Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Monitoring groundwater level network of Dezful-Andimeshk Plain

Atefeh Sayadi Shahraki[1], Fahimeh Sayadi Shahraki [2]*, Shaghayegh Bakhtiari Chehelcheshmeh [3]

[1] Ph.D., Department of Soil and Water Research, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran

Extended Abstract

Introduction

Preservation and proper management of water resources are one of the essential fields of study in the world. In arid and semi-arid regions like Iran, quantitative and qualitative management of underground water resources is particularly important. In most hydrological issues and groundwater resources studies, groundwater statistics and information availability are critical. To collect information without side effects, comprehensive and sufficient data collection with the help of a groundwater monitoring network is very important. In line with the sustainable management of renewable water resources, the need for a network of underground water observation (monitoring) wells to accurately measure the water level is necessary and necessary. Considering the complexities of the underground water environment and the high costs of conventional monitoring methods, inventing new technologies and using advanced methods in this matter will significantly help improve the underground water systems. One of the parameters of particular importance in monitoring groundwater quantity is the groundwater level. Therefore, this parameter should be measured or estimated as accurately as possible. In recent decades, the use of computer and calculation models to monitor the level of underground water has developed significantly. Considering the importance of underground water resources and network monitoring, to save time and money, in this research, principal component analysis and Shannon's entropy theory were used to monitor the underground water network of the Dezful-Andimeshk Plain.

Materials and Methods

This research used monthly groundwater level information from 77 observation wells in the Dezful-Andimeshk Plain during 2018-2019. Groundwater level information is collected twice a month. Principal component analysis and Shannon entropy methods were used for monitoring. In the current research, the number of statistical periods for each well is 24, less than the total number of observation wells. Twenty-four observation wells around it were used to monitor each well. In groundwater level monitoring, the relative importance of each well is defined by the ratio of the number of times that well is recognized as a compelling well to the number of times that well is included in the analysis of the main components. This ratio shows the importance of each well compared to other wells. Therefore, to save time and costs, less important wells can be removed in the monitoring of the underground water level. In 1948, Shannon showed that events with a high probability of occurrence show less information, and on the contrary, the lower the probability of an event, the more information it provides. In this method, the weight of each well was obtained using Shannon's entropy theory. Any well that has a higher Shannon entropy weight contains more important and unpredictable information and should be preserved. On the contrary, a well that has a lower Shannon entropy weight can be removed from the network. Principal component analysis and Shannon's entropy method in the current research were done with the help of coding in Matlab software due to the high volume of calculations.

Results and Discussion

To rank the wells, the threshold limits are equal to zero, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 and one considered. At threshold one, only wells that have a rank of one remain (wells that are recognized as effective wells in all analyses) and threshold zero includes all wells (effective and ineffective). According to the obtained results, increasing the error in the threshold zero to 0.7 is gradual, but in the thresholds 0.8, 0.9, and one, the error value increases with a high slope. So, the amount of error in the thresholds of 0.7, 0.8, 0.9, and 1 has been calculated as 12.2, 17.7, 25.3 and 34.2 respectively. Therefore, the threshold limit in the current research is

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

considered to be 0.7. However, the number of wells effective in monitoring the underground water level is reduced from 77 to 32. Shannon's entropy weight values were also calculated for all wells. Eleven wells have the highest value of Shannon's entropy weight, which shows that they contain the most information.

Conclusion

The general comparison of the results of the two methods showed that all 11 wells with the highest weight in the Shannon entropy method were also observed as effective wells in the principal component analysis method. By knowing the effective wells in the region, firstly, in the face of lack of time and money, it is possible to use known effective wells for monitoring secondly, by removing ineffective wells, there will be little change in the average level of underground water. It is not possible, or in other words, the tracking error does not increase significantly. Comparing the results of the two methods showed that the remaining wells in Shannon's entropy theory are among the wells identified in the principal component analysis method. Also, considering that the wells in the region were built by the Khuzestan Water and Electricity Organization considering the types of uses, removing the ineffective wells will not affect the process of using the information of the wells. It is recommended to use principal component analysis and Shannon entropy for groundwater quality monitoring in the study area. Additionally, it is suggested to monitor the quality of the underground water network in the study area using the methods used in future research.

Keywords: Groundwater, Monitoring, Modeling, Principal component analysis, Shannon's entropy

Article Type: Case study

Acknowledgement

We thank two anonymous reviewers and Editor-in-Cheif of this journal for their helpful comments and suggestions.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement:

All information and results are presented in the text of the paper.

Authors' contribution

Atefeh Sayadi Shahraki: Writing-original draft preparation, Resources, Software, Statistical analysis; **Fahimeh Sayadi Shahraki:** Control the results, Editing; **Shaghayegh Bakhtiari Chahelcheshmeh:** Supervision, Editing.

*Corresponding Author, E-mail: fahimeh.Sayadi@iauqods.ac.ir

Citation: Sayadi Shahraki, A., Sayadi Shahraki, F., & Bakhtiari Chehelcheshmeh, Sh. (2024). Monitoring groundwater level network of Dezful-Andimeshk Plain. *Water and Soil Management and Modeling*, *4*(1), 326-337.
DOI: 10.22098/mmws.2023.12414.1239

Received: 25 February 2023, Received in revised form: 28 March 2023, Accepted: 29 March 2023, Published online: 29 March 2023
Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 1, pp. 326-337

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

پایش شبکهٔ تراز آب زیرزمینی دشت دزفول-اندیمشک

عاطفه صیادی شهرکی[۱]، فهیمه صیادی شهرکی[۲*]، شقایق بختیاری چهل چشمه[۳]

[۱] دکتری، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

[۲] استادیار، گروه مهندسی برق، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۳] استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

چکیده

در برخی از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، مدیریت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در بیش‌تر مسائل هیدرولوژیکی و مطالعات منابع آب زیرزمینی، در دسترس بودن آمار و اطلاعات آب زیرزمینی اهمیت بسیاری دارد. عدم شناخت صحیح و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، باعث خسارات جبران ناپذیری به این منابع از نقطه نظر کمی و کیفی شده است. در راستای مدیریت پایدار منابع آب تجدیدپذیر، نیاز به یک شبکهٔ چاه‌های مشاهداتی (پایش) آب زیرزمینی به‌منظور اندازه‌گیری سطح آب به‌طور دقیق، لازم و ضروری است. هدف از پژوهش حاضر، طراحی شبکهٔ پایش تراز آب زیرزمینی دشت دزفول-اندیمشک با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تئوری آنتروپی شانون است. بدین‌منظور، اطلاعات تراز آب زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه طی دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ به‌صورت ماهانه از ۷۷ چاه مشاهده‌ای جمع‌آوری شد. برای تمامی چاه‌ها، تحلیل مؤلفه‌های اصلی انجام و اهمیت نسبی هر چاه (نسبت دفعات مؤثر بودن به دفعات شرکت در تحلیل) و خطای پایش به ازای حدود آستانهٔ ۰/۱، ۰/۲، غیره و ۱ محاسبه شد. هم‌چنین، مقادیر وزن آنتروپی شانون هم برای تمامی چاه‌ها محاسبه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با در نظر گرفتن حد آستانهٔ بهینه (۰/۷)، تعداد چاه‌های مشاهداتی باقی‌مانده ۳۳ و در تئوری آنتروپی شانون، تعداد چاه‌های باقی‌مانده که بیش‌ترین وزن را دارا بودند، ۱۱ چاه، به‌دست آمد. هم‌چنین، مقایسهٔ نتایج دو روش به‌کاربرده شده نشان داد که چاه‌های باقی‌مانده در تئوری آنتروپی شانون، جزو چاه‌های شناسایی شده در روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. بنابراین، استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و آنتروپی شانون برای پایش شبکهٔ آب زیرزمینی مناسب است. در نهایت، پیشنهاد می‌شود برای ارزیابی دقیق‌تر، این روش‌ها با سایر روش‌های بهینه‌سازی و زمین‌آماری مقایسه شود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آنتروپی شانون، پایش، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مدل‌سازی

