



داری مصوبه هیات وزیران
(۵۶۹۸۰/ت/۱۱۲۲ هـ)
مورخ ۱۴۰۲/۰۴/۰۴

هشتمین کنفرانس بین‌المللی تغییرات اقلیم

۹ و ۱۰ بهمن ماه ۱۴۰۲ / تهران - ایران



تحلیل روند شدت خشکسالی‌های حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در مقیاس‌های زمانی مختلف

پیمان محمودی^۱، ابراهیم فتاحی^۲، محسن حیدری^۳، اله بخش ریگی^۴، عاطفه انصاری^۵، علیرضا قائمی^۶

- ۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
- ۲- پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، سازمان هواشناسی ایران، تهران، ایران
- ۳- اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
- ۴- اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
- ۵- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
- ۶- گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

آدرس رایانامه نویسنده رابط (p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir)

چکیده:

در این پژوهش جهت تحلیل روند شدت خشکسالی‌های حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در مقیاس‌های زمانی مختلف از داده‌های ماهانه ۴۷ ایستگاه همدید برای یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۳-۲۰۲۲) استفاده گردید. برای شناسایی فراوانی درجات مختلف خشکسالی‌ها از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه استفاده شد. در ادامه با استفاده از تخمینگر شیب سن، روند تغییرات بلندمدت شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در چهار مقیاس هاز زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که خشکسالی‌ها در چهار مقیاس زمانی مورد نظر حاکی از افزایش شدت خشکسالی‌ها در بیشتر مساحت حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان بوده است. روند شدت خشکسالی‌ها در بخش‌های غربی و مرکزی حوضه آبریز کاهشی و در بخش شرقی آن افزایشی بوده است. روندهای کاهشی بیانگر افزایش شدت در خشکسالی‌ها و روندهای افزایشی حاکی از کاهش شدت خشکسالی‌ها می‌باشد. لذا صرف نظر از بخش شرقی (زیر حوضه آبریز بلوچستان جنوبی) و یک بخش کوچک از غرب حوضه آبریز (زیر حوضه آبریز مرزی غربی)، افزایش شدت خشکسالی‌ها قابل توجه است. لذا شدت خشکسالی‌ها در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه هشدار برای بخش کشاورزی و در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه نیز هشدار برای مدیریت منابع آب در این حوضه آبریز می‌باشد. لذا به نظر می‌رسد در سال‌های آتی این حوضه آبریز شرایط خشک تری را تجربه کند.

کلمات کلیدی: روند، خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، تخمینگر شیب سن،

Analyzing drought intensity trends in Persian Gulf and Oman Sea basin in different time scales

Peyman Mahmoudi¹, Ebrahim Fattahi², Mohsen Heydari³, Allahbakhsh Rigi⁴, Atefeh Ansari⁵, Alireza Ghaemi⁶

1- Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

2- Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran

3- Sistan and Baluchestan Province Meteorological Administration, Zahedan, Iran

4- Sistan and Baluchestan Province Meteorological Administration, Zahedan, Iran

5- Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

6- Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Email corresponding author: (p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir)

Abstract

Climate change is widely recognized as a significant environmental challenge in the 21st century. Numerous studies have examined the impact of climate change on droughts, analyzing their intensity, duration, and frequency at global, regional, and local levels. While no distinct global pattern of drought trends has been observed thus far, several studies have confirmed temporal and spatial changes in droughts at regional scales. The basin area of the Persian Gulf and the Sea of Oman, situated in an arid and semi-arid region, is particularly susceptible to climatic anomalies. Precipitation, a crucial climatic element in this area, exhibits extreme variability. Hence, it is crucial to investigate and forecast climate variations within this watershed to mitigate risks and minimize damages in various sectors such as agriculture, industry, transportation, water resources, watershed management, environment, tourism, and public health. In this study, the monthly data from 47 meteorological stations spanning 30 years (1993-2022) were utilized to examine the trend of drought severity in the basin area of the Persian Gulf and the Sea of Oman across different time frames. The Standardized Precipitation Index (SPI) was employed to determine the occurrence of various drought levels on a monthly, seasonal, and annual basis. Subsequently, the trend of long-term adjustments in the SPI was analyzed using the Sen's slope estimator for four-time scales: 3, 6, 12, and 24 months. The findings revealed that there has been an escalation in the intensity of droughts across most of the catchment areas of the Persian Gulf and the Sea of Oman, across all four-time scales. The severity of droughts in the western and central regions of the catchment basin has shown a declining trend, while the eastern part has experienced an increasing trend. Decreasing trends indicate a rise in drought intensity, whereas increasing trends suggest a decrease in drought intensity. Consequently, except for the eastern part (sub-basin of South Balochistan) and a small portion of the western border (sub-basin of the western border), the increase in drought severity is significant. As a result, the severity of droughts in the 3 and 6-month time scales serves as a warning for the agricultural sector, while in the 12 and 24-month time scales, it also serves as a warning for water resource management in this watershed. Therefore, it appears that this watershed will encounter drier conditions in the forthcoming years.

Keywords: Trend, drought, Standardized Precipitation Index (SPI), Sen's slope estimator

مقدمه

امروزه از تغییر اقلیم به عنوان یکی از مهمترین چالش‌های زیست محیطی بشر در قرن بیست و یکم نام برده می‌شود (قائم و همکاران، ۲۰۲۳). بر اساس گزارش ششم (AR6) هیئت بین الدول تغییر اقلیم (IPCC) در سال ۲۰۲۱، میانگین دمای کره زمین حدود ۱/۰۹ درجه سلسیوس طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۱ در مقایسه با دوره ۱۹۰۰-۱۸۵۰ (انقلاب صنعتی) افزایش داشته است (زرین و همکاران، ۲۰۲۱). این افزایش در میانگین دمای کره زمین باعث افزایش وقوع رخدادهای فرین اقلیمی در بخش های گسترده ای از سیاره زمین شده است (IPCC، ۲۰۱۴). جنوب غرب آسیا و به خصوص ایران نیز از این تغییرات در امان نبوده و تغییر اقلیم باعث افزایش در فراوانی رخدادهای فرین آب و هوایی آن همچون خشکسالی های و سیلاب ها شده است (منصوری دانشور و همکاران، ۲۰۱۹؛ علیزاده چوباری و نجفی، ۲۰۱۸).

مطالعات بسیاری روند تغییرات شدت، مدت و فراوانی خشکسالی ها را در مقیاس های جهانی، منطقه ای و محلی مورد مطالعه قرار داده اند. بیشتر این مطالعات گزارش داده اند که هنوز هیچ الگوی رفتاری مشخصی در یک مقیاس جهانی برای روند خشکسالی ها مشاهده نشده است (IPCC، ۲۰۱۲). اما در مقیاس های منطقه ای تغییرات زمانی و فضایی خشکسالی ها در بسیاری از مطالعات مورد تایید قرار گرفته اند (استرلینگ و همکاران، ۲۰۰۰). برخی از این مطالعات ادعا می کنند که فراوانی و شدت خشکسالی ها از اواخر قرن بیستم به بعد افزایش داشته اند (دای و همکاران، ۲۰۰۴؛ شفیلد و وود، ۲۰۰۸؛ دای، ۲۰۱۱؛ معانی مدنی و همکاران، ۲۰۱۳؛ صالح نیا و همکاران، ۲۰۱۳) و برخی دیگر ادعا می کنند که در قسمت هایی از جهان فراوانی و شدت خشکسالی ها کاهش یافته است (محمودی و همکاران، ۲۰۱۹؛ دور، ۲۰۰۵؛ فریج و همکاران، ۲۰۰۲؛ پاندی و راماساستری، ۲۰۰۱).

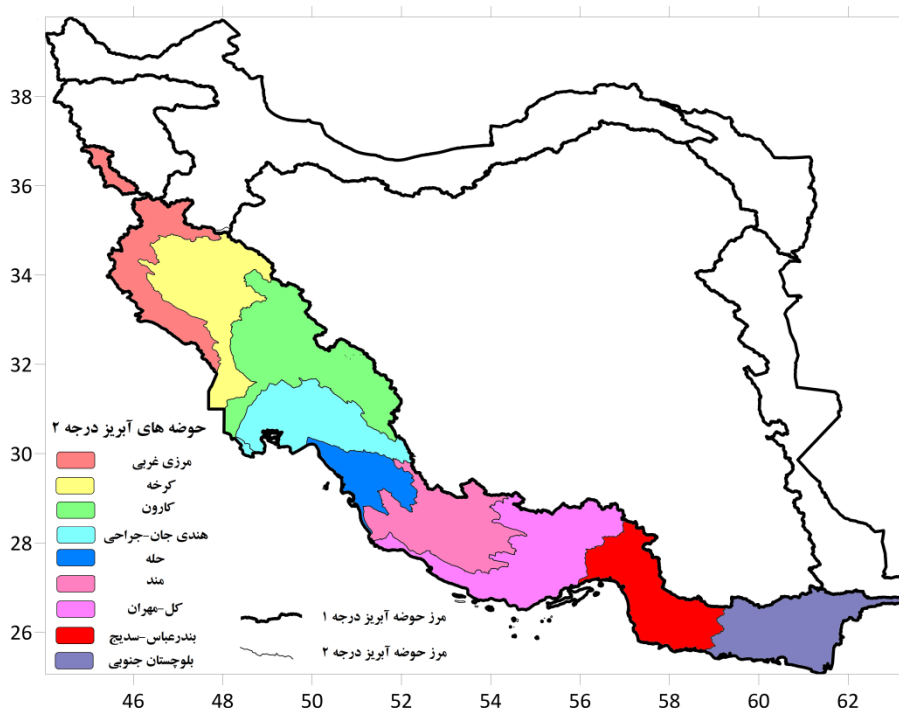
در ایران نیز مطالعات مختلفی روند تغییرات شدت، مدت و فراوانی خشکسالی ها را مورد توجه قرار داده اند (مرادی و همکاران، ۲۰۰۷؛ زارع ابیانه و همکاران، ۲۰۱۱؛ ملکی نژاد و سلیمانی، ۲۰۱۲؛ کشاورز و همکاران، ۲۰۱۳). باری ابرقویی و همکاران (۲۰۱۱) روند تغییرات شدت خشکسالی های ایران را با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس های زمانی مختلف مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که روند کاهشی در شدت خشکسالی های ایران در جنوب شرق، غرب و جنوب غرب قابل توجه تر از دیگر مناطق ایران است. محمودی و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داده اند که روند تغییرات شدت خشکسالی های ایران از فصلی به فصل دیگر و از یک مقیاس زمانی به یک مقیاس زمانی دیگر بسیار متفاوت بوده اند. در فصل پاییز روند تغییرات شدت خشکسالی های ایران روند افزایشی و در دو فصل زمستان و بهار روند کاهشی داشته اند. به عبارت دیگر در فصل پاییز بر شدت خشکسالی ایران افزوده شده است و در دو فصل زمستان و بهار از شدت آنها کاسته شده است. نوری و همائی (۲۰۱۹) در چهار مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه، روند شدت خشکسالی های ایران را با استفاده از دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و تبخیر و تعرق-بارش استاندارد شده (SPEI) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه این دو محقق نشان داد که بر اساس شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، ۷۶ درصد و بر اساس شاخص تبخیر و تعرق-بارش استاندارد شده (SPEI)، ۸۵ درصد ایستگاه های مورد مطالعه روند کاهشی داشته اند.

حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان نیز به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی اقلیمی و قرارگرفتن در پهنه ی خشک و نیمه خشک کره زمین، در مواجهه با این ناهنجاری های اقلیمی به شدت آسیب پذیراست به طوری که یکی از مهمترین عنصر اقلیمی آن یعنی بارش، تغییر پذیری شدیدی از خود نشان می دهد. در جایی سبب بروز خشکسالی های ممتد و در مکان دیگر مسبب سیل و طغیان رودخانه ها می شود. لذا لزوم بررسی و پیش بینی تغییرات اقلیمی در این حوضه آبریز، جهت کاهش خطرات و زیان هایی در سطوح و بخش های کلان کشاورزی، صنعت و حمل و نقل، منابع آب و آبخیزداری، محیط زیست و گردشگری، بهداشت و سلامت و غیره از اهمیت خاصی برخوردار است. لذا نخستین گام در جهت مدیریت بحران خشکسالی و کاهش اثرات مخرب آن در این حوضه آبریز شناخت، بررسی و

تحلیل رفتار فضایی- زمانی بارش و ویژگی های آن و پیش یابی چگونگی رخداد آنها در آینده و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی می باشد. چرا که لزوم مطالعه دقیق این پدیده و پیش بینی آن به منظور یاری رساندن مدیران و برنامه ریزان بخش های مختلف مطالعاتی و اجرایی، جهت تحقق اهداف کلان ملی و منطقه ای امری ضروری است.

