

## تحلیل مکانی-زمانی نوسانات تراز آب زیرزمینی در آبخوان‌های عمیق و نیمه‌عمیق استان گلستان با استفاده از آزمون‌های آماری ناپارامتری در محیط GIS

خلیل قربانی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۳

### چکیده

آب‌های زیرزمینی از منابع ارزشمند در سراسر جهان هستند که متأسفانه در طول دهه‌های گذشته به واسطه برداشت‌های بی‌رویه از آن در کنار کاهش نزولات جوی، با کاهش شدید سطح سفره همراه بوده است. این کاهش در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک و مناطقی که بخش زیادی از نیاز آبیاری آنها از طریق چاه‌ها تأمین می‌شود بیشتر می‌باشد. بر این اساس ضروری است تا تغییرات مکانی-زمانی منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش آبخوان‌های سطحی و عمیق استان گلستان به عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شدند. آزمون‌های ناپارامتری من-کندال، شیب خط سن و پتیت بر روی داده‌های سری زمانی (۱۳۶۹-۱۳۹۵) ۲۷۷ ایستگاه پیژومتری اجراء و نتایج آنها در محیط GIS پهنه‌بندی شد. در این مطالعه، الگو و روند تراز سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بیشتر مناطق، سطح آبخوان عمیق از روند کاهشی برخوردار است ولی در آبخوان‌های نیمه عمیق در کنار روند کاهشی، در بخش‌هایی از آن روند افزایشی نیز مشاهده می‌شود. شیب خط روند در آبخوان‌های نیمه عمیق در مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی است ولی در آبخوان‌های عمیق الگوی منظمی دیده نمی‌شود. شیب کاهشی تغییرات سطح سفره در آبخوان‌های عمیق به بیشتر از ۸ درصد می‌رسد. این آبخوان از لحاظ کاهش سطح سفره، شرایط بدتری را نسبت به آبخوان نیمه عمیق دارد و این می‌تواند ناشی از برداشت‌های بی‌رویه از این سفره و عدم جایگزینی سریع آن باشد. همچنین نتایج نشان داد که هر ۳ آزمون ناپارامتری این تغییرات را نشان داده و تقریباً از الگوی مشابهی تبعیت می‌کنند.

**واژه‌های کلیدی:** آبخوان، برداشت بی‌رویه، روند، گلستان، پتیت، آب زیرزمینی

### مقدمه

(۱۳۹۱) در دشت آسپاس، (Piri and Bameri., 2014)، در دشت سیرجان، به چاپ رسیده است که کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی را در مناطق مطالعاتی مربوطه نشان می‌دهد. آزمون‌های ناپارامتری تحلیل روند و همچنین بررسی‌های تغییرات مکانی در مطالعات متفاوتی در زمینه مهندسی آب مانند بارش (معاصد و همکاران، ۲۰۱۲)، تبخیر از تشت (هوشمند و همکاران، ۲۰۱۳) و تراز سطح آب زیرزمینی (مسلم زاده و همکاران، ۲۰۱۱) مورد استفاده قرار گرفته است. در استفاده از آزمون‌های ناپارامتری در بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی نیز می‌توان به مطالعات پاندا و همکاران اشاره کرد که روند تغییرات سطح آب در ایالت اوریسای هند را با استفاده از آزمون همگنی روند در ۱۰۰۲ حلقه چاه در طول سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳ بررسی کردند و نتیجه گرفتند که به علت کمبود بارندگی در سال‌های خشک، بالا بودن دما، فشار استفاده بشر و جبران نشدن آن در سال‌های مرطوب، سطح آب افت کرده و تغذیه در این سال‌ها نتوانسته است این افت را جبران کند است (Panda et al., 2007). مایر و همکاران نیز به منظور ارزیابی رابطه زمانی-مکانی بین جریان سطحی، بارندگی و آب زیرزمینی از داده‌های

آب‌های زیرزمینی همواره از منابع ارزشمندی هستند افزایش سطح زیر کشت، استفاده بی‌رویه از زمین‌های زراعی، کاشت گیاهان با نیاز آبی بالا مانند شالی و ذرت، کشت محصولات نامتناسب با اقلیم، و افزایش تبخیر-تعرق ناشی از گرمایش جهانی و دیگر عوامل باعث شده است تا کشاورزان جهت تأمین بخشی از نیاز آبیاری، به آب‌های زیرزمینی روی آورند. برداشت بی‌رویه از این منابع ارزشمند و کاهش میزان تغذیه آن به سبب کاهش بارش یا تغییر در نوع و شدت بارش باعث می‌شود تا به مرور زمان سطح این سفره‌ها کاهش یابد. گزارشات زیادی مانند مطالعات (صمدی و همکاران، ۱۳۹۴) در دشت ارومیه، (مهری و همکاران، ۱۳۹۴)، آبخوان تسوج حوضه آبریز دریاچه ارومیه، (اکرامی و همکاران، ۱۳۹۰) در دشت یزد-اردکان، (Masoudi et al., 2015) در دشت کاشان، (چوبین و همکاران،

