

تحلیل روند فراوانی ورود سامانه‌های سودانی به ایران (مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز جنوب و جنوب غرب کشور)

چکیده

سامانه سودانی مهم‌ترین سامانه تأمین‌کننده بارش و ذخایر آبی حوضه‌های آبریز جنوب کشور است. در سال‌هایی که شرایط همدیدی مناسبی برای تقویت و گسترش این سامانه بر روی ایران فراهم می‌شود، نه تنها بخش جنوبی کشور بلکه بیشتر قسمت‌های کشور با نزولات جوی خوبی همراه است؛ بنابراین افزایش یا کاهش تعداد سامانه‌های سودانی ورودی به منطقه، در ساختار اکویولوژیکی تالاب‌ها و بیابان آبی پرآب‌ترین حوضه‌های آبی در جنوب و جنوب غرب کشور بسیار مهم و حیاتی است. در پژوهش حاضر هدف مطالعه روند تاریخی ورود این سامانه (۱۹۹۵-۲۰۱۷) به این بخش از کشور است. از این رو، پس از صحت سنجی داده‌های بارش روزانه ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۷ ایستگاه‌های منتخب، سامانه‌های بارشی با منشأ سودانی مستقل برپایه سنجه‌های انتخابی از سه مسیر اصلی هرمزگان، بوشهر و خوزستان (به تفکیک سال، ماه و دوره تداوم) شناسایی و با به‌کارگیری روش‌های آماری خط بهترین برازش، من-کندال و تخمینگر شیب سن، تغییرات زمانی آن‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد؛ علی‌رغم وجود روند و شیب تغییرات کاهشی در فراوانی ورود سامانه‌های سودانی، اما به علت عدم معنی‌داری بیشتر روندها، فراوانی ورود سامانه‌های سودانی در هر سه مسیر دارای حالت پایدار و فاقد روندی است که بتوان آن را به تغییرات آب و هوایی نسبت داد. با این حال دوره تداوم بارش سامانه‌های سودانی در هر سه مسیر کوتاه مدت و عموماً به صورت سامانه‌های ۱ تا ۳ روز و بندرت دوره فعالیت آن‌ها ۵ روزه و بالاتر است؛ بنابراین قلت و ماهیت رگباری و کوتاه‌مدت بارش سامانه‌های سودانی را، همچنان باید به‌عنوان یک اصل پذیرفت و در آینده منتظر وقوع خشک‌سالی و بارش‌های شدید و سیل‌آسا از سامانه سودانی بود. در نتیجه وضعیت پایداری اکوسیستم‌های آبی تالاب‌ها و حوضه‌های آبی جنوب و جنوب‌غرب کشور در آینده شکننده خواهد بود.

واژگان کلیدی: روند، سامانه سودانی، حوضه آبریز، جنوب و جنوب غرب ایران.

مقدمه

بارش (با متوسط سالانه ۲۵۰ میلی‌متر و کمتر از یک‌سوم متوسط سالانه بارش کره زمین با ۹۶۰ میلی‌متر) مهم‌ترین منبع تأمین آب در ایران است. بارش از متغیرهای مهم در شناسایی تغییرات آب و هوایی و همچنین پاسخ آشکار محیط به تغییر آب‌وهوا در مقیاس منطقه‌ای است (کاناروزو و دیگران، ۲۰۰۶). هرگونه تغییر زمانی-مکانی در رفتار بارش می‌تواند منشأ تغییراتی در بوم‌سازگان‌ها شود. در ایران تغییرات و نوسانات بارش تحت تأثیر دودسته عوامل محلی و بیرونی است. عوامل بیرونی به‌واسطه‌ی اینکه جزء ذاتی سرزمین ایران نیستند، دارای تغییرات زمانی بیشتری در کوتاه‌مدت هستند. از جمله‌ی این عوامل بیرونی سامانه بارشی سودانی است. این سامانه در آغاز یک کم‌فشار گرمایی است که محل تکوین آن مناطق پیرامون دریای سرخ بوده و خطوط کم‌فشار آن جنوب دریای سرخ، سودان و اتیوپی را در برمی‌گیرد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱). سامانه سودانی در شمال آفریقا در فصل تابستان به‌صورت یک کم‌فشار گرمایی عمل می‌کند اما در دوره سرد سال رفتار آن به‌صورت پویا است. هرچقدر چرخنده‌های ایجادشده توسط این کم‌فشار به عرض ۳۰ درجه نزدیک‌تر شوند، بیشتر در مسیر بادهای غربی قرار می‌گیرند و کاملاً به صورت پویا

شاپور قاضی پور^۱

حسن لشکری^{۲*}

منوچهر فرج زاده اصل^۳

۱. دانشجوی دکترای آب و هواشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۳. استاد گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

*مسئول مکاتبات:

dr_lashkari^۱@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۹۰۴۰۸۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۵

این مقاله پژوهشی و برگرفته از رساله
دکتری است.



درمی آیند (جوانمرد و همکاران، ۱۳۸۲). از این رو این سامانه‌ها ضمن حرکت مورب به سوی نواحی شمال یا شمال شرق (پرک و همکاران، ۱۳۹۴)، از غرب، جنوب غرب، استان خوزستان، استان بوشهر و هرمزگان وارد کشور و بارش‌های فراگیری در ایران ایجاد می‌کند (لشکری، ۱۳۸۱). همواره برهم کنش، همبستگی سامانه‌ها و الگوهای جوی با رژیم بارش مناطق مختلف کره زمین مورد توجه پژوهشگران آب و هواشناسی بوده است. در این باره در بیرون ایران؛ لمب (۱۹۷۷)، همبستگی میان بارش به عنوان متغیرترین پدیده جوی و الگوهای گردش جو، بسیار قوی می‌داند و معتقد است، با شناسایی الگوهای گردش جو می‌توان تغییرات؛ فراوانی، شدت و توزیع مکانی بارش را بیان کرد. مکابه (۲۰۰۱)، معتقد است؛ در سال‌های اخیر شدت فعالیت‌های سیکلونی عرض‌های میانه کاهشی و هم‌زمان شدت فعالیت الگوهای چرخندی عرض‌های بالا افزایشی است. چارلز و دیگران (۲۰۰۲)، معتقدند بین ویژگی‌های چرخنداره‌ای (قدرت، اندازه و سرعت حرکت آن‌ها) و مجموع بارش همبستگی وجود دارد. آلبرت (۲۰۰۴)، سامانه سودانی را گاهی مهم‌ترین سازوکار بارش‌زا در برخی از مناطق شرق مدیترانه می‌داند. تسولی و زنگویل (۲۰۰۵) معتقد، تراف دریای سرخ در اکتبر و نوامبر و با یک بیشینه ثانویه در آوریل شایع‌تر و از ژوئن تا اواسط آگوست فراوانی رخداد آن‌ها ناچیز است. همچنین تغییر مکان آن‌ها از سپتامبر تا ژانویه به طرف غرب و از فوریه تا می به طرف شرق است. کونراد و پری (۲۰۱۰)، در پژوهشی معتقدند وابستگی قوی بین بارندگی و حرکت چرخندهایمداری (فروبار مداری، توفان‌های مداری و هاریکان‌ها)، در سرتاسر منطقه‌ی کارولینای ایالات متحده آمریکا وجود دارد. بالین‌حال، جمع کل بارش با هر چرخند مداری ارتباط دارد. مایکل و دیگران (۲۰۱۸) در پژوهشی معتقدند؛ منطقه همگرایی بین حاره‌ای (TCZ: The intertropical convergence zone) کمربند سیاره‌ای بارش‌های سنگین نزدیک به استوا است که در دهه‌های اخیر این کمربند باریک و بارش آن در حوضه‌های اقیانوس اطلس و آرام تقویت شده ولی تغییرات قاطعی در مکان آن ایجاد نشده است. سارونی و دیگران (۲۰۱۹)، معتقدند تراف دریای سرخ یک ناوه با فشار کم است که از جنوب به سمت شام امتداد دارد. پاییز فصل اصلی این تراف، بیشینه وقوع آن در ماه نوامبر، کمینه آن در ژوئیه، فراوانی سالانه آن در بین منابع داده بین ۱۷/۶ و ۲۴/۶ درصد متغیر و محور ناوه از نوسان روزانه برخوردار است؛ اما هیچ روند بلندمدتی (۱۹۷۹-۲۰۱۶) ندارد. احمد و دیگران (۲۰۱۹)، در پژوهشی معتقدند؛ جریان جت در سطح پایین در جنوب دریای سرخ در زمستان رخ می‌دهد که در این موقع هوای خنک و متراکم در جنوب تنگه باب المندب توسط یک رژیم همدیدی شامل یک سامانه فشارقوی روی شرق شبه‌جزیره عربستان و سامانه کم‌فشار سودان روی سودان به سمت شمال گسترش می‌یابد. محمد و دیگران (۲۰۱۹)، در پژوهشی معتقدند؛ کم ارتفاع سودان در حدود ۶۹/۵ درصد بهار فعال و در حدود ۵۶/۲ درصد از این زمان کم ارتفاع سودان در داخل تراف دریای سرخ گسترش یافته است. سه ناحیه اصلی پیدایش تراف دریای سرخ، سودان، سودان جنوبی و دریای سرخ که بیشتر روی سودان جنوبی است. سه منطقه اصلی بیرونی تراف دریای سرخ در غرب، شرق و شمال دریای سرخ است که بیشتر در منطقه شرقی است. جهت جابجایی این تراف‌ها تحت تأثیر سامانه‌های پرفشار سیبری و آژور به سمت شرق و شمال است. پژوهش‌های موردی نشان می‌دهند وقتی منطقه شمالی تحت تأثیر یک سامانه فشارقوی قرار داشته باشد و هسته باد حداکثر فوقانی در بالای شبه‌جزیره شمال عربستان واقع شود، کم ارتفاع سودان به داخل تراف دریای سرخ گسترش نمی‌یابد. المزروعی و دیگران (۲۰۱۹) در پژوهشی منشأ چرخندها بهار عربستان را دو منطقه چرخندازی؛ الف) الجزایر به‌ویژه جنوب کوه‌های اطلس و ب) لیبی و مصر است که چرخندهای مسیر ب در دهه‌های اخیر افزایش یافته و تأثیر بیشتری بر آب‌وهوای عربستان دارند. عادل و دیگران (۲۰۱۹)، در پژوهشی معتقدند؛ کم ارتفاع سودان در حدود ۶۰/۶ درصد در پاییز و تقریباً ۸۳ درصد سامانه‌های کم‌فشار شناسایی شده در داخل تراف‌های دریای سرخ گسترش یافته است که بیشتر در شب و ماه‌های سرد است. سودان، سودان جنوبی و دریای سرخ مناطق اصلی توسعه این تراف‌ها هستند. ۹۷ درصد این تراف‌ها در مناطق اصلی و در مناطق بیرونی تحت تأثیر تراف‌های دریای سرخ که شامل مناطق جنوبی، مرکزی و شمالی دریای سرخ است، تقریباً ۹۱ درصد از تراف‌های ناشی از مناطق اصلی را دریافت می‌کند. کم‌فشار سودان وقتی تراف دریای سرخ ژرف‌تر باشد گسترش می‌یابد. تراف‌های دریای سرخ هنگامی که سامانه‌های بالای چرخند و واچرخندی شیب ژئوپتانسیلی بالایی را روی شبه‌جزیره عربستان تشکیل می‌دهند، به سمت شمال گسترش می‌یابند. علاوه بر این هنگامی پراارتفاع آژور به سمت شرق امتداد یابد و پرفشار سیبری به سمت شرق و یا شمال جمع شود، تراف‌های دریای سرخ از غرب به شرق جابه‌جا می‌شود. هوچمن و دیگران (۲۰۲۰)، در پژوهشی معتقدند در مدیترانه شرقی بخش عمده‌ی