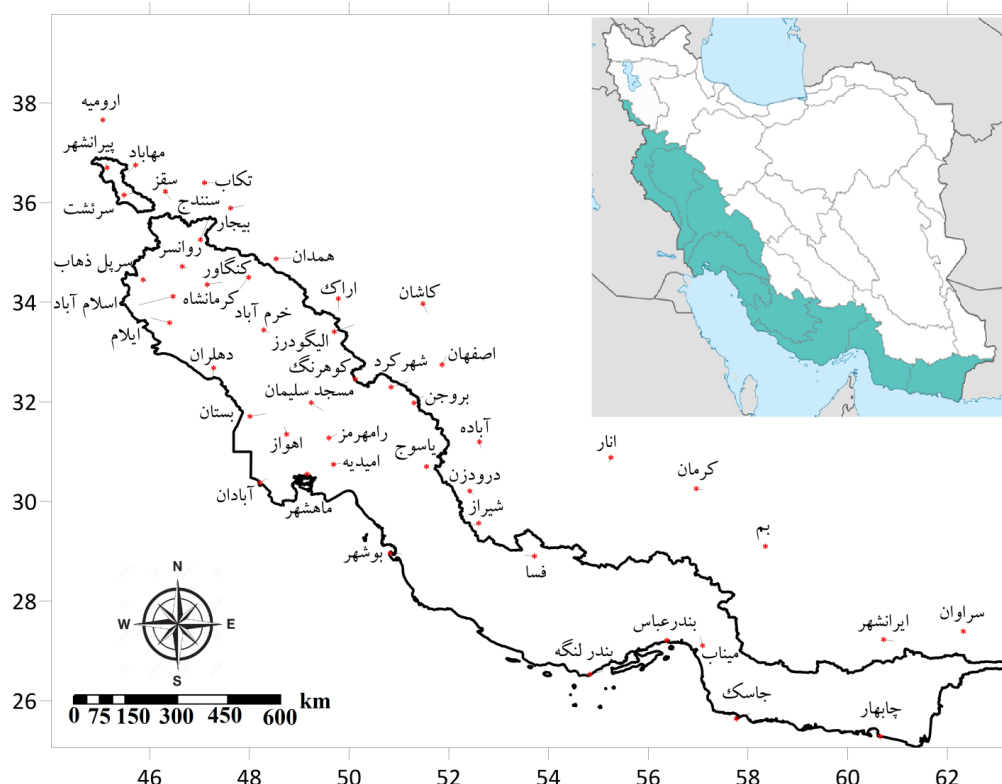
داده ها و روش شناسی

حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان با مساحتی حدود ۴۲۴۰۲۹ کیلومتر مربع معادل با ۲۵/۷ درصد از کل مساحت ایران یکی از پهناورترین حوضه های آبریز ایران است که از غرب به جنوب شرق کشور گسترده شده است و استان های کرمانشاه، ایلام، لرستان، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر و هرمزگان را در بر گرفته است. رشته کوه های زاگرس سرچشمه اصلی رودخانه هایی است که به حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان سرازیر می شوند. از مهم ترین رودخانه های این حوضه آبریز می توان به اروندرود، گاماسب، کارون، جراحی، زهره، دالاک، مند، شور، میناب، مهران و نبند اشاره کرد. این حوضه آبریز که جزء حوضه های آبریز درجه یک ایران به شمار می رود خود به ۹ زیر حوضه آبریز درجه ۲ تقسیم می شود که موقعیت و ویژگی های جغرافیایی آنها در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان و زیر حوضه های آن در جنوب ایران

در این پژوهش جهت تحلیل روند شدت خشکسالی های حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در مقیاس های زمانی مختلف از داده های ماهانه ۴۷ ایستگاه همدید برای یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۳-۲۰۲۲) که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد، استفاده گردید. اندک خلاء های آماری موجود در این داده ها با استفاده از روش های همبستگی و رگرسیون بازسازی شدند. از این ۴۷ ایستگاه همدید ۲۹ ایستگاه همدید آن داخل مرزهای حوضه آبریز و ۱۸ ایستگاه همدید آن خارج از مرزهای حوضه آبریز واقع شده اند. در زمان نگاشت مقادیر شیب روند تغییرات خشکسالی ها از تمامی ۴۷ ایستگاه همدید و در زمان تحلیل نتایج تنها از ۲۹ ایستگاه همدید داخل حوضه آبریز استفاده شده است (شکل ۲).



شکل ۲. نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران

بعد از تشکیل بانک اطلاعاتی مورد نیاز برای شناسایی فراوانی درجات مختلف خشکسالی ها در ایران از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده شد. این نمایه برای اولین بار توسط مک کی و همکاران (۱۹۹۳، ۱۹۹۵) عرضه و بطور گسترده ای در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص فقط براساس متغیر بارش استوار بوده و ابزاری مناسب برای شناسایی پدیده خشکسالی در مناطق گوناگون است. در ادامه با استفاده از تخمینگر شیب سن، روند تغییرات بلندمدت شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در چهار مقیاس هاز زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه مورد تحلیل قرار گرفتند.

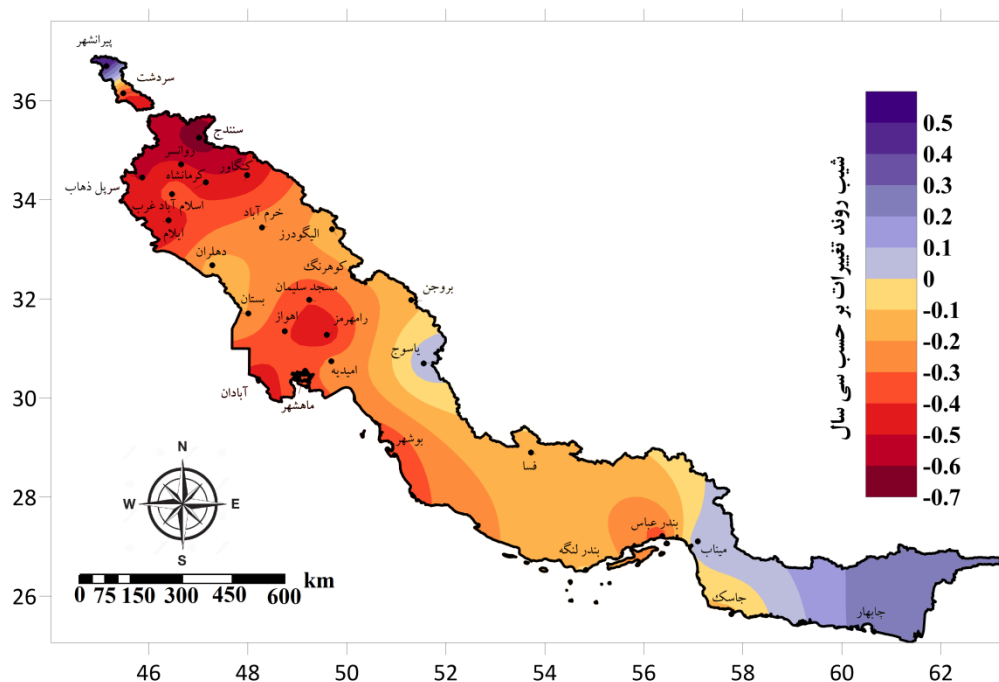
بحث

روند تغییرات مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی سه ماهه

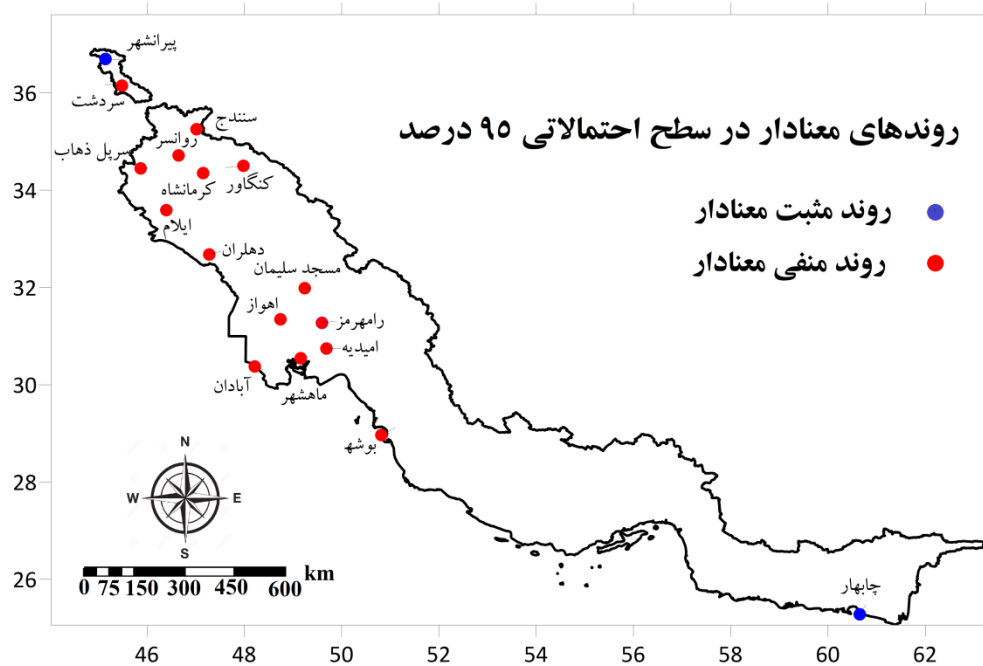
شاخص بارش استاندارد شده سه ماهه (SPI-3) در واقع مجموع بارش یک دوره سه ماهه مشخص در طول دوره آماری مورد مطالعه است که امکان مقایسه دوره های مختلف سه ماه با یکدیگر را فراهم می کند. یک SPI-3 می تواند به خوبی شرایط رطوبتی کوتاه مدت و میان مدت خاک را منعکس و تخمینی از بارش فصلی را ارائه دهد. تحلیل روند تغییرات بلندمدت این شاخص در یک مقیاس سه ماهه برای حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان نشان می دهد که از ۲۹ ایستگاه واقع در داخل حوضه آبریز مورد مطالعه حدود ۲۵ ایستگاه دارای روند کاهشی و ۴ ایستگاه نیز دارای روند افزایشی بوده اند (شکل ۳). به عبارت دیگر روند تغییرات بلندمدت ایستگاه های واقع در غرب و مرکز حوضه آبریز مورد مطالعه یک روند کاهشی بوده است، یعنی در طول ۳۰ سال مورد مطالعه (۱۹۹۳-۲۰۲۲) بر شدت خشکسالی های آنها در این مقیاس زمانی افزوده شده است. ایستگاه های سنندج، سرپل ذهاب و ایلام به ترتیب با شیب تغییرات $-۰/۶۸۷$ ، $-۰/۵۱۶$ و $-۰/۵۰۱$ و ایستگاه های بندرلنگه، جاسک و فسا به ترتیب با شیب

تغییرات ۰۰/۱۲۶-، ۰۰/۰۸۶- و ۰۰/۱۲۶- دارای بیشترین و کمترین شیب روند تغییرات کاهشی بوده اند. ایستگاه های یاسوج، میناب، چابهار و پیرانشهر نیز چهار ایستگاهی بودند که روند تغییرات مقدار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) آنها در مقیاس زمانی سه ماهه افزایشی بوده است، یعنی در طول ۳۰ سال مورد مطالعه از شدت خشکسالی های آنها کاسته شده است. اما به استثنای شرق حوضه آبریز، نظم فضایی مشخصی برای این نوع از روندها نمی توان یافت (شکل ۳). اما روندهای کاهشی که در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد معنادار بوده اند مربوط به ایستگاه های آبادان، اهواز، ماهشهر، بوشهر، دهلران، ایلام، کنگاور، رامهرمز، کرمانشاه، مسجد سلیمان، امیدیه، رانسر، سنندج، سردشت و سرپل ذهاب بوده است که تمامی آنها در نیمه غربی حوضه آبریز تمرکز پیدا کرده اند (شکل ۴). در شکل ۵ نمودارهای مربوط به تمامی ایستگاه هایی که روندهای کاهشی آنها معنادار بوده اند آورده شده است. لذا بر اساس آرایش فضایی ایستگاه های دارای روند کاهشی معنادار می توان استنباط نمود که تغییرات در شدت خشکسالی های کوتاه مدت غرب حوضه آبریز که شامل زیر حوضه های مرزی غربی، کرخه، کارون، جراحی-زهره و حله می شود نسبت به دیگر قسمت های حوضه آبریز مورد مطالعه ملموس تر می باشد.

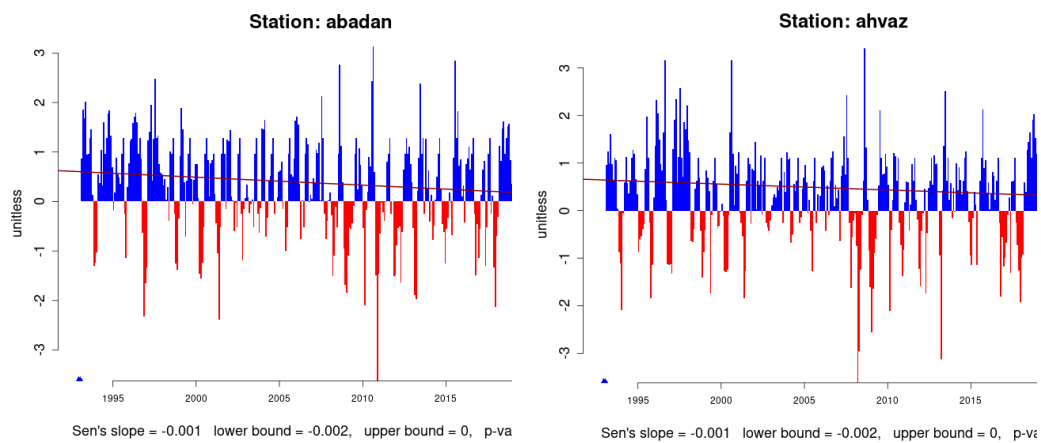
اما از بین پنج ایستگاهی که روند آنها افزایشی بوده است تنها دو ایستگاه پیرانشهر و چابهار روند افزایشی آنها در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد معنادار بوده اند. در شکل ۶ نمودار روند تغییرات بلندمدت این دو ایستگاه آورده شده است. با توجه به شکل ۳ و ۴ مشخص می شود که شدت خشکسالی هادر مقیاس زمانی سه ماهه در جنوب شرق حوضه آبریز مورد مطالعه به مرکزیت ایستگاه چابهار کاهشی بوده است.