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(ghorbani.khalil@yahoo.com)

تغییرات تراز آب زیرزمینی در استان گلستان مطالعه شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی و داده‌ها

منطقه مطالعاتی که آبخوان آب‌های زیرزمینی استان گلستان را دربرمی‌گیرد، شامل حوضه‌های گرگانرود و قره‌سو می‌باشد. آبخوان گرگانرود- قره‌سو در بخش جنوب‌شرقی دریای خزر قرار دارد. در این پژوهش از آمار مربوط به تراز آب زیرزمینی در ۲۷۷ ایستگاه پیژومتری شامل ۵۷ چاه عمیق و ۲۲۰ چاه نیمه عمیق واقع در آبخوان‌های استان گلستان استفاده شد (شکل ۱ و ۲). این داده‌ها از شرکت آب منطقه‌ای گلستان طی دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۶۹ تهیه شد.

### روش انجام پژوهش

به منظور بررسی تغییرات زمانی تراز سطح آب زیرزمینی، سری زمانی داده‌های مربوط به هر چاه تشکیل شد و آزمون‌های ناپارامتری تشخیص روند من-کندال، شیب خط روند سن و همگنی تیت انجام و نتایج آن در محیط GIS پهنه‌بندی شدند.

### آزمون تشخیص روند من-کندال

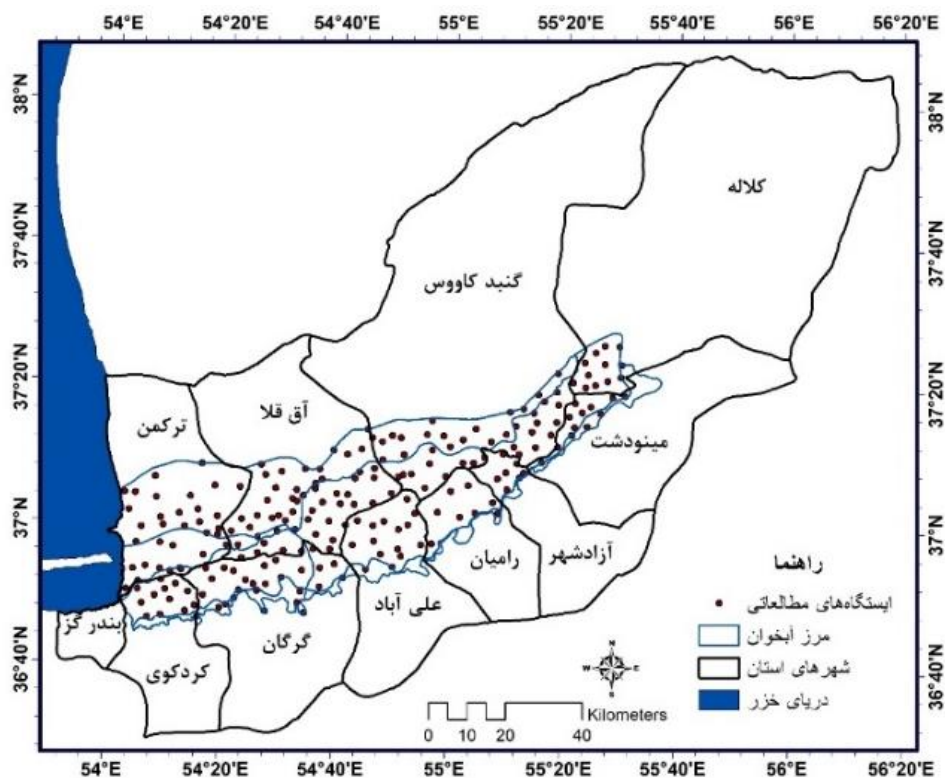
آزمون ناپارامتری من-کندال بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zhang et al., 2000). فرض مورد بررسی در این آزمون به صورت زیر می‌باشد:

H0: داده‌ها صورت تصادفی توزیع شده‌اند (روند ندارند). H1: داده‌ها دارای روند هستند.  
در این آزمون، اگر  $x_1, x_2, \dots, x_n$  مشاهدات مورد نظر باشند، آنگاه داریم:

