

Research Paper

Investigating the Role of Rainfall, Surface Water Flow, and Aquifer Withdrawal in the Occurrence of Groundwater Drought in Jiroft Plain

Mohammad Faryabi^{1*}¹ Associate Professor, Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran[10.22125/iwe.2025.544540.1896](https://doi.org/10.22125/iwe.2025.544540.1896)

Received:
August 1, 2025
Accepted:
November 9, 2025
Available online:
December 25, 2025

Keywords:
Rainfall, River discharge, Pumping, Groundwater, Drought, Jiroft plain

Abstract

This study aims to investigate the role of rainfall, surface water flow, and pumping from wells in the occurrence of groundwater drought in the Jiroft plain, southeast of Iran. Rainfall data, river discharge data, groundwater level elevation, and pumping rate from the aquifer were used to determine the factors affecting groundwater drought in this study. The drought situation has been assessed using various indices (Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Discharge Index (SDI), and Groundwater Resource Index (GRI)). A new index called the Aquifer Pumping Index (API) is also introduced to investigate the impact of groundwater pumping on the occurrence of groundwater drought. To investigate the impact of meteorological and hydrological drought on groundwater drought, the SPI and SDI indices were calculated at different time intervals, and their correlation with the GRI index was determined. The cluster analysis statistical method was also used to determine the relationship between different drought indices. The results showed that anthropogenic factors (pumping from the aquifer) play a more substantial role in the occurrence of groundwater drought than natural factors (rainfall and river discharge). Among natural factors, the dependence of groundwater on river discharge is greater than its dependence on rainfall. Geological conditions, such as the Sabzevaran fault, also affect the spatial pattern of groundwater drought.

1. Introduction

Groundwater is one of the most important components of the hydrological cycle that is affected by drought conditions. Groundwater drought occurs as a result of reduced groundwater recharge and increased water withdrawal from abstraction wells. Precipitation and surface water flows are the most important sources of groundwater recharge. Surface water fluctuations are directly affected by rainfall and meteorological drought, but groundwater is largely unaffected by short-term droughts. Reduced rainfall increases plants' need for irrigation and leads to more pumping from water wells. This excessive withdrawal from the aquifer causes a drop in the groundwater level. Considering the occurrence of groundwater drought in many aquifers of the country, determining the factors affecting the occurrence of this phenomenon can play an important role in the sustainable management of water resources. The Jiroft plain contains one of the most important aquifers in Iran. The downward trend of the groundwater level in this plain has started in recent decades. Investigating the factors affecting the occurrence of this declining trend is of great importance in the water resources management of the area. This study aims to investigate the contribution of climatic, hydrological, and human factors to groundwater drought in the Jiroft plain. Investigating the role of rainfall, surface water flow, and pumping from exploitation wells in the occurrence of groundwater drought is the most important goal of this research.

2. Materials and Methods

Various data were used to determine the factors affecting groundwater drought in this study. These data include rainfall data, river discharge data, groundwater level elevation, and pumping rate from the aquifer. The drought situation has been assessed using various indices. The Standardized Precipitation Index (SPI) was used to assess meteorological drought. The Standardized Discharge Index (SDI) was also used to examine the hydrological drought situation. To assess groundwater drought, the Groundwater Resource Index (GRI) was used. To investigate the impact of aquifer pumping on the occurrence of groundwater drought, a new index called the Aquifer Pumping Index (API) is introduced. This index is calculated using annual aquifer pumping data based on the following equation:

$$API = -((P_i - P_{avg}) / S_x)$$

where P_i is the pumping rate from the aquifer in a given year, and P_{avg} and S_x are the mean and standard deviation of groundwater pumping over a period of time, respectively.

To investigate the impact of meteorological and hydrological drought on groundwater drought, the SPI and SDI indices were calculated at different time intervals of 1, 3, 6, 9, 12, 18, 24, and 48 months, and their correlation with the GRI index was calculated using the Pearson correlation coefficient. The cluster analysis statistical method was also used to determine the relationship between different drought indices.

3. Results

Rainfall does not show a specific trend over time. However, the discharge rates of the Halilroud River and the groundwater level show a decreasing trend. This decreasing trend is more severe for the groundwater level. The GRI index also shows a decreasing trend, confirming the increasing severity of groundwater drought over time. As the time interval for meteorological and hydrological drought calculation increases, their correlation coefficient with groundwater drought also increases. The highest correlation between these indices (SPI and SDI) and the groundwater drought index (GRI) was observed in the 48-month period. However, the correlation between the SDI and GRI indices was higher than that between the SPI and GRI. Cluster analysis of drought indices also confirms this finding. This indicates that the reduction in river discharge plays a more important role in the occurrence of groundwater drought than the reduction in rainfall. The more severe downward trend of the GRI index compared to the SDI index indicates that another factor, in addition to the decrease in river discharge, is effective in the downward trend of groundwater levels and the severity of groundwater drought. Human factors, such as pumping from abstraction wells, can be among the factors affecting groundwater drought severity. The temporal changes of the API and GRI indices show a good agreement between the temporal variations of these two indices. The correlation coefficient between the API and GRI indices is 0.71.

4. Discussion and Conclusion

The results of this study showed that anthropogenic factors (such as pumping from abstraction wells) play a more important role in the occurrence of groundwater drought than natural factors (rainfall and river discharge). Among natural factors, the dependence of the aquifer on river discharge is greater than its dependence on rainfall. The hydrogeological characteristics of the Jiroft plain aquifer, such as the hydraulic behavior of the Sabzevaran fault, also affect the response of the aquifer under drought conditions. According to the results of this study, the most important strategy to deal with the effects of drought in the Jiroft plain is to reduce withdrawals from the aquifer and make management decisions to prevent the decline of groundwater levels, such as using flood management methods and implementing artificial recharge projects. Since the agricultural sector is the most important consumer of groundwater in the region, reviewing irrigation methods, using crops with low water requirements, and creating alternative employment opportunities for farmers in the region (especially by developing mining activities and related industries) are of great importance. Due to the relatively high dependence of the Jiroft plain aquifer on the Halilroud River, it is also necessary to stop water transfer projects from the headwaters of this river and to monitor the release of the river's environmental flow at the sites of existing dams.

5. Six important references

- 1) Balacco, G. Alfio, M.R., Fidelibus, M.D., 2022. Groundwater drought analysis under data scarcity: the case of the Salento aquifer (Italy). *Sustainability*, 14: 707.

- 2) Bloomfield, J. P., Marchant, B. P., McKenzie, A. A., 2019. Changes in groundwater drought associated with anthropogenic warming, *Hydrology and Earth System Science*, 23: 1393–1408.
- 3) Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference of Applied Climatology, Aneheim.
- 4) Mendicino, G., Senatore, A., Versace, P. A., 2008. Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357: 282-302.
- 5) Moghimi, H., Akhchi, B., Babaei, A., 2017. Evaluation of the effects of drought (meteorological) on water table changes (case study: Bijar Plain, Kurdistan Province). 10th National Conference of Geology of Payam Noor University, Tabriz. Iran.
- 6) Wilhite, D. A., Glantz, M. H., 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10: 111-120.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

This study was supported by University of Jiroft under the grant No 4813-03-01-39804. University of Jiroft is gratefully acknowledged for the financial support of this research.

بررسی نقش بارندگی، جریان آب سطحی و برداشت از آبخوان در وقوع خشکسالی آب زیرزمینی دشت جیرفت

محمد فاریابی^۱

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸

مقاله پژوهشی

چکیده

آب زیرزمینی یکی از مهمترین مولفه‌های چرخه هیدرولوژی است که تحت تاثیر خشکسالی قرار می‌گیرد. در این تحقیق تاثیر عوامل مختلفی از جمله میزان بارندگی، نوسانات دبی رودخانه و میزان پمپاژ از آبخوان بر وقوع خشکسالی آب زیرزمینی در دشت جیرفت بررسی شده است. به این منظور از شاخص‌هایی مانند شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص استاندارد شده دبی (SDI) و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) استفاده شده است. برای بررسی تاثیر میزان برداشت از آبخوان، شاخص جدیدی تحت عنوان شاخص پمپاژ آبخوان (API) معرفی شده است. شاخص‌های مذکور در مقیاس‌های زمانی مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و تغییرات زمانی آن‌ها بررسی شده است. برای بررسی میزان ارتباط بین شاخص‌های مختلف خشکسالی از ضریب همبستگی پیرسون و روش آنالیز خوشه‌ای استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که نوسانات دبی رودخانه هلیل‌رود نسبت به نوسانات بارندگی، تاثیر بیشتری بر خشکسالی آب زیرزمینی دارد. به طوری که در دوره‌های زمانی مختلف، مقدار همبستگی شاخص منبع آب زیرزمینی و شاخص دبی استاندارد رودخانه بیش از میزان همبستگی آن با شاخص بارش استاندارد است. با طولانی شدن بازه محاسبه شاخص خشکسالی، ضریب همبستگی بین شاخص‌ها افزایش می‌یابد. به طوری که میزان همبستگی بین شاخص منبع آب زیرزمینی و شاخص دبی استاندارد شده در دوره ۲۴ و ۴۸ ماهه به ترتیب برابر با ۰/۶۴ و ۰/۷۴ است. در یک مقیاس سالانه میزان همبستگی شاخص منبع آب زیرزمینی با شاخص بارش استاندارد، شاخص دبی استاندارد رودخانه و شاخص پمپاژ آبخوان به ترتیب برابر با ۰/۸۴، ۰/۵۸ و ۰/۷۱ است. یافته‌های این پژوهش بیانگر این است که نقش عوامل انسانی (پمپاژ آبخوان) نسبت به عوامل طبیعی (بارندگی و رودخانه)، در وقوع خشکسالی آب زیرزمینی دشت جیرفت بیشتر است. در میان عوامل طبیعی نیز تاثیر کاهش دبی رودخانه در وقوع خشکسالی آب زیرزمینی مهمتر از نوسانات بارندگی است. ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت جیرفت مانند عملکرد گسل‌ها نیز رفتار آبخوان در شرایط خشکسالی را تحت تاثیر قرار داده است.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، دبی رودخانه، پمپاژ، آب زیرزمینی، خشکسالی، دشت جیرفت

مقدمه

در سال‌های اخیر تعاریف متفاوتی برای خشکسالی ارائه شده، اما به‌طور کلی می‌توان گفت که خشکسالی نتیجه کمبود بارش در یک دوره پیوسته زمانی (یک فصل یا بیشتر) است. کاهش دبی رودخانه‌ها، کاهش میزان ذخیره آب در مخازن سدها، خشک شدن چشمه‌ها، بیابان‌زایی، پایین رفتن سطح آب‌زیرزمینی، از بین رفتن مراتع، فرونشست زمین، کمبود محصولات کشاورزی و مهاجرت از روستاها از جمله پیامدهای خشکسالی است. طبیعت آرام و خزشی پدیده خشکسالی باعث شده که نتوان این پدیده را به آسانی و با دقت زیاد ارزیابی کرد. بیشتر اثرات خشکسالی غیرسازه‌ای بوده و محدوده مکانی وسیع‌تری را نسبت به سایر بلاهای طبیعی (مانند سیل، زلزله و غیره) تحت تاثیر قرار می‌دهد (Zeinali et al., 2017).

