

## Research Paper

# Evaluation Impact of Meteorological Drought on Haraz Groundwater Level in Mazandaran province

Arash Aghchekandi<sup>1</sup> Karim Solaimani<sup>2</sup> Mahmoud Habibnezhad Roshan<sup>2</sup> Kaka Shahedi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> M.SC Graduated Student, Department of Watershed Management, Natural Resources Faculty, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

<sup>2</sup> Department of Watershed Management, Natural Resources Faculty, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

[10.22125/IWE.2023.153602.1003](https://doi.org/10.22125/IWE.2023.153602.1003)

Received:

**June 24, 2022**

Accepted:

**October 30, 2022**

Available online:

**October 3, 2023****Keywords:****Meteorological drought, Groundwater level, Standardized Precipitation Index, Haraz watershed**

## Abstract

Drought as a climatic event can cause a challenge with water resources, and its results is not limited to arid and semi-arid areas, and can be seen in any region and in any season. In this research the Standard Precipitation Index (SPI) was applied to investigate the meteorological drought based on data of 15 stations in time scales of 3, 6, 12, 18 and 24 months. In order to evaluate the changes in the groundwater level, water levels of 35 piezometric wells with a common statistical period of 29 years (1985-2013) were used. The results showed that all stations have experienced drought in some way. Most of the droughts are close to normal and moderate, and severe and very severe droughts have occurred far less in the region. In this research, it was found that drought has an effect on groundwater resources with a delay of 3 months. In this research, the highest correlation between the SPI and the average level of groundwater in a 24-month time scale in Nemarstaq, Mian-Dasht and Babolsar stations is at the 95% level and in other stations at the level 99% is significant. The regression relationship between SPI24 stations and the average groundwater level showed that among the stations in the study area, Sorkhrood station had the largest share of precipitation with a determination coefficient of 42.3% of the variance of the average water level in the area and 57.7% is affected by other factors.

## 1. Introduction

Drought is a situation of lack of precipitation and increase in temperature that can occur in any climate and has different types including agricultural drought, hydrological drought and meteorological drought. Since human activities and ecosystem health depend on adequate and reliable water resources, drought is a serious threat to the environment and society (Bari et al., 2011). Han et al. (2021) addressed the impact of meteorological drought on groundwater resources. They used the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Groundwater Storage Anomalies Drought Severity Index (GWSA-DSI) to describe meteorological and groundwater droughts in the Xijiang River Basin (XRB), China. Their results showed that GWSA-DSI can reliably detect groundwater drought events and the propagation time from meteorological drought to groundwater dryness ranges from 8 to 42 months.

## 2. Materials and Methods

The Haraz watershed is located in the north of Iran. The area of this watershed is 328527.2 ha. In this research, the monthly rainfall data of 15 stations were used. First, the monthly rainfall data was examined and tested for homogeneity using the Run test method. Then, the statistical imperfections of the data were reconstructed using the method of differences and ratios. In the next step, the monthly rainfall values of each station were calculated for each of the desired time scales and the cumulative rainfall values in each time series were fitted to the gamma distribution. Finally, this distribution was transformed into a normal distribution (McKay et al., 1993). In order to determine the impact of droughts on groundwater resources in this region, the water level data of 35 piezometric wells with a common statistical period of 29 years from 1985-2013 were used.

## 3. Results

Islamian et al. (2009) point out that regarding the results obtained from the correlation coefficients between the standardized precipitation index and the average groundwater level, as the time scale of the standardized precipitation index in the region increases, its correlation with the average groundwater level increases. In this research, the highest correlation between the standardized precipitation index and the average underground water level in a 24-month time scale in Nemarstaq, Mian-dasht and Babolsar stations is at 95% and in other ones at 99% is significant.

## 4. Discussion and Conclusion

The degree of vulnerability of each station to the frequency of droughts was investigated separately for the stations, and the relative frequency and frequency of drought events in each of the stations was obtained. Most of the droughts are close to normal and moderate, and severe and very severe droughts have occurred far less in the region, which is consistent with the results of (Yanjan, 2012).

## 5. Six important references

- 1) Alizadeh, A., 2008, Principles of Applied Hydrology, Astan Ghods Publication, Mashhad, Iran.
- 2) Barrie R., Elaine E., Asten C., Chipanshilin C. and Sachyan D. 2011. Drought Research in Canada. A Review. Atmosoher Ocean, 49(4): 303-309
- 3) Han, Z., Huang, S., Huang, Q., Leng, G., Liu, Y., Bai, Q., ... & Shi, W. 2021. GRACE-based high-resolution propagation threshold from meteorological to groundwater drought. Agricultural and Forest Meteorology, 307, 108476.
- 4) Karami, F., 2011, relationship between meteorological drought with water table drawdown in Tabriz plain, Geography and Development, 16: 111-131.
- 5) Makee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. 1993. The Relationship of Drought frequency and duration to time scales. In 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, 17- 22 January, Anaheim, CA, 179- 184 pp
- 6) Yanjan L., Xiaodong Z., Fan L. and Jian M. 2012. Analysis of Drought Evolvment Characteristics Based on Standard Precipitation Index in the Huaihe River basin. Procardia Engineering, 28: 434- 437.

## Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

## Acknowledgments

We are grateful ....

## ارزیابی اثرات خشکسالی هواشناسی بر تراز آب زیرزمینی حوزه آبخیز هراز در استان مازندران

آرش آغچه‌کندی<sup>۱</sup>، کریم سلیمانی<sup>۲</sup>، محمود حبیب نژاد روشن<sup>۳</sup>، کاکا شاهی<sup>۴</sup>

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۴/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸

مقاله پژوهشی

### چکیده

خشکسالی به عنوان یک رویداد اقلیمی می‌تواند با کمبود منابع آبی باعث بروز چالش در کشورها گردد و اثرات آن صرفاً به نواحی خشک و نیمه‌خشک محدود نمی‌شود و می‌تواند در نواحی با بارش بالا و در هر فصلی از سال رخ دهد. در این تحقیق جهت بررسی خشکسالی هواشناسی از شاخص بارش استاندارد (SPI) بر اساس داده‌های ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی در ۶ مقیاس زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه و به منظور بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی بر اساس داده‌های سطح ایستابی ۳۵ چاه پیزومتریک با طول دوره آماری مشترک ۲۹ ساله (۱۳۹۲-۱۳۶۴) استفاده شد. همه ایستگاه‌های باران‌سنجی به نوعی پدیده خشکسالی را تجربه کرده‌اند. عمده خشکسالی‌ها از نوع نزدیک به نرمال و متوسط بوده و خشکسالی شدید و خیلی شدید به مراتب کمتر در منطقه رخ داده است. در این پژوهش مشخص شد که خشکسالی با یک تأخیر ۳ ماهه بر منابع آب زیرزمینی اثر دارد. در این تحقیق بیشترین همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده و متوسط تراز آب زیرزمینی در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های باران‌سنجی نمارستاق، میان‌دشت و بابلسر در سطح ۹۵ درصد و در سایر ایستگاه‌های باران‌سنجی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. رابطه رگرسیونی بین SPI<sub>24</sub> ایستگاه‌های باران‌سنجی و متوسط تراز آب زیرزمینی نشان داد که از بین ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه، ایستگاه سرخورد بیشترین سهم بارش را با ضریب تبیین ۴۲/۳ درصد از واریانس متوسط سطح ایستابی منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده و ۵۷/۷ درصد متأثر از سایر عوامل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، تراز آب زیرزمینی، شاخص بارش استاندارد شده، سطح ایستابی، حوزه-آبخیز هراز

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری، استان گیلان، بندر کیشهر، خیابان فلسطین شمالی، ۰۹۱۱۳۴۴۹۷۴۲، Arashkenedi@yahoo.com