نوع مقاله: مطالعه موردی

[*] مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fahimeh.Sayadi@iauqods.ac.ir

استناد: صیادی شهرکی، عاطفه، صیادی شهرکی، فهمیه، و بختیاری چهل‌چشمه، شقایق (۱۴۰۳). پایش شبکهٔ تراز آب زیرزمینی دشت دزفول-اندیمشک. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۱)، ۳۲۶-۳۳۷.
DOI: 10.22098/mmws.2023.12414.1239

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۰۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲//۰۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۰۹
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۱، صفحه ۳۲۶ تا ۳۳۷
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

حفظ و حراست صحیح منابع آب، یکی از زمینه‌های مطالعاتی مهم در سطح جهان به‌شمار می‌آید. در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، مدیریت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای برداشت اطلاعات بدون اثرات جانبی (کمبود تعداد مکان‌های پایش، برداشت اطلاعات از مکان‌های نامناسب،کمبود تعداد دوره‌های آماری برداشت داده و غیره)، جمع‌آوری جامع و کافی داده‌ها به کمک شبکهٔ پایش آب زیرزمینی بسیار مهم است. در راستای مدیریت پایدار منابع آب تجدیدپذیر، نیاز به یک شبکهٔ چاه‌های مشاهداتی (پایش) آب زیرزمینی به‌منظور اندازه‌گیری سطح آب به‌طور دقیق، لازم و ضروری است. پایش فرآیندی نظارتی با طرحی علمی و پویا بر مبنای مشاهده، اندازه‌گیری، نمونه‌برداری و ارزیابی نتایج و بحث آن است (Anonymous, 2013). شبکهٔ پایش کمی آب زیرزمینی شامل تعدادی چاه مشاهداتی برای اندازه‌گیری کمی آب زیرزمینی به‌صورت دوره‌ای و منظم است. در طراحی این شبکه‌ها عواملی مانند گسترهٔ شبکه، وضعیت زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی، اهداف ایجاد شبکه و محدودیت‌های مالی مؤثر هستند. هزینه‌های نصب و نگهداری مربوط به قرائت سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهداتی متناسب با تعداد چاه‌های موجود در شبکه می‌باشند. طراحی یک شبکهٔ پایش آب زیرزمینی را می‌توان به‌وسیلهٔ روش‌های متعددی انجام داد. انتخاب روش مناسب شامل معیارهای بی‌شماری بوده که مهم‌ترین آن‌ها، اهداف ویژهٔ منطقهٔ مورد مطالعه و مقدار و نوع داده‌های در دسترس را شامل می‌شود.

با توجه به پیچیدگی‌های محیط آب زیرزمینی و هزینه‌های قابل‌توجه روش‌های مرسوم پایش، ابداع فن‌آوری‌های نو و بهره‌گیری از روش‌های پیشرفته یا مدل‌ها در این امر کمک شایانی در بهبود سامانه‌های آب زیرزمینی خواهد نمود. یکی از پارامترهایی که در پایش کمی آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، تراز آب زیرزمینی است. لذا باید این پارامتر را تا حد امکان با دقت بالایی اندازه‌گیری یا تخمین زد. در دهه‌های اخیر، استفاده از مدل‌های کامپیوتری و محاسباتی به‌منظور پایش تراز آب زیرزمینی توسعهٔ چشم‌گیری یافته است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal component analysis) یک روش بهینهٔ ریاضی برای کاهش حجم داده‌ها و تبدیل متغیرهای اولیه به چند مؤلفهٔ محدود است (Jolliffe, 2002). در این روش، با توجه به ساختار داده‌ها، عوامل ایجاد تغییرات که مؤلفه‌های اصلی یا نهان نامیده می‌شوند، شناسایی می‌شود (Pearson, 1901). هم‌چنین، تئوری آنتروپی شانون یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای محاسبهٔ وزن معیارها است. در این روش، وزن هر شاخص، اهمیت نسبی آن را نسبت به شاخص‌های دیگر بیان می‌کند (Maryanaji and Ramezani, 2020). بنابراین، پس از شناسایی مؤلفه‌هایی که بیش‌ترین تغییرات واریانس را ایجاد می‌کنند، می‌توان متغیرهای دارای ضریب همبستگی بالا را با مؤلفه‌های اصلی استخراج کرد.

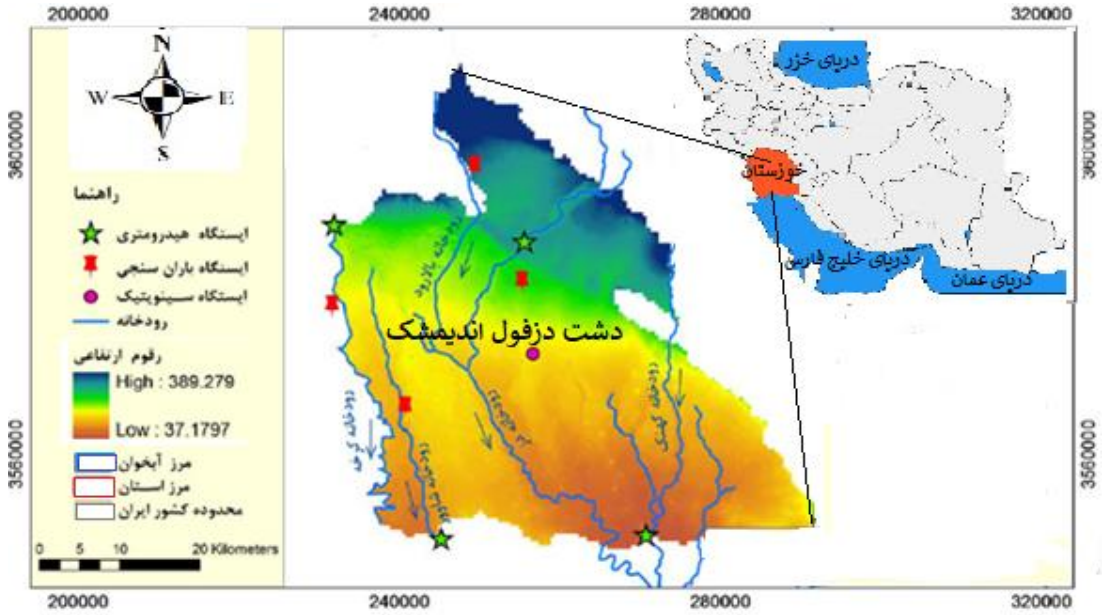
در پژوهشی، Jung et al. (2016) از تحلیل مؤلفهٔ اصلی برای تفسیر تغییرات و عوامل مؤثر در تغییرات سطح آب زیرزمینی جزیرهٔ ججو در کرهٔ جنوبی، استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که دو مؤلفهٔ اصلی ۷۱ تا ۸۴ درصد از واریانس داده‌های سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهند که شامل بازه‌های زمانی اندازه‌گیری (ماه: ۸۳/۶ درصد، روز: ۷۸/۵ درصد، ساعت ۷۱/۳ درصد) و نوسانات سطح آب زیرزمینی بر اساس داده‌های ماهانه (۵۳/۸ درصد) است. از طرفی، تحلیل مؤلفهٔ اصلی ابزاری مفید برای خلاصه کردن و پایش سری داده‌های آب زیرزمینی است. در پژوهش دیگری، Li et al. (2019) با استفاده از درون‌یابی چندمتغیره و آنتروپی انتقال اطلاعات به بهینه کردن شبکهٔ باران‌سنج Megaung پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که با استفاده از آنتروپی انتقال اطلاعات تعداد باران‌سنج‌ها از ۵۷ به ۴۰ کاهش یافته است. در دشت گناباد نیز Rahnama et al. (2021) به‌منظور پایش شبکهٔ کیفی آب زیرزمینی از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند. برای این مطالعه، از اطلاعات ۲۲ حلقهٔ چاه طی دورهٔ آماری ۱۰ ساله استفاده نمودند. چاه‌های مؤثر در آبخوان این دشت با استفاده از محاسبهٔ اهمیت نسبی هر چاه مشخص شده است. اهمیت نسبی هر چاه بین صفر (برای چاه کاملاً بی‌اثر) تا یک (برای چاه های بسیار مؤثر) بوده است. نتایج این پژوهش نشان داد که از بین ۲۲ حلقهٔ چاه در منطقهٔ مورد مطالعه، هفت حلقهٔ چاه به‌عنوان کیفیت مؤثر شناخته شدند. در ادامه، Nouri Gheydari (2014) چاهک‌های مؤثر در تعیین تراز آب زیرزمینی دشت قیدار استان زنجان را با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی شناسایی کرد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که با حذف چاهک‌هایی که اهمیت نسبی آن‌ها کم‌تر از ۰/۵ است، ضریب تغییرات آب زیرزمینی نسبت به موقعی که از کل چاهک‌ها استفاده می‌شود، تغییر چندانی نمی‌کند. هم‌چنین، Hooshangi et al. (2016) تعداد بهینهٔ چاهک‌های پیزومتری برای تخمین سطح آب‌های زیرزمینی در آبخوان دشت تبریز تعیین کردند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که برای تخمین سطح آب زیرزمینی در این آبخوان از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و با فرض این‌که خطای حد آستانه از مقدار ۱۱ درصد بیش‌تر نشود، ۳۰ چاهک حذف می‌شود.

