



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

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

سید حسین روشن^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 پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۰

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 ۴۰ چاه پیژومتری 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 تخمین‌گر 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 ۱۳۹۴ و بهترین ترسالی این دو شاخص مربوط به سال ۱۳۶۹ بوده که مهم‌ترین دلیل افزایش شدت خشکسالی در سال

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

E-mail: m.habibnejad@sanru.ac.ir

*۲- گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. (نویسنده مسئول).

۳- گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۱۳۹۴ 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

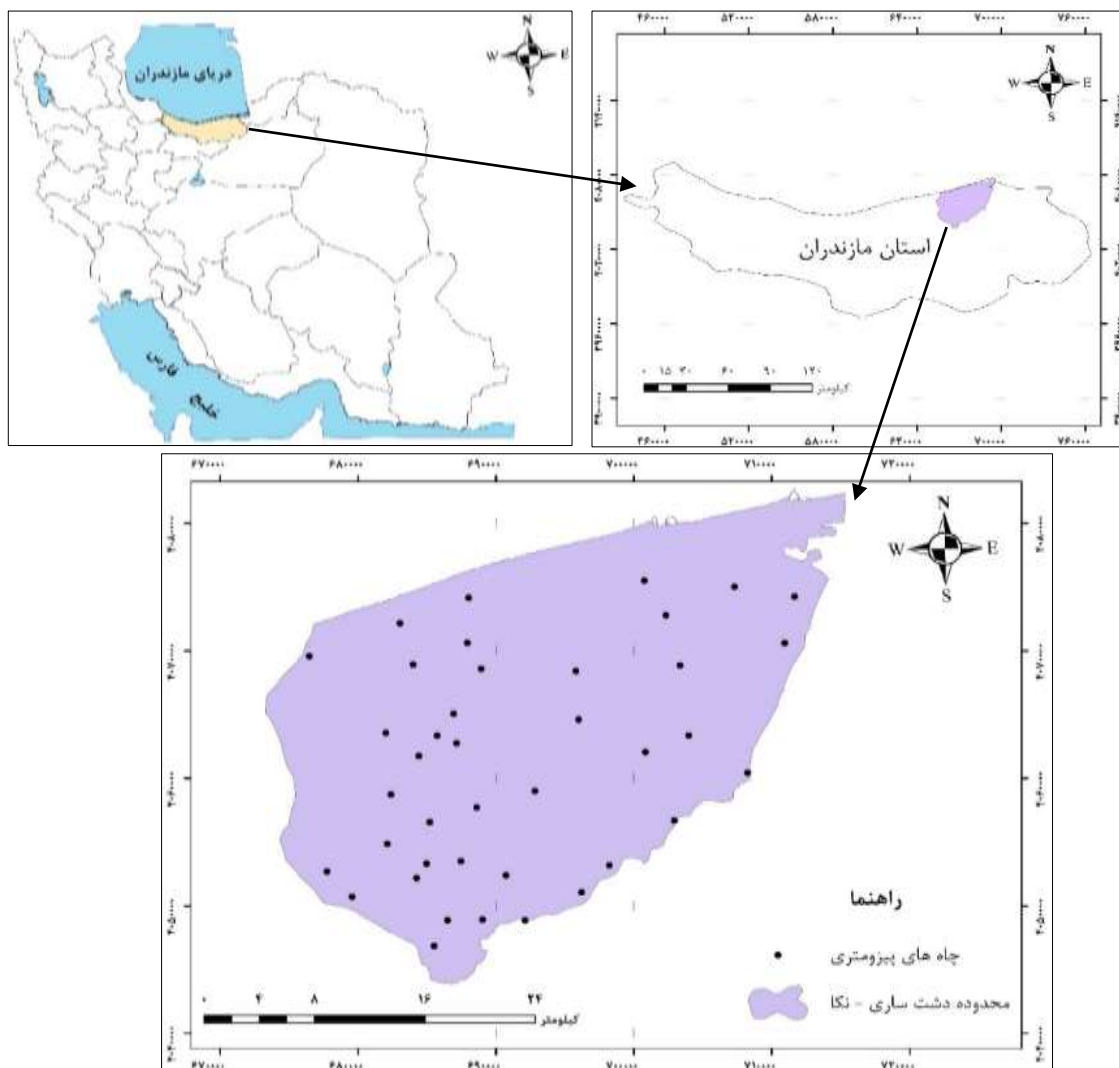
آب‌های زیرزمینی یک منبع طبیعی تجدیدپذیر و محدود و همچنین منبع حیاتی تغذیه برای بشر و اکوسیستم‌های مختلف در مناطق نیمه‌خشک می‌باشد (Thomas and Duraisamy, 2018: 121). در بیش‌تر مناطق دنیا، منابع آب زیرزمینی به عنوان یک منبع برای مصارف عمومی و همچنین فعالیت‌های کشاورزی به سرعت مورد بهره‌برداری قرار گرفته 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 به عنوان یک منبع مهم تأمین آب، تحت تأثیر خشکسالی طولانی مدت 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 به شدت 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 ناپارامتریکی 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; Mann, 1945: 110; Kendall, 1975: 245) (et al., 2012: 175).

