تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هجدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱
Volume 18, No. 4, Winter 2023 (IR-WRR)
۱۹-۳۶

تحلیل تغییرات بلندمدت الگوی بارش در استان خوزستان: درس آموخته‌های سیل فروردین ۱۳۹۸

نوشدخت بیات افشاری[۱] و محمد دانش یزدی[۲*]

چکیده

در این مطالعه، با گردآوری، تکمیل و صحت‌سنجی داده‌های مربوط به ایستگاه‌های بارش در حوضه‌های درجه سوم کرخه، دز، کارون و کارون پایین‌دست، نحوه تغییرات بلندمدت الگوی بارش و پیامدهای آن برای رخدادهای سیل در آینده تحلیل شدند. همچنین، ضمن بررسی مقدار و دوره بارگشت بارش سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مقایسه با سال‌های گذشته، چگونگی پیش‌بینی بارش توسط برخی نهادهای رسمی کشور به همراه کیفیت گزارشهای آنها در مورد پیش‌بینی سیل‌های فروردین ۱۳۹۸ بحث شده است. طبق نتایج، منطقه مورد مطالعه از وضعیت مناسبی از لحاظ تعداد و تراکم ایستگاه‌های قابل اعتماد هواشناسی برخوردار است. این مهم در خصوص ایستگاه‌های سینوپتیک در مناطق کوهستانی صدق نمی‌کند، به طوری که تنها ۴ درصد ایستگاه‌ها در بیشتر از ۱۰ درصد طول دوره آماری ۳۰ ساله داده ثبت شده دارند. نتایج این مطالعه نشان داد که روند اقلیمی منطقه به طور متوسط در جهت کاهش بارش بوده است. همچنین، نتایج حاصل از بررسی تغییرات الگوی بارش، نشان دهنده تداوم رطوبت بالای خاک به دلیل افزایش بارش‌های حداقلی طی سال‌های اخیر بوده است که می‌تواند منجر به افزایش احتمال وقوع سیلاب شود. نتایج تحلیل بارش‌های فروردین سال ۱۳۹۸ نشان داد که در کل منطقه مطالعه، میزان بارش نسبت به میانگین ۱۰ سال اخیر بین ۲۴ تا ۱۰۸ درصد افزایش داشته و دوره بازگشت مجموع بارش سال آبی ۹۸-۹۷ در ایستگاه اهواز ۲۹۷ سال بوده که بی‌سابقه است. علاوه بر این، بررسی پیش‌بینی‌های سازمان هواشناسی کشور و مؤسسه تحقیقات آب در خصوص سیل فروردین ۱۳۹۸ خوزستان حاکی از خطای قابل ملاحظه آنها است.

کلمات کلیدی: خوزستان، سیل فروردین ۱۳۹۸، الگوی بارش، پیش‌بینی بارش، تحلیل فراوانی بارش.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۵/۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۸/۱۱

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-گرایش مدیریت منابع آب، گروه آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
۲- استادیار، گروه آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۴۰۲ امکانپذیر است.

Analysis of Long-Term Changes in Precipitation Pattern in the Khuzestan Province: Lessons Learned from April 2019 Floods

N. Bayat-Afshary[1] and M. Danesh-Yazdi[2]*

Abstract

In this study, long-term changes in the precipitation pattern and how they affect the future flood events were explored by collecting, completing and validating precipitation data in the Karkheh, Dez, Karun, and Great Karun Basins. Also, the depth and frequency of precipitation in the water year 2018-2019 have been carefully investigated. Finally, the quality of precipitation forecast and awareness by some official organizations has been discussed. The study area has a sufficient number and density of reliable meteorological stations. However, this does not hold for the synoptic stations in mountainous areas, such that only 4% of the stations have recorded data in more than 10% of the entire 30-year statistical period. The results showed that the climatic trend of the region is on average in the direction of decreasing precipitation amount. The investigation of rainfall pattern has revealed the continuation of high soil moisture due to the increase of low rainfall events in recent years, which can lead to enhanced probability of flood occurrence. The analysis of April 2019 precipitations showed that in the entire study area, the amount of precipitation was 24% to 108% higher than the last 10-year average. The return period of total precipitation in Ahvaz station in the water year 2018-2019 was 297 years, which is unprecedented. In addition, the forecasts of the Iran Meteorological Organization and the Water Research Institute for the flood of April 2019 in the Khuzestan province were significantly erronous compared to the observations.

Keywords: Khuzestan Province, April 2019 Floods, Precipitation Pattern, Precipitation Frequency Analysis.

Received: July 30, 2022
Accepted: November 2, 2022

1- Ph.D. Student of Water Resources Management, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran. Email: danesh@sharif.edu
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1401.18.4.2.6

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

در اواخر اسفند ۱۳۹۷ و فروردین سال ۱۳۹۸، کشورمان در بسیاری از نقاط خود شاهد افزایش چند برابری بارش‌های جوی در مقایسه با سال قبل و میانگین بلندمدت بود. این بارش‌ها در قالب سه سامانه در تاریخ‌های ۲۶ اسفند تا ۲ فروردین، ۴ تا ۶ فروردین و نهایتاً ۱۱ تا ۱۳ فروردین به وقوع پیوستند که منجر به وقوع سیل در ۲۵ استان شامل ۲۰۰ شهر و ۴۳۰۴ روستا شد. سیل ابتدا در استان‌های گلستان و مازندران آغاز و سپس در استان‌های غربی، جنوبی و جنوب غربی کشور شامل فارس، لرستان و خوزستان مشاهده شد. از میان این مناطق، استان خوزستان متحمل خسارت بسیار زیادی شد، به طوری که طبق برآوردهای حاصل، خسارت سیل به زیرساخت‌های شهری بالغ بر ۱۶۸۰۰ میلیارد تومان بوده است (SRCIF, 2020). به عبارت دقیق‌تر، خسارت وارد شده به تأسیسات آب و فاضلاب روستایی، آب و فاضلاب شهری، زیرساخت‌های برق، زیرساخت‌های کشاورزی و میراث فرهنگی استان به ترتیب ۳۰۹۱، ۱۰۰۵۸، ۱۵۷۵، ۱۶۵۹۰ و ۷۴۷ میلیارد ریال برآورد شد (SRCIF, 2019). به طور خاص در استان خوزستان به حدود ۱۵۰ هزار نفر، اسکان اضطراری داده شد و در مجموع ۱۷۹۵۳ واحد ساختمانی در این واقعه آسیب دید که عمدتاً در شهرهای دزفول، شوشتر، اهواز، هویزه، دشت آزادگان، دارخوین، رفیعه، بستان، هور، آبادان، اروندکنار و چم گلک بوده است (SRCIF, 2020).

تاکنون علل مختلفی برای خسارت به بار آمده از سیلاب‌های مخرب عنوان شده است که از آن جمله می‌توان به اثرات تغییر اقلیم (Arias et al., 2021)، بالابودن سطح رطوب خاک در ماه‌های قبل از وقوع سیلاب (Wasko and Nathan, 2019)، ذوب سریع برف به همراه بارش شدید و وسیع، همزمانی و شدت بارش از بالادست تا پایین‌دست حوضه آبریز (Li et al., 2019)، مداخلات انسانی در طبیعت مانند تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به اراضی کشاورزی (Peng et al., 2019)، جانمایی و توسعه سکونتگاه‌های شهری و روستایی، توسعه نامناسب شهری و ضوابط و مقررات نامتناسب با دشت سیلابی، کاهش سطح پوشش گیاهی و افزایش فرسایش‌پذیری خاک (Li and Wei, 2014; Trnka et al., 2016)، عدم رعایت مقررات مربوط به حد بستر و حریم رودخانه‌ها، عدم لایروبی انهار، رودخانه‌ها، شبکه‌های زهکشی و سدهای بزرگ، بی‌توجهی به توصیه‌های آبخیزداری در بالادست رودخانه‌ها، بی‌توجهی به هشدارهای هواشناسی، مدیریت نامناسب سدهای منطقه و تعلل در پیشگیری از ورود جریان سیلاب به مناطق مسکونی شهری و روستایی (SRCIF, 2020) اشاره کرد. آنچه در این میان ضروری به نظر می‌رسید، مطالعه و بررسی جامع اطلاعات پایه‌ی هیدرولوژیکی در یک منطقه است تا به کمک نتایج حاصل از آن بتوان به تحلیل درستی از وضعیت و دلایل سیلاب رخ داده رسید. در واقع، از جمله اقدامات مهم با هدف برنامه‌ریزی برای افزایش تاب‌آوری سیستم‌های هیدرولوژیکی، ارزیابی کیفیت اطلاعات حاصل از زیرساخت‌های موجود برای جواب به این سؤال است که آیا این اطلاعات برای پیش‌بینی رخدادهای حدی اساساً کافی و دقیق بوده‌اند یا خیر.

بر این اساس، مهمترین اهداف مطالعه‌ی حاضر با تمرکز بر استان خوزستان شامل (۱) ارائه یک تحلیل جامع از داده‌های بلندمدت موجود بارش تا هنگام سیل فروردین ۱۳۹۸، (۲) تحلیل سهم الگوی بارش در تشدید کمیت سیلاب در رخداد سیل فروردین ۱۳۹۸، و (۳) تحلیل کیفیت پیش‌بینی بارش توسط سازمان هواشناسی کشور و اعلان آن بوده است. به طور مشخص، این مطالعه به دنبال جواب به سؤالات زیر بوده است: (۱) آیا داده‌های ثبت شده برای بارش توسط ایستگاه‌های هواشناسی کشور از کمیت و کیفیت لازم و کافی برخوردارند؟ (۲) داده‌های ثبت شده توسط کدام ایستگاه‌ها قابل اعتماد هستند و کدام یک در صورت لزوم، نیاز به بازسازی دارد؟ (۳) کدام ایستگاه‌ها پس از تکمیل آمار برای تحلیل‌های آتی قابل استفاده هستند؟ (۴) آیا تعداد ایستگاه‌های انتخابی برای تحلیل‌های بارش کافی هستند؟ (۵) توزیع روند مثبت و منفی بارش در منطقه مطالعه به چه صورت است؟ (۶) دوره بازگشت مجموع بارش سالانه سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مقایسه با رخدادهای تاریخی در منطقه مطالعه چگونه بوده است؟ (۷) آیا الگوی بارش در طی پنج دهه اخیر دارای تغییرات معنادار بوده است؟ (۸) بارش‌های سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ که منجر به سیلاب عظیم شد، نسبت به سال‌های گذشته و میانگین بلندمدت چه تفاوت‌هایی داشته است؟ (۹) پیش‌بینی‌های سازمان هواشناسی قبل از وقوع سیل فروردین ۱۳۹۸ تا چه میزان دقیق و کارا بوده است؟ و (۱۰) آیا اطلاعات تولیدی توسط تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سازمان هواشناسی جهت هشدار در زمینه وقوع سیل، از مقیاس زمانی و مکانی کافی برخوردار است؟

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مطالعه

موقعیت جغرافیایی مهمترین شهرهای استان خوزستان که طبق اطلاعات منتشر شده توسط مراجع رسمی کشور در سیلاب فروردین ۱۳۹۸ آسیب دیدند در شکل ۱ نمایش داده شده است. با توجه به اینکه

این شهرها عمدتاً در زیرحوضه‌های درجه سوم کرخه (کد ۲۲۱)، کارون (کد ۲۳۲)، کارون پایین دست (کد ۲۳۱) و دز (کد ۲۳۳) واقع شده‌اند و همچنین مهمترین سدهای منطقه یعنی کارون، کرخه و دز در این محدوده قرار دارند، تمرکز مطالعه حاضر روی این چهار زیرحوضه بوده است و در ادامه به آن تحت عنوان منطقه مطالعه ارجاع داده می‌شود. تغییرات ارتفاعی در منطقه قابل ملاحظه بوده و بین صفر و ۴۴۰۸ متر متغیر است. کم ارتفاع‌ترین نقاط منطقه مربوط به سواحل خلیج فارس واقع در منطقه جنوبی و غربی استان خوزستان و پر ارتفاع‌ترین نقاط مربوط به رشته کوه‌های زاگرس در شمال و شمال شرق استان است.

