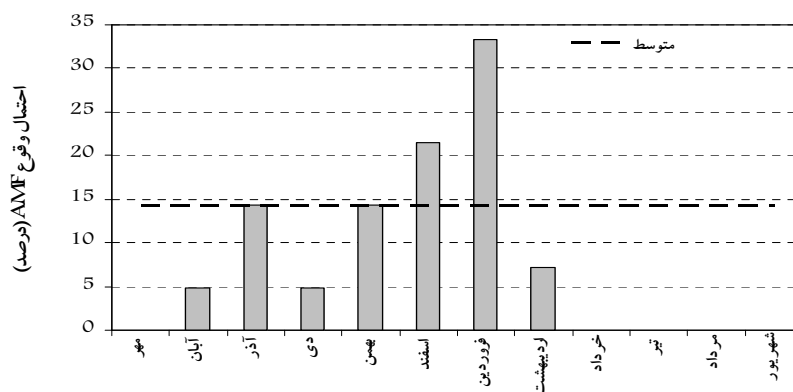
عامل قبل است، به عنوان ملاک اصلی میزان تأثیر هر فاز پدیده

آنسو بر  $AMF$ ، مد نظر قرار گرفته است.

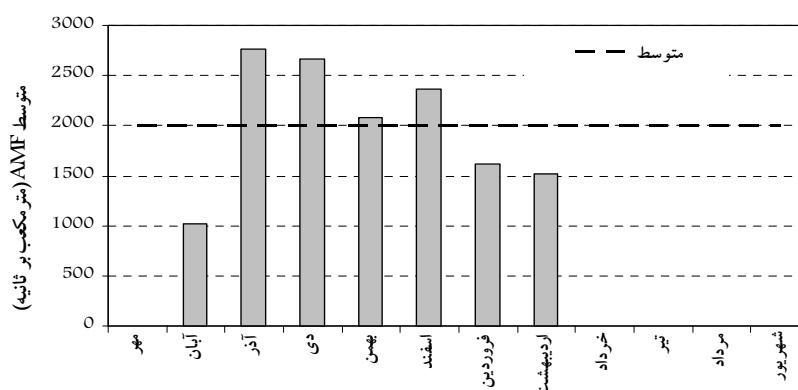
#### ۴- نتایج و بحث

در این بخش، ضمن ارائه خلاصه نتایج تحلیلها برای تمامی ایستگاهها نتایج مربوط به ایستگاه پل شالو در حوضه کارون، برای نمونه، به طور مبسوط ارائه می‌گردد. سپس، به تحلیل نتایج به دست آمده از تأثیر پدیده انسو بر AMF حوضه‌های کارون و دز پرداخته می‌شود. این تحلیل بر اساس چهار متغیر همبستگی خطی، احتمال

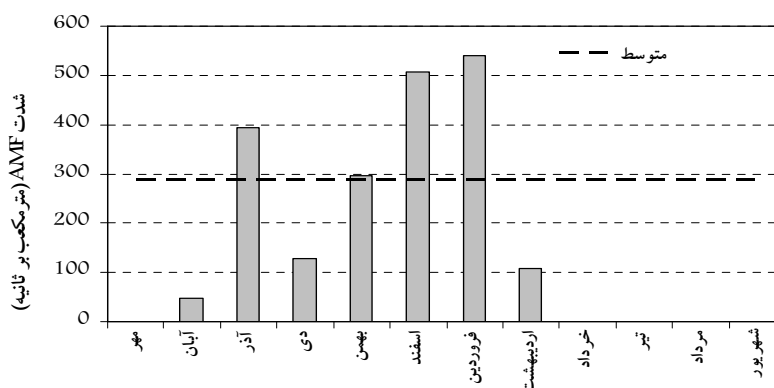
وقوع ( $P_i$ )، درصد تغییر ( $D_i$ ) و شدت تغییر AMF ( $ID_i$ ) انجام می‌شود. در پایان نیز نتیجه‌گیری نهایی بیان می‌گردد. نمودارهای توزیع ماهانه احتمال وقوع ( $P_i$ )، متوسط دبی ( $AMF_i$ ) و شدت AMF ( $I_i$ ) در ایستگاه پل شالو در حوضه کارون، در شکل‌های ۳ الی ۵ ارائه شده است. چنان که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در ایستگاه پل شالو، از



