دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۷
پاییز ۱۳۹۸، صفحات ۱۴۶-۱۳۱

سید حسین روشان[۱]
*محمود حبیب‌نژاد روشن[۲]
کاکا شاهدی[۳]

بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی و شاخص‌های خشکسالی GRI و SWI در دشت ساری-نکا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۵

چکیده

کاهش تراز آب زیرزمینی در اثر برداشت بی‌رویه از این منابع موجب فرونشست زمین در اغلب دشت‌های کشورمان شده است. بررسی و مطالعه این کاهش تراز و روند تغییرات آن برای مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از اثرات سوء برداشت بی‌رویه لازم و ضروری می‌باشد. در این تحقیق روند تغییرات شاخص‌های منبع آب زیرزمینی (GRI) و سطح آب استاندارد شده (SWI) به‌عنوان دو شاخص مهم در بررسی خشکسالی آب زیرزمینی مطالعه گردید. برای این منظور، داده‌های ٤٠ چاه پیزومتری واقع در دشت ساری-نکا با طول دوره آماری مشترک ۳۱ ساله استفاده گردید. در این تحقیق، ابتدا شاخص‌های GRI و SWI در مقیاس سالانه با استفاده از روابط موجود در محیط نرم‌افزارهای Excel 2016 و Minitab 17 محاسبه شدند و سپس با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال و تخمن‌گر شیب سن در محیط نرم‌افزار Makesens روند تغییرات آن‌ها بررسی گردید. نتایج نشان داد که هر دو شاخص خشکسالی در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای روند نزولی بوده و با گذشت زمان شدت خشکسالی بر اساس این دو شاخص افزایش پیدا کرده است. به‌طوری که شدیدترین خشکسالی هر دو شاخص در مقیاس سالانه مربوط به سال ۱۳۹٤ و بهترین ترسالی این دو شاخص مربوط به سال ۱۳٦۹ بوده که مهم‌ترین دلیل افزایش شدت خشکسالی در سال

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
*۲- گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. (نویسنده مسئول). E-mail: m.habibnejad@sanru.ac.ir
۳- گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

۱۳۹٤ افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری و در نتیجه برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی جهت کشاورزی در دشت می‌باشد.

کلید واژه‌ها: شاخص GRI، شاخص SWI، آزمون من-کندال، دشت ساری-نکا.

مقدمه

آب‌های زیرزمینی یک منبع طبیعی تجدیدپذیر و محدود و همچنین منبع حیاتی تغذیه برای بشر و اکوسیستم‌های مختلف در مناطق نیمه‌خشک می‌باشد (Thomas and Duraisamy, 2018: 121). در بیش‌تر مناطق دنیا، منابع آب زیرزمینی به عنوان یک منبع برای مصارف عمومی و همچنین فعالیت‌های کشاورزی به سرعت مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (Scheidleder et al., 1999: 4). برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان سبب افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است (Khosroshahi, 2007: 1; Shafiei et al., 2019: 291)؛ که این افت در درازمدت موجب خشکیدگی جریان‌های آب زیرزمینی می‌شود که به این پدیده خشکسالی آب زیرزمینی می‌گویند (Calow et al., 1999: 256). همچنین این خشکسالی در دوره‌هایی رخ می‌دهد که مقدار بارندگی در آن دوره کم‌تر از متوسط بلندمدت باشد (Peters et al., 2006: 257) و بنابراین خشکسالی آب زیرزمینی زمانی اتفاق می‌افتد که در آن آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یک منبع مهم تأمین آب، تحت تأثیر خشکسالی طولانی‌مدت قرار می‌گیرند، در این نوع خشکسالی ابتدا تغذیه، سپس سطح ایستابی و نهایتاً میزان تخلیه سیستم‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی کاهش می‌یابد (Ahmadi Akhormeh et al., 2015: 105). خشکسالی مخاطره‌آمیزترین پدیده طبیعی است. اگر چه امکان جلوگیری از وقوع آن وجود ندارد، اما می‌توان با انجام اقداماتی اثرات منفی آن را کم نمود. یکی از سیستم‌هایی که به‌شدت تحت تأثیر خشکسالی واقع شده و کم‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد، آب‌های زیرزمینی است (Chamanpira et al., 2014: 10). از مهم‌ترین شاخص‌های مناسب در بررسی خشکسالی آب زیرزمینی و تغییرات تراز آن می‌توان به شاخص‌های SWI (Bhuiyan, 2004: 2) و GRI (Mendicino et al., 2008: 286) اشاره کرد. یکی از رویکردهای مهم در مطالعات آب زیرزمینی بررسی روند تغییرات عمق دسترسی به آب زیرزمینی در مقیاس‌های مختلف زمانی برای مطالعات خشکسالی آب زیرزمینی می‌باشد. بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب هر منطقه از اهمیت فراوانی برخوردار است (Samadi et al., 2015: 67). وجود روند در پارامترهای هیدرولوژیک به دلیل طبیعت پیچیده فرآیندهای هیدرولوژیک و تغییرات اقلیمی می‌باشد. برای بررسی وجود روند در سری‌های هیدرولوژیک روش‌های مختلفی وجود دارد، ولی در مطالعات اغلب از روش‌های ناپارامتریکی استفاده می‌شود (Daneshvar Vousoughi et al., 2011: 13). روش من-کندال و تخمین‌گر سن از مهم‌ترین روش‌های ناپارامتریک در ارزیابی وجود روند در سری‌های هیدرولوژیک و اقلیمی هستند که به طور گسترده در آشکارسازی روند داده‌های غیرنرمال استفاده می‌شوند (Abiane، Sobouhi and Soltani, 2008: 305؛ Pasquini et al., 2006: 130 et al., 2012: 175). از بین آزمون‌های ناپارامتری، آزمون من-کندال (Mann, 1945: 110؛ Kendall, 1975: 245)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