۲-۲- داده‌های بارش

داده‌های بارش به صورت روزانه و به تفکیک ایستگاه‌های سینوپتیک[۱]، اقلیم‌شناسی[۲] و باران‌سنجی[۳] تا پایان سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. همچنین، داده‌های بارش مربوط به ایستگاه‌های بارانسجی متعلق به وزارت نیرو[۴] نیز گردآوری شد. در کل منطقه مطالعه، ۳۱۲ ایستگاه هواشناسی فعال دارای امکان ثبت داده بارش شناسایی شده که تعداد ۷۶ ایستگاه مربوط به وزارت نیرو و ۲۳۶ ایستگاه متعلق به سازمان هواشناسی (شامل ۱۶۳ ایستگاه بارانسنجی هواشناسی، ۳۴ ایستگاه سینوپتیک و ۳۹ ایستگاه اقلیم شناسی) است. از میان این ایستگاه‌ها، ۹۰ عدد در زیرحوضه دز (معادل تراکم ۰/۰۰۳۸۷۶ ایستگاه در یک کیلومترمربع)، ۴۱ عدد در زیرحوضه کرخه (معادل تراکم ۰/۰۰۳۲۸۱ ایستگاه در یک کیلومترمربع)، ۱۵۵ عدد در زیرحوضه کارون (معادل تراکم ۰/۰۰۴۰۶۹ ایستگاه در یک کیلومترمربع) و ۲۶ عدد در زیرحوضه کارون پایین دست (معادل تراکم ۰/۰۰۴۲۷۴ ایستگاه در یک کیلومترمربع) قرار دارند. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی وزارت نیرو به همراه ایستگاه‌های بارانسنجی، سینوپتیک و اقلیم‌شناسی سازمان هواشناسی کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۳- تکمیل داده‌های بارش به همراه صحت‌سنجی، طبقه‌بندی و بررسی کیفیت تراکم ایستگاه‌ها در منطقه طرح

قبل از تکمیل داده‌ها، آزمون داده پرت GESD[۵] (Rosner, 1983) روی داده‌های سالانه بارش ایستگاه‌ها انجام شد و داده‌های پرت از سری زمانی روزانه حذف شدند. فرض صفر در این آزمون بدین صورت تعریف می‌شود که هیچ داده پرتی در سری زمانی وجود ندارد و فرض مقابل بیان می‌دارد که تا r داده پرت در سری موجود است. بنابراین، یک حد بالای r فرض می‌شود و به تعداد r آزمون جداگانه برای سری زمانی انجام می‌شود. آماره آزمون مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$R_1 = \frac{\max_i |x_i - \bar{x}|}{s} \quad (۱)$$

که $\bar{x}$ و s به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌ها است. داده‌ای که $|x_i - \bar{x}|$ را ماکزیمم می‌کند از سری زمانی حذف شده و آماره بالا برای n-1 داده باقی مانده محاسبه می‌شود. این عملیات برای r دفعه تکرار می‌شود و r آماره از R_1 تا R_r بدست می‌آید. بر اساس r آزمون انجام شده، مقدار بحرانی r بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\lambda_i = \frac{t_{n-i-1,p(n-i)}}{\sqrt{(n-i-1+t^2_{n-i-1,p})(n-i+1)}} \quad (۲)$$

$$p = 1 - \frac{\alpha}{2(n-i+1)} \quad (۳)$$

که i=1,2,…,r و داده پرت در سری زمانی در صورتی که $R_i > \lambda_i$ باشد، شناخته می‌شود. سپس از روش وزنی ضرایب همبستگی (Woldesenbet et al., 2017) برای تکمیل سری‌های زمانی بارش استفاده شد. این روش مشابه روش وزنی معکوس فاصله است، با این تفاوت که در آن به جای معکوس فاصله از ضریب همبستگی بارشِ ایستگاه‌های مجاور (ایستگاه معرف یا شاخص) با ایستگاه هدف استفاده می‌شود. ضریب وزنی در هر زمان که داده برای ایستگاه هدف موجود نیست، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$W_i = \frac{r_{it}}{\sum_{i=1,i\neq t}^{N} r_{it}} \quad (۴)$$

که در آن، r_{it} ضریب همبستگی بین سری زمانی روزانه ایستگاه هدف t و ایستگاه مجاور i ام، و N تعداد ایستگاه‌های مجاور برای آن زمان مشخص است. از آنجا که روش وزنی ضرایب همبستگی بر مبنای ایستگاه‌های مجاور است، انتخاب و تعداد ایستگاه‌های پیرامون برای افزایش دقت نتایج ضروری است. معیارهای متفاوتی برای انتخاب ایستگاه‌های مجاور توسط مطالعات مختلف پیشنهاد شده است. در این مطالعه، ایستگاه‌های مجاور در فاصله ۱۰۰ کیلومتری ایستگاه هدف قرار دارند و مقدار ضریب همبستگی رتبه‌ای کندال[۶] از مقدار ۰/۳۵ بیشتر است. قابل توجه است که هر چه مقدار رتبه‌ای کندال بیشتر باشد، ارتباط قوی‌تری بین ایستگاه هدف و ایستگاه مجاور برقرار است. اما از آنجا که ممکن است با افزایش این مقدار برای برخی ایستگاه‌ها هیچ ایستگاهی در این معیار قرار نگیرد، نمی‌توان آن را بسیار بزرگ در نظر گرفت و بنابراین مقدار ۰/۳۵ برابر با میانگین کل مقدار ضریب همبستگی رتبه‌ای کندال برای تمام جفت ایستگاه‌ها انتخاب شده است. در اینجا خاطر نشان می‌شود که قبل و پس از تکمیل داده‌های بارش، صحت‌سنجی این داده‌ها با استفاده از روش‌های آزمون استقلال[۷]، آزمون همگنی به روش بویشند[۸] یا انحرافات تجمعی، آزمون همگنی نرمال استاندارد[۹]، آزمون پتی[۱۰] و آزمون نسبت فون-نیومن[۱۱] انجام پذیرفت که البته همگن و تصادفی بودن داده‌های ثبت شده توسط یک

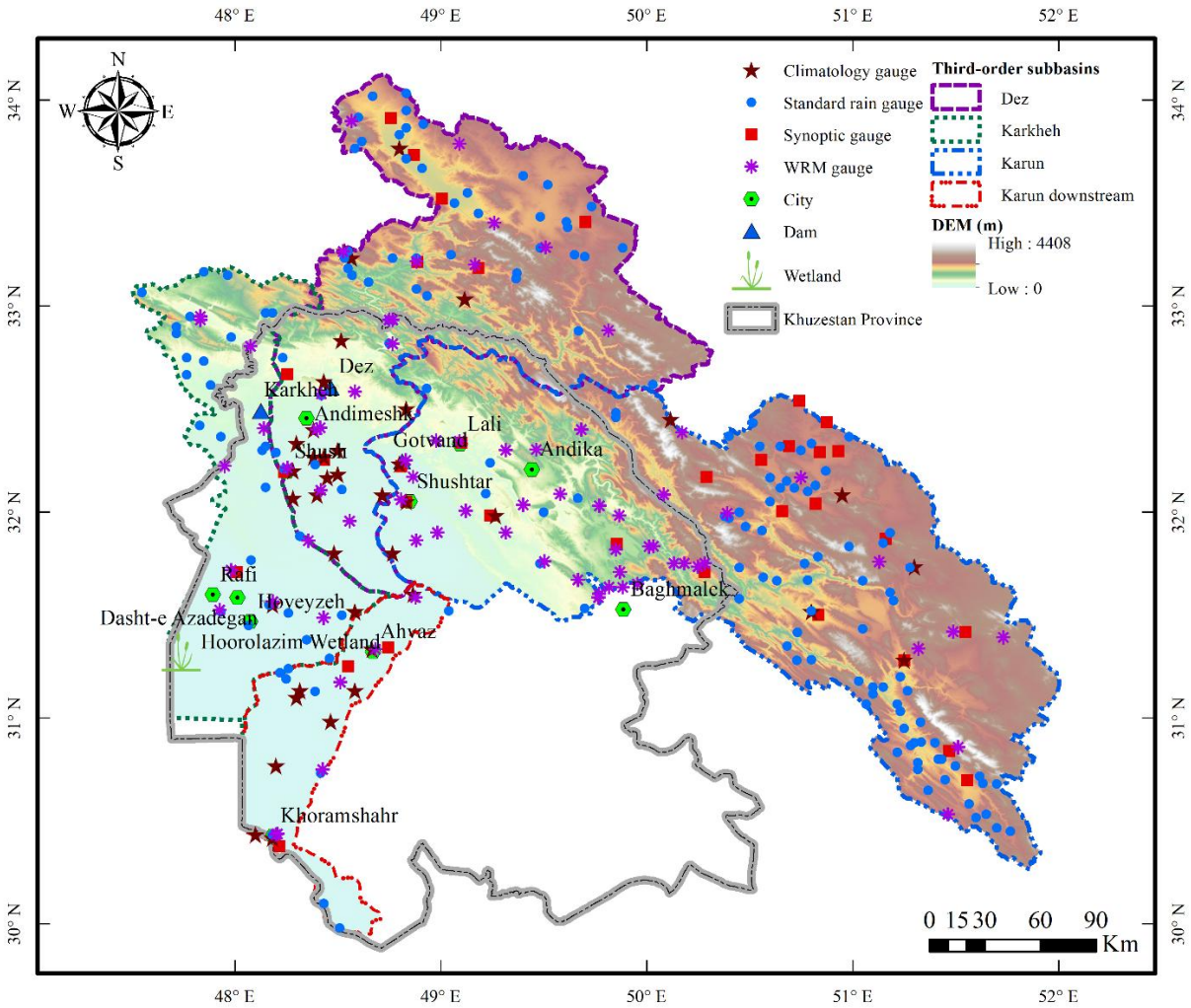


Fig. 1- The geographic location of and the rain gauges and the most important flooded cities in flood of April 2019 in the study area

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و مهمترین شهرهای سیل‌زده در استان خوزستان طی سیل فروردین ۱۳۹۸

ایستگاه لزوماً به معنی صحت کیفیت مناسب داده‌های آن ایستگاه نیست، اما شروط لازم برای تأیید کیفیت داده‌ها محسوب می‌شوند. سپس با انجام طبقه‌بندی ایستگاه‌ها با استفاده از روش پیشنهادی ویجنگارد (Wijngaard et al., 2003)، طبقه قابل اعتماد، مشکوک و غیر قابل اعتماد شناسایی شدند. در نهایت، کفایت تعداد ایستگاه‌های قابل اعتماد برای انجام تحلیل‌های آتی بر اساس دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی[۱۲] (WMO, 1983) مبنی بر حداقل تعداد ایستگاه‌های بارش لازم در مناطق با اقلیم‌های مختلف بررسی شد. بر اساس توصیه سازمان جهانی هواشناسی، حداقل تعداد ایستگاه‌های بارش لازم در مناطق با اقلیم‌های مختلف به صورت زیر است:

– در مناطق مسطح و یا اقلیم مدیترانه‌ای و همچنین در مناطق استوایی در هر ۶۰۰ تا ۹۰۰ کیلومترمربع، وجود یک ایستگاه اندازه‌گیری بارش ایده‌آل است و در هر ۹۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلومتر مربع یک ایستگاه قابل قبول است.

– در مناطق کوهستانی با اقلیم مدیترانه‌ای و همچنین در مناطق استوایی در هر ۱۰۰ تا ۲۵۰ کیلومترمربع، وجود یک ایستگاه اندازه‌گیری بارش ایده‌آل و در هر ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلومترمربع قابل قبول است.

– در مناطق خشک و بیابانی و نیز در مناطق قطبی وجود یک ایستگاه در هر ۱۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع مناسب است.

۲-۴- تحلیل روند و شناسایی نقاط رخداد تغییر روند معنادار در سری زمانی ایستگاه‌های بارش

برای بـررسی وجـود رونـد معنادار در منطقه مطالعه از آزمون روند من–کندال[۱۳] استفاده شد (Pohlert, 2016). این آزمون روی داده‌های بارش سالانه در ایستگاه‌های قابل اعتماد در سطح معناداری پنج درصد انجام شد. همچنین، تخمین‌گر شیب سِن (Sen, 1968) برای تخمین شیب روند محاسبه شد. بعد از شناسایی ایستگاه‌های دارای روند معنادار در بارش، زمان بروز این تغییر معنادار (نقطه شکست[۱۴]) در سری زمانی میانگین بارش سالانه (به کمک روش پتی) شناسایی شد. فرض بر آن بوده است که روندهای معنادار مشاهده شده در بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم در منطقه بوده است.