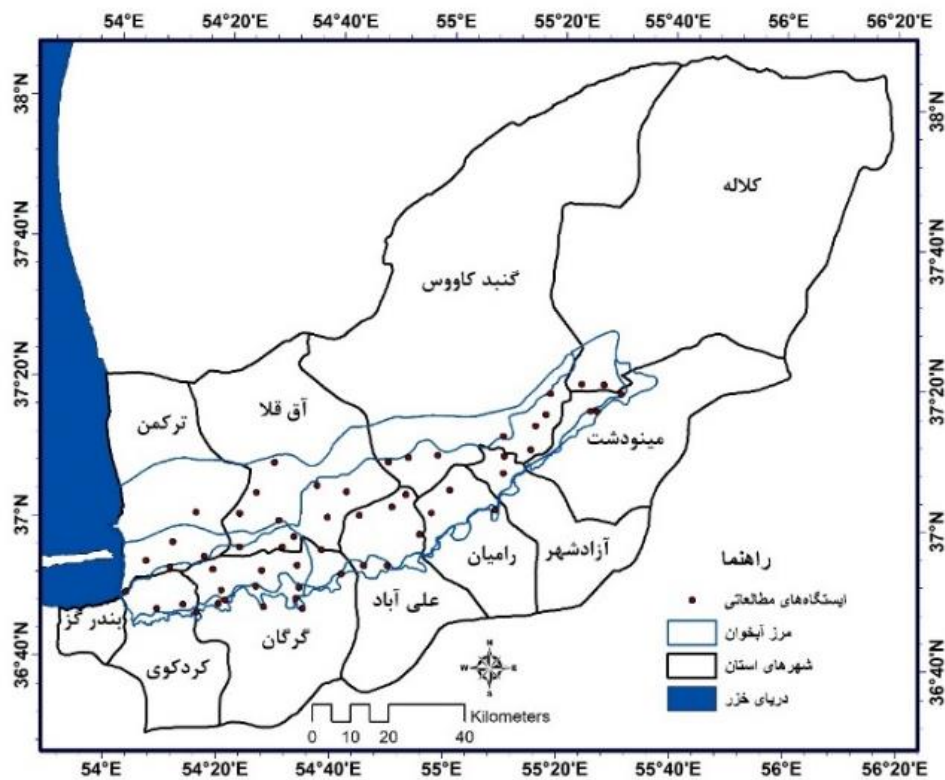
$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

تاریخی طولانی مدت با استفاده از روش من-کندال در حوضه‌های استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر کاهش معنی‌دار جریان پایه آب‌های سطحی از سال ۱۹۶۰ به بعد بود درحالی‌که بارندگی روند معنی‌داری را در این دوره نشان نداده است. همچنین پمپاژ از آب‌های زیرزمینی به طور معنی‌داری از سال ۱۹۶۰ به بعد افزایش یافته و نتایج نشانگر اثر معنی‌دار آن بر کاهش دبی پایه می‌باشد (Maier and Fares., 2015). درمالزی نیز عبداللهی و همکاران با استفاده از روش‌های ناپارامتری روند کاهشی سطح آب زیرزمینی را در دشت ترنگوان گزارش کردند (Abdullahi et al., 2015). گائو و همکاران به منظور بررسی روند ذخیره‌سازی آب‌زیرزمینی در فلات لوز چین تحقیقی را انجام دادند. ایشان در تحقیقات خود از داده‌های جریان ثبت شده در ۳۸ حوضه در فلات لوز استفاده کردند، بطوری‌که در بازه‌ی زمانی ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۰ میلادی در ۲۰ ایستگاه که عمدتاً در مناطق شمالی فلات قرار داشتند، روند ذخیره‌سازی آب زیرزمینی در سطح احتمال یک درصد به صورت کاهشی بوده است و مقدار کاهش آن ۰/۰۲۹۹ میلی‌متر در سال بوده است. ولی در ۱۰ ایستگاه جنوبی فلات روند ذخیره‌سازی آب زیرزمینی در سطح احتمال یک درصد صعودی بوده و متوسط افزایش آن ۰/۰۴۷۶ میلی‌متر در سال بوده است. در ۸ حوضه دیگر روند ذخیره‌سازی آب زیرزمینی معنی‌دار نبوده است (Gao et al., 2015). زانگ و همکاران نیز با بررسی روند تغییرات بلند مدت سالانه ذخیره‌سازی آب زیر زمینی در ۱۷ حوضه استرالیا طی ۴۵ سال گذشته، به این نتیجه رسیدند که روند ذخیره‌سازی آب زیر زمینی در تمامی حوزه‌های انتخاب شده (به جز در حوضه رودخانه کاترین که در قلمرو شمالی واقع است) روند نزولی و منفی بوده است (Zhang et al., 2015). مطالعاتی نیز در زمینه اثر تغییر اقلیم بر روند بارش، دما و دبی رودخانه‌ها با استفاده از آزمون من-کندال انجام شده است. قربانی و همکاران (۱۳۹۵) در حوضه آبریز گالیکش ضمن استفاده از مدل هیدرولوژیکی IHACRES روند تغییرات دبی رودخانه را بر اساس بارش و دمای خروجی از مدل LARS-WG بررسی کردند و نتیجه گرفتند دمای هوا در ماه‌های مختلف سال افزایش و مجموع بارش سالانه کاهش می‌یابد و پیرو آن دبی در فصل‌های مختلف سال به جزء در فصل بهار کاهش می‌یابد. با بررسی مطالعات انجام شده مشخص شد که به منظور بررسی تغییرات زمانی تراز سطح آب زیرزمینی از آزمون‌های ناپارامتری استفاده شده است و بیشتر مطالعات در سطح ایستگاهی می‌باشد. البته می‌توان به مطالعه قربانی (۱۳۹۳) اشاره کرد که با پهنه‌بندی نتایج آزمون من-کندال و آزمون شیب خط سن به تغییرات فصلی مکانی دمای هوا در ایران پرداخت. در این پژوهش ضمن استفاده از ۳ آزمون ناپارامتری، تغییرات مکانی در دو سطح آبخوان عمیق و نیمه عمیق مورد بررسی قرار گرفته است تا بطور جامع‌تری



