

## نشان نوسان‌های جداگانه و هم‌زمان دمای سطح آب خلیج فارس و پدیده انسو بر نوسان‌های بارش ماه‌های سرد سال در پهنه‌های جنوب مرکزی ایران

مجتبی محمدی<sup>۱</sup>، حسن وقار فرد<sup>۲</sup>، رسول مهدوی نجف‌آبادی<sup>۳\*</sup>، پیمان دانش‌کار آراسته<sup>۴</sup>، سید محمدجعفر ناظم‌السادات<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری- آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۲. دانشیار بازنشسته گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۳. دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۴. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی<sup>(ره)</sup>، قزوین

۵. استاد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۱۱/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۳/۲۵)

### چکیده

در پژوهش پیش رو نشان جداگانه و جفت‌شده نوسان‌های دمای سطح آب دریا و پدیده ENSO بر بارش پهنه‌های جنوب مرکزی ایران در دوره داده‌برداری (۱۹۵۷-۲۰۱۹) بررسی شد. گستره آبی ارزیابی شده دربرگیرنده ۸ گره ۲\*۲ درجه است که ۳ گره در گستره آبی خلیج فارس، ۲ گره در دریای عمان، ۲ گره در شرق دریای عرب و یک گره در دریای سرخ جای گرفته‌اند. افزون بر اندازه دمای هر پیکسل، شیب دمایی میان آنها و پیوند میان این شیب و نوسان‌های بارش نیز بررسی شد. در ادامه، نقشه پهنه‌بندی ضریب همبستگی میان SST و بارش ماه‌های سرد سال با داده‌های ایستگاهی ارائه شد. از آزمون همبستگی پیرسون به منظور بررسی‌های آماری بهره‌برداری شد. یافته‌ها نشان داد در تمامی ماه‌ها و ایستگاه‌ها، همبستگی با SST به صورت منفی است. بیشترین ضریب همبستگی مربوط به ایستگاه سیرجان در ماه دسامبر با مقدار ۰/۶۵- و در ارتباط با شیب اختلاف دمایی سطح آب پیکسل‌های تنگه هرمز و دریای سرخ است. همچنین، یافته‌ها نشان داد شیب اختلاف دمایی SST پیکسل‌ها موجب بهبود بسیار خوب نتایج و ضریب همبستگی داده‌های ایستگاهی شد. بررسی ارتباط SST و بارش در دوره‌های ال‌نینو و لانینا نیز نشان داد مقادیر همبستگی بین بارش و مقادیر SST هنگام وقوع فازهای گرم و سرد ENSO، در هر دو فاز به صورت منفی است. بررسی یافته‌های درصد فراوانی گره‌ها نیز نشان داد گره‌های ۱، ۷ و ۸ بیشترین تأثیر را بر بارش ایستگاه‌های مطالعه شده داشته‌اند، به طوری که می‌توان بیان داشت که سه رأس مثلث غرب خلیج فارس، دریای سرخ و شرق دریای عرب بیشتر تأثیر و گره‌های ۴ و ۵ واقع در دریای عمان، کمترین تأثیر را بر بارندگی مناطق مطالعه شده دارند.

**کلیدواژگان:** بارش، تنگه هرمز، خلیج فارس، دمای سطح دریا، ENSO، Nino 3.4.

## مقدمه

بیش از ۷۰ درصد پهنه‌های کره زمین پوشیده از آب اقیانوس‌ها و دریاها است. از دیدگاه جابه‌جایی مولکول‌های آب و انرژی گرمایی، این سطح پوشیده از آب اقیانوس‌ها و دریاها در کنش و واکنش پیوسته با پدیده‌های نیواری (آتمسفری) است. گذار انرژی مازاد خورشیدی از گستره‌های گرمسیری به سوی قطب‌ها، روانش‌های نیواری و اقیانوسی و نیز نوسان‌های اقلیمی را پدید می‌آورد. به بیان دیگر، جابه‌جایی انرژی میان جو، اقیانوس و خشکی نوسان‌های بارش و دیگر پدیده‌های اقلیمی در خشکی‌های زمین را به همراه دارد [۱]. ناهمسازی در گرمای ویژه خشکی، هوا و دریا موجب می‌شود که نوسان‌های دمای روز و شب در پهنه‌های دریایی بسیار کمتر از خشکی‌ها شود. این نوسان‌ها به خلاف دگرگونی‌های کوتاه‌مدت وضع هوا، پایداری زمانی زیادی دارند و چگونگی آب و هوای خشکی‌ها در بازه زمانی بسیار کوتاه تا چند دهه به این سازه اقیانوسی وابسته است [۲]. از آنجا که سازه‌های بنیادین اقلیمی همانند شار تابش خالص خورشیدی، تبخیر سطحی و جابه‌جایی گرما به نوسان‌های دمای سطح آب دریاها (SST (Sea surface Temperature) وابسته هستند [۳ و ۴]، این متغیر جایگاه مهمی در چگونگی اقلیم جهانی دارد. از این‌رو، بخش بزرگی از تغییرات سنجه‌های اقلیمی همچون بارش و دما در پیوند با نوسان‌ها و روند درازمدت دمای سطح آب دریاها هستند [۵]. نوسان‌های دمای بخش بالایی آب دریاها طی چند دهه گذشته، به عنوان نمایه‌ای برای ارزیابی نوسان‌های بارش و دیگر پدیده‌های اقلیمی به کار گرفته شده‌اند [۶]. پژوهش‌های زیادی نشان داده است که افزایش یا کاهش دما در گستره‌های بزرگ آبی می‌تواند نشان‌دهنده معناداری نوسان‌های بارش در سطح خشکی‌های زمین باشد. برای مثال، می‌توان بررسی‌های سان و فوربیش [۷]، جی و همکاران [۸] و هنگ و همکاران [۹] را یادآور شد. در سطح کشور نیز ناظم‌السادات و همکاران [۱۰] و ناظم‌السادات [۱۱] نشان دادند نوسان‌های دمای سطح آب خلیج فارس بیانگر معناداری نوسان‌های بارش در بسیاری از گستره‌های جنوب غربی و جنوبی ایران است. در این پهنه‌ها افزایش یا کاهش بارش زمستانه، یکی پس از دیگری، با رخداد دمای کمتر و بیشتر از میانگین سطح آب خلیج فارس بستگی دارد. بر این اساس، ناظم‌السادات [۱۲] از دمای سطح آب

خلیج فارس در پاییز و زمستان برای پیش‌بینی بارش در این فصول در شیراز و بوشهر استفاده کرد. خسروی و همکاران [۱۳] نیز نشان دادند وقوع شرایط گرم در دمای سطح آب دریای عمان در فصل بهار با کاهش بارندگی در فصول پاییز و زمستان سواحل جنوب شرقی کشور همراه است. یافته‌های پور اصغر و همکاران [۱۴] نیز نشان داد تغییرات دمای سطح آب اقیانوس هند، تأثیر زیادی بر نوسان‌های بارش نیمه جنوبی کشور دارد. تا دهه ۱۹۸۰ میلادی الگوهای دمایی سطح دریا به عنوان فرایندی که فقط بر بارش‌های پهنه ساحلی سایه می‌افکند، شناخته می‌شد، در حالی که هم‌اکنون الگوهای SST سنجه‌ای توانا در شناخت نوسان‌ها و روند بارش در پهنه‌های نزدیک تا بسیار دور دریا شناخته می‌شود [۱۵]. به طوری که یافته‌های ناظم‌السادات و قاسمی [۱۶] نشان داد منطقه تأثیر دمای سطح آب دریای خزر محدود به نواحی ساحلی این دریا نیست، بلکه بارش نواحی جنوب مرکزی و جنوب غربی ایران نیز متأثر از نوسان‌های دمای آب‌های شمالی کشور است. بنابراین، کاربرد SST برای پیش‌بینی‌های هواشناسی آماری، عددی و اقیانوس‌شناسی [۶] و در پی آن، مدیریت بهتر ناهنجاری‌های آب‌وهوایی [۱۶] یک نیاز حتمی است.

