



## Investigate the Effect of Wet and Drought on Groundwater Quantity and Quality of Kalaleh City

Ebrahim Dahmardeh<sup>1</sup> , Ali Heshmatpour<sup>1\*</sup> , Abolhassan Fathabadi<sup>1</sup> , Nader Jandaghi<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Golestan, Iran.

Article Info	ABSTRACT
<b>Article type:</b> Research Paper	<b>Objective:</b> The current study aimed to investigate the effect of wet and dry incidents on the quality and quantity of groundwater in Kalaleh city.
<b>Article history:</b> Received 30May2024 Revised 11November2024 Accepted 20 November 2024 Published online 29March2025	<b>Methods:</b> In this research, the Standard Precipitation Index (SPI) was used to investigate the wet and dry incidents in a 15-year statistical period (2006-2021). Standardized water level index (SWI) and information from 10 Deep and semi-deep wells (2006-2021) were used to assess the condition of the groundwater level. Also, the qualitative parameters of 10 wells including $K^+$ , $Na^+$ , $Mg^{2+}$ , $Ca^{2+}$ , $SO_4^{2-}$ , $Cl^-$ , $HCO_3^-$ , pH, SAR, TDS and EC were used. Excel and SPSS software were used for statistical analysis. Also, Pearson's correlation coefficient was used to investigate the effect of wet and dry incidents on the fluctuation level and quality factors of groundwater.
<b>Keywords:</b> SPI Index water quality SWI index Meteorological drought hydrological drought	<b>Results and Discussion:</b> Examining the drought situation in Kalaleh using SPI indicated that the most severe droughts occurred in 2007, 2011, and 2018, and the wettest years occurred in 2006 and 2019. The results of the research showed that with the increase in the severity of Drought and Wet, the level of deep and semi-deep groundwater decreased and increased, respectively. Also, Correlation results between SWI and water quality variables showed that there is no significant correlation between any of the water quality variables and SWI. There was only a significant relationship between acidity and SPI.
	<b>Conclusions:</b> During the study period, the drinking water quality in Kalaleh city was average, and only the water from the Baynal well was unsuitable for drinking. The water from all the wells, except the Dehne well, was in a favorable, acceptable condition for irrigation and agricultural use. The results of this research show that drought and wet years in the studied area do not have a significant effect on the quality of deep and semi-deep groundwater. However, measures are needed to reduce groundwater use during drought years. During wet years, it is necessary to take measures to create conditions that increase rainwater permeability to feed groundwater sources.

\*Corresponding author, E-mail: [heshmatpoura@gmail.com](mailto:heshmatpoura@gmail.com)

**Cite this article:** Dehmardeh, A., Heshmatpour, A., Fathabadi, A., & Jandaghi, N. (2026). Investigate the Effect of Wet and Drought on Groundwater Quantity and Quality of Kalaleh City, *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*. <http://doi.org/10.22034/nawee.2024.460310.1084>



© The Author(s).

Publisher: Gonbad Kavous University.

DOI: <http://doi.org/10.22034/nawee.2024.460310.1084>



## بررسی تأثیر خشکسالی و ترسالی بر کیفیت و کمیت آب زیرزمینی شهرستان کلاله

ابراهیم ده‌مرده<sup>۱</sup>، علی حشمت‌پور<sup>۱\*</sup>، ابوالحسن فتح‌آبادی<sup>۱</sup>، نادر جندقی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه آموزشی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>نوع مقاله:</b> مقاله پژوهشی</p> <p><b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۳/۰۳/۱۰ <b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۳/۰۸/۲۱ <b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۳/۰۸/۳۰ <b>تاریخ انتشار:</b> ۱۴۰۵/۰۱/۰۹</p> <p><b>کلیدواژه‌ها:</b> خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیک، شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)، شاخص SWI، کیفیت آب</p>	<p><b>هدف:</b> هدف مطالعه کنونی، بررسی تأثیر خشکسالی و ترسالی بر کیفیت و کمیت آب زیرزمینی شهرستان کلاله بود.</p> <p><b>مواد و روش‌ها:</b> در این تحقیق برای بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی در یک دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۹) از شاخص بارش استاندارد (SPI) و برای بررسی وضعیت سطح آب زیرزمینی از شاخص سطح آب استاندارد شده (SWI) و اطلاعات ۱۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق (۱۳۸۵-۱۳۹۹) استفاده شد. همچنین پارامترهای کیفی ۱۰ حلقه چاه شامل <math>\text{Na}^+</math>، <math>\text{K}^+</math>، <math>\text{Mg}^{2+}</math>، <math>\text{Ca}^{2+}</math>، <math>\text{SO}_4^{2-}</math>، <math>\text{Cl}^-</math>، <math>\text{HCO}_3^-</math>، pH، SAR، TDS و EC استفاده شد. برای تجزیه تحلیل آماری از نرم‌افزار اکسل و SPSS و برای بررسی اثر خشکسالی و ترسالی بر نوسان سطح آب زیرزمینی و فاکتورهای کیفی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید.</p> <p><b>نتایج و بحث:</b> بررسی وضعیت خشکسالی شهرستان کلاله با SPI حاکی از آن بود که شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶ و مرطوب‌ترین سال‌ها نیز در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۷ رخ داده است. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش شدت خشکسالی و ترسالی، سطح آب‌های زیرزمینی عمیق و نیمه‌عمیق به ترتیب کاهش و افزایش یافت. همچنین نتایج همبستگی بین متغیرهای SWI و متغیرهای کیفی آب نشان داد که بین هیچکدام از متغیرهای کیفی آب و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی همبستگی معنی‌دار وجود ندارد. در متغیر SPI نیز فقط بین اسیدیته و شاخص خشکسالی هواشناسی ارتباط معنادار وجود داشت.</p> <p><b>نتیجه‌گیری:</b> کیفیت آب آشامیدنی شهرستان کلاله در طی دوره مطالعاتی دارای کیفیت متوسطی بوده و تنها کیفیت آب چاه باینال از نظر شرب نامناسب بود. آب تمامی چاه‌ها به‌جز چاه دهنه از نظر مصارف کشاورزی دارای وضعیت مطلوب و قابل قبولی بود. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد، وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در منطقه مورد مطالعه اثرات قابل توجهی در کیفیت آب‌های زیرزمینی عمیق و نیمه‌عمیق ندارد، هرچند که نیاز است در زمان‌های رخداد خشکسالی تمهیداتی برای کاهش استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی اندیشیده شود و در زمان‌های ترسالی با انجام اقداماتی شرایط را برای افزایش نفوذپذیری آب بارندگی‌ها برای تغذیه منابع آب زیرزمینی فراهم گردد. اشد.</p>

\* نویسنده مسئول، E-mail: [heshmatpoura@gmail.com](mailto:heshmatpoura@gmail.com)

استناد: ده‌مرده، ا.، حشمت‌پور، ع.، فتح‌آبادی، ا.، و جندقی، ن. (۱۴۰۵). بررسی تأثیر خشکسالی و ترسالی بر کیفیت و کمیت آب زیرزمینی