<sup>۲</sup> استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، k.solaimani@sanru.ac.ir نویسنده مسئول

<sup>۳</sup> استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، ۰۹۱۱۱۵۲۲۱۰۲، m.habibnejad@sanru.ac

<sup>۴</sup> استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران



## مقدمه

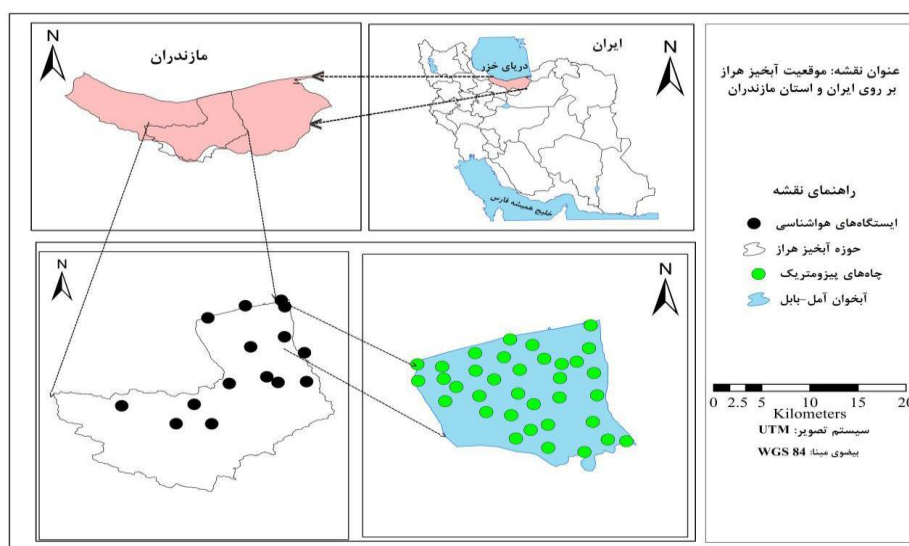
خشکسالی وضعیتی از کمبود بارش است که در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد و انواع مختلف دارد (فوجوس و همکاران، ۲۰۱۴)، خشکسالی کشاورزی، خشکسالی هیدرولوژیکی و خشکسالی هواشناسی که در خشکسالی هواشناسی به دبی رودها توجه داریم (علیزاده، ۱۳۸۷). خشکسالی خطرات عمده‌ی زیست محیطی مثل کاهش کیفیت آب، کاهش تالاب‌ها، فرسایش خاک و تخریب زیستگاه‌ها را به همراه دارد به علاوه در پاسخ به اهمیت اقتصادی و زیست محیطی خشکسالی نگرانی علمی درباره‌ی اثرات تغییر اقلیم در فراوانی خشکسالی، مدت و شدت آن در مناطق مختلف جهان است (باس و همکاران، ۲۰۱۵). از آنجا که فعالیت‌های انسانی و سلامت اکوسیستم وابسته به منابع آب مناسب و قابل اعتماد است بنابراین خشکسالی یک تهدید جدی برای جامع و محیط زیست است (سوتانتو و همکاران، ۲۰۲۰؛ باری و همکاران، ۲۰۱۱). به طور کلی کمبود منابع آب یک تهدید بزرگی برای اقتصاد و سطح زندگی مردم محسوب شده و افزایش تقاضا روی منابع آب قابل دسترس، موجب تشدید رقابت بهره‌برداران برای استفاده از منابع آبی شده، که این امر باعث گسترش خشکسالی در حد شدید و خیلی شدید می‌شود (هیسدال و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین شناخت خشکسالی به عنوان یک مخاطره طبیعی و ارزیابی اثرات آن بر منابع، به ویژه منابع آب ضروری است. لذا امروزه پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد اثرات خشکسالی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی انجام شده است تا شناخت اصولی‌تر و مدیریتی جامع‌تر از منابع آب حاصل گردد. احمدی آخورمه و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی با عنوان بررسی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI در آبخوان مرودشت استان فارس پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که هر دو شاخص SWI و GRI خشکسالی آب زیرزمینی را از سال ۱۳۸۶ نشان دادند و با افزایش مقیاس زمانی، تداوم، شدت و فراوانی آن‌ها نیز افزایش پیدا کرد. چوبین و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی با عنوان تأخیر زمانی و تأثیر خشکسالی هواشناسی بر سطح آب زیرزمینی دشت آسپاس استان فارس با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI پرداختند. نتایج

کار آن‌ها نشان داد که خشکسالی کوتاه مدت همراه با تأخیر و خشکسالی بلند مدت به طور همزمان بر منابع آب زیرزمینی اثرگذار است و بیشترین ارتباط بین آب زیرزمینی و SPI24 وجود دارد. چمن‌پیرا (۱۴۰۱) به بررسی ارتباط بین وقوع و تأخیر زمانی خشکسالی‌های هواشناسی و ژئوهیدرولوژیکی آبخوان کوهدشت در استان لرستان پرداخت. به منظور تعیین وضعیت رطوبتی سالانه منطقه، ابتدا با استفاده از آمار سال‌های ۱۳۶۷-۱۳۹۹ شاخص‌های بارندگی (SPI) و آب زیرزمینی (GRI) محاسبه گردید. پس از محاسبه شاخص‌های SPI و GRI ضرایب همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی سالانه، فصلی، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI در ماه متناظر، محاسبه شد. برای تعیین طولانی‌ترین دوره خشکسالی از معیار مجموع بزرگی خشکسالی (DM)، استفاده گردید؛ همبستگی بین شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف با اعمال و بدون اعمال تأخیر زمانی، با میانگین تراز سطح سفره آب زیرزمینی و شاخص GRI مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد، با افزایش مقیاس زمانی، ضریب همبستگی SPI، با میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی و شاخص GRI افزایش می‌یابد و خشکسالی‌های هواشناسی با تأخیر زمانی ۴۸ ماهه بر منابع آب زیرزمینی اثر می‌گذارند، که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. بطوری‌که ۱/۳۳ درصد از واریانس تراز متوسط سطح ایستابی آبخوان کوهدشت تحت تأثیر SPI48 و ۹/۶۶ درصد، متأثر از کشاورزی شرب و صنعت است. توماس و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی به بررسی شاخص‌های خشکسالی بر پایه ارزیابی جامع آسیب‌پذیری خشکسالی با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد، خشکسالی سطح آب و شاخص خشکسالی آب زیرزمینی در حوزه بیرما در بوندل‌خاند هند پرداختند. نتایج کار آنها نشان داد بیش از ۲۶ درصد حوزه وضع خیلی بحرانی و آسیب‌پذیری دارد که به اثرات منفی خشکسالی مربوط می‌شود و شاخص‌های به کار برده شده به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی بسیار موثر بود. هان و همکاران (۲۰۲۱) به تأثیر خشکسالی هواشناسی بر روی منابع آب زیرزمینی پرداختند. آنها از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص شدت خشکسالی ناهنجاری‌های ذخیره‌سازی

### مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز رودخانه هراز در شمال کشور و در ارتفاعات البرز قرار دارد. این حوزه از ۱۵ زیر حوزه اصلی و ۲۹ واحد هیدرولوژیکی تشکیل شده است. این حوزه از نظر مختصات جغرافیایی بین ۴۳° ۵۱' تا ۳۶° ۵۲' طول شرقی و ۴۵° ۳۵' تا ۲۲° ۳۶' عرض شمالی واقع شده است. وسعت حوزه آبخیز هراز بالغ بر ۳۲۸۵۲۷/۲ هکتار است. حوزه آبخیز هراز به دو قسمت جلگه‌ای و کوهستانی تقسیم می‌شود. از نظر اقلیمی این حوزه دارای بارندگی متوسط ۵۵۰ میلی متر و در دوره ۳۰ ساله بوه که در بخش کوهستانی آن بارش‌ها به صورت برف و در بخش دشتی به صورت باران است. از شهرهای مهم داخل این حوزه می‌توان آمل، محمودآباد و بابل را نام برد. همچنین از مهم‌ترین رودخانه‌های حوزه می‌توان به رودخانه‌های نور، آخن‌سر، شیرکلارود و نمارستاق اشاره کرد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز هراز به همراه ایستگاه‌ها و چاه‌های منتخب منطقه مطالعه را نشان می‌دهد.