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 شمال شرق 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 پیژومتری در منطقه دشت اردبیل را در دوره آماری ۱۳۶۷ 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 ۵۶٪ 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 "۱۴' ۳۷' ۵۲" تا "۱۵' ۰۹' ۵۴" و عرض شمالی "۲۸' ۵۱' ۳۵" تا "۰۳' ۱۱' ۳۷" 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 ۱۵۶ کیلومتر می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶/۸ درجه سانتی‌گراد، مقدار بارندگی سالیانه ۶۸۷/۱ میلی‌متر می‌باشد. مهم‌ترین

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 ۴۰ چاه دارای آمار نسبتاً کامل مربوط به سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ 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

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 به کار می‌رود. این شاخص با توجه به آمار بلندمدت سطح ایستابی بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

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

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 ۲۰۰۴ ارائه شد و هدف از آن بررسی نوسانات و آنومالی‌های سطح آب زیرزمینی در هندوستان بوده است. معادله محاسباتی این شاخص به صورت زیر می‌باشد.

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

که در آن؛ W_{ij} : سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری 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

مقادیر GRI	مقادیر SWI	طبقات خشکسالی
>۰	<۰	بدون خشکسالی
۰ - (-۰/۹۹)	۰/۹۹ - ۱	خشکسالی ملایم
(-۱) - (-۱/۴۹)	۱ - ۱/۴۹	خشکسالی متوسط
(-۱/۹۹) - (-۱/۴۹)	۱/۵۰ - ۱/۹۹	خشکسالی شدید
≤ -۲	≥ ۲	خشکسالی بسیار شدید

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

- 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).

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

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 (۴) قابل محاسبه است.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \Rightarrow (X_i - X_k) > 0 \\ 0 & \Rightarrow (X_i - X_k) = 0 \\ -1 & \Rightarrow (X_i - X_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۴)}$$

واریانس نیز به‌وسیله یکی از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{رابطه (۵) اگر } n > 10 \text{ باشد:}$$

رابطه (۶) اگر $n \leq 10$ باشد:

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

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:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۷)}$$

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

$$|Z| \leq Z_{\frac{\alpha}{2}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که α سطح معنی داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی داری 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 تخمین گر 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 معنی داری شیب به دست آمده در سطوح اعتماد مختلف می‌باشد. برای محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای از طریق رابطه زیر عمل می‌شود:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن؛ X_t و X_s به ترتیب 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}) به دست 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 ۴۰ چاه به دست 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 تخمین گر شیب سن به صورت سالانه .

برای چاه‌های پیرومتری 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

Sen	Z	نام چاه	Sen	Z	نام چاه
-۰/۰۰۹	-۰/۹۷	دنگسرک	-۰/۰۰۸	-۱/۶۳	اسفندان
-۰/۰۲۵	-۳/۰۱**	دیوکتی	-۰/۰۲۶	-۲/۷۴**	انجیل نسام
-۰/۰۳۶	-۴/۷۶**	ذغالچال	-۰/۰۵۱	-۴/۲۵**	اوجا محله
-۰/۰۲۵	-۴/۲۵**	زینوند	-۰/۰۱۶	-۱/۸۰	آبمال
۰/۰۳۱	۳/۱۰**	سمسکنده	-۰/۰۲۵	-۲/۷۹**	آکند
-۰/۰۱۰	-۲/۸۶**	سنگر	-۰/۰۴۹	-۲/۲۱*	بزمین آباد
-۰/۰۱۸	-۳/۶۹**	سهره اسلام‌آباد	-۰/۰۲۶	-۳/۳۷**	پارک وحش

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

Sen	Z	نام چاه	Sen	Z	نام چاه
۰/۰۰۵	۱/۸۹	سهره‌ه عسگرآباد	-۰/۰۳۵	-۲/۹۴**	پل تجن
۰/۰۲۰	۲/۳۰**	شرق عبور نودهک	-۰/۰۴۲	-۴/۲۵**	پنبه زارکتی
-۰/۰۶۵	-۳/۹۴**	طوسکا	۰/۰۰۶	۲/۲۵*	تارده
۰/۰۱۴	۲/۵۷**	عروس کتی	۰/۰۱۲	۱/۰۰	تازه‌آباد
۰/۰۰۴	۰/۲۴	شرق طبق ده	-۰/۰۷۷	-۴/۲۸**	تجنک
۰/۰۱۵	۰/۹۴	فیروزکنده	-۰/۰۲۱	-۳/۵۰**	جره سر
۰/۰۸۱	۴/۶۳**	کارکنده	-۰/۰۴۶	-۳/۹۴**	چمازک
-۰/۰۱۰	-۱/۹۴	گرچی پل	-۰/۰۷۳	-۵/۰۳**	چنارین
-۰/۰۵۱	-۴/۴۴**	مخزن ساری	-۰/۰۳۸	-۵/۲۶**	حمید آباد
-۰/۰۰۸	-۱/۰۰	مرز رود	-۰/۰۴۷	-۲/۶۲**	خانه سرمرز
-۰/۰۰۸	-۰/۶۵	معلم کلابالا	-۰/۰۱۵	-۴/۲۲**	خزرآباد
-۰/۰۳۲	-۳/۶۰**	نوذرآباد	۰/۰۳۰	۱/۵۶	خورشید
-۰/۰۲۱	-۱/۷۲	ولشکلا	-۰/۰۱۸	-۳/۵۲**	دلمرز

