Investigation of Drought Management Indicators Downstream of Harirod Sub-basin of Afghanistan

Mahdi Sarai Tabrizi [1*] Mahboobullau Bariz [2]

1) Assistant Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2) M.Sc. Student of Water Resources, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

10.22125/IWE.2022.343560.1634

Received:
May 24, 2022
Accepted:
August 25, 2022
Available online:
August 23,2023

Keywords:
DrinC Model, Drought Standard Indicators, Harirod

Abstract

In basic studies of water and soil resources, recognizing the drought indicators and evaluating them can achieve effective management of water resources and better evaluation. Increasing population on the one hand and rising temperatures on the other hand necessitate the need for more human societies to recognize and predict drought as one of the extreme events resulting from climate change. In arid and semi-arid countries such as Afghanistan, where all water resources depend on snow and rain, the issue of drought is an important and recognizable phenomenon. For this purpose, the purpose of this study is to assess drought using SPI, SDI and RDI indices downstream of Harirod catchment. The study area is located in Harirod basin and its area is 31402.6 square kilometers. This basin is located at 62 degrees and 20 minutes' east longitude, 34 degrees and 45 minutes' north latitude in the northwest of Afghanistan, which shares a border with Turkmenistan from the north and Iran from the west. In this study, DrinC and DIP software packages developed by the National Technical University of Athens, Greece and Tarbiat Modares University of Iran in 2013, respectively, were used. The results of this study showed that they were most similar in terms of SPI and RDI results, but the result of SDI index is slightly different from the other two indicators, which can be due to low river discharge data. In the statistical period of this study, the years 2000, 2001, 2008 and 2018 have been located in this basin with droughts of different intensities and it is suggested that the data obtained for better management of water resources in the basin management scenarios in the coming years.

1. Introduction

Drought is a risk caused by the lack of rainfall compared to the average rainfall of several years or the normal rainfall of the same region. In general, the period of water scarcity is an extended period during which a region is faced with a shortage of water resources and reserves, and drought is considered one of the imperceptible natural disasters. Although there are different definitions for this phenomenon, in general, it is the result of a lack of rainfall during an extended period of time, usually one season or more. This shortage leads to the disappearance of water resources for some activities, groups or an environmental sector. Drought can have many reasons, but in general, drought occurs when weather patterns and water cycle are disturbed and heterogeneous. Afghanistan has an arid and semi-arid climate, which is why it is considered one of the most vulnerable countries in the world in terms of natural disasters, especially floods and droughts.

2. Materials and Methods

The studied area is located in the Harirud basin and its area is 31402.6 square kilometers. This basin is located at 62 degrees 20 minutes east longitude and 34 degrees 45 minutes north latitude in the northwest of Afghanistan, which shares a border with Turkmenistan from the north and Iran from the

* **Corresponding Author:** Mahdi Sarai Tabrizi **Email:** m.sarai@srbiau.ac.ir
Address: Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

west. The basin in question has a common border with Qala Nou, Qadis, Ab Kemari and Jund cities of Badghis province from the north-east side and Sagar, Tiureh, Pasaband and Chaghcheran cities of Ghor province from the east side. The south side of this basin is connected to the cities of Khak Sefid, Balablok and Anar Dareh in Farah province. The average annual temperature in this basin is between 11-19 degrees Celsius, the highest temperature is 39.77 degrees Celsius in July and the lowest temperature is 7.7-15 degrees in February, and the average rainfall is also the sub-basin between the years (2008 to 2020) is about 218 mm.

3. Results

In this research, in order not to confuse the reader, only the diagrams of Tirpol station will be placed. According to the research method used, it has been determined that the SPI index and the RDI index were similar in the 42-year statistical period of the study, but the SDI index, despite the fact that the river discharge statistics were very small, that is, the 13-year statistics from 2008 to It is 2020. It has shown favorable results. Results clearly show these practical results. Also result shows the average frequency of drought and drought classes occurring in the study area during the statistical period of 42 years using the SPI index.

4. Discussion and Conclusion

In the current research, SPI, RDI and SDI indicators have been used to evaluate the drought situation in the lower reaches of the Harirud basin using the required 42-year figures obtained from the hydrological and meteorological stations installed in this basin and satellite figures. According to the results of this research, it seems that in the period of 42 years, the mentioned indicators have evaluated the drought situation of the mentioned basin differently. According to the results obtained from the calculations in the 42-year period of the studied statistics, only the years 2000 and 2001 as well as 2018 have shown the drought situation to be relatively severe, and the rest of the years the drought was not very severe and it was observed almost at a weak level. Finally, it can be concluded from the results that the drought situation in the lower part of the Hariroud basin was more than normal in the studied years. In total, the results of the aforementioned three indicators in determining the severity of drought or drought in the methods implemented in the studied basin are almost similar. According to the results of the current research, the performance of the two indices SPI and RDI are completely similar, and the performance of the third index, SDI, despite the inadequacy of the statistics that have figures for the years 2008 to 2020, still shows better results.

5) Six important references

1) Shaha, R., Bharadiyab, N. and Manekarc, V. 2015. Drought Index Computation Using Standardized Precipitation Index (SPI) Method for Surat District. Gujarat, Aquatic Procedia, 4: 1243 – 1249.

2) Samir, Al-Gamal. 2021. Climate Change and Integrated Water Resources Management to Prevent Water Disputes in Africa. Water Productivity Journal (WPJ), 1(2): 52 – 70.

3) Tabari, H., Nikbakht, J. and Talaee, H. 2013. 1Hydrological Drought Assessment in Northwestern Iran Based on Stream flow drought Index (SDI). Water Resource Management, 27: 137- 151.

4) Tigkasa, D., Vangelisa. H. and Tsakirisa, G. 2016. Introducing a modified Reconnaissance Drought Index (RDI) incorporating effective precipitation. Procedia Engineering, 162: 332 – 339.

5) Ghasemi, P., Karbasi, M., Zamani Nouri, A., Sarai Tabrizi, M. and Azamathulla, A. M. 2021. Application of Gaussian process regression to forecast multi-step ahead SPEI drought index. 5

6) Farahbakhsh, M., Sarai Tabrizi, M. and Babazadeh, H. 2023. Determining basil production functions under simultaneous water, salinity, and nitrogen stresses. Applied Water Science, 13(68): 1-12.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to Science and Research Branch, Islamic Azad University and General Directorate of Water Resources, National Administration of Water Affairs of Afghanistan

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. ویژه نامه .تابستان ۱۴۰۲

بررسی شاخص‌های مدیریتی خشکسالی در پایین‌دست زیرحوضه هریرود افغانستان

مهدی سرائی تبریزی[۱] و محبوب الله بارز[۲]

تاریخ ارسال:۱۴۰۱/۰۳/۰۳
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۶/۰۳

مقاله پژوهشی

چکیده

در مطالعات پایه منابع آب و خاک، شناخت شاخص‌های خشکسالی و ارزیابی آن‌ها می‌تواند مدیریت اثربخش منابع آب و ارزیابی بهتر آن را محقق سازد. افزایش روز افزون جمعیت از یک طرف و افزایش درجه حرارت از سوی دیگر نیازمندی بیش‌تر جوامع انسانی را به شناخت و پیش‌بینی خشکسالی به‌عنوان یکی از وقایع حدیِ حاصل از تغییرات اقلیمی را ضروری می‌نماید. در کشورهای خشک و نیمه‌خشک همانند افغانستان که تمام منابع آبی آن متکی به ریزش‌های برف و باران است، موضوع خشکسالی یک پدیده مهم و قابل شناخت است. بدین‌منظور هدف از این پژوهش، ارزیابی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های SPI، SDI و RDI در پایین‌دست حوضه آبریز هریرود می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در حوضه هریرود واقع شده و وسعت آن ۳۱۴۰۲/۶ کیلومترمربع است. این حوضه در ۶۲ درجه و۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی در شمال غربی کشور افغانستان واقع شده که از سمت شمال به کشور ترکمنستان و از سمت غرب با کشور ایران مرز مشترک دارد. در این پژوهش، از بسته‌های نرم‌افزاری DrinC و DIP که به‌ترتیب توسط دانشگاه ملی فنی آتن یونان و دانشگاه تربیت مدرس ایران در سال ۲۰۱۳ توسعه داده شده، استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین شباهت را از نگاه نتیجه دو شاخص SPI و RDI با هم داشته لیکن نتیجه شاخصSDI قدری با دو شاخص دیگر متفاوت است که دلیل آن می‌تواند کم بودن داده‌های دبی رودخانه باشد. دوره آماری این مطالعه، سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ در این حوضه با خشکسالی با شدت‌های متفاوت است و بقیه سال‌های مورد مطالعه تقریباً در حد نرمال بررسی شده و پیشنهاد می‌گردد که داده‌های به‌دست آمده برای مدیریت بهتر منابع آب در سناریوهای مدیریتی حوضه آبریز در سال‌های آتی بیش‌تر مدنظر قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های استاندارد خشکسالی، مدل DrinC، هریرود