آب‌های زیرزمینی (GWSA-DSI) برای توصیف خشک‌سالی‌های هواشناسی و آب‌های زیرزمینی در حوزه رودخانه Xijiang (XRB) چین استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که GWSA-DSI می‌تواند رویدادهای خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی را به طور قابل اعتماد شناسایی کند و زمان انتشار از خشک‌سالی هواشناسی به خشکی آب‌های زیرزمینی از ۸ تا ۴۲ ماه متغیر است. اگرچه XRB در یک منطقه مرطوب با بارش فراوان قرار دارد، احتمال وقوع خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی به ترتیب به ۴۳/۸، ۵۴/۸، ۶۱/۲ درصد و ۶۴/۲ درصد در شرایط خشک‌سالی سبک، متوسط، شدید و شدید هواشناسی رسید. آستانه انتشار که باعث خشک‌سالی سبک آب زیرزمینی می‌شود عمدتاً تحت تأثیر خشک‌سالی‌های هواشناسی متوسط و شدید است که روند افزایشی را از مرکز به جنوب شرقی XRB نشان می‌دهد. تبخیر خاک و ارتفاع حوزه از عوامل اصلی تأثیرگذار بر آستانه انتشار هستند. هدف از این پژوهش بررسی خشک‌سالی هواشناسی و اثر آن بر روی منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز هراز می‌باشد. در راستای هدف پژوهش، تغییرات بارندگی و سطح ایستابی چاه‌های پیژومتریک مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز هراز به همراه ایستگاه‌ها و چاه‌های منتخب



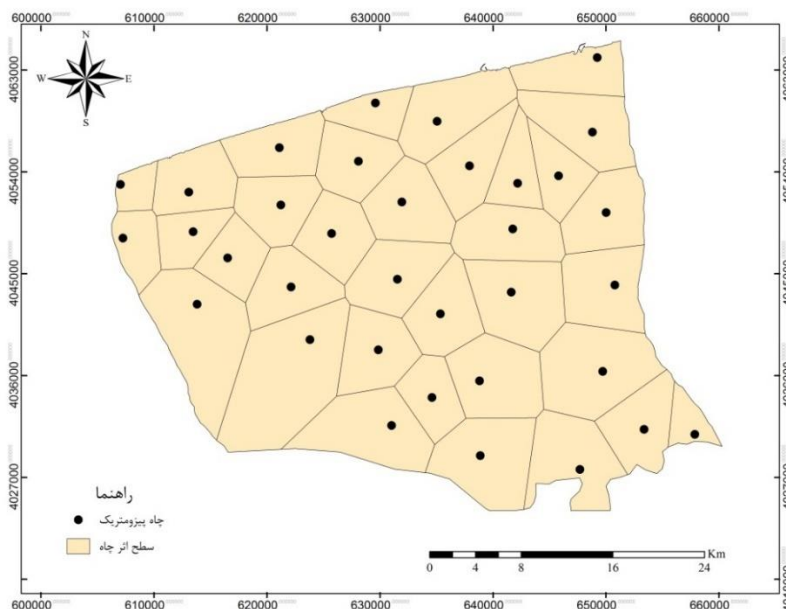
### داده‌ها و مشخصات ایستگاه‌ها

در این تحقیق از داده‌های ماهانه بارندگی ۱۵ ایستگاه باران سنجی با طول دوره آماری مشترک ۲۹ ساله از ۱۳۹۲-۱۳۶۴ استفاده گردید. ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب با در نظر گرفتن موارد مختلفی از قبیل داشتن آمار طولانی مدت بارندگی و نواقص آماری کم و پراکنش مناسب در سطح منطقه انتخاب شده‌اند. ابتدا داده‌های بارندگی ماهانه از نظر همگنی به وسیله روش ران‌تست<sup>۱</sup> مورد بررسی و آزمون قرار گرفت. سپس نواقص آماری داده‌ها با استفاده از روش تفاضل و نسبت‌ها بازسازی شدند. در مرحله بعد مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه برای هر یک از مقیاس‌های زمانی مورد نظر محاسبه و مقادیر بارندگی‌های تجمعی در هر سری زمانی به توزیع گاما برازش داده شد. در نهایت این توزیع به یک توزیع نرمال تبدیل گردید (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳). در این مطالعه جهت بررسی وضعیت رطوبتی و خشکسالی منطقه مورد مطالعه، شاخص بارندگی استاندارد در گام‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه با

استفاده از نرم‌افزار  $DIP^2$  محاسبه شد. سادگی محاسبات و در دسترس بودن اطلاعات و آمار مورد نیاز سبب شده تا در تحلیل خشکسالی این شاخص کمی، از مقبولیت جهانی زیادی برخوردار شود (سیف و همکاران، ۲۰۱۲). به‌منظور تأثیر خشکسالی‌ها بر کمیت منابع آب زیرزمینی این منطقه، از داده‌های سطح ایستابی ۳۵ چاه پیژومتریک با طول دوره آماری مشترک ۲۹ ساله از ۱۳۹۲-۱۳۶۴ استفاده شد. برای اینکه میانگین سطح ایستابی برای منطقه محاسبه شود، در نرم‌افزار Arc GIS سطح اثر چاه‌های پیژومتریک به روش تیسس تعیین شد و در مرحله بعد میانگین وزنی تراز سطح ایستابی در طول دوره آماری با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد. شکل (۲) موقعیت چاه‌های پیژومتریک و سطح اثر آن‌ها را نشان می‌دهد. همچنین جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

$$Wt_{Ave} = \frac{\sum A_i W_i}{\sum A} \quad (1)$$

که در آن  $A_i$  سطح اثر پیژومتر  $i$  ام و  $W_i$  تراز سطح ایستابی در پلی‌گون  $i$  ام می‌باشد.



شکل (۲) موقعیت چاه‌های پیژومتریک پایین دست حوزه آبخیز هراز و سطح اثر آن‌ها

جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی مورد مطالعه

نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	تاریخ تاسیس
بلده	۱۸۷۵	۵۱° ۴۷' ۵۲"	۳۶° ۱۱' ۳۳"	۱۳۶۴
بابل کشتارگاه	۰	۵۲° ۶۶' ۰۰"	۳۶° ۵۳' ۰۰"	۱۳۳۷
پنجاب	۹۲۰	۵۲° ۱۶' ۱۴"	۳۶° ۰۵' ۵۰"	۱۳۴۴
دیوا	۱۶۰	۵۲° ۳۳' ۵۴"	۳۶° ۱۹' ۰۲"	۱۳۴۹
رزن	۱۲۴۰	۵۲° ۱۰' ۴۹"	۳۶° ۱۱' ۴۷"	۱۳۴۸
سرخرود	-۲۰	۵۲° ۲۶' ۵۳"	۳۶° ۴۰' ۱۵"	۱۳۴۴
قرآن تالار	۱۰۲	۵۲° ۴۶' ۳۰"	۳۶° ۱۸' ۳۸"	۱۳۴۱
کره سنگ	۲۲۰	۵۲° ۲۱' ۵۹"	۳۶° ۱۷' ۶۰"	۱۳۳۷
گلوگاه بندی	۲۰۰	۵۲° ۳۷' ۲۷"	۳۶° ۱۸' ۰۷"	۱۳۵۳
محمودآباد	-۲۵	۵۲° ۱۵' ۳۱"	۳۶° ۳۷' ۵۷"	۱۳۴۴
میان دشت	-۱۸	۵۲° ۳۹' ۶۵"	۳۶° ۴۱' ۰۳"	۱۳۴۴
نمارستاق	۲۱۲۰	۵۲° ۰۵' ۰۰"	۳۶° ۰۶' ۰۰"	۱۳۴۸
آمل	۲۳	۵۲° ۲۱' ۸۰"	۳۶° ۲۷' ۷۷"	۱۳۶۳
قراخیل	۱۵	۵۲° ۴۶' ۵۰"	۳۶° ۲۷' ۶۸"	۱۳۶۳
بابلسر	-۲۱	۵۲° ۳۹' ۴۹"	۳۶° ۴۳' ۱۱"	۱۳۳۰