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

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

Sen	Z	نام چاه	Sen	Z	نام چاه
-۰/۰۵۶	-۳/۸۱**	دنگسرک	-۰/۰۳۰	-۱/۵۸	اسفندان
۰/۰۱۲	۰/۸۰	دیوکتی	-۰/۰۲۲	-۲/۶۹**	انجیل نسام
۰/۰۲۲	۳/۳۲**	ذغالچال	-۰/۰۵۷	-۲/۹۶**	اوجا محله
-۰/۰۷۷	-۴/۰۱**	زینوند	-۰/۰۰۳	-۰/۰۲	آبمال
۰/۰۸۵	۴/۲۹**	سمسکنده	-۰/۰۳۶	-۱/۵۳	آکند
۰/۰۶۶	۳/۴۳**	سنگر	۰/۰۳۷	۲/۰۲*	بزمین آباد
۰/۰۴۴	۲/۶۷**	سهره‌ه اسلام‌آباد	-۰/۰۵۰	-۳/۳۵**	پارک وحش
۰/۰۴۱	۲/۱۴*	سهره‌ه عسگرآباد	-۰/۰۰۲	-۰/۲۵	پل تجن
۰/۰۱۰	۰/۴۶	شرق عبور نودهک	۰/۰۴۷	۲/۶۲**	پنبه زارکتی
۰/۰۶۷	۲/۹۲**	طوسکا	۰/۰۰۳	۰/۲۴	تارده
-۰/۰۲۱	-۰/۹۹	عروس کتی	۰/۰۰۲	۰/۰۲	تازه‌آباد

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

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

Sen	Z	نام چاه	Sen	Z	نام چاه
-۰/۰۶۰	-۳/۰۸**	شرق طبق ده	-۰/۰۳۶	-۱/۹۲	تجنک
۰/۰۲۲	۰/۹۲	فیروزکنده	-۰/۰۲۱	-۱/۰۰	جره سر
۰/۰۴۰	۱/۹۷*	کارکنده	۰/۰۷۴	۴/۰۰**	چمازک
۰/۰۱۷	۰/۹۲	گرجی پل	-۰/۰۲۵	-۱/۵۳	چنارین
۰/۰۶۳	۳/۵۹**	مخزن ساری	-۰/۰۸۱	-۴/۳۷**	حمیدآباد
-۰/۰۲۷	-۱/۵۰	مرز رود	-۰/۰۴۷	-۲/۶۲**	خانه سرمرز
۰/۰۲۱	۱/۷۰	معلم کلابالا	-/۰۵۱	-۲/۸۴**	خزرآباد
-۰/۰۵۵	-۲/۳۸**	نوذرآباد	-۰/۰۲۲	-۰/۹۹	خورشید
-۰/۰۳۱	-۱/۷۰	ولشکلا	-۰/۰۵۹	-۳/۵۴**	دلمرز

از جداول فوق می‌توان استنباط کرد که در شاخص GRI تعداد زیادی از چاه‌ها دارای روند بوده به طوری 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 ۵/۲۶- در چاه حمیدآباد می‌باشد. به طور کلی ۱۰ درصد از چاه‌های مورد بررسی در شاخص GRI دارای ماکزیمم مقدار آماره Z بالای ۴- می‌باشند. تعداد ۲۲ چاه در شاخص SWI دارای روند هستند که آن‌ها نیز روندی منفی بیش‌تری را نشان می‌دهند. به طور 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 ۴۰ حلقه چاه پیزومتری در دشت ساری-نکا برای مقیاس‌های زمانی مختلف نیز محاسبه گردید که نتایج آن در جداول (۴ و ۵) آمده است.

جدول ۴- 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	۱۳۹۴	دیوکتی
۶	-۳/۲۵	آذر	۱۳۸۳	سنگر
۹	-۳/۱۸	دی	۱۳۸۳	سنگر
۱۲	-۳/۰۱	دی	۱۳۹۲	معلم کلابالا
۱۸ ماهه	-۳/۳۵	آبان	۱۳۶۹	معلم کلابالا
۲۴ ماهه	-۳/۴۳	فروردین	۱۳۷۰	معلم کلابالا
۴۸ ماهه	-۲/۸۹	بهمن	۱۳۶۹	تارده

با توجه به جداول (۴ و ۵) فوق شدیدترین خشکسالی آب زیرزمینی بر مبنای شاخص GRI مربوط به سال ۱۳۹۴ و بهترین ترسالی مربوط به بهمن ماه سال ۱۳۶۹ 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 ۱۳۹۴ و بهترین ترسالی مربوط به سال ۱۳۶۹ 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 زیرزمینی 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 ۵- 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
۳ ماهه	۴/۸۶	مهر	۱۳۹۴	تارده
۶ ماهه	۴/۸۶	آذر	۱۳۹۴	تارده
۹ ماهه	۴/۵۳	آذر	۱۳۹۴	تارده
۱۲ ماهه	۴/۱۳	اسفند	۱۳۹۴	تارده
۱۸ ماهه	۳/۶۸	آذر	۱۳۶۹	تارده
۲۴ ماهه	۳/۲۵	اسفند	۱۳۷۰	چمازک
۴۸ ماهه	۲/۶۰	اسفند	۱۳۶۹	عروس کتی

- روند تغییرات تراز آب زیرزمینی

با توجه به جدول (۶)، 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 پر بارش در استان مازندران یعنی ماه‌های دی، بهمن و اسفند می‌باشد. در جدول (۶) 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.