[۱] استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. m.sarai@srbiau.ac.ir (**نویسنده مسئول**)
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

مقدمه

خشکسالی نوعی خطر ناشی از کمبود بارندگی نسبت به متوسط بارندگی چندین ساله یا بارندگی نرمال همان منطقه می‌باشد. در واقع از دیدگاه علمی، عبارت دقیق‌تر و مناسب‌تر به جای خشکسالی، «دوره کم‌آبی» است. در مجموع، دوره کم‌آبی دوره ممتدی است که طی آن یک منطقه با کمبود در منابع و ذخیره آبی مواجه است و خشکسالی جزء بلایای طبیعی نامحسوس به‌شمار می‌رود. گرچه تعاریفی متفاوت برای این پدیده ارائه شده لیکن در کل، حاصل کمبود بارش در طی یک دوره ممتد زمانی معمولاً یک فصل یا بیش‌تر می‌باشد. این کمبود منجر به از بین رفتم منابع آبی برای برخی فعالیت‌ها، گروه‌ها و یا یک بخش زیست‌محیطی می‌شود (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۴). خشکسالی می‌تواند دلایل زیادی داشته باشد ولی به‌طورکلی خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که الگوهای آب و هوایی و چرخه آب دچار اختلال و ناهمگونی شوند (زارعی و سلیمانی، ۱۳۹۷). افغانستان دارای اقلیم خشک و نیمه-خشک می‌باشد که از این‌رو از جمله کشورهای آسیب‌پذیر در سطح جهان از نگاه بلایایی طبیعی خصوصاً سیلاب و خشکسالی به‌شمار می‌آید. به‌طور معمول خشکسالی‌ها به چهار نوع تقسیم شده‌اند که شامل خشکسالی هیدرولوژیکی، خشکسالی کشاورزی، خشکسالی هواشناسی و خشکسالی اقتصادی- اجتماعی می‌باشند. نظربه تحقیق انجام‌شده فعلی بیش‌ترین نوع خشکسالی‌هایی‌که در پایین‌دست زیرحوضه هریرود رخداده است خشکسالی هیدرولوژیکی و کشاورزی می‌باشد. به همین دلیل باید تحقیقات گسترده‌ای پیرامون خشکسالی در تمام حوضه-های آبریز به‌خصوص پایین‌دست زیرحوضه هریرود صورت گیرد که تا به حال هیچ نوع بررسی و ارزیابی خشکسالی در پایین‌دست زیرحوضه هریرود انجام نشده بنابراین لازم است تا پیرامون موضوع تحقیقاتی صورت گیرد که در نتیجه در این مطالعه منطقه موردنظر را که در این اواخر تحت پوشش خشکسالی قرار داشته و با شرایط بحرانی و کاهش آب روبرو بوده است، مورد بررسی قرار گرفت. اقتدارنژاد و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به مقایسه سه شاخصRDI، SPI و SDI جهت برآورد خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی دشت بم پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که شاخص SPI بر اساس تحقیقات انجام شده، بهترین شاخص برای مطالعه خشکسالی هواشناسی می‌باشد و برای خشکسالی هیدرولوژیکی، شاخص‌های متعددی پیشنهاد شده که تاکنون دو شاخص معروف تحت عنوان شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی پالمر و شاخص خشکسالی ذخیره آب سطحی پیشنهاد گردیده که نظر به پیچیدگی کم‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد. به‌منظور حل این مشکل از شاخص مشابه SPI و شاخص SDI استفاده گردید. بر اساس نتایج شاخص SPI و RDI در تعیین دوره‌های خشکسالی و ترسالی شروع و پایان خشکسالی تقریباً مشابه می‌باشد.

در پژوهشی فرمان آرا و همکارن (۱۳۹۵) کارآیی توزیع آماری دو متغیر شدت و مدت خشکسالی بر مبنای توابع کاپولا را مورد مطالعه قرار دادند. مزیت استفاده از این توابع، دخالت همبستگی بین شدت، مدت و فراوانی و همچنین امکان استفاده از توابع توزیع حاشیه‌ای متفاوت می‌باشند. مقایسه دوره خشکسالی استخراج شده از شاخص SPI برای دوره پایه نشان‌دهنده این است که به‌صورت کل در اثر تغییرات اقلیمی انتظار می‌رود که تعداد دوره‌های خشکی افزایش پیدا کند.

منتصری و همکاران در سال (۱۳۹۶) تحقیقاتی را در بالادست حوضه دریاچه ارومیه انجام دادند و به یکسری نتایج دست یافتند، توزیع فراوانی مقادیر ماهانه شاخص خشکسالی SPI در کل ایستگاه‌های منتخب ایشان از سال‌های ۱۹۷۱ الی ۲۰۱۳ به ازای ۲۵، ۵۰، و۷۵ درصد وقوع مشاهده می‌شود که دوره آماری ۴۳ ساله شامل دوره‌های خشک و تر به‌صورت متناوب و بودن یک الگوی مشخص در منطقه مورد مطالعه تکرار گردیده است. در ضمن مقادیر ماهانه شاخص SPI برای داده‌های ایستگاه ارومیه واقع در غرب دریاچه ارومیه در روند تغییرات مقادیر SPI در این ایستگاه نیز دارای رفتار مشابهی با رفتار کلی شاخص SPI در کل منطقه می‌باشد. در این مطالعه با توجه به اهمیت پدیده خشکسالی و مطالعه آن عملکرد شاخص‌های SPI، RDI، SDI بررسی گردیده و نقاط ضعف و قوت هر یک از شاخص‌های فوق الذکر ارزیابی شدند.

مساعدی و همکاران(۱۳۸۷) در پژوهشی که در استان گلستان انجام دادند به یک سری نتایج دست یافتند، ایشان

پس از محاسبه شاخص SPI و ترسیم نمودن نمودار تغییرات بارندگی و ضریب SPI در ایستگاه‌های انتخابی‌شان و مقایسه آن‌ها با یکدیگر به این نتیجه رسیدند که در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه سال‌های پر آبی و کم آبی یا کم باران خشک مشاهده گردیده است که دو سه ترسالی متوالی و پس از آن دو یا سه خشکسالی مشاهده گریده است.

سامتی و همکاران (۱۳۹۷) به‌کارگیری آمار مکانی و زمانی در پایش خشکسالی‌های شمال شرق ایران با استفاده از شاخص SPI را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش نمایانگر عملکرد شاخص SPI در برآورد مقادیر ماهانه می‌باشد. در این پژوهش از آمار ماهانه ۴۸ ایستگاه هواشناسی و هیدرولوژیکی طی سال‌های ۱۹۸۱ الی ۲۰۱۲ در شمال شرق کشور به تحلیل توأمان مکانی و زمانی خشکسالی و آمار ۱۲ ماهه برای شاخص SPI استفاده شده است. مقادیر شاخص SPI برای سال ۲۰۱۲ توسط روش کریجینگ مکانی و زمانی برآورده شده و نقشه‌های ماهانه آن با نقشه‌های‌مقادیر مشاهداتی مقایسه شدند. از نتایج این پژوهش می‌توان گفت که مدل توانسته به بهترین روش وضعیت سال‌های پرآبی و خشکسالی را مشخص نماید.

فریز هندی و میر اکبری(۱۳۹۷) در پژوهشی نیز به چنین نتیجه دست یافتند. شاخص SDI نسبت به شاخص SPI از مقادیر شدت بالاتری برخوردار است، لذا می‌توان انتظار داشت که رابطه شاخص‌های SDI وSPEI مقدار مناسب‌تری نسبت به SPI دارا باشد.