شهرستان کلاله. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*

<http://doi.org/10.22034/nawee.2024.460310.1084>



## مقدمه

خشکسالی یکی از مخرب‌ترین بلاهای طبیعی است که بر سیستم‌های اکولوژیکی تأثیر منفی می‌گذارد (Hao and AghaKouchak., 2014). خشکسالی‌ها در بسیاری از مناطق جهان به دلیل تغییرات آب و هوایی از نظر فراوانی و شدت در حال افزایش است. محرک‌های هواشناسی خشکسالی اغلب باعث اثرات هیدرولوژیکی بعدی مانند کاهش رواناب در حوضه، جریان رودخانه‌ها و سطح دریاچه می‌شوند. خشکسالی‌های هیدرولوژیکی نیز ممکن است به تغییرات قابل توجهی در کیفیت آب منجر شود (Mosley., 2015). انواع خشکسالی براساس توالی رخداد شامل خشکسالی اقلیمی، هیدرولوژیکی و کشاورزی است. خشکسالی‌های هواشناسی پیش از انواع دیگر خشکسالی‌ها رخ می‌دهد. با تأخیر زمانی، خشکسالی هواشناسی به خشکسالی‌های کشاورزی و سپس به خشکسالی‌های هیدرولوژیکی منجر می‌شود (Mahmoudi et al., 2015). عموماً واکنش آب‌های زیرزمینی به دوره‌های خشک به سرعت آب‌های سطحی نبوده و نسبت به آن روند آرام‌تری دارد، ولی با توجه به اینکه تجدید این منابع بسیار طولانی‌تر است، تأثیر خشکسالی‌های طولانی مدت بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی بسیار جدی‌تر است (چیت-سازان و همکاران، ۱۳۸۸). بنابراین، با افزایش فراوانی و شدت خشکسالی‌ها، اهمیت آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یک منبع آبی پایدار شناخته شده است (Lee et al., 2018). امروزه در سراسر جهان توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی بستگی به در دسترس بودن منابع آب پایدار در آن کشور دارد. مناسب بودن آب برای مصارف مختلف با توجه به کیفیت آب تعیین می‌شود (حشمت پور و همکاران، ۱۳۹۹). لذا ارزیابی کیفیت آب یکی از اقدامات اساسی برای حفاظت از منابع آب است. روش‌های موجود برای ارزیابی کیفیت آب عمدتاً به دو دسته تقسیم می‌شوند: یکی روش‌های ارزیابی شاخص سنتی، دیگری روش‌های ریاضی و مدل‌های عددی. روش‌های سنتی ارزیابی شاخص به روش شاخص تک عاملی و روش شاخص ترکیبی تقسیم می‌شوند. روش شاخص تک عاملی متداول‌ترین روشی است که استفاده می‌شود، اما فقط برای ارزیابی کیفی می‌توان از آن استفاده کرد و معیارهای ارزیابی دائماً مورد بازنگری قرار می‌گیرند، بنابراین نتایج اساساً غیرقابل مقایسه هستند (Xingyue et al., 2022). در مطالعات مختلف انجام شده، تأثیر دوره‌های مرطوب و خشک بر کیفیت ((Mohamed et al., 2019; Peña-Guerrero et al., 2019) و کمیت آب (Aladejana et al., 2020) حاکی از تأثیر خشکسالی بر پارامترهای کیفی آب بود. همچنین نتایج مطالعات مختلف حاکی از ارتباط بین خشکسالی و کیفیت و کمیت آب زیرزمینی بوده به طوری که نتایج مطالعه روشندلی (۱۳۹۰) نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب، همراه با افت تراز آب زیرزمینی و افزایش کیفیت با افزایش تراز بوده است. در مطالعه دیگر، تأثیرگذاری خشکسالی بر آب زیرزمینی تأیید شده است؛ به طوری که شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه بدون تأخیر زمانی با میانگین تراز سطح سفره آب زیرزمینی و شاخص GRI همبستگی معنی‌دار داشت (چمن‌پیرا و همکاران، ۱۳۹۳). تمدن و نودری (۱۳۹۵) اظهار داشتند که با پایین آمدن میزان تراز آب زیرزمینی در دوره مطالعه میزان یون سدیم، نیترات، سولفات، کربنات و سختی کل در تعدادی از چاه‌ها افزایش داشته است که به تبع آن شوری آب افزایش یافته است که دلیل آن کاهش حجم آب سفره زیرزمینی در اثر خشکسالی و افزایش غلظت املاح در آب‌های زیرزمینی است. همچنین جندقی و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب زیرزمینی در بخش شرقی دشت گرگان، به این نتیجه رسیدند که بین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در آبخوان نیمه‌عمیق در دوره ترسالی و خشکسالی اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در مقابل وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی در محدوده مورد مطالعه تأثیر چندانی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آبخوان عمیق نداشته است. در مطالعه دیگر که در دشت سیلاخور بروجرد انجام شده بود، نتایج از عدم تأثیر معنی‌دار کلاس‌های خشکسالی و ترسالی بر کیفیت آب به‌غیر از pH دارد (نوری و همکاران، ۱۳۹۱).

آب از مهم‌ترین ارکان محیط‌زیست محسوب می‌شود. ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک با نزولات جوی بسیار اندک است به طوری که میانگین بارندگی سالانه در ایران (۲۴۰ میلی‌متر) حتی کمتر از یک سوم میانگین بارش سالانه جهانی (۸۶۰ میلی‌متر)

1. Standardized Precipitation Index

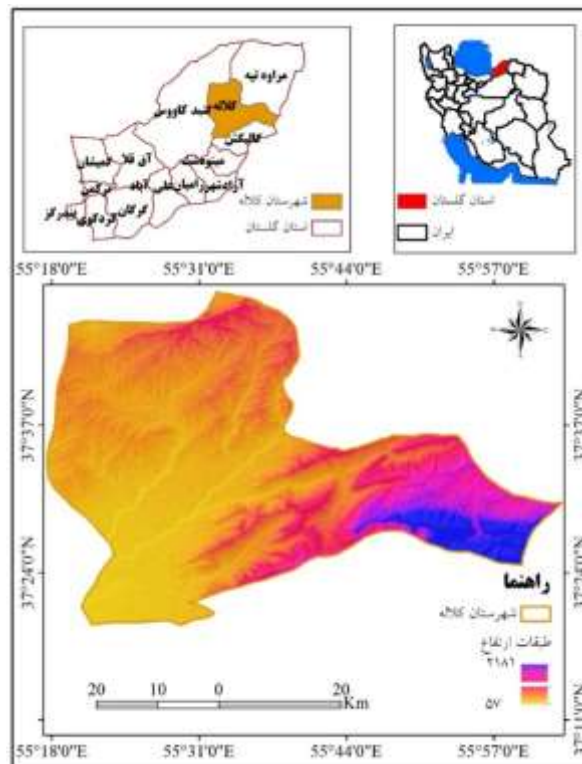
2. Groundwater resource index

است (خسروی، ۱۳۹۱). شهرستان کلالة در قسمت شرقی دریای خزر و استان گلستان واقع شده است. به دلیل نوسانات بارندگی و وقوع دوره‌های خشکسالی و ترسالی در این شهرستان و از آنجا که قسمت عمده مساحت آن پوشیده از اراضی کشاورزی است و از منابع آب زیرزمینی آن برای مصارف آبیاری و حتی خانگی استفاده می‌شود، پایش کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی این محدوده در توسعه فعالیت‌های اقتصادی - اجتماعی و همچنین در حوضه سلامت، برای ساکنان منطقه بسیار حائز اهمیت است. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر دوره‌های ترسالی و خشکسالی با استفاده از شاخص SPI بر تغییرات سطح (با استفاده از شاخص SWI) و کیفیت آب زیرزمینی انجام شد.

## مواد و روش

### معرفی و موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهرستان کلالة در شرق استان گلستان در موقعیت جغرافیایی ۵۵ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است که از شرق به خراسان شمالی، از غرب با شهرستان گنبد، از شمال با شهرستان مراوه‌تپه و از جنوب با شهرستان گالیکش هم‌مرز است (شکل ۱). شغل بیشتر مردم در این شهرستان، کشاورزی و دامداری است. جمعیت این شهرستان ۱۱۷۳۱۹ نفر با ۳۲۹۹۸ خانوار است که از این تعداد ۴۱۹۵۳ نفر شهری و ۷۵۳۶۶ نفر روستایی هستند (درگاه ملی آمار، ۱۳۹۵). این شهرستان با وسعت حدود ۴۳/۱۷۵ کیلومتر مربع، بعد از شهرستان‌های گنبدکاووس، گرگان و مراوه‌تپه، از نظر وسعت، رتبه چهارم را در استان گلستان به خود اختصاص داده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران

<sup>1</sup>. Standardized Water-Level Index

## روش تحقیق

### جمع آوری داده‌ها

با توجه به هدف کلی پژوهش، کامل‌ترین چاه‌ها از نظر داده‌های آماری کمی و کیفی انتخاب شده است. انتخاب چاه‌ها بر اساس پایه زمانی مشترک و کمترین نواقص آماری بوده است. برای بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی از نتایج سنجش‌های شیمیایی مربوط به ۱۰ حلقه چاه در طول دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۹۹ استفاده گردید (جدول ۱). نتایج آنالیزهای پارامترهای کیفی مورد بررسی نظیر  $K^+$ ،  $Na^+$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $Cl^-$ ،  $HCO_3^-$ ، pH، SAR، TDS و EC ۱۰ حلقه چاه از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری شد. آمار بارندگی در دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۹۹ ایستگاه سینوپتیک کلاله برای تعیین خشکسالی‌های منطقه مورد مطالعه، از سازمان هواشناسی استان گلستان اخذ گردید. ۴ ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه مورد مطالعه که داده‌های کامل‌تری داشتند، انتخاب شدند؛ جدول (۲). همچنین موقعیت چاه‌ها و ایستگاه‌های هواشناسی در شکل (۲) قابل مشاهده است.