خشکسالی انواع مختلف دارد مانند خشکسالی هواشناسی، خشکسالی کشاورزی، خشکسالی آب‌شناسی، خشکسالی اقتصادی-اجتماعی و خشکسالی مدیریت آب (Wilhite and Glantz, 1985). خشکسالی آب‌زیرزمینی که در گروه خشکسالی آب‌شناسی قرار می‌گیرد، یکی از مهمترین انواع خشکسالی‌ها است. خشکسالی آب‌زیرزمینی در نتیجه کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی و افزایش برداشت آب از چاه‌های بهره‌برداری رخ می‌دهد. بارندگی و جریان آب‌سطحی مهمترین منابع تغذیه آب‌زیرزمینی هستند. نوسانات آب‌سطحی به‌طور مستقیم متاثر از میزان بارندگی و خشکسالی هواشناسی است، اما آب‌زیرزمینی عمدتاً تحت تاثیر خشکسالی‌های کوتاه‌مدت قرار نمی‌گیرد (Sedaghat, 2008). خشکسالی باعث کاهش نزولات جوی و میزان جریان آب‌های سطحی و نهایتاً کاهش میزان تغذیه آبخوان‌ها می‌شود (Faryabi & Mozaffarizade, 2017). برداشت بیش از حد از آبخوان‌ها به دلیل کمبود بارش باعث افت سطح آب زیرزمینی می‌شود. علاوه بر این کاهش نزولات جوی باعث نیاز به آبیاری بیشتر محصولات کشاورزی و برداشت بیشتر از چاه‌ها خواهد شد. مجموعه این عوامل باعث افت کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی خواهد شد.

در زمینه خشکسالی آب‌زیرزمینی مطالعات متعددی در سال‌های اخیر انجام شده است. Zeinali et al., 2017 تاثیر خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی بر آبخوان دشت مرند را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد افزایش برداشت از سفره‌های آب‌زیرزمینی برای آبیاری محصولات کشاورزی منجر به افت سه متری آب‌زیرزمینی شده است. Moghimi et al., 2017 اثرات خشکسالی هواشناسی بر تغییرات سطح آب‌زیرزمینی دشت بیجار در استان کردستان را ارزیابی کردند. این محققان بیان کردند که تاثیر فعالیت‌های انسانی مانند بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان و حفر چاه‌های غیرمجاز بر افت سطح آب‌زیرزمینی بیشتر از نقش کاهش بارندگی است. Mirakbari et al., 2018 شاخص‌های SPI، SPEI، SDI و GRI وضعیت

خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوزه رودخانه اعظم هرات را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که خشکسالی هواشناسی بعد از گذشت دو سال بر سطح آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارد. Bloomfield et al., 2019 مطالعه خشکسالی آب‌زیرزمینی در انگلستان نشان دادند که فعالیت‌های انسانی عامل اصلی وقوع خشکسالی آب‌زیرزمینی است و تغییرات نزولات جوی نقش چندانی بر افت سطح آب‌زیرزمینی ندارد. Sanginabadi et al., 2019 اثرات برداشت از آبخوان و خشکسالی آب زیرزمینی در دشت قزوین را با استفاده از مدل ترکیبی MODFLOW-ANN بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که عامل اصلی افت سطح آب‌زیرزمینی، برداشت زیاد از آبخوان است. تغییر سطح آب زیرزمینی با یک تاخیر زمانی نه ماهه بعد از تغییرات بارش و جریان آب سطحی رخ می‌دهد. خشکسالی آب‌زیرزمینی با خشکسالی هیدرولوژیکی بیشتر از خشکسالی هواشناسی همبستگی دارد. بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک حوزه رودخانه زهره در استان کهگیلویه و بویراحمد توسط Razmkhah et al., 2022 هواشناسی تأثیر درازمدت و تجمعی بر افت سطح آب‌زیرزمینی دارد. بیشترین همبستگی بارندگی و دبی



متر متغیر است. دشت جیرفت دارای آب و هوایی گرم و خشک بوده و اقلیم آن تحت تأثیر آب و هوای بیابانی و نیمه‌بیابانی است. متوسط بارش و دمای سالانه دشت جیرفت به ترتیب برابر با ۱۷۲/۷ میلی‌متر و ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه نیز ۱۳۷/۶ میلی‌متر در ماه می‌باشد (Adeli Sardooei et al., 2021). چندین رودخانه دائمی و فصلی در دشت جیرفت وجود دارند که مهمترین آن‌ها رودخانه هلیل‌رود است. رودخانه هلیل‌رود در بخش‌هایی از سال دارای آب بوده و آبخوان دشت جیرفت را تغذیه می‌کند (Adeli Sardooei et al., 2021). هلیل‌رود طولی در حدود ۳۹۰ کیلومتر داشته و بزرگترین رودخانه در جنوب‌شرق ایران است. مهمترین منبع جریان آب سطحی در دشت جیرفت، رودخانه هلیل‌رود است. دشت جیرفت از لحاظ ژئومورفولوژی، یک دره فروافتاده است. رسوبات حاصل از فرسایش ارتفاعات اطراف این دره در آن نهشته شده و با گذشت زمان آبخوان دشت جیرفت را به‌وجود آورده‌اند. رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان رسوبات نسبتاً درشت‌دانه‌ای مانند شن، ماسه و گراول هستند. علی‌رغم این‌که آبخوان دشت جیرفت در بخش میانی دارای یک سفره تحت فشار است، اما در حال حاضر به دلیل وجود حفاری‌های زیاد، فشار آرتزین کاهش یافته است و آبخوان به صورت یکپارچه در نظر گرفته می‌شود (Shahidasht and Abbasnejad, 2011). آب نفوذ یافته از رودخانه هلیل‌رود و مخروط‌افکنه‌های بخش شمالی دشت نقش بسیار مهمی در تغذیه آبخوان دارد. جهت کلی جریان آبخیززمینی از شمال‌شرقی دشت جیرفت به سمت جنوب‌غربی آن است. بیش از ۳۵۳۲ حلقه چاه بهره‌برداری در دشت جیرفت وجود دارد. دبی این چاه‌ها بین ۱۰ تا ۵۰ لیتر بر ثانیه متغیر است. سطح آبخیززمینی آبخوان دشت جیرفت در سال‌های اخیر روندی نزولی داشته و متوسط افت سالانه آن ۱/۰۵ متر است (Faryabi, 2025).

روش تحقیق

در این پژوهش از داده‌های مختلفی برای تعیین عوامل موثر بر خشکسالی آبخیززمینی استفاده شده است. این

رودخانه در مقیاس یک ماهه مشاهده شد، که نشان‌دهنده ارتباط هیدرولیکی آب سطحی و زیرزمینی و کمبود بارش برف است. Balacco et al., 2022 خشکسالی آبخیززمینی در آبخوان سلنتو^۱ در ایتالیا را بررسی کردند. این پژوهش نشان داد که شاخص SPI ۱۸ ماهه می‌تواند به خوبی خشکسالی آبخیززمینی را پیش‌بینی کند. Shaker Sureh & Asadi, 2022 تأثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر نوسانات سطح آبخیززمینی دشت سلماس را مطالعه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد خشکسالی هواشناسی (با تأخیر فاز زمانی یک‌ماهه) و خشکسالی هیدرولوژیکی (با تأخیر شش‌ماهه) رابطه معنی‌داری با خشکسالی آبخیززمینی دارد.

با توجه به رخداد خشکسالی آبخیززمینی در بسیاری از آبخوان‌های کشور، تعیین عوامل موثر در وقوع این پدیده می‌تواند در مدیریت پایدار منابع آب نقش مهمی داشته باشد. دشت جیرفت یکی از مهمترین آبخوان‌های ایران را در خود جای داده است. روند نزولی سطح آبخیززمینی در این دشت از اوایل دهه هفتاد شمسی آغاز شده است. بررسی عوامل موثر بر وقوع این روند نزولی اهمیت زیادی در مدیریت منابع آب آبخوان دشت جیرفت خواهد داشت. این پژوهش برای به منظور بررسی سهم عوامل اقلیمی، هیدرولوژیکی و انسانی بر خشکسالی آبخیززمینی دشت جیرفت انجام شده است. بررسی نقش بارندگی، جریان آب سطحی و پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در وقوع خشکسالی آبخیززمینی مهمترین هدف این پژوهش است. در این تحقیق شاخص جدیدی برای بررسی تأثیر برداشت از آبخوان بر وقوع خشکسالی آبخیززمینی ارائه شده است. علاوه بر روش‌های مرسوم در مطالعات خشکسالی، از روش آماری آنالیز خوشه‌ای نیز برای بررسی رفتار شاخص‌های خشکسالی در این پژوهش استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