شکل ۱- پراکنش چاه‌های مشاهده‌ای نیمه عمیق واقع در منطقه مطالعاتی



شکل ۲- پراکنش چاه‌های مشاهده‌ای عمیق واقع در منطقه مطالعاتی

همبستگی مرتبه  $k$  ام غیر مستقل و معنی دار فرض شود ابتدا واریانس اصلاح شده  $(V(S))^*$  از رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

$$Var(s)^* = Var(s) \frac{n}{n^*} \quad (۷)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (۸)$$

که در آن  $r_i$  ضرایب همبستگی با تأخیر  $i$  می‌باشد که از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

### تخمین شیب خط روند با روش تخمین گر سن

تخمین شیب خط روند توسط سن برای تشخیص روند در یک سری زمانی داده‌ها ارائه شد. این روش، یک روش ناپارامتری است که با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها از رابطه ۹ محاسبه می‌کند. در روش سن برای هر دو جفت داده متوالی یک شیب محاسبه می‌شود. شیب‌های محاسبه شده تشکیل یک سری زمانی می‌دهند که میانه آنها شیب خط روند را نشان می‌دهد.

$$\beta = Median\left(\frac{x_j - x_l}{j - l}\right) \quad \forall j > l \quad (۹)$$

که در آن  $\beta$  برآوردگر شیب خط روند و  $X_j$  مقدار مشاهده زام و  $X_L$  مقدار مشاهده  $L$  ام می‌باشد.  $z$  یک واحد زمانی بعد از  $L$  می‌باشد. مقادیر مثبت (منفی)  $\beta$  نشان دهنده روند افزایشی (کاهش) در سری داده‌هاست (Sen., 1986)

### آزمون ناپارامتری نقطه شکست یا آزمون همگنی پتیت (آزمون تشخیص جهش)

این آزمون یکی از آزمون‌های ناپارامتری است که توسط (Pettite., 1979) ارائه شده است و برای بررسی وقوع نقطه شکست در سری زمانی استفاده می‌شود. آزمون پتیت بر پایه رتبه بندی و توزیع آزاد بوده و برای تعیین تغییرات معنی‌دار آماری در میانگین سری زمانی به ویژه در زمانی که هیچ گونه اطلاعات اولیه‌ای در مورد مکان نقطه شکست وجود ندارد مناسب و کاربردی می‌باشد. با در نظر گرفتن سری زمانی داده‌ها به صورت  $X_1, X_2, \dots, X_T$  وجود نقطه شکست در  $\tau$  جز سری  $F_1(\cdot)$  و  $F_2(\cdot)$  دارای توزیع  $(X_1, X_2, \dots, X_\tau)$  و بنابراین  $F_2(\cdot)$  می‌باشد و بنابراین  $F_1(\cdot) \neq F_2(\cdot)$  است. فرض صفر به صورت عدم وجود نقطه شکست

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان بجای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. به این دلیل، این آزمون یک آزمون برپایه مرتبه داده‌ها می‌باشد. با فرض اینکه داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، میانگین و واریانس  $S$  از روابط زیر بدست می‌آید:

$$E(S) = 0 \quad (۳)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (۴)$$

در رابطه بالا:  $n$ : تعداد داده‌ها،  $m$ : تعداد گره‌ها و  $t$ : تعداد داده در هر گره می‌باشد. منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره  $m$  ام برابر  $t$  می‌باشد. آماره این آزمون ( $Z$ ) دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتی که  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$  باشد، در سطح اطمینان  $\alpha$  فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر (وجود روند)، در صورتی که  $S > 0$  باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که  $S < 0$  باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود.