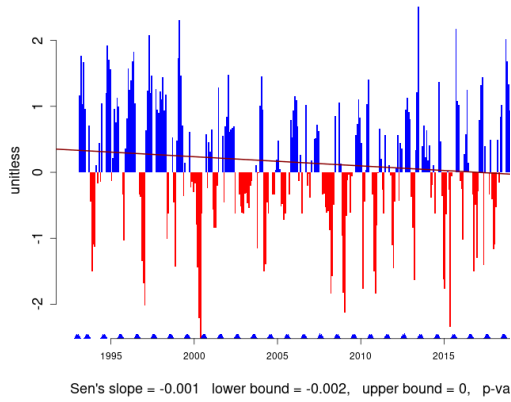
شکل ۳. توزیع فضایی مقادیر شیب روند تغییرات بلندمدت شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۳ ماهه بر حسب ۳۰ سال در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)



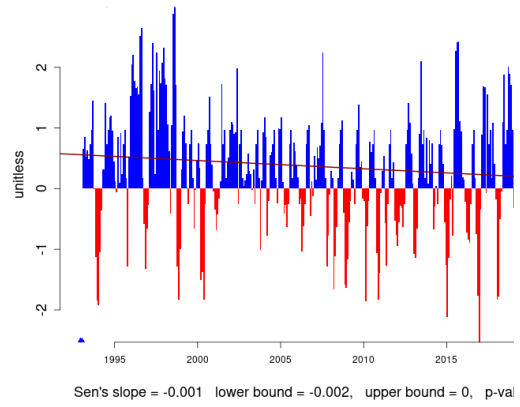
شکل ۴. نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های دارای روند های معنادار در سطوح احتمالاتی مختلف برای شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۳ ماهه در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)



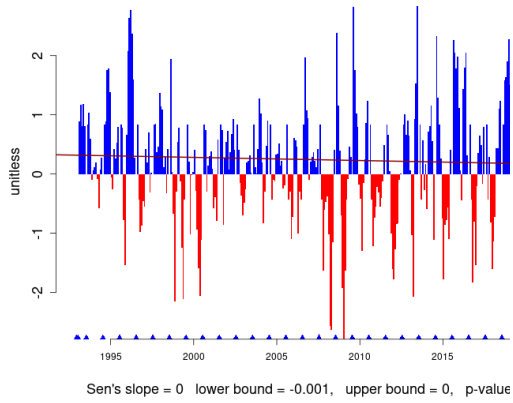
Station: bandarmahshahr



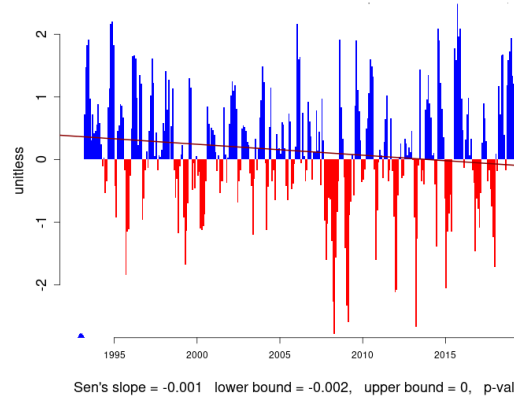
Station: bushehr



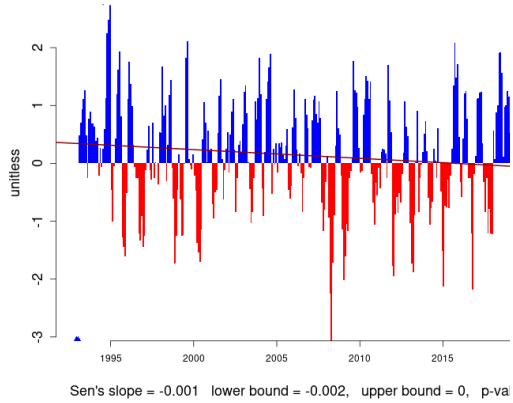
Station: dehloran



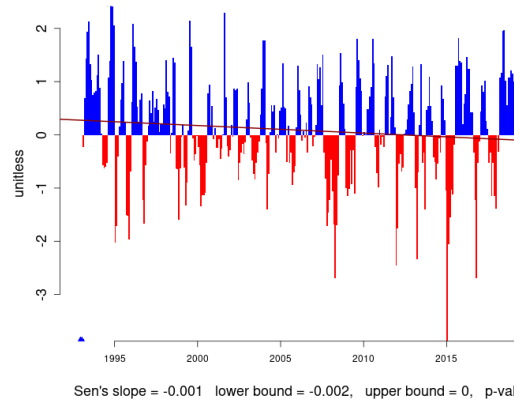
Station: ilam

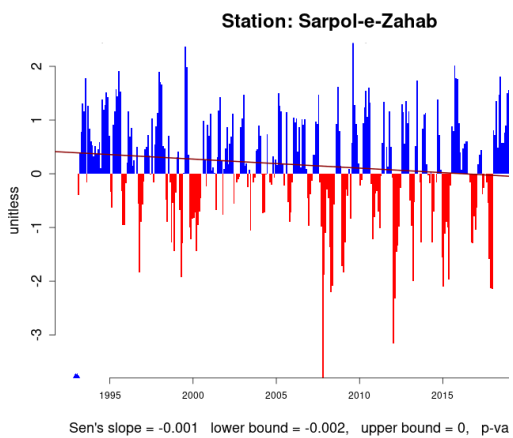
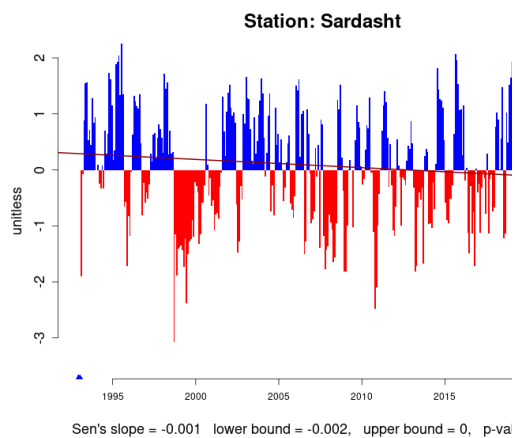
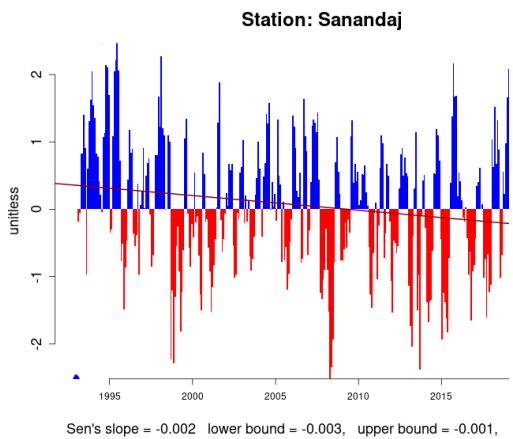
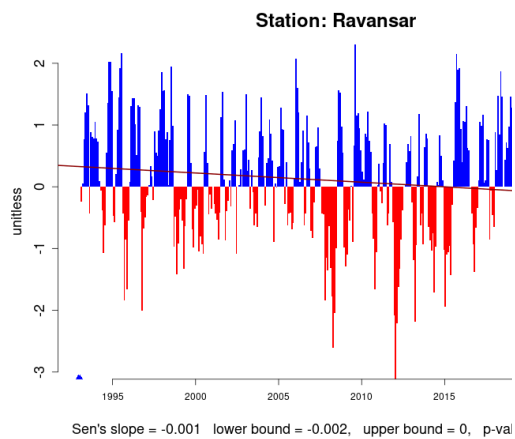
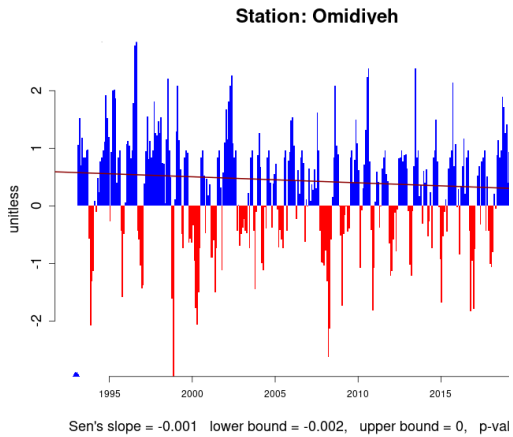
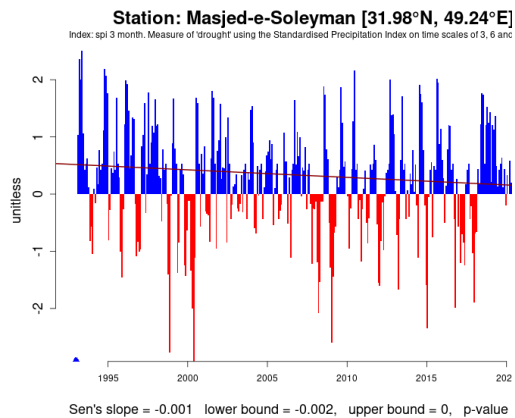


Station: kangavar

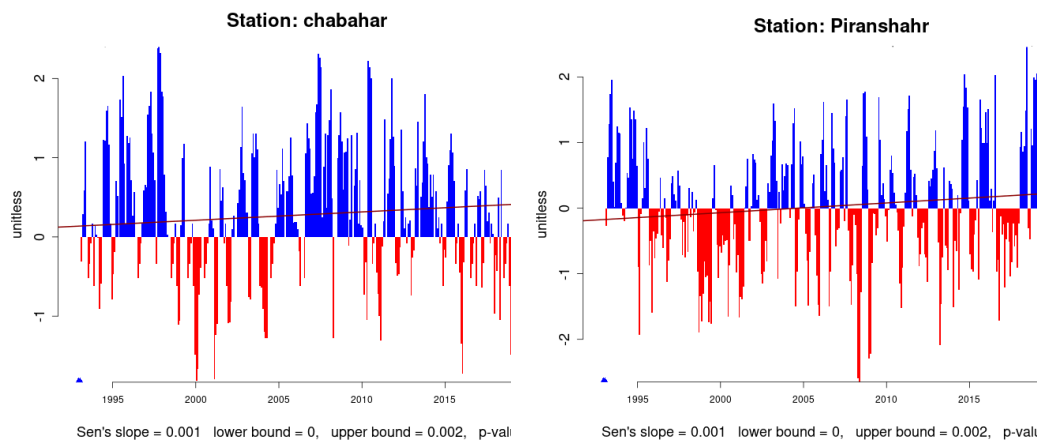


Station: kermanshah





شکل ۵. نمودار شیب روند تغییرات کاهشی معنادار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۳ ماهه برای ایستگاه های آبادان، اهواز، ماهشهر، بوشهر، دهلران، ایلام، کنگاور، کرمانشاه، مسجد سلیمان، امیدیه، روانسر، سنندج، سردشت و سرپل ذهاب در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

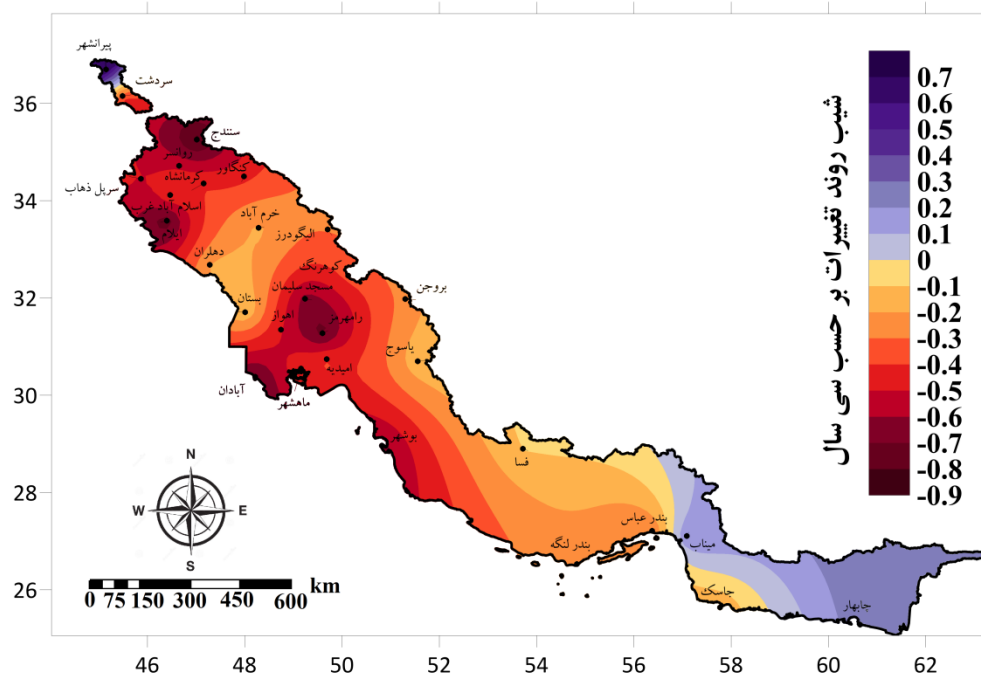


شکل ۶. نمودار شیب روند تغییرات افزایشی معنادار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۳ ماهه برای دو ایستگاه چابهار و پیرانشهر در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

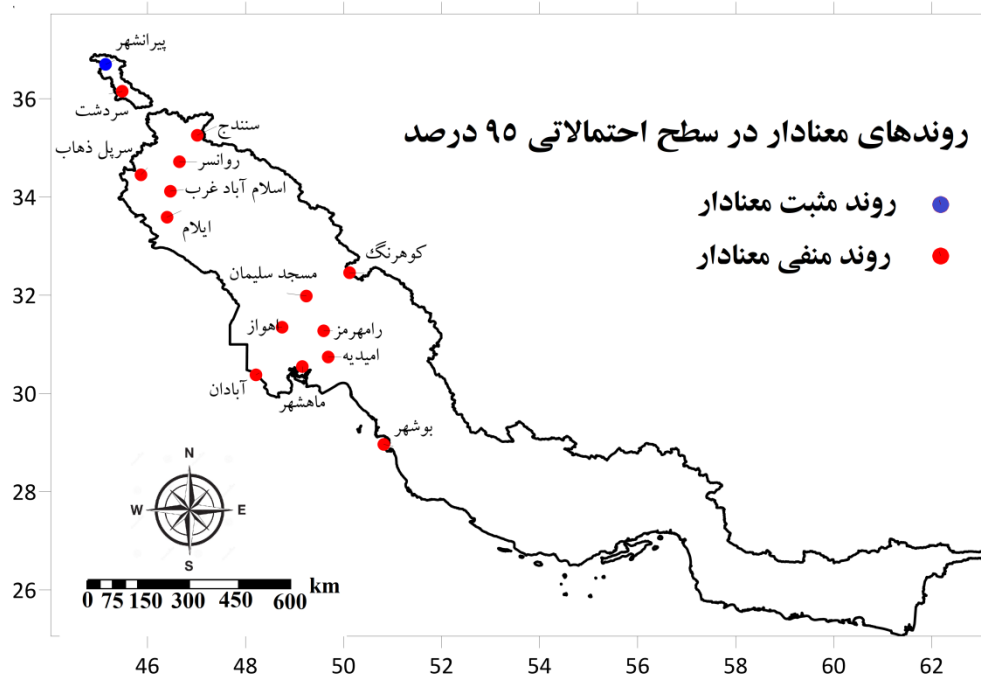
روند تغییرات مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی شش ماهه

شاخص بارش استاندارد شده شش ماهه (SPI-6) در واقع امکان مقایسه بارش یک دوره شش ماهه خاص را با تمام دوره های شش ماهه مشابه که قبلاً ثبت شده اند را فراهم می کند. این مقیاس از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) می تواند به خوبی روندهای فصلی تا میان مدت بارش ها را در یک منطقه نشان دهد. همچنین اطلاعات حاصل از این شاخص بسته به مکان و زمان می تواند با جریانات آب رودخانه ای و سطح آب سدها ارتباط داده شود.