### شاخص بارش استاندارد<sup>۱</sup> (SPI)

این شاخص توسط مک کی و همکاران (۱۹۹۳) به منظور تعریف و پایش خشکسالی ارائه شد. ویژگی این شاخص این است که به کارشناس اجازه می‌دهد تا خشکسالی‌ها و ترسالی‌های نادر را در یک مقیاس زمانی معین برای هر نقطه از جهان که آمار بارندگی مناسبی داشته باشد، تعیین و بررسی کند. این شاخص فقط بر مبنای داده‌های بارش به کار می‌رود. نقطه قوت شاخص در اینجا است که می‌تواند برای مقیاس‌های زمانی متعدد، از یک ماه تا چندین ماه محاسبه شود. هر دوره زمانی را می‌توان برای آن در نظر گرفت، که اغلب بستگی به موارد مورد علاقه در بررسی وضعیت هیدرولوژیکی منطقه دارد. تغییرپذیری SPI به آن

اجازه می‌دهد که منابع آبی کوتاه مدت مثل رطوبت خاک (برای اهداف کشاورزی) و منابع آبی طولانی مدت مثل منابع آب زیرزمینی، جریان رودخانه‌ای، سطح دریاچه‌ها و منابع سطحی را به خوبی کنترل کند (مکی و همکاران، ۱۹۹۳). مقدار شاخص SPI برای دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۴ با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. همچنین جدول (۲) طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هواشناسی به روش شاخص SPI را نشان می‌دهد.

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{SD} \quad (2)$$

که در آن:  $X_i$  بارندگی در مقیاس زمانی،  $\bar{X}$  میانگین بارندگی در مقیاس زمانی، SD انحراف معیار بارندگی در مقیاس زمانی می‌باشد.

<sup>1</sup> Standardized Precipitation Index

جدول (۲) طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هواشناسی به روش شاخص SPI (نالبانتیس و همکاران، ۲۰۰۸)

حالت	محدوده	وضعیت خشکسالی
۰	$2 \leq SPI$	خیلی خیلی مرطوب
۱	$1/5 \leq SPI < 2$	خیلی مرطوب
۲	$1 \leq SPI < 1/5$	مرطوب متوسط
۳	$-1 \leq SPI < 1$	نزدیک به نرمال
۴	$-1/5 \leq SPI < -1$	خشکسالی متوسط
۵	$-2 \leq SPI < -1/5$	خیلی خشک
۶	$SPI < -2$	خیلی خیلی خشک

سطح آب زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 تعیین خواهد شد.

#### تابع همبستگی متقاطع<sup>۱</sup> (CCF)

تابع همبستگی متقاطع نوعی روش استاندارد برای تعیین درجه همبستگی بین دو سری زمانی است. ضریب همبستگی تنها رابطه بین دو متغیر را نشان می‌دهد. در صورتی که همبستگی با تأخیر زمانی مورد نظر باشد بایستی از همبستگی متقاطع استفاده کرد. اهمیت نسبی آب و هوا بر سطح آب زیرزمینی به وسیله به کار بردن تحلیل همبستگی متقاطع به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{w-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}) \quad k=0,1,2,\dots \quad (4)$$

$$C_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{w+k} (y_t - \bar{y})(x_{t+k} - \bar{x}) \quad k=0,1,2,\dots \quad (5)$$

$$S_x = \sqrt{C_{xx}(0)} / S_x S_y, \quad S_y = \sqrt{C_{yy}(0)} / S_x S_y \quad (6)$$

در این پژوهش برای تعیین مقیاس زمانی مناسب شاخص بارش استاندارد شده‌ای که دارای بیشترین همبستگی با نوسانات سطح آب زیرزمینی باشد، همبستگی این شاخص در مقیاس‌های ماهانه ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه با نوسانات سطح آب زیرزمینی در دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۴ تعیین شد. ضریب همبستگی بین نوسانات سطح آب زیرزمینی و شاخص SPI با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (خان و همکاران، ۲۰۰۸).

$$\rho_{X,Y} = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (3)$$

که در آن  $X$  و  $Y$  به ترتیب شاخص بارش استاندارد شده و نوسانات سطح آب زیرزمینی،  $\sigma_X$  و  $\sigma_Y$  نیز به ترتیب انحراف معیار شاخص بارش استاندارد شده و نوسانات سطح آب زیرزمینی و  $\rho_{X,Y}$  ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده و نوسانات سطح آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین با توجه به این که وایازی یک روش آماری برای بررسی ارتباط متغیرهای مستقل و وابسته به یکدیگر است، به منظور بررسی ارتباط کمیت آب زیرزمینی (متغیر وابسته)، با شاخص خشکسالی هواشناسی (متغیر مستقل)، رابطه خطی ساده بین متوسط تراز آب زیرزمینی با شاخص SPI بررسی می‌شود و سهم بارش هر ایستگاه در نوسانات

<sup>1</sup> Cross Correlation Factor



و همکاران، ۱۳۹۱). محاسبات فوق به منظور تعیین ضرایب همبستگی متقاطع به منظور تعیین زمان اثر بارندگی بر نوسان سطح آب زیرزمینی با استفاده از میانگین ماهانه بارندگی و سطح آب زیرزمینی با کاربرد نرم افزار SPSS 22 صورت گرفت.

### بحث و نتایج

پس از اطمینان از همگن بودن داده‌ها و بازسازی نواقص آماری داده‌های بارندگی با روش‌های ذکر شده، متوسط تراز ماهانه چاه‌های پیژومتری و شاخص SPI برای ایستگاه‌های منتخب، و در طی دوره آماری ۲۹ ساله (۱۳۹۲-۱۳۶۴) محاسبه شد. همچنین میزان آسیب‌پذیری هر ایستگاه در برابر فراوانی خشکسالی‌ها به تفکیک ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و فراوانی نسبی و فراوانی وقایع خشکسالی در هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی به دست آمد. به دلیل حجیم بودن مطالب در این بخش، میزان آسیب‌پذیری ایستگاه‌ها در دو مقیاس زمانی کوتاه مدت (۳ ماهه) برای ایستگاه‌های بابلسر، بلده، دیو، سرخورد، کره‌سنگ، نمارستاق و رزن و بلند مدت (۲۴ ماهه) برای ایستگاه‌های میان‌دشت، پنجاب، قرآن‌تالار، گلوگاه، بابل، قراخیل، آمل و محمودآباد به عنوان نمونه آورده شده است. همه ایستگاه‌ها به نوعی پدیده خشکسالی را تجربه کرده‌اند. عمده خشکسالی‌ها از نوع نزدیک به نرمال و متوسط بوده و خشکسالی شدید و خیلی شدید به مراتب کمتر در منطقه رخ داده است که با نتایج (یانجان، ۲۰۱۲) مطابقت دارد. با توجه به جدول (۳) بیشترین فراوانی مربوط به طبقه نزدیک به نرمال در ایستگاه بابلسر، بیشترین فراوانی مربوط به خشکسالی متوسط در ایستگاه قراخیل و همچنین بیشترین فراوانی مربوط به طبقات خیلی خشک و خیلی خیلی خشک به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های کره‌سنگ و آمل می‌باشد. در رابطه با فراوانی نسبی، ایستگاه قراخیل با مجموع ۱۷/۶۰ درصد، بیشترین فراوانی نسبی و ایستگاه پنجاب با مجموع ۹/۷۰ درصد، کمترین فراوانی نسبی را به خود اختصاص داده‌اند. جدول (۳) میزان آسیب‌پذیری ایستگاه‌ها در برابر فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص SPI را نشان می‌دهد.