تبری و همکاران (۲۰۱۳) پژوهشی را در قسمت‌های شمال غربی ایران با استفاده از شاخص SDI انجام دادند و به یک سری نتایج دست یافتند. شاخص خشکسالی (SDI) برای دوره‌های همپوشانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماه در ۱۴ ایستگاه‌های هیدرومتری شمال غربی ایران در دوره زمانی ۲۰۰۹-۱۹۷۵ استفاده کردند. مشخص شد که برخی از سری حجم جریان از توزیع عادی پیروی نمی‌کند. توانایی توزیع‌های احتمال طبیعی، نمایی و یکنواخت به‌منظور انتخاب بهترین سناریو مورد بررسی قرار گرفت و مناسب‌ترین توزیع را توزیع لوگ نرمال برای تناسب بلند مدت دانستند. نتایج داده‌های جریان تحلیل و تجزیه شده تقریباً همه ۱۴ ایستگاه را در طول دوره مطالعه دچار خشکسالی شدید نشان داده است. علاوه براین خشکسالی‌های شدید بیش‌تر در بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۸ رخ داده است.

شاها و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی شاخص استاندارد شده بارش SPI را یک شاخص دارای ویژگی خاص نسبت به سایر شاخص‌ها خوانده و به یک سری نتیجه دست یافتند که شاخص SPI بدون پارامترهای آب و هوا دیگر مانند حداقل و حداکثر دما بهترین نتیجه را ارائه می‌کند و این روش را برای کاربردهای کشاورزی بهتر و مؤثر خواندند.

جعفر و همکاران(۱۳۹۴) در پژوهشی که انجام داده اند از شاخص SPI کوتاه مدت (۶،۳،۱ و ۹ ماهه) استفاده نمودند. چون که SPI کوتاه مدت حساسیت بیش‌تر به تغییرات شرایط رطوبت دارد و باکوچک‌ترین تغییر در بارندگی ماهانه سریعاً واکنش نشان می‌دهد.

تیگکاسا و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی دریافتند که RDI در یک منطقه کشاورزی عملکرد بهتری را در ارزیابی تأثیرات خشکسالی نظر به دیگر شاخص‌ها نشان می‌دهد. و RDI را یک شاخص پرکاربرد خوانده که در بسیاری از مطالعات مربوط به خشکسالی در طول سال با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است.

فلاح ذوله و همکاران(۱۳۹۹) درتحقیقی به این نتیجه رسیدند که با مقایسه مقیاس‌های زمانی می‌توان گفت هرچه سری زمانی شاخص SPI افزایش یابد، تداوم خشکسالی‌ها طی دوره‌های بلند مدت بیش‌تر از دوره‌های کوتاه مدت می‌شود. با وجود افزایش بارش در نقطه، خشکسالی نیز افزایش یا شدت یافته است که این حالت اثر افزایش دما را در برآورد شاخص خشکسالی نمایان می‌سازد. نوآوری این پژوهش، انجام پژوهشی کاربردی در زمینه ارزیابی شاخص‌های مدیریتی خشکسالی برای نخستین بار در زیرحوضه هریرود است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حوضه هریرود واقع شده و وسعت آن ۳۱۴۰۲/۶ کیلومترمربع است. این حوضه در ۶۲ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی در شمال غربی کشور افغانستان واقع شده که از

سمت شمال به کشور ترکمنستان و از سمت غرب با کشور ایران مرز مشترک دارد. حوضه موردنظر از سمت شمال شرق به شهرستان‌های قلعه نو، قادیس، آب کمری و جوند استان بادغیس و از سمت شرق با شهرستان‌های ساغر، تیوره، پسابند و چغچران استان غور مرز مشترک دارد. سمت جنوب این حوضه به شهرستان‌های خاک سفید، بالابلوک و انار دره استان فراه متصل است. متوسط درجه حرارت سالیانه در این حوضه بین ۱۹-۱۱ درجه سانتی‌گراد، بالاترین درجه حرات آن ۳۹/۷۷ درجه سانتی‌گراد در ماه جولا و کم‌ترین درجه حرات آن ۷/۱۵- در ماه فوریه است و همچنان متوسط بارش این زیرحوضه بین سال‌های (۲۰۰۸ الی ۲۰۲۰) در حدود ۲۱۸ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های آب و هواشناسی و منطقه مورد مطالعه را در افغانستان نشان می‌دهد (اداره ملی تنظیم امور آب افغانستان، ۱۳۹۹).

در این پژوهش، تلاش می‌شود تا بیش‌تر از داده‌های آماریس برداشت شده در وزارت آب و انرژی افغانستان، روش‌های کتابخانه‌ای، مطالعه پژوهش‌های علمی و استفاده از شاخص‌های پایش و ارزیابی خشکسالی شامل شاخص استاندارد بارندگی (SPI)[3]، شاخص (RDI)[4] و شاخص (SDI)[5] و مجموعه مقادیر جریان ماهانه با نرم‌افزارهای و DIP استفاده شود. سری داده‌های آماری مورد نیاز در این پژوهش بیش‌تر از داده‌های هیدرومتئورولوژیکی ایستگاه‌های موجود در پایین‌دست زیرحوضه هریرود استفاده می‌کنند که از طرف وزارت انرژی و آب سابق و اداره ملی تنظیم امور آب فعلی افغانستان طی سال‌های گذشته نصب گردیدند و ارقام فعلی در این پژوهش، مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. ارقام بارندگی مورد استفاده از سال‌های ۱۹۷۹ الی ۲۰۲۱ می‌باشد. همچنان آمار مقدار جریان از سال ۲۰۰۸ الی ۲۰۲۱ موجود بوده که از آن نیز استفاده صورت خواهد گرفت. نرم‌افزارهای که در این پژوهش مورد استفاده قرار خواهندگرفت شامل DrinC , DIP و شاخص‌هایSPI، RDI و SDI می‌باشند که به‌ترتیب معرفی می‌گردند.

بسته نرم افزار Drinc توسط دانشگاه ملی فنی آتن، با مرکزیت ارزیابی مخاطرات طبیعی و برنامه‌ریزی فعال و آزمایش کارهای بازسازی و مدیریت منابع آبی، در سال ۲۰۱۳ تهیه شده است[6]. هدف این نرم افزار فراهم کردن بستری ساده برای محاسبه شاخص‌های خشکسالی می‌باشد. که بر دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص خشکسالی جریان رودخانه (SDI) تاکید می‌نماید. ورودی‌های این نرم افزار داده‌های متوسط جریان، تبخیر-تعرق و متوسط ماهانه بارش بوده وخروجی آن SDI، RDI وSPI می‌باشد.

همچنین نرم‌افزار DIP[7] توسط دانشگاه تربیت مدرس ایران در سال ۲۰۱۳ توسعه داده شده است که داده‌های ورودی آن متوسط ماهانه بارش بوده و خروجی آن شاخص‌های دهک‌ها (DI)، شاخص نرمال بارش (PNI)، شاخص‌های بارش استاندارد (SPI)، شاخص عددی(ZSI Z)، شاخص Z چینی اصلاح شده (MSZI)، شاخص Z چینی (CZI) می‌باشند. جدول زیر نشان‌دهنده اسامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در پایین‌دست زیر حوضه هریرود می‌باشد.

شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی

شاخص بارش استاندارد (SPI)

شاخص بارش استاندارد شده اولین بار توسط مک کی و همکاران (۱۹۹۳) بسط و توسعه داده شد. محاسبه این شاخص بر اساس بارش دراز مدت صورت می‌گیرد. SPI یک شاخص استاندارد شده است که قادر به محاسبه کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف از جمله ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه می‌باشد. در این شاخص ابتدا توزیع آماری مناسب بر داده‌های بارش برازش داده می‌شود که بطور معمول توزیع گاما در نظر گرفته می‌شود. سپس تابع توزیعی تجمعی با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال استاندارد تبدیل می‌گردد (یوسفی وهمکاران، ۱۳۹۵).

شاخص خشکسالی اجمالی (RDI)

[3] Standardized Precipitation Index
[4] Reclamation Drought Index
[5] Stream Flow Drought Index

[6] Software for drought analysis
[7] Drought-induced protein

این شاخص در سال ۲۰۰۴ میلادی توسط مک کی ارائه گردید، برای تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص RDI نیاز به داشتن آمار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و یا هم مجموع سالانه می‌باشد. روش محاسبه آن به این شرح است ابتدا با استفاده از فرمول زیر برای هر سال (i) از دوره آماری مورد مطالعه مقداری به‌عنوان a_0 محاسبه می‌گردد.