به منظور حذف اثرات ضرایب خود همبستگی معنی‌دار از سری زمانی، آزمون من-کندال اصلاح شده توسط (Hamed and rao., 1998) ارائه شده است. برای این کار ابتدا آزمون ضریب خود همبستگی مرتبه  $k$  ام ( $r_k$ ) بر اساس رابطه زیر انجام می‌شود:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (۶)$$

که در آن  $k=1, 2, \dots, n/4$  می‌باشد. اگر  $\frac{1-1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq r_k \leq \frac{1+1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k}$  باشد آنگاه

داده‌ها در سطح ۱۰ درصد مستقل فرض می‌شود و روند از همان روش من-کندال تشخیص داده می‌شود اما اگر ضریب خود

بخش‌های شمالی آبخوان از وضعیت بهتری برخوردار هستند. با توجه به اینکه بخش‌های شمالی آبخوان از کیفیت آب مناسبی برخوردار نیستند برداشت از این بخش‌های آبخوان نیز کمتر صورت می‌گیرد و از طرفی دیگر با توجه به شیب عمومی منطقه که تقریباً جنوبی-شمالی می‌باشد و هدایت پساب‌ها به این بخش، این نتیجه دور از انتظار نمی‌باشد.

نتایج آزمون همگنی پتیت جهت تشخیص جهش در داده‌ها نیز نشان می‌دهد از ۲۲۰ چاه نیمه عمیق، ۳۸ درصد دارای جهش افزایشی و ۶۲ درصد نیز جهش کاهش می‌دهد (شکل ۵).

### تحلیل مکانی تغییرات تراز آب زیرزمینی در چاه‌های عمیق

در چاه‌های عمیق، بخش زیادی از چاه‌های مورد مطالعه از روند کاهش برخوردار هستند و به جزء ناحیه کوچکی از استان، دیگر بخش‌ها فاقد روند می‌باشند (شکل ۶). با توجه به اینکه بخشی از نیاز آبیاری، از طریق آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود و تعدادی از این چاه‌ها در آبخوان‌های عمیق قرار دارند و تغذیه این آبخوان‌ها به سهولت آبخوان‌های سطحی نیست لذا برداشت از این آبخوان‌ها زنگ خطری است که در صورت ادامه این روند باعث نابودی آنها خواهد شد. با توجه به تعداد کمتر چاه‌های آب در آبخوان‌های عمیق نسبت به آبخوان‌های نیمه عمیق، اما وضعیت روند رو به خشکی و افت تراز آنها وخیم‌تر می‌باشد که این می‌توان ناشی از کند بودن سرعت تغذیه در این آبخوان‌ها می‌باشد.

وضعیت شیب کاهش خط روند در آبخوان عمیق (شکل ۷) نشان می‌دهد که این آبخوان نسبت به آبخوان نیمه عمیق وضعیت بدتری را به همراه دارد و بیشتر سطح آبخوان دارای روند کاهش است. بیشترین شیب کاهش در شمال شرقی گرگان مشاهده شده است. در شهرستان علی آباد، آبخوان از وضعیت خوبی برخوردار است این وضعیت در آزمون من-کندال بصورت فاقد روند گزارش شده است در حالی که آزمون شیب خط روند سن نشان از افزایش تراز سطح آبخوان با یک شیب ملایم را در این منطقه دارد.

آزمون پتیت نیز متناسب با آزمون شیب خط روند، برای مسیر علی آباد تا آق قلا، جهش افزایشی در تراز سفره آب زیرزمینی را نشان می‌دهد (شکل ۸). این آزمون برای سطح زیادی از آبخوان جهش کاهش را نتیجه می‌دهد که نشان دهنده وضعیت وخیم و رو به خشک برای آبخوان‌های عمیق در استان می‌باشد.

است  $(\tau = T)$  و در برابر فرض متقابل  $1 \leq \tau < T$  با استفاده از آماره ناپارامتری  $K_T = \max |U_{t,T}| = \max (K_{T+}, K_{T-})$  آزمون می‌گردد.