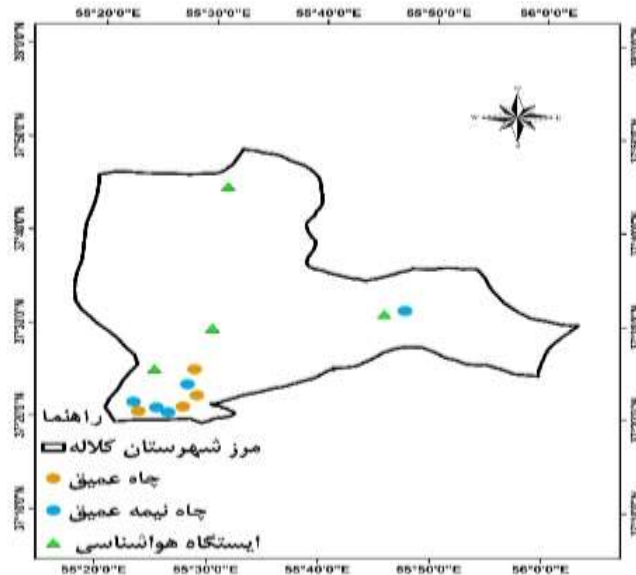
جدول ۱- مشخصات چاه‌های مورد مطالعه

شماره چاه	نام چاه	مختصات جغرافیایی UTM	
		عرض	طول
۱	امان خواجه	۴۱۳۴۰۷۷	۳۵۷۷۴۷
۲	باینال	۴۱۳۴۹۳۵	۳۶۳۶۹۶
۳	حیدرآباد	۴۱۳۳۸۴۰	۳۶۱۶۹۴
۴	دشتی	۴۱۳۹۳۹۴	۳۶۴۲۵۵
۵	دهنه	۴۱۴۲۳۴۳	۳۶۵۲۰۷
۶	زاو بالا	۴۱۵۳۸۸۰	۳۹۳۱۲۷
۷	زاو پایین	۴۱۵۳۸۸۰	۳۹۳۱۱۷
۸	کلاله	۴۱۳۷۱۷۵	۳۶۵۵۲۸
۹	کنگور	۴۱۳۵۹۱۵	۳۵۷۱۱۲
۱۰	گرایلی	۴۱۳۴۷۸۳	۳۶۰۱۶۰

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان کلاله

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی UTM		ارتفاع (متر)
		عرض	طول	
۱	تمر	۴۱۵۰۵۰۲	۳۶۷۵۹۱	۱۷۳
۲	قویجیق	۴۱۷۸۶۰۴	۳۶۹۶۹۰	۵۰۰
۳	مالای شیخ عطار	۴۱۴۲۴۵۰	۳۵۹۸۷۹	۱۱۸

۴	زاویلا	۴۱۵۳۲۴۱	۳۹۰۳۶۷	۴۹۵
---	--------	---------	--------	-----



شکل ۲- موقعیت چاه‌ها و ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

### شاخص استاندارد بارش (SPI)

برای ارزیابی دوره‌های خشکسالی روش‌های متفاوتی وجود دارد که مهم‌ترین آنها شاخص انحراف از بارندگی سالانه (SIAP)، دهک‌های بارندگی (DPI)، شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI)، شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI)، شاخص رطوبت زراعی (CMI)، شاخص خشکسالی احيایی (RDI)، شاخص ناهنجاری‌های بارندگی (RAI)، شاخص درصد نرمال بارش (PNPI) و شاخص استاندارد بارش (SPI). شاخص استاندارد بارش (SPI) پرکاربردترین شاخص خشکسالی استاندارد هواشناسی است. از سوی دیگر (Shakiba et al., 2010) اعلام نظر داشتند که شاخص SPI، شاخص مناسبی برای بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی است. همچنین شاخص SPI از بهترین و جامع‌ترین و در عین حال ساده‌ترین روش‌های مطالعه خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آنها محسوب می‌شود (پیری و همکاران، ۱۳۹۲). لذا در این مطالعه برای بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی از شاخص SPI استفاده شد. برای محاسبه SPI داده‌های بارندگی‌ها عمدتاً به صورت توزیع احتمال گاما برازش داده می‌شوند، سپس به توزیع نرمال تبدیل می‌شوند؛ به گونه‌ای که میانگین مقدار SPI صفر باشد. مقدار این شاخص ۲ و بیشتر (برای شرایط بسیار مرطوب) تا ۲- و کمتر (برای شرایط بسیار خشک) متغیر است (Spinoni et al., 2019). این روش با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$SPI = \frac{p_i - \bar{p}}{SD} \quad (1)$$

1. Statistical Index Annual Precipitation

2. Deciles Precipitation Index

3. Palmer Drought Severity Index

4. surface Water Storage Index

5. Crop Moisture Index

6. Reconnaissance Drought Index

7. Rainfall Anomaly Index

8. Percent of Normal Precipitation Index

که در اینجا SPI شاخص استاندارد بارش؛  $\bar{p}$  بارندگی متوسط سالانه؛  $p_i$  بارندگی سال جاری و SD انحراف از معیار بارندگی سالانه. طبقه‌بندی خشکسالی به روش شاخص SPI در جدول (۳) ارائه شده است.

### شاخص سطح آب استاندارد شده SWI

در این پژوهش مقدار شاخص SWI برای بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی محاسبه شد. برای محاسبه شاخص SWI از رابطه (۲) استفاده خواهد شد.

$$SWI = \frac{W_{ij} - W_{im}}{\sigma} \quad (2)$$

که در آن:  $W_{ij}$  سطح ایستابی فصلی چاه های پیرومتری  $i$  تا  $j$ ؛  $W_{im}$  میانگین فصلی سطح ایستابی و  $\delta$  انحراف معیار جامعه آماری است (بوئیان و همکاران، ۲۰۰۴). طبقات شدت خشکسالی بر اساس این شاخص در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- طبقه بندی خشکسالی به روش شاخص SPI (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳)

ردیف	طبقات خشکسالی	SPI	طبقات خشکسالی	SWI
۱	به شدت مرطوب	$2 \leq$		
۲	خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹		
۳	نسبتاً مرطوب	۱ تا ۱/۴۹	بدون خشکسالی	کمتر از صفر
۴	متوسط (نرمال)	-۰/۹۹ تا +۰/۹۹	خشکسالی ملایم	۰ - ۰/۹۹
۵	نسبتاً خشک	-۰/۹۹ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط	۱ - ۱/۴۹
۶	خیلی خشک	-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید	۱/۵ - ۱/۹۹
۷	به شدت خشک	$-2 \geq$	خشکسالی بسیار شدید	$2 \leq$

### کیفیت آب از نظر شرب و کشاورزی

به طور کلی پارامترهای فراوانی در تعیین کیفیت آب برای شرب و کشاورزی نقش دارند (آقایی و همکاران، ۱۳۹۹). Willcox در سال ۱۹۹۵ سیستمی را برای طبقه بندی آب مورد استفاده در آبیاری ارائه کرده که این سیستم یکی از قدیمی ترین سیستم‌ها در این زمینه است. این سیستم مبتنی بر دو پارامتر هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم است (خرد نارویی، ۱۳۹۵). کیفیت آب بر اساس طبقه بندی ویلکاکس در جدول (۴) ارائه شده است. به منظور طبقه بندی آب از نظر شرب، نمودار شولر مورد استفاده قرار می گیرد. در این نمودار بر اساس پنج شاخص شیمیایی سدیم، کلر، فسفات، کل مواد جامد محلول و سختی کل، آب از نظر مصرف آشامیدنی به شش گروه خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، کاملاً نامطلوب و غیرقابل شرب تقسیم می شوند (جعفری اول و همکاران، ۱۳۹۶). کیفیت آب بر اساس طبقه بندی شولر در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۴- کیفیت آب بر اساس طبقه بندی ویلکاکس (Singhal and Gupta., 1999)