از سایر پژوهش‌ها، Sayadi Shahraki et al. (2021) از تحلیل مؤلفه‌های اصلی به‌منظور طراحی شبکهٔ پایش سطح آب زیرزمینی کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی استان خوزستان استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با در نظر گرفتن حد آستانهٔ ۰/۸، تعداد چاه‌ها از ۱۶۰ به ۳۳ چاه تقلیل می‌یابد؛ ضمن آن‌که مقدار خطای پایش افزایش چندانی نداشت. هم‌چنین، Khashei Siuki et al. (2021) با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تئوری آنتروپی به طراحی شبکهٔ پایش کروم آبخوان دشت بیرجند پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که از بین ۲۵ چاه موجود، ۱۵ چاه را می‌توان به‌عنوان چاه شاخص کروم آب زیرزمینی معرفی نمود. در نهایت، Rajaee et al. (2021) به بهینه‌سازی توزیع مکانی ایستگاه‌های نمونه‌برداری کیفیت آب سیستم رودخانه‌ای با استفاده از تئوری آنتروپی اطلاعات در حوضهٔ آبریز لواسانات و تهران–کرج پرداختند. آن‌ها ابتدا از تئوری آنتروپی برای ترسیم نمودار فاصلهٔ بین ایستگاه‌ها و مقدار انتقال اطلاعات و سپس از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و با توجه به مصارف آب برای کشاورزی و شرب، برای تعیین وزن متغیرها استفاده کردند. نتایج کارایی مطلوب رویکرد استفاده شده در بهینه کردن تعداد و پراکندگی ایستگاه‌های پایش کمی و کیفی آشکار نمود. با توجه به بررسی مطالعات صورت گرفته، مقایسهٔ روش‌های مختلف به‌منظور پایش کمی شبکهٔ آب زیرزمینی، بسیار اندک انجام شده و بیش‌تر پژوهش‌ها در خصوص پایش شبکهٔ کیفی آب زیرزمینی می‌باشند. بنابراین، با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی و پایش شبکهٔ کمی آب زیرزمینی، به‌منظور صرفه‌جویی در وقت و هزینه، در این پژوهش با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تئوری آنتروپی شانون با هدف پایش شبکهٔ آب زیرزمینی دشت دزفول–اندیمشک استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

دشت دزفول–اندیمشک وسیع‌ترین دشت در حوضهٔ آبریز دز و از دشت‌های وسیع استان خوزستان است که با وسعت ۲۰۷۳ کیلومترمربع، واقع در مختصات جغرافیایی ´۵۱ °۳۱ تا ´۳۵ °۳۳ عرض شمالی و ´۵۰ °۴۵ تا ´۱۴ °۴۸ طول شرقی از مناطق کوهستانی شمال استان تا مناطق کم ارتفاع مرکز استان را شامل می‌شود. در آبخوان دشت دزفول–اندیمشک برخلاف اکثر دشت‌های ایران، حداکثر تراز سطح آب زیرزمینی در ماه‌های مهر و آبان و حداقل تراز در ماه‌های بهمن و اسفند مشاهده می‌شود. کاربری غالب این دشت کشاورزی است و بیش از ۹۰ درصد آب کشاورزی دشت از شبکهٔ آبیاری پایین‌دست سد دز تأمین می‌شود. با توجه به اقلیم نیمه‌خشک منطقه (بر اساس روش دومارتن و با توجه به مقادیر بارش و دما)، محصولات کشاورزی در تمام فصول سال کشت می‌شوند. حداکثر میانگین دمای سالانهٔ شهرستان دزفول و اندیمشک ۳۲ درجهٔ سانتی‌گراد در تیرماه و حداقل دمای سالانهٔ آن‌ها به‌ترتیب ۱۵ تا ۱۶/۲ درجهٔ سانتی‌گراد در دی‌ماه است. بارش‌های سالانه حدود ۳۰۰ میلی‌متر که حداقل آن در دی‌ماه (صفر میلی‌متر) و حداکثر آن در آذرماه (۱۳۷/۱) است. تبخیر سالانه در این منطقه برابر ۲۴۷۰ میلی‌متر است (Hoseini Zadeh et al., 2017). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

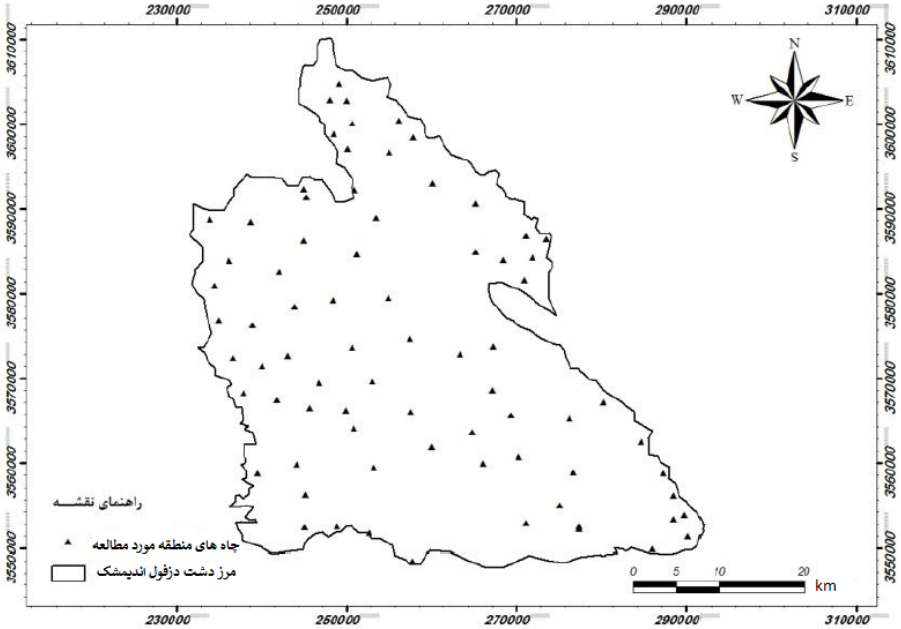


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت دزفول- اندیمشک واقع در استان خوزستان