نتایج تحلیل روند تغییرات بلندمدت مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در یک مقیاس شش ماهه برای حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان نشان می دهد که روند کاهشی در مقادیر این شاخص در این مقیاس زمانی بر کل حوضه آبریز بیشترین غلبه را دارد. به طوریکه تمامی ایستگاه های واقع در مرکز و غرب حوضه آبریز مورد مطالعه دارای روند کاهشی در مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) شش ماهه بوده اند. به عبارت دیگر در این مقیاس زمانی خشکسالی ها روز به روز شدیدتر شده اند (شکل ۷). اما جدا از مرکز و غرب حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان که روند سری های زمانی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) شش ماهه آنها کاهشی بوده است، اما در انتهای قسمت شرقی و غربی حوضه آبریز به خصوص به مرکزیت ایستگاه های چابهار و پیرانشهر روندها افزایشی مشاهده شده است یعنی از شدت خشکسالی ها در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۹۹۳-۲۰۲۲) کاسته شده است (شکل ۷). از ۲۹ ایستگاه مورد مطالعه در داخل این حوضه آبریز تقریباً ۲۶ ایستگاه دارای روند کاهشی و ۳ ایستگاه نیز دارای روند افزایشی بوده اند. از ۲۶ ایستگاهی که روند سری های زمانی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) شش ماهه آنها کاهشی بوده است تنها ۱۴ ایستگاه روند کاهشی آنها در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد معنادار بوده اند که شامل ایستگاه های آبادان، اهواز، ماهشهر، بوشهر، اسلام آباد غرب، امیدیه، رامهرمز، روانسر، سنندج، سردشت، سرپل ذهاب؛ مسجد سلیمان، ایلام و کوهرنگ می شود (شکل ۸). تمامی این چهارده ایستگاه در مرکز و غرب حوضه آبریز مورد مطالعه متمرکز هستند (شکل ۸). تمامی نمودارهای مربوط تغییرات بلندمدت این چهارده ایستگاه در شکل ۹ آورده شده است. اما از بین سه ایستگاهی که روندهای آنها کاهشی بوده اند تنها ایستگاه پیرانشهر روند تغییرات بلندمدت آنها در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد معنادار بوده است (شکل ۸) که نمودار آن در شکل ۱۰ آورده شده است.

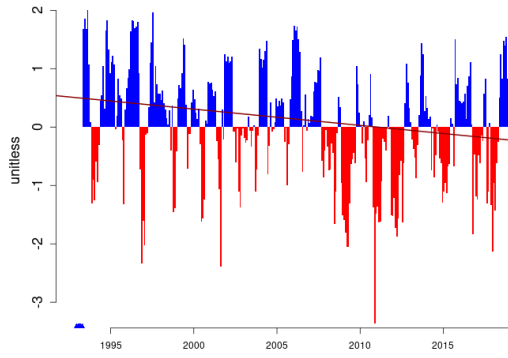


شکل ۷. توزیع فضایی مقادیر شیب روند تغییرات بلندمدت شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۶ ماهه بر حسب ۳۰ سال در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)



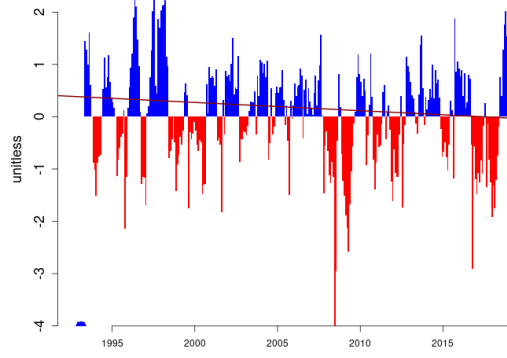
شکل ۸. نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های دارای روند های معنادار در سطوح احتمالاتی مختلف برای شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۶ ماهه در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

Station: abadan



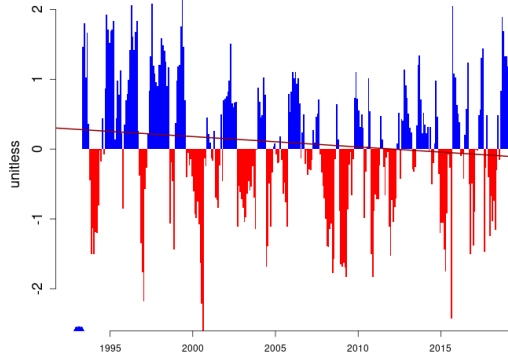
Sen's slope = -0.002 lower bound = -0.003, upper bound = -0.001,

Station: ahvaz



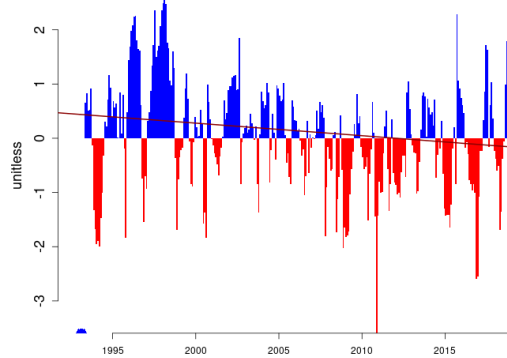
Sen's slope = -0.001 lower bound = -0.002, upper bound = 0, p-val

Station: bandarmahshahr



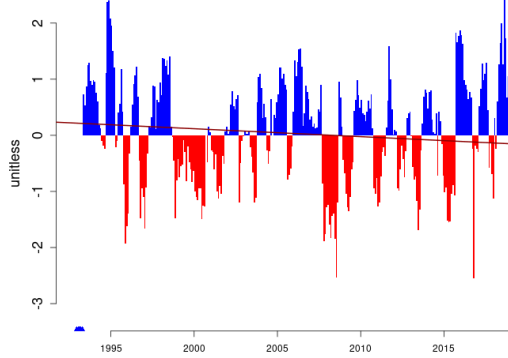
Sen's slope = -0.001 lower bound = -0.002, upper bound = 0, p-val

Station: bushehr



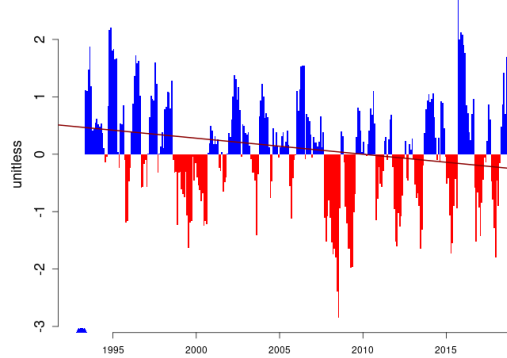
Sen's slope = -0.002 lower bound = -0.003, upper bound = -0.001,

Station: eslamabad-e-gharb

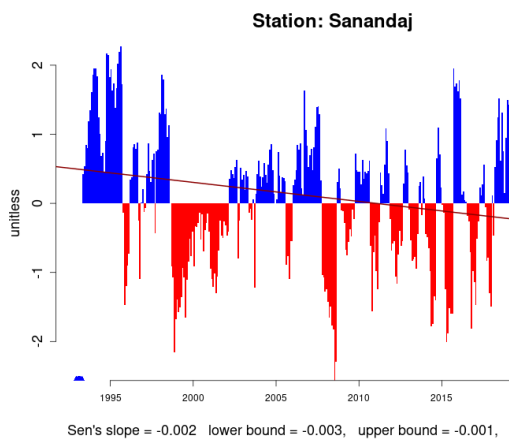
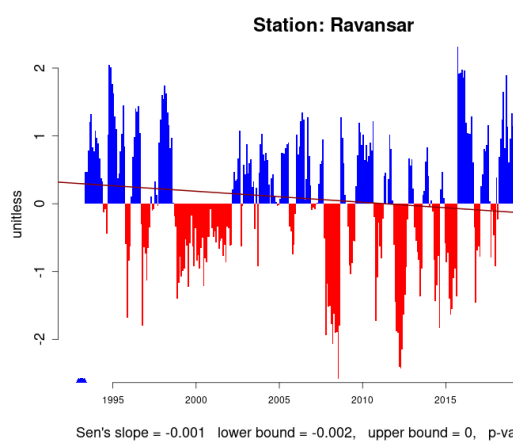
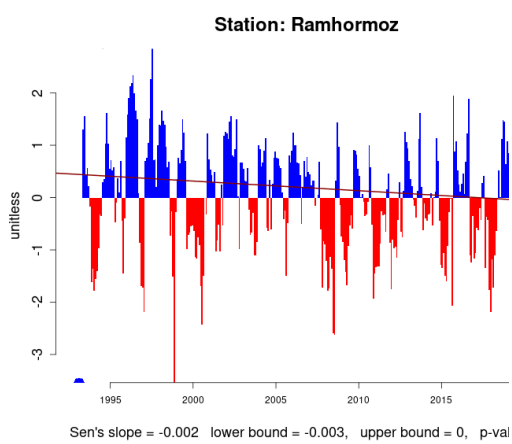
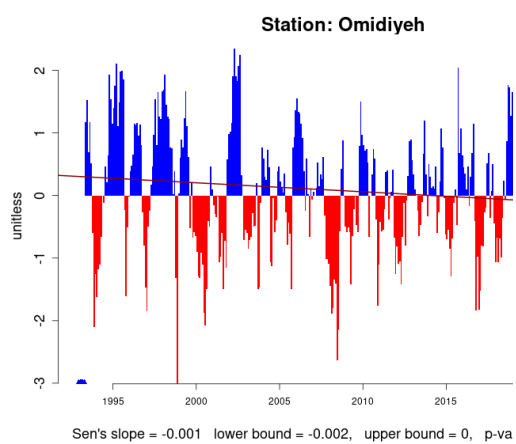
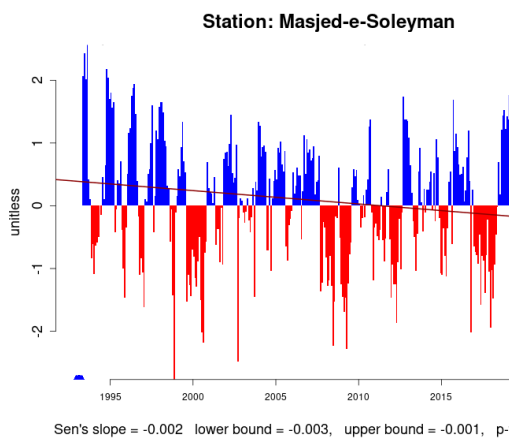
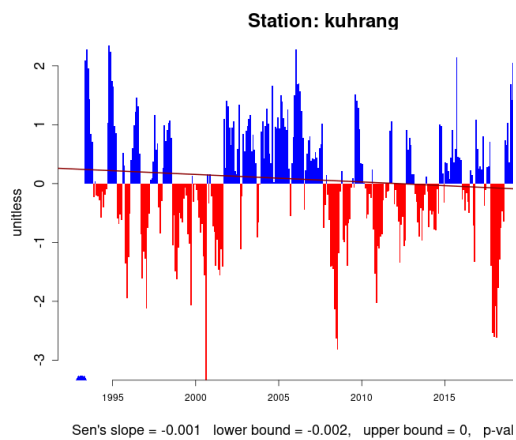


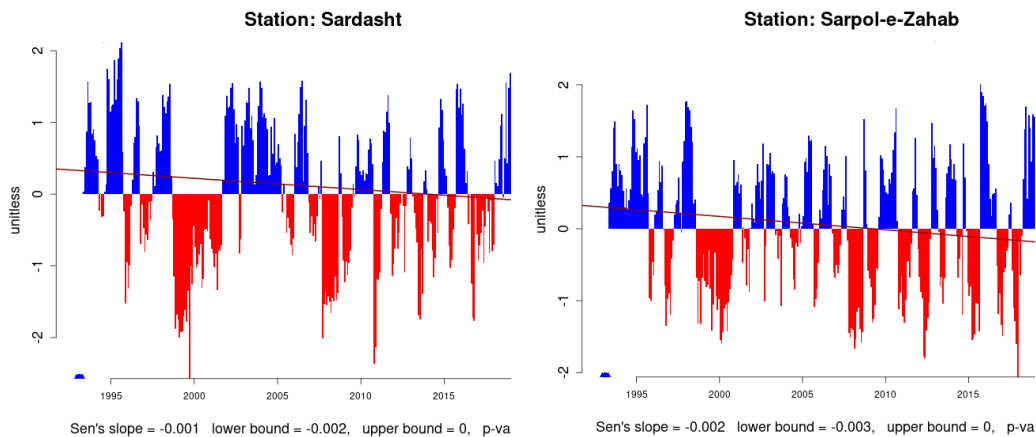
Sen's slope = -0.001 lower bound = -0.002, upper bound = 0, p-val