جدول ۶- 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	اسفندان		انجیل نسام		اوجا محله		آبمال		آکند		بزمین آباد	
	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen
مهر	-۰/۴۸	-۰/۰۰۴	-۱/۹۶	-۰/۰۱۶	-۱/۱۱	-۰/۰۱۶	۱/۲۱	۰/۰۱۶	-۲/۱۸*	-۰/۰۳۵	۲/۱۹*	۰/۰۴۲
آبان	-۱/۹۷*	-۰/۰۱۶	-۲/۶۴**	-۰/۰۲۴	-۲/۸۹**	-۰/۰۳۴	-۰/۰۲۴	-۰/۰۰۴	-۲/۶۲**	-۰/۰۴۷	۱/۶۳	۰/۰۳۴
آذر	-۱/۸۴	-۰/۰۲۳	-۲/۲۱*	-۰/۰۲۰	-۴/۴۴**	-۰/۰۵۰	-۰/۱۲	-۰/۰۰۵	-۱/۰۹	-۰/۰۲۱	۲/۰۷*	۰/۰۴۴
دی	-۱/۹۴	-۰/۰۳۰	-۳/۱۶**	-۰/۰۲۸	-۳/۵۹**	-۰/۰۴۱	-۰/۰۶۸	-۰/۰۱۱	-۰/۰۵۶	-۰/۰۱۱	۳/۰۴**	۰/۰۶۰
بهمن	-۰/۹۹	-۰/۰۱۸	-۱/۳۱	-۰/۰۱۶	-۳/۶۰**	-۰/۰۴۲	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰/۱۵	۰/۰۰۱	۲/۶۹**	۰/۰۶۵
اسفند	-۱/۰۷	-۰/۰۱۵	-۲/۶۷**	-۰/۰۲۷	-۴/۰۶**	-۰/۰۵۵	۰/۰۰	۰/۰۰۰	۱/۵۱	۰/۰۱۳	۲/۳۳*	۰/۰۵۱
فروردین	-۰/۸۸	-۰/۰۱۰	-۱/۴۰	-۰/۰۱۶	-۳/۴۷**	-۰/۰۴۰	۰/۰۵۱	۰/۰۱۴	۰/۱۵	۰/۰۰۲	۲/۸۲**	۰/۰۵۹
اردیبهشت	-۲/۰۹*	-۰/۰۲۳	-۱/۲۹	-۰/۰۱۱	-۲/۱۸*	-۰/۰۳۳	۰/۳۴	۰/۰۰۵	-۲/۱۳*	-۰/۰۱۹	۳/۶۵**	۰/۰۷۹
خرداد	-۱/۷۴	-۰/۰۱۷	-۱/۴۸	-۰/۰۱۲	-۲/۸۲**	-۰/۰۳۸	۰/۰۷	۰/۰۰۱	-۲/۵۸**	-۰/۰۳۶	۲/۹۶**	۰/۰۵۵
تیر	-۱/۱۷	-۰/۰۱۱	-۱/۹۷*	-۰/۰۱۴	-۲/۹۲**	-۰/۰۳۶	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۱	-۱/۰۲	-۰/۰۱۹	۲/۴۱*	۰/۰۴۸
مرداد	-۱/۶۷	-۰/۰۱۴	-۰/۷۷	-۰/۰۰۶	-۲/۷۷**	-۰/۰۳۴	۰/۲۷	۰/۰۰۵	-۱/۱۷	-۰/۰۲۳	۱/۹۰	۰/۰۳۶
شهریور	۰/۱۴	۰/۰۰۱	-۰/۹۵	-۰/۰۰۹	-۱/۲۲	-۰/۰۱۰	۱/۱۱	۰/۰۱۹	۰/۰۰	۰/۰۰۰	۲/۴۵*	۰/۰۴۵
سالانه	-۱/۷۵	-۰/۰۱۵	-۱/۹۵	-۰/۰۱۴	-۳/۳۷**	-۰/۰۳۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	-۱/۵۸	-۰/۰۱۵	۲/۷۵**	۰/۰۴۸
نام چاه	پارک وحش		بل تجن		پنبه زارکتی		تارده		تازه‌آباد		تجنک	
	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen
مهر	-۲/۳۵*	-۰/۰۳۷	-۰/۰۵	-۰/۰۰۳	-۰/۱۴	۰/۰۰۰	۱/۳۱	۰/۰۰۵	۰/۸۲	۰/۰۲۳	۳/۸۳**	۰/۰۱۵
آبان	-۲/۳۱*	-۰/۰۴۰	-۰/۲۹	-۰/۰۱۹	۰/۰۹	۰/۰۰۱	۲/۷۱**	۰/۰۱۵	۰/۲۰	۰/۰۱۲	۳/۴۴**	۰/۰۱۳