$$r_{xy}(K) = C_{xy}(K) \quad K \leq N - 1 \quad (7)$$

در عبارت فوق  $C_{xy}(K)$  همبستگی متقاطع  $r_{xy}(K)$  ضریب همبستگی متقاطع و  $S_x$  و  $S_y$  انحراف معیار گروه‌های زمانی می‌باشد. در روابط فوق، مقدار  $K$  همواره از مقدار  $N$ ، یعنی تعداد داده‌های گروه زمانی کوچک‌تر است. به بیان دیگر، همبستگی متقاطع بین دو گروه زمانی  $X_t$  با  $N$  داده و  $Y_t$  با  $N$  داده حداکثر تا تقدم یا تأخر زمانی  $K$  قابل بررسی است. به طوری که مقدار  $K$  همواره کوچکتر یا مساوی  $N-1$  است. رابطه (۴) پاسخ آب زیرزمینی به تغییرات آب و هوا تأخیری زمانی را که تعیین آن دشوار است، نمایش می‌دهد؛ این کار به صورت تعیین تأخیر زمانی آشکار به صورت تغییر جهت زمانی تعریف می‌شود که در آن دو گروه زمانی به یک همبستگی حداکثر می‌رسند (سیگارودی و همکاران، ۲۰۱۳).

$$\Delta t = t \quad \text{if } r_{xy}(t) = \text{Max}(r_{xy}(1) \dots r_{xy}(N)) \quad (8)$$

(۹)

$$V = a + bt, \\ W = (a + b) \cdot \sin(2P(t - w)/T)$$

رابطه فوق یک مسیر غیر خطی شامل یک روند خطی است (رابطه ۸) و یک تابع دوره‌ای بلند مدت (رابطه ۹) که به منظور شبیه‌سازی تنوع آب و هوایی به کار می‌رود. در رابطه فوق  $t$  زمان (ماه)،  $a$  و  $b$  ضرایب نامعلوم،  $W$  و  $T$  طول مرحله و دوره‌ای است که می‌بایست تعیین گردند. این فراسنج‌های نامعلوم را می‌توان به وسیله کمینه کردن  $y$  در رابطه (۱۰) برآورد کرد.

$$y = \sum_{t=1}^w [y_t - (V_t + W_t)] \quad (10)$$

در عبارت فوق،  $y_t$  مقادیر اندازه‌گیری شده عوامل آب شناسی،  $W_t$  و  $V_t$  مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشند. (مردانه

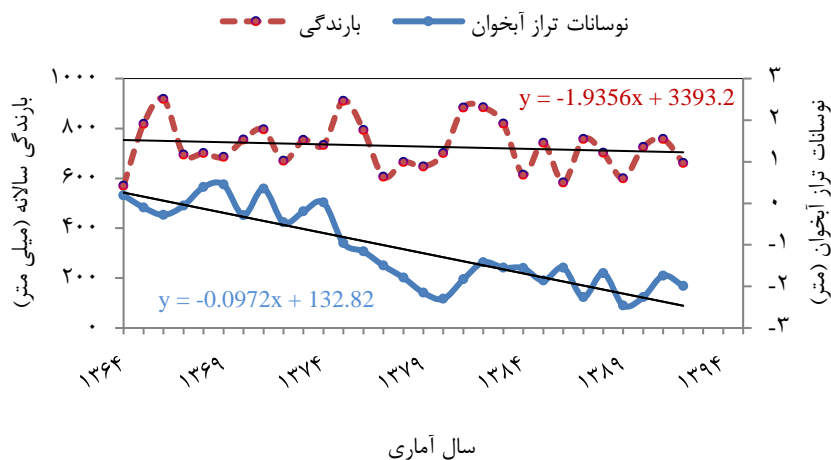


جدول (۳) میزان آسیب پذیری ایستگاه‌ها در برابر فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص SPI در دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۶۴)

نام ایستگاه	نزدیک به نرمال	خشکسالی متوسط	خیلی خشک	خیلی خیلی خشک	مقیاس زمانی فراوانی نسبی (درصد)
بلده	۲۳۷	۳۴	۱۳	۶	۱۵/۳۰
بابلسر	۲۵۵	۱۸	۱۴	۸	۱۱
سرخرود	۲۴۱	۲۶	۱۴	۸	۱۳/۸۰
نمارستاق	۲۳۶	۲۹	۱۷	۵	۱۴/۷۰
رزن	۲۴۵	۲۹	۱۵	۶	۱۴/۴۰
دیوا	۲۳۹	۲۹	۱۲	۸	۱۳/۲۰
کره سنگ	۲۴۲	۲۵	۱۹	۳	۱۳/۶۰
قرآن‌نالر	۲۲۱	۳۶	۹	۷	۱۵/۲۰
میان‌دشت	۲۲۲	۲۸	۹	۹	۱۳/۵۰
قراخیل	۲۱۱	۴۳	۱۱	۶	۱۷/۶۰
محمودآباد	۲۳۱	۳۲	۱۲	۹	۱۵/۴۰
بابل	۲۳۹	۲۷	۹	۸	۱۲/۹۰
گلوگاه	۲۴۷	۲۶	۶	۷	۱۱/۴۰
پنجاب	۲۴۲	۱۳	۱۴	۶	۹/۷۰
آمل	۲۲۷	۲۹	۱۱	۱۱	۱۵

شکل (۳) ارتباط وقوع مقادیر بارش سالانه و نوسانات سالانه تراز آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را در دوره آماری (۱۳۶۴-۱۳۹۲) نشان می‌دهد. در این شکل شیب کلی هیدروگراف بارش و هیدروگراف نوسانات سطح ایستابی آبخوان سیر نزولی دارند به طوری که بیشترین افت سطح ایستابی در سال ۱۳۸۹ با مقدار ۲/۴۶ متر رخ داده است این در حالی است که در همان سال بارندگی با ۱۰۲ میلی‌متر کاهش نسبت به سال ۱۳۸۸ همراه بوده است. با توجه به شکل (۳) بارندگی در سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۶۵ و ۱۳۶۶ به طور متوسط با افزایش ۳۷۰ میلی‌متر همراه است در حالی که در همین سال‌ها سطح ایستابی به طور متوسط ۰/۴۷ متر کاهش پیدا کرده است که در اینجا نقش عواملی

مانند تبخیر و برداشت از منابع آب زیرزمینی در نوسانات آبخوان آشکار می‌شود. همچنین از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۸۰ بارندگی به طور متوسط ۲۱۶ میلی‌متر کاهش پیدا کرده که در همین سال‌ها سطح ایستابی به طور متوسط با کاهش ۱/۶۴ همراه بوده که شدیدترین افت آن در سال ۱۳۸۰ با مقدار ۲/۳۰ متر بوده است که این افت شدید علاوه بر کاهش بارندگی می‌تواند به برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی نیز ارتباط داشته باشد. همچنین از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ بارندگی ۱۲۵ میلی‌متر افزایش پیدا کرده که سطح ایستابی در این سه سال با افزایش حدود ۰/۷ متر همراه بوده است.