Station: ilam

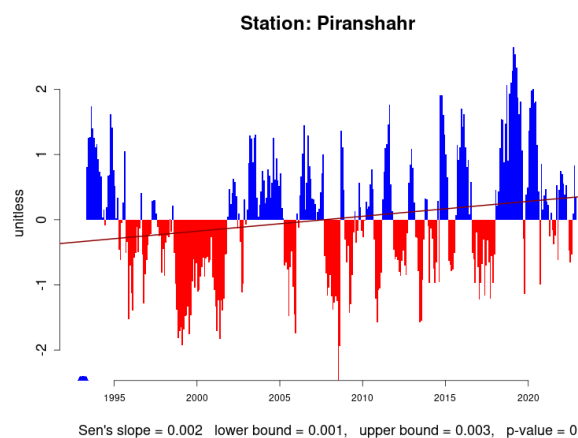


Sen's slope = -0.002 lower bound = -0.003, upper bound = -0.001,





شکل ۹. نمودار شیب روند تغییرات کاهشی معنادار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۳ ماهه برای ایستگاه های آبادان، اهواز، ماهشهر، بوشهر، اسلام آباد غرب، امیدیه، رامهرمز، روانسر، سنندج، سردشت، سرپل ذهاب؛ مسجد سلیمان، ایلام و کوهرنگ در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

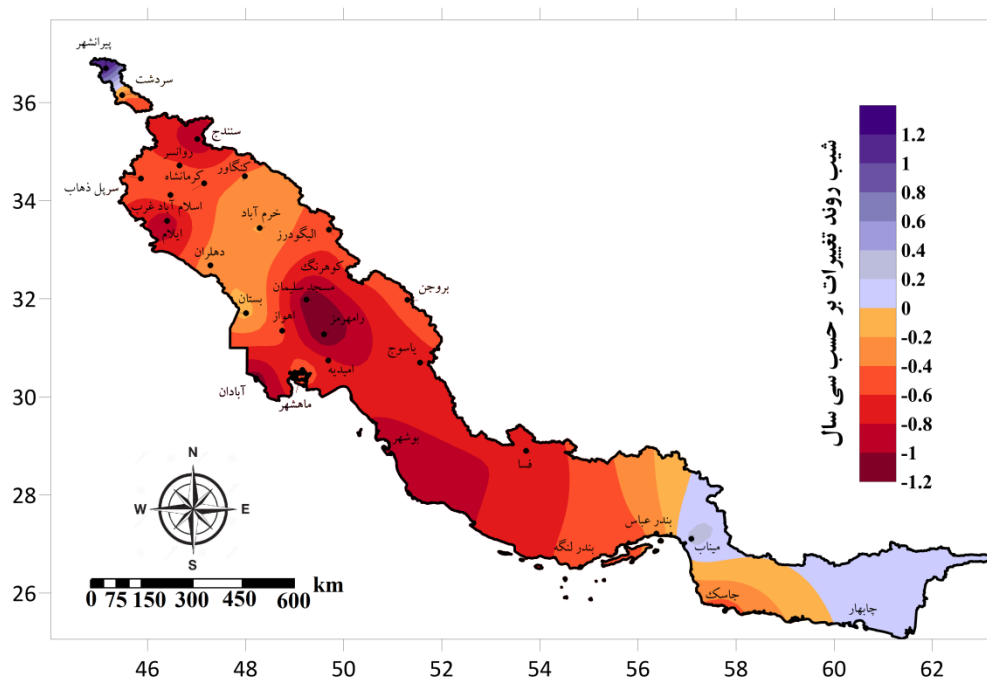


شکل ۱۰. نمودار شیب روند تغییرات افزایشی معنادار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۳ ماهه برای ایستگاه پیرانشهر در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

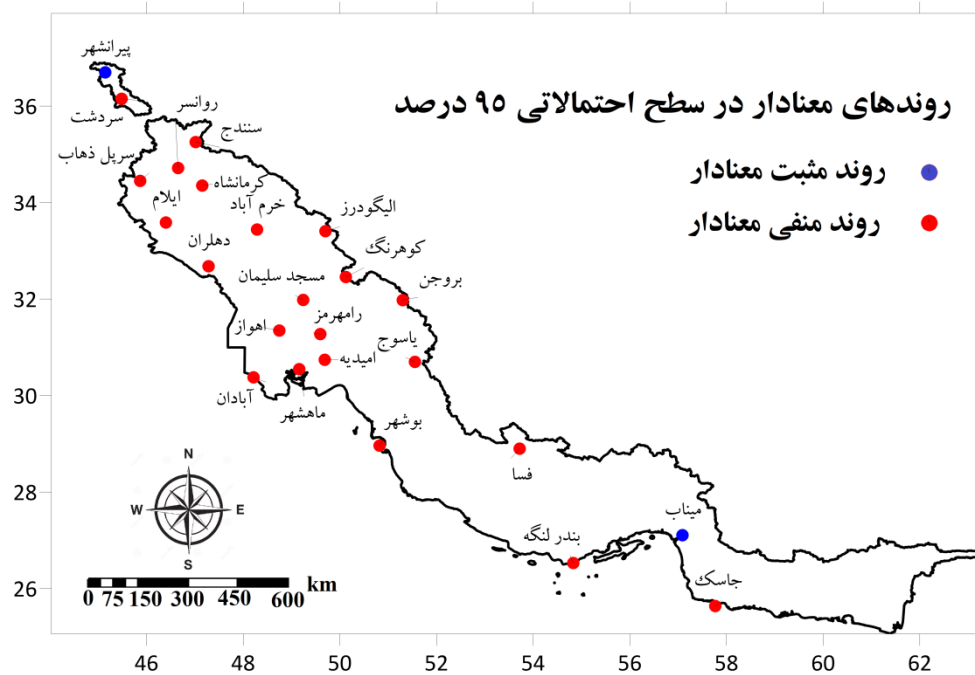
روند تغییرات مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی دوازده ماهه

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) ۱۲ ماهه (SPI-12) در واقع منعکس کننده الگوهای بارشی در یک مقیاس زمانی بلندمدت است. شاخص بارش استاندارد شده (SPI) این مقیاس زمانی معمولاً با سطح جریان رودخانه‌ها، ارتفاع سطح آب دریاچه های مصنوعی پشت سدها و حتی سطوح آب زیرزمینی در بازه های زمانی طولانی تر مرتبط هستند. تحلیل روند تغییرات بلندمدت این شاخص در این مقیاس زمانی نشان از افزایش شدت خشکسالی ها در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان دارد. همانگونه که در شکل ۱۱ مشاهده می شود به جز چند ایستگاه محدود در انتهای غربی (ایستگاه پیراشهر) و شرقی (ایستگاه های چابهار و میناب) حوضه آبریز مورد مطالعه، بقیه ایستگاه ها دارای روند کاهشی بوده اند. به عبارت دیگر در طول ۳۰ سال مورد مطالعه (۱۹۹۳-۲۰۲۲)، جهت روندها، حاکی از تشدید خشکسالی ها در این حوضه آبریز بوده است. بالاترین شیب تغییرات کاهشی در این مقیاس زمانی به ترتیب مربوط به ایستگاه های رامهرمز، مسجد سلیمان، آبادان و سنندج بوده است. ایستگاه های پیرانشهر، چابهار و میناب

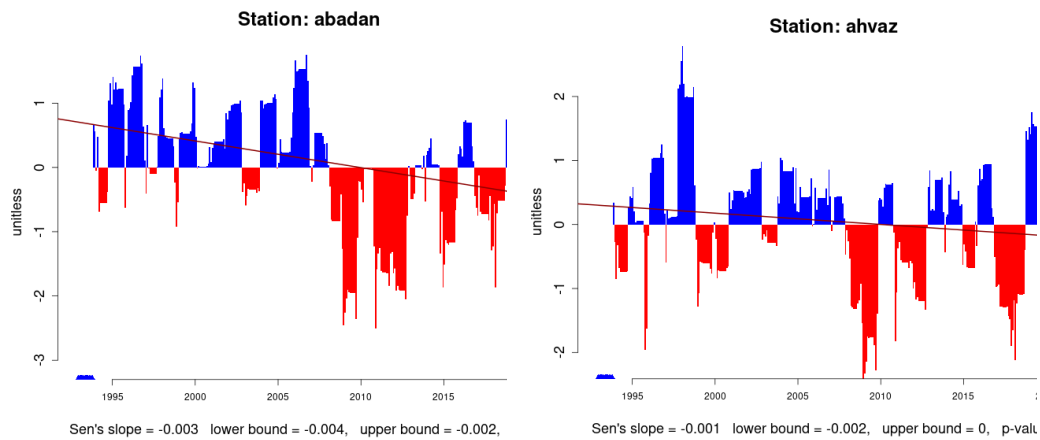
نیز تنها ایستگاه هایی بوده اند که روند تغییرات آنها افزایشی بوده است. یعنی در طول بازه زمانی مورد مطالعه (۱۹۹۳-۲۰۲۲) از شدت خشکسالی های آنها کم شده است (شکل ۱۱). اما از بین ۲۶ ایستگاهی که روند آنها کاهشی بوده است تقریباً ۲۲ ایستگاه روند آنها در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد معنادار بوده اند که در شکل ۱۲ به صورت دایره های قرمز رنگی نشان داده شده اند. نمودارهای روند تغییرات این ۲۲ ایستگاه نیز در شکل ۱۳ آورده شده است. بیشترین تعداد ایستگاه هایی که روند تغییرات آنها معنادار بوده است متعلق به همین مقیاس زمانی است. اما از بین ایستگاه هایی که روند تغییرات آنها افزایشی بوده است. تنها روند تغییرات دو ایستگاه پیرانشهر (در غرب حوضه آبریز) و میناب (در شرق حوضه آبریز) در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد معنادار بوده است. موقعیت فضایی این دو ایستگاه در داخل حوضه آبریز در شکل ۱۲ و نمودارهای آنها در شکل ۱۴ آورده شده است.

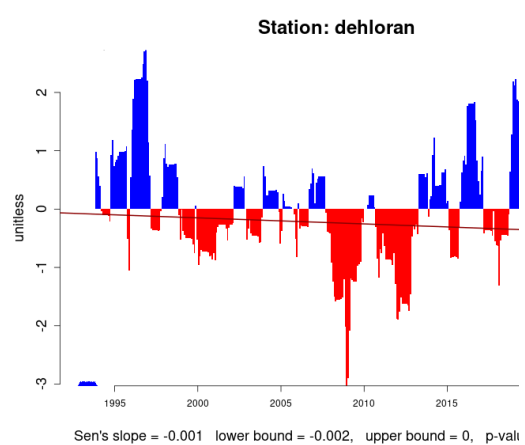
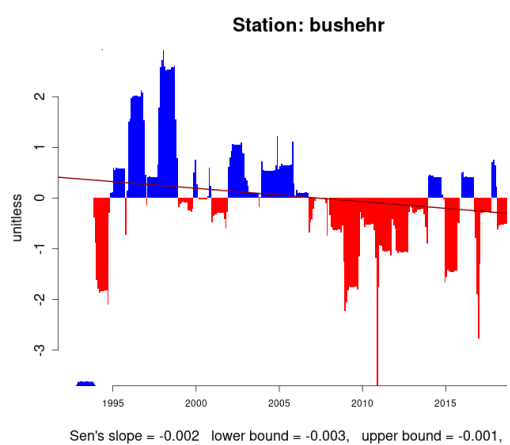
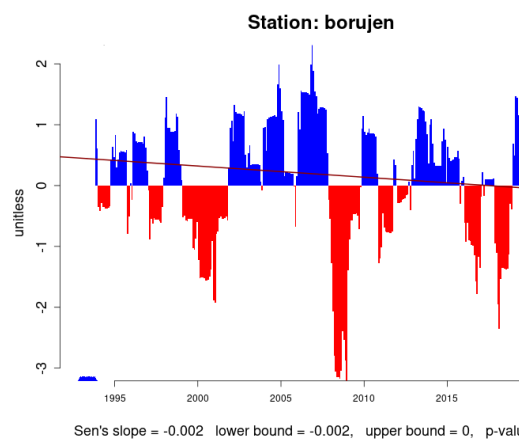
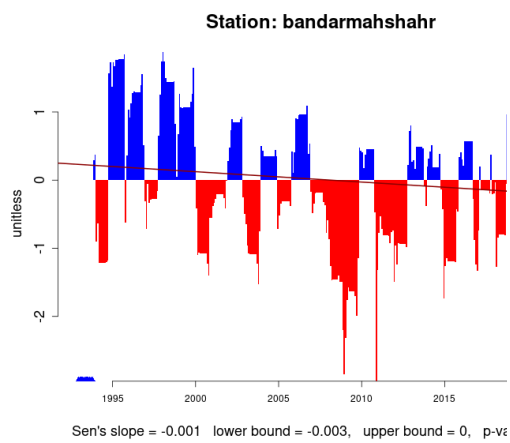
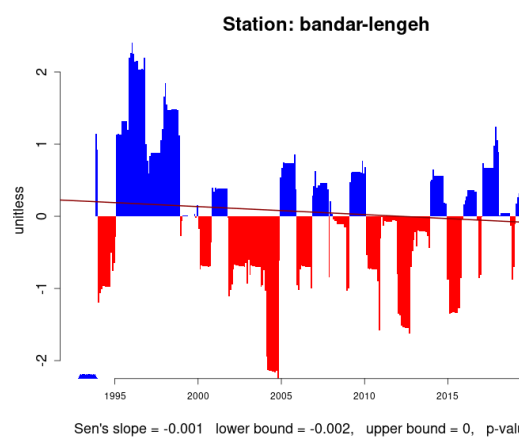
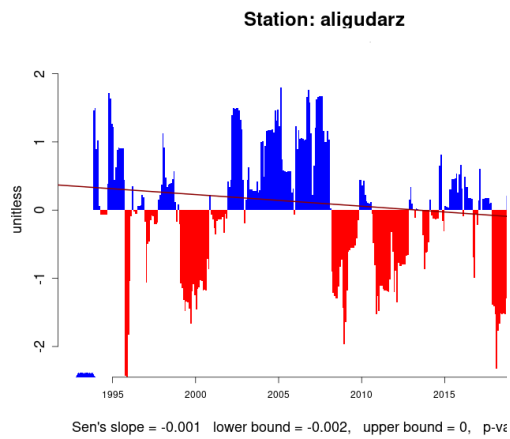