شکل ۳- توزیع ماهانه احتمال وقوع AMF در ایستگاه پل شالو



شکل ۴- توزیع ماهانه متوسط AMF در ایستگاه پل شالو



شکل ۵- توزیع ماهانه شدت AMF در ایستگاه پل شالو

میان ماههای وقوع AMF، احتمال وقوع AMF در ماههای اسفند و فروردین بیش از متوسط ماهانه احتمال وقوع و در مجموع، حدود ۵۵ درصد است. لذا، از نظر احتمال وقوع AMF، دوره اسفند-فروردین مهم ترین دوره سیلاب در این ایستگاه خواهد بود. با توجه به شکل ۴، در ایستگاه پل شالو مقادیر متوسط ماهانه دبی AMF در ماههای آذر تا اسفند بیش از متوسط ماهانه AMF می باشد و لذا، از این نظر می توان آنها را به عنوان ماههای مهم سیلاب انتخاب کرد. از نظر عامل شدت سیلاب، دوره های آذر و بهمن و اسفند-فروردین در ایستگاه پل شالو مهم می باشند (شکل ۵). چون مقدار این عامل در دوره اسفند-فروردین نسبت به ماههای بهمن و آذر بسیار بیشتر است، این دوره به عنوان مهم ترین دوره AMF در این ایستگاه انتخاب شده است. به علاوه، این دوره سیلاب شامل سیلابهای تحت تأثیر ذوب برف است که می تواند از مزیت های دیگر این انتخاب باشد. پس از انجام تحلیل در تمام ایستگاهها، دوره اسفند-فروردین به عنوان مهم ترین دوره سیلابی AMF در هر دو حوضه شناسایی شد؛ به عبارت دیگر،  $T_{AMF} = \{ \text{اسفند و فروردین} \}$ . نتایج بررسی بازه های بیشترین تأثیر انسوی بر دوره سیلابی اسفند-فروردین ( $T_{ENSO}$ )، تا شش ماه قبل، در جدول ۱ آمده است. انتخاب بازه ها در هر حوضه، با توجه به تلفیق نتایج ایستگاههای آن حوضه صورت گرفته است. به عبارت دیگر، در هر حوضه، بازه ای انتخاب شده است که در مجموع، دارای بیشترین همبستگی در ایستگاههای آن حوضه باشد و لذا، این بازه لزوماً همان بازه بیشترین تأثیر انسوی بر هر یک از ایستگاهها نمی باشد. چنان که در

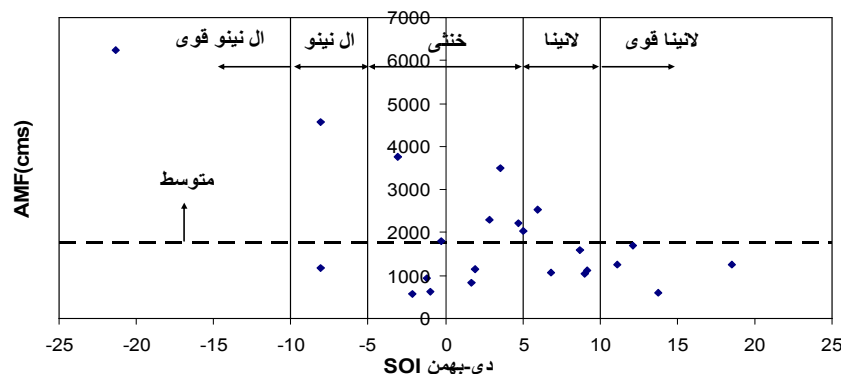
جدول ۱ مشاهده می شود، در هر دو حوضه متوسط مقادیر SOI در بازه ماههای دی-بهمن دارای بیشترین همبستگی با AMF اسفند-فروردین است. مقادیر متوسط همبستگی با توجه به تحقیقات مشابه نسبتاً بالا است [۳]. علامت منفی همبستگی نشان می دهد که با افزایش مقدار شاخص SOI و حرکت از فاز ال نینو به سمت فاز لانینا، انتظار می رود که مقادیر AMF کاهش یابند. شکل ۶ این مطلب را در ایستگاه پل شالو تأیید می کند.