۲-۵- تعیین دوره بازگشت بارش

تحلیل فراوانی داده‌های بارش سالانه تنها در ایستگاه‌های منتخب با تطبیق سری‌های زمانی مجموع بارندگی‌های سالانه با توزیع‌های احتمالی نرمال، لاگ–نرمال، گامبل، پیرسون، لاگ پیرسون، ویبول و مقدار حدی تعمیم یافته (Alam et al., 2018; Engineers, 1996) در نرم‌افزار EasyFit و تخمین پارامترها با استفاده از روش گشتاورها انجام شد. ایستگاه‌های منتخب به عنوان ایستگاه‌های قابل اعتمادی تعریف شده‌اند که دارای داده نسبتاً کامل (کمتر از ۱۰ درصد نقص داده) در دوره بلندمدت ۳۰ یا ۵۰ ساله خود هستند. بعد از تطبیق داده‌های بارندگی سالانه با توزیع‌های احتمالی مذکور، با انجام آزمون کولموگروف–اسمیرنف[۱۵]، توزیع احتمالی برتر برای داده‌های فوق انتخاب شد. در نهایت با توجه به توزیع آماری برتر هر ایستگاه منتخب، مقادیر برآوردیِ مجموع بارندگی‌های سالانه به ازای دوره برگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله استخراج شده است.

۲-۶- بررسی تغییرات الگوی بارش در منطقه مطالعه

یکی از عوامل طبیعی که می‌تواند اثر قابل توجهی روی زمان و شدت رواناب تشکیل شونده در یک منطقه داشته باشد، تغییر احتمالی در الگوی بارش منطقه است. در این مطالعه به منظور بررسی نحوه تغییرات الگوی بارش در منطقه مطالعه، ابتدا به بررسی روند سری زمانی مدت زمان بین دو بارش متوالی[۱۶] پرداخته شد. علاوه بر این، روند تغییرات تعداد بارش‌های شدید یا ضعیف در طول دوره مطالعه نیز بررسی شد. بدین منظور، ابتدا فاصله بین بارش‌های متوالی (در مقیاس روزانه) برای هر ایستگاه محاسبه شد؛ سپس میانگین آنها برای هر سال آبی بدست آمد و نهایتاً روند سری زمانی به دست آمده با کمک آزمون روند من–کندال و شیب سن مشخص شد. از طرف دیگر، تعداد وقوع بارش‌های با شدت بیشتر (یا کمتر) از یک مقدار حداکثری (یا حداقلی) در هر سال آبی محاسبه شد و روند این سری نیز همانند قبل بررسی گردید. این مقادیر حدی معادل صدک ۸۰ و صدک ۲۰ بارش برای هر ایستگاه به صورت جداگانه است. صدک ۸۰ نماینده بارش با شدت زیاد یا حدی است و بدین جهت روند افزایشی این شاخص می‌تواند نماینده احتمال افزایش شدت سیل باشد. صدک ۲۰ نماینده بارش با شدت کم است و افزایش روند این شاخص همزمان با کاهش فاصله بین بارش‌ها به معنی بالا نگهداشتن سطح رطوبت خاک و امکان افزایش احتمال وقوع سیلاب است.

۳- نتایج و تحلیل

۳-۱- نتایج تکمیل و صحت‌سنجی داده‌ها و شناسایی ایستگاه‌های بارش منتخب

به طور کلی، ۳۱۲ ایستگاه بارش در منطقه طرح وجود دارد که بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد بدون حذف داده‌های پرت و تکمیل یا تطویل آنها، ۲۴۴ ایستگاه در طبقه قابل اعتماد، ۲۴ ایستگاه در طبقه مشکوک و ۴۴ ایستگاه در طبقه غیر قابل اعتماد قرار می‌گیرد. نمودار فراوانی درصد نقص داده‌های هر ایستگاه در دوره‌ی بلندمدت ۵۰ ساله (۱۳۹۶–۱۳۴۶) حاکی از آن است که تنها ۱۴ ایستگاه (۴/۵ درصد کل ایستگاه‌ها) کمتر از ۱۰ درصد داده ثبت نشده دارند که همگی متعلق به طبقه قابل اعتماد هستند. از طرفی ۲۶۱ ایستگاه در بیش از ۵۰ درصد طول دوره خود دارای نقص داده هستند که حدود ۸۴ درصد کل ایستگاه‌های حوضه را شامل می‌شود. بیشترین درصد نقص داده در بازه ۷۰ تا ۸۰ درصد قرار دارد که سهم طبقه قابل اعتماد حدود ۲۳ درصد و سهم طبقه‌های مشکوک و غیرقابل اعتماد به ترتیب ۴ و ۳ درصد از کل ایستگاه‌ها است. همان‌طور که مشخص است، منطقه از وضعیت مناسبی به لحاظ تعداد داده ثبت شده در طول دوره آماری برخوردار نیست. نتایج طبقه‌بندی ایستگاه‌ها پس از تکمیل سری زمانی بارش نشان داد که به ترتیب ۱۵۰، ۸۳ و ۷۹ ایستگاه در طبقه‌ی قابل اعتماد، مشکوک و غیر قابل اعتماد قرار می‌گیرند. ایستگاه‌های ناغان، شهرکرد، سینوپتیک اهواز، آبادان، حمیدیه، پل شالو–سد کارون ۳، گتوند، بتوند–شور، در خزینه، سپیددشت–سزار، تنگ پنج–بختیاری، تله زنگ، ملاثانی و اهواز (معلق به وزارت نیرو) دارای کمتر از ۱۰ درصد نقص داده در دوره بلند مدت ۵۰ ساله خود هستند که جزو ایستگاه‌های منتخب شناخته شدند. از آنجایی که داده‌های بارش وزارت نیرو تنها تا پایان سال آبی ۱۳۹۷–۱۳۹۶ در دسترس بودند، با توجه به اهداف این مطالعه در بررسی تغییرات الگوی بارش تا پایان سال آبی ۱۳۹۸–۱۳۹۷ و مقایسه‌ی آن با بارش درازمدت، در این مطالعه از ایستگاه‌های وزارت

نیرو صرف نظر شد و به جای آن ۵ ایستگاه سینوپتیک و بارانسنجی که دارای کمتر از ۱۰ درصد نقص در دوره بلند مدت ۳۰ ساله خود بودند (شامل ایستگاه‌های یاسوج، بروجرد، مسجد سلیمان، صفی‌آباد (دزفول) و بروجن) به ایستگاه‌های منتخب اضافه شدند. این ایستگاه‌ها از پراکندگی مناسبی در منطقه برخوردار هستند و می‌توانند به عنوان نماینده منطقه مطالعه درنظر گرفته شوند.

۳-۲- کیفیت تراکم ایستگاه‌های بارش

در منطقه مطالعه، ۱۵۰ ایستگاه در طبقه قابل اعتماد قرار گرفتند که ۴۵ ایستگاه در دشت‌های منطقه به مساحتی بالغ بر ۲۷۹۹۷/۴۴ کیلومترمربع و ۱۰۵ ایستگاه در ارتفاعات منطقه به مساحتی بالغ بر ۵۱۸۸۹/۲۷ کیلومترمربع قرار دارند. به عبارتی، در دشت‌ها به طور میانگین هر ۶۲۲ کیلومترمربع یک ایستگاه و در ارتفاعات به طور میانگین هر ۴۹۴/۲ کیلومترمربع یک ایستگاه موجود است که بنا به دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی در دشت‌ها تعداد ایستگاه‌های طبقه قابل اعتماد ایده‌آل و در ارتفاعات قابل قبول است. از ۱۵۰ ایستگاه قابل اعتماد، تعداد ۲۱ ایستگاه از نوع سینوپتیک هستند که ۱۱ ایستگاه در دشت‌ها و ۱۰ ایستگاه در مناطق کوهستانی قرار دارند. در واقع، در دشت‌ها به طور میانگین هر ۲۵۴۵ کیلومترمربع یک ایستگاه و در ارتفاعات به طور میانگین هر ۵۱۸۹ کیلومترمربع یک ایستگاه سینوپتیک موجود است. از آنجا که ایستگاه‌های سینوپتیک معمولاً دقیق‌ترین اندازه‌گیری‌ها را انجام می‌دهند، می‌توان نتیجه گرفت که تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک قابل اعتماد در مناطق مسطح قابل قبول و در مناطق کوهستانی از تراکم لازم برخوردار نیست.

۳-۳- میزان و روند بارش سالانه و فصلی

حوضه کارون پایین دست با میانگین ۲۱۵/۶ میلی‌متر پایین‌ترین رتبه را از لحاظ میانگین بارش سالانه در منطقه نسبت به دیگر حوضه‌ها به خود اختصاص داده و حوضه دز با میانگین بارش سالانه ۶۳۶ میلی‌متر در رتبه اول قرار گرفته است. همچنین، حوضه کارون و کرخه به ترتیب با میانگین بارش سالانه ۵۴۰ و ۳۶۵ میلی‌متر در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. بررسی تغییرات بارش ۱۵۰ ایستگاه قابل اعتماد طی دوره مطالعاتی ۵۰ ساله (۱۳۹۶-۱۳۴۶) در منطقه مطالعه حاکی از آن است که در ۱۰۸ ایستگاه روند معناداری مشاهده نمی‌شود و ۴۲ ایستگاه دارای روند معنادار هستند. بررسی حوضه‌ای این ایستگاه‌ها حاکی از آن است که در حوضه کارون اگرچه در ۷۱ درصد ایستگاه‌ها روند معنادار افزایشی یا کاهشی مشاهده نمی‌شوند، در مجموع ۷۳ درصد ایستگاه‌ها روند منفی (معنادار و غیرمعنادار) دارند. در حوضه کرخه نیز ۶۱ درصد ایستگاه‌ها از روند معنادار افزایشی یا کاهشی برخوردار نیستند، اما در مجموع ۹۲ درصد ایستگاه‌ها روند منفی (معنادار و غیرمعنادار) دارند. در حوضه دز و کارون پایین دست حدود ۵۴ درصد ایستگاه‌ها روند منفی معنادار دارند و به ترتیب ۳۸ و ۳۶ درصد ایستگاه‌ها نیز روند منفی غیرمعنادار دارند. به عبارتی، در مجموع در این دو حوضه نیز حدود ۹۲ درصد ایستگاه‌ها از روند منفی (معنادار و غیرمعنادار) برخوردار هستند. به منظور مشاهده بهتر روند تغییرات بارش سالانه در مقیاس حوضه‌ای، شکل ۲ (الف) روند تغییرات میانگین بارش سالانه در زیرحوضه‌های درجه سوم مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، روند میانگین بارش سالانه تنها در زیرحوضه کارون پایین دست به صورت کاهشی معنادار است و در باقی زیرحوضه‌ها روند معناداری وجود ندارد. با این حال، شیب سن در هر سه حوضه منفی بوده و زیرحوضه دز نسبت به سه حوضه دیگر شیب سن بیشتر (۲/۷۲- میلیمتر بر سال) و زیرحوضه کارون کمترین شیب سن (۱/۲۷- میلیمتر بر سال) را دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع روند اقلیمی در حوضه کارون پایین دست به سمت بارش کمتر پیش رفته است، اما در سایر حوضه‌ها علی‌رغم منفی بودن شیب سن، روند معناداری مشاهده نمی‌شود. طبق نتایج فوق، ۴۸ درصد ایستگاه‌های دارای روند معنادارند که نقطه شروع مشاهده‌ی تغییر معنادار در نیمه اول دهه ۱۳۷۰ است. در ۳۳ درصد ایستگاه‌ها این نقطه در نیمه اول دهه ۱۳۸۰ و در ۱۵ درصد ایستگاه‌ها در دهه ۱۳۶۰ مشاهده می‌شود. شدت این تغییرات منفی با توجه به تخمین‌گر شیب سن در ارتفاعات منطقه بیشتر از دشت‌هاست و در جنوب شرقی حوضه کارون و نیمه شمالی حوضه دز متمرکز شده است.

شکل ۲ (ب) روند تغییرات میانگین بارش فصل زمستان در زیرحوضه‌های درجه سوم مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در فصل زمستان در سه زیرحوضه کرخه، کارون پایین‌دست و دز روند منفی معنادار مشاهده شد. بیشترین روند معنادار در حوضه دز با متوسط شیب سن ۲/۸۷- میلیمتر بر سال و کمترین روند معنادار در زیرحوضه کارون پایین‌دست با متوسط شیب سن ۱/۳۸- میلیمتر بر سال مشاهده شده است. همچنین، متوسط شیب سن در زیرحوضه کرخه برابر با ۲/۰۷- میلیمتر بر سال است.