Figure 1- Geographical location of Dezful-Andimeshk Plain located in Khuzestan province

۲-۲- چاه‌های مشاهده‌ای منطقهٔ مورد مطالعه

در این پژوهش از اطلاعات ماهانهٔ تراز آب زیرزمینی ۷۷ چاه مشاهده‌ای در دشت دزفول-اندیمشک طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۶ استفاده شد. شکل ۲ پراکنش چاه‌ها و جدول ۱ موقعیت چاه‌ها را در منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲- پراکنش چاه‌های مشاهده‌ای در منطقهٔ مورد مطالعه

Figure 2- The distribution of observation wells in the study area

جدول ۱- موقعیت چاه‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه

Table 1- Location of wells in the study area

شمارهٔ چاه	utmx	utmy	شماره چاه	utmx	utmy	شمارهٔ چاه	utmx	utmy
1	265817	3555361	27	257713	3577633	53	246034	3555519
2	245641	3560488	28	269641	3590366	54	255614	3553552
3	270346	3560557	29	257108	3569376	55	252284	3591518
4	247017	3583716	30	238530	3580324	56	265817	3555361
5	245051	3592348	31	270073	3563039	57	245641	3560488
6	244996	3589768	32	267201	3560379	58	270346	560577
7	245051	3592348	33	248051	3602887	59	259760	3556201
8	263518	3568459	34	271968	3587409	60	247017	3583716
9	254033	3586127	35	251957	3571086	61	244996	3589778
10	249468	3591351	36	257703	3588719	62	245051	3592348
11	258624	3590435	37	264110	3555475	63	244996	3589768
12	258226	3594688	38	264006	3565732	64	245051	3592348
13	258624	3590435	39	242986	3558598	65	263518	3568459
14	256968	3593003	40	244233	3578403	66	267205	3562108
15	258226	3594688	41	256288	3599508	67	237770	3559775
16	256968	3593003	42	253647	3600979	68	290390	3578519
17	258226	3594688	43	254411	3595745	69	254033	3553736
18	251158	3564431	44	256288	3599508	70	241479	3586127
19	253834	3559221	45	248926	3599807	71	233190	3567101
20	270007	3547758	46	253647	3600979	72	249468	3589206
21	265333	3545646	47	243327	3572859	73	268624	3591351
22	256810	3548882	48	257400	3581107	74	239926	3566726
23	247350	3577242	49	247956	3551966	75	241814	3452589
24	251218	3587916	50	249368	3596603	76	2457852	3556672
25	246137	3565745	51	269613	3580826	77	2684594	3556746
26	263818	3558870	52	266648	3582342			

۲-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

تحلیل مؤلفه‌های اصلی یک روش بهینهٔ ریاضی برای کاهش حجم داده‌ها و تبدیل متغیرهای اولیه به چند مؤلفهٔ محدود است (Jolliffe, 2002). در این روش، با توجه به ساختار داده‌ها، عوامل ایجاد تغییرات که به مؤلفه‌های اصلی یا نهان معروف است، شناسایی می‌شود (Pearson, 1901). به این ترتیب می‌توان پس از شناسایی مؤلفه‌هایی که بیش‌ترین تغییرات واریانس را ایجاد می‌کنند، متغیرهایی را که بالاترین ضریب همبستگی را با مؤلفه‌های اصلی دارند، استخراج کرد. این روش تبدیلی در فضای برداری است که بیش‌تر برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها استفاده می‌شود. فرض می‌شود ماتریس X یک ماتریس n×p باشد که n تعداد مشاهدات برای p متغیر است. در طرح پیشنهادی n تعداد دورهٔ آماری است که سطح آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده و p تعداد چاه‌ها یا تعداد ایستگاه‌ها خواهد بود. با استفاده از همبستگی تراز سطح آب در p چاه مجاور هم، به کمک روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی اهمیت نسبی هر چاه در نمایش تغییرات تراز آب زیرزمینی تعیین خواهد شد. در روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه‌های اصلی به‌صورت توابع خطی رابطهٔ (۱) تعریف می‌شوند (Sauquet, 2000):

$$\begin{aligned} Z_1 &= Xa_1 = a_{1,1}X_1 + a_{2,1}X_2 + \cdots + a_{p,1}X_p \\ Z_2 &= Xa_2 = a_{1,2}X_1 + a_{2,2}X_2 + \cdots + a_{p,2}X_p \\ Z_p &= Xa_p = a_{1,p}X_1 + a_{2,p}X_2 + \cdots + a_{p,p}X_p \end{aligned} \qquad (۱)$$

در رابطهٔ بالا، $a_{i,j}$ عنصر iام از مؤلفهٔ اصلی jام بوده و a_j ضریب تبدیل متغیرهای اصلی (X) به jامین مؤلفه‌های اصلی (Z_j) است. با استفاده از خواص ماتریس‌ها می‌توان ثابت کرد که ضرایب مؤلفه‌های اصلی (a_j)، بردارهای ویژهٔ مربوط به ماتریس کوواریانس، S می‌باشند. مقدار و بردار ویژهٔ ماتریس S از رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود.

$$[S - \partial I] \qquad (۲)$$

در رابطهٔ فوق اگر p تعداد چاه‌ها باشد آن‌گاه I یک ماتریس واحد P×I بوده و S کواریانس مرتبهٔ P است. برای محاسبهٔ اهمیت نسبی هر چاه، از ضریب همبستگی بین مؤلفه‌های اصلی و داده‌های مشاهده شده استفاده می‌شود. ضریب همبستگی چاه I (X_i) با مؤلفه‌های jام (Z_j) از رابطهٔ (۳) قابل محاسبه است.

$$Cor\left(Z_j, X_i\right) = \partial_{i,j}^{1/2} a_{i,j} \qquad (۳)$$

در رابطهٔ (۳) $a_{i,j}$ عنصر iام از مؤلفهٔ اصلی jام است. هر چه‌قدر این ضریب بالا باشد بالا بودن اهمیت نسبی چاه را نشان می‌دهد.