شکل ۶ نمودار پراکندگی مقادیر AMF اسفند-فروردین را در ایستگاه پل شالو در فازهای مختلف پدیده انسوی نشان می دهد. بر اساس نتایج جدول ۱، برای تعیین فازهای مختلف پدیده انسوی در این ایستگاه از متوسط SOI دی-بهمن استفاده شده است. چنان که در شکل ۶ مشاهده می شود، با حرکت از فاز لانینا به سمت فاز ال نینو، مقادیر AMF و نیز فراوانی وقایع AMF بیشتر از متوسط AMF حالت خنثی نسبت به وقایع AMF کمتر از متوسط AMF حالت خنثی، افزایش می یابد. این موارد در ادامه، دقیق تر بررسی می شوند. با استفاده از آمار موجود و به کمک شکل ۶، مقادیر فراوانی وقوع AMF در هر فاز، متوسط دبی AMF در هر فاز و درصد تغییر متوسط دبی AMF در هر فاز نسبت به فاز خنثی (بدون تفکیک وقایع بیشتر و کمتر از متوسط) در ایستگاه پل شالو تعیین می شود که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. چنان که از نتایج جدول ۲ مشاهده می شود، در ایستگاه پل شالو به طور کلی، درصد تغییر مقادیر متوسط AMF اسفند-فروردین در فازهای مختلف پدیده انسوی قابل توجه است. این تغییر در فازهای ال نینو و ال نینوی قوی

جدول ۱- بازه بیشترین تأثیر پدیده ENSO بر AMF اسفند-فروردین در هر حوضه ( $T_{ENSO}$ )

حوضه کارون	حوضه دز
دی-بهمن	دی-بهمن
-۰/۶۱	-۰/۶۴
-	۰/۲۲

بازه بیشترین تأثیر  
متوسط ضریب همبستگی  
دامنه تغییرات ضریب همبستگی

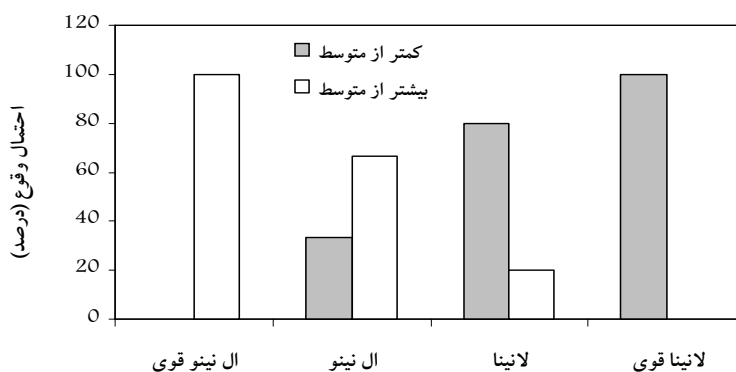


شکل ۶- توزیع AMF اسفند-فروردین در فازهای مختلف پدیده انسوی در ایستگاه پل شالو

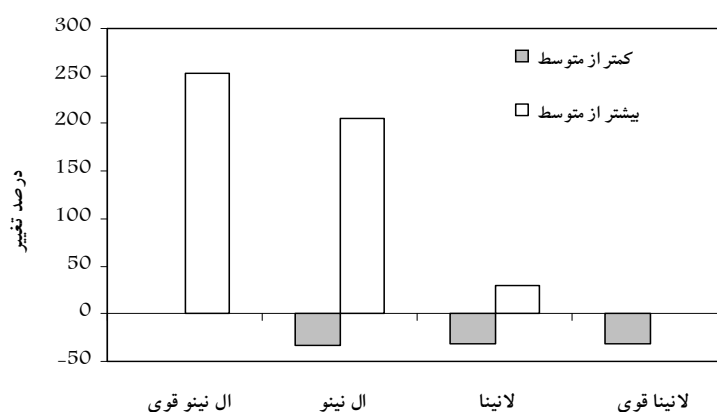


جدول ۲- فراوانی وقوع، متوسط دبی و درصد تغییر AMF اسفند-فروردین در هر فاز پدیده انسو نسبت به حالت خنثی در ایستگاه پل شالو (بدون تفکیک وقایع بیشتر و کمتر از متوسط)

فراوانی	متوسط (cms)	درصد تغییر
ال نینو قوی (SE)	۶۲۳۰	۲۵۲
ال نینو (E)	۳۹۹۰	۱۶۸
خنثی (N)	۱۷۶۹	-
لانینا (L)	۱۴۲۵	-۱۹
لانینا قوی (SL)	۱۲۰۱	-۳۲