از بارش به کم ارتفاع قبرس مربوط است. از این رو کاهش رخداد میزان بارش روزانه بر روی اسرائیل و خشکی پیش‌بینی شده بر روی مدیترانه شرقی می‌تواند مرتبط به کاهش در فراوانی کم ارتفاع قبرس و کاهش در محور حرکت کم ارتفاع قبرس باشد. مانا و دیگران (۲۰۲۰)، در پژوهشی معتقدند؛ جریان جت در بیش از ۸۷ درصد زمان در سطح ۲۰۰ هکتوپاسکال و در بیش از ۸۳ درصد موارد در بین ۲۰ تا ۳۵ درجه شمالی قرار دارد. توزیع سالانه زمستانی این جریان (۲۰۱۶-۱۹۵۸) دارای دو روند متمایز کاهشی (در سال ۱۹۸۷ به پایان رسید) و افزایشی با سرعت کم (در سال ۱۹۸۸ آغاز شد) است. تغییر جنوب سوی جریان جت، گسترش سامانه‌های کم فشار بر روی آفریقا و مدیترانه شدت بخشیده و شرایط مساعد برای گسترش شمالی سوی تراف دریای سرخ فراهم آورده. تغییر جهت شمال سوی آن‌ها مرتبط بوده با شدت یافتن سامانه پرفشار آזור بر آفریقا و دریای مدیترانه جنوبی است. علاوه بر این، تغییرات زمانی جریان جت نشان داد که تشدید سامانه پرفشار (به عنوان مثال، آזור و اوج سیبری) متمایل به کاهش فراوانی جریان جت در سطح ۲۰۰ هکتوپاسکال است. عبدالحلیم و دیگران (۲۰۲۰)، در پژوهشی معتقدند؛ ۳۷/۴۵ درصد این تراف‌ها در زمستان و تقریباً ۶۴ درصد از آن‌ها جزء تراف‌های بلند هستند. تراف‌های بلند بیشتر در شب ایجاد و فراوانی آن‌ها از دسامبر تا فوریه به فراوانی کاهش می‌یابد. بیشترین فراوانی کم ارتفاع سودان در منطقه سودان جنوبی است. موقعیت‌های نسبی اجزای اصلی همدید منطقه در برگیرنده سامانه کم فشار اروپای شمالی، سامانه پرفشار آזור و یا سامانه پرفشار سیبری باعث می‌شود تراف‌های بلند دریای سرخ به ترتیب به سمت شرق یا بر فراز دریای سرخ متمرکز شوند. همچنین این بررسی نشان می‌دهد که ناحیه بیشینه هسته باد در شرایط حالت قوی به سمت شرق و در شرایط حالت ضعیف به سمت غرب دریای سرخ گسترش می‌یابد. در داخل ایران از این دست پژوهش‌ها کم انجام نشده است. در اینجا با توجه به هدف اصلی پژوهش به پژوهش‌هایی که درباره سامانه سودانی است اشاره می‌گردد؛ لشکری (۱۳۷۹) در پژوهشی معتقد است در شرایطی که تراف شمال آفریقا ژرف و بر روی مصر و سودان گسترش یابد، منطقه‌ی همگرایی دریای سرخ پویا شده و در زیر منطقه همگرایی با تراف به سمت شرق حرکت کرده و بارش‌های شدیدی بر روی جنوب و جنوب غرب ایران ایجاد می‌کند. ایشان (۱۳۸۱)، معتقد است سامانه‌های سودانی از ۵ مسیر، غرب، غرب و جنوب غرب، سمت شمال عربستان، کویت و خوزستان، سمت شمال عربستان و استان بوشهر و سمت مرکز عربستان و هرمزگان وارد ایران و موجب بارش می‌شوند. لشکری (۱۳۸۲)، همچنین در بررسی سازوکار تکوین، تقویت و گسترش مرکز کم فشار سودان، نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران تأیید می‌کند. اسدی و مسعودیان (۱۳۸۳)، معتقدند بارش‌های سیلابی سال ۱۳۸۰ شیراز، رطوبت مورد نیاز خود از سمت جنوب و جنوب غرب با گذر کم فشار سودانی از روی دریای سرخ و خلیج فارس دریافت کرده‌اند. مفیدی و زرین (۱۳۸۴)، معتقدند بیشترین فراوانی وقوع کم فشار سودانی ایران، در ماه دسامبر (آذر) و فصل زمستان است. گندم‌کار (۱۳۸۹)، عامل اصلی بروز بارش‌های شدید و سیل‌زا در نواحی جنوبی استان بوشهر، ورود سامانه‌ی کم فشار سودانی از جنوب و جنوب غرب کشور می‌داند. قاعدی و همکاران (۱۳۹۱)، معتقدند بارش‌های ناشی از فرود دریای سرخ بیشتر بر مناطق جنوب و جنوب غربی ایران تأثیر دارد. امیدوار و ترکی (۱۳۹۱)، علت ریزش بارش‌های سنگین استان چهارمحال و بختیاری، ترکیب کم فشار سودانی با کم فشار مدیترانه‌ای می‌دانند که باعث تقویت کم فشار سودانی می‌شود. لشکری و همکاران (۱۳۹۲)، بیان می‌کنند بارش‌های نیمه جنوبی کشور همبستگی نزدیکی با میزان تکاپو سامانه سودانی در دوره سرد سال دارد و این سامانه در بارش‌های سیل‌آسای نیمه جنوب و جنوب غرب کشور نقش نخست ایفا می‌کند. منتظری و همکاران (۱۳۹۲)، معتقدند مرکز کم فشار سودانی با عبور از روی شمال عربستان و خلیج فارس و جذب رطوبت از این دریا به تدریج وارد غرب و جنوب غرب ایران شده و باعث بارش می‌گردد. امیدوار و همکاران (۱۳۹۴)، معتقدند سامانه کم فشار سودانی پس از فعال شدن و تغذیه از طریق آب‌های گرم جنوبی ایران، سبب بارش فراگیر به ویژه در استان‌های جنوب و جنوب غرب ایران می‌شود. پرک و همکاران (۱۳۹۴)، معتقدند حرکت شرق سوی سامانه سودانی باعث ریزش بارش‌های همرفتی بسیار بالایی به میزان چهار برابر میانگین سالانه در جنوب و جنوب غرب ایران می‌شود. لشکری و محمدی (۱۳۹۴)، درباره اثر موقعیت پرفشار عربستان بر سامانه‌های بارشی در جنوب و جنوب غربی ایران بیان می‌کنند؛ به‌طور تقریبی وقتی هسته مرکزی پرفشار بر روی دریاهای گرم عمان و عرب قرار داشت. در تمام این سامانه‌های بارشی، مؤلفه‌های مداری باد بر روی دریای عرب و عمان شرقی و مؤلفه نصف‌النهاری آن‌ها شمالی بود که بیان‌کننده‌ی فرافت گرما و رطوبت از روی این دریاها به داخل کم فشار سودان است. بیشترین مقدار نم ویژه بر روی اتیوپی و جنوب دریای سرخ

قرار داشت که بر اثر جریان‌های جنوبی زبانه‌ی کم‌فشار در تراز دریا و جریان‌های جلو ناوه در ترازهای بالا بر روی ایران فرارفت می‌شود. بیات و همکاران (۱۳۹۶)، معتقدند چرخنده‌های مسیر جنوب غرب، از استان‌های خوزستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد وارد ایران می‌شوند. محمدی و لشکری (۱۳۹۷)، در پژوهشی باور دارند؛ در دوره ترسالی شدید پرفشار عربستان جابه‌جایی شرق سوی قابل توجه داشته، مهم‌ترین منبع رطوبت در لایه وردسپهر زیرین در همه سامانه‌های بارشی دریای عرب و عمان است و این رطوبت از طریق جریانات شرقی گردش و اچرخند پرفشار عربستان به درون سامانه سودانی و سپس در امتداد زبانه کم‌فشار بر روی منطقه منتقل شده است. ولی در لایه میانی وردسپهر این رطوبت به‌صورت شاخه‌ای از جریانات شرقی منطقه کمربند همگرایی بین حاره‌ای به جلو ناوه مدیترانه‌ای فرارفت می‌شود. لشکری و محمدی (۱۳۹۸)، در بررسی تغییرات بارش کم‌فشار سودانی (۲۰۱۷-۱۹۵۷)، هنگام دوره سرد سال (اکتبر تا می) در جنوب غرب ایران بیان می‌کنند، فعالیت این سامانه طی این دوره در ماه می کمتر و در ماه ژانویه بیشتر از دیگر ماه‌ها، فراوانی و شدت سامانه‌های دو روزه نسبت به دیگر دوره‌ها روبه افزایش و فراوانی ورود این سامانه‌ها به ایران سیر صعودی دارد. به‌طوری‌که نزدیک ۵۷ درصد کل بارش نازل شده در این محدوده مربوطه به سامانه‌های با منشأ سودانی مستقل است. این دو در پژوهشی دیگر (۲۰۱۹)، معتقدند آغاز بارندگی‌ها به‌ویژه در جنوب و جنوب غرب ایران، ارتباط نزدیکی با موقعیت و جابجایی پرفشار جنب حاره عربستان در پاییز به خارج از ایران دارند. در سال‌هایی که بارندگی دیرتر از حد معمول آغاز می‌شود، سامانه پرفشار جنب حاره عربستان دیرتر از شرایط عادی از جنوب غرب ایران خارج شده است. در شماری از سال‌ها سامانه پرفشار جنب حاره عربستان از منطقه خارج شده، ولی به سمت غرب یا مرز جنوبی خلیج فارس حرکت کرده است. در چنین شرایط امکان ورود سامانه بارشی به منطقه شدنی نیست. در این شرایط سامانه کم‌فشار سودان به‌عنوان کارآمدترین سامانه بارندگی در عرض جغرافیایی جنوبی روی سودان و اتیوپی مسدود و امکان گسترش در منطقه یا انتقال به مسیر دیگری برایش شدنی نیست. کیانی و دیگران (۲۰۱۹)، در پژوهشی معتقدند؛ دامنه‌های جنوبی کوه‌های زاگرس نقش تقویت‌کننده بر بارش سامانه‌های سودانی در این مناطق دارد. محمدی و لشکری (۲۰۲۰)، در پژوهشی معتقدند؛ کم‌فشار سودان یکی از کارآمدترین سامانه‌های فصل بارندگی ایران است. همچنین دوره‌های مختلف خشک و مرطوب با فعالیت این سامانه در فصل بارندگی ارتباط نزدیکی دارد. همچنین دامنه نفوذ این سامانه در هنگام فصل بارندگی افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش‌ها بالا نشان می‌دهد سامانه سودانی در آغاز گرمایی و در ادامه فعالیت خود تحت تأثیر سامانه‌ها و الگوهای جوی متعدد حالت پویایی پیدا کرده و به‌سوی شمال و شرق منشأ تشکیل خود حرکت کرده و پس از ورود به ایران به‌عنوان مهم‌ترین سامانه بارش‌های جوی در جنوب و جنوب غرب ایران عمل می‌کند. همچنین ورود و خروج آن از نظر فراوانی و ویژگی دارای تغییرات زمانی است که این مسئله می‌تواند باعث تغییراتی در رژیم بارش و منابع آبی این مناطق از کشور شود. افزون بر این پژوهش‌های انجام‌شده درباره فعالیت سامانه سودانی در جنوب و جنوب غربی ایران صرفاً هم‌دید و خلع بررسی روند فراوانی ورود این سامانه‌ها با به‌کارگیری روش‌های آماری در سال‌های اخیر کاملاً پیدا است. از این رو در پژوهش حاضر در جهت تکمیل نتایج پژوهش‌های بالا روند تاریخی فراوانی ورود سامانه‌های سودانی (۲۰۱۷-۱۹۹۵)، با استفاده از روش‌ها و داده‌های آماری، از سه مسیر مستقل ورودی استان‌های هرمزگان، بوشهر و خوزستان تحلیل و بررسی می‌گردد تا از یافته‌های آن در مدیریت کمی و کیفی ساختار اکویولوژیکی اکوسیستم‌های آبی، دریاچه‌ها، تالاب‌ها و حوضه‌های آبی خلیج فارس و غرب دریای عمان استفاده گردد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش بین ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی، در جنوب و جنوب غرب ایران قرار دارد و استان‌های هرمزگان، فارس، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان، چهارمحال و بختیاری، ایلام و لرستان را در بر می‌گیرد که به لحاظ تقسیم‌بندی هیدرولوژی در حوضه آبریز خلیج فارس و قسمت غربی حوضه آبریز دریای عمان قرار دارد (شکل ۱). در پژوهش حاضر برای بررسی تغییرات زمانی فراوانی ورود سامانه‌های سودانی در حوضه‌های آبریز جنوب و جنوب غرب

کشور، داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های همدید (از آغاز تأسیس تا سال ۲۰۱۷)، از سازمان هواشناسی ایران دریافت گردید. پس از بررسی همگنی داده‌ها و پراکنش مناسب بر روی منطقه مطالعاتی و یک دوره آماری مشترک از داده‌های بارش روزانه (۲۰۱۷-۱۹۹۵)، تعداد ۴۳ ایستگاه نمونه انتخاب گردید (جدول ۱). برپایه معیار ایستگاه‌های نماینده ورود (ایستگاه اهواز نماینده ورود سامانه سودانی در محدوده جنوب غرب، ایستگاه بوشهر به‌عنوان نماینده مسیر جنوب میانی و ایستگاه بندرعباس به‌عنوان نماینده جنوب شرق) فراوانی سامانه‌های سودانی از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۷ شناسایی گردید. این سه مسیر با مسیرهای سه‌گانه مستقل سودانی منطبق است. سامانه‌های سودانی از ۵ مسیر غرب، غرب و جنوب غرب، سمت شمال عربستان، کویت و خوزستان، سمت شمال عربستان و استان بوشهر و سمت مرکز عربستان و هرمزگان وارد ایران می‌شوند (لشکری، ۱۳۸۱). سه مسیر انتخابی (هرمزگان، بوشهر و خوزستان) با سه مسیر سودانی مستقل (الف، ب و ج) لشکری (۱۳۸۱)، منطبق است بر این اساس ایستگاه‌های منتخب در قالب مسیرهای ورودی؛ هرمزگان (شامل ۷ ایستگاه استان)، بوشهر (شامل ۱۵ ایستگاه از استان‌های بوشهر، فارس و کهگیلویه و بویراحمد) و خوزستان (شامل ۲۳ ایستگاه از استان‌های خوزستان، ایلام، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری و لرستان) از هم جدا گردیدند. در مرحله بعد پس از صحت سنجی داده‌ها برپایه سه معیار زیر نمونه‌های مطالعاتی انتخاب گردید: ریزش حداقل ۱ میلی‌متر بارش در ۵۰ درصد ایستگاه‌های هر مسیر که حداقل در یکی از ایستگاه‌ها ۵ میلی‌متر بارش رخ داده باشد، در ایستگاه مبنا که نشان‌دهنده معبر ورودی هر مسیر بوده است بارش رخداد و شروع بارش از آنجا باشد، نمونه‌های بارشی با منشأ سودانی انتخاب نهایی گردید و بر این اساس تحلیل آماری از لحاظ دوره دوام و پراکنش زمانی انجام شد. در انتخاب روش و مدل‌های آماری از روش مطالعات آب و هوایی، پژوهشگران خارجی (فیداس و دیگران ۲۰۰۷)، کاراگینیدیس و دیگران (۲۰۰۹)، دوهان و پاندی (۲۰۱۳) و دیوپ و دیگران (۲۰۱۶) و داخلی (امیریان و سلطانی ۱۳۹۰)، محمدی (۱۳۹۰)، حسین زاده و طلایی (۲۰۱۱)، ظهراپی و همکاران (۱۳۹۵)، آروین و همکاران (۱۳۹۵) و قصاب فیض و اسلامی (۱۳۹۶) که به‌طور هم‌زمان از ترکیب روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک برای بررسی روند عناصر آب و هوایی استفاده کردند الگوبرداری گردید. در پژوهش حاضر از روش پارامتریک خط بهترین برازش برای نمایش نوع روند (line of best fit) استفاده می‌گردد. در این روش معادله برازش خط به صورت رابطه ۱ است که در این رابطه:

$$Y = \text{مختصات خط به ازای } t \text{ های مختلف.}$$

$$a = \text{عرض از مبدأ نقطه تقاطع خط رگرسیون با محور } y.$$

$$b = \text{شیب خط (ضریب رگرسیونی استاندارد نشده یا } B).$$

$$t = \text{مقادیر مختلف متغیر مستقل. در این معادله مقادیر مثبت، منفی و صفر به ترتیب بیان‌کننده روندهای افزایشی، کاهشی و نبود روند می‌باشند.}$$

$$Y = a + bt; \quad \text{رابطه ۱:}$$

برای برآورد ضرایب رگرسیونی در معادله ۱ از روش کمترین مربعات خطا (LSE: Least Square Error) بهره گرفته شده است. در این روش شیب خط (b) با رابطه ۲ و عرض از مبدأ (a) با رابطه ۳ برآورد شده است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۶)، که در این رابطه:

$$\bar{t} = \text{میانگین زمان}$$

$$\bar{y} = \text{متغیر آب و هوایی.}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{t} \quad \text{رابطه ۳:}$$

از روش ناپارامتریک من-کندال برای بررسی معنی‌داری روند استفاده می‌گردد. این آزمون اول توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵)، برپایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی گسترش یافت. این آزمون به دو روش آماره (T) و گرافیکی (نموداری) برآورد می‌شود. در پژوهش حاضر به علت اینکه هدف بررسی روند بلندمدت است از روش آماره استفاده می‌گردد. این آزمون برای تصادفی بودن و تعیین روند در سری‌ها استفاده می‌شود. این آزمون برای مشخص کردن غیر پارامتریک بودن سری‌ها به کار گرفته می‌شود، بدین‌سان که سری‌های آماره به ترتیب صعودی مرتب و رتبه‌بندی شده و بر پایه آن تصادفی بودن داده‌ها با نبود روند آشکار می‌گردد. در صورت وجود روند داده‌ها غیر تصادفی بوده و برای تعیین تصادفی بودن داده‌ها از آزمون رابطه ۴ استفاده گردید. در این رابطه:

$$T = \text{آماره من-کندال.}$$

$N = \text{تعداد کل سال‌های آماره مورد استفاده.}$

$P = \text{مجموع تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از ردیف } ni \text{ که بعد از آن قرار می‌گیرند بوده و از رابطه ۵ به دست می‌آید. این آماره برای } N > 10 \text{ به توزیع نرمال با میانگین صفر واریانس } \frac{4N+10}{9(N-1)} \text{ شبیه است.}$

$$T = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$P = \sum_{i=1}^n n_i \quad \text{رابطه ۵:}$$