بررسی دقیق‌تر وقوع روندهای معنادار در فصل زمستان برای زیرحوضه‌های مختلف حاکی از آن است که روند معنادار فصل زمستان عمدتاً به علت وجود روند منفی در ماه بهمن بوده است که متوسط شیب سن در این ماه به ترتیب در زیرحوضه‌های کرخه، کارون پایین‌دست و دز برابر با ۰/۸۲-، ۰/۴۹- و ۱/۰۲- میلیمتر بر سال است.

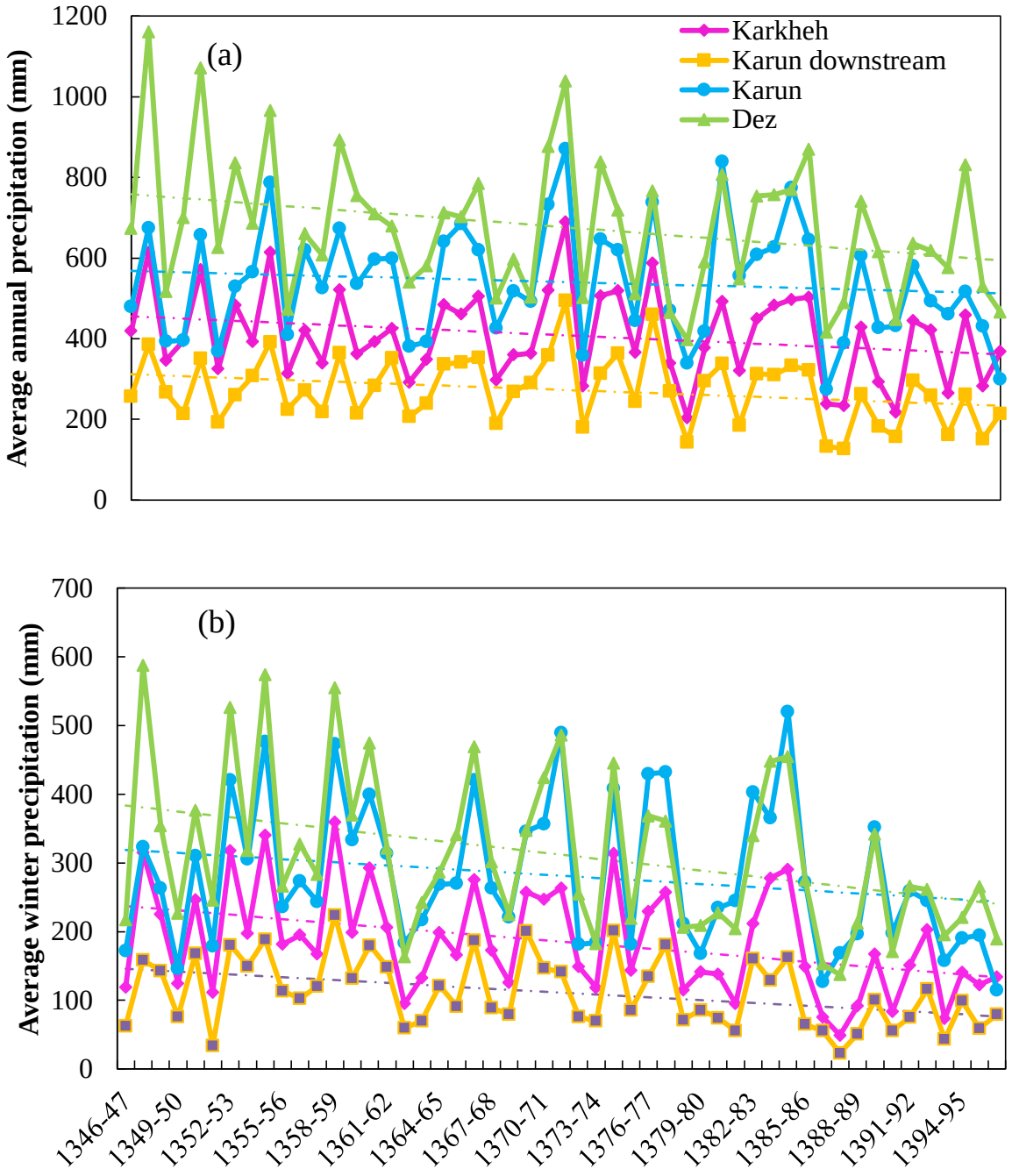


Fig. 2- The trend of (a) average annual precipitation, and (b) average winter precipitation in the studied third-order subbasins

شکل ۲- روند تغییرات (الف) متوسط بارش سالانه و (ب) متوسط بارش زمستان در زیرحوضه‌های درجه سوم مورد مطالعه

قابل ذکر است که علاوه بر ماه بهمن، روند منفی معنادار در زیرحوضه کارون پایین دست در ماه دی با متوسط شیب سن ۰/۷۸- میلیمتر بر سال و در زیرحوضه‌ی دز در ماه اسفند با متوسط شیب سن ۰/۹۸- میلیمتر بر سال مشاهده شده است. در فصل تابستان تنها در زیرحوضه کارون روند معنادار مثبت دیده شد که به صورت دقیق این روند در ماه‌های مرداد و شهریور رخ داده است. بررسی دقیق‌تر داده‌های این حوضه نشان داد که در زیرحوضه کارون در یک و نیم دهه اخیر، هر سال بارش (هر چند کم) در ماه مرداد و شهریور رخ داده است که این

امر موجب مثبت شدن روند بارش در این ماه‌ها شده است. اما دیگر زیرحوضه‌ها تنها در برخی سال‌ها بارش داشته که مشابه با الگوی بلند مدت خود بوده است. البته در ماه شهریور در زیرحوضه کرخه نیز مانند کارون تقریباً هر سال بارش رخ داده است، اما مقدار آن نسبت به میانگین بلندمدت چشم‌گیر نبوده و به همین دلیل روندی معنادار در آن مشاهده نشد. شایان ذکر است که در فصول بهار و پاییز هیچ روند معناداری در میزان بارش هیچ کدام از زیرحوضه‌ها مشاهده نشد.

۳-۴- تحلیل فراوانی بارش سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه‌های منتخب

میزان بارش سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ ثبت شده در ایستگاه‌های بارانسنجی ناغان، سینوپتیک شهرکرد، سینوپتیک اهواز و سینوپتیک آبادان به ترتیب برابر با ۷۲۴ میلی‌متر، ۳۹۲ میلی‌متر، ۳۶۴ میلی‌متر و ۱۵۳ میلی‌متر معادل با دوره بازگشت‌های ۴، ۵، ۲۹۷ و ۲/۳ سال بوده است که در ایستگاه اهواز نشان‌دهنده بارش بی‌سابقه‌ای در این منطقه است.

۳-۵- تحلیل نحوه تغییرات بلندمدت الگوی بارش در منطقه مورد مطالعه

تغییرات فاصله زمانی بین بارش‌ها و تعداد وقوع بارش در ایستگاه‌های منتخب در مقیاس سالانه برای سه ماه بهمن، اسفند و فروردین در شکل ۳ نمایش داده شده است. در این شکل، محور قائم نمودارهای هر ردیف از ستون چپ به راست به ترتیب برابر با فاصله بین بارش‌های متوالی یا mean IA-time (ستون چپ)، میانگین تعداد وقوع بارش با شدت کمتر از صدک ۲۰ یا p<=P20 در واحد روز (ستون وسط) و میانگین تعداد وقوع بارش با شدت بیشتر از صدک ۸۰ یا p>=P80 در واحد روز (ستون راست) است. این نتایج حاکی از آن است که در ایستگاه ناغان، به طور کلی فاصله بارش‌ها افزایش اندکی پیدا کرده است که معنادار نیست و به تعداد بارش‌های با شدت کم نیز افزوده شده اما از تعداد بارش‌های حدی کاسته شده است. به طور خاص در ماه بهمن افزایش اندکی در فاصله بین بارش‌ها مشاهده می‌شود که معنادار نیست و در تعداد بارش‌های حدی و حداقلی نیز تغییری در دوره آماری ۵۰ ساله مشاهده نمی‌شود. اما در ماه اسفند، فاصله بین بارش‌ها به طور معناداری افزایش پیدا کرده و با اینکه در تعداد بارش‌های حداقلی تغییری مشاهده نمی‌شود، تعداد بارش‌های حدی به طور معناداری کاهش پیدا کرده است. در ماه فروردین فاصله بین بارش‌ها به مقدار اندکی کاهش پیدا کرده است، اما در تعداد بارش‌های حداقلی و حدی تغییری ایجاد نشده است. در ایستگاه شهرکرد، فاصله بارش‌ها افزایش اندکی پیدا کرده است که معنادار نیست و به تعداد بارش‌های با شدت کم نیز افزوده شده اما از تعداد بارش‌های حدی به طور معناداری کاسته شده است. همچنین، به طور خاص در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین فاصله وقوع بارش افزایش معنادار داشته است، اما تعداد بارش‌های حداقلی تغییرات معناداری نداشته و تعداد بارش‌های حدی تنها در ماه بهمن با کاهش معنادار روبرو شده است. بنابراین، وضعیت ایستگاه‌های ناغان و شهرکرد، نشان‌دهنده تغییر الگوی بارش به سمت افزایش فاصله بارش‌ها و بارش‌های حداقلی و عدم تغییر در بارش‌های حدی است. در ایستگاه اهواز، فاصله بین بارش‌ها کاهش معنادار داشته و به تعداد بارش‌های حداقلی نیز افزوده شده است اما تعداد بارش‌های حدی به مقدار اندکی کاهش پیدا کرده است. در ماه بهمن، اگرچه فاصله بین بارش‌ها و تعداد بارش‌های حدی تغییر معناداری را نشان نمی‌دهد اما به تعداد بارش‌های حداقلی افزوده شده است. در ماه اسفند نیز اگرچه تغییر معناداری در فاصله بین بارش‌ها مشاهده نمی‌شود اما به تعداد بارش‌های حداقلی افزوده شده و از بارش‌های حدی کاسته شده است. همچنین در ماه فروردین، علاوه بر کاهش معنادار فاصله بین بارش‌ها، به بارش‌های حداقلی نیز افزوده شده اما در بارش‌های حدی تغییری دیده نمی‌شود. بنابراین، به طور کلی وضعیت ایستگاه اهواز نشان‌دهنده تغییر الگوی بارش به سمت بارش‌های حداقلی با فاصله‌های کم است که این امر موجب بالا نگهداشتن سطح رطوبت خاک شده و احتمال وقوع سیل را در صورت بارش‌های قابل توجه افزایش می‌دهد. در ایستگاه آبادان فاصله بین بارش‌ها افزایش چشمگیری داشته و در عین حال از بارش‌های حداقلی به طور معناداری کاسته شده است اما در عوض به بارش‌های حدی افزوده شده است. در ماه بهمن و اسفند نیز تقریباً همین روند برقرار است، با این تفاوت که تعداد بارش‌های حدی تغییری نکرده است. بنابراین، در این دو ماه در بیشتر مواقع خاک در حالت خشک قرار دارد. اما در ماه فروردین با وجود افزایش فاصله بین بارش‌ها و کاهش بارش‌های حداقلی به بارش‌های حدی نیز افزوده شده است که می‌تواند جبرانی برای کاهش بارش‌ها باشد. بنابراین، وضعیت کلی ایستگاه آبادان نشان از تغییر الگوی بارش به سمت بارش و رطوبت خاک کمتر دارد. در ایستگاه بروجرد، کاهش اندکی در فاصله بین بارش‌ها مشاهده می‌شود؛ اما بارش‌های حداقلی به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش داشته است و بارش‌های حدی نیز به مقدار اندکی کاهش پیدا کرده‌اند. در ماه‌های بهمن و اسفند تغییرات معناداری در روند فاصله بارش‌ها یا تعداد بارش‌ها دیده نمی‌شود اما در ماه فروردین، کاهش اندک فاصله بارش‌ها و افزایش چشم‌گیر بارش‌های حداقلی مشاهده می‌شود و در بارش‌های حدی نیز تغییری بوجود نیامده است.