شکل ۷- احتمال وقوع AMF در فازهای مختلف انسو ( $P_i$ ) در ایستگاه پل شالو



شکل ۸- درصد تغییر مقادیر متوسط AMF در فازهای مختلف انسو ( $D_i$ ) نسبت به حالت خنثی در ایستگاه پل شالو

قوی بیشتر از متوسط و در حالت لانینای قوی کمتر از متوسط هستند. لازم به ذکر است که با توجه به طول دوره آماری موجود و این که این ارقام تنها با وجود سه مشاهده در حالت ال نینو و تنها یک واقعه در فاز ال نینوی قوی محاسبه شده است، ممکن است مقدار دقیق آنها چندان قابل اعتماد نباشد، اما روند آنها و حدود تقریبی اعداد محاسبه شده به خصوص در حالت‌های شدید (ال نینوی قوی و لانینای قوی) با توجه به تحقیقات پیشین و تحلیلهای انجام شده در این مقاله صحیح به نظر می‌رسد.

شکل ۸، درصد تغییر مقادیر متوسط AMF در فازهای مختلف انسو را نسبت به فاز خنثی در دو حالت کمتر ( $D_{Li}$ ) و بیشتر ( $D_{Gi}$ )

به ترتیب حدود ۱۲۶ و ۲۵۲ درصد است و با حرکت به سمت فاز لانینا کم شده، در فاز لانینا و لانینای قوی به ترتیب به ۱۹- و ۳۲- درصد حالت خنثی می‌رسد.

شکل ۷، مقادیر احتمال وقوع AMF کمتر ( $P_{Li}$ ) و بیشتر ( $P_{Gi}$ ) از متوسط حالت خنثی را در فازهای مختلف انسو برای ایستگاه پل شالو در حوضه کارون نشان می‌دهد. چنان که در این شکل مشاهده می‌شود، در فاز ال نینو احتمال وقوع AMF بیش از متوسط و برابر احتمال وقوع AMF کمتر از متوسط است. در فاز لانینا احتمال وقوع AMF کمتر از متوسط چهار برابر احتمال وقوع AMF بیشتر از متوسط است. در راستای همین روند، تمام وقایع در فاز ال نینوی

از متوسط، برای ایستگاه پل شالو نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۸، درصد تغییر AMF در ایستگاه پل شالو در تمامی فازها قابل ملاحظه است. درصد تغییر وقایع AMF بیش از متوسط در فازهای ال نینو، بسیار بیشتر از وقایع AMF کمتر از متوسط، که در فازهای ال نینو و ال نینوی قوی به ترتیب ۲۰۵ و ۲۵۲ درصد است، می‌باشد. با وجود اینکه مقدار عددی درصد تغییر وقایع AMF کمتر از متوسط در فاز ال نینو و فازهای لائینا تقریباً برابر است (حدود ۳۲- درصد)، با حرکت از فاز ال نینو به سمت لائینا از برتری AMF بیشتر از متوسط نسبت به AMF کمتر از متوسط کاسته می‌شود و در فازهای لائینا درصد کاهش وقایع AMF غالب می‌شود. به عبارت دیگر، درصد تغییر در فازهای ال نینو بسیار شدید و به صورت افزایشی است و با حرکت به فاز لائینا این درصد کم و به صورت کاهشی می‌شود. این روند با نمودار شکل ۶ تطابق دارد.

شکل ۹، نشان‌دهنده شدت تغییر AMF کمتر ( $ID_{Li}$ ) و بیشتر ( $ID_{Gi}$ ) از متوسط در فازهای مختلف پدیده انسو در ایستگاه پل شالو است که از حاصل ضرب احتمال وقوع در درصد تغییر AMF در هر فاز به دست می‌آید. در این ایستگاه، در فازهای ال نینو شدت تغییر AMF، برای وقایع بیش از متوسط، بسیار زیاد است و این ناشی از تأثیر چشمگیر پدیده ال نینو بر بزرگی وقایع AMF می‌باشد. فازهای لائینا نیز در تضعیف شدت وقایع AMF مؤثر هستند ولی، مقدار این تأثیر بسیار کمتر از فاز ال نینو است. همچنین، ملاحظه می‌شود که روند تغییرات این عامل بسیار شبیه به عامل درصد تغییر AMF (شکل ۸) می‌باشد. بر این اساس، می‌توان عنوان کرد که درصد تغییر AMF در فازهای انسو بر عامل احتمال وقوع AMF غلبه دارد. مقادیر احتمال وقوع، درصد تغییر و شدت تغییر AMF برای ایستگاههای مورد بررسی در هر حوضه به طور مجزا برای وقایع AMF کمتر و بیشتر از متوسط، به ترتیب در جدولهای ۳ تا ۵ ارائه شده است.