شکل (۳) ارتباط نمودار نوسانات تراز آبخوان و مقادیر بارش سالانه در دوره آماری ۱۳۶۴-۱۳۹۲

زیرزمینی در ایستگاه گلوگاه در مقیاس زمانی ۲۴ ماه برابر ۰/۸۲۴ به دست آمده است. دومین ایستگاه با ضریب همبستگی بالا بین شاخص بارش استاندارد شده و متوسط تراز آب زیرزمینی، ایستگاه پنجاب می‌باشد که در مقیاس زمانی ۲۴ ماه دارای ضریب همبستگی ۰/۷۵۰ در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. کمترین ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده و متوسط تراز آب زیرزمینی مربوط به ایستگاه نارستاق می‌باشد که در مقیاس زمانی ۲۴ ماه برابر ۰/۱۵۴ در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد به دست آمده است. این در حالی است که در ایستگاه نارستاق همبستگی معنی‌داری در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۸ ماه بین شاخص بارش استاندارد شده و متوسط تراز آب زیرزمینی وجود ندارد. با توجه به نتایج جدول (۴) شاخص بارش استاندارد شده با مقیاس ۲۴ ماه برای ایستگاه‌های باران‌سنجی در نظر گرفته شده است.

جدول (۴) مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه را با متوسط تراز آب زیرزمینی در محدوده ایستگاه‌های باران‌سنجی را طی سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۹۲ را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول، هرچه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در منطقه مورد مطالعه بزرگتر می‌گردد، همبستگی آن با متوسط تراز آب زیرزمینی افزایش پیدا می‌کند. نتیجه این بخش از تحقیق با نتایج مندسینو و همکاران (۲۰۰۸)، چوبین و همکاران (۱۳۹۵) و چمن‌پیرا و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی دارد. با توجه به این جدول ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده و متوسط تراز آب زیرزمینی با مقیاس زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماه در ایستگاه گلوگاه در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد به طوری که بیشترین ضریب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و متوسط تراز آب

جدول (۴) ضرایب همبستگی بین شاخص SPI و متوسط تراز آب زیرزمینی در طول دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۴

نام ایستگاه	شاخص بارش استاندارد شده (SPI)					
	ماه ۳	ماه ۶	ماه ۹	ماه ۱۲	ماه ۱۸	ماه ۲۴
دیوا	۰/۲۱۶**	۰/۲۷۷**	۰/۲۹۶**	۰/۳۸۷**	۰/۴۲۲**	۰/۴۶۵**
محمودآباد	-۰/۱۴۵	۰/۱۵۸*	۰/۱۷۳*	۰/۲۷۵*	۰/۲۸۲*	۰/۳۰۱**
سرخرود	۰/۳۶۷**	۰/۳۸۴**	۰/۳۸۹**	۰/۴۲۷**	۰/۴۲۵**	۰/۴۴۸**
بابلسر	۰/۰۱۷	۰/۰۲۱	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۶	۰/۲۰۲*	۰/۳۲۵*
میان دشت	-۰/۰۱	-۰/۰۱۶	۰/۰۲۹	۰/۰۲۶	۰/۰۴۴	۰/۲۷۳*
آمل	۰/۰۹۳	۰/۰۹۱	۰/۱۰۲	۰/۱۴۸*	۰/۳۳۴**	۰/۵۲۷**
بابل	۰/۳۲۵**	۰/۲۶۳*	۰/۲۴۹*	۰/۰۹۴	۰/۴۲۸**	۰/۳۳۳**
پنجاب	۰/۰۹۳	۰/۱۷۱*	۰/۲۲۹*	۰/۲۵۳*	۰/۴۴۸**	۰/۷۵۰**
قراخیل	۰/۱۵۲*	۰/۱۹۹*	۰/۲۵۳**	۰/۲۶۵*	۰/۲۹۵*	۰/۴۲۳**
کره سنگ	۰/۲۲۸*	۰/۳۰۷**	۰/۳۵۸**	۰/۳۷۹**	۰/۶۸۴**	۰/۷۰۵**
قرآن تالار	۰/۱۳۵*	۰/۲۳۷*	۰/۳۰۱**	۰/۳۱۷**	۰/۴۳۵**	۰/۶۸۵**
گلوگاه	۰/۳۱۸**	۰/۴۵۳**	۰/۵۳۸**	۰/۶۰۰**	۰/۸۰۸**	۰/۸۲۴**
نمارستاق	۰/۰۴۳	۰/۰۴۶	۰/۰۳۶	۰/۰۶۷	۰/۱۰۲	۰/۱۵۴*
بلده	۰/۲۷۱**	۰/۲۵۷**	۰/۲۴۸**	۰/۲۷۴**	۰/۵۷۲**	۰/۶۰۲**
رزن	-۰/۰۳۴	-۰/۰۹۱	۰/۱۳۳*	۰/۱۴۸**	۰/۳۸۹**	۰/۴۲۷**

\* همبستگی در سطح ۹۵ درصد

\*\* همبستگی در سطح ۹۹ درصد

سرخرود، رابطه رگرسیونی خطی ساده برقرار شد. به طوری که این رابطه در سطح  $0.0001$  معنی دار است. معادله رگرسیونی خطی بین این دو متغیر در آبخوان محدوده مورد مطالعه به صورت رابطه (۱۱) می باشد.

$$D_{y,m} = 0.82 + 3.12 SPI - 24 \quad (11)$$

که در آن  $D_{y,m}$  میانگین ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ماه  $m$  و سال  $y$ ، و  $SPI-24$  شاخص بارندگی معیار شده در مقیاس ۲۴ ماهه بدون تأخیر زمانی می باشد. با توجه به فقدان اطلاعات ماهانه فعالیت های انسانی از قبیل تعداد چاه های بهره برداری، میزان تخلیه و... این فراسنج ها در روابط رگرسیونی قابل محاسبه نبودند.

به منظور بررسی سهم بارش هر ایستگاه در نوسانات سطح آب زیرزمینی از رگرسیون خطی ساده بین داده های بارش (شاخص  $SPI-24$ ) و متوسط تراز آب زیرزمینی در طی دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۴ استفاده شد و نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به ضریب تبیین محاسبه شده در تمام ایستگاه های هواشناسی، می توان گفت که ایستگاه سرخرود با ضریب تبیین  $42/3$  درصد از واریانس تراز متوسط سطح ایستابی، تحت تأثیر  $SPI-24$  و  $57/7$  درصد متأثر از سایر عوامل است و ایستگاه سرخرود بیشترین سهم بارش را بین ایستگاه های هواشناسی منطقه مورد مطالعه در متوسط تراز آب زیرزمینی داشته است. با توجه به جدول (۵) بین متوسط تراز آب زیرزمینی به عنوان متغیر وابسته و  $SPI-24$  به عنوان متغیر مستقل در ایستگاه

جدول (۵) نتایج رگرسیون خطی بین متوسط تراز آب زیرزمینی و SPI-24 ایستگاه‌ها طی دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۴