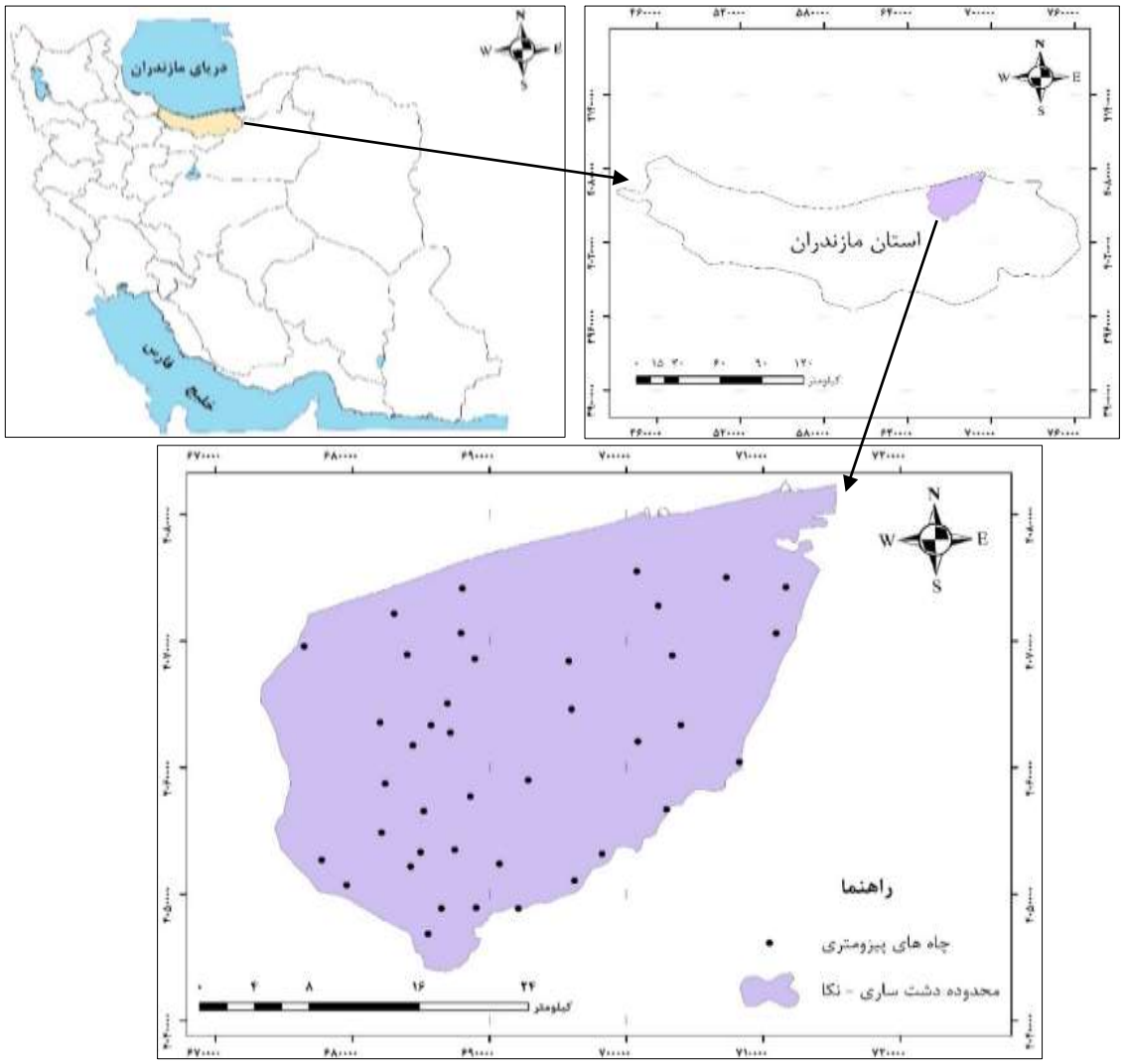
بهترین روش برای بررسی روند یکنواختی در سری داده‌ها می‌باشد (Mirabassi and Dinpazhooh, 2013: 59). در اغلب مطالعات به بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی پرداخته شده و کم‌تر به تغییرات روند شاخص‌های خشکسالی آب زیرزمینی توجه شده است. (Panda et al 2007: 140) در منطقه Orissa در کشور هند به تأثیر خشکسالی و دخالت بشر بر روی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری من–کندال پرداختند، نتایج نشان داد که افت سطح آب به علت کمبود باران در طول سال‌های خشک، دمای بالا و دخالت بشری نتوانسته در سال‌های مرطوب با تغذیه این افت را جبران کند. Kaown et al (2012: 65) به بررسی روند زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی در کاربری‌های مختلف پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آزمون کندال می‌تواند برای کنترل کیفیت آب زیرزمینی در کاربری‌های مختلف به‌کار رود. Adhikary et al (2013: 2917) در تحقیقی با عنوان بررسی خشکسالی آب‌های زیرزمینی در شمال‌شرق بنگلادش به این نتیجه رسیدند که به دلیل برداشت بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی شدت خشکسالی آب زیرزمینی افزایش یافته است. Daneshvar Vousoughi et al (2011: 165) رفتار تراز آب زیرزمینی را تحت تأثیر خشکسالی دو دهه اخیر مورد مطالعه قرار داده و روند تراز آب زیرزمینی ۳۲ ایستگاه پیزومتری در منطقه دشت اردبیل را در دوره آماری ۱۳٦۷ تا ۱۳۸۷ با آزمون ناپارامتری من–کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط سطح آب زیرزمینی در دشت اردبیل حدود ۱۸ سانتی‌متر در سال افت داشته است. Naderianfar et al (2011: 22) در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور مشخص کردند که روند شیب سطح آب زیرزمینی دشت در دوره ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۵ مثبت بوده و در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. Samadi et al (2015: 67) به بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از آزمون ناپارامتری من–کندال در دشت ارومیه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در همه ایستگاه‌ها تراز آب زیرزمینی دارای روند منفی و در ٥٦٪ ایستگاه‌ها روند منفی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده است. بررسی شیب خط روند نشان داد که به‌طور متوسط تراز آب زیرزمینی در دشت ارومیه حدود ۱۹/۹ سانتی‌متر در سال در دهه اخیر در حال کاهش است. هدف این تحقیق محاسبه شاخص‌های سطح آب استاندارد شده (SWI) و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) و بررسی وجود روند در آن‌ها و روند تغییرات تراز آب زیرزمینی می‌باشد که می‌توان از روی آن به الگوی خشکسالی آب زیرزمینی در طول دوره مورد بررسی دست یافت و با مدیریت بهینه مصرف از روند خشکسالی آب زیرزمینی جلوگیری به عمل آورد.

منطقه مورد مطالعه

دشت ساری–نکا در شهرستان‌های ساری و نکا، استان مازندران واقع شده است. موقعیت جغرافیایی این دشت بین طول شرقی "١٤ ′٣٧ °٥٢ تا "١٥ ′٠٩ °٥٤ و عرض شمالی "٢٨ ′٥١ °٣٥ تا "٠٣ ′١١ °٣٧ می‌باشد. این منطقه از شمال به دریای مازندران، از جنوب به رشته کوه‌های البرز، از شرق به حوزه آبخیز شورش رستم کلا و از غرب به حد شرقی حوزه آبخیز رودخانه سیاه‌رود منتهی می‌شود. مساحت آن حدود ۹۵۱ کیلومتر مربع و محیط آن ١٥٦ کیلومتر می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالانه ١٦/٨ درجه سانتی‌گراد، مقدار بارندگی سالیانه ٦٨٧/١ میلی‌متر می‌باشد. مهم‌ترین

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

رودخانه‌های جاری در این دشت دو رودخانه دائمی تجن و نکارود است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی این دشت در استان مازندران و کشورمان را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت دشت ساری-نکا در استان مازندران و ایران

Figure 1: Location of Sari-Neka plain in Mazandaran province and Iran

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ابتدا داده‌های مربوط به چاه‌های موجود در دشت مورد نظر از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران اخذ گردید. سپس به منظور انتخاب پایه زمانی مشترک تعداد ٤٠ چاه دارای آمار نسبتا کامل مربوط به سال‌های ١٣٦٤ تا ١٣٩٤ انتخاب گردیدند. در ادامه به منظور کنترل کمی و اصلاح و بازسازی داده‌ها و حذف داده‌های پرت از آزمون‌های آماری ران تست و خط رگرسیون بهره گرفته شد. در نهایت مقدار شاخص‌های خشکسالی منبع آب زیرزمینی (GRI) و سطح آب استاندارد شده (SWI) در مقیاس زمانی سالانه برای کلیه چاه‌ها بر اساس روابط موجود در نرم‌افزارهای

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

Excel 2016 و Minitab 17 محاسبه گردید و با استفاده از روش ناپارامتری من–کندال در نرم‌افزار Makesens اقدام به روندیابی سالانه این شاخص‌ها و تراز آب زیرزمینی دشت مورد نظر گردید.

- شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI)

نمایه منبع آب زیرزمینی در سال ۲۰۰۸ در ایتالیا ارائه شد (Mendicino et al., 2008: 286). این نمایه به منظور ارزیابی وضعیت مخزن سفره آب زیرزمینی به‌کار می‌رود. این شاخص با توجه به آمار بلندمدت سطح ایستابی بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$GRI = \frac{D_{y.m} - \mu_{D.m}}{\sigma_{D.m}}$$ رابطه (۱)

که در آن؛ GRI: ارزش شاخص منبع آب زیرزمینی در ماه m از سال y، $D_{y.m}$: ارزش سطح ایستابی در ماه m از سال y، میانگین داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال، $\sigma_{D.m}$: انحراف معیار داده‌های سطح ایستابی ماه m برای D سال. شاخص سطح آب استاندارد شده (SWI).

شاخص سطح آب استاندارد شده توسط بویان در سال ۲۰۰٤ ارائه شد و هدف از آن بررسی نوسانات و آنومالی‌های سطح آب زیرزمینی در هندوستان بوده است. معادله محاسباتی این شاخص به‌صورت زیر می‌باشد.

$$SWI = \frac{W_{ij} - W_{im}}{\sigma}$$ رابطه (۲)

که در آن؛ W_{ij}: سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری i تا j، W_{im}: میانگین ماهانه سطح ایستابی و σ: انحراف معیار می‌باشد (Bhuiyan, 2004: 2). بر اساس این شاخص‌ها شدت خشکسالی در ۵ طبقه تقسیم‌بندی می‌شود که مقادیر مثبت SWI نشان دهنده خشکسالی و مقادیر منفی آن نشان دهنده عدم خشکسالی یا شرایط نرمال است (Faridpour et al., 2019: 21) (جدول ۱).