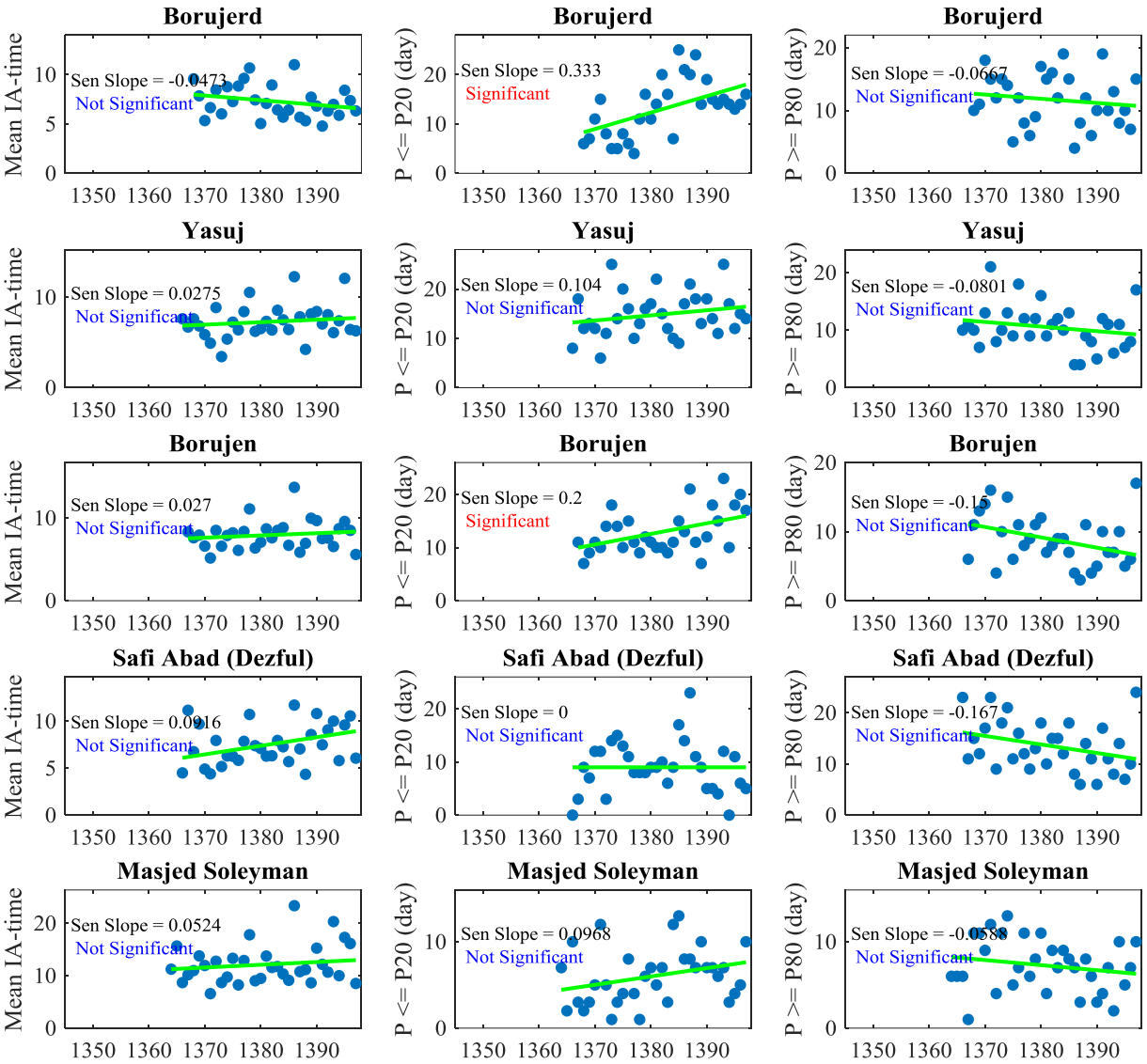


Fig. 3- The trend of the annual interval-arrival time (left column), the trend of the average number of rainfall events with intensity less than 20th percentile (middle column), and the trend of the average number of rainfall events with intensity greater than 80th percentile (right column)

شکل ۳- روند تغییرات میانگین سالانه فاصله بین بارش‌های متوالی (ستون چپ)، میانگین تعداد وقوع بارش با شدت کمتر از صدک ۲۰ (ستون وسط) و میانگین تعداد وقوع بارش با شدت بیشتر از صدک ۸۰ (ستون راست)

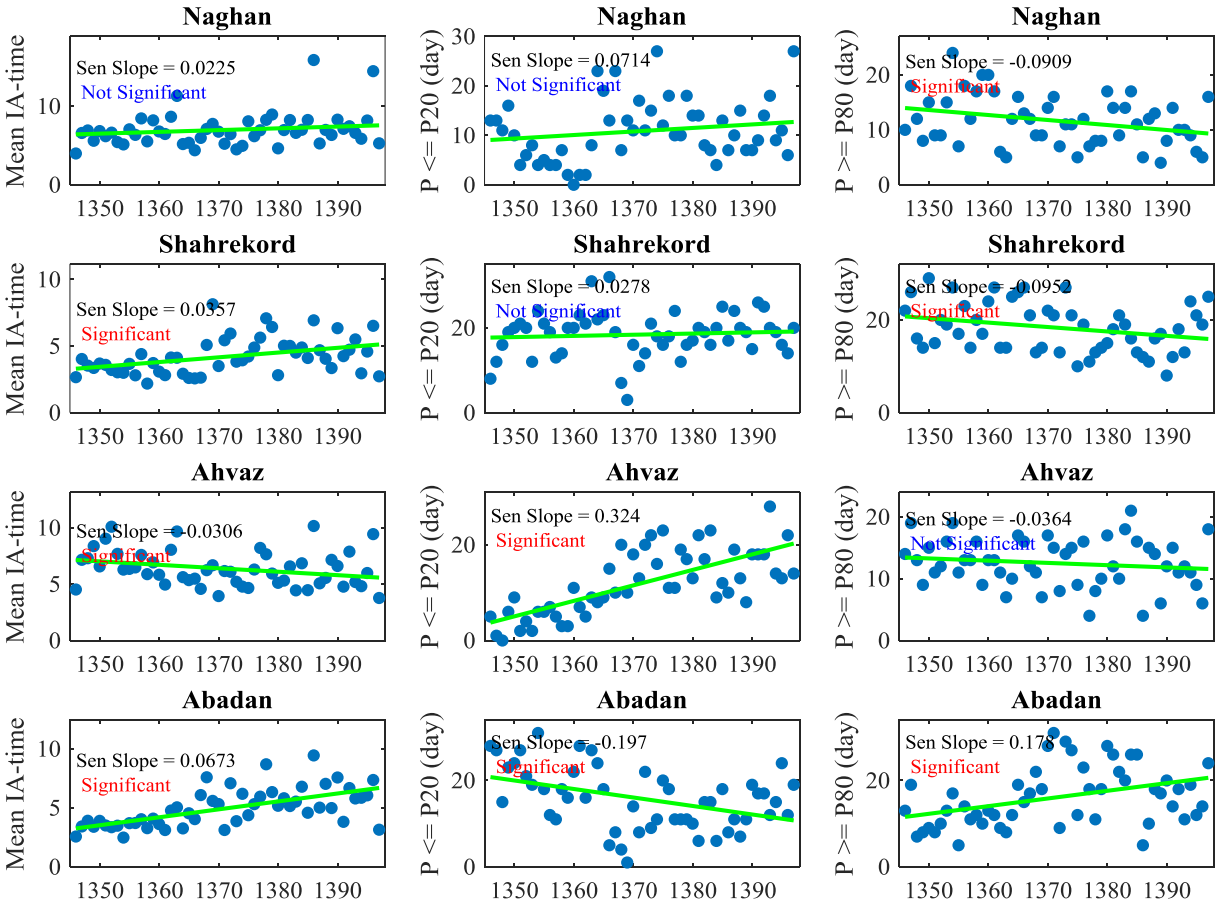


Fig. 3- Continued

شکل ۳- ادامه

بنابراین، به طور کلی در ایستگاه بروجرد وضعیت الگوی بارش در ماه فروردین به سمت بالا نگه داشتن سطح رطوبت خاک است که با وقوع بارش‌های قابل توجه، احتمال وقوع سیلاب وجود دارد. در ایستگاه یاسوج، به طور کلی تغییرات معناداری در فاصله بارش‌ها و تعداد بارش‌های حداقلی و حدی دیده نمی‌شود؛ اما در ماه بهمن با وجود اندک افزایش فاصله بارش‌ها به تعداد بارش‌های حداقلی نیز افزوده شده و در ماه اسفند علاوه بر افزایش معنادار فاصله بارش‌ها، و عدم تغییر در تعداد بارش‌ها حداقلی از تعداد بارش‌های حدی نیز به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاسته شده است. بنابراین، به نظر می‌رسد عمده بارش‌های یاسوج در بهمن ماه اتفاق افتاده و از بارش‌های ماه اسفند کاسته شده است. در ایستگاه بروجن با وجود افزایش اندک فاصله بین بارش‌ها، بارش‌های حداقلی مقدار چشمگیری افزایش پیدا کرده‌اند؛ اما از بارش‌های حدی کاسته شده است که معنادار نیست. در ماه بهمن تغییرات معناداری در فاصله‌ی زمانی بین بارش‌ها و تعداد وقوع بارش مشاهده نمی‌شود. در ماه اسفند و فروردین روند تغییرات فاصله زمانی بین بارش‌ها و تعداد بارش‌های حداکثری همانند سالانه بدون تغییرات معنادار است اما تعداد بارش‌های حداقلی افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است که تداوم رطوبت بالای خاک را به دست می‌دهد. در ایستگاه صفی‌آباد (دزفول) علاوه بر افزایش فاصله بین بارش‌ها، کاهش بارش‌های حدی نیز مشاهده می‌شود. با این‌حال، هیچ کدام معنادار نیست؛ اما در ماه‌های بهمن و اسفند فاصله بین بارش‌ها افزایش معنادار داشته و تغییر قابل ملاحظه‌ای در تعداد بارش‌ها دیده نمی‌شود که نشان از تغییر الگوی بارش به سمت بارش و رطوبت خاک کمتر در این ایستگاه دارد. در ایستگاه مسجد سلیمان به طور کلی تغییرات معناداری مشاهده نمی‌شود؛ اما در ماه اسفند علاوه بر افزایش فاصله بین وقوع بارش‌ها، از تعداد بارش‌های حدی نیز کاسته شده که به معنای تغییر روند الگوی بارش در ماه اسفند به سمت بارش و رطوبت خاک کمتر است.

شکل ۴ توزیع مکانی شیب روند تغییرات میانگین سالانه فاصله بین بارش‌های متوالی (رنگ سبز)، میانگین تعداد وقوع بارش‌های حداقلی کمتر از صدک ۲۰ (رنگ قرمز) و میانگین تعداد وقوع بارش‌های حدی

بیشتر از صدک ۸۰ (رنگ آبی) را در منطقه مطالعه نشان می‌دهد. به طور کلی در مقیاس سالانه، فاصله بین بارش‌ها در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های بروجرد و اهواز روند افزایشی داشته است. همچنین، بارش‌های حداقلی در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه آبادان روند افزایشی و بارش‌های حداکثری در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه آبادان روند کاهشی داشته است. نتایج تحلیل فوق در مقیاس ماهانه حاکی از آن است که در ایستگاه اهواز و بروجرد (که در بالادست سدهای مهم منطقه قرار دارد)، در بلندمدت در ماه فروردین فاصله بین وقوع بارش‌ها کاهش یافته و تعداد بارش‌های حداقلی نیز افزایش یافته که این موضوع می‌تواند منجر به بالا نگهداشتن رطوبت خاک و افزایش احتمال وقوع سیلاب در صورت وقوع بارش قابل توجه (به عنوان مثال در فروردین ۱۳۹۸) شده باشد. از طرفی، روند الگوی بارش در ایستگاه‌های مسجد سلیمان و صفی آباد دزفول نشان‌دهنده کاهش بارش است. با توجه اینکه این دو منطقه در فروردین ۱۳۹۸ وقوع سیل را تجربه کردند، بررسی چگونگی بهره‌برداری از سدهای بالادست این مناطق برای تعیین سهم احتمالی مدیریت نادرست آنها در تشدید خسارات حاصل از سیل ۱۳۹۸ ضروری است.