نام ایستگاه	متغیر مستقل	متغیر وابسته	R <sup>2</sup>	R (adj)	P value	ضرایب
نمارستانق	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۶/۱	۶/۴	۰/۰۰	۲/۶۱SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۴۸
گلوگاه	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۳۵/۹	۳۵/۸	۰/۰۰	۱/۲۴SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۸۲
دیوا	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۷/۷	۷/۵	۰/۰۰	۰/۳۱SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۱۱
محمودآباد	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۱۸/۴	۱۸/۲	۰/۰۰۱	۱/۶۵SPI-24= مقدار ثابت = ۲/۲۴
سرخورد	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۴۲/۳	۴۱/۸	۰/۰۰	۱/۸۳SPI-24= مقدار ثابت = ۳/۱۲
بابلسر	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۱۰/۹	۱۰/۴	۰/۰۱	۱/۲۲ SPI-24= مقدار ثابت = ۱/۶۴
میان دشت	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۱۲/۴	۱۲/۲	۰/۰۴	۲/۲۶SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۶۸
آمل	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۴/۹	۴/۲	۰/۰۰۶	۱/۴۸SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۵۶
بابل کشتارگاه	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۹	۶	۰/۰۰۸	۱/۷۳SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۳۴
قراخیل	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۷	۶/۸	۰/۰۰	۲/۱۹SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۴۴
کره سنگ	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۱۴/۲	۱۴/۴	۰/۰۰	۱/۳۸SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۳۸
قرآن تالار	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۱۰/۱	۹/۸	۰/۰۴	۱/۳۴SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۵
بلده	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۴/۴	۴/۱	۰/۰۱	۲/۱۹SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۶۸
رزن	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۱۲/۲	۱۲/۴	۰/۰۰۶	۱/۵۳SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۷۱
پنجاب	SPI- 24	D <sub>y,m</sub>	۱۷/۲	۱۷/۴	۰/۰۰	۱/۶۳SPI-24= مقدار ثابت = ۰/۴۵

شاخص بارش استاندارد شده با فاصله زمانی ۳ ماه می‌باشد به طوری که ضریب همبستگی بین متوسط تراز آب زیرزمینی در محدوده ایستگاه گلوگاه و رزن و شاخص بارش استاندارد شده به ترتیب ۰/۷۲۵ و ۰/۶۳۴ در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد به دست آمده است. که با نتایج (اسلامیان و همکاران، ۲۰۰۹) و (کریمی، ۱۳۹۰) مطابقت دارد. با توجه به جدول (۶) ارتباط همزمان دو متغیر مذکور از سطح

به‌منظور تعیین اثر تأخیر زمانی بارش بر سطح آب زیرزمینی، ضرایب همبستگی متقاطع بین شاخص بارش استاندارد شده و متوسط تراز آب زیرزمینی در محدوده ایستگاه‌های باران‌سنجی بدون اعمال تأخیر زمانی (همزمان) و با اعمال تأخیر زمانی ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ ماه بررسی شد که در جدول (۵) نتایج آن ارائه شده است. اعداد جدول (۶) بیانگر همبستگی بالای متوسط تراز آب زیرزمینی با



زیرزمینی با تأخیر زمانی همراه است. این تأخیر در سطوح ایستایی عمیق و رسوبات با نفوذپذیری کم می‌تواند چندین ماه یا حتی سال نیز طول بکشد.

اطمینان پایینی برخوردارتر است. علت ضعف ضریب همبستگی همزمان بین بارش و نوسانات سطح آب زیرزمینی به این دلیل است که آب ناشی از بارش باران و ذوب برف‌ها به اعماق زمین و رسیدن به سطح آب‌های

جدول (۶) ضرایب همبستگی متقاطع بین شاخص SPI و متوسط تراز آب زیرزمینی در طول دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۴

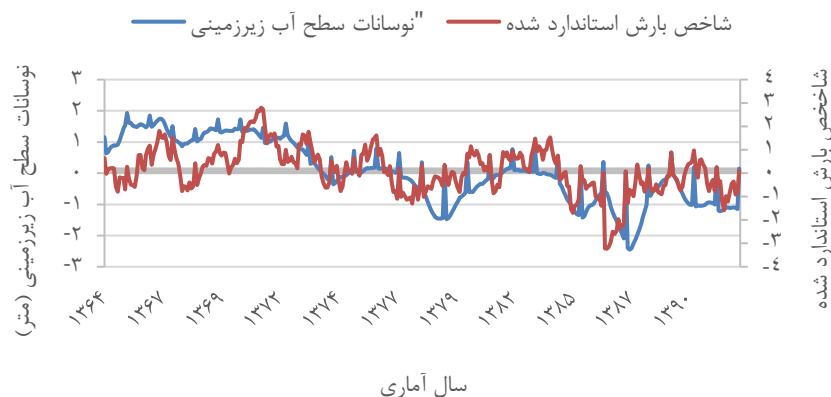
نام ایستگاه	شاخص بارش استاندارد شده (SPI)				
	همزمان	ماه ۱	ماه ۲	ماه ۳	ماه ۴
دیوا	۰/۱۲۵	۰/۱۹۲	۰/۲۱۱*	۰/۴۵۲**	۰/۴۱۶**
محمودآباد	-۰/۰۵۳	۰/۲۳۵*	-۰/۱۱۴	۰/۴۲۴**	-۰/۲۰۳
سرخرود	۰/۱۳۴	۰/۱۴۷	۰/۳۶۵*	۰/۶۰۲**	۰/۲۵۶*
بابلسر	-۰/۱۰۷	۰/۲۲۵	۰/۲۲۰	۰/۵۸۵**	۰/۳۲۴*
میان دشت	۰/۱۴۴	۰/۲۱۶	۰/۲۸۹*	۰/۵۱۱**	۰/۴۵۰**
آمل	۰/۱۵۲	۰/۱۲۹	۰/۲۷۲*	۰/۵۲۶**	۰/۴۰۲**
بابل	۰/۱۰۵	۰/۲۶۴*	۰/۲۹۳*	۰/۴۲۹**	۰/۱۲۵
پنجاب	-۰/۰۳۵	۰/۲۲۷*	۰/۲۷۹*	۰/۵۴۴**	۰/۵۲۸**
قراخیل	۰/۲۰۴*	۰/۲۳۸*	۰/۲۰۹*	۰/۴۱۸**	۰/۳۲۷*
کره‌سنگ	-۰/۱۳۸	۰/۱۸۸*	۰/۲۱۱*	۰/۶۲۸**	۰/۲۱۹*
قرآن‌تالار	۰/۲۱۵*	۰/۲۹۰*	۰/۳۲۴*	۰/۵۷۰**	۰/۴۸۹**
گلوگاه	۰/۲۱۸	۰/۲۸۰*	۰/۵۹۳**	۰/۷۲۵**	۰/۶۱۵**
نمارستاق	۰/۱۱۸	۰/۱۱۳	۰/۳۶۲*	۰/۵۳۵**	۰/۳۱۱*
بلده	۰/۱۴۸	۰/۲۴۶*	۰/۲۷۸*	۰/۵۴۰**	۰/۴۲۶**
رزن	۰/۱۴۹	۰/۳۸۴*	۰/۴۷۱*	۰/۶۳۴**	۰/۵۴۹**

\* همبستگی در سطح ۹۵ درصد

\*\* همبستگی در سطح ۹۹ درصد

سطح آب زیرزمینی در محدوده ایستگاه گلوگاه را به عنوان نمونه در دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۴ نشان می‌دهد.