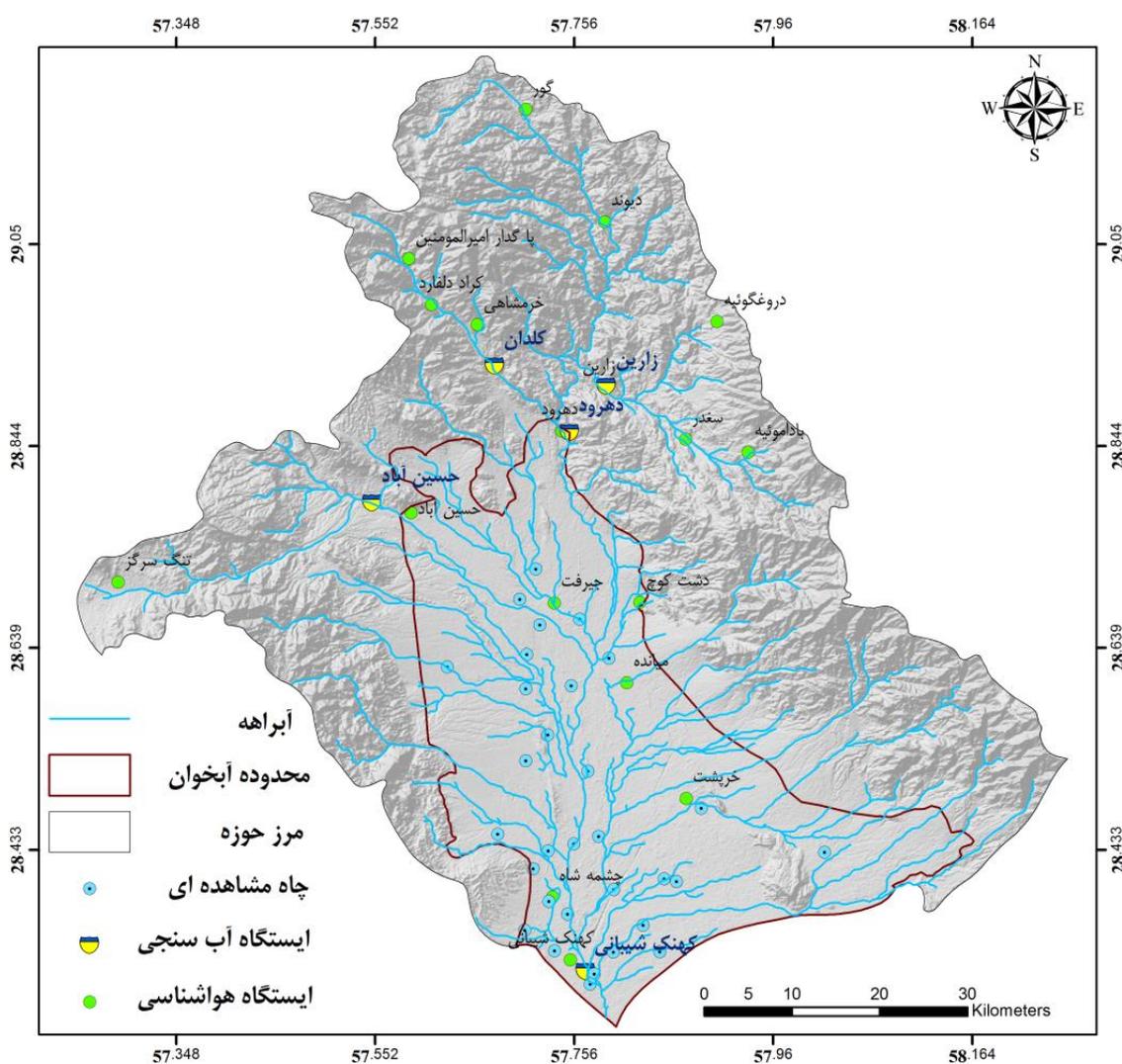
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، دشت جیرفت در جنوب استان کرمان است. مساحت دشت جیرفت ۱۴۰۵ کیلومترمربع بوده و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۵۰۰-۴۰۰

¹ Salento

شده‌اند. برای این‌که این داده‌ها با هم قابل مقایسه باشند، نیاز است تا یک دوره آماری مشترک برای آن‌ها در نظر گرفته شود. در این تحقیق یک دوره زمانی ۳۲ ساله (۹۶-۱۳۶۵) برای مطالعه خشکسالی آب‌زیرزمینی در مقیاس ماهانه و عوامل موثر بر آن انتخاب شد. وضعیت خشکسالی نیز با استفاده از شاخص‌های مختلفی بررسی شده است.

داده‌ها شامل داده‌های بارندگی، دبی رودخانه، ارتفاع سطح آب‌زیرزمینی و میزان پمپاژ از آبخوان هستند. داده‌های مذکور از ۱۸ ایستگاه باران‌سنجی، ۵ ایستگاه آب‌سنجی (هیدرومتری) و ۲۸ چاه مشاهده‌ای جمع‌آوری شده‌اند. موقعیت این ایستگاه‌ها و چاه‌های مشاهده‌ای در شکل ارائه شده است. داده‌های موجود (بارندگی، دبی و تراز سطح آب‌زیرزمینی) در محدوده‌های زمانی مختلفی جمع‌آوری



شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی، ایستگاه‌های آب‌سنجی و چاه‌های مشاهده‌ای در حوزه آبریز دشت جیرفت

بررسی وضعیت بارندگی در محدوده آبخوان اهمیت زیادی دارد. با توجه به شکل ۱ ایستگاه‌های باران‌سنجی حسین‌آباد، دهرود، دشت کوچ، میانه، خرپشت، چشمه‌شاه و کهنک‌شیبانی در محدوده آبخوان قرار گرفته‌اند. بنابراین

اولین گام در مطالعه خشکسالی، بررسی وضعیت بارندگی است. موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوزه آبریز دشت جیرفت در شکل ۱ ارائه شده است. از آنجایی که هدف این تحقیق ارزیابی خشکسالی آب‌زیرزمینی است،



$$SDI = (Q_i - Q_{avg}) / S_x \quad (2)$$

در این رابطه Q_i دبی رودخانه در ماه یا سال مورد نظر و Q_{avg} و S_x به ترتیب میانگین و انحراف معیار دبی در دوره آماری هستند.

برای بررسی وضعیت خشکسالی آب‌زیرزمینی، شاخص منبع آب‌زیرزمینی (GRI) به کار گرفته شده است. این شاخص با استفاده از داده‌های تراز آب‌زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای و بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود (Mendicino et al., 2008)

$$GRI = (D_{y,m} - \mu_{D,m}) / \delta_{D,m} \quad (3)$$

پارامتر $D_{y,m}$ تراز سطح آب‌زیرزمینی در ماه m از سال y و پارامترهای $\mu_{D,m}$ و $\delta_{D,m}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های سطح آب‌زیرزمینی ماه m برای D سال هستند.

یکی از عوامل مهم در پایین رفتن سطح آب در آبخوان‌ها و تشدید اثرات خشکسالی، بهره‌برداری بیش از حد از چاه‌ها به ویژه برای آبیاری محصولات کشاورزی است. برای بررسی میزان تاثیر پمپاژ از آبخوان بر وقوع خشکسالی آب‌زیرزمینی در این تحقیق، شاخص جدیدی تحت عنوان شاخص استاندارد شده پمپاژ آبخوان (API) معرفی می‌شود. این شاخص با استفاده از داده‌های پمپاژ سالانه آبخوان و بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$API = - ((P_i - P_{avg}) / S_x) \quad (4)$$

در این رابطه P_i میزان پمپاژ از آبخوان در سال مورد نظر و P_{avg} و S_x به ترتیب میانگین و انحراف معیار پمپاژ در دوره آماری هستند.

برای بررسی تاثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر خشکسالی آب‌زیرزمینی در این تحقیق، شاخص‌های SPI و SDI در بازه‌های زمانی مختلف ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شده و میزان همبستگی آن‌ها با شاخص GRI با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده است. روش آماری آنالیز خوشه‌ای نیز برای تعیین رابطه بین شاخص‌های مختلف خشکسالی به کار گرفته شده است. آنالیز خوشه‌ای یک روش آماری چندمتغیره است که برای پیدا کردن میزان

میزان بارندگی این ایستگاه‌ها می‌تواند معرف وضعیت خشکسالی هواشناسی باشد. برای تعیین میانگین بارندگی ایستگاه‌های مذکور از روش تیسسن^۱ استفاده شده است. در این روش، نسبت مساحت هر ایستگاه به مساحت کل دشت، معرف ضریب سهم آن ایستگاه در محاسبه میانگین بارندگی دشت است. این مقدار میانگین برای مطالعه خشکسالی هواشناسی مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از بهترین شاخص‌ها برای مطالعه خشکسالی هواشناسی، شاخص بارش استاندارد (SPI) است. مشخصه اصلی شاخص بارش استاندارد، انعطاف‌پذیری در اندازه‌گیری خشکسالی در مقیاس‌های زمانی متفاوت است. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Aleboali et al., 2016):

$$SPI = (X_i - X_{avg}) / S_x \quad (1)$$

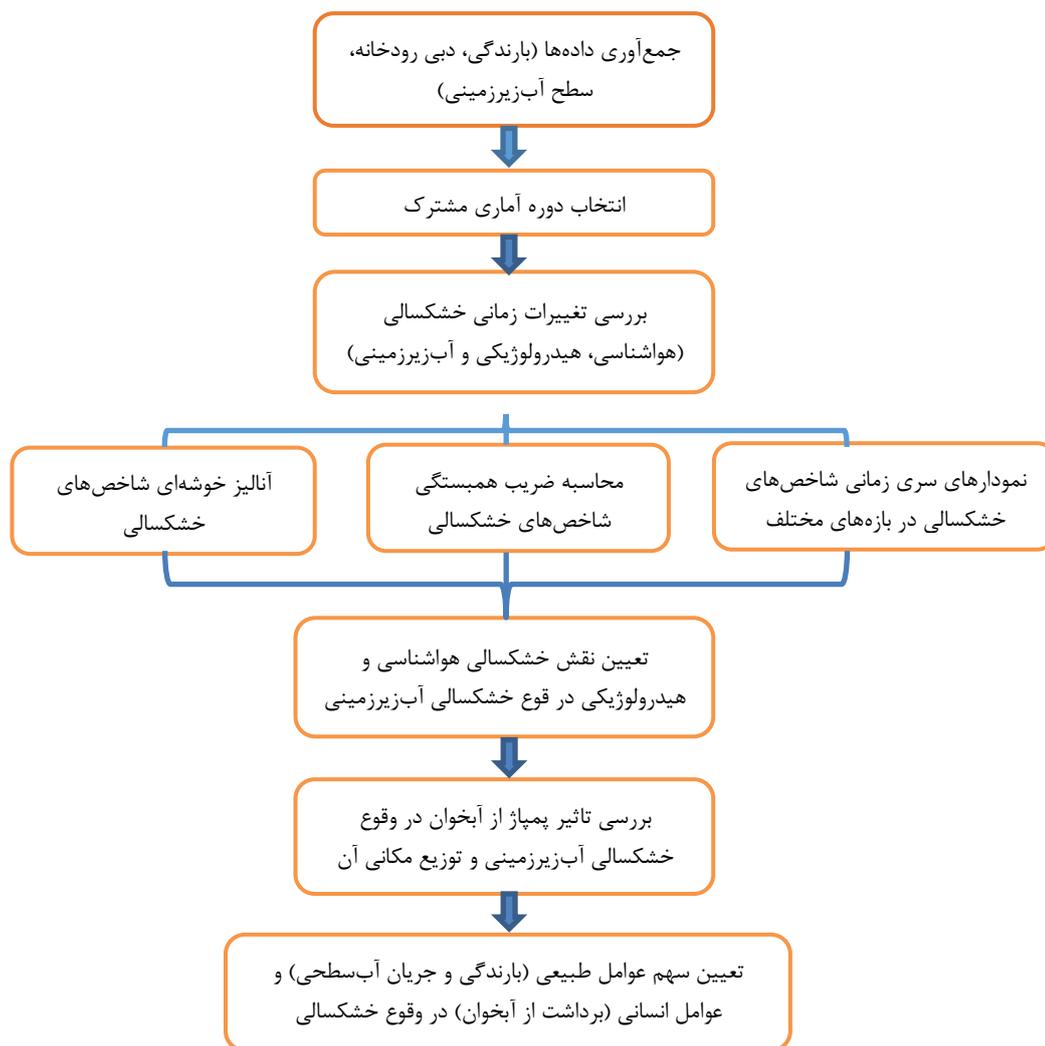
که در این رابطه X_i میزان بارندگی در ماه یا سال مورد نظر و X_{avg} و S_x به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی در دوره آماری است. Mckee et al., 1993 دوره خشکسالی را براساس شاخص SPI به این صورت تعریف کردند: دوره‌ای که SPI دائماً منفی باشد به مقدار ۱- و کمتر برسد. وقتی خشکسالی پایان می‌یابد که SPI مثبت شود.