افزون بر دمای سطح آب، پدیده ال‌نینو نوسان‌های جنوبی انسو نیز به عنوان یک عامل جوی-اقیانوسی بر اندازه، بسامد و روند سنجه‌های اقلیمی در بیشتر نقاط جهان سایه می‌افکند. این پدیده یکی از شاخص‌های مهمی است که در سال‌های اخیر و به منظور توجیه بیشتر تغییرات سالیانه سازندهای جوی از جمله بارش مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته است [۵]. نتایج بسیاری از پژوهش‌ها بیانگر آن است که بخش بزرگی از رخداد‌های آب‌وهوایی جهان در پیوند با چرخه‌های ال‌نینو و لانینا است [۷]. از وقایع هیدرومتئولوژیکی همچون خشکسالی و ترسالی [۵ و ۱۸]، ابرناکی [۱۹]، افزایش سطح تراز دریاها [۲۰] تا رویدادهای طبیعی همچون زلزله [۲۱]، هرچند که میزان واکنش و پیوند میان آنها در بخش‌های گوناگون کره زمین ناهمسان است. این پدیده از ریشه‌ای‌ترین رویدادهایی است که برای آشکارسازی چرایی نوسان‌های سالانه و فصلی بارش و دیگر سازه‌های بنیادی اقلیمی به کار گرفته شده است [۲۲]. به طور نمونه، ماسون و گودارد [۲۳] نشان دادند فازهای گرم (ال‌نینو) و یا سرد (لانینا)

نشده است. همچنین، در پژوهش‌های پیشین به بررسی اثر شیب دمایی SST بر بارش کشور پرداخته نشده است. بنابراین، در پژوهش حاضر به بررسی ارتباط بین گرہ‌های مختلف دمای سطح آب خلیج فارس و انسو بر بارش پهنه‌های نزدیک سواحل تنگه هرمز و سپس، پهنه‌بندی آن پرداخته شده است.

## روش کار

### منطقه مطالعه شده

استان هرمزگان با مساحتی حدود ۷۲ هزار کیلومتر مربع در شمال گذرگاه بسیار مهم تنگه هرمز جای دارد. ویژگی‌های جغرافیایی این استان در شکل ۱ نشان داده شده است. بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی با مساحتی حدود ۷۲ هزار کیلومتر مربع در شمال تنگه هرمز قرار گرفته است. این استان از شمال، با استان کرمان؛ از جنوب، با خلیج فارس و دریای عمان؛ از خاور، با استان سیستان و بلوچستان و از باختر، با استان‌های فارس و بوشهر همسایه است. هوای گستره‌های ساحلی در تابستان بسیار گرم و نمناک است و دمای آن نیز گاهی از ۵۲ درجه سانتی‌گراد بیشتر می‌شود [۳۰]. دمای متوسط سالانه این منطقه حدود ۲۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه این استان کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر با پراکنش زمانی و مکانی فراوان است. بارش‌ها بیشتر به صورت رگبارهای تند به همراه سیلاب‌های ویرانگر و زودگذر است.

## داده‌ها

### داده‌های سینوپتیکی

در این مطالعه از داده‌های ماهانه بارش ایستگاه‌های سینوپتیک که با مکاتبه از سازمان هواشناسی کل کشور تهیه شده است، استفاده شد. با توجه به آنکه ایستگاه‌های استان هرمزگان در خط ساحلی و در جزایر واقع بودند و به منظور پهنه‌بندی مناسب در سطح استان، علاوه بر ایستگاه‌های استان هرمزگان از ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌های فارس، کرمان و سیستان و بلوچستان نیز استفاده شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مطالعه شده را نشان می‌دهد.

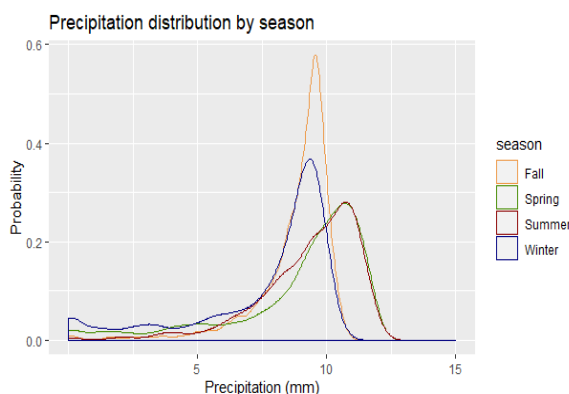
احتمال وقوع بارش و تناوب دوران‌های خشک و تر در برخی از مناطق جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ناظم‌السادات و کوردای [۲۴] نیز نشان دادند رخداد ال‌نینو / لانینا موجب افزایش / کاهش بارندگی پاییزه در بسیاری از جاهای کشور می‌شوند. یافته‌های ناظم‌السادات و قاسمی [۲۵] نیز نشان داد افزون بر بارش پاییزه، پدیده انسو بر بارش زمستانه و همه بارش‌های ۶ ماه سرد سال ایران نیز تأثیر دارد. ناظم‌السادات و همکاران [۲۶] طی پژوهشی نشان دادند پدیده ENSO به عنوان یکی از عوامل مهم و تأثیر در تغییر اقلیم ایران است، بنابراین توجه بیشتر به ویژگی‌ها و رفتار این پدیده کارکرد زیادی در برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع آب ایران دارد. علاوه بر بررسی جداگانه این دو پدیده توسط پژوهشگران، ناظم‌السادات و همکاران [۱۲] اثر هم‌زمان پدیده انسو و دمای سطح آب خلیج فارس (PGSST) را بر وقوع ترسالی و خشکسالی در نواحی غربی و شمال غربی ایران بررسی کردند. نتایج یافته‌های آنها نشان داد زمانی که فاز انسو و دمای کمتر از نرمال خلیج فارس به طور هم‌زمان رخ می‌دهند، احتمال رخداد خشکسالی در زمستان ۰/۵ تا ۰/۷ است. خلیج فارس با بزرگی نزدیک به ۲۳۵ هزار کیلومتر مربع در شمال غربی اقیانوس هند جای دارد که از راه تنگه هرمز به دریای عمان و سپس، به دریای عرب می‌پیوندد [۱]. آب‌های خلیج فارس و دریای عمان افزون بر آنکه کارکرد زیادی در زندگی اقتصادی-اجتماعی مردم ایران دارند، پیشینه پرنگی نیز در پیدایش الگوهای گوناگون آب‌وهوایی در ایران و به‌ویژه پهنه‌های جنوبی دارند [۲۷]. پهنه‌های جنوبی ایران که بیشتر در عرض‌های جنب حاره‌ای جای گرفته‌اند [۲۸]، به علت داشتن پستی و بلندی‌های زیاد و همسایگی با خلیج فارس و دریای عمان گوناگونی اقلیمی دارند و بارش آنها دارای نوسان فراوانی است. بخشی از این نوسان‌ها در پیوند با پدیده‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی و بخشی دیگر ناشی از ویژگی‌های اقلیم محلی هستند [۲۹].

گرچه پژوهش‌های انجام‌شده روی پدیده‌های انسو و PGSST بخشی از چرایی نوسان‌های بارش در پهنه‌های بزرگ کشور روشن کرده است، ولی تأثیر این دو پدیده به‌صورت مستقل و هم‌زمان بر دگرگونی بارش در پهنه‌های ساحلی تنگه هرمز و آن هم در مقیاس استانی بررسی

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مطالعه‌شده

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین درازمدت بارش سالانه (میلی‌متر)
بندرعباس	۵۶/۳۷	۲۷/۲۱	۹/۸	۱۷۱/۶
بندر لنگه	۵۴/۸۲	۲۶/۵۲	۲۲/۷	۲۴۸/۶
جاسک	۵۷/۷۷	۲۵/۶۳	۵/۲	۵۷
کیش	۵۳/۹۸	۲۶/۵۲	۳۰	۶۹/۳
میناب	۵۷/۰۸	۲۷/۱	۲۹/۶	۹۴/۶
شیراز	۵۲/۶	۲۹/۵۶	۱۴۸۸	۳۱۳/۹
فسا	۵۳/۷۱	۲۸/۸۹	۱۲۶۸	۱۲۹/۶
سیرجان	۵۵/۶۸	۲۹/۴۶	۱۷۳۹/۴	۱۳۱/۸
کهنوج	۵۷/۷۱	۲۷/۹۹	۴۹۹	۱۸۰/۹
کرمان	۵۶/۹۶	۳۰/۲۵	۱۷۵۴	۱۳۷/۷
زاهدان	۶۰/۸۸	۲۹/۴۶	۱۳۷۰	۷۶/۶
چابهار	۶۰/۶۱۷	۲۵/۲۸	۸	۱۱۹/۴
ایرانشهر	۶۰/۷	۲۷/۲	۵۹۱	۱۰۸/۹

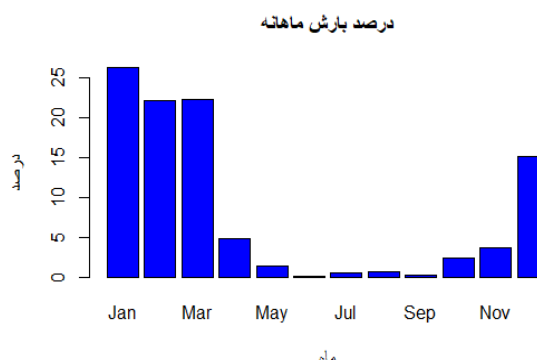
پدیده‌ها، میانگین ماه‌های ژانویه فوریه مارس (JFM)؛ فوریه مارس آپریل (FMA)؛ مارس آپریل می (MAM)؛ اکتبر نوامبر دسامبر (OND) نیز بررسی شدند. شکل ۲ توزیع بارش فصلی ایستگاه سینوپتیک بندرعباس را نشان می‌دهد.