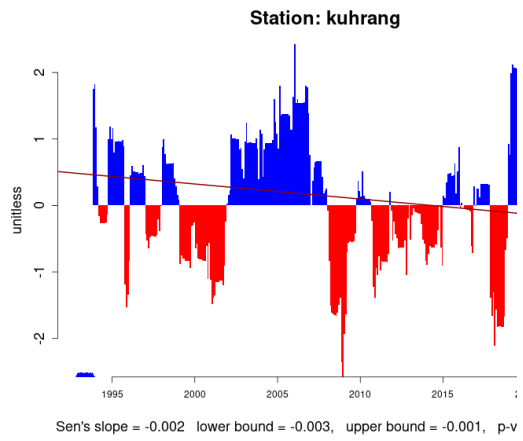
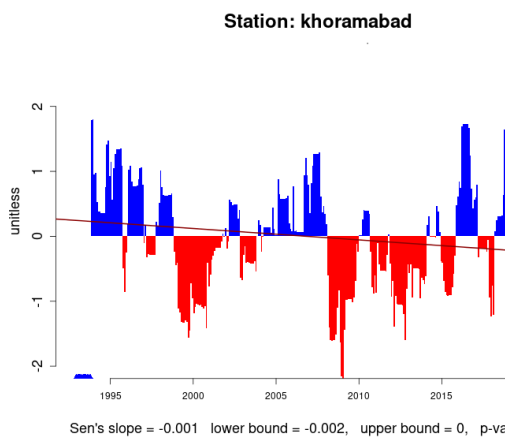
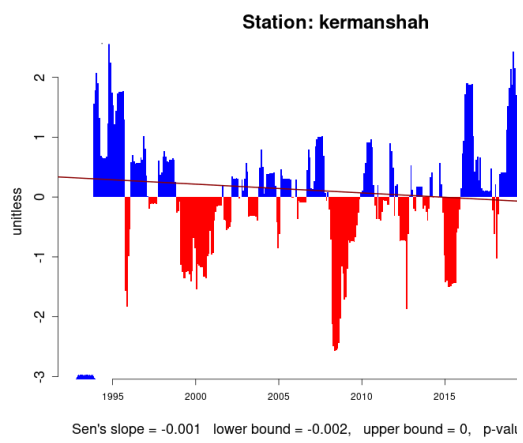
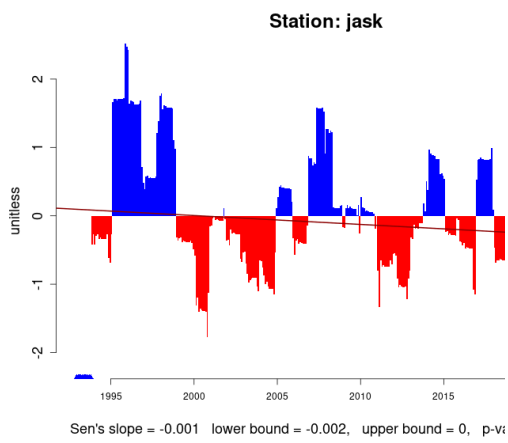
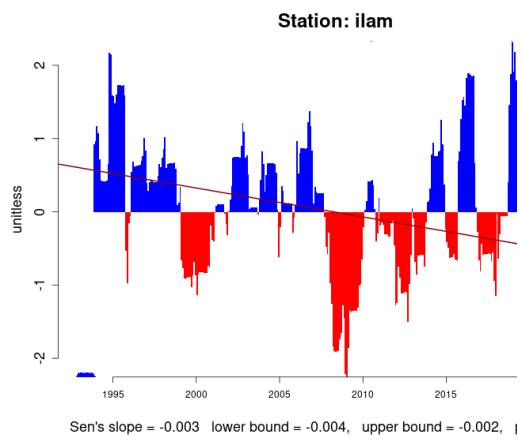
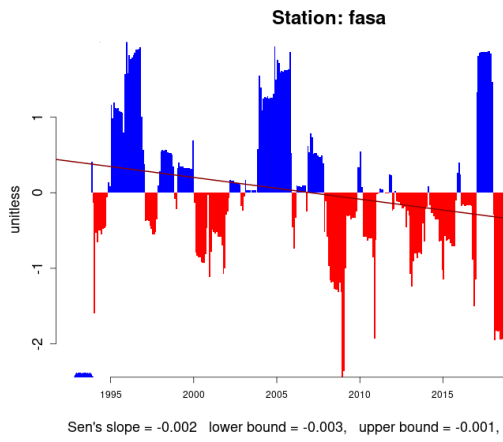
شکل ۱۱. توزیع فضایی مقادیر شیب روند تغییرات بلندمدت شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بر حسب ۳۰ سال در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

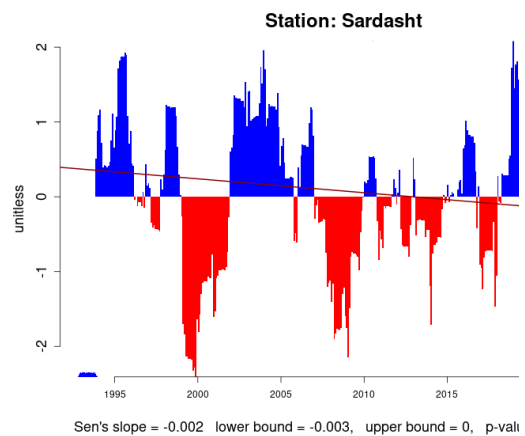
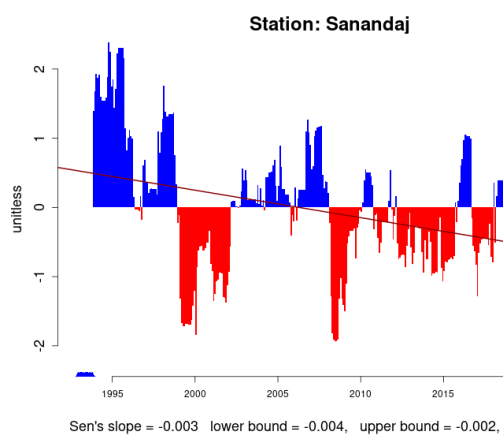
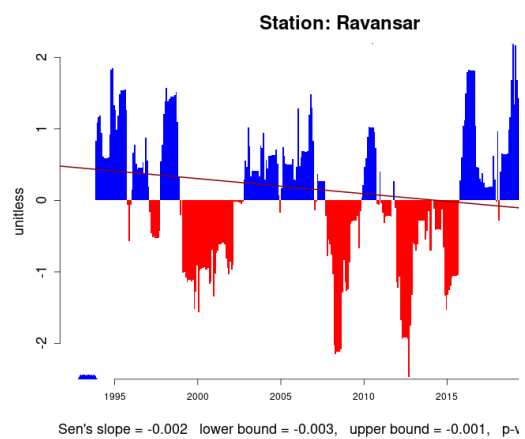
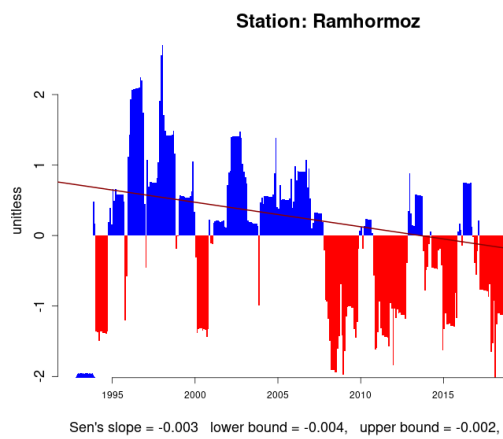
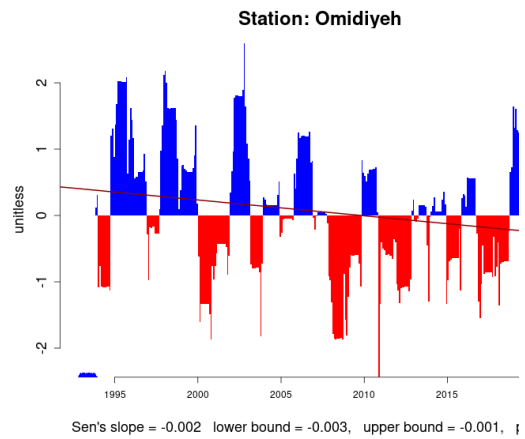
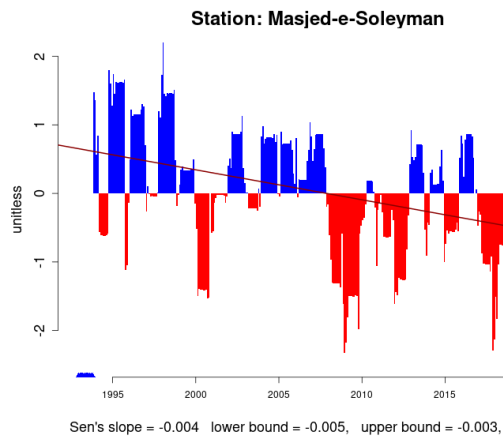


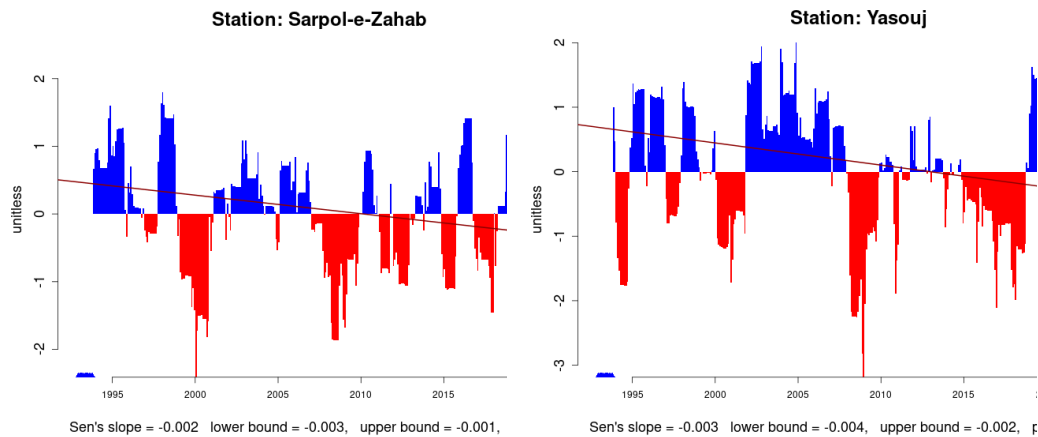
شکل ۱۲. نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های دارای روند های معنادار در سطوح احتمالاتی مختلف برای شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)



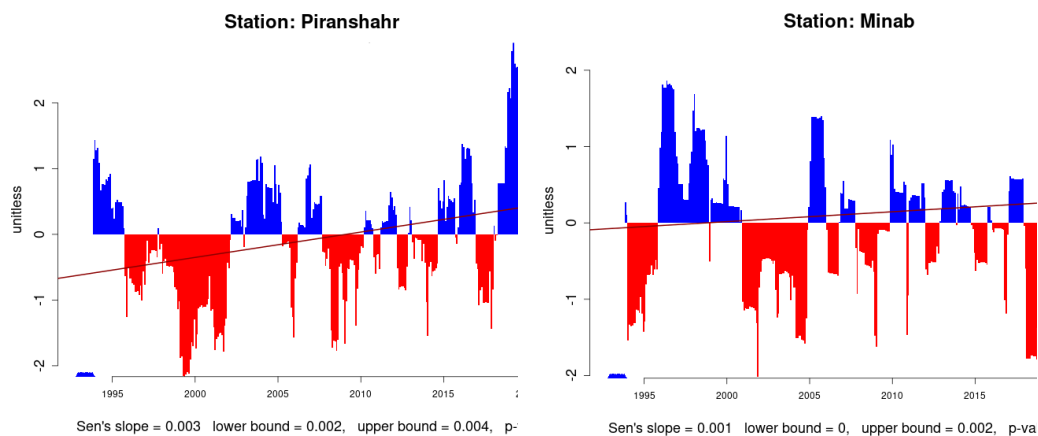








شکل ۱۳. نمودار شیب روند تغییرات کاهشی معنادار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه برای ایستگاه های آبادان، اهواز، الیگودرز، بندر لنگه، ماهشهر، بروجن، بوشهر، دهلران، جاسک، کرمانشاه، خرم آباد، میناب، امیدیه، رامهرمز، روانسر، سنندج، سردشت، سرپل ذهاب؛ مسجد سلیمان، فسا، ایلام، یاسوج و کوهرنگ در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