کیفیت آب برای کشاورزی	کلاس آب
شیرین-برای کشاورزی کاملاً بی ضرر	C1S1

کمی شور-مناسب برای کشاورزی	C2S1-C2S2
شور-قابل استفاده برای کشاورزی	C1S3-C2S3-C3S1-C3S2-C3S3
خیلی شور-برای کشاورزی نامناسب	C1S4-C2S4-C3S4-C4S3-C4S2-C4S1

جدول ۵- طبقه بندی کیفی آب شرب (شولر)

درجه کیفیت برای شرب	سدیم	کلر	سولفات	سختی کل	کل مواد جامد محلول
خوب	<۱۱۵	<۱۷۷/۵	<۱۴۴	<۲۵۰	<۵۰۰
قابل قبول	۲۳۰-۱۱۵	۱۷۷/۳۵۰-۵	۲۸۸-۱۴۴	۵۰۰-۲۵۰	۱۰۰۰-۵۰۰
متوسط	۴۶۰-۲۳۰	۷۱۰-۳۵۰	۵۷۶-۲۸۸	۱۰۰۰-۵۰۰	۲۰۰۰-۱۰۰۰
نامناسب	۹۲۰-۴۶۰	۱۴۲۰-۷۱۰	۱۱۵۳-۵۷۶	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۴۰۰۰-۲۰۰۰
کاملاً نامطلوب	۱۸۴۰-۹۲۰	۲۸۴۰-۱۴۲۰	۲۳۰۴-۱۱۵۳	۴۰۰۰-۲۰۰۰	۸۰۰۰-۴۰۰۰
غیرقابل شرب	>۱۸۴۰	>۲۸۴۰	>۲۳۰۴	>۴۰۰۰	>۸۰۰۰

(ابعاد بر حسب میلی گرم بر لیتر)

### تجزیه و تحلیل داده های آماری

برای تجزیه تحلیل آماری از نرم افزار اکسل و SPSS استفاده شد. همچنین برای بررسی اثر خشکسالی و ترسالی بر نوسان سطح آب زیرزمینی و فاکتورهای کیفی از ضریب همبستگی پیرسون که مبتنی بر کوواریانس دو متغیر و انحراف معیار است، استفاده شد؛ که از رابطه (۳) محاسبه خواهد شد.

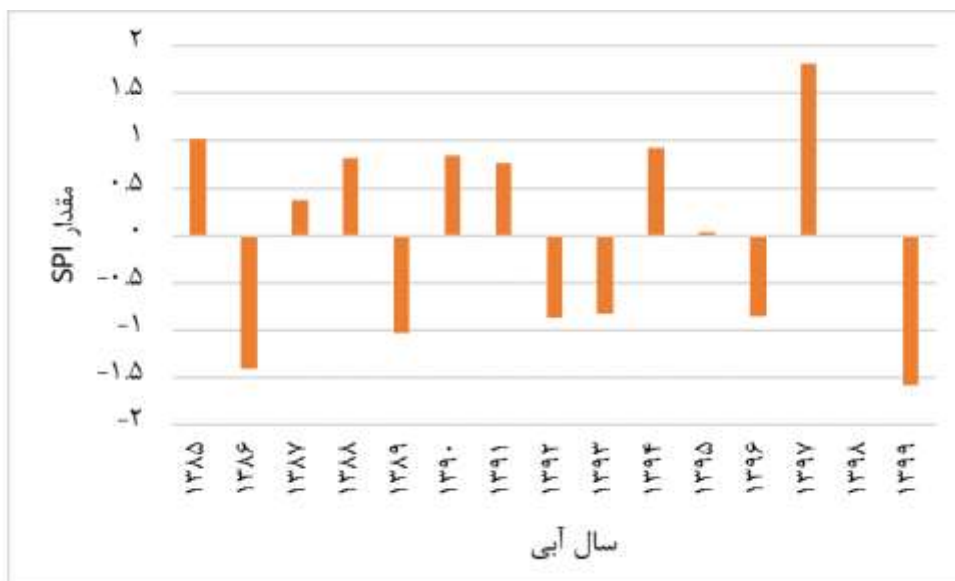
$$r_{xy} = \frac{COV(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad \text{رابطه ۳}$$

در اینجا P همبستگی میان شاخص بارش استاندارد و سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی؛ X شاخص بارش استاندارد شده؛ Y ویژگی های کیفی آب و یا نوسانات سطح آب زیرزمینی باشد؛  $\delta$  نشان دهنده انحراف معیار هر یک از متغیرها و  $COV(X,Y)$  نشان دهنده کوواریانس متغیرها است. این ضریب از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی بین دو متغیر با مقیاس های فاصله ای و نسبتی است که دارای توزیع نرمال هستند. مقدار یا میزان همبستگی این شاخص بین مثبت یک و منفی یک متغیر است. اگر دقیقاً برابر +۱ باشد بیانگر همبستگی مثبت کامل و اگر برابر با -۱ باشد، نشان دهنده همبستگی کامل منفی بین دو متغیر است.

### نتایج و بحث

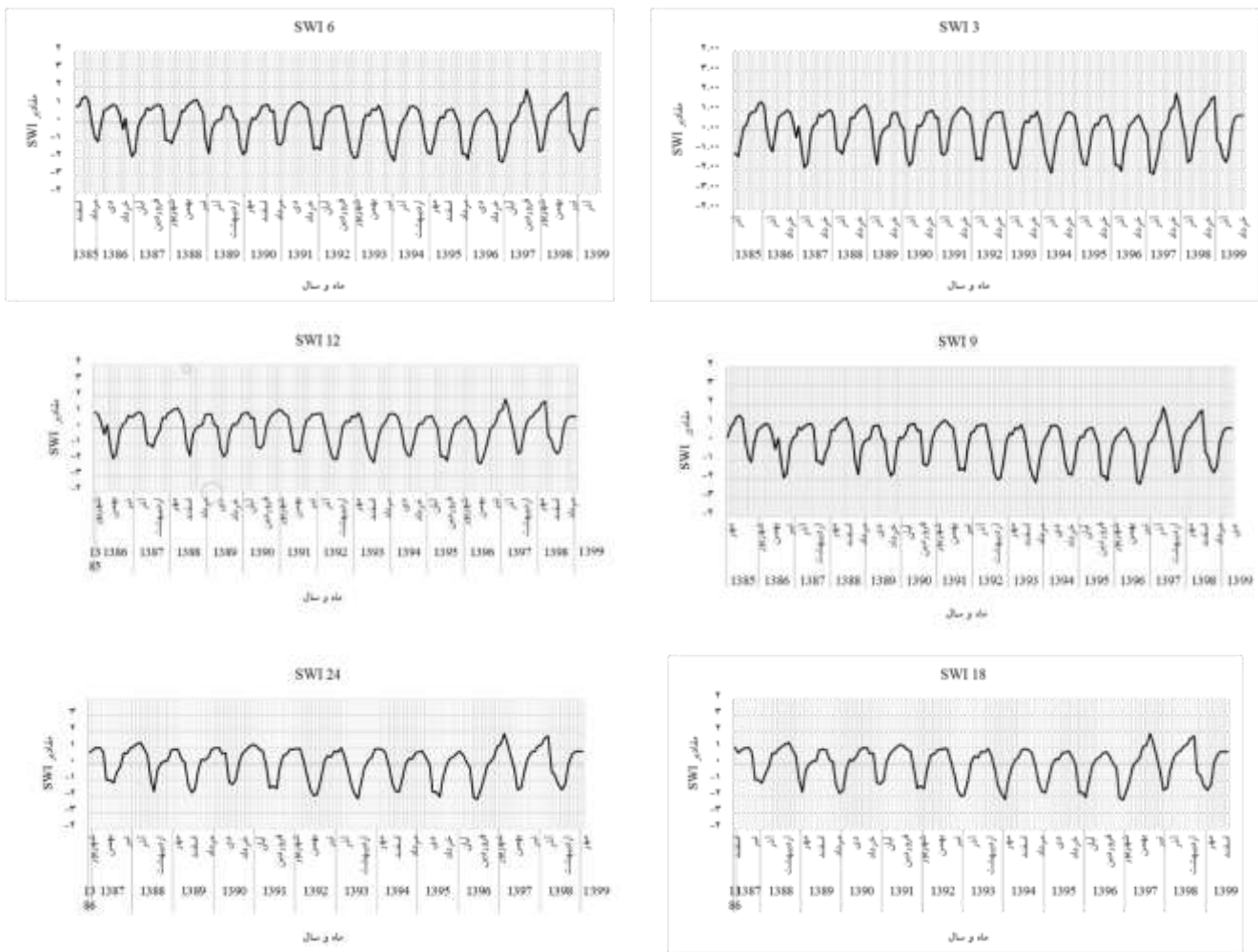
این تحقیق با هدف، بررسی تأثیر خشکسالی و ترسالی بر کیفیت و کمیت آب زیرزمینی شهرستان کلاله انجام شد. مقدار شاخص SPI در مقیاس های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه در شکل (۳) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش سری های زمانی، تداوم خشکسالی بیشتر و مقادیر شاخص منفی تر و تکرار آنها نیز بیشتر می شود. برای نمونه تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه: دوره های به شدت خشک در سال ۱۳۸۶، ۱۳۸۹، ۱۳۹۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹ مشاهده شد. دوره های به شدت مرطوب در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۷ مشاهده شد.