آذر	-۱/۰۴	-۰/۰۱۴	۰/۲۵	۰/۰۰۶	۳/۲۸**	۰/۰۳۶	۱/۳۳	۰/۰۰۹	-۰/۷۰	-۰/۰۱۱	۳/۲۰**	۰/۰۱۰
دی	-۰/۴۴	-۰/۰۰۵	۰/۲۹	۰/۰۰۷	۲/۰۴*	۰/۰۲۰	۰/۶۶	۰/۰۰۳	-۰/۰۲	۰/۰۰۰	۲/۴۲*	۰/۰۰۸
بهمن	-۱/۴۳	-۰/۰۱۶	۰/۲۰	۰/۰۰۳	۳/۱۱**	۰/۰۲۰	-۱/۴۵	-۰/۰۱۳	۰/۳۲	۰/۰۰۹	۱/۷۷	۰/۰۰۵
اسفند	-۱/۰۲	-۰/۰۱۲	۰/۵۴	۰/۰۲۳	۳/۴۶**	۰/۰۲۱	-۱/۱۲	-۰/۰۲۸	۰/۳۹	۰/۰۱۳	۱/۹۱	۰/۰۰۳
فروردین	-۱/۰۰	-۰/۰۰۸	۰/۹۵	۰/۰۴۵	۴/۱۲**	۰/۰۲۶	۰/۳۴	۰/۰۰۴	۰/۴۱	۰/۰۱۳	-۰/۳۴	-۰/۰۰۱
اردیبهشت	-۲/۵۳*	-۰/۰۱۵	۱/۷۵	۰/۰۵۴	۲/۸۹**	۰/۰۱۹	۱/۸۶	۰/۰۱۳	۰/۴۳	۰/۰۱۰	-۱/۹۹*	-۰/۰۰۸
خرداد	-۲/۱۳*	-۰/۰۲۴	۱/۲۲	۰/۰۳۱	۱/۰۴	۰/۰۰۶	۰/۷۰	۰/۰۰۳	-۰/۲۴	-۰/۰۰۳	-۳/۸۶**	-۰/۰۳۲
تیر	-۲/۶۲**	-۰/۰۳۳	۰/۵۸	۰/۰۲۰	۰/۶۶	۰/۰۰۶	-۰/۶۵	-۰/۰۰۴	۰/۶۱	۰/۰۲۲	-۳/۰۳**	-۰/۰۳۸
مرداد	-۳/۰۸**	-۰/۰۴۴	-۰/۵۴	-۰/۰۱۹	-۰/۵۳	-۰/۰۰۷	۱/۱۴	۰/۰۰۴	۰/۸۰	۰/۰۳۶	-۰/۷۰	-۰/۰۰۳
شهریور	-۲/۸۰**	-۰/۰۴۱	-۰/۰۹	-۰/۰۰۴	۱/۰۷	۰/۰۱۲	۱/۷۰	۰/۰۰۶	۰/۸۸	۰/۰۳۴	۲/۴۷*	۰/۰۱۲
سالانه	-۲/۷۶**	-۰/۰۲۱	۰/۴۹	۰/۰۱۳	۳/۲۷**	۰/۰۱۴	۰/۷۵	۰/۰۰۳	۰/۶۳	۰/۰۱۶	-۱/۳۳	-۰/۰۰۳
نام چاه	جره سر		چمازک		چنارین		حمید آباد		خانه سرمرز		خزراآباد	
	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen
مهر	-۱/۳۴	-۰/۰۱۸	۱/۵۳	۰/۰۲۵	۴/۴۲**	۰/۱۸۶	-۳/۶۴**	-۰/۰۶۵	-۲/۷۲**	-۰/۰۲۶	-۲/۰۱*	-۰/۰۱۳
آبان	-۰/۷۳	-۰/۰۱۴	۱/۳۶	۰/۰۱۰	۳/۶۲**	۰/۱۶۳	-۳/۹۶**	-۰/۰۶۹	-۱/۶۳	-۰/۰۱۴	-۲/۱۴*	-۰/۰۲۲
آذر	-۰/۱۲	-۰/۰۰۲	۱/۷۲	۰/۰۲۶	۳/۹۱**	۰/۱۵۰	-۳/۶۵**	-۰/۰۴۹	-۰/۵۳	-۰/۰۰۶	-۱/۵۸	-۰/۰۲۴
دی	۰/۹۹	۰/۰۱۵	۰/۵۱	۰/۰۰۵	۴/۰۳**	۰/۱۲۸	-۲/۲۱*	-۰/۰۳۴	-۰/۸۸	-۰/۰۰۷	-۱/۹۵	-۰/۰۳۱
بهمن	۱/۲۱	۰/۰۰۹	۱/۰۴	۰/۰۰۶	۴/۳۹**	۰/۱۵۰	-۳/۲۳**	-۰/۰۲۶	-۰/۸۲	-۰/۰۰۴	-۱/۴۳	-۰/۰۲۶
اسفند	۲/۳۰*	۰/۰۱۸	۱/۵۸	۰/۰۱۰	۳/۵۵**	۰/۱۱۹	-۴/۲۹**	-۰/۰۲۶	۰/۴۳	۰/۰۰۲	-۲/۰۱*	-۰/۰۲۸
فروردین	۱/۳۹	۰/۰۱۰	۰/۰۷	۰/۰۰۰	۴/۰۵**	۰/۱۴۴	-۳/۶۲**	-۰/۰۳۰	۰/۳۴	۰/۰۰۲	-۲/۳۵*	-۰/۰۲۹
اردیبهشت	-۰/۴۱	-۰/۰۰۳	-۳/۱۶**	-۰/۰۳۷	۴/۲۰**	۰/۱۲۵	-۴/۶۸**	-۰/۰۴۳	-۱/۸۹	-۰/۰۰۹	-۲/۷۲**	-۰/۰۲۸