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (10)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad (11)$$

در حالت انتقال رو به پایین<sup>۱</sup> و  $K_{T+} = \max U_{t,T}$  در حالت انتقال رو به بالا<sup>۲</sup> در نظر گرفته  $K_{T-} = -\min U_{t,T}$  سطح معنی داری<sup>۳</sup> مرتبط (Kahya and kalayce., 2004) شود می‌گردد.

$$\rho = \exp\left(\frac{-6K_T^2}{T^3 + T^2}\right) \quad (12)$$

در شرایطی که  $\rho$  از یک سطح اعتماد خاص مانند ۰/۹۵ پایین تر باشد فرض صفر رد می‌شود. احتمال معنی داری نقطه شکست به صورت  $P = 1 - \rho$  تعریف می‌شود. بدیهی است که در صورت وجود نقطه شکست معنی دار سری زمانی در مکان نقطه شکست به دو جز سری<sup>۴</sup> تقسیم می‌شود. نسبت میانگین جز سری دوم به میانگین جز سری اول بزرگی نقطه شکست<sup>۵</sup> نامیده می‌شود. پس از انجام آزمون‌های آماری، نتایج آنها در محیط GIS با روش‌های درون‌یابی، پهنه‌بندی شدند. به دلیل دو گزینه‌ای بودن نتایج آزمون‌های پتیت و من-کندال، با استفاده از روش پلیگن‌های تیسس مناطق دارا یا فاقد روند و جهش ترسیم شدند. نتایج این بررسی‌ها به شرح زیر می‌باشد.