پارامتر مهم دیگری که در مطالعه خشکسالی در نظر گرفته شده، نوسانات دبی رودخانه هلیل‌رود است. ایستگاه آب‌سنجی حسین‌آباد در شمال دشت جیرفت بر روی رودخانه هلیل‌رود واقع شده و به نوعی معرف میزان آب‌سطحی ورودی به دشت جیرفت است. این ایستگاه تنها ایستگاه واقع بر شاخه اصلی و دائمی رودخانه هلیل‌رود در ابتدای ورود به دشت جیرفت بوده و نسبت به سایر ایستگاه‌ها آمار منظم و طولانی‌مدتری دارد. ایستگاه‌های دیگر (زارین، دهرود و کلدان) بر روی شاخه‌های فرعی رودخانه واقع شدند و جریان آب در آن‌ها دائمی نیست. بنابراین داده‌های دبی رودخانه هلیل‌رود در ایستگاه حسین‌آباد برای بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی به کار گرفته شده‌اند. به این منظور از شاخص استاندارد شده دبی (SDI) استفاده شده است. این شاخص مشابه با شاخص SPI بوده و بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود (Bigonah, 2012):

¹ Thiessen

خشکسالی آب‌یرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای بررسی شده است. شکل ۲ مراحل انجام کار در این پژوهش را نشان می‌دهد.

شباهت بین نمونه‌ها در یک مجموعه بکار می‌رود. هدف از آنالیز خوشه‌ای پیدا کردن گروه‌های واقعی نمونه‌ها است (Yang et al. 2020). پراکندگی مکانی خشکسالی آب‌یرزمینی و عوامل موثر بر آن نیز با محاسبه شاخص



شکل (۲): مراحل انجام تحقیق



نتایج و بحث

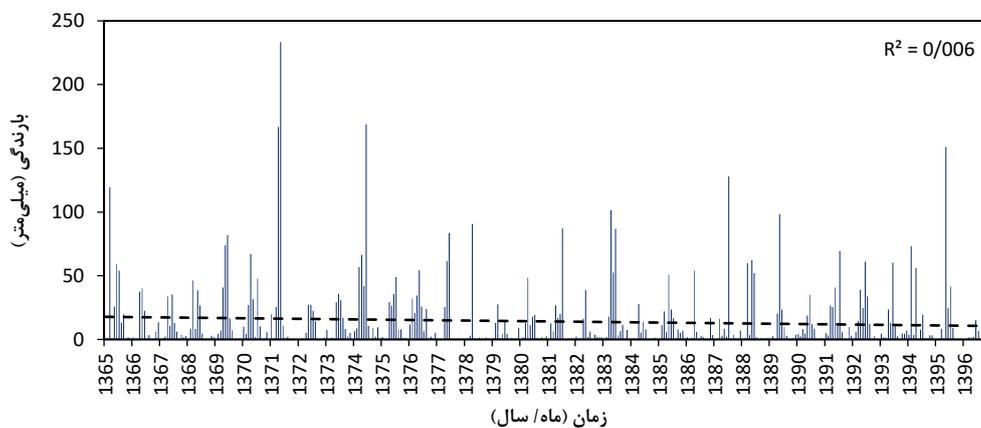
بررسی داده‌ها

سهم هر کدام از ایستگاه‌های باران‌سنجی در محاسبه میانگین بارندگی در سطح آبخوان با استفاده از روش تیسن محاسبه و در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار میانگین بارندگی دشت جیرفت در شکل ۳ الف نشان داده شده است. از این میانگین بارندگی برای محاسبه شاخص خشکسالی هواشناسی (SPI) استفاده شده است. داده‌های دبی رودخانه در ایستگاه حسین‌آباد نیز برای محاسبه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی (SDI) در نظر گرفته شدند. این داده‌ها نیز در شکل ۳ ب نشان داده شده‌اند. میانگین تراز سطح آب‌زیرزمینی آبخوان نیز با استفاده از روش تیسن محاسبه و در شکل ۳ ج نشان داده شده است. شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی (GRI) نیز با توجه به

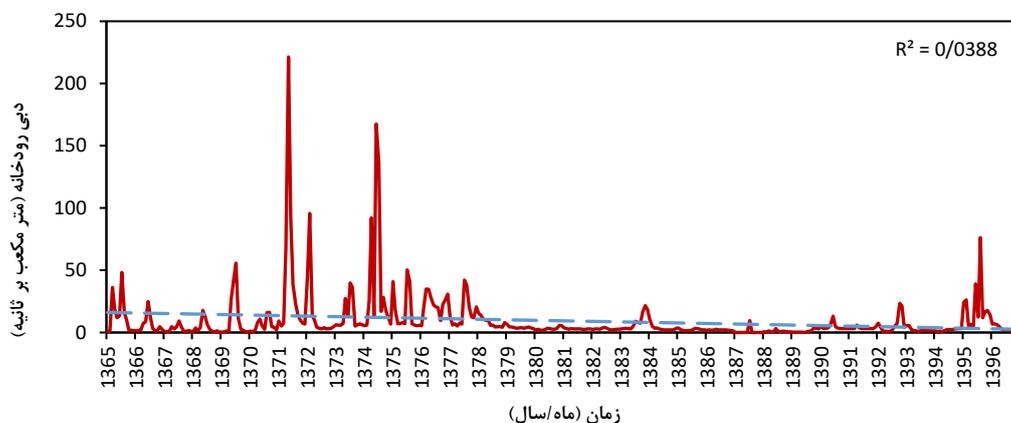
همین داده‌ها محاسبه شده است. شکل ۳ داده‌های ماهانه میانگین بارندگی، دبی رودخانه و میانگین تراز آب‌زیرزمینی در دوره آماری ۹۶-۱۳۶۵ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، میزان بارندگی روند خاصی را با گذشت زمان نشان نمی‌دهد. ضریب تعیین میزان بارندگی برابر با ۰/۰۰۶ است. مقدار ناچیز این ضریب، نشان می‌دهد که روند افزایشی یا کاهش‌ی خاصی در میانگین نزولات جوی در دشت جیرفت در دوره آماری مورد مطالعه وجود ندارد. دبی رودخانه هلیل‌رود و تراز آب‌زیرزمینی روندی کاهشی با گذشت زمان را نشان می‌دهند. این روند نزولی برای تراز آب‌زیرزمینی شدیدتر است. به طوری که میزان ضریب تعیین برای دبی رودخانه و تراز آب‌زیرزمینی به ترتیب برابر با ۰/۰۳۸ و ۰/۸۴ است.

جدول (۱): سهم ایستگاه‌های باران‌سنجی در محاسبه میانگین بارندگی در سطح آبخوان

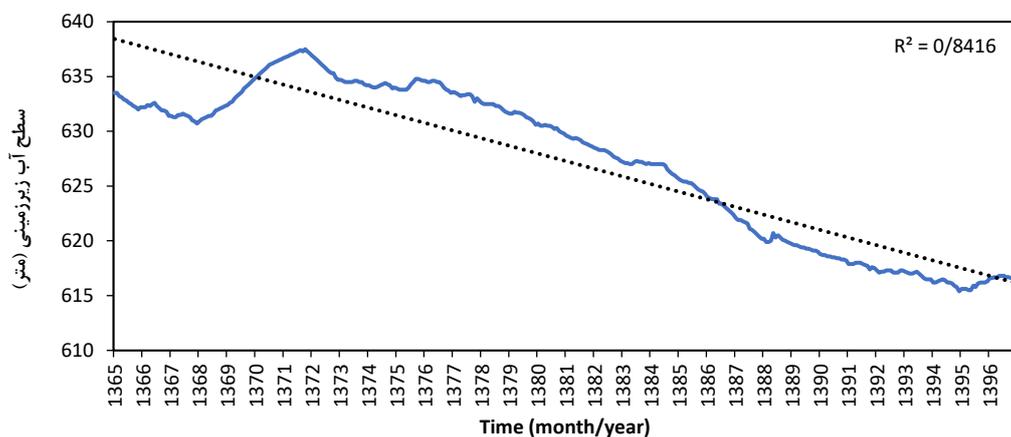
نام ایستگاه	جیرفت	چشمه شاه	حسین‌آباد	خرپشت	دشت کوچ	دهرود	کهنک شیبانی	میانده
سهم	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۱۸



الف



ب



ج

شکل (۳): تغییرات زمانی بارندگی (الف)، جریان آب سطحی (ب) و تراز سطح آب زیرزمینی (ج) در دشت جیرفت