در تحلیل مؤلفه‌های اصلی باید تعداد متغیرها (که در این پژوهش برای تحلیل هر چاه، ۲۰ چاه مجاور آن در نظر گرفته شد؛ به‌عبارت دیگر تعداد متغیرها برابر ۲۰ است)، کوچک‌تر یا مساوی داده‌های مشاهده شده (تعداد دوره‌های نمونه‌برداری که ۲۴ ماه است) باشد (Petersen, 2001). در پژوهش حاضر تعداد دورهٔ آماری برای هر چاه ۲۴ است که از تعداد کل چاهک‌های مشاهداتی کم‌تر است. برای پایش هر چاه از ۲۴ چاه مشاهداتی اطراف آن استفاده شد. در پایش تراز آب زیرزمینی اهمیت نسبی هر چاه از نسبت تعداد مواقعی که آن چاه به‌عنوان چاه مؤثر شناخته شده به تعداد مواقعی که آن چاه در تحلیل مؤلفه‌های اصلی شرکت داده شده است، تعریف می‌شود. این نسبت اهمیت هر چاه را نسبت به چاه‌های دیگر نشان می‌دهد. پس می‌توان جهت صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها، چاه‌های کم اهمیت را در پایش تراز آب زیرزمینی حذف نمود. در نهایت، به‌منظور بررسی اثر حذف هر چاه از محاسبات تراز آب زیرزمینی، از معیار خطای سطح ایستابی استفاده شد (Nouri Gheydari, 2014; Sayadi Shahraki et al., 2021). با استفاده از رابطهٔ (۴)، مقدار خطای پایش در ازای حذف چاه‌های غیرمؤثر در یک آستانهٔ مشخص از مقایسهٔ میانگین چاه‌های آن آستانه با میانگین کلیهٔ چاه‌ها به‌دست آمد در این رابطه، m_n میانگین تراز آب زیرزمینی پس از حذف چاه‌های غیرمؤثر در یک آستانهٔ مشخص و m_o میانگین تراز آب زیرزمینی کلیهٔ چاه‌ها است.

$$Error = \frac{(m_n - m_o)}{m_o} \times 100 \qquad (۴)$$

۲-٤- تئوری آنتروپی شانون

شانون در سال ۱۹۴۸ نشان داد که وقایع با احتمال وقوع زیاد اطلاعات کم‌تری از خود نشان می‌دهند و برعکس هر چه‌قدر احتمال وقوع یک رخداد کم‌تر باشد، اطلاعات حاصل از آن بیش‌تر است (Shabbir et al., 2015; Stigter et al., 2006). با به‌دست آوردن اطلاعات جدید، در واقع عدم قطعیت کاهش یافته و ارزش اطلاعات جدید برابر با مقداری است که از عدم قطعیت کاسته شده است. بنابراین عدم قطعیت و اطلاعات پارامترها وابسته به هم هستند. به بیان دیگر، آنتروپی شانون مقدار عدم قطعیت داده‌های پیش‌بینی شده از یک رخداد تصادفی را بیان می‌کند. وجود اطلاعات مشخص در یک مسأله که سبب کاهش و یا از بین رفتن عدم قطعیت می‌شود، می‌تواند به‌عنوان یک شاخص در آنتروپی استفاده شود (Shannon, 1948). در ادامه، آنتروپی شانون تعریف می‌شود؛ تعداد n داده به‌صورت $x \in \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ با احتمال $p(x_1)$، $p(x_2)$ و $p(x_n)$ مفروض است. میزان آنتروپی که یک مقدار واقعی غیرصفر، جمع‌پذیر و یک تابع پیوسته با احتمال p است، به‌صورت رابطهٔ (۵) تعریف می‌شود (Shyu, 2011). H(x) مقدار آنتروپی و p_i میزان احتمال x_i است.

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{n} p_i . \log_2 p_i \quad (۵)$$

برای محاسبهٔ وزن هر یک از چاه‌های مشاهداتی بر اساس تئوری آنتروپی شانون به‌ترتیب از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود. اگر تعداد m نمونهٔ آب در دسترس و تصمیم بر ارزیابی n چاه مشاهداتی باشد، ماتریس مقادیر ویژهٔ X به‌صورت رابطهٔ (۶) خواهد بود:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (۶)$$

در ادامه با استفاده از تابع نرمال رابطهٔ (۷)، نرمال‌سازی داده‌ها انجام شد. پس از نرمال‌سازی داده‌های خام، ماتریس استاندارد داده‌ها به‌صورت رابطهٔ (۸) و در ادامه باید نسبت مقدار شاخص مربوط به پارامتر j در نمونهٔ i بر اساس رابطهٔ (۹) محاسبه شوند. آنتروپی اطلاعات به‌صورت رابطهٔ (۱۰) و وزن آنتروپی (w_i) هر پارامتر j با استفاده از رابطهٔ (۱۱) به‌دست آمدند:

$$y_{ij} = \frac{(x_{ij})_{max} - x_{ij}}{(x_{ij})_{max} - (x_{ij})_{min}} \quad (۷)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (۸)$$

$$P_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} y_{ij}} \quad (۹)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i-1}^{m} p_{ij} \ln p_{ij} \quad (۱۰)$$

$$w_i = \frac{1 - e_1}{\sum_{m}^{n} (1 - e_i)} \quad (۱۱)$$

وزن هر چاه با استفاده از تئوری آنتروپی شانون به‌دست آمد. هر چاهی که مقدار وزن آنتروپی شانون بیش‌تری دارد، در واقع حاوی اطلاعات مهم و غیرقابل پیش‌بینی‌تر است و باید آن را حفظ کرد. برعکس چاهی که وزن آنتروپی شانون کم‌تری دارد را می‌توان از شبکه حذف کرد (Rajaee et al., 2021). روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و آنتروپی شانون در پژوهش حاضر، با توجه به حجم بالای محاسبات به کمک کدنویسی در نرم‌افزار Matlab انجام شد.

۳- نتایج و بحث

برای انجام پایش تراز آب زیرزمینی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی انجام شد. بدین‌صورت که برای هر چاه، از اطلاعات ۲۰ چاه مجاور آن کمک گرفته شد. در این فرآیند ۲۰ مؤلفهٔ اصلی استخراج می‌شود که اهمیت هر مؤلفه، برابر مقدار واریانس آن است. بنابراین، تنها مؤلفه‌هایی استخراج می‌شوند که دارای واریانس بیش‌تری باشند. ماتریس داده‌های ورودی شامل n سطر (تعداد دوره‌های آماری) و p ستون (تعداد چاه‌ها) است. در جدول ۲ نتیجهٔ تحلیل برای پایش چاه شمارهٔ ۱۸ ارائه شده است.

جدول ۲- ماتریس همبستگی پایش چاه شمارهٔ ۱۸

Table 2- The correlation matrix of monitoring-well no. 18

مؤلفه‌های اصلی							
ردیف	چاه	z_1	z_2	ردیف	چاه	z_1	z_2
1	67	0.38	0.29	13	47	0.34	0.29
2	33	0.41	0.27	**14**	**35**	**0.94**	**0.67**
3	57	0.31	0.24	**15**	**29**	**0.92**	**0.59**
4	76	0.53	0.29	16	8	0.49	0.38
5	53	0.61	0.31	17	65	0.51	0.22
6	49	0.22	0.21	18	38	0.27	0.29
7	**19**	**0.91**	**0.57**	19	32	0.48	0.29
8	54	0.71	0.47	20	26	0.78	0.63
9	22	0.77	0.49	21	40	0.41	0.28
10	59	0.53	0.37	22	23	0.83	0.74
11	**25**	**0.9**	**0.59**	23	48	0.66	0.55
12	71	0.68	0.7	**24**	**2**	**0.92**	**0.75**

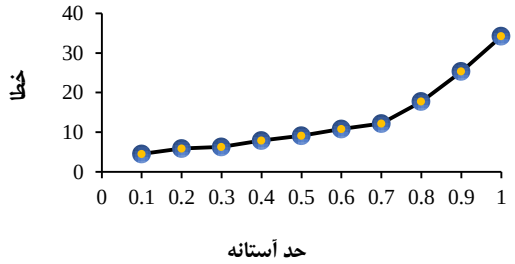
با توجه به جدول ۲، بالاترین ضریب همبستگی به‌ترتیب مربوط به چاه‌های ردیف هفت، ۱۱، ۱۴، ۱۵ و ۲۴ است که می‌توان به‌عنوان مؤثرترین چاه‌ها در پایش تراز آب زیرزمینی چاه ۱۸ تلقی نمود. برای تمامی چاه‌ها، این تحلیل انجام گرفت که در نهایت از نسبت دفعات مؤثر بودن هر چاه (تعداد دفعاتی که مقدار ضریب همبستگی به‌دست آمدهٔ چاه مد نظر، بیش‌تر از ۰/۹ بوده است) به تعداد دفعات شرکت در تحلیل، اهمیت نسبی هر چاه مشخص شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- اهمیت نسبی چاه‌ها بر اساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی

PCA Table 3- The relative importance of wells according to

چاه	نسبت اهمیت چاه	چاه	نسبت اهمیت چاه	چاه	نسبت اهمیت چاه	چاه	نسبت اهمیت چاه
1	0.45	21	0.95	41	0.19	61	0.34
2	0.79	22	0.54	42	0.99	62	0.45
3	0.23	23	0.86	43	0.36	63	0.43
4	0.29	24	0.93	44	0.41	64	0.5
5	0.58	25	0.8	45	0.45	65	0.77
6	0.88	26	0.57	46	0.27	66	0.29
7	0.81	27	0.54	47	0.29	67	0.76
8	0.69	28	0.41	48	0.63	68	0.96
9	**1**	29	0.37	49	0.45	69	0.33
10	0.47	**30**	**1**	50	0.11	70	0.18
11	**1**	31	0.29	51	0.36	71	0.84
12	0.98	32	0.55	52	0.24	72	0.27
13	0.79	33	0.61	53	0.95	73	0.65
14	0.64	34	0.97	54	0.97	74	0.92
15	0.92	35	0.81	55	0.51	75	0.12
16	**1**	36	0.83	56	0.65	76	0.91
17	0.95	37	0.12	**57**	**1**	77	0.36
18	0.49	38	0.23	58	0.87		
19	0.68	39	0.67	**59**	**1**		
20	0.83	40	0.4	60	0.91		

با توجه به جدول ۳ تعداد شش چاه با رتبهٔ یک وجود دارد. یعنی به همان دفعات که در تحلیل شرکت کرده‌اند، به‌عنوان چاه مؤثر شناسایی شده‌اند. بنابراین این چاه‌ها در پایش تراز آب زیرزمینی اهمیت بالاتری نسبت به دیگر چاه‌ها دارند. اگر حد آستانهٔ قابل‌قبول برای چاه‌ها ۰/۹ در نظر گرفته شود، تعداد چاه‌ها به ۱۷ عدد تقلیل می‌یابد. برای رتبه‌بندی چاه‌ها، حدود آستانهٔ برابر با صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ و یک در نظر گرفته شد (Nouri Gheydari , 2014). در آستانهٔ یک، صرفا چاه‌هایی باقی می‌مانند که دارای رتبهٔ یک هستند (چاه‌هایی که در کلیهٔ تحلیل‌ها به‌عنوان چاه مؤثر شناخته شده‌اند) و آستانهٔ صفر، شامل کلیهٔ چاه‌ها (مؤثر و غیرمؤثر) است. شکل ۳ نشان‌دهندهٔ مقدار خطای پایش در آستانه‌های تعیین شده است.



شکل ۳- مقدار خطای پایش در آستانه‌های تعیین شده

Figure 3- The amount of monitoring error in the determined thresholds

با توجه به شکل ۳، روند افزایش خطا در آستانهٔ صفر تا ۰/۷ تدریجی بوده ولی در آستانهٔ ۰/۸، ۰/۹ و یک مقدار خطا با شیب بالایی افزایش یافته است. به طوری‌که مقدار خطا در آستانهٔ ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ و ۱ به‌ترتیب ۱۲/۲، ۱۷/۷، ۲۵/۳ و ۳۴/۲ محاسبه شده است. بنابراین حد آستانه در پژوهش حاضر ۰/۷ در نظر گرفته شده که با این وجود تعداد چاه‌های مؤثر در پایش تراز آب زیرزمینی از ۷۷ به ۳۲ عدد تقلیل می‌یابد (چاه‌های مؤثر در جدول ۲ مشخص شده‌اند). در پژوهش Nouri Gheydari (2014)، حد آستانه‌ای که به ازای آن ضریب تغییرات سطح آب زیرزمینی تغییر چندانی نکند، ۰/۵ بوده که به ازای آن از ۴۸ حلقهٔ چاهک موجود، ۲۴ حلقه به‌عنوان چاهک مؤثر در نظر گرفته شده و مقدار خطا در این آستانه، کم‌تر از ۱۳ درصد است. Hooshangi et al. (2016)، مقدار حد آستانه‌ای که به ازای آن متوسط ضریب تغییرات سطح آبخوان زیاد نباشد، را ۰/۳ در نظر گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد به ازای این حد آستانه تعداد ۴۵ حلقه چاهک از ۷۵ حلقهٔ موجود، به‌عنوان چاهک مؤثر شناخته شده و مقدار خطا در این آستانه ۱۱ درصد بود. هم‌چنین، نتایج پژوهش Babaei Hesar et al. (2017) نشان داد که دو معیار ضریب تغییرات و خطای پایش در آستانهٔ یک به حداقل می‌رسند که به ازای آن تعداد ۱۲ حلقهٔ چاهک از ۵۱ حلقهٔ چاهک موجود به‌عنوان چاهک‌های با اهمیت در پایش سطح ایستابی دشت ارومیه معرفی و به ازای این آستانه مقدار خطا را ۱/۵ درصد برآورد نمودند. در پژوهش Khan et al. (2008) که بهینه‌سازی شبکهٔ نظارت بر آب‌های زیرزمینی در جنوب حوضهٔ Murray-Darling با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی انجام شد نتایج نشان داد که تفاوت کلی سطح آب زیرزمینی بین شبکهٔ اصلی و بهینه شده بعد از فرآیند PCA، کم‌تر از ۲۰ درصد است در حالی‌که تعداد کل پیزومترها ۶۳ درصد کاهش یافته است.

از آنتروپی شانون به‌عنوان شاخصی برای کمی کردن میزان عدم قطعیت و دانش نسبت به مشخصات یک شبکه، استفاده شده است. چاه‌هایی که وزن کم‌تری دارند، دارای هم‌پوشانی اطلاعات کم‌تری با سایر چاه‌ها هستند و حذف آن‌ها به کاهش اطلاعات قابل استحصال منجر می‌شود. مقادیر وزن آنتروپی شانون به ازای تمام چاه‌ها محاسبه و در جدول ۴، ارائه شده است. با توجه به جدول ۴، ۱۱ چاه بالاترین مقدار وزن آنتروپی شانون را دارند که نشان می‌دهد حاوی بیش‌ترین اطلاعات هستند. در نتیجه، چاه‌های مشخص شده باید حفظ شوند. با مقایسهٔ نتایج جدول‌های ۲ و ۳، تمامی ۱۱ چاهی که در روش آنتروپی شانون بیش‌ترین وزن را داشتند، در روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی هم به‌عنوان چاه‌های مؤثر مشاهده شدند. با شناخت چاه‌های مؤثر در منطقه، اولاً در شرایط مواجهه با کمبود زمان و هزینه، می‌توان از چاه‌های مؤثر شناخته شده برای پایش استفاده کرد و ثانیاً با حذف چاه‌های غیرمؤثر، تغییر چندانی در میانگین تراز آب زیرزمینی ایجاد نمی‌شود یا به‌عبارتی خطای پایش افزایش محسوسی ندارد.