شکل ۴- وضعیت خشکسالی SPI در مقیاس سالانه

شاخص SWI به منظور پایش بی نظمی‌ها و تغییرات سطح آب زیرزمینی ارائه شده است. با استفاده از داده‌های عمق آب زیرزمینی با طول دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۹) مقادیر شاخص SWI برای هر کدام از ۱۰ چاه پیزومتر و کل محدوده مطالعاتی محاسبه شد. به منظور عدم تکرار نتایج مشابه و حجیم بودن نتایج مربوط به هر چاه، در این بخش تنها به نتایج محاسبه این شاخص به صورت کلی در محدوده مطالعاتی بسنده شد. نتایج مربوط به شاخص SWI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه در شکل (۵) ارائه شده است. شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه در مهرماه ۱۳۹۸ با مقدار شاخص (۱/۸۷۲) به وقوع پیوسته است. خشکسالی آب زیرزمینی در مقیاس‌های زمانی دیگر نیز رخ داده و تکرار شده است.



شکل ۵- تغییرات شاخص SWI در مقیاس زمانی ۳ ماهه، ۶ ماهه، ۹ ماهه، ۱۲ ماهه، ۱۸ ماهه و ۲۴ ماهه

وضعیت خشکسالی SWI در مقیاس سالانه در شکل ۶ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، شدیدترین خشکسالی‌های آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ رخ داده است.



شکل ۶- تغییرات شاخص SWI در مقیاس سالانه

نتایج همبستگی پیرسون بین دو متغیر SPI و SWI در جدول ۶ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بین این دو متغیر همبستگی معنی دار ( $r=0/664$ ) در سطح یک درصد وجود دارد.

جدول ۶- نتایج تحلیل همبستگی پیرسون بین دو متغیر SPI و SWI

SWI		متغیرها
P value	R	
0/007	0/664	SPI

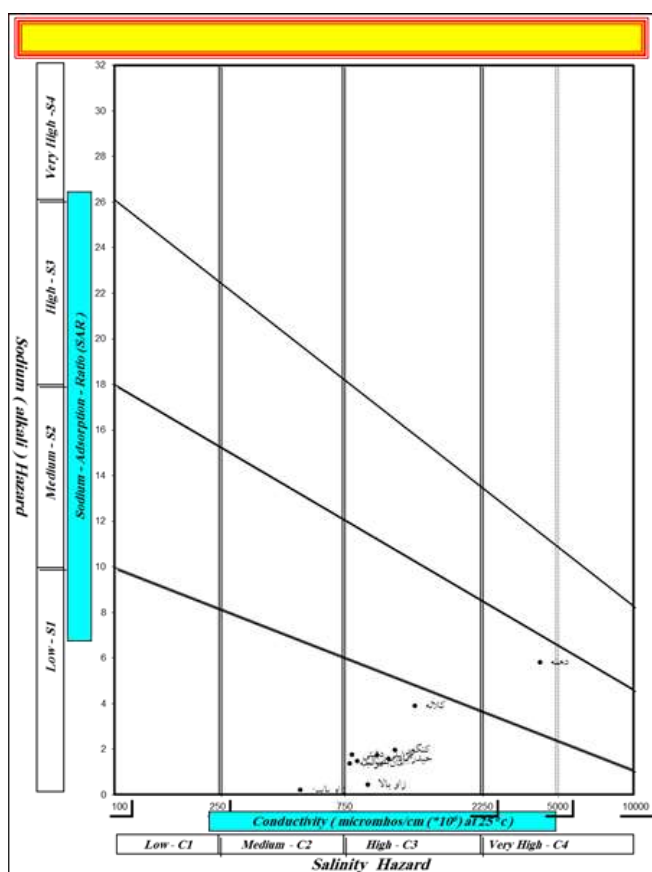
نتایج همبستگی پیرسون بین دو متغیر SPI و متغیرهای کیفی آب در جدول (۷) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود از میان متغیرهای کیفی آب، تنها بین pH و شاخص SPI همبستگی ( $r=0/517$ ) معنی‌دار مثبت وجود دارد ( $P=0/048$ ). نتایج همبستگی پیرسون بین دو متغیر SWI و متغیرهای کیفی آب در جدول (۷) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بین هیچکدام از متغیرهای کیفی آب و شاخص SWI همبستگی معنی‌دار وجود ندارد.

جدول ۷- نتایج تحلیل همبستگی پیرسون بین شاخص‌های SPI و SWI با متغیرهای کیفی آب

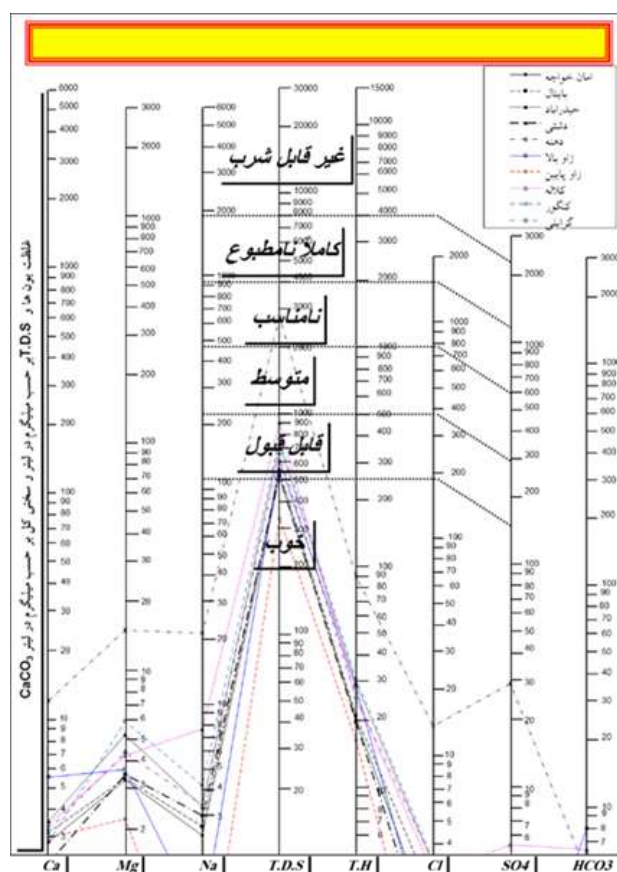
SWI		SPI		متغیرها
P value	r	P value	r	
0/17	0/374	0/187	0/361	پتاسیم
0/61	-0/144	0/843	0/056	سدیم
0/9	0/032	0/879	0/043	منیزیم
0/62	0/138	0/6	0/147	کلسیم
0/73	0/097	0/482	0/197	سولفات
0/5	-0/186	0/568	-0/161	کلر
0/8	-0/056	0/8	0/071	بی‌کربنات
0/46	0/2	0/048	0/517	pH
0/8	-0/07	0/79	0/075	کل مواد جامد محلول
0/9	-0/03	0/66	0/122	هدایت الکتریکی

### بررسی کیفیت آب از لحاظ شرب و کشاورزی

با توجه به میانگین متغیرهای کیفی آب زیرزمینی چاه‌های مورد مطالعه در طی دوره آماری (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹)، نمودار شولر تهیه شد (شکل ۷). همانطور که مشاهده می‌شود کیفیت آب آشامیدنی شهرستان کلاله در طی دوره مطالعاتی دارای کیفیت متوسطی هستند. تنها کیفیت آب چاه باینال از نظر شرب نامناسب بود. به‌منظور طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی، از تقسیم بندی ویلکاکس استفاده گردید (شکل ۸). برطبق این نمودار آب چاه زاو پایین در کلاس C2S1 قرار داشته، بنابراین دارای کیفیت خوب برای کشاورزی است. همچنین آب چاه دهنه در کلاس C4S2 قرار داشته و از نظر مصارف آبیاری و کشاورزی در وضعیت نامناسب بود، آب سایر چاه‌ها در کلاس C3S1 قرار داشته و از نظر مصارف کشاورزی دارای وضعیت متوسط هستند.