شاخص‌های خشکسالی

شاخص‌های خشکسالی در مقیاس ماهانه

شاخص‌های خشکسالی هواشناسی (SPI) و هیدرولوژیکی (SDI) در مقیاس‌های مختلف زمانی محاسبه و همراه با شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی (GRI) در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. عدم تاثیرپذیری از خشکسالی‌های کوتاه‌مدت، ویژگی ذاتی آب‌زیرزمینی است. به همین دلیل انتظار می‌رود که خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی طولانی‌مدت بر آب‌زیرزمینی تاثیر بیشتری داشته باشند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با بیشتر شدن بازه زمانی محاسبه خشکسالی، وابستگی خشکسالی آب‌زیرزمینی به خشکسالی هیدرولوژیکی افزایش یافته است. روند تغییرات زمانی شاخص‌های خشکسالی نیز در

شکل ۴ ارائه شده است. برای این کار ضریب تعیین شاخص‌های خشکسالی با زمان در دوره آماری محاسبه شده است. شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی روندی نزولی را با گذشت زمان نشان می‌دهد ($R^2 = 0/85$). این موضوع موید افزایش شدت خشکسالی آب‌زیرزمینی با گذشت زمان است. با توجه به شکل ۴ شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی نیز روندی نزولی با گذشت زمان را نشان می‌دهند، اما آهنگ این روند نزولی مشابه با آهنگ تغییرات زمانی شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی نیست. نکته قابل توجه این است که با افزایش طول بازه زمانی محاسبه شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی، ضریب تعیین آن نیز تغییر می‌کند. در مورد شاخص خشکسالی هواشناسی ضریب تعیین نوسان زیادی را نشان می‌دهد. اما

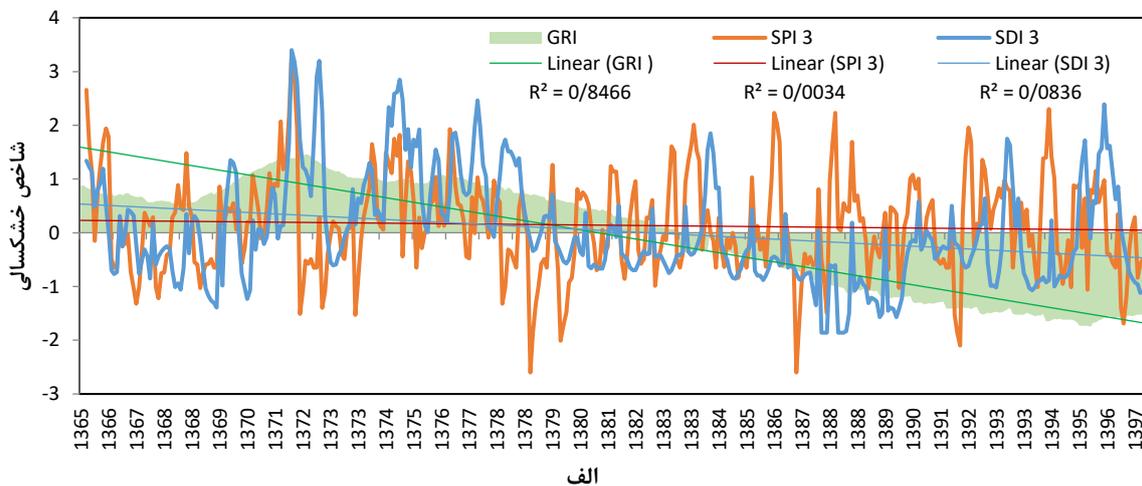


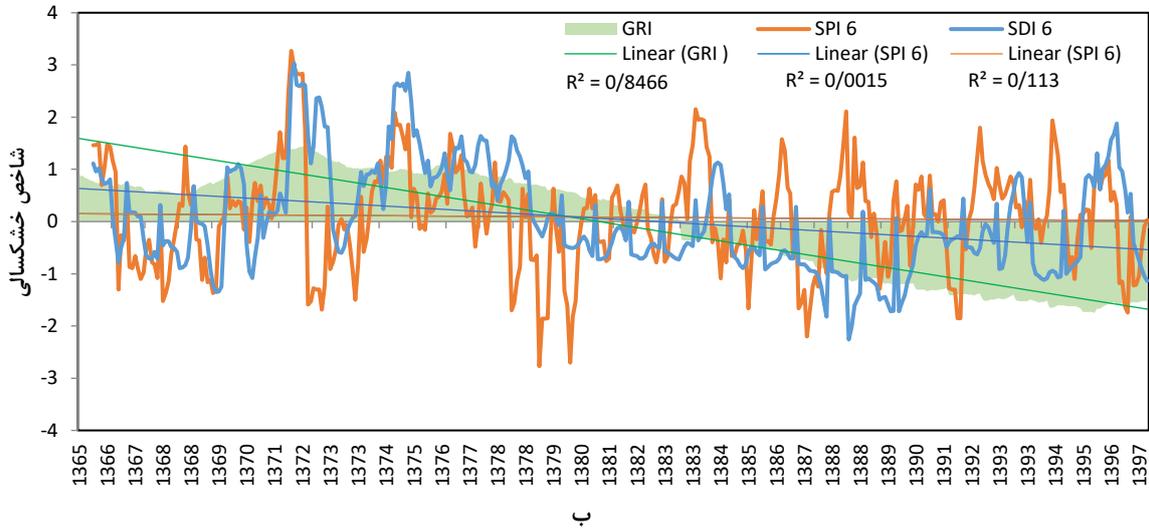
افزایش یافته اما میزان همبستگی شاخص SDI و GRI بیش از میزان همبستگی بین شاخص SPI و GRI است. این موضوع بیانگر این است که کاهش دبی رودخانه نقش بیشتری در وقوع خشکسالی آب‌زیرزمینی نسبت به کاهش بارندگی دارد. مطالعات قبلی (مانند Faryabi, 2025) نیز موید نقش مهم رودخانه هلیل‌رود در تغذیه آبخوان دشت جیرفت است. مطالعات Sanginabadi et al., 2019 در دشت قزوین نیز نشان داد که وابستگی خشکسالی آب‌زیرزمینی به خشکسالی هیدرولوژیکی بیشتر از خشکسالی هواشناسی است.

نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای شاخص‌های خشکسالی در شکل ۶ ارائه شده است. با توجه به این شکل، شاخص‌های خشکسالی از لحاظ تشابه رفتاری در سه گروه قرار گرفته‌اند. گروه یک شامل شاخص SPI یک، سه و شش‌ماهه است. شاخص‌های SPI نه، دوازده، هجده و بیست‌وچهار ماهه در گروه دوم قرار می‌گیرند. گروه سوم شامل شاخص GRI ماهانه، شاخص SDI در بازه‌های زمانی مختلف و شاخص SPI چهل‌وهشت ماهه است. از آنجایی که شاخص‌های خشکسالی هواشناسی با مقیاس‌های زمانی مختلف عمدتاً در گروه اول و دوم قرار گرفته‌اند، اما همه شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی همراه با شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی در گروه سوم، دسته‌بندی شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی هیدرولوژیکی (نسبت به خشکسالی هواشناسی) تاثیر بیشتری بر خشکسالی آب‌زیرزمینی دارد.

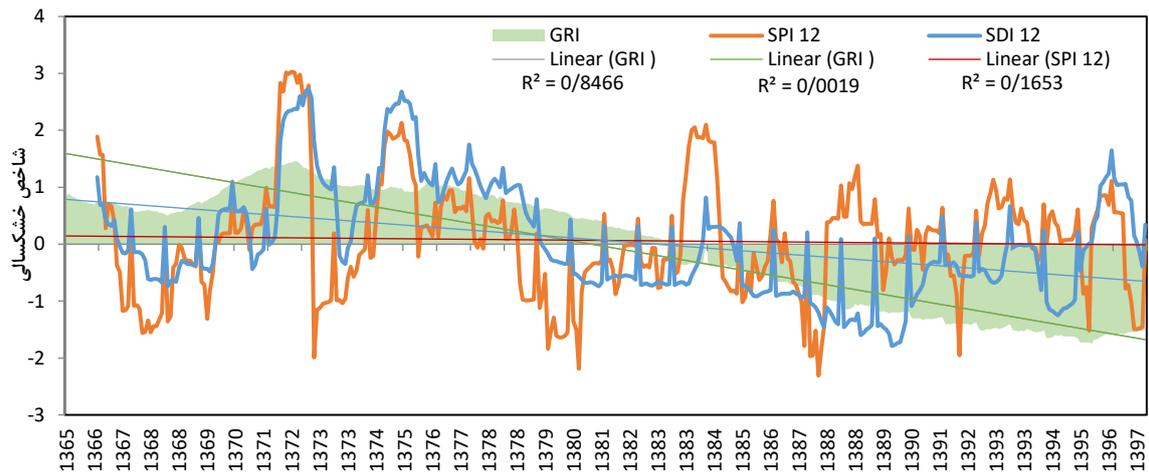
ضریب تعیین شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی با افزایش بازه زمانی محاسبه شاخص خشکسالی، افزایش می‌یابد، به‌طوریکه میزان این ضریب از ۰/۰۸۰۶ در دوره سه ماهه به ۰/۳۹۷۸ در دوره ۴۸ ماهه رسیده است (شکل ۴الف و ۵۴).