ادامه جدول ۶- 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	-۲/۹۶**	-۰/۰۳۴	۳/۹۸**	۰/۱۵۱	-۵/۱۰**	-۰/۰۵۸	-۳/۵۴**	-۰/۰۱۶	-۲/۶۲**	-۰/۰۲۳
تیر	-۱/۲۸	-۰/۰۱۵	-۳/۲۳**	-۰/۰۳۹	۴/۵۲**	۰/۱۵۶	-۴/۶۱**	-۰/۰۵۷	-۳/۱۱**	-۰/۰۱۴	-۲/۵۸**	-۰/۰۱۷
مرداد	-۱/۵۳	-۰/۰۲۴	-۰/۷۶	-۰/۰۱۲	۴/۶۷**	۰/۱۶۱	-۴/۱۰**	-۰/۰۵۷	-۳/۲۶**	-۰/۰۲۰	-۲/۶۵**	-۰/۰۲۱
شهریور	-۱/۲۶	-۰/۰۱۱	۱/۳۶	۰/۰۲۹	۴/۵۲**	۰/۱۸۸	-۳/۵۷**	-۰/۰۶۵	-۱/۲۹	-۰/۰۱۴	-۱/۷۹	-۰/۰۱۲
سالانه	-۰/۵۶	-۰/۰۰۴	-۰/۲۶	-۰/۰۰۲	۴/۶۶**	۰/۱۵۷	-۴/۸۹**	-۰/۰۴۸	-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	-۳/۴۰**	-۰/۰۴۱	-۳/۴۰**	-۰/۰۲۵	۳/۲۳**	۰/۰۱۸	۲/۸۶**	۰/۰۲۳	-۳/۲۰**	-۰/۰۵۹
آبان	-۰/۴۶	-۰/۰۱۷	-۲/۷۹**	-۰/۰۳۹	-۲/۴۵*	-۰/۰۳۱	۱/۳۸	۰/۰۰۹	۲/۵۳*	۰/۰۲۰	-۳/۲۶**	-۰/۰۶۴
آذر	-۰/۱۷	-۰/۰۱۰	-۲/۰۶*	-۰/۰۳۰	-۱/۲۴	-۰/۰۲۰	۰/۸۵	۰/۰۰۸	۲/۰۸*	۰/۰۱۴	-۲/۳۳*	-۰/۰۵۳
دی	-۰/۶۸	-۰/۰۲۴	-۱/۷۵	-۰/۰۲۶	-۲/۱۱*	-۰/۰۳۱	۰/۰۹	۰/۰۰۱	۲/۰۲*	۰/۰۱۹	-۲/۴۰*	-۰/۰۴۵
بهمن	-۰/۰۹	-۰/۰۰۶	-۱/۷۰	-۰/۰۱۶	-۰/۳۶	-۰/۰۰۵	-۰/۲۹	-۰/۰۰۲	۱/۱۲	۰/۰۱۵	-۱/۳۳	-۰/۰۱۸
اسفند	-۰/۱۷	-۰/۰۰۴	-۲/۶۵**	-۰/۰۲۷	-۱/۳۴	-۰/۰۱۴	-۰/۶۸	-۰/۰۰۵	۲/۲۴*	۰/۰۲۷	-۱/۸۴	-۰/۰۱۷
فروردین	-۰/۱۰	-۰/۰۰۱	-۱/۶۳	-۰/۰۱۵	-۰/۱۲	-۰/۰۰۱	-۰/۵۳	-۰/۰۰۳	۱/۹۶	۰/۰۲۸	-۲/۰۴*	-۰/۰۱۵
اردیبهشت	۱/۵۸	۰/۰۴۰	-۲/۱۴*	-۰/۰۱۷	-۲/۰۶*	-۰/۰۱۷	۲/۰۶*	۰/۰۱۸	۳/۶۷**	۰/۰۹۷	-۲/۴۷*	-۰/۰۳۷
خرداد	۰/۵۶	۰/۰۱۹	-۳/۲۳**	-۰/۰۲۳	-۳/۹۸**	-۰/۰۲۹	۰/۵۳	۰/۰۰۲	۳/۸۹**	۰/۱۳۷	-۲/۹۷**	-۰/۰۴۴
تیر	-۰/۴۳	-۰/۰۱۰	-۳/۹۶**	-۰/۰۳۷	-۴/۴۶**	-۰/۰۳۲	۰/۷۸	۰/۰۰۵	۲/۸۰**	۰/۰۵۸	-۳/۰۴**	-۰/۰۷۷
مرداد	-۰/۲۰	-۰/۰۰۸	-۳/۵۹**	-۰/۰۳۹	-۳/۵۰**	-۰/۰۳۷	۰/۷۰	۰/۰۰۴	۰/۹۹	۰/۰۲۵	-۳/۴۷**	-۰/۱۰۸