شکل ۲. توزیع بارش فصلی ایستگاه سینوپتیک بندرعباس در دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۱۹

ابعاد (۲\*۲ طول و عرض جغرافیایی) ۸ پیکسل دارد [۲۷]. بنابراین پس از بررسی موقعیت تمامی پیکسل‌ها، ۳ پیکسل از ۸ پیکسل در سطح خلیج فارس به منظور محاسبات آتی مد نظر قرار گرفتند. علاوه بر این، نظر به اینکه حدود ۳۰ درصد کل توده‌های هوای باران‌زا که وارد کشور می‌شوند، از شمال آفریقا، دریای سرخ و غرب دریای عربی سرچشمه می‌گیرند، این توده‌های هوایی که به عنوان «جریان سودانی» شناخته

با توجه به اینکه بیش از ۹۷ درصد بارش در سطح استان هرمزگان در ۷ ماه از سال شامل ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آپریل، اکتبر، نوامبر و دسامبر صورت می‌گیرد، بنابراین کلیه پردازش‌ها در این ماه‌ها صورت گرفت (شکل ۱). همچنین، به منظور بررسی فصلی



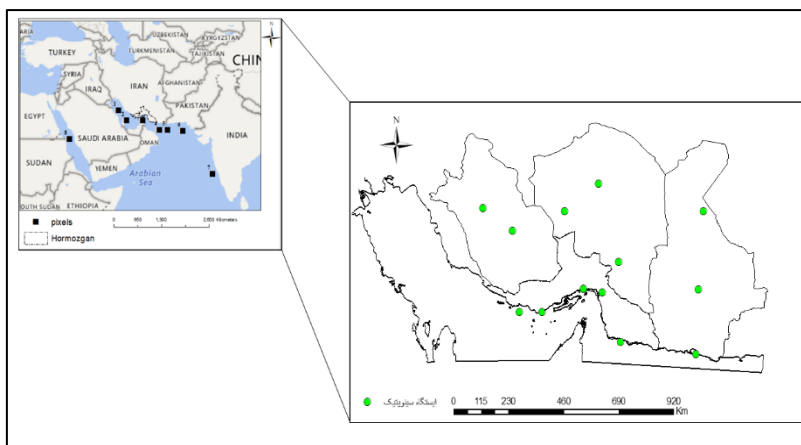
شکل ۱. توزیع بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک بندرعباس در دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۱۹

#### داده‌های دمای سطح آب Sea Surface Temperature

داده‌های اولیه SST از پایگاه داده‌های سازمان مدیریت اقیانوسی و اتمسفری ایالت متحده آمریکا (NOAA) با قدرت تفکیک مکانی ۲ درجه طولی و ۲ درجه عرضی جغرافیایی برای دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۱۹ و با فرمت Netcdf و به آدرس <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.e> تهیه شد. با توجه به این موضوع که خلیج فارس با این

۳. در ادامه، مقادیر SST با فرمت Netcdf دانلود و ذخیره و در محیط نرم‌افزار ArcMap فراخوانی و تبدیل به سری زمانی شد و در ادامه، کلیه پردازش‌ها روی سری زمانی پیکسل‌ها صورت گرفت.

می‌شوند، پس از عبور از عربستان، از طریق خلیج فارس وارد کشور می‌شوند و سهم زیادی در بارش‌های سالانه نواحی جنوبی ایران دارند [۱۱]. بنابراین، در ادامه علاوه بر ۳ پیکسل SST در خلیج فارس، ۲ پیکسل در دریای عمان، ۲ پیکسل در دریای عربی و یک پیکسل در دریای سرخ انتخاب شد (شکل



شکل ۳. جایگاه جغرافیایی استان هرمزگان، پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک و موقعیت پیکسل‌های SST

(آنومالی بین ۰/۵ تا ۰/۹)، متوسط (آنومالی بین ۱ تا ۱/۴)، نیرومند (آنومالی بین ۱/۵ تا ۱/۹) و خیلی نیرومند (آنومالی بزرگ‌تر از ۲) تقسیم می‌شوند. در ادامه، مقادیر SST و بارش که در دوره‌های ال‌نینو/لانینا قرار گرفته‌اند، تعیین و سری زمانی مربوطه تنظیم شد. سپس، بررسی ارتباط بین SST و بارش به منظور تعیین این هدف که آیا دوره‌های ال‌نینو و لانینا تأثیری بر ارتباط بین SST و بارش دارند، بررسی شدند.

#### آزمون همبستگی پیرسون (Pearson correlation)

برای بررسی ارتباط بین SST و بارش، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون از ضرایب مهم برای تعیین میزان ارتباط و همبستگی بین دو متغیر X و Y است. این ضریب با نماد r نشان داده می‌شود و به صورت رابطه ۱ ارائه می‌شود:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \right) \left( \frac{Y_i - \bar{Y}}{S_y} \right) \quad (1)$$

که در آن، n تعداد داده‌های سری زمانی،  $S_x$  و  $S_y$  انحراف از معیار،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  میانگین X و Y است. پس از محاسبه مقدار r با استفاده از جدول ضریب همبستگی پیرسون، معناداری آن در سطح مورد نظر بررسی شد.

#### داده‌های انسو

آنومالی ماهانه داده‌های دمای سطح دریا در پهنه استوایی اقیانوس آرام که در پهنه عرض جغرافیایی ۵ درجه جنوبی تا ۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۱۲۰-۱۷۰ درجه غربی که تحت عنوان «Nino3.4» شناخته می‌شود، یکی از نمایه‌های اصلی شاخص نوسان‌های پدیده ال‌نینو-نوسان‌های جنوبی (ENSO) است (ترنبرس، ۱۹۹۷). نوسان‌های این نمایه به طور معناداری بر میزان بارش ایران تأثیر دارند [۲۷]. مقادیر آنومالی ماهانه این نمایه برای طول دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۱۹ از پایگاه داده‌های سازمان مدیریت اقیانوسی و اتمسفری ایالت متحده آمریکا (NOAA) به آدرس <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list> تهیه شد.

#### تعیین دوره‌های ال‌نینو و لانینا ENSO

برای تعیین دوره‌های گرم (ال‌نینو) و سرد (لانینا) انسو از داده‌های نمایه Nino3.4 استفاده شد. به این ترتیب که هرگاه مقدار آنومالی SST در منطقه Nino3.4 در ۳ ماه متوالی بیشتر از ۰/۵ باشد، دوره گرم یا ال‌نینو و مقدار کمتر از ۰/۵- نیز دوره سرد یا لانینا و بقیه سال‌ها به عنوان دوره خنثی در نظر گرفته می‌شود. آستانه‌های دوره‌های ال‌نینو و لانینا به ۴ بخش دربرگیرنده ضعیف

برای دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۱۹ برگزیده شدند. افزون بر اندازه دمای هر پیکسل، شیب دمایی میان آنها و پیوند میان این شیب و نوسان‌های بارش نیز بررسی شد. در نخستین گام با کاربرد آزمون همبستگی متقاطع، همبستگی میان اندازه ماهانه SST همه پیکسل‌ها و اختلاف شیب دمایی پیکسل‌ها با زمان درنگ‌های متفاوت  $+25$  با مقادیر بارش بررسی شد. یافته‌ها نشان داد در هیچ‌یک از موارد همبستگی میان اندازه SST و بارش در گام‌های درنگ زمانی معنادار نیستند. بهترین همبستگی در گام زمانی صفر است، هرچند در این گام نیز مقادیر همبستگی در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار نیست. جدول ۲ یافته‌ها گام درنگ زمانی در ایستگاه بندرعباس و شکل ۴ نمودار آماری ACF شماری از پیکسل‌ها در ایستگاه بندرعباس را که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، نشان می‌دهد. بنابراین، در ادامه به بررسی همبستگی بین SST و بارش در مقیاس ماهانه و در گام درنگ صفر پرداخته شد.

### تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در محیط ArcGIS

برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی ضرایب همبستگی مقادیر دمای سطح دریا و بارش از محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. برای تهیه نقشه‌های درون‌یابی از روش درون‌یابی وارونه فاصله وزنی (IDW) بهره‌گیری شد. درخور یادآوری است ناظم‌السادات و همکاران [۲۲] و قائدآمین و همکاران [۲۹] در مطالعات خود از این روش درون‌یابی به منظور درون‌یابی پدیده‌های پیوند از دور استفاده کرده‌اند.