شکل ۸- طبقه بندی چاه های دشت برای مصرف کشاورزی



شکل ۷- طبقه بندی چاه های دشت برای مصرف شرب

در این تحقیق، بررسی وضعیت خشکسالی شهرستان کلاله با SPI حاکی از آن بود که شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶ و مرطوب‌ترین سال‌ها نیز در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۷ رخ داده است. در بیشتر دوره‌های مورد مطالعه، وضعیت متوسط (نرمال) را در خشکسالی هواشناسی شاهد بودیم و شرایط به‌شدت خشک یا به‌شدت مرطوب به‌ندرت اتفاق افتاده است. وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی در مقیاس سالانه نشان داد که شدیدترین خشکسالی‌های آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ رخ داده است و در بیشتر سال‌های مطالعاتی دوره‌های ترسالی یا تغذیه نشان داده شده است. شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی در مهر ماه ۱۳۹۸ با مقدار شاخص (۱/۱۷۲) به وقوع پیوسته است هر چند که خشکسالی آب زیرزمینی در مقیاس‌های زمانی دیگر نیز رخ داده و تکرار شده است. مقدار ماهانه شاخص SPI در ایستگاه تهر در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹ نشان داد که دوره‌های به‌شدت خشک در سال ۱۳۸۷ (ماه‌های آبان تا آذر) و تیر ماه ۱۳۹۹ رخ داده است. دوره خیلی خشک در مهر ماه ۱۳۸۷، سال ۱۳۹۲ (اردیبهشت و خرداد ماه) و ۱۳۹۹ (اردیبهشت تا شهریور ماه) مشاهده شد. دوره‌های به

شدت مرطوب در آبان ماه ۱۳۹۸ مشاهده شد. همچنین دوره‌های خیلی مرطوب بهمن ماه ۱۳۹۱، (۱۳۹۷) (فروردین تا شهریور) و ۱۳۹۸ (مهر، آذر) رخ داد.

نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش شدت خشکسالی، سطح آب‌های زیرزمینی به طور معناداری کاهش می‌یابد و با وقوع ترسالی، سطح آب‌های زیرزمینی افزایش یافت که با نتایج تمدن و نوذری (۱۳۹۵) در دشت زرقان فارس، اسدزاده و همکاران (۱۳۹۵) در دشت قروه-چاردلی، نجف زاده و همکاران (۱۳۹۳) در دشت مه ولات، چمن‌پیرا و همکاران (۱۳۹۳) در دشت الشتر، فریدپور (۱۳۹۲) در دشت مرند و Kubicz et al., (2019) در لهستان مطابقت دارد. اما نتایج تحقیق فروتن و گلپایگانی (۱۳۹۸) در حوزه آبخیز شریف آباد در استان قم، ارتباط و همبستگی معنادار بین SPI و SWI نشان نداد که با نتایج تحقیق ما مغایرت دارد. اسکندری‌یاور (۱۳۹۴) در بررسی اثرات خشکسالی بر آب‌های زیرزمینی دشت دزفول-اندیمشک نشان داد با افزایش رخداد خشکسالی، سطح آب‌های زیرزمینی کاهش یافته و بهره‌برداری از چاه‌ها این وضعیت را بحرانی‌تر کرده است.

نتایج همبستگی بین متغیرهای SWI و متغیرهای کیفی آب نشان داد که بین هیچکدام از متغیرهای کیفی آب و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی همبستگی معنی‌دار وجود ندارد. در متغیر SPI نیز فقط بین اسیدیته و شاخص خشکسالی هواشناسی ارتباط معنادار وجود داشت. نتایج تحقیق نوری و همکاران (۱۳۹۱) در سیلاخور بروجرد نشان از عدم تأثیر معنی‌دار کلاس‌های خشکسالی و ترسالی بر کیفیت آب به غیر از pH داشت که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد؛ اما در پژوهش تمدن و نوذری (۱۳۹۵) در دشت زرقان فارس، Aladejana et al., (2020) در نیجریه و Fallatah and Khattab., (2023) در عربستان سعودی، Peña-Guerrero et al., (2020) در شیلی و جندقی و همکاران (۱۴۰۰) در دشت گرگان بین کیفیت آب و کاهش سطح آب زیرزمینی ارتباط معنادار وجود داشت که با نتایج تحقیق ما مغایرت دارد. همچنین در تحقیق Ranjpisheh et al., (2018) در حوزه شبستر، کاهش و افزایش کیفیت آب به ترتیب منطبق بر دوره‌های خشکسالی و ترسالی بود در حالی که در تحقیق حاضر ارتباط آماری معناداری بین خشکسالی و کیفیت آب زیرزمینی یافت نشد. عدم مطابقت نتایج مطالعات می‌تواند به دلیل تفاوت دوره‌های مطالعاتی، روش متفاوت ارزیابی و استفاده از شاخص‌های خشکسالی و همچنین نحوه بهره‌برداری از منابع زیرزمینی مرتبط باشد.

با توجه به نتایج نمودار شولر شکل (۷)، کیفیت آب آشامیدنی شهرستان کلاله در طی دوره مطالعاتی دارای کیفیت متوسط است و تنها کیفیت آب چاه باینال از نظر شرب نامناسب است. نتایج فریدپور (۱۳۹۲) در دشت مرند نیز نشان داد که اکثر پارامترهای آب زیرزمینی دارای کیفیت خوب تا متوسط برای مصارف شرب هستند. همچنین به‌منظور تقسیم‌بندی ویلکاکس برای طبقه‌بندی آب از نظر آبیاری بر اساس شوری و نسبت جذب سدیم شکل (۸) نشان داد که آب تمامی چاه‌ها به جز چاه دهنه از نظر مصارف کشاورزی دارای وضعیت مطلوبی می‌باشند. کیفیت آب چاه‌های مورد مطالعه شهرستان کلاله از نظر آبیاری بر اساس متغیرهای SAR و EC، خوب و قابل قبول بود که با نتایج تحقیقات Fallahati et al., (2020) در شهرستان ساوه و Jeihouni et al., (2018) در دشت‌های شرقی دریاچه ارومیه مغایرت دارد.

با افزایش مقیاس زمانی، دوره‌های با مثبت یا منفی SPI از نظر تعداد یا فراوانی کاسته شده، ولی مدت خشکسالی یا ترسالی یا تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد. این مورد را می‌توان به این صورت توجیه کرد که در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت، مجموع مقادیر بارش نسبت به مقیاس‌های زمانی بلندمدت کم هستند. به طور مثال در مقیاس زمانی ۳ ماهه، بارندگی سه ماه قبل با هم جمع می‌شوند، ولی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بارندگی ۱۲ ماه قبل با هم جمع می‌شوند از این رو تغییر اندک بارش در ماه بعد تأثیر شدیدی روی مقادیر مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت خواهد گذاشت و ممکن است به طور ناگهانی از یک خشکسالی شدید به ترسالی متوسط یا شدید برسیم اما در مقیاس‌های زمانی بلندمدت مقادیر بارش بزرگی لازم است تا وضعیت ترسالی و خشکسالی تغییر یابد.