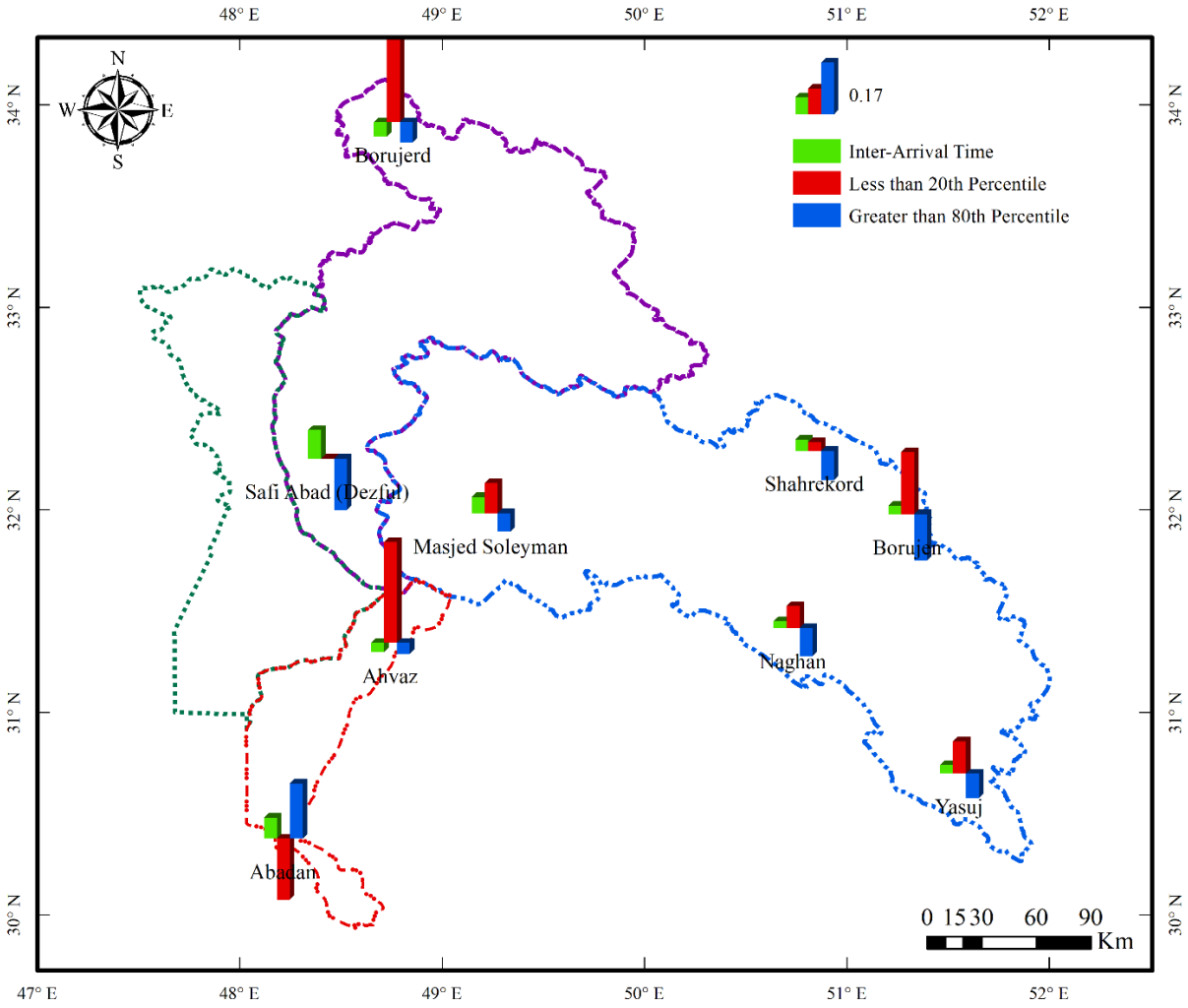


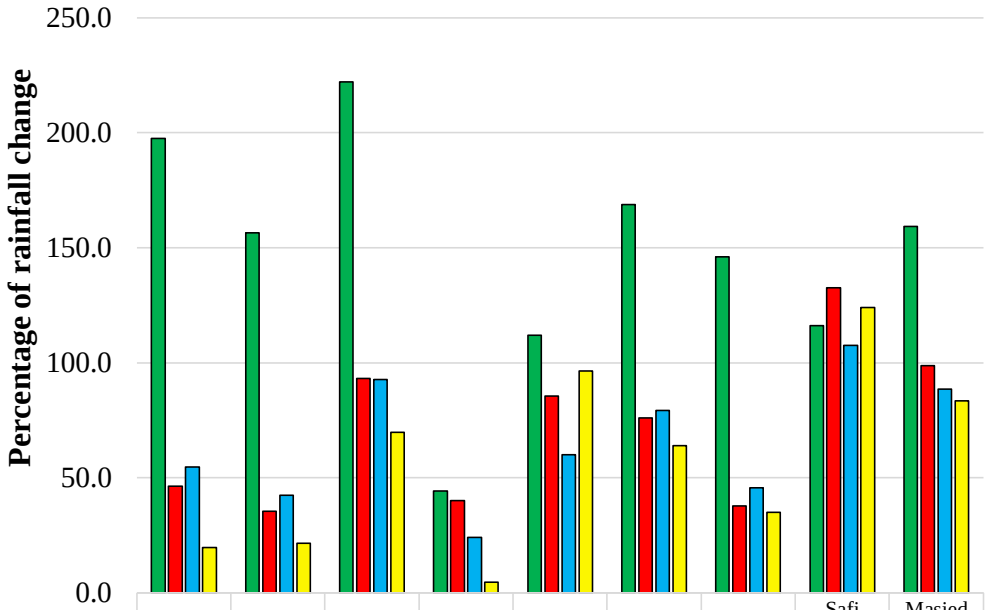
Fig. 4- Spatial distribution of the Sen's slope of the annual interval-arrival time, Sen's slope of the average number of rainfall events with intensity less than 20th percentile, and Sen's slope of the average number of rainfall events with intensity greater than 80th percentile

شکل ۴- توزیع مکانی شیب روند میانگین سالانه فاصله بین بارش‌های متوالی، شیب روند میانگین تعداد وقوع بارش با شدت کمتر از صدک ۲۰ و شیب روند میانگین تعداد وقوع بارش با شدت بیشتر از صدک ۸۰

۳-۶- مقایسه بارش سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ با بارش درازمدت

شکل ۵ درصد تغییرات بارش سال ۹۸-۱۳۹۷ را نسبت به سال قبل، میانگین ۵ ساله و ۱۰ ساله منتهی به سال ۱۳۹۷ و میانگین بلندمدت نمایش می‌دهد. مجموع بارش سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در تمامی ایستگاه‌های منتخب از میانگین بارش بلندمدت بین ۴ درصد (برای ایستگاه آبادان) و ۱۲۴ درصد (برای ایستگاه صفی آباد-دزفول) بیشتر بوده که ایستگاه‌های اهواز، بروجرد، مسجد سلیمان و صفی آباد (دزفول) بیشترین بارش خود را در ۵۰ سال اخیر تجربه کرده‌اند. بیشترین بارش متعلق در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ به ایستگاه یاسوج با میزان ۱۱۵۶ میلی‌متر بوده و کمترین بارش در ایستگاه آبادان به مقدار ۱۵۳ میلی‌متر ثبت شده است. میزان بارش در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ نسبت به سال گذشته، در تمامی ایستگاه‌ها افزایش داشته که ایستگاه آبادان با ۴۴ درصد افزایش در پایین‌ترین رتبه و ایستگاه اهواز با ۲۲۲ درصد افزایش در رتبه نخست افزایش بارش‌ها قرار دارد. همچنین، میزان بارش نسبت به ۵ سال اخیر بین ۳۵ و ۱۳۲ درصد افزایش در ایستگاه‌های مختلف داشته که کمترین و بیشترین افزایش به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های شهرکرد و صفی آباد (دزفول) است. میزان بارش سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ نسبت به میانگین ۱۰ سال اخیر بین ۲۴ تا ۱۰۷٫۵ درصد افزایش یافته است که کمترین و بیشترین میزان افزایش به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های آبادان و صفی آباد (دزفول) است.

در جدول ۱ درصد تغییرات بارش سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ نسبت به میانگین بلندمدت منتهی به سال ۱۳۹۷ در مقیاس فصلی و ماهانه در ایستگاه‌های منتخب ارائه شده است. در فصل پاییز ۱۳۹۷، ایستگاه‌های شهرکرد، آبادان، یاسوج، بروجن، صفی آباد (دزفول) و مسجدسلیمان بارشی بیشتر از میانگین بلندمدت خود بین ۶۰ تا ۲۱۹ درصد ثبت کرده‌اند و ایستگاه‌های یاسوج و بروجن بیشترین بارش را نسبت به بارش سال‌های قبل داشته‌اند. کاهش بارش باقی ایستگاه‌ها بین ۰/۵



	Naghan	Shahrekord	Ahvaz	Abadan	Borujerd	Yasuj	Borujen	Safi Abad (Dezful)	Masjed Soleyman
1396-97	197.6	156.6	222.2	44.3	111.9	168.8	146.1	116.1	159.3
5-year average between 1392-97	46.3	35.4	93.1	40.1	85.4	76.1	37.7	132.6	98.6
10-year average between 1387-97	54.6	42.4	92.7	24.0	60.0	79.3	45.6	107.4	88.4
Long-term average	19.6	21.5	69.8	4.5	96.3	64.0	35.1	123.9	83.5

Fig. 5- The percentage of rainfall changes in the water year 2018-2019 (1397-1398) compared to (a) the water year 207-2018 (1396-1397), (b) 5-year average between 2013-2018 (1392-1397), (c) 10-year average between 2008-2018 (1387-1397), and (d) the long-term average

شکل ۵- درصد تغییرات بارش سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ نسبت به (الف) سال آبی ۹۷-۱۳۹۶، (ب) میانگین ۵ ساله منتهی به سال ۱۳۹۷، (ج) میانگین ۱۰ ساله منتهی به سال ۱۳۹۷، و (د) میانگین بلندمدت

Table 1- The percentage of rainfall changes in the water year 2018-2019 (1397-1398) compared to the long-term average in the seasonal and monthly scale

جدول ۱- درصد تغییرات بارش سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ نسبت به میانگین بلندمدت در مقیاس فصلی و ماهانه

	Naghan	Shahre kord	Ahvaz	Abadan	Borujerd	Yasuj	Borujen	Safi Abad (Dezful)	Masjed Soleyman
Seasonal									
Fall	-7.3	60.2	-0.5	113.1	-12.4	219.2	186.1	103.5	117.4
Winter	21.2	36.0	-1.4	30.7	9.3	79.2	13.4	71.6	-61.6
Spring	50.5	194.1	98.4	191.8	146.5	110.3	68.8	130.6	-14.2
Summer	-99.7	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0
Monthly									
Mehr	185.2	-58.6	105.7	-88.4	39.5	2534.5	1045.8	-59.5	582.9
Aban	89.6	113.4	63.7	378.8	31.6	302.7	367.5	272.1	257.6
Azar	-83.7	31.6	-44.3	1.5	-36.8	85.3	71.9	39.2	49.4
Dey	119.9	78.3	89.2	59.9	184.0	81.6	34.6	110.4	-76.2
Bahman	-27.7	7.6	-62.5	68.3	-63.3	106.8	40.8	45.8	1.8
Esfand	-23.0	22.1	-25.6	-37.9	-59.8	43.9	-52.0	41.6	-95.1
Farvardin	116.1	330.8	140.5	285.9	233.2	215.6	108.6	211.5	2.3
Ordibehesht	-80.9	-72.7	-62.5	-88.0	-90.4	-98.3	-67.1	-85.8	-67.1
Khordad	-39.0	-100.0	625.1	347.9	203.8	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0
Tir	-98.8	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	0.0
Mordad	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	0.0	0.0	0.0	-100.0
Shahrivar	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0

تا ۱۲ درصد بوده است. در فصل زمستان ۱۳۹۷، تمامی ایستگاه‌ها بجز اهواز و مسجد سلیمان بارشی بیشتر از میانگین بلندمدت خود بین ۱۳ تا ۷۹ درصد ثبت کرده‌اند؛ اما این بارش کمتر از حداکثر بارش‌های بلندمدت بوده است. ایستگاه مسجد سلیمان ۶۲ درصد کاهش بارش را نسبت به میانگین بلندمدت خود تجربه کرده است. در تمامی ایستگاه‌ها بجز مسجد سلیمان، بارش بهار ۱۳۹۸ از میانگین بلندمدت بین ۵۰ و ۱۹۴ درصد بیشتر بوده و ایستگاه‌های شهرکرد، اهواز، آبادان و بروجرد بیشترین بارش را نسبت به دوره بلندمدت خود ثبت کرده‌اند. ایستگاه مسجدسلیمان کاهش ۱۴ درصدی بارش را تجربه کرده است.