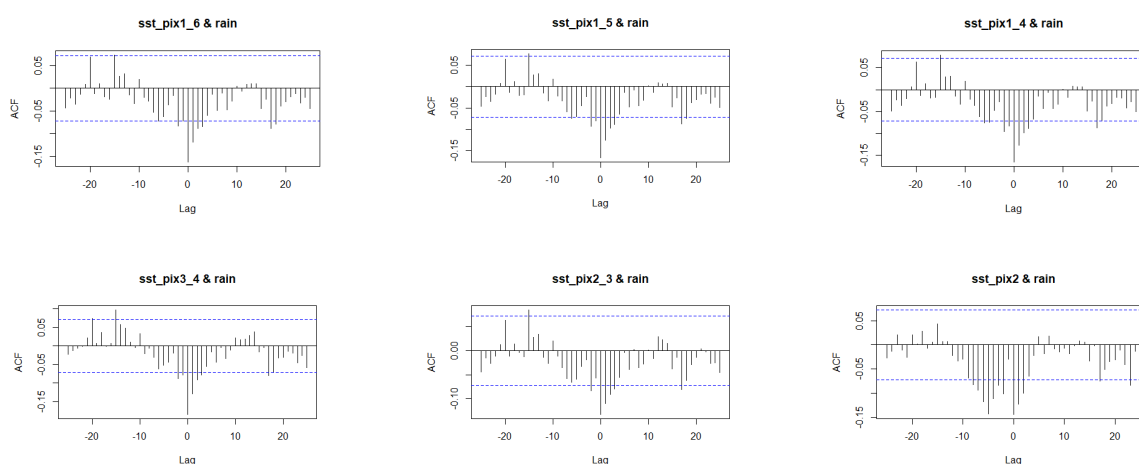
### اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

#### آنالیز گام تأخیر زمانی<sup>۱</sup>

برای شناسایی پیکسل یا پیکسل‌هایی که بیشترین تأثیر بر نوسان‌های بارش در ایستگاه‌های بررسی شده را دارند، ۳ پیکسل در خلیج فارس، ۲ پیکسل در دریای عمان، ۲ پیکسل در شرق دریای عربی و یک پیکسل در دریای سرخ

جدول ۲. یافته‌های مناسب‌ترین گام درنگ زمانی در ایستگاه سینوپتیک بندرعباس

شماره سلول	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	$\Delta 7 \& 5$
مناسب‌ترین گام تأخیر	۰	۰	-۵	-۴	-۵	-۴	-۵	-۵	۰
شماره سلول	$\Delta 1 \& 2$	$\Delta 1 \& 3$	$\Delta 1 \& 4$	$\Delta 1 \& 5$	$\Delta 1 \& 6$	$\Delta 1 \& 7$	$\Delta 1 \& 8$	$\Delta 2 \& 3$	$\Delta 5 \& 8$
مناسب‌ترین گام تأخیر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
شماره سلول	$\Delta 2 \& 4$	$\Delta 2 \& 5$	$\Delta 2 \& 8$	$\Delta 3 \& 4$	$\Delta 3 \& 5$	$\Delta 3 \& 8$	$\Delta 4 \& 5$	$\Delta 4 \& 8$	
مناسب‌ترین گام تأخیر	۰	۰	-۲	۰	۰	۰	۰	۰	



شکل ۴. نمودار آماری  $ACF^2$  شماری از پیکسل‌ها در ایستگاه بندرعباس

1. Lag Time
2. Autocorrelation Function

ارزیابی همبستگی بین SST و بارش ماهانه در ماه‌های سرد سال

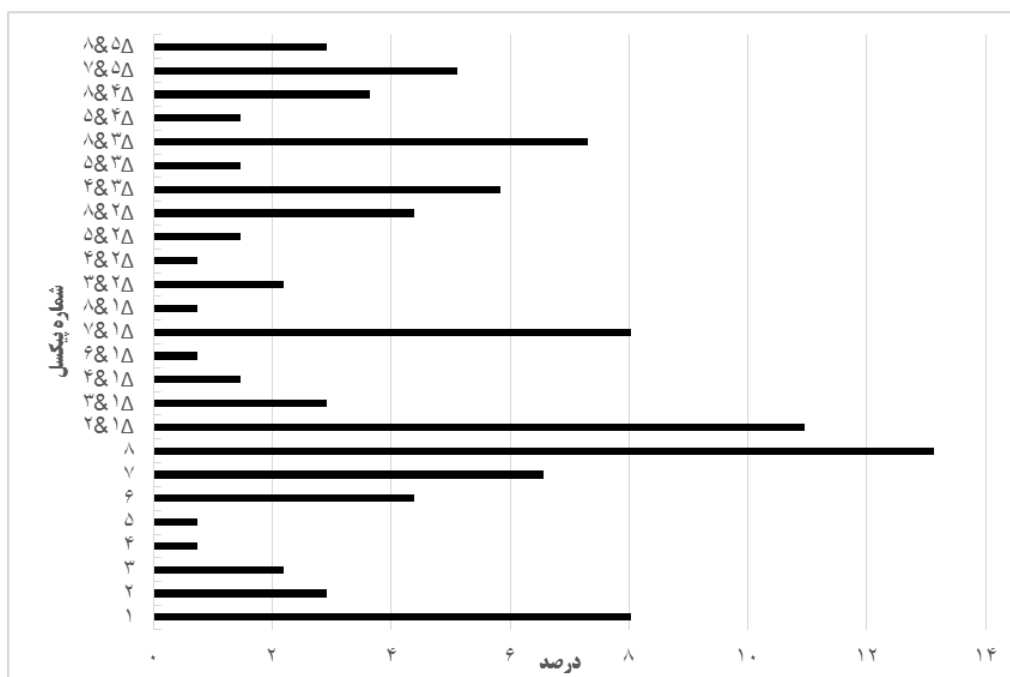
جدول ۳ پیکسل‌هایی را نشان می‌دهد که SST آنها بیشترین همبستگی را با ایستگاه‌های بارش داشته است. دیده می‌شود که در همه ماه‌ها یا فصل‌ها همبستگی بین اندازه بارش و SST منفی است. بیشترین ضریب همبستگی مربوط به ایستگاه سیرجان در ماه دسامبر با اندازه  $-0/65$  و در ارتباط با اختلاف شیب دمایی سطح آب پیکسل ۳ با ۸ است. همچنین، ایستگاه میناب در ماه ژانویه، ایستگاه‌های کیش و ایرانشهر در ماه اکتبر و ایستگاه‌های زاهدان و ایرانشهر در ماه فوریه هیچ‌گونه ارتباط معنادار در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد بین بارش و دمای سطح آب پیکسل‌ها دیده نشد. بقیه ایستگاه‌ها در بارش ماه‌های مختلف حداقل یک همبستگی در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد با اندازه بارش دارند.

بررسی درصد فراوانی تعداد همبستگی پیکسل‌ها در ماه‌های مختلف در تمامی ایستگاه‌ها نشان داد پیکسل‌های ۸ و ۱ با فراوانی به ترتیب ۱۳ و ۸ درصد بیشترین شمار همبستگی در بین پیکسل‌ها داشته‌اند، به طوری که می‌توان بیان داشت که غرب خلیج فارس و دریای سرخ بیشترین تأثیر را بر بارش ایستگاه‌های مطالعه‌شده دارند. همچنین، بررسی درصد فراوانی شمار اختلاف شیب پیکسل‌ها در ماه‌های مختلف در تمامی ایستگاه‌ها نیز نشان داد اختلاف شیب دمایی پیکسل ۱ با ۲، ۱ با ۷ و ۳ با ۸ به ترتیب با درصد فراوانی ۱۱، ۸ و  $7/5$  درصد بیشترین تأثیر را بر بارش ایستگاه‌های مختلف داشته‌اند. همچنین، یافته‌ها نشان داد پیکسل‌های ۴ و ۵ واقع در دریای عمان کمترین تأثیر را بر بارندگی مناطق مطالعه‌شده دارند (شکل ۵).