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \qquad (۱)$$

دراین فرمول pو ET بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل درj همین ماه سال Iهستند. مقدارI از یک تا N(تعداد سال‌هایی است که آمار آن در دسترس است) تغییرخواهد نمود. چنان چه بارندگی و تبخیر وتعرق بصورت سالانه محاسبه شوند نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این فرمول نخواهد بود. درگام بعدی تعیین شاخص RDIنرمال یا (RDIn) هر سال است که از فرمول زیر محاسبه خواهد شد.

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{a_0^{(i)}} - 1 \qquad (۲)$$

دراین فرمول a_0 میانگین حسابی اعداد هر سال می‌باشد. جهت محاسبه شاخص استاندارد شده RDIیا (RDIs) از مقادیر سالانه a_0 لگاریتم گرفته که عدد به عنوان yiبدست خواهد آمد. (yi .Ln(a0(i))) =سپس میانگین حسابی و انحرافی استاندارد این اعداد را محاسبه و به‌ترتیب $\bar{\sigma}_{y^k}$ و $\bar{y}_k$ می‌نامیم. نهایتاً شاخص استاندارد شده RDIدر هرسال به کمک فرمول زیر محاسبه میگردد (مبین و رحیمیان، ۱۳۸۷).

$$RDI_k^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\bar{\sigma}_{yk}} \qquad (۳)$$

جدول (۱): نام‌های ایستگاه‌های هیدرومتئورولوژیکی مورد مطالعه در این پژوهش

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	طول دوره آماری
تیر پل	۶۱/۲۵۸۳۴۱۶۶۷	۳۴/۶۰۵۰۹۴۴۴	۷۴۶	۱۹۷۹-۲۰۲۰
پل هاشمی	۶۱/۶۵۵۵۵۶ ۹۳	۳۴/ ۳۴۰۷۰۲۷۸	۸۶۵	۱۹۷۹-۲۰۲۰
خوش رباط	۶۲/۰۹۴۵۲۲۲۲	۳۴/ ۶۴۴۲۷۲۲۲	۱۳۰۳	۱۹۷۹-۲۰۲۰
نزدیک هرات	۶۲/۴۴۸۶۰۵۵۶	۳۴/۴۲۱۲۴۶۷۱۷	۱۱۴۰	۱۹۷۹-۲۰۲۰
رباط آخند	۶۲/۹۴۴۲۲۷۷۸	۳۴/۲۵۹۵۳۳۳۳	۱۱۸۳	۱۹۷۹-۲۰۲۰

شکل (۱): موقعیت پایین دست زیرحوضه آبریز هریرود و ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان هرات افغانستان

تفسیر مقادیر بدست آمده از این روش بر اساس جدول شماره (۲) خواهد بود.

وتعریف کلاس SPI و RDIجدول (۲): طبقه بندی شاخص های های خشکسالی متناظر با آن

مقدار شاخص RDI وSPI	طبقه‌بندی خشکسالی
۲ وبیشتر از آن	به شدت مرطوب
۱/۵ تا ۱/۴۹	خیلی مرطوب
۱/۰۰ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
۰/۹۹- تا ۰/۹۹	متوسط (نرمال)
۱-/۰۰ تا۱/ ۴۹-	نسبتاً خشک
۱/۵۰- تا ۱/۹۹-	خیلی خشک
۲/۰۰- و کمتر از آن	به شدت خشک

شاخص خشکسالی جریان رودخانه (SDI)

به لحاظ محاسباتی مانند SPI می‌باشد ولی از نظر مقیاس زمانی بطور ماهانه و فصلی توصیه می‌گردد. شاخص SDI بر اساس جریان ماهانه استاندارد می‌باشد و اولین بار توسط نالبانتیس (Nalbantis , 2008) پیشنهاد شده است. طبقه بندی خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص SDI در جدول ۴ آمده است.

$$SDI_{ik} = \frac{V_{ik} - V_k}{V_k} \quad i = 1, 2, \ldots.. \quad k = 1,2,3,4, \quad (۴)$$

در این روش فرض بر این است که سری‌های زمانی، حجم جریان رودخانه‌ای ماهانه بصورت Q_{ij} موجود است که درآن i سال هیدرولوژیکی و j ماه مربوط به سال هیدرولوژیکی است. V_k و S_K به‌ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف

حجم جریانات تجمعی برای دوره مبنای k است. حجم تجمعی جریانات رودخانه‌ای (V_{ik}) برای دوره مبنای(k) می‌باشد (جهانگیر و همکاران، ۱۳۹۸).

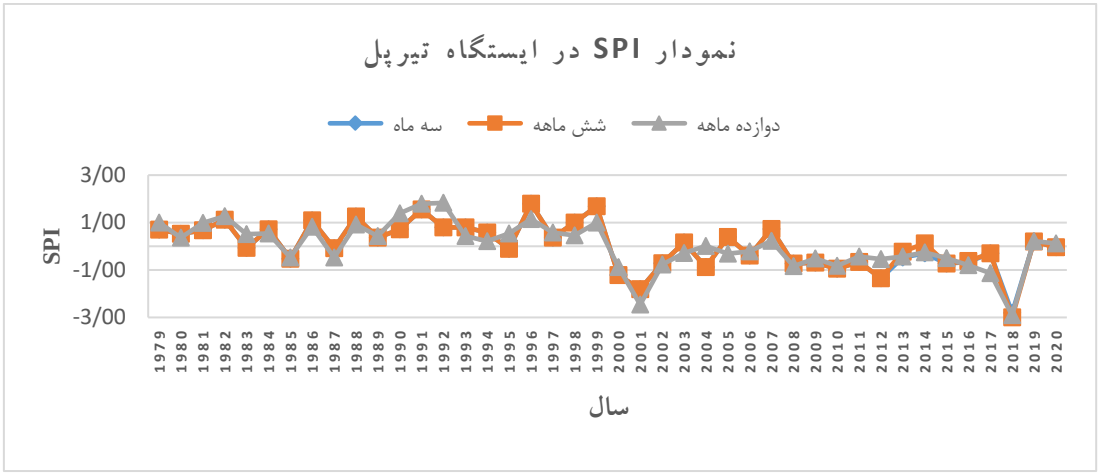
جدول (۳): طبقه بندی خشکسالی هیدرولوژیکی

وضعیت	شرح	معیار
۰	فاقد خشکسالی	۰ ≤ SDI
۱	خشکسالی ملایم	-۱ ≤SDI<۰
۲	خشکسالی متوسط	-۱/۵ ≤ SDI<-۱
۳	خشکسالی شدید	-۲ ≤ SDI< - ۱/۵
۴	خشکسالی بسیار شدید	SDI< - ۲

جدول ۳ نشان دهنده خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SDI می‌باشد.