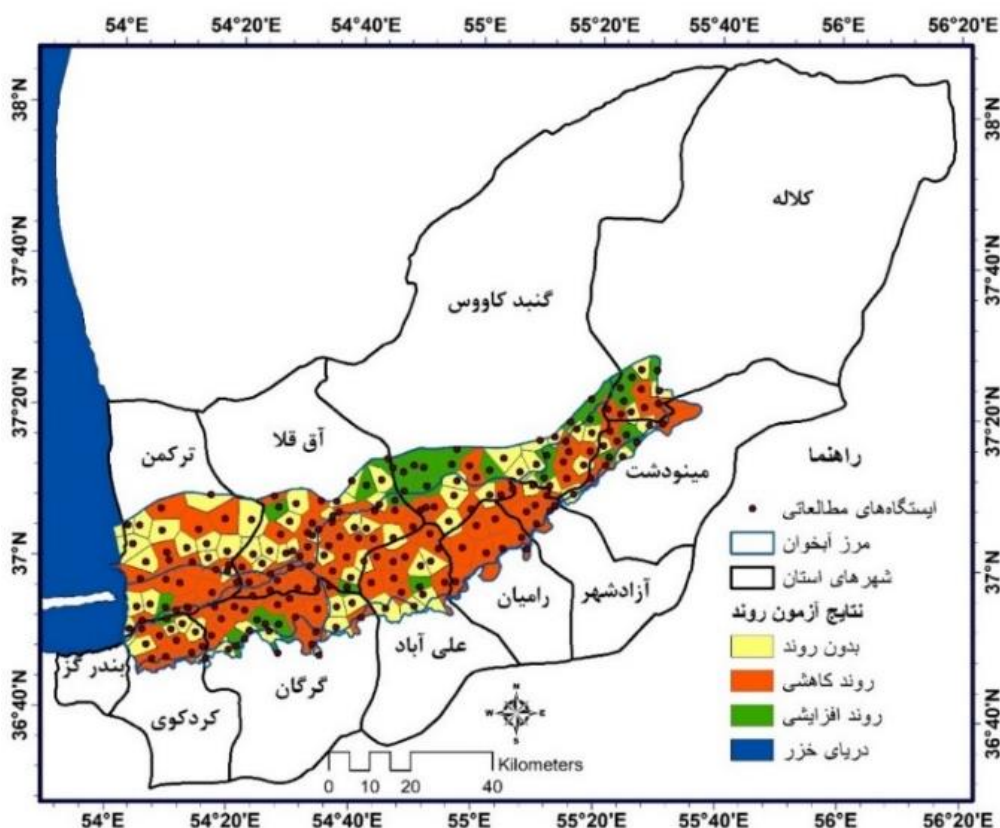
## بحث و نتایج

### تحلیل مکانی تغییرات تراز آب زیرزمینی در چاه‌های نیمه عمیق

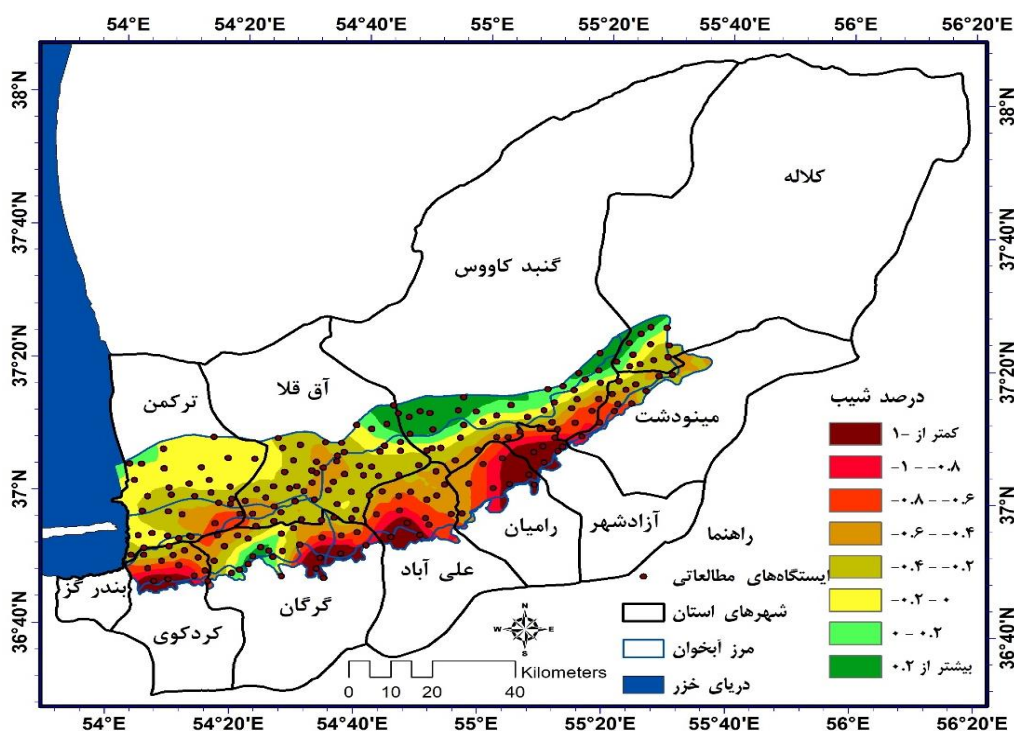
در چاه‌های نیمه عمیق بر اساس نتایج آزمون من-کندال هر سه وضعیت روند کاهش، روند افزایشی و بدون روند دیده می‌شود اما وضعیت روند کاهش غالب است. در بخشی از شمال آبخوان و در برخی از نقاط استان بصورت پراکنده روند افزایشی دیده می‌شود (شکل ۳). درصد شیب تغییرات خط روند (شیب خط سن) نیز بین ۰/۲ تا کمتر از ۱- درصد در ماه می‌باشد (شکل ۴). بیشترین شیب کاهش در بخش‌های جنوبی آبخوان می‌باشد در حالی که

- 1- Downward Shift
- 2- Upward Shift
- 3- Significance Level
- 4- Sub-Series
- 5- Change Point Magnitude