جدول ۱- طبقه‌بندی شدت شاخص‌های SWI و GRI

Table 1- Classification of severity of SWI and GRI indices

طبقات خشکسالی	مقادیر SWI	مقادیر GRI
بدون خشکسالی	<۰	>۰
خشکسالی ملایم	۰/۹۹ – ۱	(-۰/۹۹) - ۰
خشکسالی متوسط	۱ - ۱/٤۹	(-۱/٤۹) – (-۱)
خشکسالی شدید	۱/۵۰ – ۱/۹۹	(-۱/۹۹) – (-۱/٤۹)
خشکسالی بسیار شدید	≥ ۲	≤ -۲

(Mendicino et al., 2008: 286؛ Bhuiyan, 2004: 2)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- آزمون من-کندال

این آزمون ابتدا توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بسط و توسعه یافته است (Serrano et al., 1999: 86). این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود (Lettenmaier et al., 1994: 588). از نقاط قوت این آزمون می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. همچنین اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی سری‌های زمانی مشاهده می‌شود از دیگر مزایای استفاده از این روش است (Partal and Kahya, 2006: 2011). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. آزمون من کندال با محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج آماره S به شکل معادله (۳) تعریف می‌شود (Eivazi et al., 2010: 158).

$$S=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n}\operatorname{sgn}(x_j-x_i) \qquad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن؛ X_i و X_j به ترتیب داده‌های i ام و j ام سری می‌باشند. n: تعداد مشاهدات سری، تابع علامت نیز با رابطه (٤) قابل محاسبه است.

$$\operatorname{sgn}(x)=\begin{cases}+1\Rightarrow(X_i-X_k)>0\\0\Rightarrow(X_i-X_k)=0\\-1\Rightarrow(X_i-X_k)<0\end{cases} \qquad \text{رابطه (٤)}$$

واریانس نیز به‌وسیله یکی از روابط زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (٥) اگر n>10 باشد:

$$\operatorname{Var}(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^{m}t(t-1)(2t+5)}{18}$$

رابطه (٦) اگر n≤10 باشد:

$$\operatorname{Var}(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

که n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌های است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. T نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد. مقدار نمره استاندارد شده Z از معادله زیر قابل محاسبه است:

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}\ \text{if}\ S>0\\0\ \text{if}\ S=0\\\dfrac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}\ \text{if}\ S<0\end{cases} \qquad \text{رابطه (۷)}$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد.

$$|Z|\le Z_{\frac{\alpha}{2}} \qquad \text{رابطه (۸)}$$

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون استفاده شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. از تخمین‌گر شیب سن نیز جهت تحلیل سری‌های زمانی استفاده گردید. این روش نیز همانند روش من–کندال از تحلیل متفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد معنی‌داری شیب به‌دست آمده در سطوح اعتماد مختلف می‌باشد. برای محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای از طریق رابطه زیر عمل می‌شود:

رابطه (۹)
$$Q = \frac{x_t - x_s}{t - s}$$

که در آن؛ X_t و X_S به‌ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s و t یک واحد زمانی بعد از زمان s می‌باشد. با اعمال رابطه ۸ برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند (Q_{med}) به‌دست می‌آید. مقدار مثبت Q_{med} حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند می‌باشد.

یافته‌ها و بحث

در این تحقیق برای مطالعه روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی آب زیرزمینی و تراز آب زیرزمینی در دشت ساری-نکا، ابتدا شاخص‌های خشکسالی GRI و SWI برای ٤٠ چاه به‌دست آمد و سپس با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال در نرم‌افزار Makesens روند تغییرات بررسی گردید.

– روند تغییرات شاخص‌های GRI و SWI

نتایج آماره Z و تخمین‌گر شیب سن به‌صورت سالانه .

برای چاه‌های پیزومتری انتخاب شده در جداول (۲ و ۳) ارائه شده است.

جدول ۲- تغییرات روند سالانه شاخص GRI با استفاده از آزمون من کندال و تخمین گر شیب سن

Table 2- Changes in the annual trend of the GRI index using Mann-Kendall test and Sen's slope estimator

نام چاه	Z	Sen	نام چاه	Z	Sen
اسفندان	−۱/٦۳	−۰/۰۰۸	دنگسرک	−۰/۹۷	−۰/۰۰۹
انجیل نسام	−۲/۷٤**	−۰/۰۲٦	دیوکتی	−۳/۰۱**	−۰/۰۲۵
اوجا محله	−٤/۲۵**	−۰/۰۵۱	ذغالچال	−٤/۷٦**	−۰/۰۳٦
آبمال	−۱/۸۰	−۰/۰۱٦	زینوند	−٤/۲۵**	−۰/۰۲۵
آکند	−۲/۷۹**	−۰/۰۲۵	سمسکنده	۳/۱۰**	۰/۰۳۱
بزمین آباد	−۲/۲۱*	−۰/۰٤۹	سنگر	−۲/۸٦**	−۰/۰۱۰
پارک وحش	−۳/۳۷**	−۰/۰۲٦	سه‌راه اسلام‌آباد	−۳/٦۹**	−۰/۰۱۸

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۲- تغییرات روند سالانه شاخص GRI با استفاده از آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن

Continue Table 2- Changes in the annual trend of the GRI index using Mann-Kendall test and Sen's slope estimator

نام چاه	Z	Sen	نام چاه	Z	Sen
پل تجن	-۲/۹٤**	-۰/۰۳۵	سه‌راه عسگرآباد	۱/۸۹	۰/۰۰۵
پنبه زارکتی	-٤/۲۵**	-۰/۰٤۲	شرق عبور نودهک	۲/۳۰**	۰/۰۲۰
تارده	۲/۲۵*	۰/۰۰٦	طوسکا	-۳/۹٤**	-۰/۰٦۵
تازه‌آباد	۱/۰۰	۰/۰۱۲	عروس کتی	۲/۵۷**	۰/۰۱٤
تجنک	-٤/۲۸**	-۰/۰۷۷	شرق طبق ده	۰/۲٤	۰/۰۰٤
جره سر	-۳/۵۰**	-۰/۰۲۱	فیروزکنده	۰/۹٤	۰/۰۱۵
چمازک	-۳/۹٤**	-۰/۰٤٦	کارکنده	٤/٦۳**	۰/۰۸۱
چنارین	-۵/۰۳**	-۰/۰۷۳	گرجی پل	-۱/۹٤	-۰/۰۱۰
حمید آباد	-۵/۲٦**	-۰/۰۳۸	مخزن ساری	-٤/٤٤**	-۰/۰۵۱
خانه سرمرز	-۲/٦۲**	-۰/۰٤۷	مرز رود	-۱/۰۰	-۰/۰۰۸
خزرآباد	-٤/۲۲**	-۰/۰۱۵	معلم کلابالا	-۰/٦۵	-۰/۰۰۸
خورشید	۱/۵٦	۰/۰۳۰	نوذرآباد	-۳/٦۰**	-۰/۰۳۲
دلمرز	-۳/۵۲**	-۰/۰۱۸	ولشکلا	-۱/۷۲	-۰/۰۲۱

جدول ۳- تغییرات روند سالانه شاخص SWI با استفاده از آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن

Table 3- Changes in the annual trend of the SWI index using Mann-Kendall test and Sen's slope estimator

نام چاه	Z	Sen	نام چاه	Z	Sen
اسفندان	-۱/۵۸	-۰/۰۳۰	دنگسرک	-۳/۸۱**	-۰/۰۵٦
انجیل نسام	-۲/٦۹**	-۰/۰۲۲	دیوکتی	۰/۸۰	۰/۰۱۲
اوجا محله	-۲/۹٦**	-۰/۰۵۷	ذغالچال	۳/۳۲**	۰/۰۲۲
آبمال	-۰/۰۲	-۰/۰۰۳	زینوند	-٤/۰۱**	-۰/۰۷۷
آکند	-۱/۵۳	-۰/۰۳٦	سمسکنده	٤/۲۹**	۰/۰۸۵
بزمین آباد	۲/۰۲*	۰/۰۳۷	سنگر	۳/٤۳**	۰/۰٦٦
پارک وحش	-۳/۳۵**	-۰/۰۵۰	سه‌راه اسلام‌آباد	۲/٦۷**	۰/۰٤٤
پل تجن	-۰/۲۵	-۰/۰۰۲	سه‌راه عسگرآباد	۲/۱٤*	۰/۰٤۱
پنبه زارکتی	۲/٦۲**	۰/۰٤۷	شرق عبور نودهک	۰/٤٦	۰/۰۱۰
تارده	۰/۲٤	۰/۰۰۳	طوسکا	۲/۹۲**	۰/۰٦۷
تازه‌آباد	۰/۰۲	۰/۰۰۲	عروس کتی	-۰/۹۹	-۰/۰۲۱

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۳- تغییرات روند سالانه شاخص SWI با استفاده از آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن

Continue Table 3- Changes in the annual trend of the SWI index using Mann-Kendall test and Sen's slope estimator