در نهایت برای سنجش معنی‌دار بودن آماره T از رابطه ۶ استفاده می‌شود که در این رابطه:

$$N = \text{تعداد کل سال‌های آماره.}$$

$tg = \text{برابر سطح احتمال معنی‌دار بودن آزمون.}$

$t(T) = \text{آماره من-کندال می‌باشد؛ که } tg \text{ برابر مقدار بحرانی نمره نرمال یا استاندارد (z) یا سطح احتمال آزمون است و با سطح احتمال آزمون ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ می‌باشد.}$

$$(T)_t = \pm tg \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}} \quad \text{رابطه ۶:}$$

با توجه به مقدار بحرانی به‌دست‌آمده برای $t(T)$ حالات مختلف بدین شرح، مشاهده خواهد شد: اگر $t(T) > +0.27$ یا $T > +0.27$ باشد روند مثبت در سری زمانی غالب خواهد بود. اگر $t(T) < -0.27$ یا $T < -0.27$ باشد نشان‌دهنده روند منفی است. در صورتی که $t(T) > T > -(T)t$ یا $+(T)t > T > -(T)t$ باشد هیچ‌گونه روند مهمی در سری‌ها مشاهده نمی‌شود و سری‌ها تصادفی هستند (معروف نژاد و قاسمی، ۱۳۹۶). از روش ناپارامتریک تخمینگر شیب سن (Sen's slope estimator) جهت بررسی میزان شیب تغییرات احتمالی، در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید. سن (۱۹۶۸)، با توسعه و بسط یک سری مطالعات آماری که تهیل (۱۹۵۰)، به انجام رسانده بود یک روش ناپارامتری را جهت تحلیل سری‌های زمانی ارائه نمود. این روش نیز همانند روش من-کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. نقاط قوتی که در روش من-کندال ذکر گردیده بر این روش نیز مترتب می‌باشند. اساس این روش بر برآورد یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن

در مورد معنی‌داری شیب به‌دست‌آمده در سطوح اعتماد مختلف می‌باشد. مراحل کلی انجام این آزمون شامل: الف) برآورد شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای با به‌کارگیری رابطه ۷؛ که در آن؛

$$X_t \text{ و } X_s = \text{به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های } t, s.$$

$$t = \text{یک واحد زمانی بعد از زمان } s.$$

با اعمال رابطه ۷ برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، یک‌سری زمانی از شیب‌های برآورد شده حاصل می‌آید که از برآورد میانه این سری زمانی شیب میانه خط روند Qmed به دست می‌آید که مقدار مثبت روند صعودی و مقدار منفی روند نزولی نشان می‌دهد.

$$Q = \frac{x_t - x_s}{t - s} \quad \text{رابطه ۷:}$$

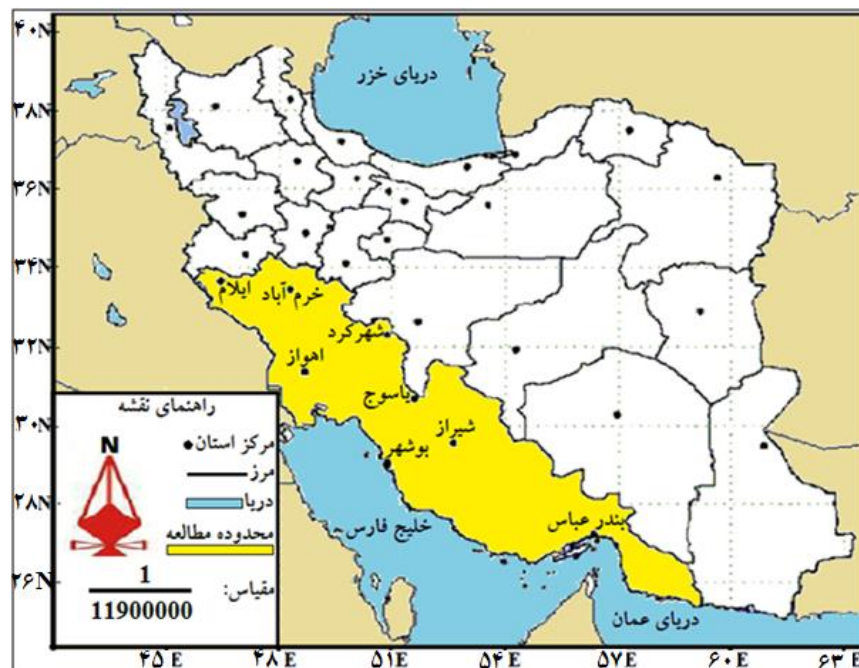
ب) برآورد پارامتر C_α در سطوح اعتماد مورد آزمون به کمک رابطه ۸؛ که در آن $Z =$ توزیع نرمال استاندارد می‌باشد، و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اعتماد مورد آزمون و می‌تواند مقادیر مختلفی به خود بگیرد. این آماره برای سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد به ترتیب برابر با $Z=1,96$ و $Z=2,58$ در نظر گرفته می‌شود.

$$c_\alpha = z_{1-\alpha/2} \times \sqrt{\text{var}(s)} \quad \text{رابطه ۸:}$$

ج) برآورد حدود اعتماد بالا و پایین (M_1 و M_2)، به کمک رابطه‌های ۹؛ که در آن $N' =$ تعداد شیب‌های برآورد شده در بند الف) می‌باشد.

$$\begin{cases} M_1 = \frac{N' + C_\alpha}{2} \\ M_2 = \frac{N' - C_\alpha}{2} \end{cases} \quad \text{رابطه ۹:}$$

د) مرحله نهایی این روش، آزمون نمودن حدود اعتماد برآورد شده می‌باشد. به این ترتیب که از بین شیب‌های برآورد شده توسط رابطه ۹، M_1 امین و (M_2+1) امین شیب‌ها استخراج می‌گردند. چنانچه عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده بالا قرار بگیرد فرض صفر پذیرفته شده و بر سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ‌گونه روندی در سطح اعتماد بکار گرفته‌شده نسبت داد. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در سطح اعتماد مورد آزمون می‌باشد (حجام و همکاران، ۱۳۸۷). در پژوهش حاضر، تمام مراحل مدل‌های آماری در محیط ویژوال بیسک نرم‌افزار Excel و SPSS انجام گردیده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (جنوب و جنوب غرب ایران).

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب محدوده مورد مطالعه (جنوب و جنوب غرب ایران).

ردیف	ایستگاه	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		ارتفاع	ارتفاع	ایستگاه	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		ارتفاع
		°	'	°	'	متر	فوت		°	'	°	'	
۱	بندر جاسک	۲۵	۳۸	۵۷	۴۶	۵/۲	۲۳	بروجن	۲۵	۵۹	۱۸	۵۱	۲۲۶۰
۲	جزیره ابوموسی	۲۵	۵۰	۵۰	۵۴	۶/۶	۲۴	شهرکرد	۲۵	۱۷	۵۱	۵۰	۲۰۴۹
۳	جزیره سیری	۲۵	۵۳	۲۹	۵۴	۴/۴	۲۵	کوهرنگ	۲۵	۲۶	۰۷	۵۰	۲۲۸۵
۴	جزیره کیش	۲۶	۳۰	۵۹	۵۳	۳۰	۲۶	دهلران	۲۶	۴۱	۱۶	۴۷	۲۳۲
۵	بندر لنگه	۲۶	۳۲	۵۰	۵۴	۲۲/۷	۲۷	ایلام	۲۶	۳۸	۲۶	۴۶	۱۳۳۷
۶	میناب	۲۷	۰۶	۰۵	۵۷	۲۹/۶	۲۸	آبادان	۲۷	۲۲	۱۵	۴۸	۶/۶
۷	بندرعباس	۲۷	۱۳	۲۲	۵۶	۹/۸	۲۹	بندر ماهشهر	۲۷	۳۳	۰۹	۴۹	۶/۲
۸	فرودگاه لامرد	۲۷	۱۸	۰۷	۵۳	۴۱۱	۳۰	بهبهان	۲۷	۳۶	۱۴	۵۰	۳۱۳
۹	لار	۲۷	۴۱	۱۷	۵۴	۷۹۲	۳۱	امیدیه (آغاچری)	۲۷	۴۶	۴۰	۴۹	۲۷
۱۰	حسن‌آباد داراب	۲۸	۴۷	۱۷	۵۴	۱۰۹۸/۲	۳۲	امیدیه (پایگاه)	۲۸	۴۶	۳۰	۴۹	۳۵
۱۱	فسا	۲۸	۵۸	۴۱	۵۳	۱۲۸۸/۳	۳۳	رامهرمز	۲۸	۱۶	۳۶	۴۹	۱۵۰/۵
۱۲	شیراز	۲۹	۳۲	۳۶	۵۲	۱۴۸۴	۳۴	اهواز	۲۹	۲۰	۳۱	۴۸	۲۲/۵
۱۳	زرقان	۲۹	۴۷	۴۳	۵۲	۱۵۹۶	۳۵	بستان	۲۹	۴۳	۳۱	۴۸	۷/۸

ردیف	ایستگاه	عرض		طول		ارتفاع	ردیف	ایستگاه	عرض		طول		ارتفاع
		جغرافیایی	جغرافیایی	جغرافیایی	جغرافیایی				جغرافیایی	جغرافیایی			
۱۴	سد درود زن	۱۱	۳۰	۲۷	۵۲	۱۶۵۲	۳۶	ایذه	۵۱	۳۱	۵۲	۴۹	۷۶۷
۱۵	اقلید فارس	۵۴	۳۰	۳۸	۵۲	۲۳۰۰	۳۷	مسجدسلیمان	۵۶	۳۱	۱۷	۴۹	۳۲۰/۵
۱۶	آباد	۱۱	۳۱	۴۰	۵۲	۲۰۳۰	۳۸	شوشتر	۰۳	۳۲	۵۰	۴۸	۶۷
۱۷	کنگان جم	۴۹	۲۷	۲۲	۵۲	۶۵۵	۳۹	صفی‌آباد دزفول	۱۶	۳۲	۲۵	۴۸	۸۳
۱۸	بندر دیر	۵۰	۲۷	۵۶	۵۱	۴	۴۰	دزفول	۲۴	۳۲	۲۳	۴۸	۱۴۳
۱۹	بوشهر ساحلی	۵۴	۲۸	۴۹	۵۰	۸/۴	۴۱	الیگودرز	۲۴	۳۳	۴۲	۴۹	۲۰۲۲
۲۰	بوشهر	۵۸	۲۸	۴۹	۵۰	۹	۴۲	خرم‌آباد	۲۶	۳۳	۱۷	۴۸	۱۱۴۸
۲۱	دوگنبدان	۲۰	۳۰	۴۹	۵۰	۷۲۶	۴۳	بروجرد	۵۵	۳۳	۴۵	۴۸	۱۶۲۹
۲۲	یاسوج	۴۱	۳۰	۳۳	۵۱	۱۸۱۶/۳							