جدول ٤- مقادیر وزن آنتروپی شانون چاه‌ها برای پایش کمی تراز آب زیرزمینی

Table 4- The Shannon entropy weights for wells for quantitative groundwater level monitoring

چاه	وزن آنتروپی	چاه	وزن آنتروپی	چاه	وزن آنتروپی	چاه	وزن آنتروپی
1	0.98	21	0.97	41	0.09	61	0.04
2	0.77	22	0.12	**42**	**3.07**	62	0.41
3	0.45	**23**	**1.23**	43	0.06	63	0.35
4	0.85	24	0.54	44	0.34	64	0.72
5	0.94	25	0.24	45	0.42	65	0.41
6	0.71	26	0.39	46	0.72	66	0.12
7	0.79	27	0.88	47	0.75	67	0.42
8	0.87	28	0.23	48	0.72	**68**	**1.37**
9	0.98	29	0.47	49	0.55	69	0.35
10	0.44	30	0.94	50	0.23	70	0.09
11	**1.39**	31	0.16	51	0.09	**71**	**2.12**
12	0.64	32	0.74	52	0.44	72	0.01
13	0.69	33	0.83	**53**	**1.05**	73	0.53
14	0.83	**34**	**2.89**	**54**	**1.19**	74	0.61
15	**1.79**	35	0.45	55	0.44	75	0.63
16	0.24	36	0.22	56	0.41	76	0.53
17	**1.05**	37	0.43	**57**	**1.23**	77	0.36
18	0.49	38	0.48	58	0.15		
19	0.55	39	0.73	59	0.99		
20	0.32	40	0.78	60	0.44		

در مطالعه‌ای، Ahmadi Siyavoshani (2019) روش آنتروپی شانون و تصمیم‌گیری چندمعیاره را گزینهٔ مناسبی برای تعیین تعداد ایستگاه‌های پایش رودخانه، معرفی نمود. هم‌چنین، Mondal and Singh (2012) با استفاده از آنتروپی گسسته به ارزیابی شبکهٔ پایش آب زیرزمینی حوضهٔ آبریز رودخانهٔ کوداگانار پرداختند و از تعداد ۲۸ ایستگاه موجود، ۱۵ ایستگاه را برای سنجش تراز آب زیرزمینی ضروری دانستند. نتایج مطالعهٔ Parsamehr et al. (2018) که از تئوری آنتروپی شانون برای وزن‌دار کردن پارامترهای کیفیت آب استفاده نمودند، نشان داد که استفاده از نظریهٔ آنتروپی برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی می‌تواند ابزاری سودمند برای تحلیل عدم قطعیت و نوسان‌های مشخصه هر عامل باشد.

٤- نتیجه‌گیری

سامانه‌های پایش منابع آب یکی از مهم‌ترین مباحث مدیریت کمی و کیفی منابع آب بوده و صحت، کفایت آمار و اطلاعات هر سامانه و ارزیابی صحیح این آمار و اطلاعات نقشی تعیین‌کننده در تصمیم‌گیری‌های صحیح و پایدار در منطقهٔ زیر پوشش سامانه دارد. صحت و کفایت آمار از یک سو و البته زیاد بودن هزینه‌های پایش از طرف دیگر لزوم ارائهٔ روش‌های نوین برای طراحی بهینهٔ سامانه‌های پایش منابع آب با توجه به هزینه‌های تولید آمار را بیش از پیش آشکار می‌سازد. این پژوهش با هدف پایش شبکهٔ تراز آب زیرزمینی دشت دزفول- اندیمشک با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تئوری آنتروپی شانون انجام شد. برای رسیدن به این هدف، از اطلاعات ۷۷ چاه مشاهده‌ای موجود در منطقه که به‌صورت دو بار در ماه، طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۶ اندازه‌گیری شده بود، استفاده شد. انتخاب چاه‌های مؤثر در روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر مبنای محاسبهٔ اهمیت نسبی هر چاه (نسبت تعداد مواقعی که آن چاه به‌عنوان چاه مؤثر شناخته شده به تعداد مواقعی که آن چاه در تحلیل مؤلفه‌های اصلی شرکت داده شده است) و در تئوری آنتروپی شانون، بر اساس مقدار وزن محاسبه شده برای هر چاه، است. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تئوری آنتروپی شانون به‌ترتیب نشان داد از بین ۷۷ چاه موجود در منطقه، ۳۲ و ۱۱ چاه به‌عنوان چاه‌های مؤثر در پایش تراز آب زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه، می‌باشند. ضمن این‌که با در نظر نگرفتن چاه‌های غیرمؤثر، تغییر چندانی در میانگین تراز آب زیرزمینی کل منطقه، ایجاد نمی‌شود. هم‌چنین، با توجه به این‌که چاه‌های منطقه، توسط سازمان آب و برق خوزستان با در نظر گرفتن انواع کاربری‌ها احداث شدند، با حذف چاه‌های غیرمؤثر، تأثیری در روند استفاده از اطلاعات چاه‌های مورد نظر برای انواع کاربری‌ها، ایجاد نمی‌شود. با توجه به سهولت و سرعت انجام، استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و آنتروپی شانون برای پایش کمی آب زیرزمینی، توصیه می‌شود. در نهایت، پیشنهاد می‌شود، در پژوهش‌های آتی به پایش کیفی شبکهٔ آب زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه، با استفاده از روش‌های استفاده شده، پرداخته شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از داورها و سردبیر محترم نشریه کمال تشکر و قدردانی را دارند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

عاطفه صیادی شهرکی: نگارش نسخهٔ اولیه مقاله، بررسی منابع، نرم‌افزار، تحلیل‌های آماری؛ **فهیمه صیادی شهرکی:** کنترل نتایج، ویرایش و بازبینی مقاله؛ **شقایق بختیاری چهل‌چشمه:** مشاوره، ویرایش و بازبینی مقاله.

منابع

احمدی سیاوشانی، ف (۱۳۹۸). تعیین تعداد بهینه ایستگاه‌های پایش کیفیت رودخانه با استفاده از آنتروپی انتقال اطلاعات گسسته. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی عمران-آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم.

بابایی حصار، سحر، همدمی، قاسم، و قاسمیه، هدی (۱۳۹۶). شناسایی چاهک‌های مؤثر در تعیین عمق آب زیرزمینی دشت ارومیه با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی. *آب و خاک*، ۳۰(۱)، ۴۰-۵۰. doi: 10.22067/jsw.v31i1.48750

بی‌نام (۱۳۹۱). دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی. انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه شماره ۶۲۰، تهران.

پارسامهر، امیرحسین، ملکی‌نژاد، حسین و خسروانی، زهرا (۱۳۹۷). بررسی تئوری آنتروپی شانون در وزن‌دار کردن شاخص کیفیت (مطالعه موردی: دشت میقان). *مجله پژوهش آب ایران*، ۱۲(۲)، ۱۰۱-۱۱۰. https://iwrj.sku.ac.ir/article_10591.html?lang=fa

حسنی‌زاده، عطیه، سیدکابلی، حسام، زارعی، حیدر و آخوندعلی، علی محمد (۱۳۹۵). تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم آتی (مطالعه موردی: دشت دزفول-اندیمشک). *علوم و مهندسی آبیاری*، ۳۹(۱)، ۳۳-۴۳. doi:10.22055/jise.2016.12010

خاشعی سیوکی، عباس، شهیدی، علی و رهنما، سمیرا (۱۴۰۰). طراحی شبکه پایش کروم آبخوان دشت بیرجند با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نئوری آنتروپی. *محیط زیست و مهندسی آب*، ۷(۲)، ۲۲۰-۲۳۱. doi: 10.22034/jewe.2020.254396.1448

رجایی، طاهر، معصومی، فریبرز، و احمدی سیاوشانی، فاطمه سادات (۱۴۰۰). مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های پایش کیفیت آب سیستم رودخانه‌ای با استفاده از آنتروپی انتقال اطلاعات گسسته. آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۱۵)، ۲۹۵-۳۰۶. doi: 20.1001.1.20087942.1400.15.2.4.6