هرچند عامل آب و هوایی بیشترین تاثیر را در افت سطح ایستابی طی سال‌های اخیر داشته ولی این بحران حاصل مجموعه عواملی از جمله برداشتهای بی‌رویه است که خود معلولی از خشکسالی است. بنابراین چون روند تغییرات سطح ایستابی با تغییرات خشکسالی همخوانی دارد، می‌توان نتیجه گرفت که افت سطح ایستابی منطقه مورد مطالعه عمدتاً تحت تاثیر خشکسالی است. هرچند با انجام اقداماتی مانند پلمپ و مسدود کردن چاه‌های بدون پروانه در منطقه، نصب کنتور حجمی بر روی چاه‌های پروانه دار، جلوگیری از صدور پروانه جدید حفر چاه می‌توان شرایط را تا حدودی بهبود بخشید.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثرات خشکسالی و ترسالی بر کیفیت و کمیت آب زیرزمینی شهرستان کلاله بررسی و تحلیل شد و نتایج نشان داد در طی دوره مورد مطالعه (۱۳۸۵-۱۳۹۹)، شدیدترین خشکسالی‌های هواشناسی در سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶ رخ داده است و مرطوب‌ترین سال‌ها نیز در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۷ اتفاق افتاده است. در بیشتر دوره‌های مورد مطالعه، وضعیت متوسط (نرمال) وجود داشته است. همچنین شدیدترین خشکسالی‌های آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ رخ داده است. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش شدت خشکسالی، سطح آب‌های زیرزمینی به طور معناداری کاهش می‌یابد و با وقوع ترسالی، سطح آب‌های زیرزمینی شهرستان کلاله افزایش نشان داد. در بین هیچکدام از متغیرهای کیفی آب و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی همبستگی معنی‌دار یافت نشد. فقط بین اسیدیته و شاخص خشکسالی هواشناسی ارتباط معنادار وجود داشت. کیفیت آب آشامیدنی شهرستان کلاله در طی دوره مطالعاتی دارای کیفیت متوسطی بوده و تنها کیفیت آب چاه باینال از نظر شرب نامناسب بود. آب تمامی چاه‌ها به جز چاه دهنه از نظر مصارف آبیاری و کشاورزی دارای وضعیت مطلوبی و قابل قبولی بود. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده به نوعی ثبات نسبی در کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارد؛ هرچند که نیاز است در زمان‌های رخداد خشکسالی تمهیداتی برای کاهش استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی اندیشیده شود و در زمان‌های ترسالی با انجام اقداماتی شرایط برای افزایش نفوذپذیری بارش‌ها و تغذیه منابع آب زیرزمینی فراهم گردد.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش کد اخلاق را به شماره IR.UT.RES.2025.500 از کمیته اخلاق دانشکده/دانشگاه گنبدکاووس دریافت کرده است.

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

#### مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله  
نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

نویسنده سوم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله  
نویسنده چهارم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله

#### تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

#### سپاسگزاری

نویسندگان صمیمانه از همکاری و حمایت سازمان هواشناسی استان گلستان و شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان که داده‌های مورد نیاز این مطالعه را فراهم کردند، تشکر می‌کنند. همچنین از همه کسانی که در جمع‌آوری داده‌ها، دسترسی به چاه‌های پیژومتری، تجزیه و تحلیل‌های فنی و بررسی نسخه خطی یاری رساندند، سپاسگزاری می‌کنند.

## منابع

- اسدزاده، ف.، کاکي، م.، شکیبا، س.، و راعي، ب. ۱۳۹۵. تأثیر خشکسالی بر کیفیت آب زیرزمینی و سطح آب زیرزمینی در دشت قروه-چاردلی، *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۲(۳)، ۱۵۳-۱۶۵.
- اسکندری یاور، م. ۱۳۹۴. بررسی اثرات خشکسالی بر آب های زیرزمینی دشت دزفول اندیمشک، پایان نامه کارشناسی ارشد هیدرولوژی کاربردی و هواشناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان.
- آقایی، م.، حشمت پور، ع.، قره محمودلو، م.، و سیدیان، س.م. ۱۳۹۹. بررسی کیفیت آب رودخانه چهل چای با استفاده از شاخص IRWQIsc. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۵ (پیاپی ۹۶))، ۱۵۳-۱۶۶.
- پیری، ح.، عباس زاده، م.، و رانندگی، س. ۱۳۹۲. ارزیابی مقایسه ای ۴ پروفایل خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه ای (مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان). *مجله مهندسی منابع آب*. ۶ (۱۷): ۲۵-۳۶.
- تمدن، ف.، و نوذری، ح. ۱۳۹۵. بررسی اثرات خشکسالی بر کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی دشت زرقان فارس طی سالهای ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵. *فصلنامه زمین شناسی محیطی*. ۱۱ (۴۱): ۸۴-۷۷.
- جعفری اول، ی.، عبادی، ن.، یوسفی، ح.، کلانتری، ب.، و میرزایی، م. (۱۳۹۶). توزیع و پایش کیفیت آب قنات ها برای مدیریت منابع آب، *اکوهیدرولوژی*، ۴(۱)، صص. ۳۹-۵۲.
- جندقی، ن.، قره محمودلو، م. و نصیری، ا. ۱۴۰۰. تأثیر دوره های مرطوب و خشکسالی بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی منابع آب زیرزمینی در شرق دشت گرگان. *مدیریت بیابان*، ۶۳-۷۸.
- چمن پیرا، گ.، زهتابیان، گ.، احمدی، ح.، و ملکیان، ع. ۱۳۹۳. تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی به منظور مدیریت بهره برداری بهینه، *مطالعه موردی: دشت آشتَر، مهندسی و مدیریت آبخیزداری*، ۶(۱): ۱۰-۲۰.
- چیت سازان، م.، میرزایی، ی.، و محمدی، ح. ۱۳۸۸. تأثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت خویس در شمال خوزستان). *دومین کنفرانس ملی خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن*. اصفهان، ایران.
- حشمت پور، ع.، جندقی، ن.، قره محمودلو، م.، و پسند، س. ۱۳۹۹. اثرات خشکسالی بر کیفیت آبهای سطحی استان گلستان برای اهداف آبیاری، *مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود*. *فصلنامه جغرافیای فیزیکی*، ۱۳(۴۸)، ۷۵-۸۸.
- خرد ناروی، س. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر خشکسالی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت ایرانشهر با استفاده از شاخص های SPI و RAI. *پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری*. دانشگاه زابل، زابل، ایران.
- خسروی، خ. ۱۳۹۱. ارزیابی آب زیرزمینی دشت دهگلان با استفاده از مدل دراستیک مبتنی بر GIS. *پایان نامه کارشناسی ارشد*. گروه آبخیزداری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- روشندل، ف. ۱۳۹۰. بررسی خشکسالی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در دشت چاردلی، استان کردستان. *پایان نامه کارشناسی ارشد کشاورزی*. دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.
- فروتن، ع.، گلیپایگانی، ف. ۱۳۹۸. بررسی رابطه تغییرات آب های زیرزمینی با شاخص خشکسالی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شریف آباد استان قم). *فصلنامه علوم و فناوری محیط زیست*. ۲۲ (۵): ۲۶۵-۲۵۵.

فریدپور، م. ۱۳۹۲. تحلیل و بررسی تأثیر خشکسالی بر ویژگیهای کمی و کیفی آبهای زیرزمینی دشت مرند، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته هیدرولوژی و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز، ص ۱۰۹.

نجف زاده، ح.، رهتابیان، غ.، خسروی، ح. ۱۳۹۳. تأثیر عوامل اقلیمی و زمین شناسی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی در دشت مه ولات. *اکو هیدرولوژی*. ۲ (۳): ۳۳۶-۳۲۵.

نوری، ح.، ایلدرومی، ع.، بخشی، م. ۱۳۹۱. بررسی کیفیت آب های زیرزمینی در شرایط تغییر اقلیم و خشکسالی های آینده در دشت سیلاخور بروجرد. *فصلنامه جغرافیایی*. ۲۲ (۸۷): ۵۳-۳۱.