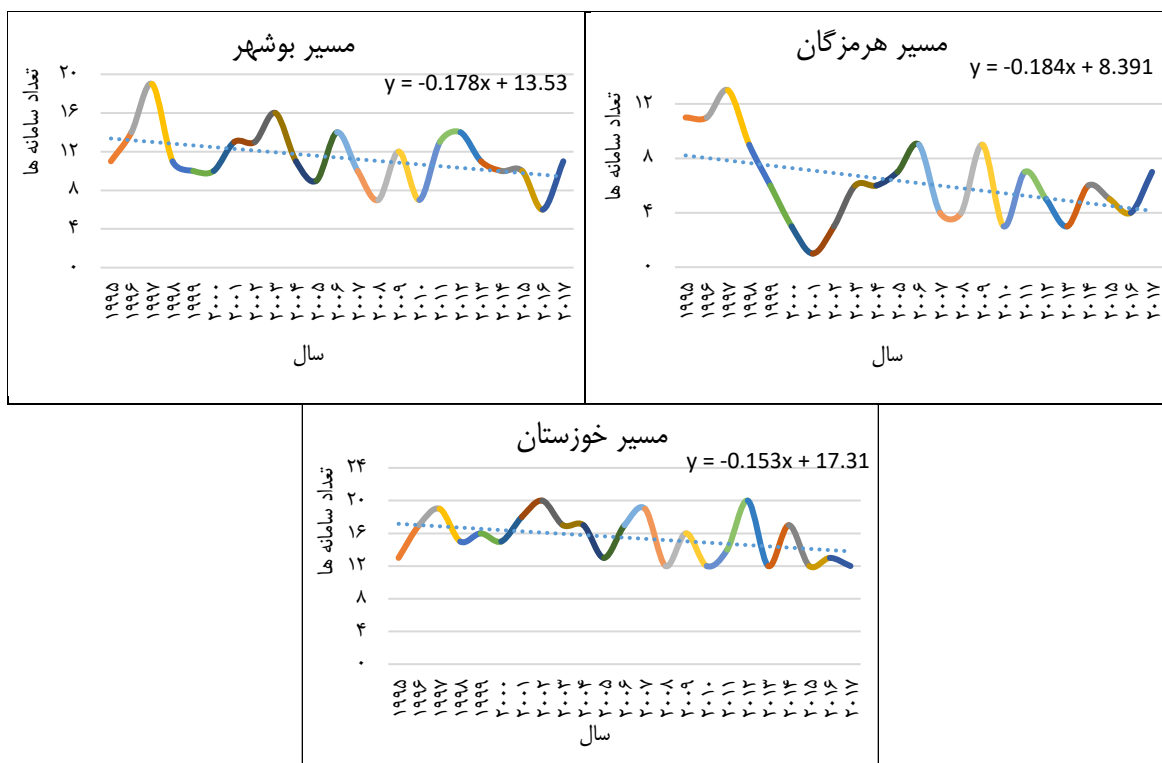
نتایج

سامانه سودانی یکی از سامانه‌های بارشی بسیار مهم در آب‌وهوا ایران است که نقش نخست در بارش‌های نیمه جنوبی کشور ایفا می‌کند. نوسانات و تغییرات بلندمدت فراوانی ورود این سامانه‌ها رابطه مستقیمی با میزان بارش و ذخایر آبی (دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، تالاب‌ها و...) نیمه جنوبی ایران دارد. چرا که رخداد این‌گونه تغییراتی، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث تغییراتی در ساختار اکویولوژیکی اکوسیستم‌های آبی دریاچه‌ها، تالاب‌ها و... می‌گردد. به‌طور مثال هرگونه تغییر در میزان و رژیم بارش این سامانه‌ها دارای اثرات مستقیمی و غیرمستقیمی در حجم آب ورودی تالاب‌های نیمه جنوبی کشور دارد. تالاب‌ها و دیگر ذخایر آبی منطقه نقش بسیار مهمی از لحاظ آب و هوایی، اکولوژیکی، اقتصادی و... در منطقه دارد؛ بنابراین بررسی روند افزایشی و کاهشی در فراوانی ورود آن به لحاظ تأمین‌کننده بخش بزرگ ذخیره آبی استان‌های جنوبی کشور از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین تغییرات ایجاد شده در دوره دوام آن‌ها به جهت شدت بارش‌ها و حجم آب ورودی به سامانه آبی پهنه‌ها بسیار دارای اهمیت است. جدول شماره ۲ مجموع سامانه‌های سودانی مستقل ورودی از مسیرهای سه‌گانه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود از مسیرهای سه‌گانه هرمزگان، بوشهر و خوزستان، به ترتیب ۱۴۲، ۲۶۲ و ۳۵۶ سامانه در طول دوره آماری وارد ایران شده است. به عبارتی بیشترین فراوانی ورود این سامانه‌ها طی دوره مورد مطالعه در مسیر خوزستان و کمترین آن‌ها در مسیر هرمزگان است. ولی برعکس این مسئله، بیشترین ضریب تغییرات آن‌ها (۴۹/۳ درصد) در مسیر هرمزگان و کمترین آن‌ها (۱۷/۷ درصد) در مسیر خوزستان است. به این ترتیب سامانه‌های سودانی که از مسیر هرمزگان وارد ایران شده است از نوسانات شدیدتری برخوردار بوده و برعکس سامانه‌های ورودی از مسیر خوزستان از ثبات و پایداری بیشتری برخوردار است. با توجه به هدف اصلی پژوهش، برای بررسی اثرات تغییرات آب و هوایی بر بارش‌های مناطق مورد مطالعه، روند فراوانی ورود این سامانه‌ها (به تفکیک سالانه، ماهانه و دوره تداوم) با به‌کارگیری روش‌های آماری خط بهترین برازش، من-کندال و تخمینگر شیب سن بررسی می‌گردد. شکل ۲ روند خطی فراوانی ورود سالانه سامانه‌های سودانی به ایران (۲۰۱۷-۱۹۹۵)، از مسیرهای سه‌گانه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، روند فراوانی ورود سالانه سامانه‌های سودانی در هر سه مسیر کاهشی است. در ادامه برای بررسی معنی‌داری روند فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از آزمون من-کندال و جهت بررسی بزرگی شیب تغییرات آن‌ها از تخمینگر شیب سن استفاده گردید. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد، روند کاهشی فراوانی ورود سالانه سامانه‌های سودانی در هیچ‌کدام از مسیرهای سه‌گانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. همچنین نتایج آزمون تخمینگر سن، شیب تغییرات روند کاهشی فراوانی ورود سالانه سامانه‌های سودانی در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای

هر سه مسیر ۰/۱۶۷- تا ۰/۱۸۲- بوده است؛ بنابراین می‌توان گفت در فراوانی ورود سامانه‌ها با منشأ سودانی تغییرات معنی‌داری رخ نداده است. بلکه با توجه به ماهیت سامانه سودانی که یک سامانه با آغاز حاره‌ای است می‌توان گفت این نوسانات در ذات این سامانه نهفته است.

جدول ۲: فراوانی ورود سالانه سامانه سودانی به ایران و ضریب تغییرات آن‌ها از سه مسیر هرمزگان، بوشهر و خوزستان (۱۹۹۵-۲۰۱۷).

آماره	مسیر هرمزگان	مسیر بوشهر	مسیر خوزستان
تعداد سامانه‌ها	۱۴۲	۲۶۲	۳۵۶
ضریب تغییرات (CV)	۴۹/۳	۲۵/۹	۱۷/۷



شکل ۲: روند فراوانی ورود سالانه سامانه سودانی به ایران از سه مسیر هرمزگان، بوشهر و خوزستان (۱۹۹۵-۲۰۱۷).

جدول ۳: روند فراوانی ورود سالانه سامانه سودانی به ایران، از سه مسیر هرمزگان، بوشهر و خوزستان (۱۹۹۵-۲۰۱۷).

نام مسیر	آزمون من-کندل		آزمون تخمینگر سن (تعداد طی دوره)		
	Z	Sig	Qmax.۹۰	Qmin.۹۰	B
مسیر هرمزگان	-۱/۴۱	.....	-۰/۱۸۲	-۰/۴۰۰	۰/۰۰۰
مسیر بوشهر	-۱/۶۹	+	-۰/۱۶۷	-۰/۳۶۴	۰/۰۰۰
مسیر خوزستان	-۱/۶۹	+	-۰/۱۷۶	-۰/۳۳۳	۰/۰۰۰

سطح معنی‌داری: ۹۹ درصد (*), ۹۵ درصد (*), ۹۰ درصد (+) و فاقد معنی‌داری (.....).

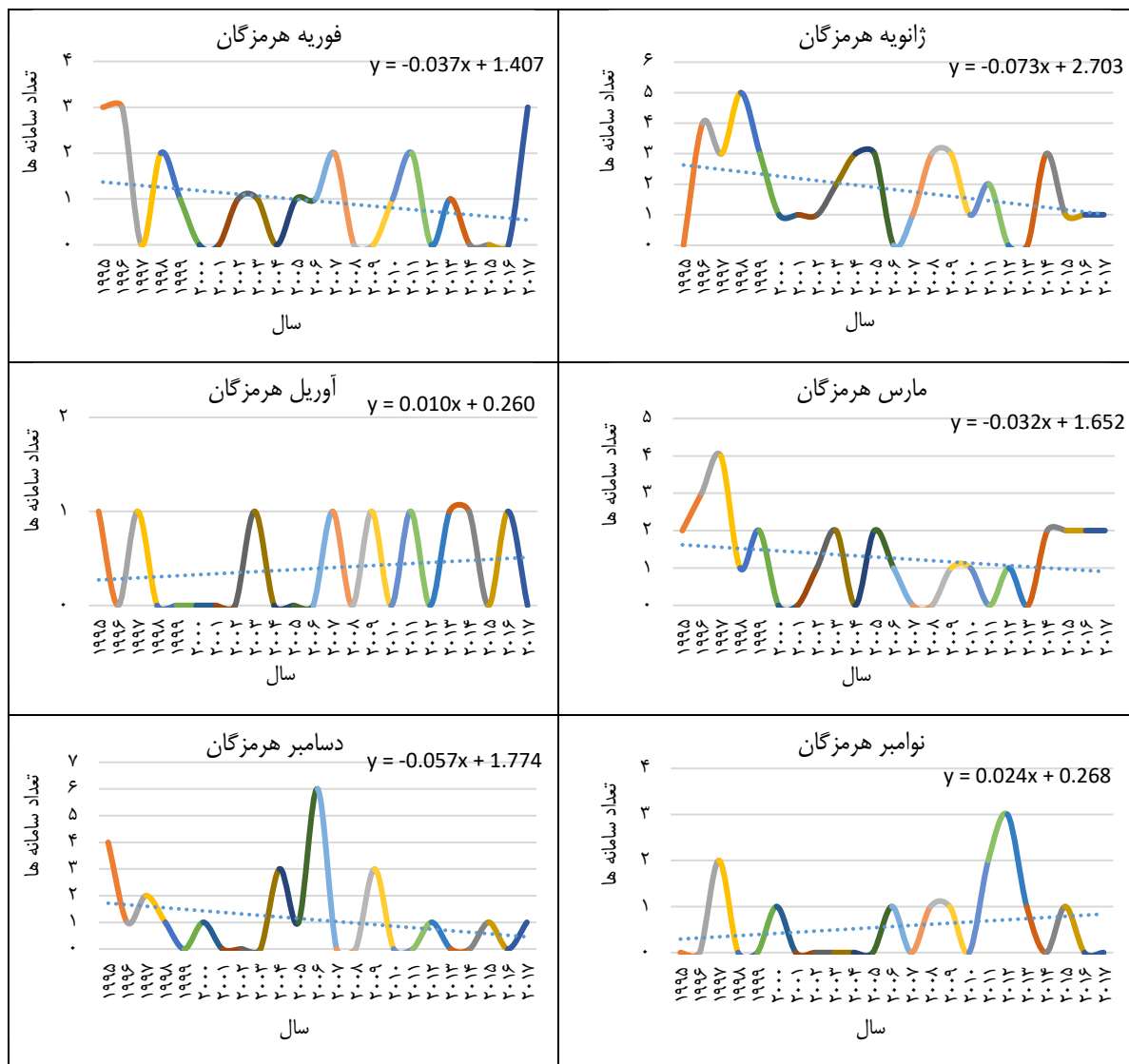
جدول ۴ توزیع ماهانه فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از مسیرهای سه گانه در طی دوره آماری (۲۰۱۷-۱۹۹۵)، نشان می‌دهد، بر این اساس بیشترین فراوانی ورود سامانه‌های سودانی در فصل زمستان و سپس در فصول پاییز و بهار و از نظر توزیع ماهانه بیشترین فراوانی ورود آن‌ها در ماه ژانویه و کمترین آن‌ها؛ در مسیر هرمزگان در ماه آوریل و در دو مسیر دیگر در ماه می است. دوره تداوم ورود ماهانه آن‌ها؛ در مسیر هرمزگان به ترتیب کاهش تعداد، در ۶ ماه ژانویه، مارس، دسامبر، فوریه، نوامبر و آوریل، با ضریب تغییرات شدید تا بسیار شدید است. به طوری که کمترین ضریب تغییرات (۷۶/۷ درصد) در ماه ژانویه و بیشترین (۱۷۰/۵ درصد) در ماه دسامبر است. در مسیر بوشهر به ترتیب کاهش تعداد، در ۸ ماه ژانویه، فوریه، مارس، دسامبر، نوامبر، آوریل، اکتبر و می با ضریب تغییرات متوسط تا بسیار شدید است که کمترین ضریب تغییرات (۳۶/۹ درصد)، در ماه ژانویه و بیشترین آن (۲۲۸/۲ درصد)، در ماه می است. در مسیر خوزستان به ترتیب کاهش تعداد، در ۸ ماه؛ ژانویه، دسامبر، فوریه، مارس، نوامبر، آوریل، اکتبر و می با ضریب تغییرات متوسط تا بسیار شدید است. به طوری که کمترین ضریب تغییرات (۳۷/۰۳ درصد)، در ماه ژانویه و بیشترین (۱۵۲/۱ درصد) در ماه اکتبر است. همان‌طور مشاهده می‌گردد توزیع ماهانه فراوانی ورود این سامانه‌ها به طرف شرق منطقه مورد مطالعه کاهشی و برعکس ضریب تغییرات آن‌ها افزایشی است. شکل ۳ روند خطی فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از مسیر هرمزگان، در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر کاهشی و در آوریل و نوامبر افزایشی نشان می‌دهد. در ادامه برای بررسی معنی‌داری روند فراوانی ورود ماهانه سامانه‌های سودانی به ایران از مسیر هرمزگان، از آزمون من-کندال و جهت بررسی بزرگی شیب تغییرات از تخمینگر سن استفاده گردید و نتایج جدول ۵الف نشان داد، هیچ کدام از این روندهای کاهشی و افزایشی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. همچنین نتایج تخمینگر سن، شیب تغییرات روند فراوانی ورود ماهانه سامانه‌های سودانی از مسیر هرمزگان را در تمام ماه‌ها صفر و هیچ‌گونه شیب تغییرات معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان نمی‌دهد. شکل ۴ روند خطی فراوانی ورود ماهانه سامانه‌های سودانی به ایران از مسیر استان بوشهر (۲۰۱۷-۱۹۹۵)، در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و دسامبر کاهشی و در می، اکتبر و نوامبر افزایشی نشان می‌دهد. در ادامه برای بررسی معنی‌داری روند فراوانی ورود ماهانه سامانه‌های سودانی به ایران از مسیر بوشهر، از آزمون من-کندال و جهت بررسی بزرگی شیب تغییرات از تخمینگر سن استفاده گردید. در این باره نتایج جدول ۵ب، نشان می‌دهد، هیچ کدام از این روندهای کاهشی و افزایشی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیستند. نتایج تخمینگر سن میزان شیب تغییرات در ماه‌های مارس و دسامبر به ترتیب $-۰/۰۵۹$ و $-۰/۰۸۳$ یک سامانه طی دوره کاهشی و برای دیگر ماه‌ها صفر نشان می‌دهد که هیچ کدام از این شیب تغییرات در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. شکل ۵ روند خطی فراوانی ورود ماهانه سامانه‌های سودانی از مسیر خوزستان به ایران (۲۰۱۷-۱۹۹۵)، در ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل، می و دسامبر کاهشی و در ماه‌های فوریه، اکتبر و نوامبر افزایشی نشان می‌دهد. در ادامه برای بررسی معنی‌داری روند فراوانی ماهانه ورود سامانه‌های سودانی به ایران از مسیر خوزستان، از آزمون من-کندال و جهت بررسی بزرگی شیب تغییرات از تخمینگر سن استفاده گردید. در این باره نتایج جدول ۵ج، نشان می‌دهد، در بین این روندهای کاهشی و افزایشی تنها روند کاهشی ماه ژانویه (در سطح ۹۵ درصد) معنی‌دار است. نتایج تخمینگر سن، شیب تغییرات روند فراوانی ورود ماهانه سامانه‌های سودانی در مسیر خوزستان برای ماه ژانویه $-۰/۰۷۷$ یک سامانه طی دوره و صفر برای دیگر ماه‌ها نشان می‌دهد که هیچ کدام از این شیب تغییرات در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست.

جدول ۴: فراوانی ورود ماهانه سامانه سودانی به ایران و ضریب تغییرات آن‌ها از سه مسیر هرمزگان، بوشهر و خوزستان (۲۰۱۷-۱۹۹۵).