صیادی شهرکی، عاطفه، ناصری، عبدعلی، برومندنسب، سعید و سلطانی محمدی، امیر (۱۳۹۹). طراحی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی. مجله مهندسی منابع آب، ۱۳ (۱)، ۲۹-۳۶. dor: 20.1001.1.20086377.1399.13.44.3.4

مریانجی، زهره و رمضانی، ابوذر (۱۳۹۹). واکاوری میزان اثرگذاری عوامل موثر بر سیل‌خیزی استان همدان با استفاده از مدل آنتروپی شانون و سیستم اطلاعات جغرافیایی. هیدروژئومورفولوژی، ۲۳ (۶)، ۱۸۵-۲۰۷. doi: 10.2203 4/hyd.2020.11120

نوری قیداری، محمدحسین (۱۳۹۲). تعیین چاهک‌های مؤثر در تعیین تراز سطح آب زیرزمینی با آنالیز مؤلفه‌های اصلی. *علوم آب و خاک*، ۱۷(۶۴)، ۱۴۹-۱۵۸. dor: 20.1001.1.24763594 .1392.17.64.5.5

هوشنگی، نوید، آل شیخ، علی اصغر، و ندیری، عطاالله (۱۳۹۴). بهینه‌سازی تعداد پیزومترها در پیش‌بینی سطح آب‌های زیرزمینی با روش‌های PCA و زمین آماری. دانش آب و خاک، ۲۵ (۲-۴)، ۵۳-۶۶ https://www.sid.ir/paper/147848/fa

References

Ahmadi Siyavoshani, F. (2019). Determining the optimal number of river quality monitoring stations using discrete information transfer entropy. M.Sc. Thesis, Technical and Engineering Faculty of Qom University. [In Persian]

Anonymous. (2013). Groundwater quality monitoring guidelines. Publications of the Organization of Management and Planning of the country, Publication No. 620, Tehran. [In Persian]

Babaei Hesar, S., Hamdami, Gh., & Ghasemieh, H. (2017). Dentification of effective wells in determining the depth of underground water in Urmia plain using principal component analysis. *Water and Soil Journal*, *30*(1), 40-50. doi: 10.22067/jsw.v31i1.48750. [In Persian]

Hooshangi, N., Ale Sheikh, A.A., & Nadiri A.A. (2016). Optimizing the number of piezometers in predicting the groundwater level with PCA and geostatistical methods. *Knowledge Of Water And Soil*, *25*(4-2), 53-66. https://www.sid.ir/paper/147848/en [In Persian]

Hoseini Zadeh, A., Seyyed Kaboli, H., Zarei, H., & Akhound Ali, A.M. (2017). Analysis of drought severity and return period in future climate change conditions (case study: Dezful Andimeshk plain). *Irrigation Science and Engineering*, *39*(1), 33-43. doi: 10.22055/jise.2016.12010. [In Persian]

Jolliffe, I.T. (2002). Principal Component Analysis. Springer series in statics. 488 pages.

Jung, H., Koh, D.C., Kim, Y., Ha, K., & Lee, J. (2016). Interpretation of Groundwater Level Variations in Jeju Island by Principal Component Analysis. 21st EGU General Assembly, EGU2019, Proceedings from the conference held 7-12 April, in Vienna, Austria.

Khan, S., Gabriel, H.F. & Rana, T. (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas. *Irrigation Drainage Systems*, *22*, 159-177. doi: 10.1007/s10795-008-9049-3

Khashei Siuki, A., Shahidi, A., & Rahnama, S. (2021). Comparison of Birjand aquifer chromium monitoring network using principal component analysis (PCA) and entropy theory. *Journal of Environment and Water Engineering*, *7*(2), 220–231. doi:10.22034/jewe.2020.254396.1448. [In Persian]

Li, S., Heng, S., Siev, S., Yoshimura, C., Oliver, C. Saavedra, V., & Sarann, L.y. (2019). Multivariate interpolation and information entropy for optimizing raingauge network in the Mekong River Basin. *Hydrological Sciences Journal*, *64*(12), 1439-1452. doi: 10.1080/02626667.2019.1646426

Maryanaji, Z., & Ramezani, A. (2020). Examining the influence of factors affecting the flooding of Hamadan province using Shannon's entropy model and geographic information system. *Hydrogeomorphology*, 23(6), 185-207. doi: 10.22034/hyd.2020.11120. [In Persian]

Mondal, N., & Singh, V. (2012). Evaluation of groundwater monitoring network of Kodaganar River basin from Southern India using entropy. *Environmental Earth Sciences*, *66*(4), 1183-1193. doi: 10.1007/s12665-011-1326-z

Nouri Gheydari, M.H. (2014). Determining the effective wells in determining the level of underground water by analyzing the main components. *Journal of Water and Soil Sciences*, *17*(64), 158-149. dor: 20.1001.1.24763594.1392.17.64.5.5 [In Persian].

Parsamehr, A.H., Maleki Nezad, H. & Khosravani, Z. (2018). Investigation of Shannon's entropy theory in weighting the quality index (case study: Meqan plain). *Iranian Water Research Journal*, *12*(2), 101-110. https://www.sid.ir/paper/159784/en [In Persian]

Pearson, K. (1901). On lines and plans of closest fit to systems of points in Space. *Philosophical Magazine*, *2*(6), 559-572. doi: 10.1080/14786440109462720

Petersen, W. (2001). Process identification by principal component analysis of river water-quality data. *Ecological Modelling*, *138*(1-3), 193-213. doi: 10.1016/S0304-3800(00)00402-6

Rahnama, S., Khashei Siuki, A., Shahidi, A., & Noferesti, A.M. (2021). Designing a quality monitoring network of gonabad aquifer using principal component analysis (PCA) method. *Water Harvesting Research*, *4*(1), 68-75. doi: 10.22077/jwhr.2021.4632.1044

Rajaee, T., Masoumi, F., & Ahmadi Siyavoshani, F. (2021). Optimal location of river system water quality monitoring stations using discrete information transfer entropy. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *2*(15), 295-306. dor: 20.1001.1.20087942.1400.15.2.4.6. [In Persian]

Sayadi Shahraki, A., Naseri, A.A., Boroomand Nasab, S., & Soltani Mohammadi, A. (2021). Designing the underground water level monitoring network using principal component analysis technique. *Journal of Water Resources Engineering*, *13*(1), 29-36. dor: 20.1001.1.20086377.1399.13.44.3.4. [In Persian]

Sauquet, E. (2000). Mapping mean monthly runoff pattern using EOF analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4(1), 79-93. doi: 10.5194/hess-4-79-2000

Shabbir, R. & Ahmad, S.S. (2015). Use of geographic information system and water quality index to assess groundwater quality in Rawalpindi and Islamabad. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *40*, 2033-2047. doi: 10.1007/s13369-015-1697-7

Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, *27*(4), 623-656. doi: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x

Shyu, G.S., Cheng, B.Y., Chiang, C.T., Yao, P.H., & Chang, T.K. (2011). Applying Factor analysis combined with kriging and information entropy theory for mapping and evaluating the stability of groundwater quality variation in Taiwan. *International Journal of Environment Research and Public Health*, *8*, 1084-1109. doi: 10.3390/ijerph8041084

Stigter, T.Y., Ribeiro, L., & Dill, A.M.M. (2006). Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with ground waters a linistio nand nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. *Hydrogeology Journal*, *14*(1-2), 79-99. doi: 10.1007/s10040-004-0396-3