ضرایب همبستگی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و آب‌زیرزمینی در جدول ۲ ارائه شده‌اند. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، شاخص دبی استاندارد رودخانه (SDI) در بازه زمانی یک‌ماهه و سه‌ماهه بیشترین همبستگی را با شاخص بارش استاندارد (SPI) در بازه زمانی ۱۲ و ۴۸ ماهه دارد ($R > 0/5$). میزان همبستگی شاخص دبی استاندارد رودخانه (SDI) در بازه‌های زمانی ۶، ۹ و ۱۲ ماهه با شاخص بارش استاندارد (SPI) در بازه زمانی ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه نیز قابل توجه است. شاخص بارش استاندارد در دوره ۴۸ ماهه بیشترین میزان همبستگی را با شاخص دبی استاندارد رودخانه دارد. بنابراین می‌توان گفت با افزایش بازه زمانی محاسبه خشکسالی، همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی افزایش یافته است. بیشترین میزان همبستگی شاخص‌های SPI و SDI با شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی (GRI) نیز در بازه زمانی ۴۸ ماهه مشاهده شده است. شکل ۵ میزان ضریب همبستگی شاخص‌های SPI و SDI در بازه‌های زمانی مختلف و شاخص GRI را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش بازه زمانی محاسبه شاخص خشکسالی، ضریب همبستگی بین شاخص‌ها



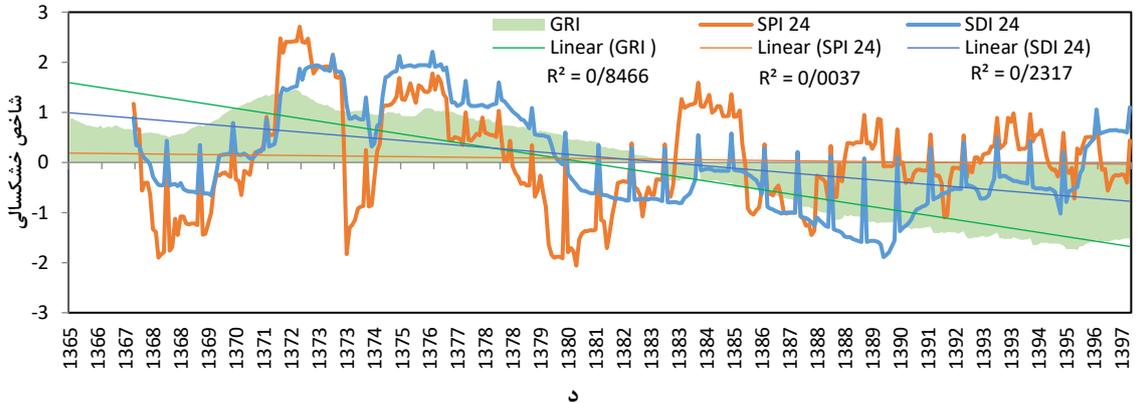


د

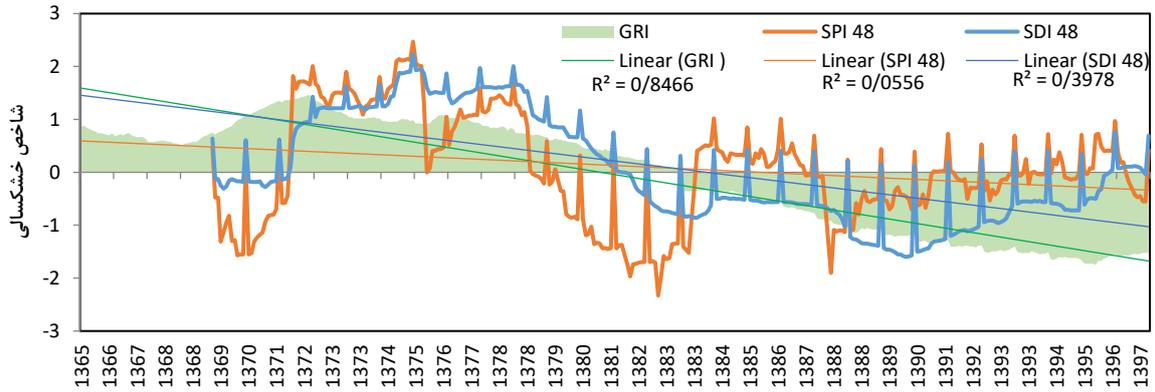


ه

شکل (۴): تغییرات زمانی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دوره سه‌ماهه (الف)، شش‌ماهه (ب)، دوازده‌ماهه (ج)، بیست و چهارماهه (د) و چهل و هشت‌ماهه (ه) و شاخص خشکسالی آب‌برزمینی ماهانه در دشت جیرفت



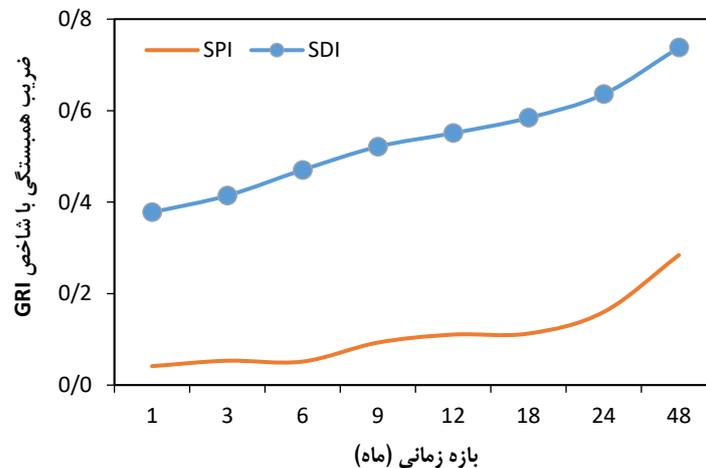
و



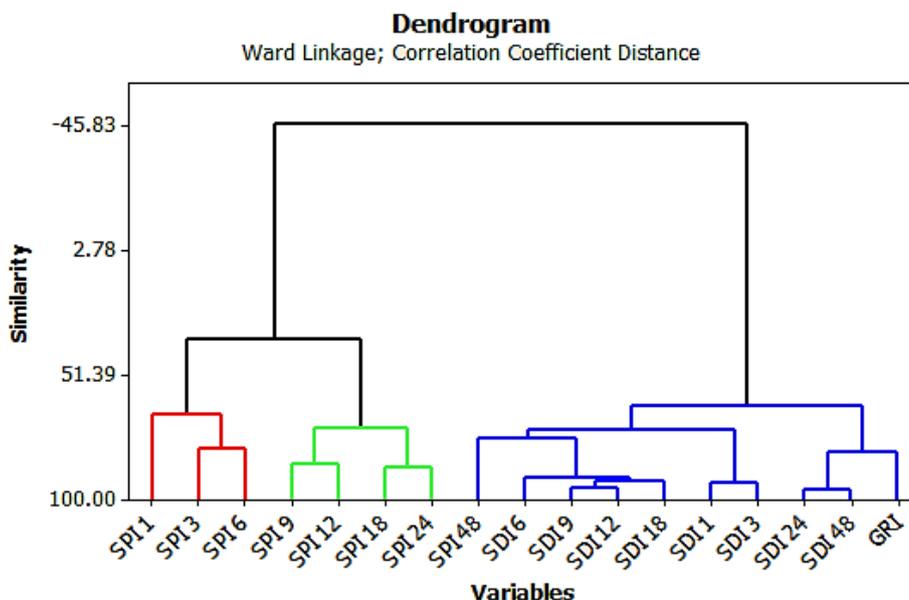
شکل (۴): ادامه، تغییرات زمانی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دوره سه‌ماهه (الف)، شش‌ماهه (ب)، دوازده‌ماهه (ج)، بیست و چهارماهه (د) و چهل و هشت‌ماهه (ه) و شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی ماهانه در دشت جیرفت

جدول (۲): ماتریس همبستگی شاخص‌های خشکسالی در دوره‌های زمانی مختلف

شاخص	SPI 1	SPI 3	SPI 6	SPI 9	SPI 12	SPI 18	SPI 24	SPI 48	SDI 1	SDI 3	SDI 6	SDI 9	SDI 12	SDI 18	SDI 24	SDI 48	GRI 1
SPI 1	۱																
SPI 3	۰/۴۹	۱															
SPI 6	۰/۳۲	۰/۵۹	۱														
SPI 9	۰/۳۱	۰/۴۷	۰/۶۹	۱													
SPI 12	۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۵۴	۰/۷۳	۱												
SPI 18	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۴۱	۰/۵۴	۰/۷۴	۱											
SPI 24	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۴۳	۰/۶۵	۰/۷۶	۱										
SPI 48	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۶۵	۱									
SDI 1	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۵۰	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۵۵	۱								
SDI 3	۰/۱۰	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۳۸	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۵۸	۰/۸۶	۱							
SDI 6	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۵۱	۰/۵۸	۰/۴۸	۰/۶۱	۰/۷۳	۰/۸۴	۱						
SDI 9	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۴۱	۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۶۴	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۸۸	۱					
SDI 12	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۲۷	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۶۶	۰/۷۳	۰/۸۳	۰/۹۰	۱				
SDI 18	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۳۱	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۶۴	۰/۶۰	۰/۶۶	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۸۸	۱			
SDI 24	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۵۶	۰/۷۰	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۷۱	۰/۷۸	۰/۹۰	۰/۹۰	۱		
SDI 48	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۳۴	۰/۶۴	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۹۲	۱	
GRI 1	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۶۴	۰/۷۴	۱