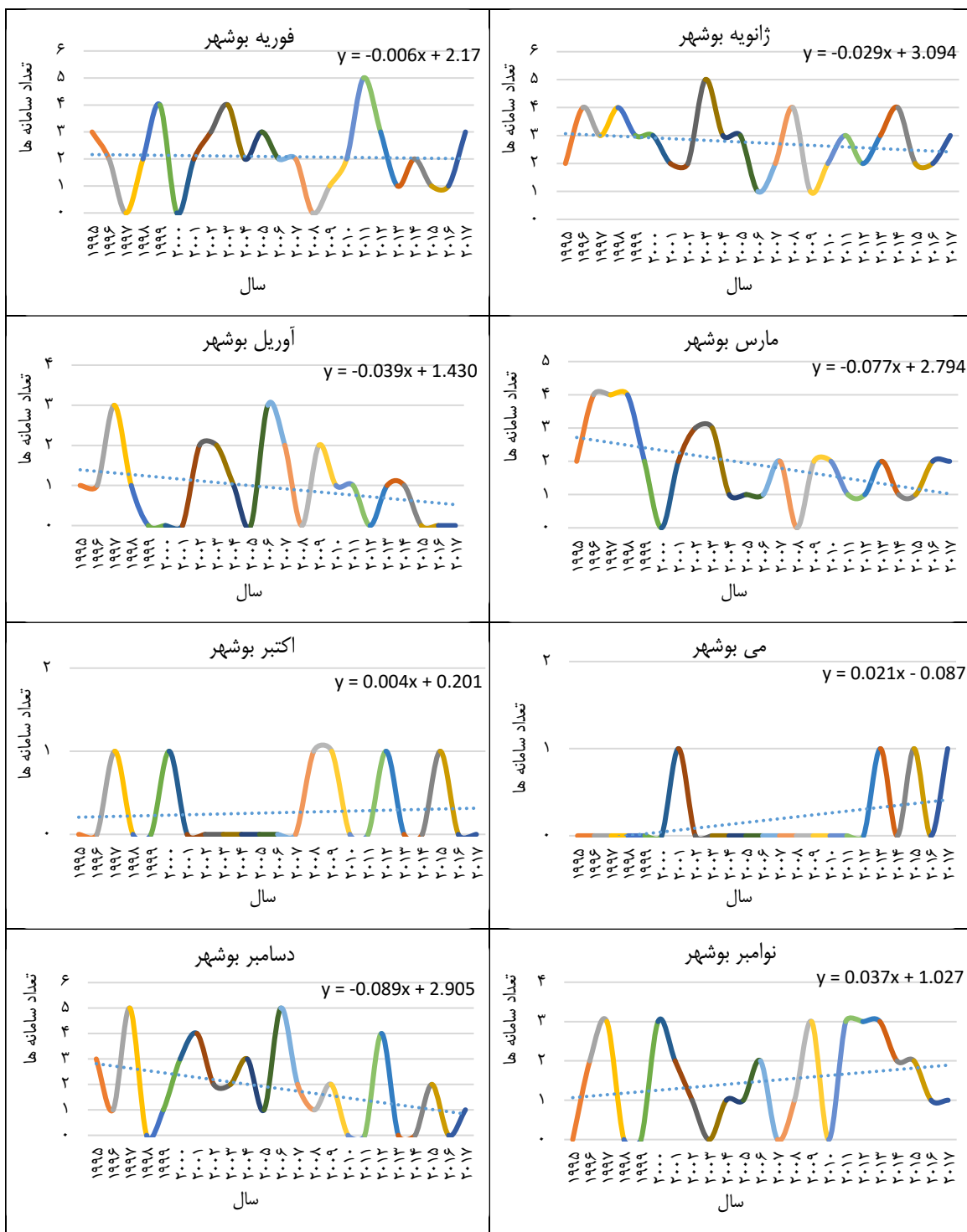
نام مسیر	آماره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	اکتبر	نوامبر	دسامبر
هرمزگان	تعداد سامانه	۴۲	۲۲	۲۹	۹	.....	.....	۱۳	۲۵
	ضریب تغییرات (CV)	۷۶/۷	۱۱۰/۹	۱۳۸/۱	۱۲۸	.....	.....	۱۴۸	۱۷۰/۵
بوشهر	تعداد سامانه‌ها	۶۳	۴۸	۴۳	۲۲	۴	۶	۳۴	۴۲

۸۸/۲	۷۸/۶	۱۷۲/۷	۲۲۸/۲	۱۰۱/۷	۶۱	۶۲/۷	۳۶/۹	ضریب تغییرات (CV)
۶۶	۴۵	۱۱	۸	۴۰	۵۰	۶۰	۷۶	تعداد سامانه‌ها
۵۴/۹	۵۶/۵	۱۵۲/۱	۱۳۹/۱۴	۶۳	۶۱/۶	۵۱/۳	۳۷/۰۳	ضریب تغییرات (CV)

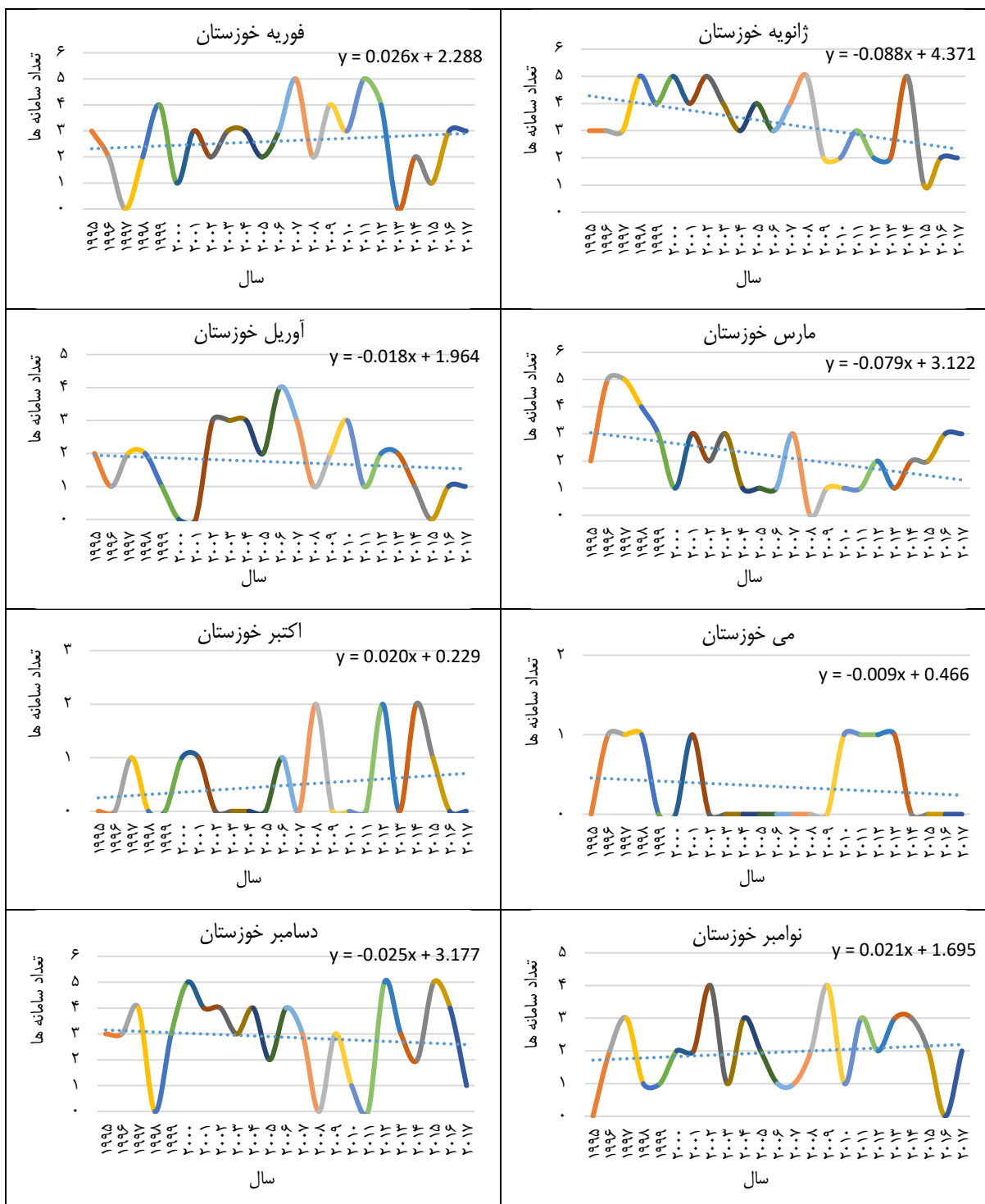
خوزستان



شکل ۳: روند فراوانی ورود ماهانه سامانه سودانی به ایران، از مسیر مستقل هرمزگان (۱۹۵۵-۲۰۱۷).



شکل ۴: روند فراوانی ورود ماهانه سامانه سودانی به ایران، از مسیر مستقل بوشهر (۱۹۵۵-۲۰۱۷).



شکل ۵: روند فراوانی ورود ماهانه سامانه سودانی به ایران، از مسیر مستقل خوزستان (۱۹۵۵-۲۰۱۷).

جدول ۵: روند فراوانی ورود ماهانه سامانه سودانی به ایران، از سه مسیر ورودی هرمزگان، بوشهر و خوزستان (۱۹۹۵-۲۰۱۷).

نام مسیر	ماه	آزمون من-کندل	آزمون تخمین ترسن (تعداد طی دوره)		
		Z	Sig	Qmed	Qmin.۹۵ Qmax.۹۵ B
هرمزگان (الف)	ژانویه	-۱/۴۹	.....	۰/۰۰۰	-۰/۱۶۷ ۰/۰۰۰ ۱/۰۰
	فوریه	-۱/۱۳	.....	۰/۰۰۰	-۰/۱۰۰ ۰/۰۰۰ ۱/۰۰
	مارس	-۰/۴۴	.....	۰/۰۰۰	-۰/۰۹۱ ۰/۰۰۰ ۱/۰۰
	آوریل	۰/۶۶	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰
	نوامبر	۱/۰۱	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰
	دسامبر	-۱/۲۹	.....	۰/۰۰۰	-۰/۰۹۱ ۰/۰۰۰ ۱/۰۰
مسیر بوشهر (ب)	ژانویه	-۰/۸۶	.....	۰/۰۰۰	-۰/۰۹۱ ۰/۰۰۰ ۳/۰۰
	فوریه	-۰/۴۴	.....	۰/۰۰۰	-۰/۰۹۲ ۰/۰۵۸ ۲/۰۰
	مارس	-۱/۸۴	+	-۰/۰۵۹	-۰/۱۵۱ ۰/۰۰۰ ۲/۳۵
	آوریل	-۱/۳۸	.....	۰/۰۰۰	-۰/۱۰۴ ۰/۰۰۰ ۱/۰۰
	می	۱/۷۴	+	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰
	اکتبر	۰/۳۲	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰
مسیر خوزستان (ج)	نوامبر	۰/۰۹۰	.....	۰/۰۰۰	۰/۱۰۷ ۰/۰۰۰ ۱/۰۰
	دسامبر	-۱/۸۴	+	-۰/۰۸۳	-۰/۲۰۰ ۰/۰۰۰ ۲/۶۷
	ژانویه	-۲/۲۹	*	-۰/۰۷۷	-۰/۱۷۹ ۰/۰۰۰ ۳/۸۵
	فوریه	۰/۷۴	.....	۰/۰۰۰	۰/۱۲۵ ۰/۰۰۰ ۳/۰۰
	مارس	-۱/۳۷	.....	۰/۰۰۰	-۰/۱۵۴ ۰/۰۰۰ ۲/۰۰
	آوریل	-۰/۷۴	.....	۰/۰۰۰	-۰/۱۰۲ ۰/۰۰۰ ۲/۰۰
	می	-۰/۶۱	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰
	اکتبر	۰/۵۷	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰ ۰/۰۰۰
	نوامبر	۰/۶۹	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۹۲ ۰/۰۰۰ ۲/۰۰
	دسامبر	-۰/۴۹	.....	۰/۰۰۰	-۰/۱۴۳ ۰/۰۶۳ ۳/۰۰

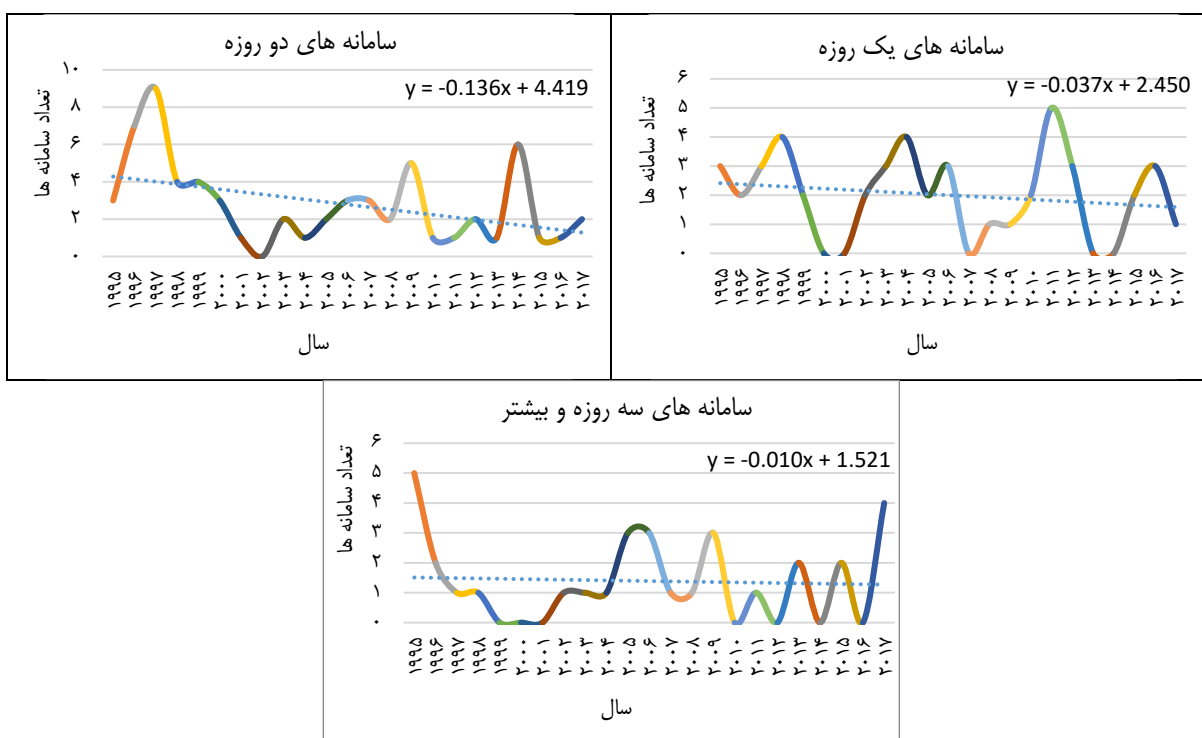
سطح معنی داری: ۹۹ درصد (**)، ۹۵ درصد (*)، ۹۰ درصد (+) و فاقد معنی داری (.....).