در مقیاس ماهانه، در مهر ماه ۱۳۹۷، ایستگاه یاسوج بیشترین بارش را نسبت به بلندمدت خود ثبت کرده است و ایستگاه‌های ناغان، یاسوج، مسجدسلیمان، بروجن و اهواز بارشی بیشتر از میانگین بلندمدت خود بین ۳۹ تا ۲۵۳۴ درصد (بیشترین در ایستگاه یاسوج) تجربه کرده‌اند. اما باقی ایستگاه‌ها کاهش بارش بین ۵۸ تا ۸۸ درصد را نشان می‌دهند. در ماه آبان ۱۳۹۷، تمامی ایستگاه‌ها بارش بیشتر از میانگین بلندمدت خود را بین ۳۱ تا ۳۷۸ درصد تجربه کرده‌اند که این مقدار در ایستگاه‌های آبادان، یاسوج و بروجن بیشترین مقدار در بلندمدت خود بوده است. در ماه آذر ۱۳۹۷، تمامی ایستگاه‌ها بجز ایستگاه‌های ناغان، اهواز و بروجرد بارش بیشتر از میانگین بلندمدت خود بین ۱/۵ تا ۷۲ ثبت کرده‌اند؛ اما تمامی ایستگاه‌ها نسبت به سال ۱۳۹۶ بارش بیشتری را تجربه کرده‌اند. در ماه دی ۱۳۹۷، تمامی ایستگاه‌ها بجز مسجدسلیمان، بارشی بیشتر از میانگین بلندمدت خود بین ۳۴ تا ۱۲۰ درصد ثبت کرده‌اند و تمامی ایستگاه‌ها نسبت به سال قبل بارش بیشتری داشته‌اند. در بهمن ماه ۱۳۹۷، ایستگاه‌های شهرکرد، آبادان، یاسوج، بروجن، صفی آباد (دزفول) و مسجد سلیمان بارش بیشتر از میانگین بلندمدت خود با ۱/۸ تا ۱/۷ درصد افزایش داشته‌اند و تمامی ایستگاه‌ها بجز ایستگاه‌های اهواز و بروجرد بارش بهمن ۱۳۹۷ بیشتر از سال قبل خود بوده است. همچنین در اسفند ۱۳۹۷، تنها ایستگاه‌های شهرکرد، یاسوج و صفی آباد (دزفول) بارش بیشتر از میانگین بارش بلندمدت خود بین ۲۲ تا ۴۴ درصد افزایش داشته‌اند. کاهش بارش باقی ایستگاه‌ها بین ۲۳ تا ۹۵ درصد بوده است. بارش ماه فروردین ۱۳۹۸ تمامی ایستگاه‌ها از میانگین بارش بلندمدت بین دو تا ۳۳۰ درصد بیشتر بوده و ایستگاه‌های شهرکرد، آبادان و بروجرد بیشترین

بارش را نسبت به دوره بلندمدت خود تجربه کرده‌اند. در ماه اردیبهشت بارش قابل ملاحظه‌ای برای هیچ یک از ایستگاه‌ها ثبت نشده است.

سری‌های زمانی حداکثر بارش ۲۴ ساعته را در ایستگاه‌های سینوپتیک و بارانسنجی نشان می‌دهد که در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ تمام ایستگاه‌ها بجز اهواز، ناغان و مسجدسلیمان حداکثر بارش ۲۴ ساعته بیشتر از میانگین بلندمدت خود بین ۳۵ تا ۱۰۶ درصد تجربه کرده‌اند که این مقدار برای ایستگاه‌های شهرکرد، آبادان و بروجن بیشترین مقدار خود در طول دوره آماری بلندمدت بوده است.

۳-۷- بررسی و تحلیل گزارشات سازمان هواشناسی کشور از شش ماه قبل از وقوع سیل فروردین ۱۳۹۸

براساس گزارش پیش‌بینی‌های فصلی سازمان هواشناسی کشور که در ۱ مهر ۱۳۹۷، ۲ دی ۱۳۹۷ و ۳۰ بهمن ۱۳۹۷ منتشر شده بودند، پیش‌بینی‌ها حاکی از آن بود که میانگین بارش کشور در فصل پاییز در استان‌های دامنه زاگرس در غرب کشور بیش از نرمال خواهد بود، به طوری که بیشترین بارش‌ها در دوم ماه مهر و آبان رخ می‌دهد. همچنین، پیش‌بینی شده بود که روند در زمستان به گونه‌ای است که از دی تا اسفند بارش ماهانه به طور نسبی کاهش می‌یابد و بیشترین کاهش در اسفند مورد انتظار است. از هفته دوم دی ماه تا اوایل بهمن، بارش به ویژه در جنوب غرب کشور متمایل به بیش از نرمال پیش‌بینی شده بود. در اسفند ماه مسیر عبور سامانه‌های بارشی عمدتاً متمرکز بر نیمه شمالی کشور بوده و در مناطق جنوب غربی بارش در محدوده نرمال تا کمتر از نرمال قرار گیرد. البته باید توجه داشت در این گزارشات برای ماه‌های فروردین و اردیبهشت در جنوب و جنوب غرب کشور پیش‌بینی‌ای انجام نشده بود و تنها در بخش شمالی کشور پیش‌بینی بارش‌های نابهنجار شده بود. بررسی اطلاعیه‌های سازمان هواشناسی از ابتدای سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ تا پایان فروردین ماه ۱۳۹۸ چند مورد اساسی را نشان می‌دهد:

۱- طبق اطلاعیه مورخ ۱۳۹۸/۱/۱، برای استان‌های لرستان، خوزستان، چهارمحال و بختیاری، جنوب ایلام، کهگیلویه و بویر احمد، در روزهای ۴ تا ۶ فروردین، بارش باران همراه با رگبار و رعد و برق پیش‌بینی شده بود که از میزان آن تنها با عنوان «بارش قابل ملاحظه» یاد شده و پیش‌بینی عددی از مقدار آن عنوان نشده است. همچنین، می‌بایست تا دوم فروردین اطلاعیه دیگری در این خصوص صادر می‌شد که این امر تا ۶ فروردین ۱۳۹۸ رخ نداد.

۲- طبق اطلاعیه‌ی مورخ ۱۳۹۸/۱/۷، پیش‌بینی شده بود که سامانه بارشی فعالی از ظهر شنبه ۱۳۹۸/۱۰/۱۰ وارد کشور می‌شود و فعالیت آن تا روز دوشنبه ادامه می‌یابد. میزان بارش این سامانه در حوضه رودخانه‌های غرب و جنوب غرب کشور بین ۷۵ تا ۱۰۰ میلی‌متر برآورد شده بود. طبق بررسی‌های انجام شده، میزان بارش تجمعی اندازه‌گیری شده در حوضه‌های کارون بزرگ و کرخه در دو روز ۱۱ و ۱۲ فروردین ماه، به ترتیب برابر با ۹۵/۹ و ۵۱/۷ میلی متر (با مجموع ۱۴۷/۶ میلی‌متر) بوده است که تقریباً دو برابر میزان پیش‌بینی شده است.

۳- طبق اطلاعیه‌ی مورخ ۱۳۹۸/۱/۸، ۷۰ میلی متر بارش در حوضه‌های کرخه، دز و کارون پیش‌بینی شده بود. همچنین انتظار می‌رفت که حجم رواناب و سیلاب از ۱۲ تا ۱۳ فروردین به دلیل ذوب برف به حداکثر خود برسد، در حالی که سیل زودتر و در ۱۱ فروردین رخ داد.

۴- طبق اطلاعیه مورخ ۱۳۹۸/۱/۱۰، یعنی یک روز قبل از سیل، برای استان‌های خوزستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و لرستان در روز یکشنبه به تاریخ ۱۳۹۸/۱/۱۱، تنها رگبار، رعد و برق و وزش باد پیش بینی شده بود. این در حالی است که بارش‌ها در همین تاریخ منجر به وقوع سیل مهیب شد.

۵- به طور کلی، در اخطاریه‌های سازمان هواشناسی معمولاً عددی گزارش نشده و تنها به اعلام سیلابی شدن رودخانه‌ها و افزایش بارش‌ها پرداخته شده است.

یکی دیگر از مراجعی که به پیش‌بینی بارش از چند ماه قبل از سیل فروردین ۱۳۹۸ پرداخته بود، مؤسسه تحقیقات آب است که مقادیر بارش را در سطح حوضه‌های آبریز درجه دو کشور برای اکتبر ۲۰۱۸ الی فوریه ۲۰۱۹ (معادل ۹ مهر ۱۳۹۷ تا ۹ اسفند ۱۳۹۷) پیش‌بینی کرده بود. شکل ۶ مقایسه‌ای بین مقدار پیش‌بینی شده توسط این سازمان و مقادیر مشاهداتی و اعلامی توسط وزارت نیرو را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در حوضه کرخه مقدار پیش‌بینی شده بین ۳۸ تا ۷۷ درصد کمتر از مقدار مشاهداتی و در حوضه کارون بزرگ مقادیر پیش‌بینی شده بین ۴۸ تا ۸۴ درصد کمتر از مقدار مشاهداتی و در بازه‌ی ۱۰ آذر تا ۱۰ دی ۵ درصد بیش‌تر از مقدار مشاهداتی اعلام شده بود.

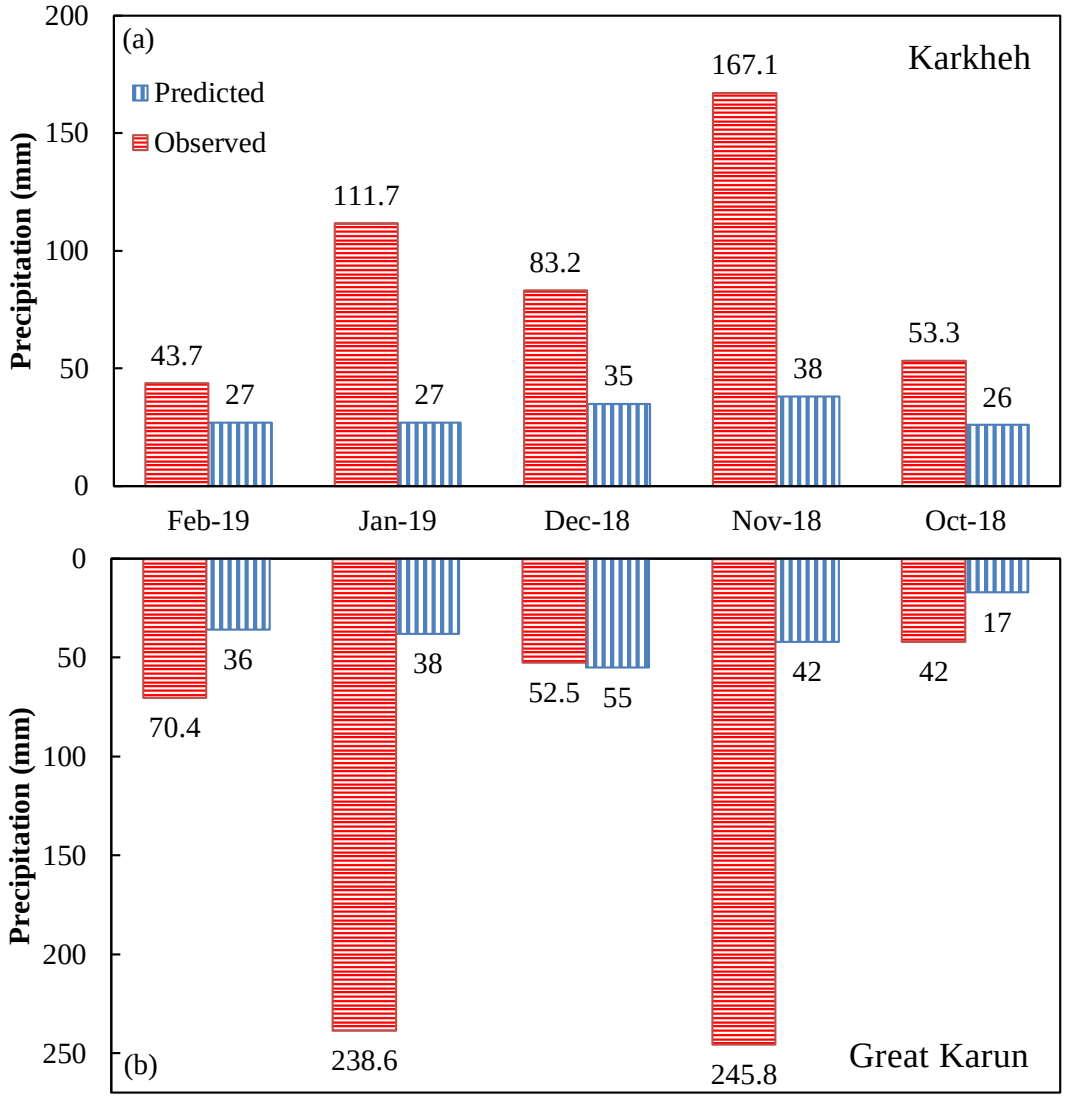


Fig. 6- Comparison between the observed precipitation depths and the predicted values by the Water Research Institute in (a) Karkheh and (b) Great Karun basins