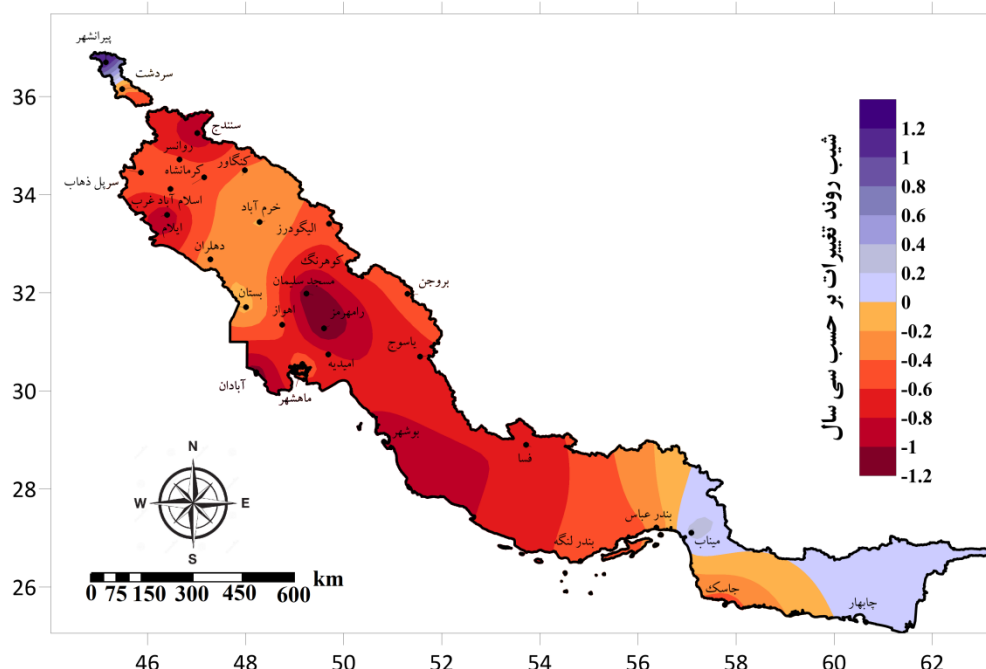


شکل ۱۴. نمودار شیب روند تغییرات افزایشی معنادار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه برای ایستگاه پیرانشهر و میناب در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

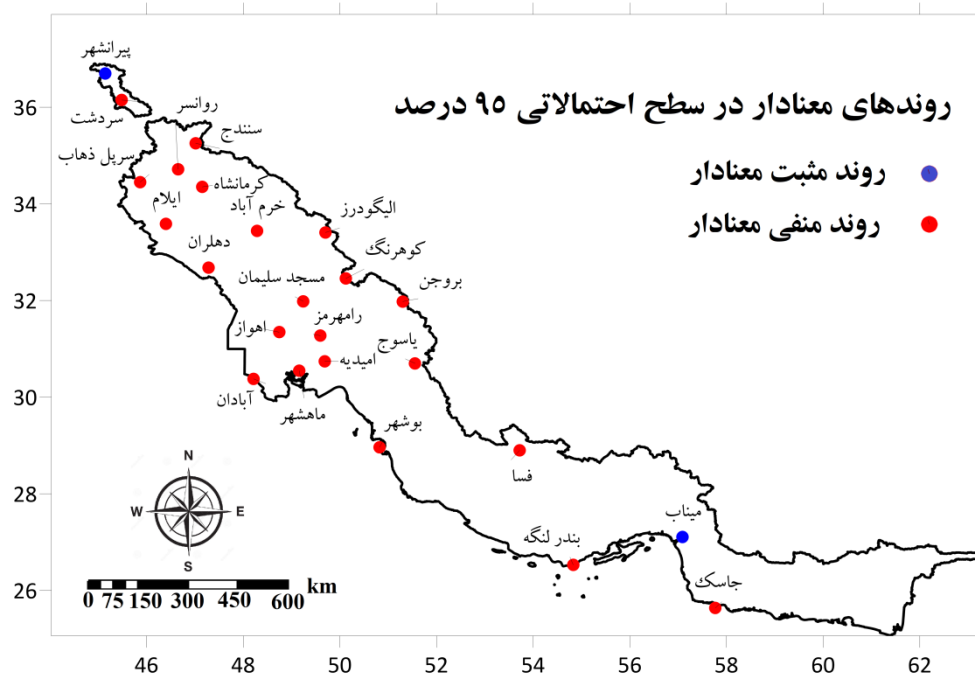
روند تغییرات مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی بیست و چهار ماهه

تحلیل روند شدت خشکسالی های حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه تقریباً الگوهای فضایی مشابهی با دیگر مقیاس های مورد مطالعه (۳، ۶ و ۱۲ ماهه) نشان می دهد. در این مقیاس زمانی یک روند کاهشی در مقایسه شدت خشکسالی ها بر حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان غلبه دارد. بالاترین شیب روند تغییرات در مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) ۱۲ ماهه (SPI-12) این حوضه آبریز به ترتیب متعلق به ایستگاه های رامهرمز (-۱/۷۱۹)، آبادان (-۱/۴۴۲)، مسجد سلیمان (-۱/۴۲۶)، امیدیه (-۱/۴۱۵)، بوشهر (-۱/۳۷۸)، یاسوج (-۱/۱۰۹)، سنندج (-۱/۰۵۱) و فسا (-۱/۰۰۱) بوده است. اما ایستگاه های بسیار محدودی همچون چابهار، میناب و پیرانشهر نیز وجود دارند که روند شدت خشکسالی های آنها به سمت ترسالی ها میل می کند (شکل ۱۵). از بین ۲۶ ایستگاه های که روند سری های زمانی آنها کاهشی بوده است تقریباً ۱۹ ایستگاه روندهای آنها در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد معنادار بوده است. اما در بین ایستگاه های دارای روند افزایشی فقط ایستگاه پیرانشهر روند آن در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد معنادار بوده است. در شکل ۱۶ ایستگاه هایی که روند کاهشی یا افزایشی آنها در

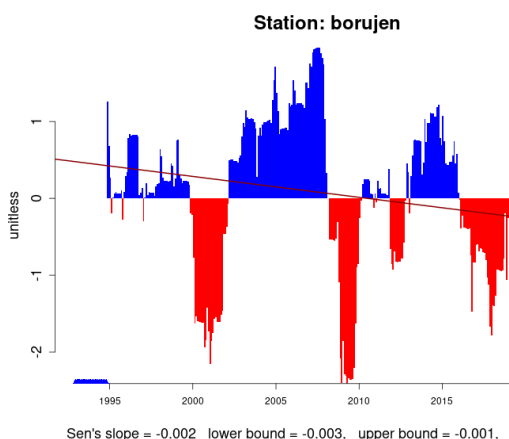
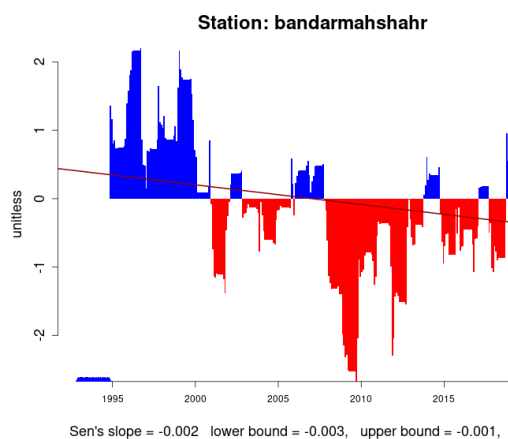
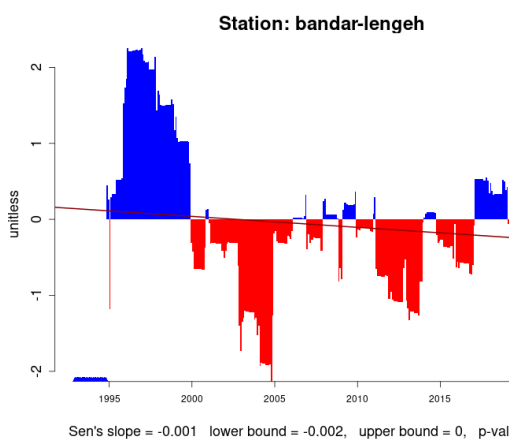
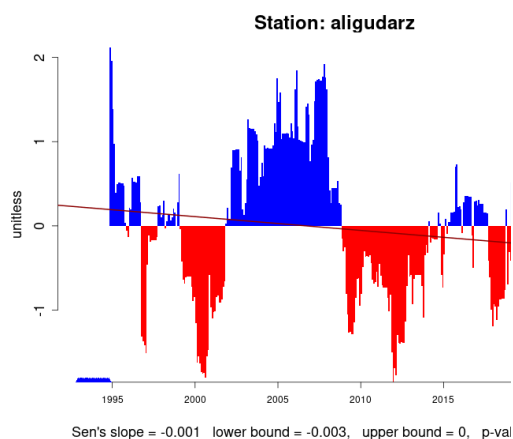
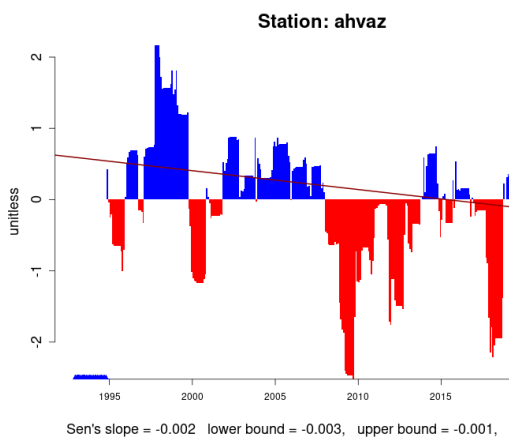
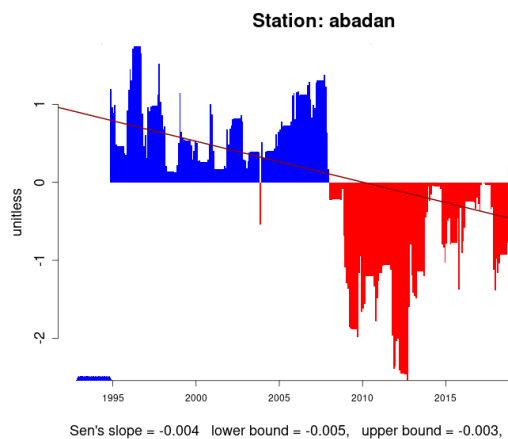
سطح احتمالاتی ۹۵ درصد معنادار بوده اند به ترتیب به رنگ قرمز و آبی نشان داده شده اند. همچنین در شکل ۱۷ و ۱۸ نیز به ترتیب نمودار سری های زمانی دارای روندهای کاهشی و افزایشی آورده شده اند.

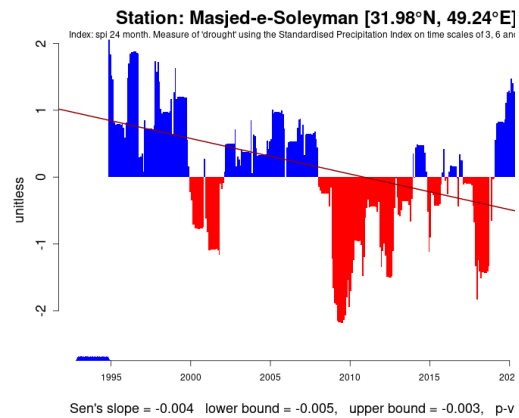
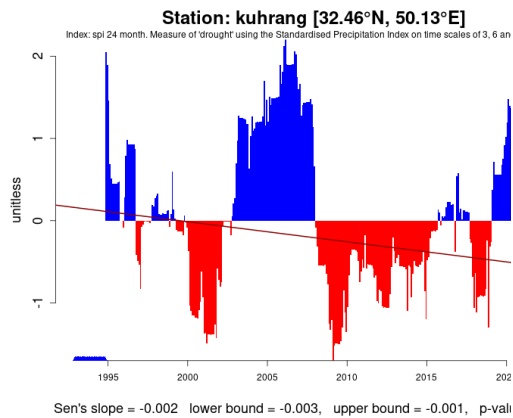
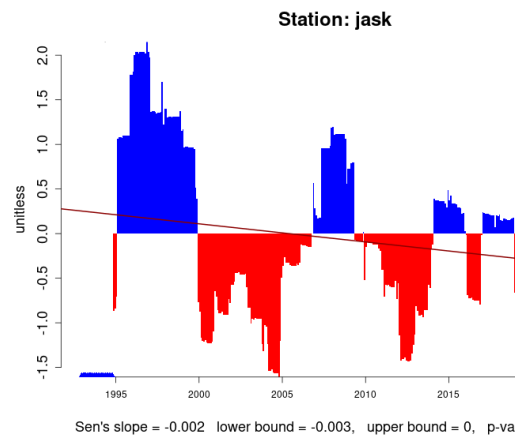
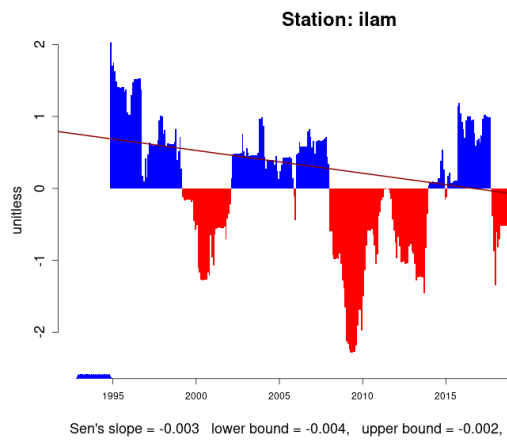
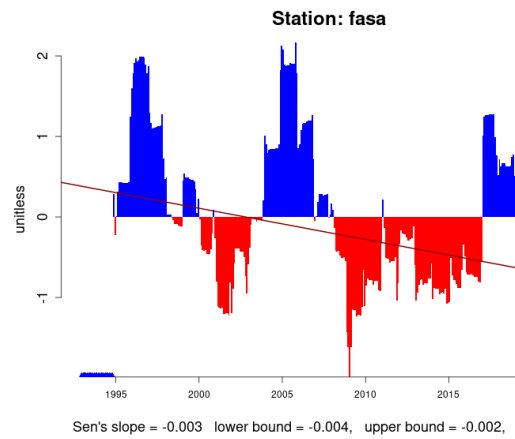
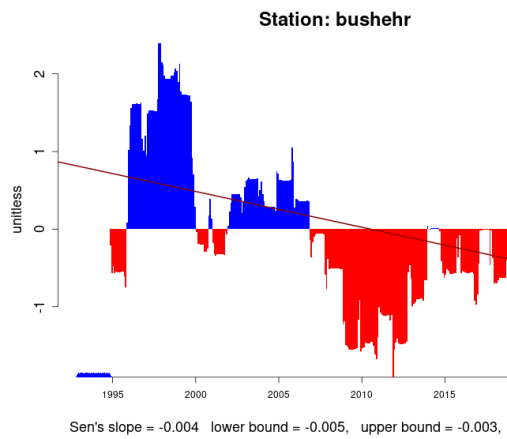