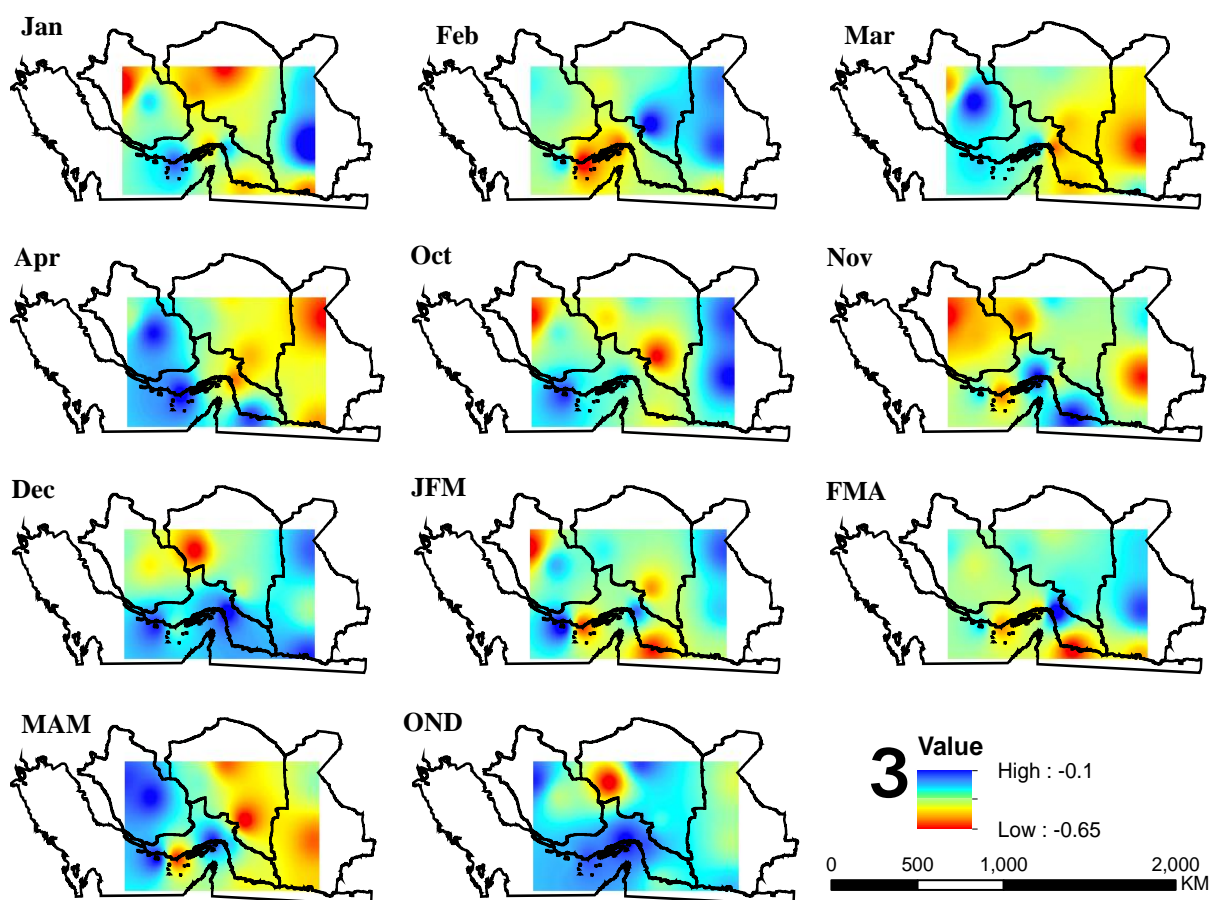
جدول ۳. بهترین پیکسل SST و ضریب همبستگی آن با بارش در ایستگاه‌ها در ماه‌ها و فصل‌های بررسی‌شده

ماه	بندرعباس	بندرلنگه	جاسک	کیش	میناب	شیراز	فسا	سیرجان	کهنوج	کرمان	زاهدان	چابهار	ایرانشهر
بهترین پیکسل	۱۱&۳	۱	۳	۵&۸	--	۱۱&۳	۱۱&۳	۳&۸	۸	۱	۶	۲&۵	۱&۲
CC	-۰/۳۱	-۰/۱۷	-۰/۳۱	-۰/۲۲	--	-۰/۳۸	-۰/۳۱	-۰/۳۲	-۰/۲۸	-۰/۲۷	-۰/۲	-۰/۳۴	-۰/۱
pp	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۱۸	--	۰/۰۰۲	۰/۱	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۲	۰/۵۴	۰/۵۴
بهترین پیکسل	۳&۸	۳&۸	۷	۲&۳	۳&۸	۳&۸	۱	۳&۴	۵&۷	۱&۴	--	۱&۸	--
CC	-۰/۳۸	-۰/۴۲	-۰/۲۹	-۰/۲۳	-۰/۳	-۰/۲۵	-۰/۲۶	-۰/۳۱	-۰/۱۵	-۰/۲۷	--	-۰/۳۳	--
pp	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۳	--	۰/۰۴	--
بهترین پیکسل	۱&۲	۱&۲	۸&۴&۸	۸	۱&۲	۸	۱&۲	۳&۸	۴&۵	۱	۱&۲	۲&۸	۸
CC	-۰/۳۲	-۰/۲۵	-۰/۳۱	-۰/۳۳	-۰/۳۲	-۰/۱۹	-۰/۲۷	-۰/۳۱	-۰/۳۸	-۰/۲۶	-۰/۳	-۰/۲۵	-۰/۳۵
pp	۰/۰۰۶	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۳
بهترین پیکسل	۳	۱	۷	۲&۳	۴&۵	۲	۲	۱&۲	۵&۷	۷	۳	۸	۱
CC	-۰/۳۴	-۰/۲۲	-۰/۲۴	-۰/۲۷	-۰/۴	-۰/۳۳	-۰/۳۳	-۰/۳۱	-۰/۳۸	-۰/۲۶	-۰/۴۳	-۰/۳۹	-۰/۳۵
pp	۰/۰۰۶	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۰/۰۳
بهترین پیکسل	۵&۷	۲&۸	۱	--	۴	۱&۷	۱&۳	۱&۳	۱&۷	۲	۱&۷	۵&۷	--
CC	-۰/۲۸	-۰/۳	-۰/۳۸	--	-۰/۳۳	-۰/۱۵	-۰/۳	-۰/۴	-۰/۱۵	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۳	--
pp	۰/۰۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱۴	--	۰/۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۰۴	--
بهترین پیکسل	۳&۴	۷	۲&۳	۳&۴	۱&۷	۱&۷	۵&۸	۳&۵	۱&۷	۳&۴	۳&۸	۳&۴	۱&۷
CC	-۰/۲۶	-۰/۴۶	-۰/۲۶	-۰/۳۴	-۰/۴	-۰/۱۵	-۰/۴۴	-۰/۴۶	-۰/۳۹	-۰/۳۴	-۰/۳۴	-۰/۳۷	-۰/۴۹
pp	۰/۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۲۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۰۰۱
بهترین پیکسل	۵&۸	۱	۱&۷	۲	۱&۷	۸	۴&۸	۳&۸	۸	۴&۸	۴&۸	۱&۷	۸
CC	-۰/۳۴	-۰/۴۲	-۰/۳۴	-۰/۳۷	-۰/۲۳	-۰/۴۲	-۰/۵۱	-۰/۶۵	-۰/۴۷	-۰/۴۴	-۰/۳	-۰/۲۷	-۰/۴۴
pp	۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۷	۰/۱	۰/۰۱
بهترین پیکسل	۱&۲	۱&۲	۷	۷	۳&۸	۱	۱&۲	۱&۷	۱&۲	۱&۲	۷	۳&۸	۳&۸
CC	-۰/۳۷	-۰/۴۴	-۰/۴۵	-۰/۴۴	-۰/۲۱	-۰/۴۷	-۰/۲۴	-۰/۲۷	-۰/۴	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۳۲	-۰/۲۵
pp	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۰۰۶	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۰۰۴	۰/۳۱	۰/۰۴	۰/۱۳
بهترین پیکسل	۱&۲	۸	۸	۸	۱&۲	۳&۸	۱	۱&۶	۳&۸	۷	۶	۶	۸
CC	-۰/۳۶	-۰/۳۹	-۰/۴۵	-۰/۲۵	-۰/۱۲	-۰/۲۶	-۰/۳۲	-۰/۲۶	-۰/۲۶	-۰/۳۱	-۰/۲۴	-۰/۳۸	-۰/۲۷
pp	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۱۱	۰/۴۹	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۰۹
بهترین پیکسل	۸	۸	۳&۸	۸	۱&۲	۵	۱	۶	۴&۸	۷	۶	۸	۵&۷
CC	-۰/۱۷	-۰/۴۴	-۰/۳۵	-۰/۱۶	-۰/۲۴	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۰/۲۸	-۰/۴۲	-۰/۴۲	-۰/۲۹	-۰/۳۷	-۰/۴۲
pp	۰/۱۸	۰/۰۰۹	۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۱	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۱
بهترین پیکسل	۳&۵	۱&۴	۲&۴	۵&۷	۸	۳&۸	۸	۶	۳&۵	۵&۸	۳&۴	۳&۴	۳&۴
CC	-۰/۲۱	-۰/۲۵	-۰/۳۴	-۰/۲۹	-۰/۲۵	-۰/۲۳	-۰/۳۶	-۰/۵۱	-۰/۳۲	-۰/۲۴	-۰/۳۸	-۰/۲۹	-۰/۳۶
pp	۰/۰۰۹	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۲