شکل (۵): ضریب همبستگی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی

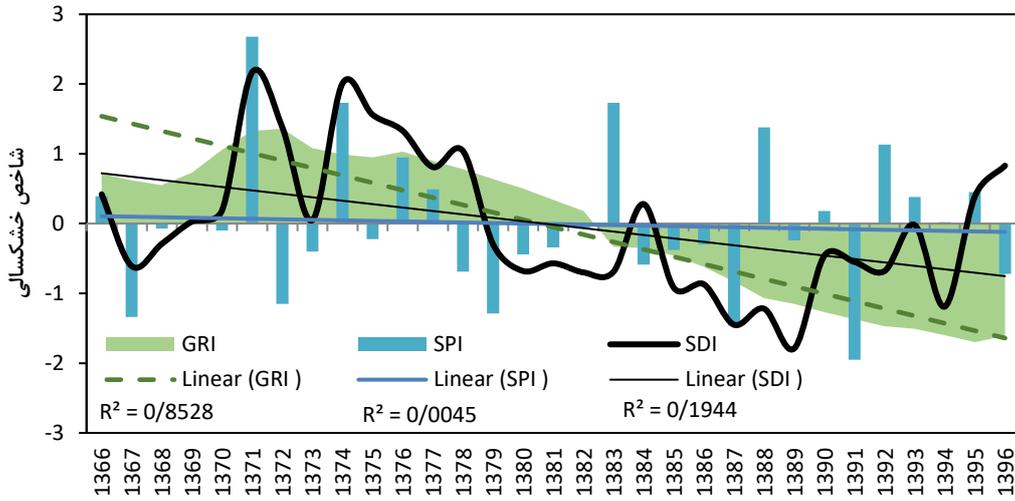


شکل (۶): نمودار درختی (دندروگرام) حاصل از آنالیز خوشه‌ای شاخص‌های خشکسالی

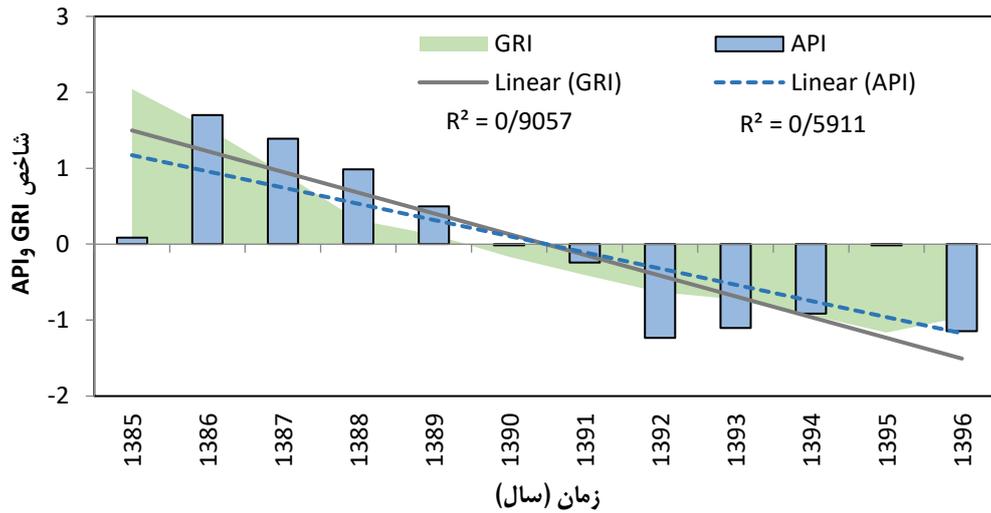
بهره‌برداری در فاصله سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ بررسی شده‌اند. شکل ۸ تغییرات زمانی شاخص استاندارد پمپاژ از آبخوان (API) و شاخص خشکسالی آب‌یرزمینی (GRI) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود انطباق خوبی بین روند تغییرات زمانی این دو شاخص وجود دارد. میزان ضریب روند تغییرات زمانی شاخص پمپاژ آبخوان و شاخص خشکسالی آب‌یرزمینی به ترتیب برابر با ۰/۵۹ و ۰/۹۱ است (شکل ۸). ضریب همبستگی بین این دو شاخص نیز ۰/۷۱ می‌باشد. با توجه به مطالب بالا می‌توان گفت که افزایش پمپاژ از آبخوان در سال‌های اخیر تأثیر بیشتری نسبت به کاهش دبی رودخانه در وقوع خشکسالی آب‌یرزمینی دارد. مطالعات Moghimi et al., 2017 و Bloomfield et al., 2019 نیز نشان‌دهنده تأثیر بیشتر بهره‌برداری از آبخوان در وقوع خشکسالی آب‌یرزمینی (نسبت به کاهش بارندگی و کاهش جریان آب‌های سطحی) است.

شاخص‌های خشکسالی در مقیاس سالانه

تغییرات سالانه شاخص‌های مختلف خشکسالی در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود خشکسالی هواشناسی در مقیاس سالانه روند خاصی را نشان نمی‌دهد ($R^2=0/045$). اما شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی و آب‌یرزمینی روندی نزولی را در مقیاس سالانه نشان می‌دهند. ضریب تعیین این شاخص‌ها به ترتیب برابر با ۰/۱۹ و ۰/۸۵ است. روند نزولی شدیدتر شاخص خشکسالی آب‌یرزمینی نسبت به شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی نشان می‌دهد که عامل دیگری علاوه بر کاهش دبی رودخانه بر روند نزولی سطح آب‌یرزمینی و شدت خشکسالی آب‌یرزمینی موثر است. عوامل انسانی مانند میزان برداشت یا پمپاژ آبخوان می‌تواند یکی از فاکتورهای موثر بر تشدید خشکسالی آب‌یرزمینی باشد. برای بررسی این موضوع داده‌های پمپاژ از چاه‌های



شکل (۷): تغییرات سالانه شاخص‌های خشکسالی



شکل (۸): تغییرات زمانی شاخص‌های API و GR

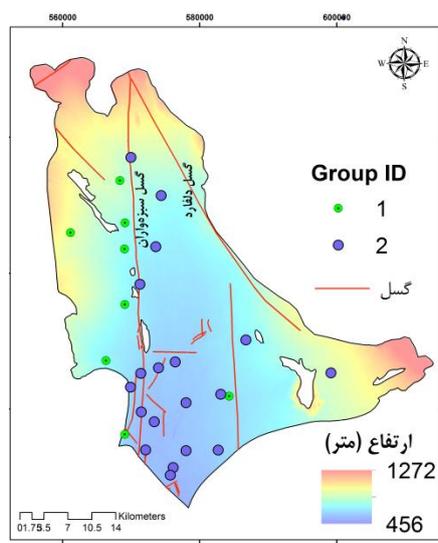
مشخص کرد. بر اساس این الگوها می‌توان چاه‌های مشاهده‌ای دشت جیرفت را از نظر وضعیت خشکسالی در دو گروه متفاوت قرار داد. توزیع مکانی چاه‌های مشاهده‌ای متعلق به این دو گروه در شکل ۹ ب و سری زمانی میانگین شاخص خشکسالی آب‌یرزمینی برای این دو گروه در شکل ۹ ج ارائه شده است. چاه‌های مشاهده‌ای گروه اول عمدتاً در بخش غربی دشت جیرفت واقع شده‌اند و شاخص خشکسالی آب‌یرزمینی مربوط به آن‌ها وضعیت متعادلی را با گذشت زمان نشان می‌دهد (شکل ۹ ج). چاه‌های مشاهده‌ای گروه دوم در بخش مرکزی و شرقی آبخوان قرار گرفته و شاخص خشکسالی آب‌یرزمینی برای آن‌ها روندی نزولی را نشان

تغییرات مکانی خشکسالی آب‌یرزمینی

برای تعیین الگوی مکانی خشکسالی آب‌یرزمینی، شاخص خشکسالی آب‌یرزمینی برای چاه‌های مشاهده‌ای محاسبه شده است. بررسی شاخص خشکسالی برای چاه‌های مشاهده‌ای مختلف نشان داد که رفتار زمانی خشکسالی آب‌یرزمینی در مناطق مختلف آبخوان متفاوت است. برای گروه‌بندی این رفتارهای مختلف از روش آنالیز خوشه‌ای استفاده شد. با توجه به نمودار درختی حاصل از آنالیز خوشه‌ای شاخص خشکسالی در محل چاه‌های مشاهده‌ای (شکل ۹ الف)، دو الگوی متفاوت در تغییرات زمانی شاخص خشکسالی در دشت جیرفت را می‌توان

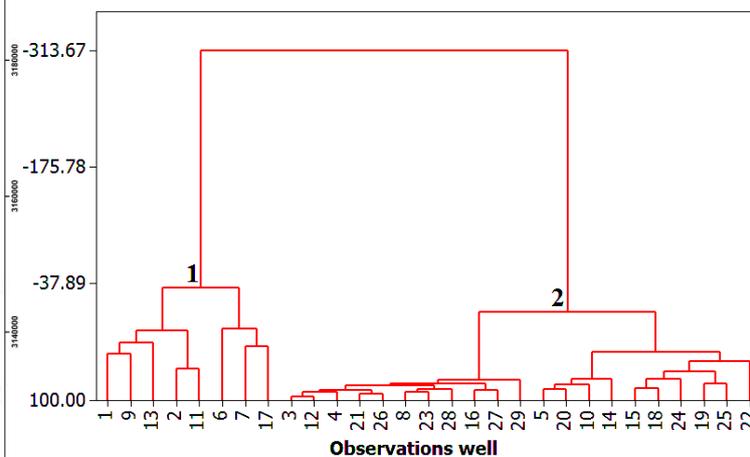
غربی و شرقی آبخوان می‌شود، تفاوت میزان پمپاژ آبخیززمینی است. دبی پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در سال ۱۳۹۱ توسط شرکت آب منطقه‌ای کرمان اندازه‌گیری شده است. بر اساس این داده‌ها، تغییرات مکانی میزان پمپاژ از آبخوان بررسی شده است (شکل ۵۹). همان‌طور که در شکل ۵۹ مشاهده می‌شود، میزان پمپاژ از آبخوان در بخش مرکزی و شرقی آن بیش از بخش غربی است. این موضوع باعث شده تا شدت خشکسالی آبخیززمینی در بخش مرکزی و شرقی دشت جیرفت افزایش یابد. شکل ۱۰ توزیع مکانی شاخص خشکسالی آبخیززمینی در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها نیز روند متفاوت تغییرات خشکسالی در بخش غربی دشت جیرفت و سایر بخش‌های آن مشخص است.

می‌دهد. این روند نزولی بیانگر افزایش شدت خشکسالی با گذشت زمان است. وضعیت هیدروژئولوژیکی متفاوت آبخوان باعث ایجاد این الگوهای متفاوت در روند زمانی شاخص خشکسالی آبخیززمینی شده است. با نگاهی به شکل ۹ مشخص می‌شود که گسل سبزه‌واران با راستای شمالی- جنوبی مرز بین دو گروه چاه‌های مشاهده‌ای را مشخص می‌کند. مطالعات Faryabi, 2025 نشان داده است که گسل سبزه‌واران مانند یک مانع هیدرولیکی عمل کرده و ارتباط آبخوان دشت جیرفت را با بخش غربی آن قطع کرده است. بنابراین وجود الگوهای متفاوت تغییرات زمانی خشکسالی در دو طرف گسل پذیرفتنی است. با فرض تغییرات کم بارندگی و جریان آب‌های سطحی در دشت جیرفت، عاملی که باعث تغییر وضعیت خشکسالی در بخش