نام چاه	Z	Sen	نام چاه	Z	Sen
تجنک	-۱/۹۲	-۰/۰۳٦	شرق طبق ده	-۳/۰۸**	-۰/۰٦۰
جره سر	-۱/۰۰	-۰/۰۲۱	فیروزکنده	۰/۹۲	۰/۰۲۲
چمازک	٤/۰۰**	۰/۰۷٤	کارکنده	۱/۹۷*	۰/۰٤۰
چنارین	-۱/۵۳	-۰/۰۲۵	گرجی پل	۰/۹۲	۰/۰۱۷
حمیدآباد	-٤/۳۷**	-۰/۰۸۱	مخزن ساری	۳/۵۹**	۰/۰٦۳
خانه سرمرز	-۲/٦۲**	-۰/۰٤۷	مرز رود	-۱/۵۰	-۰/۰۲۷
خزرآباد	-۲/۸٤**	-/۰۵۱	معلم کلابالا	۱/۷۰	۰/۰۲۱
خورشید	-۰/۹۹	-۰/۰۲۲	نوذرآباد	-۲/۳۸**	-۰/۰۵۵
دلمرز	-۳/۵٤**	-۰/۰۵۹	ولشکلا	-۱/۷۰	-۰/۰۳۱

از جداول فوق می‌توان استنباط کرد که در شاخص GRI تعداد زیادی از چاه‌ها دارای روند بوده به‌طوری که تعداد سری‌های دارای روند نزولی بیش‌تر از تعداد سری‌های دارای روند صعودی می‌باشد. همچنین بیش‌ترین روند در سطح ۹۹ درصد بوده که حداکثر مقدار آن ۵/۲٦- در چاه حمیدآباد می‌باشد. به‌طور کلی ۱۰ درصد از چاه‌های مورد بررسی در شاخص GRI دارای ماکزیمم مقدار آماره Z بالای ٤- می‌باشند. تعداد ۲۲ چاه در شاخص SWI دارای روند هستند که آن‌ها نیز روندی منفی بیش‌تری را نشان می‌دهند. به‌طور کلی روند خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه افزایشی است. به عبارتی کاهش سالانه تراز آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه را می‌توان مشاهده کرد که با توجه به این‌که این آبخوان در نزدیکی دریای خزر می‌باشد احتمال نفوذ آب شور دریا در آینده محتمل خواهد بود. تراوش و نفوذ آب شور دریا به آبخوان ساحلی دشت ساری-نکا آثار مخرب زیست‌محیطی و کاهش کیفیت آب زیرزمینی، کاهش بهره‌وری کشاورزی، شوری خاک و از بین رفتن اراضی باغی را در پی خواهد داشت.

- شدیدترین مقادیر GRI و SWI

شاخص‌های مورد نظر با استفاده از روابط موجود برای ٤۰ حلقه چاه پیزومتری در دشت ساری-نکا برای مقیاس‌های زمانی مختلف نیز محاسبه گردید که نتایج آن در جداول (٤ و ۵) آمده است.

جدول ٤- شدیدترین مقدار GRI در چاه‌های مورد مطالعه در مقیاس‌های زمانی مختلف

Table 4- Highest GRI value in studied wells at different time scales

مقیاس زمانی	مقدار	ماه	سال	نام چاه
۳	-۳/۹۳	شهریور	۱۳۹٤	دیوکتی
٦	-۳/۲۵	آذر	۱۳۸۳	سنگر
۹	-۳/۱۸	دی	۱۳۸۳	سنگر
۱۲	-۳/۰۱	دی	۱۳۹۲	معلم کلابالا
۱۸ ماهه	-۳/۳۵	آبان	۱۳٦۹	معلم کلا بالا
۲٤ ماهه	-۳/٤۳	فروردین	۱۳۷۰	معلم کلا بالا
٤۸ ماهه	-۲/۸۹	بهمن	۱۳٦۹	تارده

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

با توجه به جداول (٤ و٥) فوق شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی بر مبنای شاخص GRI مربوط به سال ١٣٩٤ و بهترین ترسالی مربوط به بهمن ماه سال ١٣٦٩ است که نشان دهنده این است که با گذشت زمان تراز آب زیرزمینی پایین‌تر رفته است. همچنین در مورد شاخص SWI شدیدترین خشکسالی مربوط به سال ١٣٩٤ و بهترین ترسالی مربوط به سال ١٣٦٩ می‌باشد که این نیز بیانگر کاهش سطح آب زیرزمینی در منطقه در طی سالیان اخیر بوده و بر شدت خشکسالی آب زیرزمینی افزوده شده است. این کاهش تراز آب زیرمینی در اثر زیاد شدن تعداد چاه‌های بهره‌برداری از آب زیرزمینی به منظور کشاورزی می‌باشد. با مدیریت صحیح و مصرف بهینه منابع آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه می‌توان از تبعات جبران‌ناپذیر خشکسالی آب زیرزمینی جلوگیری به عمل آورد.

جدول ٥- شدیدترین مقدار SWI در چاه‌های مورد مطالعه در مقیاس‌های زمانی مختلف

Table 5- Highest SWI value in studied wells at different time scales

مقیاس زمانی	مقدار	ماه	سال	نام چاه
٣ ماهه	٤/٨٦	مهر	١٣٩٤	تارده
٦ ماهه	٤/٨٦	آذر	١٣٩٤	تارده
٩ ماهه	٤/٥٣	آذر	١٣٩٤	تارده
١٢ ماهه	٤/١٣	اسفند	١٣٩٤	تارده
١٨ ماهه	٣/٦٨	آذر	١٣٦٩	تارده
٢٤ ماهه	٣/٢٥	اسفند	١٣٧٠	چمازک
٤٨ ماهه	٢/٦٠	اسفند	١٣٦٩	عروس کتی

- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی

با توجه به جدول (٦)، بیش‌ترین روند منفی مربوط به ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد می‌باشد؛ که نشان‌دهنده فصل شروع شالیکاری در مازندران و در دشت مورد مطالعه است. بیش‌ترین روند صعودی نیز مربوط به ماه‌های پربارش در استان مازندران یعنی ماه‌های دی، بهمن و اسفند می‌باشد. در جدول (٦) علاوه بر مقادیر آماره Z آزمون من-کندال، شیب خط روند در مورد تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه نشان دهنده اینست که میانه شیب‌ها تغییرات ناچیزی دارد و هر چند با کاهش تراز در بعضی ماه‌های سال مواجه بوده ولی مقدار آن ناچیز و به مرور و در آینده می‌تواند منجر به مشکلاتی شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ٦- تغییرات روند سالانه و ماهانه تراز آب زیرزمینی با استفاده از آزمون من کندال و تخمین گر شیب سن

Table 6- Changes in annual and monthly groundwater level trends using Mann-Kendall test and Sen's slope estimator