JFM میانگین ژانویه، فوریه، مارس؛ FMA میانگین فوریه، مارس، آوریل؛ MAM میانگین مارس، آوریل، می؛ OND میانگین اکتبر، نوامبر، دسامبر؛ CC ضریب همبستگی پیرسون،  $aSbA \cdot P \text{ Value} = pp$  شیب اختلاف دمایی پیکسل a و b



شکل ۵. نمودار درصد فراوانی تعداد همبستگی پیکسل‌ها در ماه‌های مختلف در تمامی ایستگاه‌ها



شکل ۶. نقشه‌های پهنه‌بندی اندازه همبستگی دمای سطح دریا و بارش در پهنه مطالعه‌شده



لانینا و ال‌نینو و مؤثرترین پیکسل را در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان می‌دهد. یافته‌های جدول ۵ نشان می‌دهد اندازه همبستگی میان بارش و اندازه SST هنگام وقوع فازهای گرم و سرد ENSO نسبت به حالتی که کل داده‌ها در محاسبات دخالت داشتند، در اغلب ایستگاه‌ها به صورت درخور توجهی بهبود یافته است. برای نمونه، مقادیر همبستگی میان بارش و SST هنگام وقوع فاز لانینا در ماه‌های OND در ایستگاه‌های کیش، میناب و سیرجان به ترتیب به ۰/۶۳، ۰/۶۸- و ۰/۷۳-، ایستگاه چابهار در ماه JFM به ۰/۶۳- و ایستگاه سیرجان در ماه NDJ به ۰/۸۲- افزایش یافته است. در فاز ال‌نینو نیز به طور نمونه در ماه OND ایستگاه کرمان به ۰/۶۷-، در ماه NDJ ایستگاه‌های کهنوج، کرمان، سیرجان و زاهدان به ترتیب به ۰/۸۹-، ۰/۸۷-، ۰/۶۶- و ۰/۶۴- افزایش یافته است.

میانگین مقادیر همبستگی بین بارش و مقادیر SST ایستگاه‌ها هنگام وقوع فازهای گرم و سرد ENSO نیز نشان داد مقادیر همبستگی در فاز لانینا در ماه‌های OND و MAM با مقادیر به ترتیب ۰/۵۲- و ۰/۳۹- بیشتر از مقادیر همبستگی فاز ال‌نینو است و در بقیه ماه‌ها مقادیر همبستگی فاز ال‌نینو بیشتر از فاز لانینا است. بررسی درصد فراوانی تعداد همبستگی پیکسل‌ها در ماه‌های مختلف در تمامی ایستگاه‌ها در فازهای ال‌نینو و لانینا نیز نشان داد در هر دو فاز ال‌نینو و لانینا پیکسل‌های ۸ و ۷ بیشترین درصد فراوانی را دارند. به طوری که در فاز ال‌نینو پیکسل‌های ۷ و ۸ به ترتیب با ۳۰ و ۲۸ درصد و در فاز لانینا پیکسل‌های ۷ و ۸ به ترتیب با ۲۸ و ۲۹ درصد، بیشترین فراوانی را در بین پیکسل‌های مؤثر در این دو فاز دارند. همچنین، پیکسل‌های ۴ و ۵ واقع در دریای عمان کمترین فراوانی را بین پیکسل‌ها دارند (شکل ۷) که این یافته‌ها با یافته‌های بخش قبلی که نشان داد دمای سطح آب دریای سرخ و اقیانوس هند بیشترین تأثیر را بر بارش ایستگاه‌های مطالعه‌شده دارند، هم‌راستا است.

در ادامه، نقشه‌های پهنه‌بندی ضریب همبستگی میان اندازه دمای سطح دریا با بارش ایستگاه‌ها در ماه‌ها و فصل‌های بررسی‌شده ارائه شد. شکل ۶ این نقشه‌ها را که با استفاده از روش درون‌یابی IDW در محیط نرم‌افزاری ArcGIS تهیه شده است را نشان می‌دهد. همان‌طور که تصاویر یادشده نشان می‌دهد، از ماه‌های ژانویه تا آپریل میزان همبستگی از غرب تنگه هرمز به سمت شرق آن حرکت می‌کند. به طوری که نقشه‌ها نشان می‌دهند در ماه فوریه مناطق غرب تنگه هرمز ضریب همبستگی بیشتری نسبت به شرق آن داشته و در ماه مارس مناطق شرقی تنگه هرمز ضریب همبستگی بیشتری نسبت به غرب آن دارند و این حرکت غرب به شرق در ماه آپریل به سمت مناطق مکران سیستان و بلوچستان ادامه دارد. به طوری که بیشترین همبستگی در مناطق شمالی سیستان و بلوچستان است و دوباره در ماه اکتبر از شمال سیستان و بلوچستان به سمت کرمان و شیراز حرکت می‌کند. به طوری که بیشترین ضریب همبستگی در مناطق کرمان و شیراز و کمترین ضریب همبستگی در استان سیستان و بلوچستان است. در ماه دسامبر مناطق ساحلی تنگه هرمز و سواحل دریای عمان و مکران کمترین همبستگی را دارند. نقشه‌های میانگین ماهانه ماه‌های ژانویه تا آپریل نیز نشان داد مناطق ساحلی دریای عمان و سواحل مکران ضریب همبستگی بیشتری نسبت به مناطق ساحلی تنگه هرمز دارند. و میانگین ماهانه اکتبر تا دسامبر نیز نشان داد کلیه مناطق ساحلی تنگه هرمز و دریای عمان کمترین ضریب همبستگی را در این ماه‌ها دارند.

#### ارتباط SST و بارش در دوره‌های ال‌نینو و لانینا

برای بررسی ارتباط SST و بارش، سری زمانی Nino3.4 طی دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۱۹ به دوره‌های ال‌نینو، لانینا و خنثی تقسیم شد. جدول ۴ تعداد سال‌های ال‌نینو و لانینا طی دوره ۱۹۵۷-۲۰۱۹ را نشان می‌دهد. پس از آن، همبستگی میان اندازه SST و بارش در دوره‌های لانینا و ال‌نینو بررسی شد. جدول ۳ اندازه همبستگی میان SST و بارش در دوره‌های

جدول ۴. تعداد سال‌های ال‌نینو و لانینا طی دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۱۹

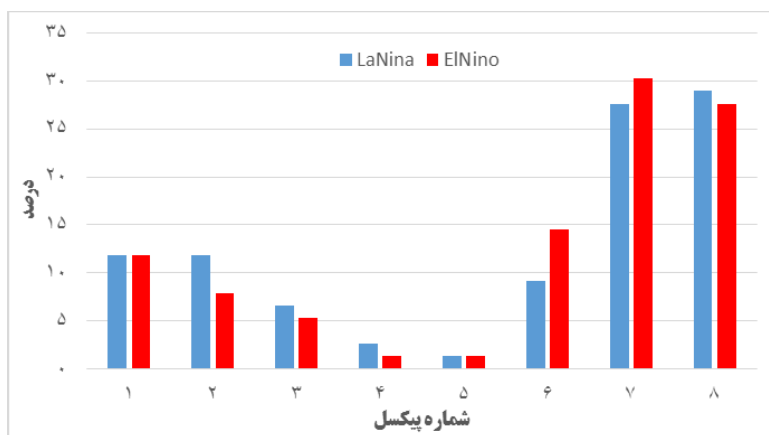
MJJ	AMJ	MAM	FMA	JFM	DJF	NDJ	OND	SON	ASO	JAS	JJA	
۱۳	۱۳	۱۳	۱۵	۲۱	۲۵	۲۵	۲۵	۲۳	۲۰	۱۵	۱۵	El Niño
۱۴	۱۵	۱۲	۱۷	۱۸	۲۱	۲۲	۲۲	۲۰	۱۸	۱۸	۱۸	La Niña

JJA ژوئن، جولای، آگوست؛ JAS جولای، آگوست، سپتامبر؛ ASO آگوست، سپتامبر، اکتبر؛ OND اکتبر، نوامبر، دسامبر؛ NDJ نوامبر، دسامبر، ژانویه؛ DJF دسامبر، ژانویه، فوریه؛ JFM ژانویه، فوریه، مارس؛ FMA فوریه، مارس، آپریل؛ MAM مارس، آپریل؛ می؛ AMJ آپریل، می، ژوئن؛ MJJ می، ژوئن، جولای.