شکل ۶- مقایسه‌ی مقدار بارش پیش‌بینی شده توسط مؤسسه تحقیقات آب و مقدار مشاهداتی در حوضه‌های (الف) کرخه و (ب) کارون بزرگ

۴- جمع‌بندی و پیشنهادات

مهمترین نتایج حاصل از تحلیل جامع وضعیت بارش منطقه مطالعه به شرح زیر است:

۱- بررسی تعداد ایستگاه‌های بارش قابل اعتماد، مشکوک و غیرقابل اعتماد در منطقه مطالعه حاکی از آن بود که منطقه از وضعیت مناسبی به لحاظ تعداد داده ثبت شده در طول دوره آماری برخوردار نیست. بر اساس دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی، تعداد ایستگاه‌های طبقه قابل اعتماد در دشت‌های منطقه مورد مطالعه، ایده‌آل و در ارتفاعات قابل قبول است. همچنین، تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک قابل اعتماد در مناطق مسطح، قابل قبول و در مناطق کوهستانی از تراکم لازم برخوردار نیست. از آنجا که ایستگاه‌های سینوپتیک معمولاً دارای کمترین خطا در ثبت داده‌های هواشناسی نسبت به ایستگاه‌های باران‌سنجی و اقلیم‌شناسی دارند و تعداد آنها در مناطق کوهستانی منطقه مطالعه از تراکم لازم برخوردار نیست، پیشنهاد می‌شود وزارت نیرو و سازمان هواشناسی کشور نسبت به جانمایی و احداث ایستگاه‌های سینوپتیک جدید در این منطقه اقدامات لازم را به عمل آورند.

۲- بررسی تغییرات بارش ۱۵۰ ایستگاه قابل اعتماد طی دوره مطالعاتی ۵۰ ساله (۱۳۹۶-۱۳۴۶) در منطقه‌ی مطالعه حاکی از آن است که در ۱۰۸ ایستگاه روند معناداری مشاهده نمی‌شود و ۴۲ ایستگاه دارای روند معنادار هستند که تنها دو ایستگاه روند مثبت و باقی ایستگاه‌ها روند منفی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه ایستگاه‌های دارای روند معنادار از توزیع یکنواختی در سطح منطقه مطالعه برخوردارند، می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع روند اقلیمی منطقه به سمت بارش کمتر پیش رفته است. طبق نتایج فوق، ۴۸ درصد ایستگاه‌های دارای روند معنادارند که نقطه شروع مشاهده تغییر معنادار در نیمه اول دهه ۱۳۷۰ است. در ۳۳ درصد ایستگاه‌ها این نقطه در نیمه اول دهه ۱۳۸۰ و در ۱۵ درصد ایستگاه‌ها در دهه ۱۳۶۰ مشاهده می‌شود. شدت این تغییراتِ منفی با توجه به تخمین‌گر شیب سن در ارتفاعات منطقه بیشتر از دشت‌هاست و در جنوب شرقی حوضه کارون و نیمه شمالی حوضه دز متمرکز شده است.

۳- روند میانگین بارش سالانه تنها در زیرحوضه کارون پایین دست معنادار است و در باقی زیرحوضه‌ها روند معناداری وجود ندارد. با این حال، شیب سن در هر سه حوضه منفی بوده است.

۴- دوره بازگشت مجموع بارش سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه سینوپتیک اهواز برابر با ۲۹۷ سال تعیین گردید که بی‌سابقه بوده است.

۵- در ماه اسفند و فروردین روند تغییرات فاصله زمانی بین بارش‌ها و تعداد بارش‌های حداکثری همانند سالانه بدون تغییرات معنادار است، اما تعداد بارش‌های حداقلی افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است که تداوم رطوبت بالای خاک را به دست می‌دهد.

۶- در ایستگاه اهواز و بروجرد که در بالادست سدهای مهم منطقه قرار دارند، در ماه فروردین فاصله بین وقوع بارش‌ها در بلندمدت کاهش یافته و تعداد بارش‌های حداقلی نیز افزایش یافته که این موضوع می‌تواند منجر به بالا نگهداشتن رطوبت خاک و افزایش احتمال وقوع سیلاب در صورت وقوع بارش قابل توجه (به عنوان مثال در فروردین ۱۳۹۸) شده باشد. بررسی دقیق‌تر این نتیجه‌گیری با استفاده از داده‌های رطوبت خاک اندازه‌گیری شده یا ماهواره‌ای در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود.

۷- نتایج نشان داد که مجموع بارش سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در تمامی ایستگاه‌های منتخب از میانگین بارش بلندمدت بین ۴ درصد (در ایستگاه آبادان) و ۱۲۴ درصد (در ایستگاه صفی آباد دزفول) بیشتر بوده که ایستگاه‌های اهواز، بروجرد، مسجد سلیمان و صفی‌آباد (دزفول) بیشترین بارش خود را در ۵۰ سال اخیر تجربه کرده‌اند. در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ بیشترین بارش متعلق به ایستگاه یاسوج با میزان ۱۱۵۶ میلی‌متر بوده و کمترین بارش در ایستگاه آبادان به مقدار ۱۵۳ میلی‌متر ثبت شده است.

۸- میزان بارش در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ نسبت به سال گذشته، در تمامی ایستگاه‌های منتخب افزایش داشته که ایستگاه آبادان با ۴۴ درصد افزایش در پایین‌ترین رتبه و ایستگاه اهواز با ۲۲۲ درصد افزایش در رتبه نخست افزایش بارش‌ها قرار دارد. همچنین، میزان بارش نسبت به ۵ سال اخیر بین ۳۵ و ۱۳۲ درصد افزایش در ایستگاه‌های مختلف داشته که کمترین و بیشترین افزایش به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های شهرکرد و صفی آباد (دزفول) است. میزان بارش سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ نسبت به میانگین ۱۰ سال اخیر بین ۲۴ تا ۱۰۷/۵ درصد افزایش یافته است که کمترین و بیشترین میزان افزایش به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های آبادان و صفی‌آباد (دزفول) است.

۹- طبق پیش‌بینی بارش در سطح حوضه‌های آبریز درجه دو توسط مؤسسه تحقیقات آب برای ۹ مهر ۱۳۹۷ تا ۹ اسفند ۱۳۹۷، در حوضه کرخه مقدار بارش پیش‌بینی شده بین ۳۸ تا ۷۷ درصد کمتر از مقدار بارش مشاهداتی و در حوضه کارون بزرگ مقادیر پیش‌بینی شده بارش بین ۴۸ تا ۸۴ درصد کمتر از مقدار مشاهداتی و در بازه ۱۰ آذر تا ۱۰ دی ۵ درصد بیش‌تر از مقدار بارش مشاهداتی بود. این اختلاف قابل ملاحظه لزوم سرمایه‌گذاری بلندمدت در توسعه سامانه‌های قابل اعتماد پیش‌بینی و هشدار سیل را تبیین می‌سازد.

۱۰- تحلیل بارش منطقه مطالعه نشان داد که در ماه‌های اسفند و فروردین، روند تغییرات فاصله زمانی بین بارش‌ها و تعداد بارش‌های حداکثری بدون تغییرات معنادار است؛ اما تعداد بارش‌های حداقلی روند افزایشی معنادار داشته که منجر به تداوم رطوبت بالای خاک می‌شود. از طرفی، حداکثر مقدار دبی در اکثر ایستگاه‌های هیدرومتری نیز به دلیل بارش بیشتر در ماه فروردین، در این ماه رخ می‌دهد. این نتایج حاکی از آن است که با توجه به روند مشاهده شده، مدیریت صحیح و بهنگام مخازن بالا دست این ایستگاه‌ها از چند ماه قبل در شرایطی که احتمال وقوع سیلاب وجود داشته باشد، باید به طور جدی مورد توجه کارشناسان فنی و مدیران وزارت قرار گیرد.

۱۱- با توجه به اینکه بررسی گزارشات پیش‌بینی سازمان هواشناسی حاکی از دقت پایین و عمدتاً کیفی بودن اطلاعات این گزارشات بوده است، بازنگری روش‌های کنونی پیش‌بینی هوا و همچنین ساختار و محتوای گزارشات مربوطه از طرف سازمان هواشناسی کشور باید مورد توجه ویژه قرار گیرد.

۵- قدردانی

نویسندگان این مقاله کمال تشکر را از حمایت مالی انجام شده توسط مرکز پژوهشی پایداری و تاب‌آوری زیرساخت‌ها ابراز می‌دارند. از حمایت‌های معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه صنعتی شریف نیز قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1- IRIMO Synoptic Gauge
2- IRIMO Climatology Gauge
3- IRIMO Standard Rain Gauge
4- MOE Standard Rain Gauge
5- Generalized Extreme Studentized Deviation Test
6- Kendall Rank Correlation Coefficient
7- Run Test or Wald–Wolfowitz Run Test
8- Buishand Test
9- Standard Normal Homogeneity Test
10- Pettitt Test
11- Von Neuman Ratio Test
12- World Meteorological Organization (WMO)
13- Mann-Kendall
14- Turning Point
15- Kolmogorov-Smirnov
16- Inter-Arrival Time

۶- مراجع

Alam M, Emura K, Farnham C and Yuan J (2018) Best-fit probability distributions and return periods for maximum monthly rainfall in Bangladesh. Climate 6(1):9

Arias P, Bellouin N, Coppola E, Jones R, Krinner G, Marotzke J, Naik V, Palmer M, Plattner G-K and Rogelj J (2021) Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group14 I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Technical Summary

ASCE (1996) Hydrology handbook, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 28. American Society of Civil Engineers

Li D, Lettenmaier DP, Margulis SA, and Andreadis K (2019) The role of rain-on-snow in flooding over the conterminous United States. Water Resources Research 55(11):8492–8513

Li X and Wei X (2014) Analysis of the relationship between soil erosion risk and surplus floodwater during flood season. Journal of Hydrologic Engineering 19(7):1294–1311

WMO (1983) Guide to climatological practices. Secretariat of the World Meteorological Organization

Peng Y, Wang Q, Wang H, Lin Y, Song J, Cui T, and Fan M (2019) Does landscape pattern influence the intensity of drought and flood? Ecological Indicators 103:173–181

Pohlert T (2016) Non-parametric trend tests and change-point detection. Creative Commons License 4

Rosner B (1983) Percentage points for a generalized ESD many-outlier procedure. Technometrics 25(2):165–172

Sen PK (1968) Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association 63(324):1379–1389

SRCIF (2019) The 2019 Iran floods narrative. Special Reporting Committee on Iran Floods 2019 (In Persian)

SRCIF (2020) Final report; Narrative, analysis, lessons learned and recommendations. Special Reporting Committee on Iran Floods 2019 (In Persian)

Trnka M, Semerádová D, Novotný I, Dumbrovský M, Drbal K, ek Pavlík F, Vopravil J, Vizina A, Balek J and Hlavinka P (2016) Assessing the combined hazards of drought, soil erosion and local flooding on agricultural land: a Czech case study. Climate Research 70(2–3):231–249

Wasko C and Nathan R (2019) Influence of changes in rainfall and soil moisture on trends in flooding. Journal of Hydrology 575:432–441

Wijngaard JB, Klein Tank AMG, and Können GP (2003) Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society 23(6):679–692

Woldesenbet TA, Elagib NA, Ribbe L, and Heinrich J (2017) Gap filling and homogenization of climatological datasets in the headwater region of the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. International Journal of Climatology 37(4):2122–2140