نام چاه	بزمین آباد		آکند		آبمال		اوجا محله		انجیل نسام		اسفندان	
	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z
مهر	۰/۰۴۲	۲/۱۹*	-۰/۰۳۵	-۲/۱۸*	۰/۰۱۶	۱/۲۱	-۰/۰۱۶	-۱/۱۱	-۰/۰۱۶	-۱/۹۶	-۰/۰۰۴	-۰/۴۸
آبان	۰/۰۳۴	۱/۶۳	-۰/۰۴۷	-۲/۶۲**	-۰/۰۰۴	-۰/۲۴	-۰/۰۳۴	-۲/۸۹**	-۰/۰۲۴	-۲/۶۴**	-۰/۰۱۶	-۱/۹۷*
آذر	۰/۰۴۴	۲/۰۷*	-۰/۰۲۱	-۱/۰۹	-۰/۰۰۵	-۰/۱۲	-۰/۰۵۰	-۴/۴۴**	-۰/۰۲۰	-۲/۲۱*	-۰/۰۲۳	-۱/۸۴
دی	۰/۰۶۰	۳/۰۴**	-۰/۰۱۱	-۰/۵۶	-۰/۰۱۱	-۰/۶۸	-۰/۰۴۱	-۳/۵۹**	-۰/۰۲۸	-۳/۱۶**	-۰/۰۳۰	-۱/۹۴
بهمن	۰/۰۶۵	۲/۶۹**	۰/۰۰۱	۰/۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۵	-۰/۰۴۲	-۳/۶۰**	-۰/۰۱۶	-۱/۳۱	-۰/۰۱۸	-۰/۹۹
اسفند	۰/۰۵۱	۲/۳۳*	۰/۰۱۳	۱/۵۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۵۵	-۴/۰۶**	-۰/۰۲۷	-۲/۶۷**	-۰/۰۱۵	-۱/۰۷
فروردین	۰/۰۵۹	۲/۸۲**	۰/۰۰۲	۰/۱۵	۰/۰۱۴	۰/۵۱	-۰/۰۴۰	-۳/۴۷**	-۰/۰۱۶	-۱/۴۰	-۰/۰۱۰	-۰/۸۸
اردیبهشت	۰/۰۷۹	۳/۶۵**	-۰/۰۱۹	-۲/۱۳*	۰/۰۰۵	۰/۳۴	-۰/۰۳۳	-۲/۱۸*	-۰/۰۱۱	-۱/۲۹	-۰/۰۲۳	-۲/۰۹*
خرداد	۰/۰۵۵	۲/۹۶**	-۰/۰۳۶	-۲/۵۸**	۰/۰۰۱	۰/۰۷	-۰/۰۳۸	-۲/۸۲**	-۰/۰۱۲	-۱/۴۸	-۰/۰۱۷	-۱/۷۴
تیر	۰/۰۴۸	۲/۴۱*	-۰/۰۱۹	-۱/۰۲	-۰/۰۰۱	-۰/۰۷	-۰/۰۳۶	-۲/۹۲**	-۰/۰۱۴	-۱/۹۷*	-۰/۰۱۱	-۱/۱۷
مرداد	۰/۰۳۶	۱/۹۰	-۰/۰۲۳	-۱/۱۷	۰/۰۰۵	۰/۲۷	-۰/۰۳۴	-۲/۷۷**	-۰/۰۰۶	-۰/۷۷	-۰/۰۱۴	-۱/۶۷
شهریور	۰/۰۴۵	۲/۴۵*	۰/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱۹	۱/۱۱	-۰/۰۱۰	-۱/۲۲	-۰/۰۰۹	-۰/۹۵	۰/۰۰۱	۰/۱۴
سالانه	۰/۰۴۸	۲/۷۵**	-۰/۰۱۵	-۱/۵۸	۰/۰۰۱	۰/۰۷	-۰/۰۳۰	-۳/۳۷**	-۰/۰۱۴	-۱/۹۵	-۰/۰۱۵	-۱/۷۵
نام چاه	تجنک		تازه‌آباد		تارده		پنبه زارکتی		پل تجن		پارک وحش	
	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z
مهر	۰/۰۱۵	۳/۸۳**	۰/۰۳۳	۰/۸۲	۰/۰۰۵	۱/۳۱	۰/۰۰۰	-۰/۱۴	-۰/۰۰۳	-۰/۰۵	-۰/۰۳۷	-۲/۳۵*
آبان	۰/۰۱۳	۳/۴۴**	۰/۰۱۲	۰/۲۰	۰/۰۱۵	۲/۷۱**	۰/۰۰۱	۰/۰۹	-۰/۰۱۹	-۰/۲۹	-۰/۰۴۰	-۲/۳۱*
آذر	۰/۰۱۰	۳/۲۰**	-۰/۰۱۱	-۰/۷۰	۰/۰۰۹	۱/۳۳	۰/۰۳۶	۳/۲۸**	۰/۰۰۶	۰/۲۵	-۰/۰۱۴	-۱/۰۴
دی	۰/۰۰۸	۲/۴۲*	۰/۰۰۰	-۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۶۶	۰/۰۲۰	۲/۰۴*	۰/۰۰۷	۰/۲۹	-۰/۰۰۵	-۰/۴۴
بهمن	۰/۰۰۵	۱/۷۷	۰/۰۰۹	۰/۳۲	-۰/۰۱۳	-۱/۴۵	۰/۰۲۰	۳/۱۱**	۰/۰۰۳	۰/۲۰	-۰/۰۱۶	-۱/۴۳
اسفند	۰/۰۰۳	۱/۹۱	۰/۰۱۳	۰/۳۹	-۰/۰۲۸	-۱/۱۲	۰/۰۲۱	۳/۴۶**	۰/۰۲۳	۰/۵۴	-۰/۰۱۲	-۱/۰۲
فروردین	-۰/۰۰۱	-۰/۳۴	۰/۰۱۳	۰/۴۱	۰/۰۰۴	۰/۳۴	۰/۰۲۶	۴/۱۲**	۰/۰۴۵	۰/۹۵	-۰/۰۰۸	-۱/۰۰
اردیبهشت	-۰/۰۰۸	-۱/۹۹*	۰/۰۱۰	۰/۴۳	۰/۰۱۳	۱/۸۶	۰/۰۱۹	۲/۸۹**	۰/۰۵۴	۱/۷۵	-۰/۰۱۵	-۲/۵۳*
خرداد	-۰/۰۳۲	-۳/۸۶**	-۰/۰۰۳	-۰/۲۴	۰/۰۰۳	۰/۷۰	۰/۰۰۶	۱/۰۴	۰/۰۳۱	۱/۲۲	-۰/۰۲۴	-۲/۱۳*
تیر	-۰/۰۳۸	-۳/۰۳**	۰/۰۲۲	۰/۶۱	-۰/۰۰۴	-۰/۶۵	۰/۰۰۶	۰/۶۶	۰/۰۲۰	۰/۵۸	-۰/۰۳۳	-۲/۶۲**
مرداد	-۰/۰۰۳	-۰/۷۰	۰/۰۳۶	۰/۸۰	۰/۰۰۴	۱/۱۴	-۰/۰۰۷	-۰/۵۳	-۰/۰۱۹	-۰/۵۴	-۰/۰۴۴	-۳/۰۸**
شهریور	۰/۰۱۲	۲/۴۷*	۰/۰۳۴	۰/۸۸	۰/۰۰۶	۱/۷۰	۰/۰۱۲	۱/۰۷	-۰/۰۰۴	-۰/۰۹	-۰/۰۴۱	-۲/۸۰**
سالانه	-۰/۰۰۳	-۱/۳۳	۰/۰۱۶	۰/۰۶۳	۰/۰۰۳	۰/۷۵	۰/۰۱۴	۳/۲۷**	۰/۰۱۳	۰/۴۹	-۰/۰۲۱	-۲/۷۶**
نام چاه	خزرآباد		خانه سرمرز		حمید آباد		چنارین		چمازک		جره سر	
	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z
مهر	-۰/۰۱۳	-۲/۰۱*	-۰/۰۲۶	-۲/۷۲**	-۰/۰۶۵	-۳/۶۴**	۰/۱۸۶	۴/۴۲**	۰/۰۲۵	۱/۵۳	-۰/۰۱۸	-۱/۳۴
آبان	-۰/۰۲۲	-۲/۱۴*	-۰/۰۱۴	-۱/۶۳	-۰/۰۶۹	-۳/۹۶**	۰/۱۶۳	۳/۶۲**	۰/۰۱۰	۱/۳۶	-۰/۰۱۴	-۰/۷۳
آذر	-۰/۰۲۴	-۱/۵۸	-۰/۰۰۶	-۰/۵۳	-۰/۰۴۹	-۳/۶۵**	۰/۱۵۰	۳/۹۱**	۰/۰۲۶	۱/۷۲	-۰/۰۰۲	-۰/۱۲
دی	-۰/۰۳۱	-۱/۹۵	-۰/۰۰۷	-۰/۸۸	-۰/۰۳۴	-۲/۲۱*	۰/۱۲۸	۴/۰۳**	۰/۰۰۵	۰/۵۱	۰/۰۱۵	۰/۹۹
بهمن	-۰/۰۲۶	-۱/۴۳	-۰/۰۰۴	-۰/۸۲	-۰/۰۲۶	-۳/۲۳**	۰/۱۵۰	۴/۳۹**	۰/۰۰۶	۱/۰۴	۰/۰۰۹	۱/۲۱
اسفند	-۰/۰۲۸	-۲/۰۱*	۰/۰۰۲	۰/۴۳	-۰/۰۲۶	-۴/۲۹**	۰/۱۱۹	۳/۵۵**	۰/۰۱۰	۱/۵۸	۰/۰۱۸	۲/۳۰*
فروردین	-۰/۰۲۹	-۲/۳۵*	۰/۰۰۲	۰/۳۴	-۰/۰۳۰	-۳/۶۲**	۰/۱۴۴	۴/۰۵**	۰/۰۰۰	۰/۰۷	۰/۰۱۰	۱/۳۹
اردیبهشت	-۰/۰۲۸	-۲/۷۲**	-۰/۰۰۹	-۱/۸۹	-۰/۰۴۳	-۴/۶۸**	۰/۱۲۵	۴/۲۰**	-۰/۰۳۷	-۳/۱۶**	-۰/۰۰۳	-۰/۴۱