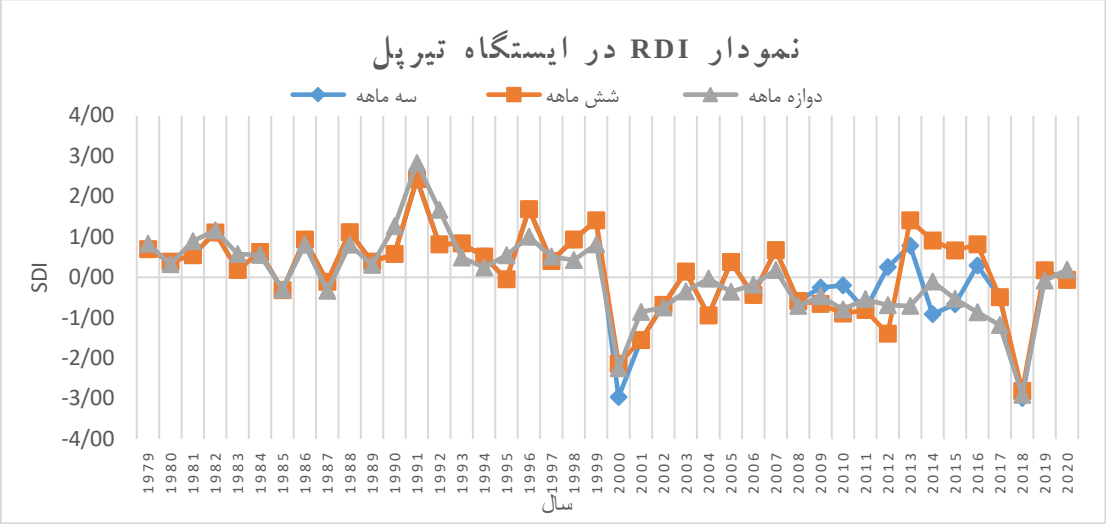
نتایج

در این پژوهش بخاطر اینکه برای خواننده گیج کننده نباشد، صرفا نمودارهای ایستگاه تیرپل گذاشته خواهد شد. با توجه به روش تحقیق مورد استفاده، مشخص شده است که شاخص SPI و شاخص RDI در دوره آماری ۴۲ ساله مورد مطالعه مشابه بوده است، اما شاخص SDI با وجودی که آمار دبی رودخانه بسیار کمی داشت، یعنی ۱۳ ساله آمارکه از سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۲۰ می‌باشد. نتیجه مطلوب از خود نشان داده است. در شکل‌های ۲، ۳ و۴ به وضوح این نتایج کاربردی دیده می‌شود. شکل ۲ میانگین فراوانی طبقات خشکسالی و ترسالی به وقوع پیوسته در منطقه مطالعاتی را در طی دوره آماری ۴۲ ساله با استفاده از شاخص SPI نشان می‌دهد.



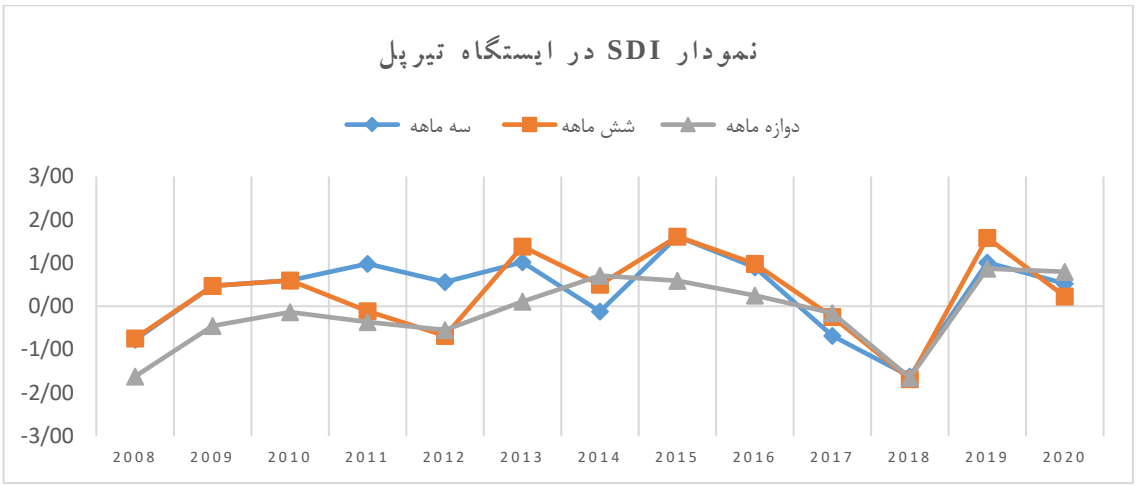
شکل (۲): تغییرات SPI با توجه به دوره مبنا در سال‌های مورد مطالعه

همچنین شکل ۳ میانگین فراوانی طبقات خشکسالی و ترسالی واقع شده در منطقه مورد مطالعه را در دوره آماری مطالعه شده را با استفاده از شاخص RDI نشان می‌دهد.



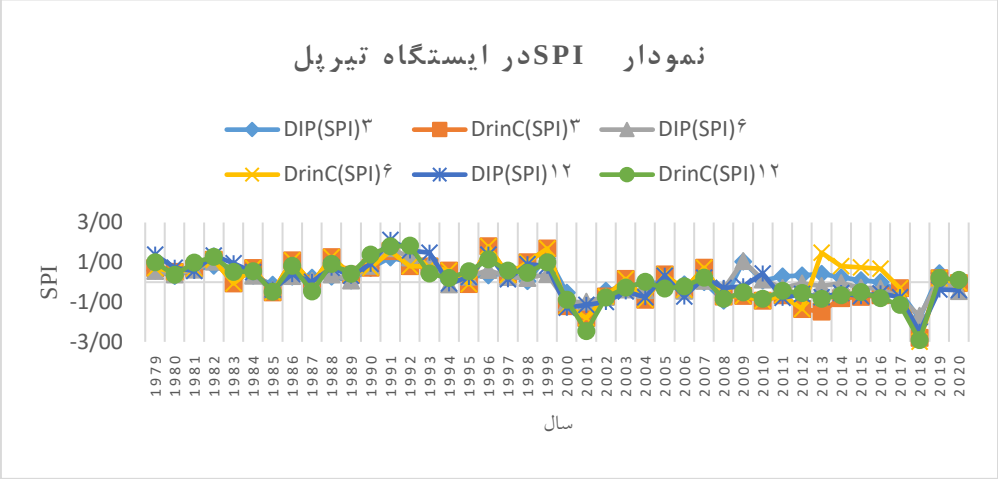
شکل (۳): تغییرات RDI با توجه به دوره مبنا در سال‌های مورد مطالعه

شکل ۴ میانگین فراوانی خشکسالی و ترسالی به وقوع پیوسته در منطقه مطالعاتی را طی دوره آماری مورد مطالعه با استفاده از شاخص SDI را نشان می‌دهد.



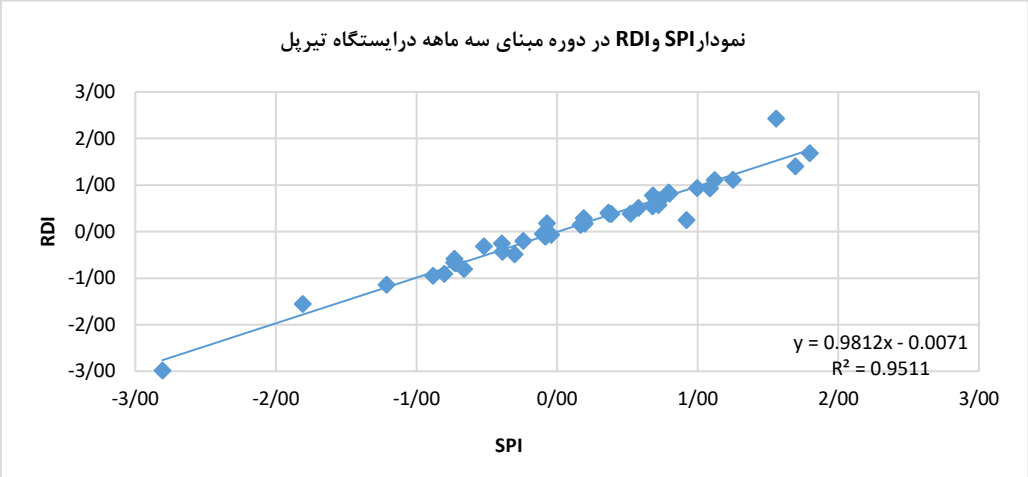
شکل (۴): تغییرات SDI با توجه به دوره مبنا در سال‌های مورد مطالعه

با توجه به شکل ۳، ۲ و۴ بیش‌ترین مقدار شاخص SPI و SDI که خشکسالی شدید را نشان می‌دهد، در سال آبی ۲۰۱۸ و بیش‌ترین مقدار شاخص RDI که خشکسالی بیش‌تر را نشان می‌دهد در سال آبی ۲۰۰۰ واقع گردیده است. به وضوح بیش‌تر در این تحقیق شاخص SPI در دو نرم افزار DIP و DrinC کار گردیده است که تا مشخص شود که این شاخص دارای چه حدی کارایی است و در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل ۵ میانگین فراوانی طبقات خشکسالی و ترسالی رخ داده در منطقه مورد مطالعه در طی دوره آماری ۴۲ ساله شاخص SPI را با استفاده نرم افزار DrinC و DIP نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵ دیده می‌شود که تقریباً هر دو نرم افزار کار کرد مشابه داشته و نتیجه شان تا حدی با هم مشابه می‌باشد.