بر اساس نتایج حاصل شده می‌توان گفت که در ایستگاه پل شالو از حوضه کارون، پس از انجام تحلیلهای اولیه، ارتباط AMF اسفند-فروردین با متوسط SOI دی-بهمن بررسی شد و مقدار همبستگی نسبتاً بالایی به دست آمد ( $-0/61$ ) [۳]. علامت منفی نشان می‌دهد که انتظار می‌رود با افزایش SOI، مقادیر AMF کاهش یابد. در مواقع ال نینو، احتمال وقوع مقادیر AMF بیش از متوسط حالت خنثی بیشتر است از احتمال وقوع AMF کمتر از متوسط حالت خنثی و در مواقع لائینا قضیه برعکس است. این امر به خصوص در حالتهای شدید ال نینو و لائینا صادق است. درصد تغییر AMF نسبت به حالت خنثی در فاز ال نینو بسیار بیشتر از فاز لائینا است. در فاز ال نینو و ال نینوی شدید، به ترتیب افزایش‌های ۲۰۵ و ۲۵۲ درصدی مشاهده می‌شوند و در فاز لائینا درصد کاهش حدود ۳۲ درصد است. شدت تغییرات نیز در حالت ال نینو، بسیار بیشتر از حالت لائینا است که به ترتیب، در فازهای ال نینو و ال نینوی قوی در حدود  $1/4$  و  $2/5$  برابر و در فازهای لائینا حدود  $0/3$  حالت خنثی است. این امر نشانگر غلبه تأثیر عامل درصد تغییر بر احتمال وقوع است.

در حوضه دز، بر اساس تحلیلهای اولیه، ارتباط AMF اسفند-فروردین با متوسط SOI دی-بهمن مورد بررسی قرار گرفت. ضرایب همبستگی در این حوضه نیز با توجه به تحقیقات انجام گرفته در این زمینه، از مقادیر نسبتاً بالایی برخوردار است ( $-0/64$ ) [۳]. این مقدار از  $-0/53$  تا  $-0/75$  در ایستگاههای مختلف تغییر می‌کند. علامت منفی همبستگی‌ها نشانگر این است که با افزایش SOI و گذر از حالت ال نینو به حالت لائینا مقادیر سیلاب کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از تحلیل این ایستگاهها در جداول ۳ تا ۵ ارائه گشته است. بر این اساس، تقریباً در تمام ایستگاهها، احتمال وقوع AMF بیش از متوسط حالت خنثی در فاز ال نینو صد در صد می‌باشد و تنها در یک ایستگاه این احتمال به



شکل ۹- شدت تغییر AMF در فازهای مختلف انسو ( $ID_i$ ) نسبت به حالت خنثی در ایستگاه پل شالو

جدول ۳- مقادیر احتمال وقوع AMF ( $P_i$ ) برای ایستگاههای مورد بررسی در هر حوضه

ایستگاه	حوضه	احتمال وقوع AMF کمتر از متوسط ( $P_{Li}$ )			احتمال وقوع AMF بیشتر از متوسط ( $P_{Gi}$ )		
		ال نینو قوی	ال نینو	لانینا	لانینا قوی	ال نینو قوی	لانینا
پل شالو	کارون	-	۳۳	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰
تله زنگ	دز	-	-	۶۰	۸۰	۱۰۰	۴۰
سپیددشت- سزار	دز	-	-	۶۷	۵۰	۱۰۰	۳۳
سپیددشت- زاز	دز	-	-	۷۱	۱۰۰	۱۰۰	۲۹
تنگ پنج- بختیاری	دز	۳۳	۲۹	۵۰	۱۰۰	۶۷	۵۰