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ٦- تغییرات روند سالانه و ماهانه تراز آب زیرزمینی با استفاده از آزمون من کندال و تخمین گر شیب سن

Continue Table 6- Changes in annual and monthly groundwater level trends using Mann-Kendall test and Sen's slope estimator

نام چاه	جره سر		چمازک		چنارین		حمیدآباد		خانه سرمرز		خزرآباد	
	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen
خرداد	−۲/۰۹*	−۰/۰۲۱	−۲/۹٦**	−۰/۰۳٤	۳/۹۸**	۰/۱۵۱	−۵/۱۰**	−۰/۰۵۸	−۳/۵٤**	−۰/۰۱٦	−۲/٦۷**	−۰/۰۲۳
تیر	−۱/۲۸	−۰/۰۱۵	−۳/۲۳**	−۰/۰۳۹	٤/۵۲**	۰/۱۵٦	−٤/٦۱**	−۰/۰۵۷	−۳/۱۱**	−۰/۰۱٤	−۲/۵۸**	−۰/۰۱۷
مرداد	−۱/۵۳	−۰/۰۲٤	−۰/۷٦	−۰/۰۱۲	٤/٦۷**	۰/۱٦۱	−٤/۱۰**	−۰/۰۵۷	−۳/۲٦**	−۰/۰۲۰	−۲/٦۵**	−۰/۰۲۱
شهریور	−۱/۲٦	−۰/۰۱۱	۱/۳٦	۰/۰۲۹	٤/۵۲**	۰/۱۸۸	−۳/۵۷**	−۰/۰٦۵	−۱/۲۹	−۰/۰۱٤	−۱/۷۹	−۰/۰۱۲
سالانه	−۰/۵٦	−۰/۰۰٤	−۰/۲٦	−۰/۰۰۲	٤/٦٦**	۰/۱۵۷	−٤/۸۹**	−۰/۰٤۸	−۲/۷۱**	−۰/۰۰۹	−۲/۸۹**	−۰/۰۰۲
نام چاه	خورشید		دلمرز		دنگسرک		دیوکتی		ذغالچال		زینوند	
	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen
مهر	−۰/۲۹	−۰/۰۱۲	−۳/٤۰**	−۰/۰٤۱	−۳/٤۰**	−۰/۰۲۵	۳/۲۳**	۰/۰۱۸	۲/۸٦**	۰/۰۲۳	−۳/۲۰**	−۰/۰۵۹
آبان	−۰/٤٦	−۰/۰۱۷	−۲/۷۹**	−۰/۰۳۹	−۲/٤۵*	−۰/۰۳۱	۱/۳۸	۰/۰۰۹	۲/۵۳*	۰/۰۲۰	−۳/۲٦**	−۰/۰٦٤
آذر	−۰/۱۷	−۰/۰۱۰	−۲/۰٦*	−۰/۰۳۰	−۱/۲٤	−۰/۰۲۰	۰/۸۵	۰/۰۰۸	۲/۰۸*	۰/۰۱٤	−۲/۳۳*	−۰/۰۵۳
دی	−۰/٦۸	−۰/۰۲٤	−۱/۷۵	−۰/۰۲٦	−۲/۱۱*	−۰/۰۳۱	۰/۰۹	۰/۰۰۱	۲/۰۲*	۰/۰۱۹	−۲/٤۰*	−۰/۰٤۵
بهمن	−۰/۰۹	−۰/۰۰٦	−۱/۷۰	−۰/۰۱٦	−۰/۳٦	−۰/۰۰۵	−۰/۲۹	−۰/۰۰۲	۱/۱۲	۰/۰۱۵	−۱/۳۳	−۰/۰۱۸
اسفند	−۰/۱۷	−۰/۰۰٤	−۲/٦۵**	−۰/۰۲۷	−۱/۳٤	−۰/۰۱٤	−۰/٦۸	−۰/۰۰۵	۲/۲٤*	۰/۰۲۷	−۱/۸٤	−۰/۰۱۷
فروردین	−۰/۱۰	−۰/۰۰۱	−۱/٦۳	−۰/۰۱۵	−۰/۱۲	−۰/۰۰۱	−۰/۵۳	−۰/۰۰۳	۱/۹٦	۰/۰۲۸	−۲/۰٤*	−۰/۰۱۵
اردیبهشت	۱/۵۸	۰/۰٤۰	−۲/۱٤*	−۰/۰۱۷	−۲/۰٦*	−۰/۰۱۷	۲/۰٦*	۰/۰۱۸	۳/٦۷**	۰/۰۹۷	−۲/٤۷*	−۰/۰۳۷
خرداد	۰/۵٦	۰/۰۱۹	−۳/۳۳**	−۰/۰۳۳	−۳/۹۸**	−۰/۰۲۹	۰/۵۳	۰/۰۰۲	۳/۸۹**	۰/۱۳۷	−۲/۹۷**	−۰/۰٤٤
تیر	−۰/٤۳	−۰/۰۱۰	−۳/۹٦**	−۰/۰۳۷	−٤/٤٦**	−۰/۰۳۲	۰/۷۸	۰/۰۰۵	۲/۸۰**	۰/۰۵۸	−۳/۰٤**	−۰/۰۷۷
مرداد	−۰/۲۰	−۰/۰۰۸	−۳/۵۹**	−۰/۰۳۹	−۳/۵۰**	−۰/۰۳۷	۰/۷۰	۰/۰۰٤	۰/۹۹	۰/۰۲۵	−۳/٤۷**	−۰/۱۰۸
شهریور	−۰/۱٤	−۰/۰۰٦	۲/۹۳**	−۰/۰۳۳	−۳/۰۸**	−۰/۰۲٦	۱/۸٤	۰/۰۱٦	۲/۰۲*	۰/۰۱۰	−۳/۲٦**	−۰/۰۸۲
سالانه	−۰/۲۷	−۰/۰۰۸	−۰/۰۳	−۰/۰۲۹	−۳/۳۳**	−۰/۰۲۲	۱/۵۳	۰/۰۰۹	٤/۰۵**	۰/۰٤۲	−۳/۵٤**	−۰/۰٤۹
نام چاه	سمسکنده		سنگر		سه‌راه اسلام‌آباد		سه‌راه عسگرآباد		شرق عبور نودهک		طوسکا	
	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen
مهر	٤/۳۲**	۰/۲۲۳	۳/۸۲**	۰/۰۵٦	۳/٦۵**	۰/۰۷۱	۱/٤۸	۰/۰۱٦	۱/۰۹	۰/۰٤٤	٤/۱۵**	۰/۰۸۷
آبان	۵/۰۰**	۰/۲۱۱	۲/۵۳*	۰/۰۳۳	۳/٤۸**	۰/۰٦۸	۰/۷۰	۰/۰۰۸	۱/۵۸	۰/۰٤۳	۳/٤۳**	۰/۰۸٤
آذر	٤/٤۰**	۰/۲۲۵	۱/۷۲	۰/۰۲۳	۳/۵۰**	۰/۰٦۷	۰/۷۸	۰/۰۱۰	۱/٦۵	۰/۰۵۰	۳/۵۵**	۰/۰٦۳
دی	٤/۱۲**	۰/۲۱۲	۱/٦۱	۰/۰۲۵	۲/۸٤**	۰/۰۵۸	۰/٦۵	۰/۰۰٤	۱/٦۳	۰/۰۳۹	۱/۷۵	۰/۰٤۳
بهمن	۳/۹۹**	۰/۲۱٤	۱/۸۵	۰/۰۲۰	۲/۲٦*	۰/۰۵۳	۲/٤۱*	۰/۰۱۷	۱/۳٤	۰/۰۳۹	۲/۸۰**	۰/۰۵۰
اسفند	۳/۳۰**	۰/۱۹۳	۱/۹۲	۰/۰۱۵	۲/۲۱*	۰/۰٤۸	۲/٦۷**	۰/۰۱٤	۱/۰۷	۰/۰۲٦	۲/۰۹*	۰/۰۳۳
فروردین	٤/۲۰**	۰/۲۰۹	۱/۷۷	۰/۰۱۹	۲/٤۱*	۰/۰۵۰	۳/۰۰**	۰/۰۱۸	۱/۱٤	۰/۰۳۲	۲/۲٦*	۰/۰۳٦
اردیبهشت	٤/۷۸**	۰/۲۹۱	۳/۱۸**	۰/۰۲٦	۲/۵۳*	۰/۰۵٦	۳/۸٦**	۰/۰۱٤	۱/۳۱	۰/۰۳٤	۲/٦۷**	۰/۰٤۱
خرداد	۵/۳۲**	۰/۳۱٤	٤/۷۵**	۰/۰٦۰	۳/۰٦**	۰/۰٦۷	۲/۹۳**	۰/۰۱۳	۰/۸۰	۰/۰۲۳	۲/۷۹**	۰/۰۵۳
تیر	٤/٦٤**	۰/۲۹۲	۳/۹۳**	۰/۰٦۰	۳/۲۱**	۰/۰٦٦	۳/۲۳**	۰/۰۱٦	۰/۹۹	۰/۰۲۷	۲/۸٤**	۰/۰۵٤
مرداد	۵/۳۰**	۰/۲۸۵	٤/۱۲**	۰/۰۷۱	۳/۷۷**	۰/۰۷۳	۲/٦۰**	۰/۰۱٦	۰/۹۹	۰/۰۳٦	۳/۷٦**	۰/۰٦٤
شهریور	۵/٦۷**	۰/۲۵٦	۳/۹۳**	۰/۰۷۹	۳/۹٦**	۰/۰۸۱	۱/۸۹	۰/۰۱۸	۰/۹۹	۰/۰۳٤	٤/۲۳**	۰/۰۷۱
سالانه	٤/۹۰**	۰/۲۳۸	۳/۸۸**	۰/۰۳۹	۳/٤۳**	۰/۰٦۸	۲/۸۷**	۰/۰۱۵	۱/۰۵	۰/۰۳۳	٤/۱۵**	۰/۰٦۳