جدول ۵. مقادیر همبستگی SST و بارش ایستگاه‌های مطالعه‌شده در دوره‌های لایننا و ال‌نینو

ایستگاه	MAM		FMA		JFM		DJF		NDJ		OND	
	cc	np	cc	np	cc	np	cc	np	cc	np	cc	Np
بندرعباس	-۰/۴۴	۸	-۰/۳۸	۸	-۰/۳۷	۸	-۰/۳۴	۷	-۰/۲۱	۶	-۰/۳۷	۱
	-۰/۳۱	۸	-۰/۴۲	۶	-۰/۳۵	۱	-۰/۳۸	۱	-۰/۲۶	۱	-۰/۲۰	۴
بندرلنگه	-۰/۴	۶	-۰/۳	۶	-۰/۲۷	۷	-۰/۲۷	۷	-۰/۳۱	۷	-۰/۴۷	۸
	-۰/۴۷	۲	-۰/۴	۶	-۰/۶	۲	-۰/۴۵	۸	-۰/۳۷	۸	-۰/۳۳	۸
چابهار	-۰/۳۲	۷	-۰/۲۳	۸	-۰/۶۳	۷	-۰/۶	۱	-۰/۳۴	۱	-۰/۴۳	۶
	-۰/۲۶	۶	-۰/۴	۶	-۰/۴۸	۸	-۰/۵۷	۷	-۰/۴	۷	-۰/۵۴	۷
فسا	-۰/۲۷	۸	-۰/۳۷	۸	-۰/۳۴	۸	-۰/۳۵	۸	-۰/۲۲	۸	-۰/۳۳	۸
	-۰/۳۱	۶	-۰/۴۹	۸	-۰/۳۷	۸	-۰/۲۶	۱	-۰/۱۷	۱	-۰/۲۵	۳
ایران‌شهر	-۰/۳۶	۶	-۰/۲۱	۸	-۰/۳۶	۷	-۰/۳۸	۷	-۰/۴۵	۷	-۰/۵۸	۳
	-۰/۳۷	۶	-۰/۲۵	۷	-۰/۴	۷	-۰/۲۸	۸	-۰/۳۸	۷	-۰/۳۶	۱
جاسک	-۰/۵	۶	-۰/۳۱	۷	-۰/۴۵	۸	-۰/۵	۱	-۰/۴۴	۷	-۰/۴۵	۳
	-۰/۳۶	۸	-۰/۴۵	۶	-۰/۳۹	۷	-۰/۳۶	۷	-۰/۴۹	۸	-۰/۱۴	۸
کهنوج	-۰/۵۴	۲	-۰/۵۱	۸	-۰/۳۷	۷	-۰/۲۴	۸	-۰/۲۲	۸	-۰/۵۷	۲
	-۰/۲۲	۶	-۰/۵۱	۷	-۰/۵۷	۷	-۰/۵۳	۷	-۰/۸۹	۱	-۰/۴۲	۸
کرمان	-۰/۵۶	۲	-۰/۵۴	۶	-۰/۳۹	۷	-۰/۲۲	۸	-۰/۲	۸	-۰/۴۹	۳
	-۰/۲۴	۶	-۰/۵۳	۷	-۰/۵۹	۷	-۰/۵۱	۷	-۰/۸۷	۷	-۰/۶۷	۸
کیش	-۰/۳۸	۱	-۰/۴	۲	-۰/۲۱	۷	-۰/۱۳	۷	-۰/۴۶	۴	-۰/۶۸	۵
	-۰/۴۱	۶	-۰/۵۵	۷	-۰/۴۶	۷	-۰/۴۵	۲	-۰/۳۱	۲	-۰/۱۵	۲
میناب	-۰/۲۸	۶	-۰/۲	۲	-۰/۲۹	۳	-۰/۳۹	۷	-۰/۵۸	۴	-۰/۶۳	۴
	-۰/۲۶	۸	-۰/۴۲	۶	-۰/۶۲	۲	-۰/۵۳	۸	-۰/۴۲	۸	-۰/۳۵	۸
شیراز	-۰/۴۶	۸	-۰/۲	۸	-۰/۱۲	۲	-۰/۳۷	۱	-۰/۵۳	۱	-۰/۵۳	۱
	-۰/۲۸	۱	-۰/۲۶	۸	-۰/۳۷	۷	-۰/۲۹	۱	-۰/۱۶	۸	-۰/۱۶	۸
سیرجان	-۰/۲۲	۱	-۰/۴۴	۲	-۰/۴۴	۲	-۰/۴۳	۶	-۰/۸۲	۷	-۰/۷۶	۳
	-۰/۷۷	۷	-۰/۴۶	۷	-۰/۴۷	۷	-۰/۷۳	۵	-۰/۶۶	۷	-۰/۵۴	۸
زاهدان	-۰/۳۸	۸	-۰/۲۷	۷	-۰/۵۲	۷	-۰/۳۶	۷	-۰/۴۴	۷	-۰/۵۲	۲
	-۰/۳۶	۳	-۰/۲۷	۳	-۰/۵۲	۳	-۰/۴۲	۷	-۰/۶۴	۷	-۰/۴۵	۷
میانگین	-۰/۳۹	-	-۰/۳۴	-	-۰/۳۷	-	-۰/۳۵	-	-۰/۴۰	-	-۰/۵۲	-
ایستگاه‌ها	-۰/۳۶	-	-۰/۴۱	-	-۰/۴۷	-	-۰/۴۴	-	-۰/۴۶	-	-۰/۳۵	-

OND اکتبر، نوامبر، دسامبر؛ NDJ نوامبر، دسامبر، ژانویه؛ DJF دسامبر، ژانویه، فوریه؛ JFM ژانویه، فوریه، مارس؛ FMA فوریه، مارس، آوریل؛ MAM مارس، آوریل، می؛ cc ضریب همبستگی؛ np شماره پیکسل



شکل ۷. نمودار درصد فراوانی تعداد همبستگی پیکسل‌ها در تمامی ایستگاه‌ها در دوره‌های ال‌نینو و لایننا

### بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر به بررسی ارتباط پیوند از دور با بارش ایستگاه‌های سینوپتیک مناطق جنوبی کشور در نزدیکی مناطق ساحلی تنگه هرمز پرداخته شد. به این منظور، از دو پدیده ENSO و SST استفاده شد. بنابراین، ابتدا همبستگی بین SST و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک بررسی شد. برای تعیین مؤثرترین نقطه SST روی بارش منطقه ۳ پیکسل در خلیج فارس، ۲ پیکسل در دریای عمان، ۲ پیکسل در شرق دریای عربی و یک پیکسل در دریای سرخ برای دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۱۹ انتخاب شد. در این مطالعه علاوه بر بررسی SST تک‌تک این پیکسل‌ها با بارش، تأثیر اختلاف شیب SST پیکسل‌ها نیز بررسی شد. و در ادامه، نقشه پهنه‌بندی همبستگی مقادیر SST و بارش ماه‌های سرد سال با ایستگاه‌های مطالعه‌شده تهیه شد.

نتایج نشان داد در تمامی ماه‌ها و ایستگاه‌ها، همبستگی بارش و SST منفی است. بیشترین ضریب همبستگی مربوط به ایستگاه سیرجان در ماه دسامبر با مقدار  $-0/65$  و در ارتباط با اختلاف شیب دمایی سطح آب پیکسل‌های ۳ با ۸ است. همچنین، یافته‌ها نشان داد اختلاف شیب دمایی SST پیکسل‌ها موجب بهبود بسیار خوب نتایج و ضریب همبستگی در ایستگاه‌ها شد.

بررسی ارتباط SST و بارش در دوره‌های ال‌نینو و لائینا پرداخته شد. یافته‌ها نشان داد مقادیر همبستگی بین بارش و مقادیر SST هنگام وقوع فازهای گرم و سرد ENSO نسبت به حالتی که کل داده‌ها در محاسبات دخالت داشتند، در اغلب ایستگاه‌ها به صورت درخور توجهی بهبود یافته است. یافته‌ها نشان داد در ماه‌های پاییز و بهار در دوره لائینا، SST بیشتر پیکسل‌ها در این ماه‌ها دارای ضریب همبستگی بیشتری هستند و در ماه‌های اواخر زمستان بیشتر پیکسل‌ها در دوره ال‌نینو ضریب همبستگی بیشتری دارند. بنابراین، می‌توان بیان داشت که فصول پاییز و بهار پدیده لائینا موجب همبستگی بیشتر SST و بارش در مناطق ساحلی تنگه هرمز و در ماه‌های زمستان پدیده ال‌نینو موجب همبستگی بیشتر SST و بارش در این مناطق می‌شود، به طوری که این همبستگی منفی و نسبتاً قوی است. به بیانی، در دوران لائینا و ال‌نینو وقتی که SST پیکسل‌های اشاره‌شده از مقدار میانگین درازمدت خود کمتر یا بیشتر می‌شود، بارش عموماً در جهت معکوس عمل

می‌کند و به ترتیب بیشتر یا کمتر از معمول خواهد بود. این نتایج در بخش تأثیر فاز سرد (لائینا) هم‌راستای نتایج پژوهش ناظم‌السادات و همکاران [۵] است، به طوری که نتایج پژوهش محققان یادشده نشان داد همبستگی بین بارش نواحی غربی و شمال غربی ایران و مقادیر PGSST در دوران لائینا منفی و نسبتاً قوی است. اما در بخش تأثیر فاز گرم (ال‌نینو) مغایر با نتایج پژوهشگران یادشده است. به طوری که نتایج پژوهش آنها مبین این نکته است که محدود کردن بررسی‌ها به فاز گرم ENSO، باعث تقویت همبستگی بین بارش زمستانه نواحی غربی و شمال غربی کشور و دمای سطح آب خلیج فارس نمی‌شود.