جدول ۶ فراوانی ورود سامانه های سودانی و ضریب تغییرات آن ها از مسیرهای سه گانه به ایران (۱۹۹۵-۲۰۱۷)، به تفکیک دوره تداوم نشان می دهد. این سامانه ها در مسیر هرمزگان ۱ تا ۹ روزه و در دو مسیر دیگر ۱ تا ۱۰ روزه هستند. تعداد سامانه ها در برخی دوره های تداوم بسیار کم است. در مسیرهای سه گانه بیشترین فراوانی ورود مربوط به سامانه های ۲ روزه است، ولی کمترین فراوانی در مسیرهای سه گانه متفاوت و در مسیر هرمزگان مربوط به سامانه های ۳ روز و بیشتر، در مسیر بوشهر مربوط به سامانه های ۶ روز و بیشتر و در مسیر خوزستان مربوط به سامانه های ۶ روزه است. بنابراین با توجه به ماهیت سامانه های سودانی و ویژگی های همرفتی در این سامانه دوره بارشی عموماً کوتاه مدت می باشد و بندرت طول دوام سامانه ها به ۵ روز و بیشتر می رسد. در آن صورت نیز سامانه در طول دوره فعالیت خود پیاپی تضعیف و تقویت می شود. به طوری که در یک روز ممکن است تعداد ایستگاه های درگیر بارش به کمتر از نصف ایستگاه ها کاهش یافته و دوباره در روز بعد تمام ایستگاه های مسیر درگیر

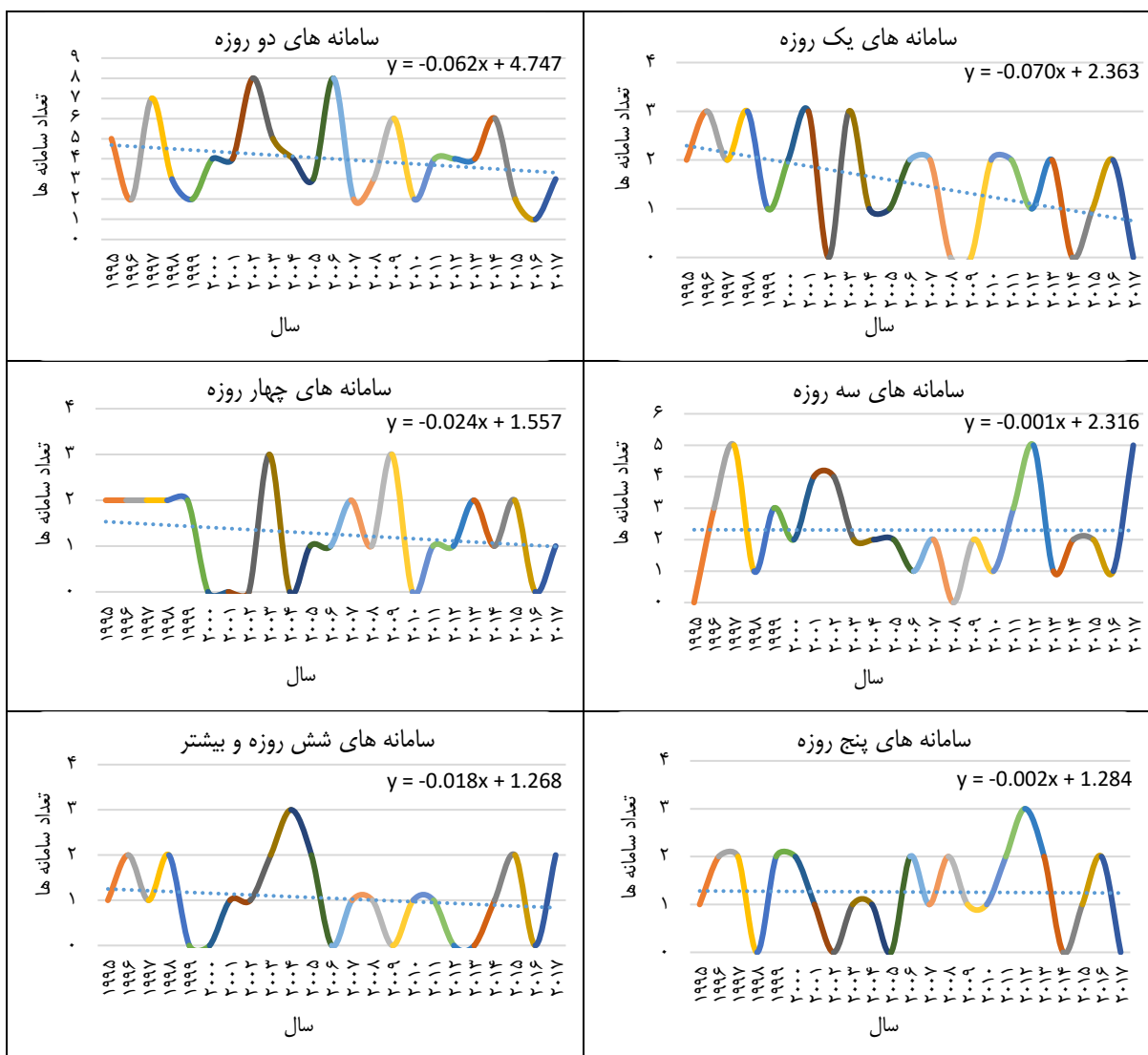
بارش شوند. این پدیده درباره شدت بارش‌های ایستگاه‌های نیز صادق است؛ و بارش ایستگاه‌ها پیاپی در طول روزهای مختلف و حتی ساعات مختلف بشدت متغیر است. همین مسئله در تغییرات بارشی بین ایستگاه‌ها نیز وجود دارد. به‌طوری‌که ایستگاه‌های با فواصل بسیار کم تغییرات بارشی شدیدی را در یک‌زمان معین نشان می‌دهند. همچنین ضریب تغییرات ورود این سامانه‌ها به تفکیک دوره تداوم بارش؛ در مسیر هرمزگان شدید تا بسیار شدید است و کمترین ضریب تغییرات آن‌ها (۷۲/۳ درصد) در سامانه‌های ۱ روزه و بیشترین آن‌ها (۱۰۱/۲ درصد) در سامانه‌های ۳ روزه و بیشتر است. در مسیر بوشهر ضریب تغییرات آن‌ها متوسط تا بسیار شدید و کمترین ضریب تغییرات آن‌ها (۴۸/۹ درصد) در سامانه‌های ۲ روزه و بیشترین آن‌ها (۸۴/۴ درصد) در سامانه‌های ۳ و ۶ روزه و بیشتر است. در مسیر خوزستان ضریب تغییرات آن‌ها متوسط تا بسیار شدید و کمترین ضریب تغییرات آن‌ها (۳۷/۵ درصد) در سامانه‌های ۲ روزه و بیشترین آن‌ها (۹۳/۷۴ درصد) در سامانه‌های ۶ روزه است. در این بخش هم آشکار گردید فراوانی ورود سامانه‌های سودانی به تفکیک دوره تداوم بارش به طرف شرق منطقه مورد مطالعه کاهشی ولی ضریب تغییرات آن‌ها افزایشی است. شکل ۶ روند خطی فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از مسیر هرمزگان به ایران (۲۰۱۷-۱۹۹۵)، به تفکیک دوره تداوم بارش نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روند خطی فراوانی ورود سامانه‌های سودانی این مسیر در تمام دوره‌های تداومی کاهشی است. در ادامه برای بررسی معنی‌داری این روندها از آزمون من-کندال و برای بررسی بزرگی شیب تغییرات آن‌ها از تخمینگر شیب سن استفاده گردید. در این‌باره نتایج جدول ۷ (الف) نشان می‌دهد، روند تمام دوره‌ها کاهشی و هیچ‌کدام در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. نتایج تخمینگر سن شیب تغییرات فراوانی ورود سامانه‌های مسیر هرمزگان در سامانه‌های ۲ روزه ۰/۱۱۱- یک سامانه طی دوره و برای دیگر سامانه‌ها صفر نشان می‌دهد. همچنین هیچ‌گونه شیب تغییرات معنی‌داری (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) در فراوانی ورود سامانه‌های این مسیر مشاهده نمی‌گردد. شکل ۷ روند خطی فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از مسیر بوشهر به ایران (۲۰۱۷-۱۹۹۵)، به تفکیک دوره تداوم بارش نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روند خطی فراوانی ورود سامانه‌های سودانی در تمام دوره‌ها کاهشی است. در ادامه برای بررسی معنی‌داری این روندها از آزمون من-کندال و برای بررسی بزرگی شیب تغییرات از تخمینگر شیب سن استفاده گردید. در این‌باره نتایج جدول ۷ (ب) نشان می‌دهد، روند تمام دوره‌ها کاهشی و تنها در سامانه‌های ۱ روزه (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) معنی‌دار است. نتایج تخمینگر سن شیب تغییرات فراوانی ورود سامانه‌های مسیر بوشهر به ترتیب در سامانه‌های ۱ و ۲ روزه ۰/۰۵۹- و ۰/۰۵۰- یک سامانه طی دوره و صفر در دیگر دوره‌های تداوم نشان می‌دهد که هیچ‌کدام در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. شکل ۸ روند خطی فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از مسیر خوزستان به ایران (۲۰۱۷-۱۹۹۵)، به تفکیک دوره تداوم بارش نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روند خطی فراوانی ورود سامانه‌های سودانی در دوره‌های تداوم ۱، ۵ و ۷ روزه و بیشتر افزایشی و در سامانه‌های ۲، ۳، ۴ و ۶ روزه کاهشی است. در ادامه برای بررسی معنی‌داری این روندها از آزمون من-کندال و برای بررسی بزرگی شیب تغییرات از تخمینگر سن استفاده گردید. در این‌باره نتایج جدول ۷ (ج) نشان می‌دهد، روند در دوره‌های تداوم ۱، ۳، ۵ و ۷ روزه و بیشتر افزایشی و در دیگر دوره‌ها کاهشی است. لازم به یادآوری است که روند سامانه‌های ۳ روزه با درصد بسیار جزئی، براساس نتایج خط بهترین برازش دارای شیب کاهشی، اما بر اساس نتایج آزمون من-کندال دارای شیب افزایشی است. از این‌روی به علت وجود داده‌های پرت در سری آماری این دوره و عدم حساسیت آزمون من-کندال به این داده‌ها، در تحلیل نهایی نتیجه آزمون من-کندال برای این مورد در نظر گرفته می‌شود؛ اما هیچ روند معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد در فراوانی تمام دوره‌های تداوم بارش سامانه‌های سودانی مسیر خوزستان مشاهده نمی‌گردد. نتایج تخمینگر سن شیب تغییرات فراوانی ورود سامانه‌های مسیر خوزستان برای سامانه‌های ۲ روزه ۰/۱۰۰- یک سامانه طی دوره و صفر در دیگر موارد، که هیچ‌کدام در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست.

جدول ۶: فراوانی ورود سامانه سودانی به ایران و ضریب تغییرات آن‌ها از سه مسیر هرمزگان، بوشهر و خوزستان، به تفکیک دوره تداوم (۱۹۹۵-۲۰۱۷).

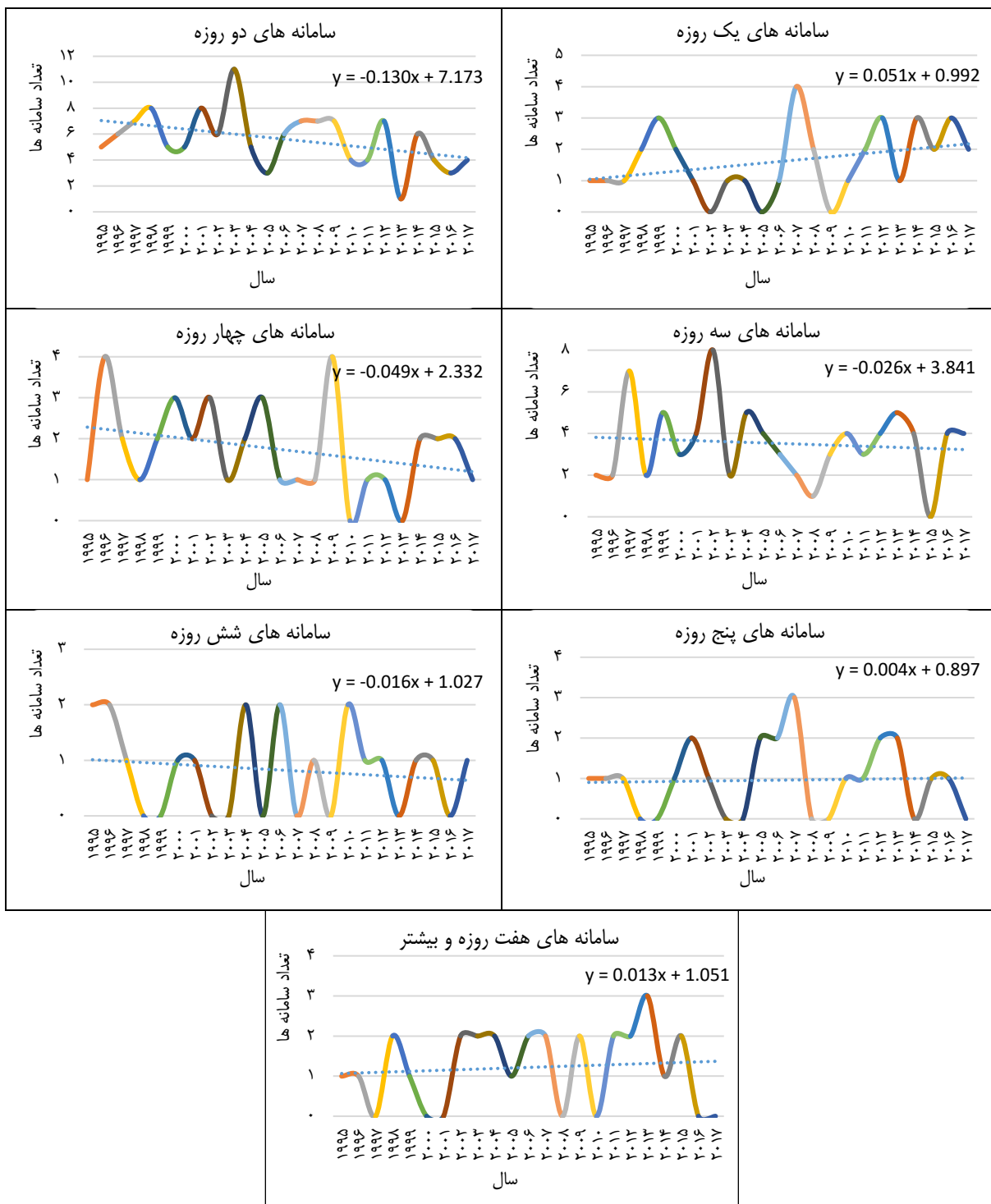
نام مسیر	آماره	یک روزه	دو روزه	سه روزه	چهار روزه	پنج روزه	شش روزه	سه روزه و بیشتر	شش روزه و بیشتر	هفت روزه و بیشتر
هرمزگان	تعداد سامانه	۴۶	۶۴	....	....	....	....	۳۲	....	....
	ضریب تغییرات (CV)	۷۲/۳	۷۹/۷	....	....	....	....	۱۰۱/۲	....	....
بوشهر	تعداد سامانه	۳۵	۹۲	۵۳	۲۹	۲۹	....	....	۲۴	....
	ضریب تغییرات (CV)	۶۸/۴	۴۸/۹	۸۴/۳۵	۷۶/۵	۶۸/۶	....	....	۸۴/۴	....
خوزستان	تعداد سامانه	۳۷	۱۲۹	۸۱	۴۰	۲۲	۱۹	....	....	۲۸
	ضریب تغییرات (CV)	۶۶/۸	۳۷/۵	۵۱/۳۱	۶۳	۹۱/۵	۹۳/۷۴	....	....	۷۸



شکل ۶: روند فراوانی ورود سامانه سودانی به ایران، از مسیر مستقل هرمزگان به تفکیک دوره تداوم (۱۹۹۵-۲۰۱۷).