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ٦- تغییرات روند سالانه و ماهانه تراز آب زیرزمینی با استفاده از آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن

Continue Table 6- Changes in annual and monthly groundwater level trends using Mann-Kendall test and Sen's slope estimator

نام چاه	عروس کتی		شرق طبق ده		فیروزکنده		کارکنده		گرجی پل		مخزن ساری	
	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen
مهر	−۲/۱۳*	−۰/۰۱۱	−۲/٤٥*	−۰/۰۷۱	۳/۲۳**	۰/۰۲٥	۳/۲۸**	۰/۰۲۳	−۰/۳۱	−۰/۰۰٥	٤/۳۳**	۰/۲۰۰
آبان	−۱/۳۹	−۰/۰۱۰	−۲/٦۳**	−۰/۰۷۸	۲/۲۳*	۰/۰۱٥	۳/۷٤**	۰/۰۲٤	۰/۹٥	۰/۰۱۰	۳/۹۱**	۰/۱٥۸
آذر	۰/۰۰	۰/۰۰۰	−۲/۷۰**	−۰/۰۹٥	۲/۱۸*	۰/۰۱۱	۳/٥٤**	۰/۰۲۰	۱/٤۳	۰/۰۱۹	۳/٦۷**	۰/۱٥۲
دی	۰/٤۹	۰/۰۰٤	−۲/٤۷*	−۰/۰۹٥	۰/٦٦	۰/۰۰۳	۲/۱٤*	۰/۰۱٥	۱/۹۷*	۰/۰۲٤	۲/۹٦**	۰/۱۳٤
بهمن	۰/۲٦	۰/۰۰۲	−۲/٦٤**	−۰/۰۸۰	۰/۱۷	۰/۰۰۲	۲/۷۹**	۰/۰۱۹	۲/۲۱*	۰/۰۲۷	۲/٤٥*	۰/۱۰۲
اسفند	−۰/۳۱	−۰/۰۰۲	−۲/۱٦*	−۰/۰۷۸	۱/٥۸	۰/۰۰۷	۲/۳۳*	۰/۰۱۳	۲/٤۷*	۰/۰۲۰	۱/۹۲	۰/۰۸۰
فروردین	−۰/۲۲	−۰/۰۰۱	−۰/۱۹	−۰/۰۰۸	−۰/۲۲	−۰/۰۰۱	۱/٥٥	۰/۰۱۰	۰/۷۸	۰/۰۰٦	۳/۰٦**	۰/۲۰۳
اردیبهشت	−۰/۸۳	−۰/۰۰٤	−۱/۸۰	−۰/۰۲۷	۰/۹۲	۰/۰۰٥	۱/٤٥	۰/۰۰٦	−۰/٥۸	−۰/۰۰٥	۳/۳۱**	۰/۲۲۱
خرداد	−۲/۲٥*	−۰/۰۱۱	−۳/۱٦**	−۰/۰٦۹	۰/٥۳	۰/۰۰۸	۰/٦٦	۰/۰۰۳	−۰/٥٦	−۰/۰۰۹	٤/۱۸**	۰/۲٤۰
تیر	−۱/۹۸*	−۰/۰۰۷	−۳/۰٤**	−۰/۰۸٦	−۰/۳۱	−۰/۰۱٥	−۰/۰۳	۰/۰۰۰	۰/۱۰	۰/۰۰۳	٤/٤۹**	۰/۲٤۷
مرداد	−۱/٦٥	−۰/۰۰۷	−۳/۱۰**	−۰/۱۰۰	۰/٤٤	۰/۰۰۷	۰/٦۰	۰/۰۰۳	۱/۱٦	۰/۰۱۱	٤/٤۷**	۰/۲۱۹
شهریور	−۱/٦٤	−۰/۰۰۷	−۲/۷۲**	−۰/۰۷۷	۲/۲۳*	۰/۰۱۹	۳/۳۲**	۰/۰۲۳	۰/۲۲	۰/۰۰۲	٤/۷۱**	۰/۲۰۰
سالانه	−۱/۰۷	−۰/۰۰٤	−۲/٦۷**	−۰/۰٦۷	۱/۲٤	۰/۰۱۰	۲/۸٦**	۰/۰۱۲	۱/۱٤	۰/۰۰۸	٤/٥۷**	۰/۲۲۱

نام چاه	مرز رود		معلم کلایالا		نوذرآباد		ولشکلا	
	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen
مهر	−۰/۰٥	۰/۰۰۰	٤/٤٥**	۰/۰٤٤	−۱/٦٥	−۰/۰٤٥	−۰/۷۰	−۰/۰۰٦
آبان	−۰/۸۰	−۰/۰۰۹	۳/٥۰**	۰/۰٤٦	−۱/۹۲	−۰/۰٤٦	۰/۱۰	۰/۰۰۱
آذر	−۱/۱۲	−۰/۰۱۸	٤/۰۰**	۰/۰٥٥	−۲/٦۲**	−۰/۰٦۹	−۰/۲٤	−۰/۰۰۲
دی	−۱/٤٦	−۰/۰۲۱	۲/٥۰*	۰/۰٥۳	−۲/٦۳**	−۰/۰۷۷	۰/۸۲	۰/۰۰۸
بهمن	−۱/٤۸	−۰/۰۲٤	۳/۰۹**	۰/۰٥۳	−۲/۰٤*	−۰/۰٦٥	−۰/۲٦	−۰/۰۰۳
اسفند	−۱/٥٥	−۰/۰۲۳	۲/۸٦**	۰/۰٤٤	−۲/۱۹*	−۰/۰٦٤	−۰/٤٤	−۰/۰۰٤
فروردین	−۰/۸۰	−۰/۰۱۳	۳/۷۱**	۰/۰٥۹	−۱/۳۸	−۰/۰۳۹	۰/۸۸	۰/۰۱۰
اردیبهشت	−۰/۹٤	−۰/۰۰۸	۱/۷۹	۰/۰۳۳	−۱/٦٥	−۰/۰۳٥	۰/۱۰	۰/۰۰۰
خرداد	−۱/۲۹	−۰/۰۱٤	۰/۲۰	۰/۰۰٤	−۱/۸٤	−۰/۰٤۲	−۱/۸۹	−۰/۰۱۹
تیر	−۱/۸٥	−۰/۰۱۹	۰/۳٤	۰/۰۰٦	−۲/۰۱*	−۰/۰۳۷	−۲/٤۰*	−۰/۰۳۰
مرداد	−۱/۰٥	−۰/۰۱٤	۰/٦٦	۰/۰۱۳	−۱/۱۹	−۰/۰۳۰	−۳/۱۱**	−۰/۰۳۹
شهریور	−۱/۲۲	−۰/۰۱۰	۳/۲۷**	۰/۰۳٦	−۱/٤۸	−۰/۰۳۷	−۲/٦۲**	−۰/۰۱۸
سالانه	−۱/۰٤	−۰/۰۱۳	۲/۸۲**	۰/۰۲٦	−۲/٤۸*	−۰/۰٤٥	−۱/۳۹	−۰/۰۰٦