شکل (۴) تغییرات شاخص بارش استاندارد شده با مقیاس زمانی ۲۴ ماهه و با فاصله زمانی ۳ ماه را با نوسانات



شکل (۴) نوسانات سطح آب زیرزمینی و شاخص بارش استاندارد شده با فاصله زمانی ۳ ماهه در ایستگاه گلوگاه

زمانی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت بوئین- زهرا را ۳ ماهه گزارش دادند. تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی در هر منطقه به عمق سطح آب زیرزمینی، خصوصیات خاک و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان آن بستگی دارد. نتایج حاصل از ضرایب همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده و متوسط تراز آب زیرزمینی نشان داد که هرچه مقیاس زمانی شاخص بارش استاندارد شده در منطقه بزرگتر گردد همبستگی آن با متوسط تراز آب زیرزمینی افزایش پیدا می‌کند. که در این تحقیق بیشترین همبستگی بین شاخص بارش استاندارد شده و متوسط تراز آب زیرزمینی در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های باران‌سنجی نمارستاق، میان‌دشت و بابلسر در سطح ۹۵ درصد و در سایر ایستگاه‌های باران‌سنجی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. رابطه رگرسیونی بین SPI-24 ایستگاه‌های باران‌سنجی و متوسط تراز آب زیرزمینی نشان داد که از بین ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه، ایستگاه سرخورد بیشترین سهم بارش را با ضریب تبیین ۴۲/۳ درصد از واریانس متوسط سطح ایستگاهی منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده و ۵۷/۷ درصد متأثر از سایر عوامل می‌باشد. با توجه به اینکه زمانی که خشکسالی هواشناسی در منطقه‌ای رخ دهد این پدیده در کلیه بخش‌های سیستم هیدرولوژی انتشار می‌یابد و تمامی چرخه هیدرولوژی را متأثر می‌سازد. در منطقه حوزه‌آبخیز هراز نیز وقتی سهم دوره‌های بارش کم شود به دنبال آن خشکسالی هواشناسی رخ داده و منابع آب زیرزمینی از آن متأثر می‌شوند. همچنین نقش سایر عوامل مانند فرایند تبخیر و

شکل (۴) بیانگر پیروی تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی از تغییرات شاخص بارش استاندارد شده است. به عبارتی هر زمان که شاخص بارش استاندارد شده در شکل دارای شیب منفی است (خشکسالی متوسط، خیلی خشک، خیلی خیلی خشک) شیب نوسانات سطح آب زیرزمینی نیز منفی و کاهشی بوده به طوری که شدیدترین افت آن در سال ۱۳۸۷ با مقدار ۲/۴۵- می‌باشد. همچنین شدیدترین خشکسالی در شاخص بارش استاندارد شده نیز در سال ۱۳۸۷ با مقدار ۳/۲۳- می‌باشد. افت بیش از حد سال ۸۸ را می‌توان به علت بهره‌برداری و برداشتهای بی‌رویه برای مصارف کشاورزی نسبت داد.

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر تراز آب زیرزمینی از داده‌های بارندگی ماهانه در قالب شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ ماهه و داده‌های سطح ایستایی ۳۵ چاه پیزومتریک پرداخته شد. بر اساس شاخص بارش استاندارد شده، عمده خشکسالی‌ها از نوع نزدیک به نرمال و متوسط بوده و خشکسالی شدید و خیلی شدید به مراتب کمتر در منطقه رخ داده است. به طوری که ایستگاه کره-سنگ خشکسالی با کلاس خیلی خیلی خشک را ۳ مرتبه تجربه کرده است. در این پژوهش مشخص شد که خشکسالی با یک تأخیر ۳ ماهه بر منابع آب زیرزمینی اثر دارد. اسلامیان و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهش خود تأخیر



طرح‌های مواجهه با خشکسالی مشکلات ناشی از کمبود آب را تا حد زیادی بهبود بخشید که این امر می‌تواند با هدف توسعه پایدار در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز ما را یاری کند.

عوامل انسانی از قبیل برداشت و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی در ایجاد نوسانات تراز آب زیرزمینی موثر است. با توجه به اهمیت منطقه در تولید محصولات کشاورزی و ضرورت مصرف آب در این بخش، می‌توان با رعایت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و همچنین با ایجاد

## منابع

- احمدی‌آخورمه، م.، ا. نوحه‌گر، م. سلیمانی مطلق و م. طایبی‌سمیرمی. ۱۳۹۴. بررسی خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI در آبخوان محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه استان فارس. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، دوره ۶، شماره ۱، ص ۱۴-۱.
- چمن‌پیرا، غ.، زهتابیان، ح. احمدی و آ. ملکیان. ۱۳۹۳. بررسی تاثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی به‌منظور مدیریت بهینه بهره‌برداری، مطالعه موردی دشت الشتر. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۶، شماره ۱، ص ۲۰-۱۰.
- چمن‌پیرا، ر. ۱۴۰۱. ارزیابی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر آبهای زیرزمینی آبخوان کوه‌دشت در استان لرستان. تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۸، شماره ۱، ص ۱۶۶-۱۷۹.
- چوبین ب.، آ. ملکیان و ف. ساجدی‌حسینی. ۱۳۹۵. تاخیر زمانی و تأثیر خشکسالی هواشناسی بر روی سطح آب زیرزمینی. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۱۰، شماره ۳۴، ص ۴۲-۳۵.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۷. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی. ص ۲۷۹-۲۷۸.
- کرمی، ف. ۱۳۹۰. ارزیابی ارتباط خشکسالی هواشناسی با افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت تبریز. نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۶، شماره ۳۷، ص ۱۳۱-۱۱۱.
- مردانه م.، م. افلاطونی و ف. بوستانی. ۱۳۹۱. بررسی همبستگی بین بارندگی و سطح آب زیرزمینی در دشت شیراز، مهندسی منابع آب، دوره ۲، شماره ۵، ص ۹۶-۸۷.
- Barrie R., Elaine E., Asten C., Chipanshilin C. and Sachyan D. 2011. Drought Research in Canada. A Review. Atmosoher Ocean, 49(4): 303-309.
- Baas, S., Trujillo, M., & Lombardi, N. 2015. Impact of disasters on agriculture and food security. FAO.
- Eslamian S.S., Nasri M. and Rahimi N. 2009. Wet and Dry Periods and its Effects on Water Resources Change in Buin Plain Watershed. Geography and Environmental Planning, 33: 75-90.
- Fuchs, B. A., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A., & Hayes, H. J. 2014. Drought indices for drought risk assessment in a changing climate. Handbook of engineering hydrology. Modeling, climate change and variability, 217-231.
- Han, Z., Huang, S., Huang, Q., Leng, G., Liu, Y., Bai, Q., ... & Shi, W. 2021. GRACE-based high-resolution propagation threshold from meteorological to groundwater drought. Agricultural and Forest Meteorology, 307, 108476.
- Hisdal H. Tallaksen L. M. 2003. Estimation of regional meteorological and Hydrological Drought Characteristics: a case study for Denmark. Journal of Hydrology, 281, 230-247
- Makee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. 1993. The Relationship of Drought frequency and duration to time scals. In Eighthth Conference on Applied Climatology, 17- 22 january, Anaheim, CA, 179- 184 pp
- Mendocino G., Alfonso S., Pasquale V. 2008. A groundwater Resources index (GRI) for Drought Manitoring and forecasting in a Mediterranean Climate. Journal of Hydrology, 492: 35-48
- Nalbantis I. 2008. Evaluation of a Hydrological drought index. European Water, 23(24): 67-77.





Seif M., Mohammadzadeh H., and Mosaedi A. 2012. Assesst the impact of drought on the groundwater resources in fasa aquifer using standardized precipitation index. A measure of electrical conductivity on groundwater resources. Journal of water resources, 5:45-59

Sigaroodi S.K., Chen Q., Ebrahimi S., Nazari A. and Choobin B. 2013. Long term precipitation forecast for drought relief using atmospheric circulation factor: a study on the maharloo basin in iran. Hydrology and Earth System Sciences, (10): 13333- 13361.

. Thomas T., Jaiswal R.K., Galkate R. 2016. Drought indicators-based integrated assessment of drought vulnerability: A case study of bundelkhand drought in central india. Journal of Natural hazard, 81(3):1627-1652.

Yanjan L., Xiaodong Z., Fan L. and Jian M. 2012. Analysis of Drought Evolvment Characteristics Based on Standard Precipitation Index in the huaihe River basin. Procedia Engineering, 28: 434- 437.