جدول ۴- مقادیر درصد تغییر AMF ( $D_i$ ) برای ایستگاههای مورد بررسی در هر حوضه

ایستگاه	حوضه	درصد تغییر AMF کمتر از متوسط ( $D_{Li}$ )			درصد تغییر AMF بیشتر از متوسط ( $D_{Gi}$ )		
		ال نینو قوی	ال نینو	لانینا	لانینا قوی	ال نینو قوی	لانینا
پل شالو	کارون	-	-۳۴	-۳۲	۲۵۲	۲۰۵	۳۰
تله زنگ	دز	-	-	-۳۰	۱۰۹	۱۱۳	۳۷
سپیددشت- سزار	دز	-	-	-۴۰	۱۲۱	۷۳	۴۷
سپیددشت- زاز	دز	-	-	-۵۷	۱۸۲	۱۲۷	۷۹
تنگ پنج- بختیاری	دز	-۶۴	-۴۹	-۲۵	۲۵۷	۱۵۸	۲۶

جدول ۵- مقادیر شدت تغییر AMF ( $ID_i$ ) برای ایستگاههای مورد بررسی در هر حوضه

ایستگاه	حوزه	شدت تغییر AMF کمتر از متوسط ( $ID_{Li}$ )			شدت تغییر AMF بیشتر از متوسط ( $ID_{Gi}$ )		
		ال نینو قوی	ال نینو	لانینا	لانینا قوی	ال نینو قوی	لانینا
پل شالو	کارون	-	-۱۱	-۲۵	۲۵۲	۱۳۷	۶
تله زنگ	دز	-	-	-۱۸	۱۰۹	۱۱۳	۱۵
سپیددشت- سزار	دز	-	-	-۲۷	۱۲۱	۷۳	۱۶
سپیددشت- زاز	دز	-	-	-۴۱	۱۸۲	۱۲۷	۲۳
تنگ پنج- بختیاری	دز	-۲۱	-۱۴	-۱۲	۱۷۱	۱۱۳	۱۳

ال نینو بسیار بیشتر از حالت لانینا است. این امر نشان از غلبه عامل درصد تغییر بر عامل احتمال وقوع در بررسی همزمان این دو عامل دارد. شدت افزایش در حالت ال نینو تقریباً همیشه بیش از ۱۰۰ درصد است و تا حدود ۱/۸ برابر حالت خنثی هم می‌رسد و شدت کاهش در حالت لانینا نیز از حدود ۰/۳ تا ۰/۸ حالت خنثی است. لازم به ذکر است که اگر چه در برخی ایستگاهها درصد و یا شدت کاهش وقایع کمتر از متوسط به تنهایی در حرکت به سمت فاز لانینای قوی ثابت است و یا حتی کاهش می‌یابد، این روند در مقایسه با درصد و یا شدت افزایش وقایع بیشتر از متوسط، همواره در حال افزایش است.

حدود ۷۰ درصد کاهش می‌یابد. همچنین، احتمال وقوع AMF کمتر از متوسط در حالت لانینا بین ۵۰ تا ۷۰ درصد و در حالت لانینا قوی بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد و در مجموع، بیش از ۷۰ درصد است. در این موارد، تأثیر فاز ال نینو کمی بیشتر از فاز لانینا و در عین حال در تمامی فازها قابل ملاحظه است. درصد تغییرات AMF در فاز ال نینو بسیار بیشتر از فاز لانینا است. درصد افزایش مقادیر AMF در فاز ال نینو قوی تا حدود ۲/۶ برابر حالت عادی و درصد کاهش مقادیر AMF در فاز لانینا تا حدود ۰/۸ حالت خنثی می‌رسد. بر این اساس، فاز ال نینو سبب افزایش و فاز لانینا سبب کاهش شدت تغییر وقایع AMF است. میزان این تأثیر در فاز

جدول ۶- بررسی نتایج پیش‌بینی شدت تغییر AMF اسفند- فروردین در سالهای ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲

نام ایستگاه	تاریخ AMF	مقدار AMF (cms)	$T_{ENSO}$	SOI	فاز ENSO	شدت تغییر مورد انتظار (%)	شدت تغییر واقعی (%)
پل شالو	۷۹/۱۲/۲۰	۱۰۱۰	دی-بهمن	۱۰/۴	لانینا قوی	-۳۲	-۴۳
پل شالو	۸۲/۱/۷	۲۴۲۲	دی-بهمن	-۴/۷	خنثی	-	۳۷
سپیددشت-زاز	۸۱/۱/۱۴	۲۱۴	دی-بهمن	۵/۲	لانینا	۲۳	۱۳
سپیددشت-زاز	۸۲/۱/۶	۱۸۶	دی-بهمن	-۴/۷	خنثی	-	۲۸
سپیددشت-سزار	۸۱/۱/۳۱	۲۴۵	دی-بهمن	۵/۲	لانینا	-۲۷	-۲۷