- Aghaee, M., Heshmatpour, A. Qara Mahmoodlu, M., Seyedian, S.M. 2020. Investigation of Water Quality of Chehelchay River Using IRWQIsc Index. *Environmental science and technology*, 5(22), 153-166. <https://doi.org/10.22034/jest.2019.36957.4341>. (In Persian).
- Aladejana, J.A., Kalin, R.M., Sentenac, P., Hassan, I. 2020. Assessing the impact of climate change on groundwater quality of the shallow coastal aquifer of eastern Dahomey basin, southwestern Nigeria. *Water*, 12(1), p.224.
- Asadzadeh, F., Kaki, M., Shakiba S., Rai, B. 2015. Impact of Drought on Groundwater Quality and Groundwater Level in Qorveh-Chardoli Plain, Iran *Water Resources Research*, 12(3), 153-165. (In Persian).
- Bhuiyan, C. 2004. Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. In: Proceedings of the XXth ISPRS Conference. Int. Soc. Photogramm. Remote Sens, Istanbul Available at: <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/243.pdf>
- Chamanpira, G., Zehtabian, G., Ahmadi, H., Malekian, A. 2014. Effect of drought on groundwater resources in order to optimize utilization management, case study: *Plain Alashtar, Watershed Engineering and Management*, 6(1). 10-20. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2014.101733> (In Persian).
- Chit Sazan, M., Mirzaei, Y., Mohammadi, H. 2009. The impact of drought on the quantity and quality of underground water resources (a case study of Khois Plain in North Khuzestan). In 2<sup>nd</sup> National conference on drought and its management solutions. Isfahan, Iran. (In Persian).
- Tamadon, f., Nozari, H. 2016. The study of the effects of drought on the quantity and quality of groundwater in the Zarghan plain of Fars during 2011-2016. *Environmental Geology Quarterly*. 11(41): 84-77. (In Persian).
- Eskandari-Yavar, M. 2015. Investigating the effects of drought on the underground waters of the Dezful-Andimshek plain, master's thesis in applied hydrology and meteorology, Faculty of Literature and Human Sciences, Lorestan University, p150. (In Persian).
- Fallahati, A., Soleimani, H., Alimohammadi, M., Dehghanifard, E., Askari, M., Eslami, F., Karami, L. 2020. Impacts of drought phenomenon on the chemical quality of groundwater resources in the central part of Iran—application of GIS technique. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-19.
- Fallatah, O., Khattab, M. R. 2023. Evaluation of Groundwater Quality and Suitability for Irrigation Purposes and Human Consumption in Saudi Arabia. *Water*, 15(13): 2352.
- Faridpour, M. 2013. Analysis and study of the effect of drought on the quantitative and qualitative characteristics of Marand plain groundwater, master's thesis in the field of hydrology and meteorology, Faculty of Geography, Tabriz University, p109. (In Persian).
- Frouton, A., Golpayegani, F. 2019. The Investigating the relationship between groundwater changes and drought index (case study: Sharif Abad watershed in Qom province). *Environmental Science and Technology Quarterly*. 22(5): 265-255. 10.22034/jest.2018.29165.3774. (In Persian).
- Hao, Z., AghaKouchak, A. 2014. A nonparametric multivariate multi-index drought monitoring framework. *Journal of Hydrometeorology*, 15(1), pp.89-101.

- Heshmatpour, A., Jandaghi, N., Ghareh Mahmoodlu, M., Pasand, S. 2020. Drought effects on surface water quality in Golestan province for Irrigation Purposes, Case study: Gorganroud River. *Physical Geography Quarterly*, 13(48), 75-88. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085656.1399.13.48.6.0>. (In Persian)
- Jafari Aval, Y., Ebadi, N., Yousefi, H., Kalantari, B., Mirzaei, M. 2017. 'Distribution and monitoring of aqueducts water quality for water resources management', *Ecohydrology*, 4(1), pp. 39-52. doi: 10.22059/ije.2017.60881. (In Persian).
- Jandaghi, N., Mahoodlu, M.G., Nasiri, A. 2021. Effect of Wet and Drought Periods on Physico-Chemical Properties of Groundwater Resources in the Eastern Part of Gorgan Plain. *Desert Management*, 63-78, <https://doi.org/10.22034/jdmal.2021.246300>. (In Persian).
- Jeihouni, M., Toomanian, A., Alavipanah, S. K., Hamzeh, S., Pilesjo, P. 2018. Long term groundwater balance and water quality monitoring in the eastern plains of Urmia Lake, Iran: A novel GIS based low cost approach. *Journal of African Earth Sciences*, 147, 11-19.
- Khosravi, KH. 2012. Assessment of the Dehghan Plain Groundwater using drastic model based on GIS. Master thesis. Watershed Group. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources.p 95 (In Persian).
- KHrad Naroi, S. 2016. Studying the effect of drought on the quantity and quality of underground water in Iranshahr plain using SPI and RAI indices. *Master's thesis on watershed management*. Zabol University, Zabol, Iran. (In Persian).
- Kubicz, J., Kajewski, I., Kajewska-Szkudlarek, J., Dąbek, P. B. 2019. Groundwater recharge assessment in dry years. *Environmental Earth Sciences*, 78(18), 555.
- Lee, J. M., Park, J. H., Chung, E., Woo, N. C. 2018. Assessment of groundwater drought in the Mangyeong river basin, Korea. *Sustainability*, 10(3), 831.
- Mahmoudi, P., Tavousi, T., Shahozaei, AR. 2015 Drought and its effects on groundwater resources quality in Sistan and Baluchestan Province. *Journal of Water Research in Agriculture* 29(1):21-35.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. 1993, January. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Mohamed, A. A., Ali, R. M., Kombo, M. 2019. Groundwater Quality Dynamics during Wet and Dry Incidents in Urban West Region of Zanzibar Island. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*. 2(2): 61-69.
- Mosley, L. M. 2015. Drought impacts on the water quality of freshwater systems; *review and integration*. *Earth-Science Reviews*, 140, 203-214.
- Najafzadeh, H., Rahtabian, G., Khosravi, H. 2014. The influence of climatic and geological factors on the quantity and quality of underground water resources in the Mehwalat Plain. *Ecohydrology*. 2(3): 336-325. 10.22059/ije.2015.57301 (In Persian).
- Nouri, H., Ildroumi, A., Bakhshi, M. 2022. Investigating the quality of underground water in the conditions of climate change and future droughts in the Silakhor Plain of Borujerd. *Geographical Quarterly*. 22(87): 53-31. 20.1001.1.1735322.1401.22.78.3.2 . (In Persian).
- Peña-Guerrero, M. D., Nauditt, A., Muñoz-Robles, C., Ribbe, L., Meza, F. 2020. Drought impacts on water quality and potential implications for agricultural production in the Maipo River Basin, Central Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 65(6), 1005-1021.
- Piri, H., Abbaszadeh, M., driving, S. 2013. Comparative evaluation of 4 meteorological drought profiles using cluster analysis method (case study: Sistan and Baluchistan province). *Journal of Water Resources Engineering*. 6 (17): 25-36. 20.1001.1.20086377.1392.6.17.3.1. (In Persian).
- Ranjpisheh, M., Karimpour Reihan, M., Zehtabian, G. R., Khosravi, H. 2018. Assessment of drought and landuse changes: Impacts on groundwater quality in Shabestar basin, North of Lake Urmia. *Desert*, 23(1), 9-19.

- Roshandel, F. 2011. Investigation of drought on the quantity and quality of underground water in Chardeli plain, Kurdistan province. Master's thesis in agriculture. Razi University of Kermanshah. (In Persian).
- Schoeller, H. 1962. Les eaux souterraines: hydrologie dynamique et chimique. Masson et Cie.
- Secci D., Tanda M.G., D'Oria M., Todaro V., Fagandini C. 2021. Impacts of climate change on groundwater droughts by means of standardized indices and regional climate models. *Journal of Hydrology*, 603, 127154.
- Shakiba, W. & Mirbagheri, B. Kheiri, A. 2010. Drought and its impact on groundwater resources in East
- Singhal, B. B. S. And Gupta, R. P. 1999. Applied Hydrogeology of Fracture Rocks.
- Spinoni, J., Barbosa, P., De Jager, A., McCormick, N., Naumann, G., Vog, J.V., Magni, D., Masante, D., Mazzeschi, M. 2019. A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22, p.100593.
- Xingyue, Qu., Shi, L., Han, J. 2022. Spatial evaluation of groundwater quality based on toxicological indexes and their effects on ecology and human health. *Journal of Cleaner Production*, 377, 134255.
- Yoon, J. H., Wang, S.S., Lo, M. H., Wu, W. Y. 2018. Concurrent increases in wet and dry extremes projected in Texas and combined effects on groundwater. *Environmental Research Letters*, 13(5), 054002.