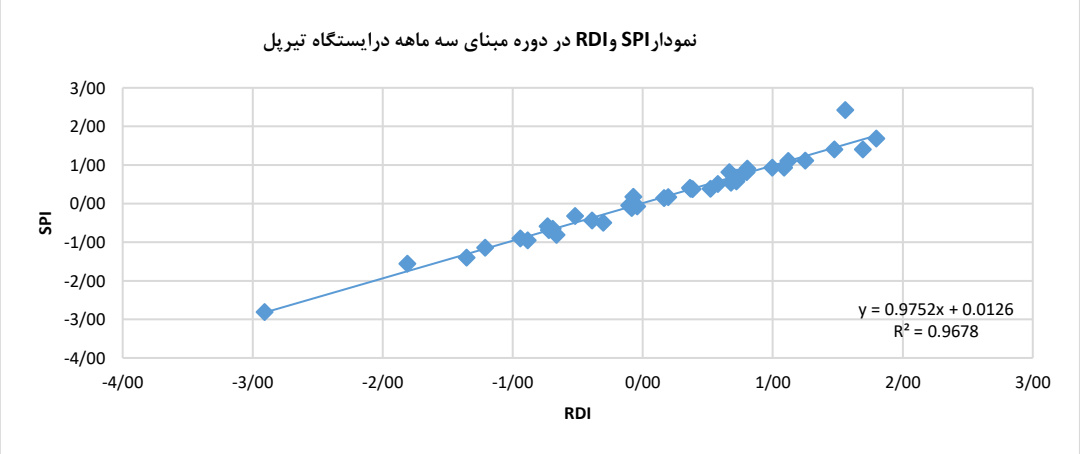


شکل (۵): تغییرات SPI با توجه به دوره مبنا درسال های مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار های DIP و DrinC

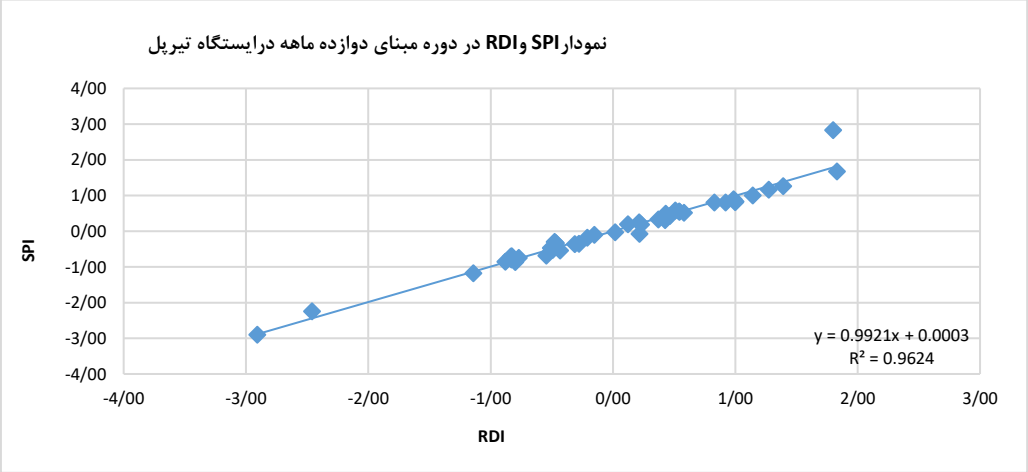
نتایج ارزیابی ضریب همبستگی این تحلیل در نمودارهای زیر نشان داده خواهد شد. شکل ۶، ۷، ۸ ضریب همبستگی بین شاخص SPI وRDI درسه دوره ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ ماهه طی دوره ۴۲ ساله آماری نشان می‌دهد. از نمودارهای زیر چنین نتیجه بدست می‌آید که هم‌خوانی این دو شاخص بسیار زیاد است.