جهت بررسی صحت نتایج حاصله، از اطلاعات سالهای ۸۰-۱۳۷۹ تا ۸۲-۱۳۸۱ در ایستگاههای مختلف، استفاده می‌شود. واضح است که این بررسی محدود به سالها و ایستگاههایی می‌شود که دارای AMF در دوره اسفند-فروردین هستند. نتایج این بررسی‌ها در جدول ۶ آمده است. چنان که از نتایج این جدول پیداست، از پنج مورد ذکر شده، دو مورد در شرایط خنثی واقع‌اند که مورد نظر نیست، ولی در عین حال چون مقدار SOI در این مورد به شرایط ال‌نینو نزدیک است (۴/۷-) افزایشی بودن شدت تغییر آن مطابق انتظار است. از سه مورد باقی مانده، در دو مورد نتایج مورد انتظار به چشم می‌خورد که علاوه بر درست بودن روند افزایشی یا کاهششی بودن شدت تغییرات، دقت پیش‌بینی در حدود ۷۰ درصد است. تنها یک مورد در ایستگاه سپیددشت-زاز جزء معدود مواردی است که بر خلاف احتمال وقوع غالب، مقدار AMF در شرایط لانینا بیش از حالت خنثی شده است که البته در این مورد نیز به هر حال براساس نتایج حاصله، دقت پیش‌بینی شدت تغییر در حدود ۶۰ درصد است. علاوه بر این، با افزودن سیلاب این سالها به داده‌های قبلی، مقدار همبستگی بیشتر شد که می‌تواند به نوعی مؤید نتایج حاصله می‌باشد.

بنابراین، به طور کلی می‌توان گفت که با وجود اینکه مقدار همبستگی میان SOI و AMF در حوضه‌های دز و کارون نسبتاً بالاست، به اندازه‌ای نیست که بتوان به تنهایی و مستقیماً از SOI در یک مدل پیش‌بینی سیلاب بهره برد. با این حال می‌توان این گونه بیان داشت که با وقوع پدیده ال‌نینو (لانینا) انتظار می‌رود که سیلاب حداکثر سالانه در دوره اسفند-فروردین، که مهم‌ترین دوره سیلابی می‌باشد، تا حد قابل توجهی دارای مقداری بیشتر (کمتر) از متوسط AMF در حالت خنثی باشد. میزان این تأثیر در فاز ال‌نینو بسیار بیشتر از فاز لانینا است. این امر به خصوص در حالت‌های شدید انسو صادق است. به طور خاص، با وقوع یک ال‌نینوی شدید به احتمال قریب به صد در صد یک فصل سیل خیز شدید پیش رو خواهد بود. لازم به ذکر است که این نتایج با تحقیقات پیشین انجام شده در ایران، به خصوص کارهای انجام شده در مورد بارش توسط ناظم السادات و قاسمی در سال ۲۰۰۴ که در قسمت مقدمه به آنها اشاره شد هم‌خوانی دارد. این نتایج جهت انجام پیش‌بینی‌های بلند مدت و به خصوص برای پروژه‌های پایش و کنترل سیلاب و احیاناً خشکسالی بسیار مفید خواهد بود. شاید با تفکیک وقایع بر اساس فازهای انسو بتوان مدل‌های پیش‌بینی دقیق‌تری و مختص به هر فاز توسعه داد.

## ۵- مراجع

- 1- Cayan, D. R., Redmond, K. T., and Riddle, L. G. (1999). "ENSO and hydrologic extremes in the western United States." *J. Climate*, 12 (9), 2881-2893.
- 2- Dilley, M., and Heyman B. N. (1995). "ENSO and disaster- droughts, floods and el-nino southern-oscillation warm events." *Disasters*, 19 (3), 181-193.
- 3- Kuhnelt, I., and Coates, L. (2000). "El Nino-southern oscillation: Related probabilities of fatalities from natural perils in Australia." *Nat. Hazards*, 22 (2), 117-138.
- 4- Jain, S., and Lall, U. (2001). "Floods in a changing climate: Does the past represent the future?" *Water Resources Research*, 37 (12), 3193-3205.
- 5- Diaz, H. F., and Markgraf, V. (1992). *El Nino: Historical and paleoclimatic aspects of the southern oscillation*, Cambridge University Press, Cambridge, 476.