شهریور	-۰/۱۴	-۰/۰۰۶	۲/۹۳**	-۰/۰۳۳	-۳/۰۸**	-۰/۰۲۶	۱/۸۴	۰/۰۱۶	۲/۰۲*	۰/۰۱۰	-۳/۲۶**	-۰/۰۸۲
سالانه	-۰/۲۷	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۳	-۰/۰۲۹	-۳/۳۳**	-۰/۰۲۲	۱/۵۳	۰/۰۰۹	۴/۰۵**	۰/۰۴۲	-۳/۵۴**	-۰/۰۴۹
نام چاه	سمسکنده		سنگر		سهره اسلام‌آباد		سهره عسگرآباد		شرق عبور نودهک		طوسکا	
	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen
مهر	۴/۳۲**	۰/۲۲۳	۳/۸۲**	۰/۰۵۶	۳/۶۵**	۰/۰۷۱	۱/۴۸	۰/۰۱۶	۱/۰۹	۰/۰۴۴	۴/۱۵**	۰/۰۸۷
آبان	۵/۰۰**	۰/۲۱۱	۲/۵۳*	۰/۰۳۳	۳/۴۸**	۰/۰۶۸	۰/۷۰	۰/۰۰۸	۱/۵۸	۰/۰۴۳	۳/۴۳**	۰/۰۸۴
آذر	۴/۴۰**	۰/۲۲۵	۱/۷۲	۰/۰۲۳	۳/۵۰**	۰/۰۶۷	۰/۷۸	۰/۰۱۰	۱/۶۵	۰/۰۵۰	۳/۵۵**	۰/۰۶۳
دی	۴/۱۲**	۰/۲۱۲	۱/۶۱	۰/۰۲۵	۲/۸۴**	۰/۰۵۸	۰/۶۵	۰/۰۰۴	۱/۶۳	۰/۰۳۹	۱/۷۵	۰/۰۴۳
بهمن	۳/۹۹**	۰/۲۱۴	۱/۸۵	۰/۰۲۰	۲/۲۶*	۰/۰۵۳	۲/۴۱*	۰/۰۱۷	۱/۳۴	۰/۰۳۹	۲/۸۰**	۰/۰۵۰
اسفند	۳/۳۰**	۰/۱۹۳	۱/۹۲	۰/۰۱۵	۲/۲۱*	۰/۰۴۸	۲/۶۷**	۰/۰۱۴	۱/۰۷	۰/۰۲۶	۲/۰۹*	۰/۰۳۳
فروردین	۴/۲۰**	۰/۲۰۹	۱/۷۷	۰/۰۱۹	۲/۴۱*	۰/۰۵۰	۳/۰۰**	۰/۰۱۸	۱/۱۴	۰/۰۳۲	۲/۲۶*	۰/۰۳۶
اردیبهشت	۴/۷۸**	۰/۲۹۱	۳/۱۸**	۰/۰۲۶	۲/۵۳*	۰/۰۵۶	۳/۸۶**	۰/۰۱۴	۱/۳۱	۰/۰۳۴	۲/۶۷**	۰/۰۴۱
خرداد	۵/۳۲**	۰/۳۱۴	۴/۷۵**	۰/۰۶۰	۳/۰۶**	۰/۰۶۷	۲/۹۳**	۰/۰۱۳	۰/۸۰	۰/۰۲۳	۲/۷۹**	۰/۰۵۳
تیر	۴/۶۴**	۰/۲۹۲	۳/۹۳**	۰/۰۶۰	۳/۲۱**	۰/۰۶۶	۳/۲۳**	۰/۰۱۶	۰/۹۹	۰/۰۲۷	۲/۸۴**	۰/۰۵۴
مرداد	۵/۳۰**	۰/۲۸۵	۴/۱۲**	۰/۰۷۱	۳/۷۷**	۰/۰۷۳	۲/۶۰**	۰/۰۱۶	۰/۹۹	۰/۰۳۶	۳/۷۶**	۰/۰۶۴
شهریور	۵/۶۷**	۰/۲۵۶	۳/۹۳**	۰/۰۷۹	۳/۹۶**	۰/۰۸۱	۱/۸۹	۰/۰۱۸	۰/۹۹	۰/۰۳۴	۴/۲۳**	۰/۰۷۱
سالانه	۴/۹۰**	۰/۲۳۸	۳/۸۸**	۰/۰۳۹	۳/۴۳**	۰/۰۶۸	۲/۸۷**	۰/۰۱۵	۱/۰۵	۰/۰۳۳	۴/۱۵**	۰/۰۶۳