شکل (۶): همبستگی بین SPI و RDI در دوره مبنای سه ماهه

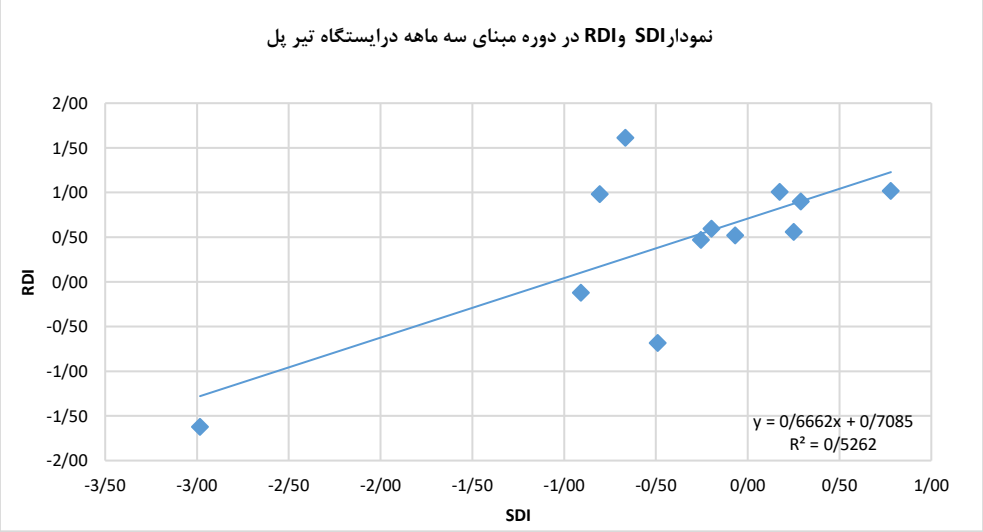


شکل (۷): همبستگی بین SPI و RDI در دوره مبنای شش ماهه

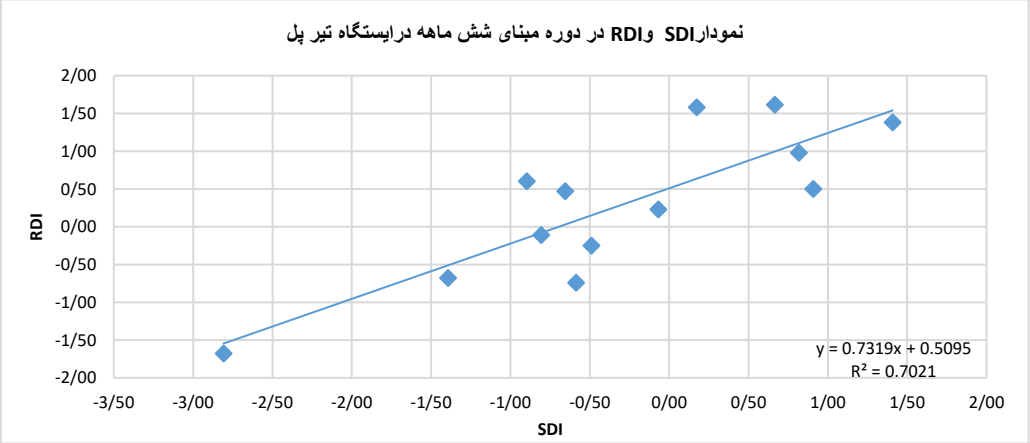


شکل (۸): همبستگی بین SPI و RDI در دوره مبنای شش ماهه

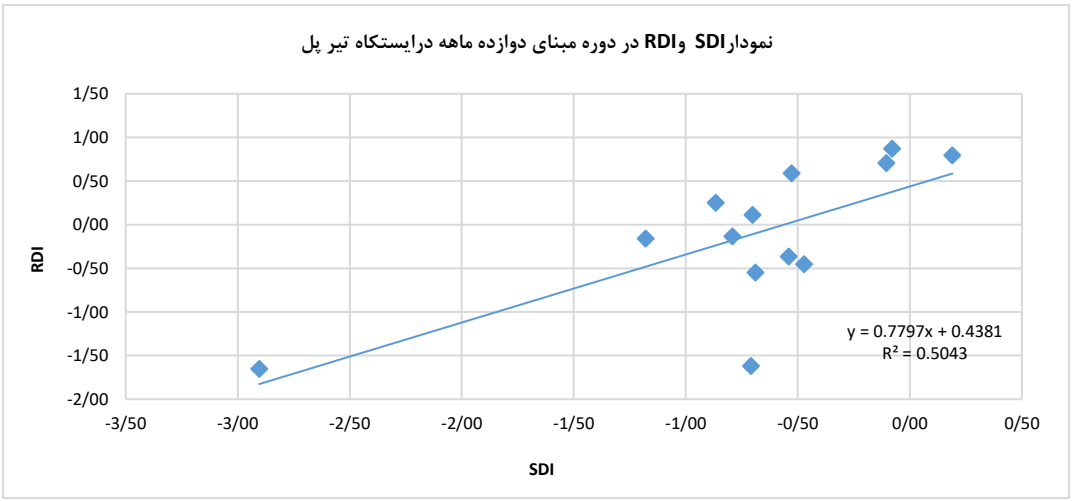
شکل ۹، ۱۰و ۱۱ ضریب همبستگی بین شاخص SDI و RDI در سه دوره ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ ماهه طی دوره ۱۳ ساله آماری نشان می‌دهد. از نمودارهای زیر چنین نتیجه بدست می‌آید که هم‌خوانی این دو شاخص بنا بر دلیل کم بودن آمار دبی رودخانه مورد مطالعه نسبت به نمودارهای شاخص SPI و RDI بسیار کمتر به نظر می‌رسد در این نمودارها دیده می‌شود که R^2 شش ماهه نسبت به سه ماهه و دوازده ماهه خوب‌تر است.



شکل (۹): همبستگی بین SDI و RDI در دوره مبنای سه ماهه

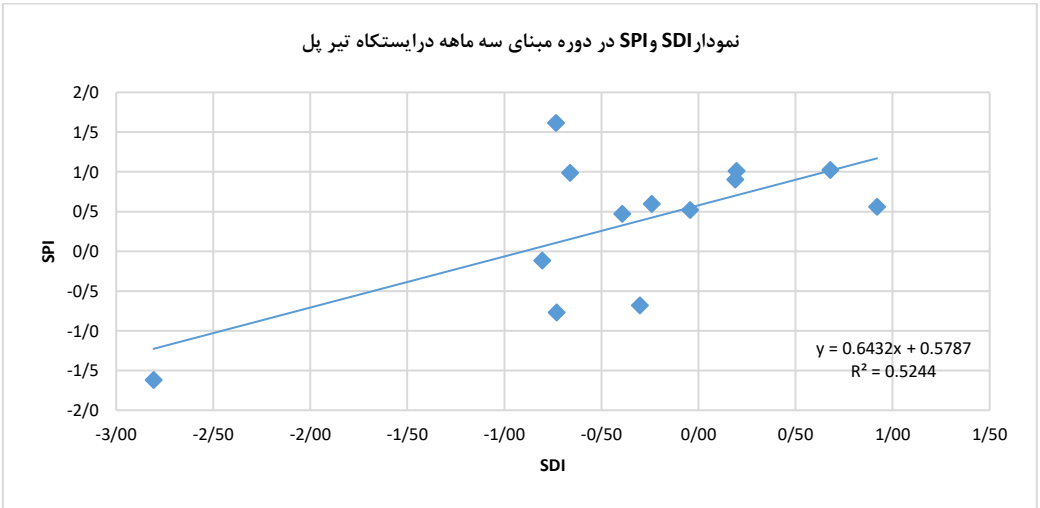


شکل (۱۰): همبستگی بین SDI و RDI در دوره مبنای شش ماهه

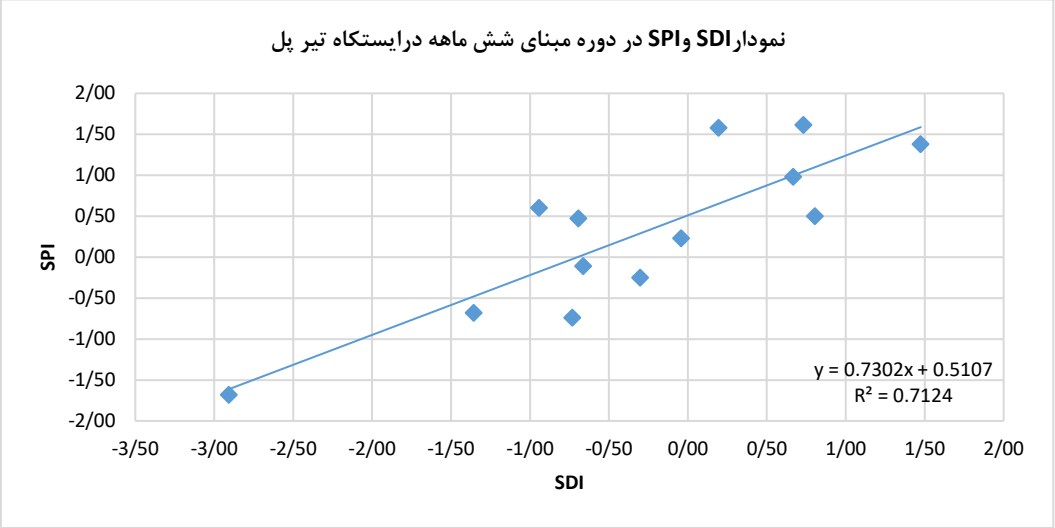


شکل (۱۱): همبستگی بین SDI و RDI در دوره مبنای دوازده ماهه

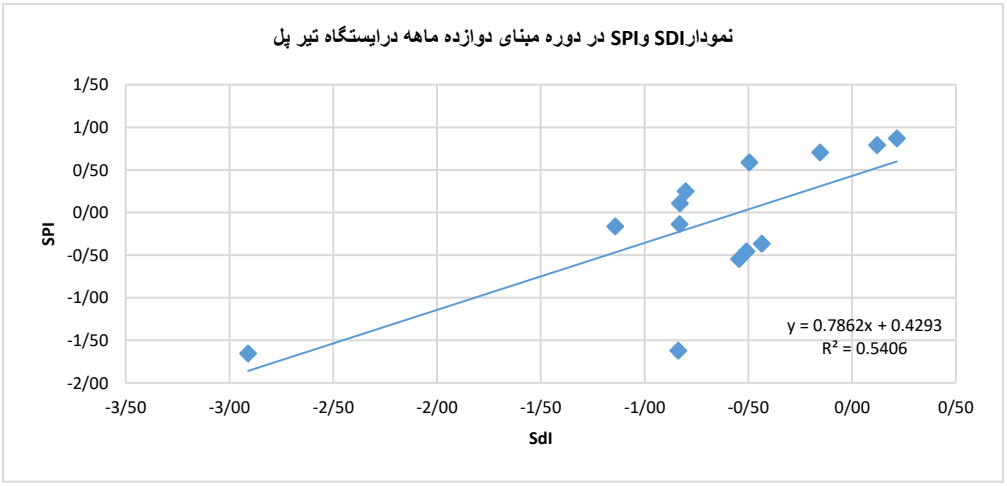
شکل ۱۲، ۱۳و ۱۴ ضریب همبستگی بین شاخص SDI و SPI در سه دوره ۳ ماهه، ۶ ماهه و۱۲ ماهه طی دوره آماری ۱۳ ساله هم مانند نتیجه شاخص‌های SDI وRDI می‌باشد.



شکل (۱۲): همبستگی بین SDI و SPI در دوره مبنای سه ماهه

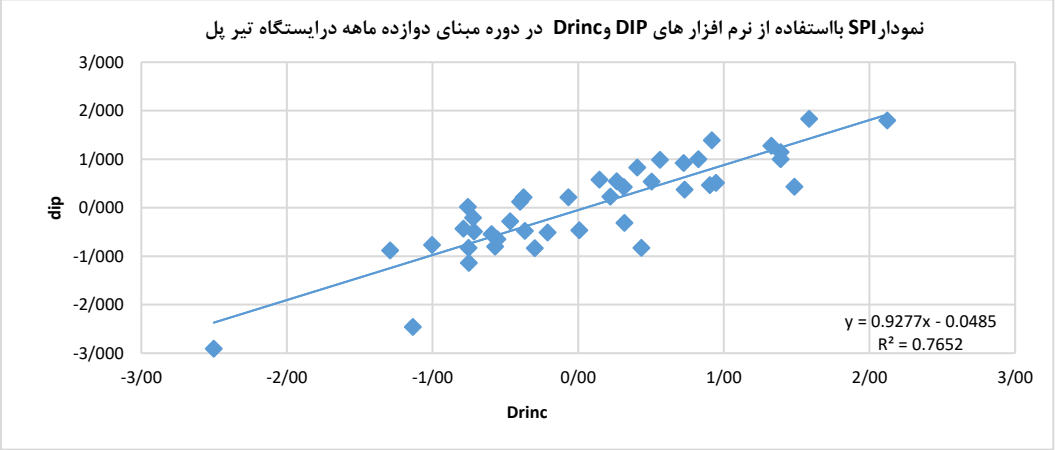


شکل (۱۳): همبستگی بین SDI و SPI در دوره مبنای شش ماهه



شکل (۱۴): همبستگی بین SDI و SPI در دوره مبنای دوازده ماهه

شکل ۱۵ ضریب همبستگی بین دو نرم فزار DrinC وDIP که شاخصSPI توسط آن دو تجزیه و تحلیل گردیده است، نشان می‌دهد که نتیجه این دو نرم فزار تقریباً مشابه و قابل‌قبول می‌باشد.