6- Chiew, F. H. S., Piechota, T. C., Dracup, J. A., and McMahon, T. A. (1998). "El Nino/southern oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Link and potential for forecasting." *J. of Hydrology*, 204, 138-149.

7- Walker, G. T. (1924). "Correlation in seasonal variations of weather, IX, A further study of world weather." *Mem. Indian Met. Dept.*, 24 (9), 275-332.

۸- ناظم السادات، س. م. ج.، (۱۳۸۱). *آیا باران می بارد؟، انتشارات دانشگاه شیراز.*

9- Troup, J. A. (1965). "The southern oscillation." *Quart J. Roy. Met. Soc.*, 91, 490-506.

10- Trenberth, K. E., and Guillemot, C. J. (1996). "Physical processes involved in the 1988 drought and 1993 floods in North America." *J. Climate*, 9 (6), 1288-1298.

11- Chang, W. Y. B. (1997). "ENSO: Extreme climate events and their impacts on Asian deltas." *J. Am. Water Resources*, 33 (3), 605-614.

12- Chowdhury, M. R. (2003). "The El Nino-southern oscillation (ENSO) and seasonal flooding-Bangladesh." *Theor. And App. Clim.*, 76 (1-2), 105-124.

13- Andrews, E. D., Antweiler, R. C., and Neiman, P. J. (2004). "Influence of ENSO on flood frequency along the California coast." *J. Climate*, 17 (2), 337-348.

14- Barlow, M., Cullen, H., and Lyon, B. (2002). "Drought in central and southwest Asia: La Niña, the warm pool, and Indian Ocean precipitation." *J. Climate*, 15 (7), 697-700.

15- Mariotti, A., Ballabrera, J., and Zeng, N. (2002). *ENSO influence on Euro-Asian autumn rainfall*, ESSIC, ENEA and University of Maryland.

16- Nazemosadat, M. J. (1999). "ENSO impact on the occurrence of autumnal drought in Iran." *Drought Network News*, 11 (2), 17-18.

17- Masoodian, S. A. (2002). "The effects of ENSO on annual precipitation of Iran." *World Congress for Middle Eastern Studies*, Mainz, Germany, 8-13.

18- Nazemosadat, M. J., and Ghasemi, A. R. (2004). "Quantifying the ENSO-Related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran." *J. Climate*, 17 (20), 4005-4018.

۱۹- محسنی پور، م. (۱۳۷۸). "بررسی تأثیر پدیده ال نینو-نوسانات جنوبی بر دبی رودخانه کر در استان فارس." *پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.*

۲۰- ناظم السادات، س. م. ج.، رحیمی، م.، و محسنی پور، م. (۱۳۸۱). "بررسی تأثیر پدیده ال نینو-نوسانات جنوبی بر دبی رودخانه کر فارس، ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲۱- امامی، ک. (۱۳۷۹). "کاربردهای پیش بینی های اقلیمی در مدیریت خشکسالی و سیلاب." *اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، جهاد دانشگاهی استان کرمان.*

۲۲- خسروی، م. (۱۳۸۰). "تأثیر پدیده انسو بر ناهنجاری های بارش تابستانی و پاییزی منطقه جنوب شرقی ایران." *پایان نامه دکتری، دانشگاه اصفهان.*

۲۳- حق نگهدار، ا. (۱۳۸۲). "تأثیر سیگنال های هواشناسی در اصلاح پیش بینی جریانات رودخانه ای." *پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.*

۲۴- کارآموز، م.، و حق نگهدار، ا. (۱۳۸۲). "بررسی تأثیر پدیده ال نینو-نوسانات جنوبی بر جریان ورودی سد زاینده رود با استفاده از تحلیل طیفی." *دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.*

25- Karamouz, M., Araghinejad, S. H., and Koorehpazan Dezfuli, A., (2004). "Climate regionalizing for the assessment of ENSO, NAO and SST effect on regional meteorological drought: application of fuzzy clustering." *World Water and Environment Resources Congress*, Salt Lake City, Utah, USA.