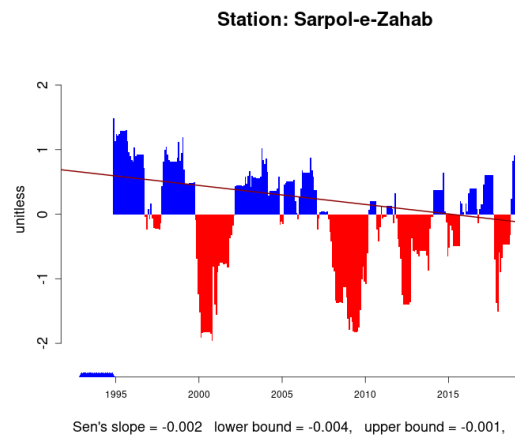
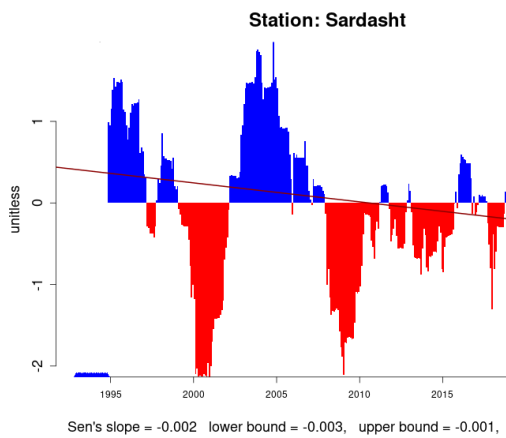
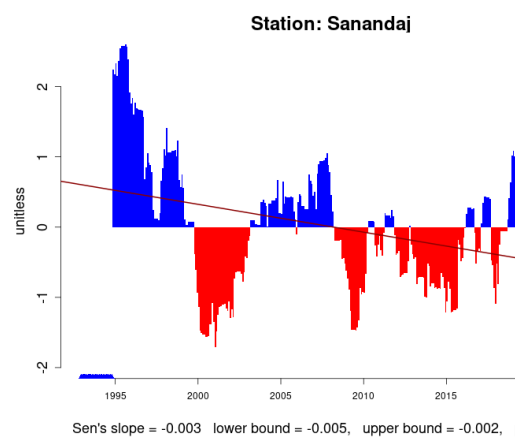
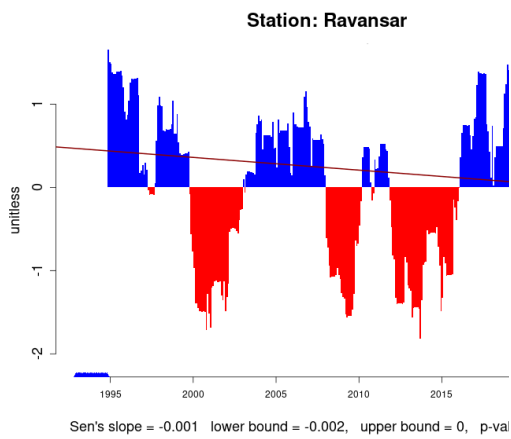
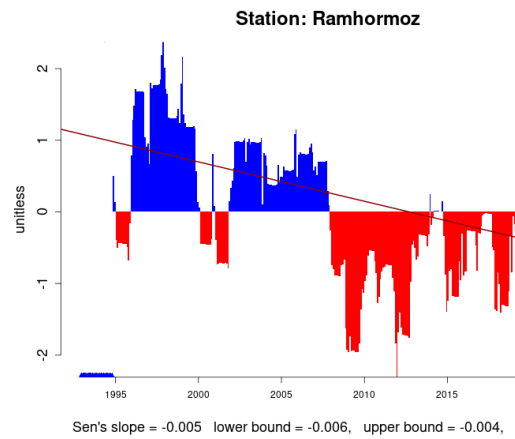
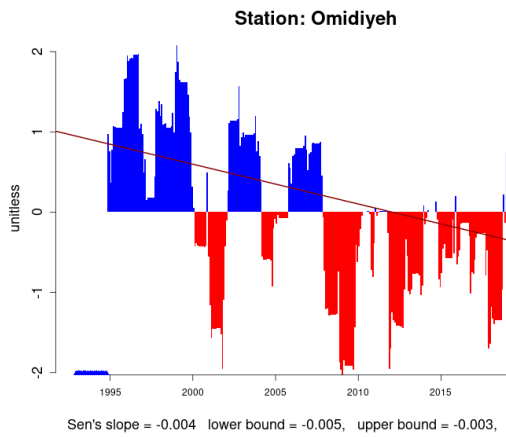
شکل ۱۵. توزیع فضایی مقادیر شیب روند تغییرات بلندمدت شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه بر حسب ۳۰ سال در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

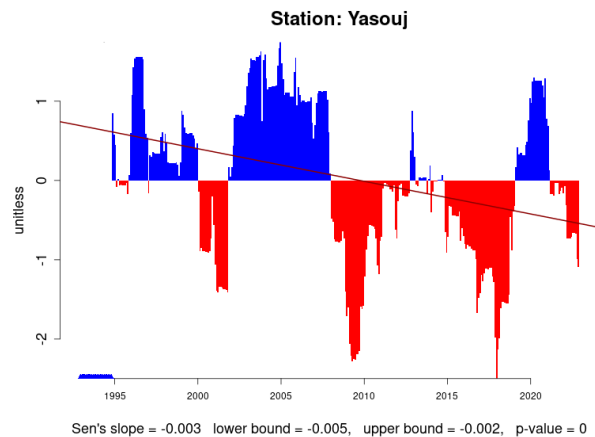


شکل ۱۶. نام و موقعیت جغرافیایی ایستگاه های دارای روند های معنادار در سطوح احتمالاتی مختلف برای شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

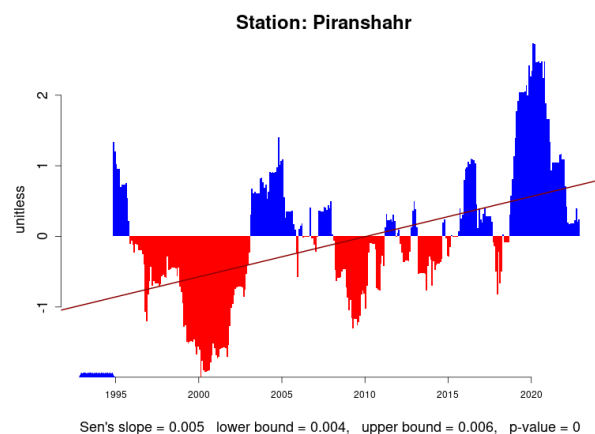








شکل ۱۷. نمودار شیب روند تغییرات کاهشی معنادار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه برای ایستگاه های آبادان، اهواز، الیگودرز، بندر لنگه، ماهشهر، بروجن، بوشهر، جاسک، امیدیه، رامهرمز، روانسر، سنندج، سردشت، سرپل ذهاب؛ مسجد سلیمان، فسا، ایلام، یاسوج و کوهرنگ در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)



شکل ۱۸. نمودار شیب روند تغییرات افزایشی معنادار شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه برای ایستگاه پیرانشهر در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان (۱۹۹۳-۲۰۲۲)

نتیجه گیری

روند تحلیل شدت خشکسالی ها نیز در چهار مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه نیز نشان دادند که خشکسالی ها در چهار مقیاس زمانی مورد نظر حاکی از افزایش شدت خشکسالی ها در بیشتر مساحت حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان بوده است. روند شدت خشکسالی ها در بخش های غربی و مرکزی حوضه آبریز کاهشی و در بخش شرقی آن افزایشی بوده است. روندهای کاهشی بیانگر افزایش شدت در خشکسالی ها و روندهای افزایشی حاکی از کاهش شدت خشکسالی ها می باشد. لذا صرف نظر از بخش شرقی (زیر حوضه آبریز بلوچستان جنوبی) و یک بخش کوچک از غرب حوضه آبریز (زیر حوضه آبریز مرزی غربی)، افزایش شدت خشکسالی ها قابل توجه است. لذا شدت خشکسالی ها در مقیاس های زمانی ۳ و ۶ ماهه هشدار برای بخش کشاورزی و در مقیاس های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه نیز هشدار برای مدیریت منابع آب در این حوضه آبریز می باشد. لذا به نظر می رسد در سال های آتی این حوضه آبریز شرایط خشک تری را تجربه کند.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پروژه "ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تغییر الگوهای بارشی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان در جنوب ایران" است که زیر نظر پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو تهران به انجام رسیده است. لذا نویسندگان این مقاله از پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو تهران بابت حمایت های مالی و معنوی سپاسگزاری می کنند.

مراجع

1. Alizadeh-Choobari O, Najafi MS (2018) Extreme weather events in Iran under a changing climate. *Clim Dyn* 50:249–260. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3602-4>
2. Bari Abarghouei H, Asadi Zarch MA, Dastorani MT, Kousari MR, Safari Zarch M (2011) The survey of climatic drought trend in Iran. *Stoch Environ Res Risk Assess* 25: 1-14.
3. Dai A (2011) Drought under global warming: a review. *Wiley Interdiscip Rev Clim Change* 2(1): 45–65.
4. Dai A, Trenberth K, Qian T (2004) A Global Dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with Soil Moisture and Effects of Surface Warming. *J Hydrometeorol* 5(6): 1117–1130.
5. Easterling DR, Evans JL, Groisman PYA, Karl TR, kunkel KE, Ambenje P (2000) Observed variability and trend in extreme climate events: A brief review. *Bull Am Meteorol Soc* 81(3):417-425
6. Ghaemi A, Hashemi Monfared SA, Bahrpeyma A, Mahmoudi P, Zounemat-Kermani M (2023) Spatio-temporal variation of precipitation projection based on bias-adjusted CORDEX-SA regional climate model simulations for arid and semi-arid region. *Clim Res* 91:121-144. <https://doi.org/10.3354/cr01722>
7. IPCC (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, in: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Field, C., V. Barros, T. Stocker, D. Qin, D. Dokken, K. Ebi, M. Mastrandrea, K. Mach, G.-K. Plattner, S. Allen, M. Tignor, and P. Midgley, eds.), p. 582, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
8. IPCC (2014) Climate Change (2014): Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
9. Keshavarz MR, Vazifiedoust M, Fattahi E, Behyar MB (2013) Spatial pattern of droughts severity and direction variations using trend analysis of Distributed Self-Calibrated Palmer Drought Severity Index. *Journal of Geographical Sciences* 12(27): 97-110 (In Persian)
10. Mahmoudi P, Hamidianpour M, Sanaei M, Daneshmand N (2019) Investigating the Trends of Drought Severity Changes in Iran. In: Proceedings of International Conference on Climate Change, Impacts, Adaptation and Mitigation, 11 June, Kharzmi University, Tehran, Iran.

11. Maleknejad H, Soleimani Motlaq M (2012) Assessing the severity of climatic and hydrologic droughts in Chaghalvandi basin. *Iranian Water Research Journal* 5(9): 61-71 (In Persian)
12. Mansouri Daneshvar MR, Ebrahimi M, Nejadsoleymani H (2019) An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environ Syst Res* 8:7 (2019).
13. McKee TB, Doesken NJ, Kleist J (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proc. of Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, Amer Meteor. Soc 179–184.
14. McKee TB, Doesken NJ, Kleist J (1995) Drought monitoring with multiple time scales. In: *Proc. of Ninth Conference on Applied Climatology*, Dallas, TX, Amer Meteor Soc 233–236
15. Moafi Madani S, Mousavi Baygi M, Ansari H 2013 Prediction of drought in the Khorasan Razavi Province during 2011-2030 by using statistical downscaling of HADCM3 model output. *Geography and Environmental Hazards* 1(3):21–38 (In Persian)
16. Moradi A, Rajabi M, Farajzadeh M (2007) Analysis trend and spatial characteristics of droughts severity in Fars province. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research* 14(1): 97- 109 (In Persian)
17. Nouri M, Homaee M (2020) Drought trend, frequency and extremity across a wide range of climates over Iran. *Meteorol Appl* 27(2): 1-19
18. Salehnia N, Mossavi Baygi M., Ansari H (2013) Drought Prediction with PDSI, Lars-WG5 and HadCM3 (case study Neyshabour Basin). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage* 7(1): 93– 104 (In Persian)
19. Sheffield J, Wood E (2008) Global Trends and Variability in Soil Moisture and Drought Characteristics, 1950-2000, from Observation-Driven Simulations of the Terrestrial Hydrologic Cycle. *J Clim* 21(3): 432–458.
20. Zareabyaneh H, Bayatvarkeshi M, Yazdani V (2011) Trend analysis of annual and seasonal temperature, precipitation and drought in Hamedan province. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 1(3): 47-58 (In Persian)
21. Zarrin A, Dadashi-Rodbari A, Salehabadi N (2021) Projected temperature anomalies and trends in different climate zones in Iran based on CMIP6. *Iranian Journal of Geophysics* 15(1): 35-54.