نتیجه‌گیری

خشکسالی از جمله مخاطراتی است که در تمام جوانب زندگی و محیط‌زیست تأثیرگذار است، لذا شناخت تأثیرات آن بر منابع و محیط‌های مختلف، می‌تواند گام مهمی در مدیریت منابع باشد. برای بررسی و مطالعه آن از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌گردد که این شاخص‌ها در هر دسته طبقه‌بندی خشکسالی‌ها متفاوت می‌باشد به طوری که در خشکسالی آب زیرزمینی مهم‌ترین این شاخص‌ها، شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) و شاخص سطح آب استاندارد

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

شده (SWI) می‌باشد. در این تحقیق از این دو شاخص برای تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت ساری-نکا در بازه زمانی ۱۳٦٤ تا ۱۳۹٤ استفاده شده است؛ بنابراین با به‌دست آوردن این شاخص‌ها، روند تغییرات آن‌ها در مقیاس سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. همچنین شیب خط روند تراز آب زیرزمینی برای تمام سری داده‌ها با روش ناپارامتری سن تعیین شد. با انطباق نتایج حاصل از محاسبات هر دو شاخص با اطمینان می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه رخ داده است و هر دو شاخص بیانگر کاهش تراز آب زیرزمینی با گذشت زمان می‌باشد که با نتایج Panda et al (2007) و Adhikary et al (2013) مطابقت دارد. نتایج بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال بیانگر روند نزولی تراز آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه بوده که با نتایج Samadi et al (2015) و Daneshvar Vousoughi et al (2011) مطابقت دارد. اگر این روند کاهش تراز آب زیرزمینی همچنان ادامه داشته باشد تراوش و نفوذ آب شور دریای مازندران به آبخوان مورد مطالعه دور از انتظار نیست که می‌تواند خسارات زیست‌محیطی و کشاورزی زیادی را موجب شود. مهم‌ترین عوامل کاهش تراز آب زیرزمینی شامل زیاد شدن تعداد چاه‌های بهره‌برداری که بسیاری از آن‌ها بدون مجوز می‌باشند که منجر به برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در دشت مورد مطالعه شده است. با اعمال مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی و کنترل بیش‌تر در حفر چاه‌های مجاز می‌توان برداشت از آبخوان مورد نظر را تعدیل بخشید و از آثار سوء برداشت بی‌رویه که ممکن است در آینده گریبان‌گیر منطقه شود، جلوگیری کرد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Adhikary, S., Das, K., Saha, S. K., Chaki, T., (2013), "Groundwater drought assessment for Barind irrigation project in Northwestern Bangladesh", 20th International Congress on Modeling and Simulation, Adelaide, Australia, 1-6 December, 2013. [Online] www.mssanz.org.au/modsim.
- Ahmadi Akhormeh, M., Nohegar, A., Soleimani Motlagh, M., Taie Samiromi, M., (2015), "Groundwater drought investigating using SWI and GRI indices (Case study: Marvdasht Kharameh aquifer)", ***Journal of Irrigation and Water Engineering***, 6 (1): 105-118. [In Persian].
- Bhuiyan, C., (2004), "Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India", of the XXth ISPRS Conference, Vol XXXV, Part B. Proceeding: orham altan, m., International society for photogrammetry and remote sensing, Istanbul,: pp 1283-1288.
- Calow, R., Robins, N., Macdonald, A., Nicol. A., (1999), "Planning for groundwater drought in Africa", ***Technical Documents in Hydrology***, 35: 255-270.
- Chamanpira, Gh., Zehtabian, Gh., Ahmadi, H., Malekian, A., (2014), "Effect of drought on groundwater resources in order to optimize utilization management, case study: Alashtar plain", ***Journal of Watershed Engineering and Management***, 6 (1): 10-20. [In Persian].
- Daneshvar Vousoughi, F., Dinpashoh, Y., Aalami, M. T., (2011), "Effect of drought on groundwater level in the past two decades (Case study: Ardebil plain)", ***Journal of Soil and Water Sciences***, 21 (4): 165-179. [In Persian].
- Daneshvar Vousoughi, F., Dinpazhooh, Y., Aalami, M.T., Ghorbani, M. A., (2011), "Analysis of groundwater quality changes in Ardebil plain using Mann-Kendall nonparametric test", ***Journal of Civil and Environmental Engineering***, 40 (3): 13-23. [In Persian].
- Eivazi, M., Mosaedi, A., Meftah Halaghi, M., Hesam, M., (2010), "Investigation of precipitation trend on the north region of Golestan province", ***Journal of Water and Soil Conservation***, 17 (2): 155-168. [In Persian].
Faridpour, M., Rezaei Banafsheh, M., Zaynali, B., Asghari, S., (2019), "Evaluate the effect geo hydrological drought on groundwater quality for agricultural purposes (Case Study: Marand plain)", ***Journal of Geographical Space***, 19 (65): 17-36. [In Persian].
- Kaown, D., Hyun, Y., Bae, G. O., Oh, Ch. W., Lee, K. K., (2012), "Evaluation of spatio-temporal trends of groundwater quality in different land uses using Kendall test", ***Geosciences Journal***, 16 (1): 65-75.
- Kendall, M. G., (1975), "***Rank Correlation Measures***", Charles Griffin Inc: London.
- Khosroshahi, M., (2007), "Important desertification indices from the water perspective and introduction of relevant research areas", ***Journal of Forest and Rangeland***, 74: 18-22. [In Persian].
- Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., Wallis, J. R., (1994), "Hydro-climatological trends in the continental united states, 1948-88", ***Journal of Climate***, 7: 586-607.
- Mann, H. B., (1945), "Non-parametric test against trend", ***Econometrica***, 13: 245-259.
- Mendicino, G., Senatore, A., Versace, P., (2008), "A groundwater resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate", ***Journal of Hydrology***, 357: 282-302.
- Mirabassi, R., Dinpazhooh, Y., (2013), "Trend analysis of precipitation of NW of Iran over the past half of the century", ***Journal of Irrigation Sciences and Engineering***, 35 (4): 59-73. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Naderianfar, M., Ansari, H., Ziaie, A., Davary, K., (2011), "Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour", ***Journal of Irrigation and Water Engineering***, 1 (3): 22-37. [In Persian].
- Panda, D. K., Mishra, A., Jena, S. K., James, B. K., Kumar, A., (2007), "The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India", ***Hydrology***, 343: 140-153.
- Partal, T., Kahya, E., (2006), "Trend analysis in Turkish precipitation data", ***Hydrological Processes***, 20 (9): 2011-2026.
- Pasquini, A. I., Lecomte, K. L., Piovano, E. L., Depetris, P. Y., (2006), "Recent rainfall and runoff variability in central Argentina", ***Quaternary International***, 158 (1): 127-139.
- Peters, E., Bier, G., Van Lanen, H. A. J., Torfs, P., (2006), "Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment", ***Journal of Hydrology***, 321: 257-275.
- Samadi, R., Behmanesh, J., Rezaei, H., (2015), " Investigation of groundwater level changes trend (Case study: Urmia plain)", ***Journal of Water and Soil Conservation***, 22 (4): 67-84. [In Persian].
- Scheidleder, A., Grath, J., Winkler, G., Stark, U., Koreimann, C., Gmeiner, C., Nixon, S., Casillas, J., Gravesen, P., Leonard, J., Elvira, M., (1999), "Ground water quality and quantity in Europe", European Environment Agency, Technical report No 22, 112 p.
- Serrano, S., Mateos, V. L., Garcia, J. A., (1999), "Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian peninsula for the period 1921-1995", ***Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere***, 24 (1-2): 85-90.
- Shafiei, N., Amir Ahmadi, A., Rahmani, A., (2019), "Finding potential sources of underground water catchment model Shannon entropy Nour plain mamasani", ***Journal of Geographical Space***, 19 (66): 291-304. [In Persian].
- Sobouhi, R., Soltani, A., (2008), "Analysis of the trend of climatic factors in big cities of Iran", ***Journal of Soil and Water Sciences***, 12 (46): 303-321. [In Persian].
-Thomas,R., Duraisamy, V., (2018), "Hydrogeological delineation of groundwater vulnerability to droughts in semi-arid areas of western Ahmednagar district", ***The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences***, 21 (2): 121-137.
- Zare Abianeh, H., Bayat Varkeshi, M., Marofi, S., (2012), "Investigating water table depth fluctuations in the Malayer plain", ***Journal of Water and Soil Science***, 22 (2): 173-190. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]