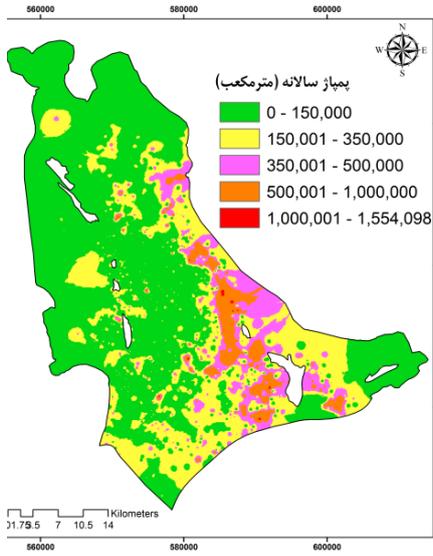
ب

Dendrogram
Ward Linkage; Euclidean Distance

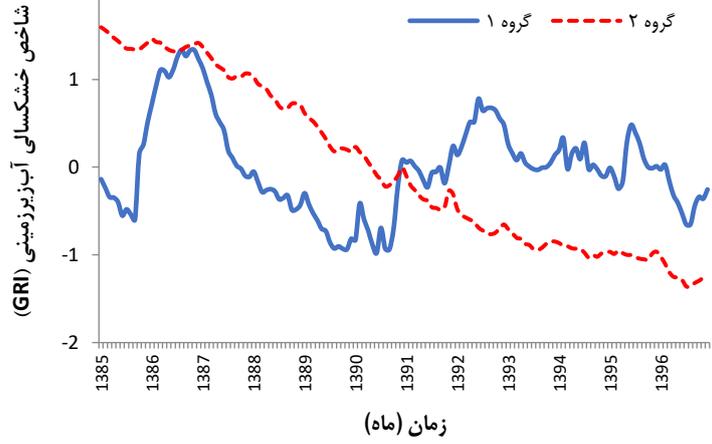


الف

شکل (۹): نمودار درختی حاصل از آنالیز خوشه‌ای شاخص GRI چاه‌های مشاهده‌ای (الف)، پراکندگی مکانی چاه‌های مشاهده‌ای (ب)، سری زمانی تغییرات شاخص GRI (ج) و الگوی مکانی پمپاژ از آبخوان (د)

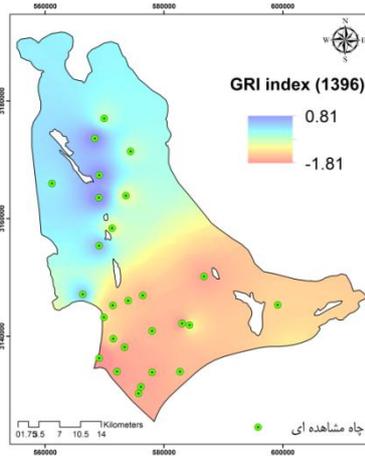


د

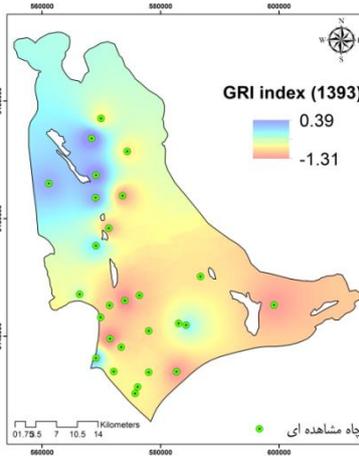


ج

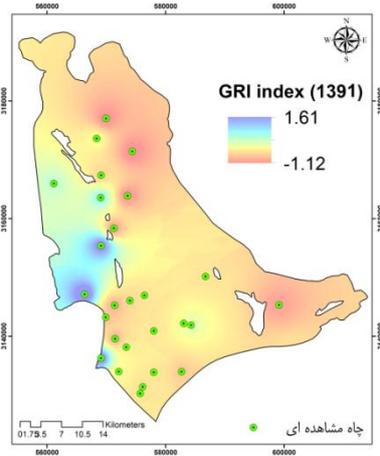
شکل (۹): ادامه، نمودار درختی حاصل از آنالیز خوشه‌ای شاخص GRI چاه‌های مشاهده‌ای (الف)، پراکنده‌گی مکانی چاه‌های مشاهده‌ای (ب)، سری زمانی تغییرات شاخص GRI (ج) و الگوی مکانی پمپاژ از آبخوان (د)



ج



ب



الف

شکل (۱۰): تغییرات مکانی شاخص خشکسالی آب‌بزمینی در سال‌های مختلف (الف تا ج)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق عوامل موثر بر وقوع خشکسالی آب‌زیرزمینی در دشت جیرفت مورد مطالعه قرار گرفتند. به این منظور شاخص‌های مختلفی از جمله شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و آب‌زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که خشکسالی هواشناسی روند زمانی خاصی را نشان نمی‌دهد، اما روند شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی و خشکسالی آب‌زیرزمینی یک روند کاهشی بوده و موید افزایش شدت خشکسالی در سال‌های اخیر است. مطالعه شاخص‌های خشکسالی نشان داد که با افزایش بازه زمانی محاسبه شاخص خشکسالی میزان همبستگی شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی افزایش می‌یابد، اما وابستگی شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی به شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی بیش از وابستگی آن به شاخص خشکسالی هواشناسی است. روند نزولی شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی نیز شدیدتر از روند نزولی شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی است. این موضوع بیانگر این است که عامل دیگری علاوه بر رودخانه، بر خشکسالی آب‌زیرزمینی موثر است. بررسی داده‌های پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری نشان داد که تغییرات زمانی برداشت از آبخوان رابطه نزدیکی با تغییرات زمانی شاخص خشکسالی آب‌زیرزمینی دارد.

سپاسگزاری

این مطالعه در قالب طرح پژوهشی به شماره ۳۹۸۰۴-۰۱-۰۳-۴۸۱۳ و با بهره‌مندی از اعتبارات پژوهشی دانشگاه جیرفت انجام شده است. از دانشگاه جیرفت جهت حمایت مالی این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

- آل‌بوعلی، ع.، قضاوی، ر.، ساداتی‌نژاد، س. ج.، ۱۴۰۱. بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI (مطالعه موردی: دشت کاشان). مهندسی اکوسیستم بیابان، سال پنجم، شماره ۱۰، ص ۲۲-۱۳.
- بیگنه، س.، اختصاصی، م.، ر.، فاریابی، م.، ۱۳۹۱. بررسی تاثیر خشکسالی بر منابع آب‌زیرزمینی دشت جیرفت با استفاده از شاخص GRI. نهمین کنفرانس علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه یزد.
- رمخواه، ه.، قهرمانی، ع.، فرارویی، ع.، رستمی راوری، ا.، ۱۴۰۱. ارزیابی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه زهره). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، سال دوم، شماره ۳، ص ۸۱-۵۸.



زینالی، ب.، فریدپور، م.، اصغری سراسکانرود، ص.، ۱۳۹۵. بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر ویژگی های کمی و کیفی آب های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مرند). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال هفتم، شماره ۱۴، ص ۱۷۷-۱۸۷.

سنگین آبادی، ح.، ثقفیان، ب.، دلاور، م.، ۱۳۹۸. پایش و ارزیابی ویژگی های خشکسالی آب زیرزمینی در آبخوان های با بیلان منفی. تحقیقات منابع آب ایران، سال پانزدهم، شماره ۳، ص ۱۶۶-۱۵۵.

شاکر سوره، ف.، اسدی، ا.، ۱۴۰۱. ارتباط بین خشکسالی های هواشناسی و هیدرولوژیکی در دشت سلماس. مهندسی اکوسیستم بیابان، سال هشتم، شماره ۲۲، ص ۸۹-۱۰۰.

شاهی دشت، ع.، عباس نژاد، ا.، ۱۳۸۹. ارزیابی اثرات زیست محیطی افت سطح آب های زیرزمینی در دشت زرنند و ارائه راهکارهای مدیریتی. پژوهش آب ایران، سال چهارم، شماره ۲، ص ۱۱۹-۱۲۴.

صداقت، م.، ۱۳۸۷. زمین و منابع آب (آب های زیرزمینی). انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. ۲۵۶ ص.

عادلی ساردوئی، م.، اسدی، ع.، کلانتری، خ.، براتی، ع.، ا.، خسروی، ح.، ۱۳۹۹. بررسی تغییرات کاربری اراضی دشت جیرفت در دوره حال و آینده (با نگاهی بر تناسب کاربری اراضی کشاورزی). مرتع و آبخیزداری، سال چهارم، شماره ۴، ص ۹۱۳-۸۹۳.

فاریابی، م.، ۱۴۰۴. بررسی رفتار هیدروژئولوژیکی گسل سبزوآران با استفاده از داده های سطح آب زیرزمینی، پارامترهای کیفی و ایزوتوپ های محیطی (^{14}C و ^3H ، ^{18}O). مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال سوم، شماره ۱، ص ۱۲۲-۱۰۷.

فاریابی، م.، مظفری زاده، ج.، ۱۳۹۶. شاخص مدیریت خشکسالی هیدروژئولوژیکی (HDMI) به عنوان روشی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی، مطالعه موردی: دشت دیر-آبدان، استان بوشهر. اکوهیدرولوژی، سال پنجم، شماره ۳، ص ۷۴۸-۷۳۷.

مقیم، ه.، اخچی، ب.، بابایی، ا.، ۱۳۹۶. ارزیابی اثرات خشکسالی (هواشناسی) بر تغییرات سطح ایستابی (مطالعه موردی: دشت بیجار، استان کردستان). دهمین همایش ملی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، دانشگاه پیام نور تبریز.

میراکبری، م.، مرتضایی فریزهندی، ق.، محسنی ساروی، م.، ۱۳۹۷. بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی توسط شاخص های SPI، SPEI، SDI و GRI. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوازدهم، شماره ۴۲، ص ۸۰-۷۰.

Balacco, G. Alfio, M.R., Fidelibus, M.D., 2022. Groundwater drought analysis under data scarcity: the case of the Salento aquifer (Italy). Sustainability, 14: 707.

Bloomfield, J. P., Marchant, B. P., McKenzie, A. A., 2019. Changes in groundwater drought associated with anthropogenic warming, Hydrology and Earth System Science, 23: 1393-1408.

Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference of Applied Climatology, Anaheim.

Mendicino, G., Senatore, A., Versace, P. A., 2008. Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. Journal of Hydrology, 357: 282-302.

Moghimi, H., Akhchi, B., Babaei, A., 2017. Evaluation of the effects of drought (meteorological) on water table changes (case study: Bijar Plain, Kurdistan Province). 10th National Conference of Geology of Payam Noor University, Tabriz.

Wilhite, D. A., Glantz, M. H., 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water International, 10: 111-120.

Yang, J., Ye, M., Tang, Z., Jiao, T., Song, X., Pei, Y. Liu, H., 2020. Using cluster analysis for understanding spatial and temporal patterns and controlling factors of groundwater geochemistry in a regional aquifer. Journal of Hydrology, doi:10.1016/j.jhydrol.2020.124594