شکل ۷: روند فراوانی ورود سامانه سودانی به ایران، از مسیر مستقل بوشهر به تفکیک دوره تداوم (۱۹۹۵-۲۰۱۷).



شکل ۸: روند فراوانی ورود سامانه سودانی به ایران، از مسیر مستقل خوزستان به تفکیک دوره تداوم (۱۹۹۵-۲۰۱۷).

جدول ۷: روند فراوانی ورود سامانه سودانی به ایران، از سه مسیر هرمزگان، بوشهر و خوزستان، به تفکیک دوره تداوم (۱۹۹۵-۲۰۱۷).

نام مسیر	دوره تداوم	آزمون من-کندل	آزمون تخمینگر سن (تعداد طی دوره)					
		Z	Sig	Qmed	Qmin.۹۵	Qmax.۹۵	B	
هرمزگان (الف)	یکروزه	-۰/۸۱	.....	۰/۰۰۰	-۰/۱۴۳	۰/۰۰۰	۲/۰۰	
	دو روزه	-۱/۹۵	+	-۰/۱۱۱	-۰/۲۱۰	۰/۰۰۰	۳/۴۴	
	سه روز و بیشتر	-۰/۱۴	.....	۰/۰۰۰	-۰/۰۸۳	۰/۰۷۷	۱/۰۰	
	یکروزه	-۲/۰۵	*	-۰/۰۵۹	-۰/۱۲۵	۰/۰۰۰	۲/۱۸	
بوشهر (ب)	دو روزه	-۰/۹۲	.....	-۰/۰۵۰	-۰/۱۹۰	۰/۰۵۵	۴/۳۰	
	سهروزه	-۰/۳۳	.....	۰/۰۰۰	-۰/۱۱۱	۰/۰۷۶	۲/۰۰	
	چهار روزه	-۰/۶۹	.....	۰/۰۰۰	-۰/۰۷۱	۰/۰۰۰	۱/۰۰	
	پنج روزه	-۰/۰۶	.....	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۱/۰۰	
	شش روزه و بیشتر	-۰/۶۲	.....	۰/۰۰۰	-۰/۰۷۱	۰/۰۰۰	۱/۰۰	
خوزستان (ج)	یکروزه	۱/۵۰	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۱۷	۱/۰۰	
	دو روزه	-۱/۸۲	+	-۰/۱۰۰	-۰/۲۲۲	۰/۰۰۰	۶/۲۰	
	سه روزه	۰/۲۲	.....	۰/۰۰۰	-۰/۱۰۰	۰/۱۰۵	۴/۰۰	
	چهار روزه	-۱/۲۸	.....	۰/۰۰۰	-۰/۱۱۱	۰/۰۰۰	۲/۰۰	
	پنج روزه	۰/۱۱	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۵۶	۱/۰۰	
	شش روزه	-۰/۵۷	.....	۰/۰۰۰	-۰/۰۵۳	۰/۰۰۰	۱/۰۰	
	هفت روزه و بیشتر	۰/۵۱	.....	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۶۳	۱/۰۰	

سطح معنی داری: ۹۹ درصد (***)، ۹۵ درصد (*)، ۹۰ درصد (+) و فاقد معنی داری (.....).

بحث و نتیجه گیری

سامانه سودانی که مهم ترین سامانه بارشی تأمین کننده ذخایر آبی حوضه های آبی بسیار بزرگ و در عین حال پر آب نیمه جنوب کشور را بر عهده دارد، ماهیتی حاره ای دارد. منشأ این سامانه گرمایی، سودان (سودان جنوبی) و سرزمین های پیرامون آن است که تحت تأثیر برهم کنش شرایط همدیدی مناسب تراف دریای سرخ و فعالیت جت جنب حاره و پرفشار عربستان با دیگر سامانه های منطقه ای که آغاز آن از فصل پاییز است حالت پویایی پیدا کرده و به سوی سرزمین های شرقی و شمالی منشأ خود حرکت می کند (عادل و دیگران، ۲۰۱۹؛ مانا و دیگران، ۲۰۲۰؛ عبدالحلیم، ۲۰۲۰؛ سارونی، ۲۰۱۹؛ محمد و دیگران، ۲۰۱۹؛ احمد و ویلیام، ۲۰۱۹). در واقع منشأ نخستین این سامانه از زبانه های گسترش یافته منطقه همگرایی حاره ای (ITCZ) می باشد که در دهه های اخیر هیچ تغییر قاطعی در موقعیت آن رخ نداده، هر چند کمی محدود گردیده است (مایکل و دیگران، ۲۰۱۸). ماهیت همرفتی، بارش های کوتاه مدت و شدید و نوسانات شدید در فراوانی ورود آن ها از سالی به سال دیگر، از ویژگی های این سامانه می باشد. با این همه در سال هایی که فراوانی ورود این سامانه افزایش یافته و شرایط همدیدی برای تأمین رطوبت کافی فراهم شده است کشور سال آبی خوبی را تجربه کرده است. در این پژوهش بر پایه سنجه های انتخابی که به تبعیت از سنجه های کار لشکری و محمدی (۱۳۹۸ و ۲۰۱۹) و محمدی و لشکری (۲۰۲۰) انتخاب گردید. روی هم رفته سامانه های سودانی مستقل ورودی (۱۹۹۵-۲۰۱۷) که از

مسیرهای سه‌گانه هرمزگان، بوشهر و خوزستان به ایران وارد شده‌اند به ترتیب ۱۴۲، ۲۶۲ و ۳۵۶ سامانه تشخیص داده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که فراوانی ورود آن‌ها در غرب منطقه مورد مطالعه بیشتر و به‌سوی شرق منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. به‌گونه‌ای که بیشترین فراوانی ورود با کمترین ضریب تغییرات در مسیر ورودی خوزستان و کمترین فراوانی ورود با بیشترین ضریب تغییرات در مسیر ورودی هرمزگان است. به عبارت دیگر بیشترین تعداد سامانه‌های سودانی از مسیر استان خوزستان که با مسیر الف پژوهش لشکری منطبق است وارد کشور شده و به تدریج با حرکت به سمت شرق از فراوانی تعداد سامانه‌های ورودی کاسته می‌شود. برعکس فراوانی ورود سامانه‌ها در جنوب غرب از ثبات بیشتری برخوردار و در مسیر استان هرمزگان از نوسان بیشتری برخوردار است. روند فراوانی ورود سالانه سامانه‌های سودانی در مسیرهای سه‌گانه دارای روند کاهشی و شیب تغییراتی کاهشی $-0/167$ تا $-0/182$ یک سامانه طی دوره است که در این بین بیشترین مقدار شیب تغییرات مربوط به فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از مسیر هرمزگان و کمترین آن مربوط به مسیر بوشهر است؛ اما هیچ‌کدام از این روندها و شیب تغییرات در مسیرهای سه‌گانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. ورود سامانه‌های سودانی علاوه بر توزیع سالانه دارای توزیع فصلی و ماهانه است. به‌گونه‌ای که آغاز ورود آن‌ها در فصل پاییز، اوج گسترش آن در فصل زمستان و ماه ژانویه و آغاز خروج آن در اواسط فصل بهار است. بررسی روند فراوانی ورود ماهانه سامانه‌های سودانی به ایران (۲۰۱۷-۱۹۹۵) از مسیرهای سه‌گانه نشان داد؛ روند فراوانی ماهانه ورود سامانه‌های سودانی از مسیر هرمزگان، در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر کاهشی و در آوریل و نوامبر افزایشی است؛ اما هیچ‌کدام از این روندها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست و شیب تغییرات آن‌ها در تمام ماه‌ها صفر است. روند فراوانی ماهانه ورود سامانه‌های سودانی از مسیر بوشهر در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و دسامبر کاهشی و در می، اکتبر و نوامبر افزایشی است که هیچ‌کدام از این روندها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. در مسیر بوشهر شیب تغییرات روند فراوانی ماهانه سامانه‌های سودانی در ماه‌های مارس و دسامبر به ترتیب $-0/059$ و $-0/083$ یک سامانه طی دوره کاهشی و در دیگر ماه‌ها صفر است که هیچ‌کدام از این شیب تغییرات در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. روند فراوانی ماهانه ورود سامانه‌های سودانی از مسیر خوزستان در ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل، می و دسامبر کاهشی و در ماه‌های فوریه، اکتبر و نوامبر افزایشی است. در این بین تنها روند کاهشی ماه ژانویه (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) معنی‌دار است. همچنین شیب تغییرات این روندها در مسیر خوزستان تنها در ماه ژانویه $-0/077$ یک سامانه طی دوره و در دیگر ماه‌ها صفر است که هیچ‌کدام از این شیب تغییرات در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. سامانه‌های سودانی ورودی از مسیرهای سه‌گانه به ایران (۲۰۱۷-۱۹۹۵)، علاوه بر توزیع سالانه، فصلی و ماهانه از نظر دوره تداوم بارش یکسان نبودند. به‌گونه‌ای که در مسیر هرمزگان دارای دوره تداوم بارش ۱ تا ۹ روزه و در دو مسیر دیگر دارای دوره تداوم بارش ۱ تا ۱۰ روزه بودند. تعداد سامانه‌ها در برخی دوره‌های تداوم بسیار کم بود. از این‌رو در مسیر هرمزگان سامانه‌های ۳ تا ۹ روزه، در مسیر بوشهر سامانه‌های ۶ تا ۱۰ روزه و در مسیر خوزستان سامانه‌های ۷ تا ۱۰ روزه، با هم تجمیع و به ترتیب تحت عنوان سامانه‌های ۳ روزه و بیشتر، ۶ روزه و بیشتر و ۷ روزه و بیشتر بررسی گردید که در مسیرهای سه‌گانه بیشترین فراوانی ورود آن‌ها مربوط به سامانه‌های ۲ روزه و بندرت سامانه‌های ۵ روزه و بالاتر بود. در ادامه بررسی روند فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از مسیرهای سه‌گانه به ایران (۲۰۱۷-۱۹۹۵)، به تفکیک دوره تداوم بارش نشان می‌دهد روند فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از مسیر هرمزگان در تمام دوره‌های تداومی کاهشی و هیچ‌کدام در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. همچنین شیب تغییرات این روندها در سامانه‌های ۲ روزه $-0/111$ یک سامانه طی دوره و برای دیگر سامانه‌ها صفر است که هیچ‌گونه شیب تغییرات معنی‌داری (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) در فراوانی ورود سامانه‌های این مسیر مشاهده نگردید. روند فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از مسیر بوشهر در تمام دوره‌های تداوم بارش کاهشی و تنها روند فراوانی ورود سامانه‌های ۱ روزه (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) معنی‌دار است. شیب تغییرات روند فراوانی ورود سامانه‌های مسیر بوشهر به ترتیب در سامانه‌های ۱ و ۲ روزه $-0/059$ و $-0/050$ یک سامانه طی دوره کاهشی و در دیگر دوره‌های تداوم صفر است که هیچ‌کدام در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. روند فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از مسیر خوزستان به ایران در سامانه‌های ۱، ۵ و ۷ روزه و بیشتر افزایشی و در سامانه‌های ۲، ۳، ۴ و ۶ روزه کاهشی است. روی‌هم‌رفته روند فراوانی ورود سامانه‌های سودانی از مسیر خوزستان در هیچ‌کدام از دوره‌های تداوم بارش در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار

نیست. همچنین شیب تغییرات فراوانی ورود سامانه‌های این مسیر در سامانه‌های ۲ روزه ۰/۱۰۰- یک سامانه طی دوره و در دیگر سامانه‌ها صفر است که این شیب تغییرات هم در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. نتیجه‌گیری کلی مطالب بالا نشان می‌دهد، فراوانی ورود سامانه‌های سودانی به ایران (به تفکیک سالانه، ماهانه و دوره تداوم بارش) از مسیرهای سه‌گانه مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۷ در تمام موارد فاقد روند و شیب تغییرات معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است؛ اما سامانه‌های سودانی در غالب مسیرها، سامانه‌هایی کوتاه مدت هستند و عموماً به صورت سامانه‌های ۱ تا ۳ روز فعالیت می‌کنند و بندرت دوره فعالیت ۵ روزه و بالاتر دارند در این حالت نیز به فراوانی بارش‌ها در ایستگاه‌های درگیر قطع و دوباره آغاز شده و حتی ممکن است در یک روز هیچ بارشی در یک ایستگاه رخ ندهد؛ بنابراین باید ماهیت رگباری و کوتاه‌مدت آن‌ها و کاهش فراوانی ورود آن‌ها با افزایش فاصله از منشأ تشکیل آن به‌عنوان یک اصل پذیرفت. به‌طوری‌که ورود این سامانه‌ها از مسیر خوزستان از ثبات و فراوانی بیشتری برخوردار است. از نظر تغییرات زمانی، با اینکه روند فراوانی سامانه‌های ورودی در همه مسیرها کاهشی بود ولی به دلیل معناداری بسیار پایین، می‌توان گفت تعداد سامانه‌های بادوام زیاد برای نمونه ۵ روزه و بالاتر کم ولی تعداد سامانه‌های بادوام کوتاه‌تر یک تا سه روزه بیشتر است. آغاز بارندگی‌ها، به‌ویژه در جنوب و جنوب‌غربی ایران، همبستگی نزدیکی با موقعیت و جابجایی پرفشار جنب حاره عربستان در پاییز دارد. با توجه به این‌که واچرخند عربستان نقش غیر قابل انکاری در کنترل زمان شروع و پایان سامانه‌ها و همچنین تأمین رطوبت سامانه‌ها بر عهده دارد. با جابجایی شرق سوی واچرخند عربستان به تدریج شمار سامانه‌های ورودی از آبان ماه افزایش یافته و در ماه ژانویه به اوج خود می‌رسد. در طی سال‌هایی که بارندگی دیرتر از حد معمول شروع می‌شود، پرفشار جنب حاره عربستان دیرتر از شرایط عادی از جنوب‌غربی ایران خارج شده و شرایط حاکم همدیدی امکان ورود هر سامانه بارندگی به منطقه را نشدنی ساخته است. در این شرایط سامانه کم‌فشار سودان به‌عنوان کارآمدترین سامانه بارندگی در عرض جغرافیایی جنوبی روی سودان و اتیوپی مسدود شده است و امکان گسترش در منطقه یا انتقال به مسیر دیگری برایش شدنی نیست. در چنین شرایطی پرفشار جنب حاره عربستان، عموماً دارای یک گسترش مداری است و از این طریق، تراف دریای مدیترانه توان گسترش به سمت جنوب را ندارد. در نتیجه، ناپایداری نمی‌تواند به منطقه منتقل شود. برعکس این حالت، حرکت شرق و شمال سوی سامانه سودانی میسر و با ورود از جنوب و جنوب‌غرب بارش‌های سنگین و فراگیری در مناطق مورد مطالعه ایجاد می‌کند. درباره تغییرات زمانی و مکانی فراوانی سودانی، پویایی، جهت حرکت آن از منشأ، توزیع ماهانه و فصلی و مراحل تکوین و گسترش از منشأ خود به‌سوی شرق و شمال عادل و دیگران (۲۰۱۹)، مانا و دیگران (۲۰۲۰)، عبدالحلیم و دیگران (۲۰۲۰)، سارونی و دیگران (۲۰۱۹)، محمد و دیگران (۲۰۱۹)، احمد و ویلیام (۲۰۱۹)، مایکل و دیگران (۲۰۱۸)، لشکری و محمدی (۱۳۹۸ و ۲۰۱۹) و محمدی و لشکری (۲۰۲۰)، پژوهش‌هایی انجام داده‌اند که یافته‌های پژوهش حاضر با یافته‌های آن‌ها همخوانی دارد. به این ترتیب در آینده همچنان باید منتظر وقوع خشک‌سالی و بارش‌های شدید و سیل‌آسا از سامانه سودانی بود. در نتیجه برای کاهش اثرات مخرب این بلایا (خشک‌سالی و سیل) بر ساختار اکویولوژیکی اکوسیستم‌های آبی، دریاچه‌ها، تالاب‌ها و... که اثرات مستقیمی از لحاظ آب و هوایی، اکولوژیکی، اقتصاد و... در نیمه جنوبی ایران دارند، باید تدابیری اندیشیده شود. در پایان پیشنهاد می‌گردد پژوهش درباره این سامانه، به‌ویژه در جنوب و جنوب‌غرب ایران در قالب یک طرح پژوهشی همدیدی-آماری جامع باشد. به‌گونه‌ای که تمام عوامل جوی دخیل در ورود این سامانه به ایران به‌صورت همدیدی و آماری مطالعه گردد.