ادامه جدول ۶- 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	عروس کتی		شرق طبق ده		فیروزکنده		کارکنده		گرچی پل		مخزن ساری	
	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen
مهر	-۲/۱۳*	-۰/۰۱۱	-۲/۴۵*	-۰/۰۷۱	۳/۲۳**	۰/۰۲۵	۳/۲۸**	۰/۰۲۳	-۰/۳۱	-۰/۰۰۵	۴/۳۳**	۰/۲۰۰
آبان	-۱/۳۹	-۰/۰۱۰	-۲/۶۳**	-۰/۰۷۸	۲/۲۳*	۰/۰۱۵	۳/۷۴**	۰/۰۲۴	۰/۹۵	۰/۰۱۰	۳/۹۱**	۰/۱۵۸
آذر	۰/۰۰	۰/۰۰۰	-۲/۷۰**	-۰/۰۹۵	۲/۱۸*	۰/۰۱۱	۳/۵۴**	۰/۰۲۰	۱/۴۳	۰/۰۱۹	۳/۶۷**	۰/۱۵۲
دی	۰/۴۹	۰/۰۰۴	-۲/۴۷*	-۰/۰۹۵	۰/۶۶	۰/۰۰۳	۲/۱۴*	۰/۰۱۵	۱/۹۷*	۰/۰۲۴	۲/۹۶**	۰/۱۳۴
بهمن	۰/۲۶	۰/۰۰۲	-۲/۶۴**	-۰/۰۸۰	۰/۱۷	۰/۰۰۲	۲/۷۹**	۰/۰۱۹	۲/۲۱*	۰/۰۲۷	۲/۴۵*	۰/۱۰۲
اسفند	-۰/۳۱	-۰/۰۰۲	-۲/۱۶*	-۰/۰۷۸	۱/۵۸	۰/۰۰۷	۲/۳۳*	۰/۰۱۳	۲/۴۷*	۰/۰۲۰	۱/۹۲	۰/۰۸۰
فروردین	-۰/۲۲	-۰/۰۰۱	-۰/۱۹	-۰/۰۰۸	-۰/۲۲	-۰/۰۰۱	۱/۵۵	۰/۰۱۰	۰/۷۸	۰/۰۰۶	۳/۰۶**	۰/۲۰۳
اردیبهشت	-۰/۸۳	-۰/۰۰۴	-۱/۸۰	-۰/۰۲۷	۰/۹۲	۰/۰۰۵	۱/۴۵	۰/۰۰۶	-۰/۵۸	-۰/۰۰۵	۳/۳۱**	۰/۲۲۱
خرداد	-۲/۲۵*	-۰/۰۱۱	-۳/۱۶**	-۰/۰۶۹	۰/۵۳	۰/۰۰۸	۰/۶۶	۰/۰۰۳	-۰/۵۶	-۰/۰۰۹	۴/۱۸**	۰/۲۴۰
تیر	-۱/۹۸*	-۰/۰۰۷	-۳/۰۴**	-۰/۰۸۶	-۰/۳۱	-۰/۰۱۵	-۰/۰۳	۰/۰۰۰	۰/۱۰	۰/۰۰۳	۴/۴۹**	۰/۲۴۷
مرداد	-۱/۶۵	-۰/۰۰۷	-۳/۱۰**	-۰/۱۰۰	۰/۴۴	۰/۰۰۷	۰/۶۰	۰/۰۰۳	۱/۱۶	۰/۰۱۱	۴/۴۷**	۰/۲۱۹
شهریور	-۱/۶۴	-۰/۰۰۷	-۲/۷۲**	-۰/۰۷۷	۲/۲۳*	۰/۰۱۹	۳/۳۲**	۰/۰۲۳	۰/۲۲	۰/۰۰۲	۴/۷۱**	۰/۲۰۰
سالانه	-۱/۰۷	-۰/۰۰۴	-۲/۶۷**	-۰/۰۶۷	۱/۲۴	۰/۰۱۰	۲/۸۶**	۰/۰۱۲	۱/۱۴	۰/۰۰۸	۴/۵۷**	۰/۲۲۱
نام چاه	مرز رود		معلم کلابالا		نوذراباد		ولشکلا					
	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen	Z	Sen				
مهر	-۰/۰۵	۰/۰۰۰	۴/۴۵**	۰/۰۴۴	-۱/۶۵	-۰/۰۴۵	-۰/۷۰	-۰/۰۰۶				
آبان	-۰/۸۰	-۰/۰۰۹	۳/۵۰**	۰/۰۴۶	-۱/۹۲	-۰/۰۴۶	۰/۱۰	۰/۰۰۱				
آذر	-۱/۱۲	-۰/۰۱۸	۴/۰۰**	۰/۰۵۵	-۲/۶۲**	-۰/۰۶۹	-۰/۲۴	-۰/۰۰۲				
دی	-۱/۴۶	-۰/۰۲۱	۲/۵۰*	۰/۰۵۳	-۲/۶۳**	-۰/۰۷۷	۰/۸۲	۰/۰۰۸				
بهمن	-۱/۴۸	-۰/۰۲۴	۳/۰۹**	۰/۰۵۳	-۲/۰۴*	-۰/۰۶۵	-۰/۲۶	-۰/۰۰۳				
اسفند	-۱/۵۵	-۰/۰۲۳	۲/۸۶**	۰/۰۴۴	-۲/۱۹*	-۰/۰۶۴	-۰/۴۴	-۰/۰۰۴				
فروردین	-۰/۸۰	-۰/۰۱۳	۳/۷۱**	۰/۰۵۹	-۱/۳۸	-۰/۰۳۹	۰/۸۸	۰/۰۱۰				
اردیبهشت	-۰/۹۴	-۰/۰۰۸	۱/۷۹	۰/۰۳۳	-۱/۶۵	-۰/۰۳۵	۰/۱۰	۰/۰۰۰				
خرداد	-۱/۲۹	-۰/۰۱۴	۰/۲۰	۰/۰۰۴	-۱/۸۴	-۰/۰۴۲	-۱/۸۹	-۰/۰۱۹				
تیر	-۱/۸۵	-۰/۰۱۹	۰/۳۴	۰/۰۰۶	-۲/۰۱*	-۰/۰۲۷	-۲/۰۴*	-۰/۰۳۰				
مرداد	-۱/۰۵	-۰/۰۱۴	۰/۶۶	۰/۰۱۳	-۱/۱۹	-۰/۰۳۰	-۳/۱۱**	-۰/۰۳۹				
شهریور	-۱/۲۲	-۰/۰۱۰	۳/۲۷**	۰/۰۳۶	-۱/۴۸	-۰/۰۳۷	-۲/۶۲**	-۰/۰۱۸				
سالانه	-۱/۰۴	-۰/۰۱۳	۲/۸۲**	۰/۰۲۶	-۲/۴۸*	-۰/۰۴۵	-۱/۳۹	-۰/۰۰۶				

نتیجه گیری

خشکسالی از جمله مخاطراتی است که در تمام جوانب زندگی و محیط زیست 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

شده (SWI) می‌باشد. در این تحقیق از این دو شاخص برای تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت ساری-نکا در بازه زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ 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.

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].

- 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].