بررسی نتایج درصد فراوانی پیکسل‌ها نیز نشان داد پیکسل‌های ۱، ۷ و ۸ بیشترین تأثیر را بر بارش ایستگاه‌های مطالعه‌شده داشته‌اند، به طوری که می‌توان بیان داشت که سه رأس مثلث غرب خلیج فارس، دریای سرخ و اقیانوس هند بیشتر تأثیر و پیکس‌های ۴ و ۵ واقع در دریای عمان کمترین تأثیر را بر بارندگی مناطق مطالعه‌شده دارند. بررسی درصد فراوانی تعداد همبستگی پیکسل‌ها در ماه‌های مختلف در تمامی ایستگاه‌ها در فازهای ال‌نینو و لائینا نیز نشان داد در هر دو فاز ال‌نینو و لائینا پیکسل‌های ۸ و ۷ بیشترین درصد فراوانی را دارند. همچنین پیکسل‌های ۴ و ۵ واقع در دریای عمان کمترین فراوانی را بین پیکسل‌ها دارند. که این نتیجه با نتایج مطالعه ناظم‌السادات [۱۱] که نشان داد توده‌های هوای باران‌زایی که تحت عنوان «جریان سودانی» شناخته می‌شوند و پس از عبور از عربستان از طریق خلیج فارس وارد کشور می‌شوند، سهم زیادی در بارش‌های سالانه نواحی جنوبی ایران دارند. همچنین، با نتایج پژوهش رحیمی خوب که بیان داشت اثر هم‌زمان دمای سطح آب دریای سرخ روی حداکثر بارش ایلام بیشتر از تأثیر دمای سطح آب خلیج فارس است، همخوانی دارد.

### منابع

- [1]. Nazemosadat M J, Ghaedamini H, Tavakoli M. Investigating the climate change diagnostics over the north western parts of the Indian Ocean: The SST analysis for the period 1950-2009. Iranian Journal of Geophysics. 2014; 8(2): 26-40. (Persian)
- [2]. Hasanzadeh E, Najarkhodabakhsh H. Sea surface temperature and Ekman transport in the Persian Gulf. IJPR. 2002; 3 (3):213-222. (Persian)

- [3]. Levitus S. Climatology Atlas of World Ocean, NOAA Profesional Paper, 13, US. Gov. Printing Office. 1982; 173pp
- [4]. Jones S R, Jeffs T M. Near surface sea temperature in coastal waters of the North Sea, English chanel and Irish Sea, Data Report MAFF Direct, Fish, Res., Lowestoft. 1991; 24- 70.
- [5]. Nazemosadat M J, Gasemi A, Amin S, Soltani A. The Simultaneous Effect of ENSO and Persian Gulf SSTs on the Occurrence of the Drought and Wet Condition over the Western and Northwestern Parts of Iran. Journal of Agricultural Knowledge. 2009; 18(3): 1-17. (Persian)
- [6]. Merchant CJ, Minnett PJ, Beggs H, Corlett GK, Gentemann C, Harris AR, Hoyer J, Maturi E. Global sea surface temperature. In Taking the Temperature of the Earth. 2019; 5-55
- [7]. Sun H, Furbish D J. Annual precipitation and river discharges in Florida in response to El Niño- and La Niña- sea surface temperature anomalies. Journal of Hydrology. 1997; (2):74-87.
- [8]. Ji C, Zhang Y, Cheng Q, Li Y, Jiang T, San Liang X. Analyzing the variation of the precipitation of coastal areas of eastern China and its association with sea surface temperature (SST) of other seas. Atmospheric Research. 2019; 219:114-22.
- [9]. Heng C, Lee T, Kim JS, Xiong L. Influence analysis of central and Eastern Pacific El Niños to seasonal rainfall patterns over China using the intentional statistical simulations. Atmospheric Research. 2020; 233:104706.
- [10]. Nazemosadat M J, Cordery I, Eslamian S. The impact of the Persian Gulf Sea surface temperature on Iranian rainfall, Proceedings of the Iranian Water Resource Management Conference, Esfahan, Iran, 1995; 809-819
- [11]. Nazemosadat MJ. The Persian Gulf Sea Surface Temperature as a drought diagnostic for southern parts of Iran. Drought News Network. 1998; 10:12-14.
- [12]. Nazemosadat MJ. Improving neural network models for forecasting seasonal recipitation in southwestern Iran: The evaluation of oceanic atmospheric indices. Advances in Geosciences. 2008; 16: 133-145
- [13]. Khosravi M, Salighe M, Sabaghi B. The Effects of Oman Sea Surface Temperature Anomalies in autumn and Winter Precipitation of Southeast Coasts of Iran. Journal of Geography and Planning. 2012; 16(37): 59-81. (Persian)
- [14]. Pourasghar F, Ghaemi H, Jahanbakhsh S, Sarisarraf B. Variability of Precipitation in Southern Part of Iran and Linkage to Indian Ocean Sea Surface Temperature. Geography and Environmental Planning. 2017; 28(2): 145-166. (Persian)
- [15]. Hulme M, Kelly M. Exploring the links between desertification and climate change. Environment: Science and Policy for Sustainable Development. 1993; 35(6), 4-45.
- [16]. Nazemosadat M J, Ghasemi A R. The Influence of the Caspian Sea SSTs on winter and Spring Precipitation over Northern and Southwestern Parts of Iran. JCPP. 2005; 8 (4):1-15. (Persian)
- [17]. Davey MK, Brookshaw A, Ineson S. The probability of the impact of ENSO on precipitation and near-surface temperature. Climate Risk Management. 2014; 1:5-24.
- [18]. Nazemosadat M J, Ansaribasir A, Pishvaei M R. Significance Level in the ENSO- based Prediction of Autumnal Dryness and Wetness in Iran. Iran Water Resources Research. 2007; 3(1): 12-24. (Persian)
- [19]. Angell J K, Korshover J. Variability in United States Cloudiness and its Relation to El Niñ. Journal of climate and applied meteorology. 1987; 26(5), 580-584.
- [20]. Xi H, Zhang Z, Lu Y, Li Y. Long-term and interannual variation of the steric sea level in the South China Sea and the connection with ENSO. Journal of Coastal Research. 2019; 35 (3):489-98.
- [21]. Walker DA. More evidence indicates link between El Ninos and seismicity. EOS, Transactions American Geophysical Union. 1995; 76 (4), 33-36.
- [22]. Nazemosadat M J, Mehravar S, Ghaedamini H. Evaluation of the Simultaneous Interactions of ENSO and MJO on the Occurrence of Dry and Wet Spells in Iran, Iran Water Resources Research. 2013; 9(1): 48-60. (Persian)
- [23]. Mason SJ, Goddard L. Probabilistic precipitation anomalies associated with EN SO. Bulletin of the American Meteorological Society. 2001; 82(4):619-38.
- [24]. Nazemosadat MJ, Cordery I. on the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran. International Journal of Climatology. 2000; 20:47-61.
- [25]. Nazemosadat MJ, Ghasemi AR. quantifying the ENSO Related Shifts in the intensity and Probability of Drought and Wet periods in Iran. Journal of Climate. 2004; 17(20): 4005-4018.

- [26]. Nazemosadat M J, Nozar S, Niko M. ENSO forcing on climate change in Iran: Precipitation analysis. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B: Engineering*. 2006; 30-55. (Persian)
- [27]. Nazemosadat M J, Shirvani A. The Application of CCA for the Assessment and Comparison of the Capability of SOI and Nion's SST for the Prediction of Winter Precipitation over the Caspian Sea Coasts. *JWSS*. 2004; 8 (1):11-25. (Persian)
- [28]. Sadeghi AR, Kamgar-Haghighi AA, Sepaskhah AR, Khalili D, Zand-Parsa S. Regional classification for dryland agriculture in southern Iran. *Journal of Arid Environments*. 2002; 50 (2):333-41.
- [29]. Ghaedamini H, Nazemosadat M J, Kouhizadeh M, Sabziparvar A. Individual and coupled effects of the ENSO and PDO on autumnal dry and wet periods in the southern parts of Iran. *Iranian Journal of Geophysics*. 2014; 8(2): 92-109. (Persian)
- [30]. Delbari M, Amiri M, Piri J, Safavi M. Calibration of TRMM 3B43 precipitation data in Hormozgan province. *Irrigation & Water Engineering*. 2019; 9(35): 99-112. (Persian)