منابع

- آروین، ع. قانقرمه، ع. حاجی‌پور، د. و حیدری، م. ۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات برخی عناصر اقلیمی در استان چهارمحال و بختیاری. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ۱۳(۴۱): ۱۷۶-۱۵۳.
- اسدی، ا. و مسعودیان، س. ا. ۱۳۸۳. بررسی سینوپتیکی سیلاب سال ۱۳۸۰ شیراز. دومین کنفرانس ملی دانشجویی آب‌و خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز: صفحات ۱۶۸-۱۶۲.

- امیدوار، ک. کوشکی، ح. ابراهیمی، ر. و یدالهی، آ.، ۱۳۹۴. تحلیل همدیدی- دینامیک بارش فراگیر و نادر ۲۰ تا ۲۴ فروردین ماه ۱۳۸۶ جنوب و جنوب غرب ایران. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲۳(۶ و ۲۴): صفحات ۷۸-۹۰.
- امیدوار، ک. و ترکی، م.، ۱۳۹۱. شناسایی الگوهای ریزش بارش‌های سنگین در استان چهارمحال و بختیاری. مجله مدرس علوم انسانی-برنامه ریزی و آمایش فضا، ۱۶(۴): صفحات ۱۶۹-۱۳۵.
- امیریان، ع. سلطانی، ف.، ۱۳۹۰. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر حوضه جراحی با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و پارامتری تحلیلی رگرسیون. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان. تعداد صفحات ۹. <https://civilica.com/doc/۱۵۷۶۹۶/>
- بیات، ع. نجار سلیقه، م. و اکبری، م.، ۱۳۹۶. اقلیم‌شناسی سیکلون‌های باران‌زای زمستان ایران. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴(۲): صفحات ۱۸-۱.
- پرک، ف. روشنی، ا. و علیجانی، ب.، ۱۳۹۴. واکاوی همدیدی سامانه کم‌فشار سودانی در رخداد ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌های نیمه جنوبی ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۵: صفحات ۷۵-۹۰.
- جوانمرد، س. باباییان، ا. بلاق جمالی، ج. و شهاب‌فر، ع.، ۱۳۸۲. بررسی همبستگی بین تغییرات فشار قزاقستان- دریای عمان با نوسان‌های بارش ایران. مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۱: صفحات ۱۵۰-۱۳۴.
- حجام، س. خوشخو، ی. و شمس‌الدین وندی، ر.، ۱۳۸۷. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴: صفحات ۱۶۸-۱۵۷.
- ظهرایی، ن. مساح بوانی، ع. گودرزی، ا. حیدر نژاد، م.، ۱۳۹۵. شناسایی روند تغییرات دما و بارش سالانه در حوضه آبریز کرخه. فصلنامه علمی پژوهشی اکویولوژی تالاب، ۸(۲۸): صفحات ۲۲-۵.
- عساکره، ح. بیرانوند، آ. فتاحیان، م. و شادمان، ح.، ۱۳۹۶. تحلیل روند جابجایی رودباد و پرفشار جنب حاره بر فراز خاورمیانه و رابطه آن با اقلیم ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۰(۱۷): صفحات ۳۱۵-۳۰۳.
- قاندی، س. موحدی، س. و مسعودیان، س. ا.، ۱۳۹۱. رابطه‌ی فرود دریای سرخ با بارش‌های سنگین. مجله جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۲: صفحات ۱۸-۱.
- قصاب فیض، م. و اسلامی، ح.، ۱۳۹۶. ارزیابی روند تغییرات بارندگی با روش من-کندال و رگرسیون خطی در استان خوزستان. فصلنامه علمی و تخصصی مهندسی آب ۵(۲): صفحات ۱۲۱-۱۱۳.
- گندمکار، ا.، ۱۳۸۹. بررسی همدید بارش‌های شدید در نواحی جنوبی استان بوشهر. مجله‌ی چشم اندازه‌های جغرافیایی (علمی-پژوهشی)، ۴(۱۰): صفحات ۱۵۷-۱۴۳.
- لشکری، ح.، ۱۳۷۹. مکانیسم تکوین منطقه‌ی همگرایی دریای سرخ. فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی: صفحات ۱۸۴-۱۶۷.
- لشکری، ح.، ۱۳۸۱. مسیربایی سامانه‌ی کم‌فشار سودانی ورودی به ایران. مجله مدرس، ۲۶(۲): صفحات ۱۵۶-۱۳۳.
- لشکری، ح.، ۱۳۸۲. مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه‌ی مرکز کم‌فشار سودان و نقش آن بر بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶: صفحات ۱۸-۵.
- لشکری، ح. قائمی، ه. و پرک، ف.، ۱۳۹۲. تحلیل رژیم بارندگی منطقه جنوب و جنوب غرب کشور. مجله سپهر، ۲۲(۵۸): صفحات ۶۳-۵۷.
- لشکری، ح. و محمدی، ز.، ۱۳۹۴. اثر موقعیت استقرار پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان بر سامانه‌های بارشی در جنوب و جنوب غرب ایران. مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۴۷(۱): صفحات ۹۰-۷۳.
- لشکری، ح. و محمدی، ف.، ۱۳۹۸. بررسی تغییرات بارش سامانه‌ی کم‌فشار سودان طی روند تاریخی در منطقه جنوب غرب ایران. مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۵۱(۲): صفحات ۳۸۷-۳۷۳.
- محمدی، ب.، ۱۳۹۰. تحلیل روند بارش سالانه ایران. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۲(۳): صفحات ۱۰۶-۹۵.
- محمدی، ح. فتاحی، ا. شمسی پور، ع. ا. و اکبری، م.، ۱۳۹۱. تحلیل دینامیک سامانه‌های سودانی و رخداد بارش‌های سنگین در جنوب غرب ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۲(۲۴): صفحات ۲۴-۷.
- محمدی، ز. و لشکری، ح.، ۱۳۹۷. نقش جابه‌جایی پرفشار عربستان و رود باد جنب‌حاره‌ای در الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۰(۳): صفحات ۵۰۹-۴۹۱.
- معروف نژاد، ع. و قاسمی، ش.، ۱۳۹۵. روند تغییرات دما با استفاده از روش من-کندال (مطالعه موردی چهار شهرستان استان چهارمحال و بختیاری). فصلنامه‌ی آمایش محیط، شماره ۳۷: صفحات ۱۶۶-۱۴۹.

مفیدی، ع. و زرین، آ. ۱۳۸۴. تحلیل سینوپتیکی ماهیت سامانه‌های کم‌فشار سودانی (مطالعه موردی: توفان دسامبر ۲۰۰۱). فصلنامه‌ی جغرافیایی سرزمین، سال دوم، شماره ۶: صفحات ۴۸-۲۴.

منتظری، م. نامی، م. ح. و دالایی، ح. ۱۳۹۲. تحلیل همدیدی بارش سنگین ۲۱ نوامبر ۲۰۱۱ استان کهگیلویه و بویراحمد (لیکک). فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۱۰(۳۷): صفحات ۹۱-۷۷.

Abdulahaleem, H., L., Abdul-Wahab, S. M. and Awad, A. M., ۲۰۲۰. Main atmospheric regimes of the long winter Red Sea trough. Arabian Journal of Geosciences volume ۱۳, Article number: ۱۷۱.

Awad, A. M. and Abdul-Wahab, S. M., ۲۰۱۹. Climatology of the autumn Red Sea trough. Theoretical and Applied Climatology volume ۱۳۵: ۱۵۴۵-۱۵۵۸.

Samman, A. E. and Gallus Jr, W. A., ۲۰۱۹. Analyses of the winter low-level jet over the southern Red Sea using the Weather Research and Forecasting model. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, <https://doi.org/10.1002/qj.3575>

Almazroui, M., Khaled Ammar, K., Islam, M. N., Awad, A. M. and Khalid, M. S., ۲۰۱۹. Spring Saharan Cyclones over Saudi Arabia: Preliminary Study of the Impacts on Climate, Earth Systems, and Environment volume ۳: ۱۵۳-۱۷۱.

Alpert, P. E., ۲۰۰۴. A New Season Definition Based on Classified Daily Synoptic System: An Example for the Eastern Mediterranean. International Journal Climatology. ۲۴: ۱۰۱۳- ۱۰۲۱

Cannarozzo, M., Noto, L. V. and Viola, F., ۲۰۰۶. Spatial distribution of rainfall trends in Sicily (۱۹۲۱-۲۰۰۰), Phys. Physics and Chemistry of the Earth. ۳۱: ۱۲۰۱-۱۲۱۱.

Konrad II, C. E., Meaux, M. F. and David A. Meaux, D. A., ۲۰۰۲. Relationships between tropical cyclone attributes and precipitation totals: considerations of scale. International Journal of climatology. Int. J. Climatol. ۲۲: ۲۳۷-۲۴۷. Published online in Wiley Inter Science (www.interscience.wiley.com). DOI: ۱۰.۱۰۰۲/joc.۷۲۱

Diop, L., Bodian, A. and Diallo, D., ۲۰۱۶. Spatiotemporal trend analysis of the mean annual rainfall in Senegal. European Scientific Journal, ۱۲: ۲۳۱-۲۴۵.

Duhan, D. and Pandey, A., ۲۰۱۲. Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during ۱۹۰۱-۲۰۰۲ at Madhya Pradesh, India. Atmospheric Research. ۱۲۲: ۱۳۶-۱۴۹.

Feidas, H., Nouloupoulou, Ch., Makrogiannis, T. and Bora-Senta, E., ۲۰۰۷. Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: ۱۹۵۵-۲۰۰۱, Theor. Appl. Climatol. ۸۷, ۱۵۵-۱۷۷.

Hochman, A., Alpert, P., Kunin, P., Dorita Rostkier-Edelstein, D., Hrpaz, T., Saaroni, H. and Messori, H., ۲۰۲۰. The dynamics of cyclones in the twenty-first century: the Eastern Mediterranean as an example. Climate Dynamics, ۵۴: ۵۶۱-۵۷۴.

Karagiannidis, A., Karacostas, T., Maheras, P. and Makrogiannis, T., ۲۰۰۹. Trends and seasonality of extreme precipitation characteristics related to mid-latitude cyclones in Europe. Advances in Geosciences, ۲۰, ۳۹-۴۳.

Kiani, M., Lashkari, H. and Ghaemi, H., ۲۰۱۹. The effect of the Zagros Mountains on rainfall changes of Sudanese low-pressure system in western Iran, Modeling Earth Systems and Environment volume ۵, pages ۱۷۶۹-۱۷۷۹.

Konrad Charles, E. and Baker Perry, L., ۲۰۱۰. Relationships between tropical cyclones and heavy rainfall in the Carolina region of the USA. International journal of climatology Int. ۳۰: ۵۲۲-۵۳۴.

Lamb, H.H., ۱۹۷۷, Climate, Present, Past and Future, Climate history and the future, Vol. ۲, Methuen,

Lashkari, H. and Mohammadi, Z., ۲۰۱۹. Study on the role of annual movements of Arabian subtropical high pressure in the late start of precipitation in southern and southwestern Iran. Theoretical and Applied Climatology, ۱۳۷: ۲۰۶۹-۲۰۷۶.

Asiri, M. A., Almazroui, M. and Awad, A. M., ۲۰۲۰. Synoptic features associated with the winter variability of the subtropical jet stream over Africa and the Middle East. Meteorology and Atmospheric Physics.

McCabe, G. J., Clark M. P. and Serreze M. C., ۲۰۰۱. Trends in Northern Hemisphere Surface Cyclone Frequency and Intensity, Journal of Climate. ۲۷۶۸-۲۷۶۳.

Merabtene, T., Siddique, M. and Abdallah, S., ۲۰۱۶. Assessment of Seasonal and Annual Rainfall Trends and Variability in Sharjah City, UAE, *Advances in Meteorology*, Article ID ۶۲۰۶۲۳۸. ۱۳ pages

Byrne, M. P., Pendergrass, A. G., Rapp, A. D. and Wodzicki, K. R., ۲۰۱۸. Response of the Intertropical Convergence Zone to Climate Change: Location, Width, and Strength. *Current Climate Change Reports*, ۴: ۳۵۵-۳۷۰.

Mohammadi, F. and Lashkari, H., ۲۰۲۰. Determination of long-term changes in the rainfall penetration domain of Sudan low in Iran during the, <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.jastp.۲۰۲۰.۱۰۵۲۷۶> Get rights and content

Muhammad, N., Baseer Adel, M. and Almazroui, A. M., ۲۰۱۹. Climatology of the spring Red Sea Trough. <https://doi.org/۱۰.۱۰۰۲/joc.۶۰۶۹>.

Saaroni, H., Harpaz, T., Alpert, P. and Baruch, Z., ۲۰۱۹. Automatic identification and classification of the northern part of the Red Sea trough and its application for climatological analysis. <https://doi.org/۱۰.۱۰۰۲/joc.۶۴۱۶>. Funding information: Israeli Science Foundation, Grant/Award Number: ۱۱۲۳/۱۷

Tabari, H. and Hosseinzadeh Talaei, P., ۲۰۱۱. Temporal variability of precipitation over Iran: ۱۹۶۶-۲۰۰۵, *Journal of Hydrology*, ۳۹۶: ۳۱۳-۳۲۰.

Yosi, T. and Abraham Zangvil, A., ۲۰۰۵. Synoptic climatological analysis of 'wet' and 'dry' red sea troughs over Israel. *international journal of climatology*. ۲۵: ۱۹۹۷-۲۰۱۵. Published online ۷ November ۲۰۰۵ in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: ۱۰.۱۰۰۲/joc.۱۲۳۲.