شکل (۱۵): همبستگی بین SPI،DrinC و SPI،DIP در دوره مبنای دوازده ماهه

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق فعلی از سه شاخص SPI، RDI و SDIبه‌منظور ارزیابی وضعیت خشکسالی در پایین دست زیر حوضه هریرود با استفاده از ارقام مورد نیاز ۴۲ ساله که از ایستگاه‌های آب و هوا شناسی نصب شده در این حوضه و آمار ارقام ماهواره‌ای بدست آمده، انجام پذیرفته است که نظر به نتایج حاصله از این پژوهش چنین بر می‌آید که در دوره ۴۲ ساله شاخص‌های ذکرشده وضعیت خشکسالی حوضه مذکور را متفاوت ارزیابی نموده است. نظر به نتایج بدست آمده از محاسبات در دوره ۴۲ ساله آمار مورد مطالعه تنها سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و همچنین سال ۲۰۱۸ وضعیت خشکسالی را نسبتاً شدید نشان داده است و بقیه سال‌ها خشکسالی چندان شدید نبوده و تقریباً در حد ضعیف مشاهده گردیده است. نهایتاً از نتایج چنین استنباط می‌گردد که وضعیت خشکسالی در پایین‌دست زیر حوضه هریرود بیش‌تر درسال‌های مورد مطالعه در حد نرمال بوده است. در مجموع نتایج سه شاخص فوق الذکر در تعیین شدت خشکسالی یا ترسالی در روش‌های اجرا شده در حوضه مورد مطالعه تقریباً مشابه بوده است. نظر به نتایج پژوهش حاضر، کارکرد دو شاخص SPI و RDI باهم کاملاً مشابه بوده و کارکرد شاخص سومی یعنی SDI باوجود ناکافی بودن آمار که طی سال‌های ۲۰۰۸ الی ۲۰۲۰ دارای ارقام می‌باشد باز هم نتایج بهتری را نمایان‌گر است.

تشکر وقدردانی

جا دارد تا تشکری خاص داشته باشم از همکاری ارزشمند تمام پرسنل زحمت کش و پر تلاش دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات و همچنین مسئولین محترم اداره ملی تنظیم امور آب افغانستان بالاخص ریاست عمومی منابع آب به‌ترتیب بخاطر در اختیار قرار دادن بانک اطلاعات مقالات داخلی و بین المللی کتابخانه دیجیتال واحد علوم و تحقیقات و اطلاعات مربوط به دبی رودخانه و آمار بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه که انجام این پژوهش کاربردی را امکان‌پذیر کردند.

منابع

اقتداری‌نژاد، م.، بزرتفشان، ا. و صادقی لاری، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی تطبیقی شاخص‌های RDI، SPI و SDI در تحلیل مشخصه‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی. نشریه دانش آب و خاک، ۲۶(۴/۲): ۶۹-۸۱.

بداق جمالی، ج.، صمدی نقاب، س.، آسیایی، م. و جوانمرد، س. ۱۳۸۴. مدیریت ریسک خشکسالی(شناخت وراهکارها)، چاپ اول انتشارات سخن گستر مشهد، ۳۱۲ صفحه.

پور محمدی، س.، مبین، م،ح و رحیمیان، م،ح. ۱۳۹۷. بررسی خشکسالی و پارامترهای اقلیمی مؤثر برآن با استفاده از شاخص RDI در منطقه زابل. اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، ۲۰-۲۲.

جعفر، م.، ویسی، ع، ک.، نورایی، ا. و نادر، س. ۱۳۹۴. ارزیابی تاثیر خشکسالی برتالاب هشیلان.فصلنامه علمی وپژوهشی اکو بیولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال هفتم شماره ۲۵پاییز ۱۳۹۴ صفحات ۸۱-۹۲.

جهانگیر، م،ح.، بابائی، س، و نوروزی، ا. ۱۳۹۸. ارزیابی وضعیت خشکسالی استان کرمانشاه با استفاده از شاخص خشکسالی جریان رودخانه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۱۳، ۱۹۰-۲۰۲.

زارعی، م. و سلیمانی ساردو، م. ۱۳۹۷. ارزیابی شاخص‌های هواشناسی و روش‌های درون‌یابی به‌منظور پایش و پهنه‌بندی خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک. مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان سال هفتم، شماره بیست ویکم، صفحه ۵۹ـ۷۴.

سامتی، م.، ثنای نژاد، س،ح.، ریواز، ف. و قرمان، ب. ۱۳۹۸. بکارگیری زمین آمار مکانی- زمانی در پایش خشکسالی‌های شمال شرق ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۳، شماره۵، صفحه ۷۷۹-۷۹۳.

فرمان‌آرا، س،م.، بختیاری، ب. و سیاری، ن. ۱۳۹۹. تحلیل مشخصه‌های خشکسالی هواشناسی تحت تأثیر تغییر اقلیم با رویکرد کاپولا در استان فارس. نشریه آب وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۴، شماره ۵، صفحه ۱۱۵۷-۱۱۷۳.

مرتضایی فریز هندی، ق. و میر اکبری، م. ۱۳۹۷. پایش خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SDI و GRI در حوضه آبخیز رودخانه اعظم هرات استان یزد. مجله منابع طبعی ایران، دوره ۷۱، شماره ۶۳.

مساعدی، ا،ا.، خلیل زاده، م. و محمدی، ا. ۱۳۸۷. پایش خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره دوم.

منتصیری، م.، امیر عطائی، ب. و رضائی، ح. ۱۳۹۶. تحلیل منطقه‌ای و استخراج منحنی بزرگی- مساحت- فراوانی خشکسالی با استفاده از توابع مفصل در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۱، شماره ۴، ص ۱۲۶۰-۱۲۷۷.

یوسفی، م.، مساعدی، ا،ا.، انصاری، ح. و صمدی، س،ز. ۱۳۹۵. ارزیابی همبستگی شاخص‌های SPI،RDI و SPEI با پارامترهای بارش و تبخیر و تعرق در چند منطقه آب و هوایی ایران. دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲-۴.

فلاح ذوله، س.، ایلدرمی، ع، ض.، و نوری، ح.، ۱۳۹۹. پیش بینی اثر تغییر اقلیم برخشکسالی های (SPI) و (SDI)حوضه آبخیز ملایر با استفاده از سری زمانی ARIMA. نشریه علمی جغرافیا وبرنامه ریزی.سال ۲۵،شماره۷۷،فصلپاییز،سال۱۴۰۰، صفحات۲۰۵-۲۰۱۸

Shaha, R., Bharadiyab, N. and Manekarc, V. 2015. Drought Index Computation Using Standardized Precipitation Index (SPI) Method for Surat District. Gujarat, Aquatic Procedia, 4: 1243 – 1249.

Samir, Al-Gamal. 2021. Climate Change and Integrated Water Resources Management to Prevent Water Disputes in Africa. Water Productivity Journal (WPJ), 1(2): 52 – 70.

Tabari, H., Nikbakht, J. and Talaee, H. 2013. Hydrological Drought Assessment in Northwestern Iran Based on Stream flow drought Index (SDI). Water Resource Management, 27: 137- 151.

Tigkasa, D., Vangelisa. H. and Tsakirisa, G. 2016. Introducing a modified Reconnaissance Drought Index (RDI) incorporating effective precipitation. Procedia Engineering, 162: 332 – 339.