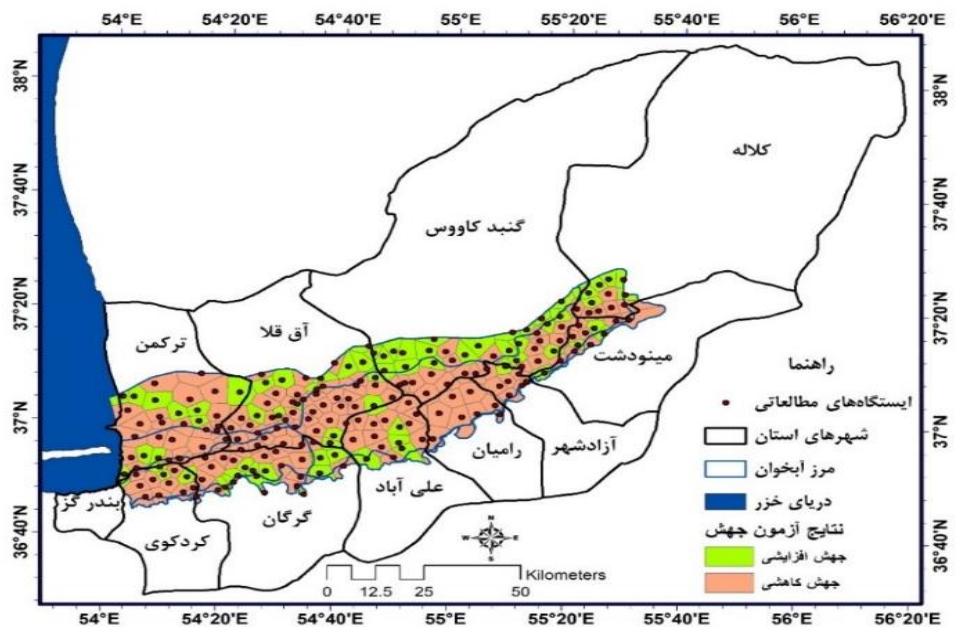




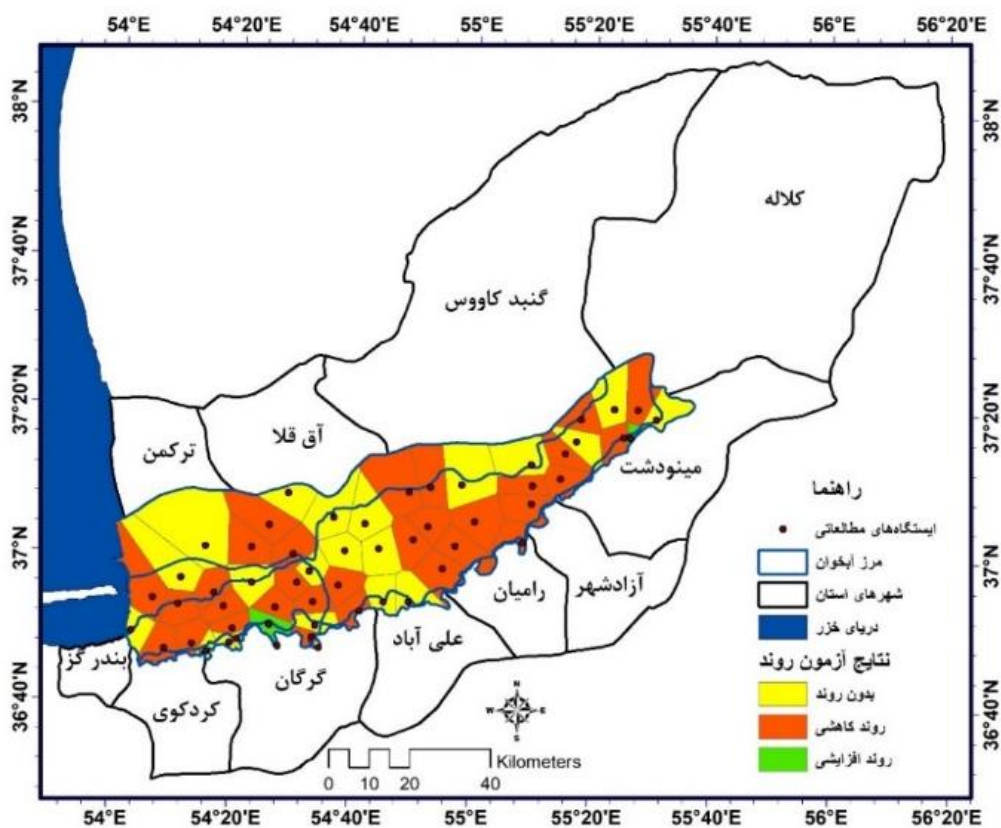
شکل ۳- وضعیت روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مطالعاتی نیمه‌عمیق استان گلستان



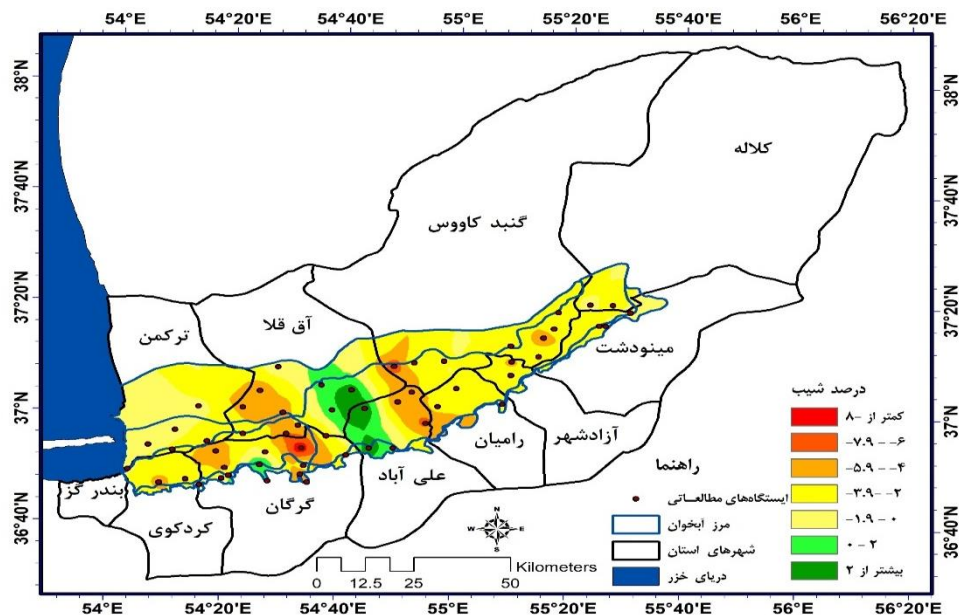
شکل ۴- وضعیت شیب تغییرات روند تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مطالعاتی نیمه‌عمیق استان گلستان



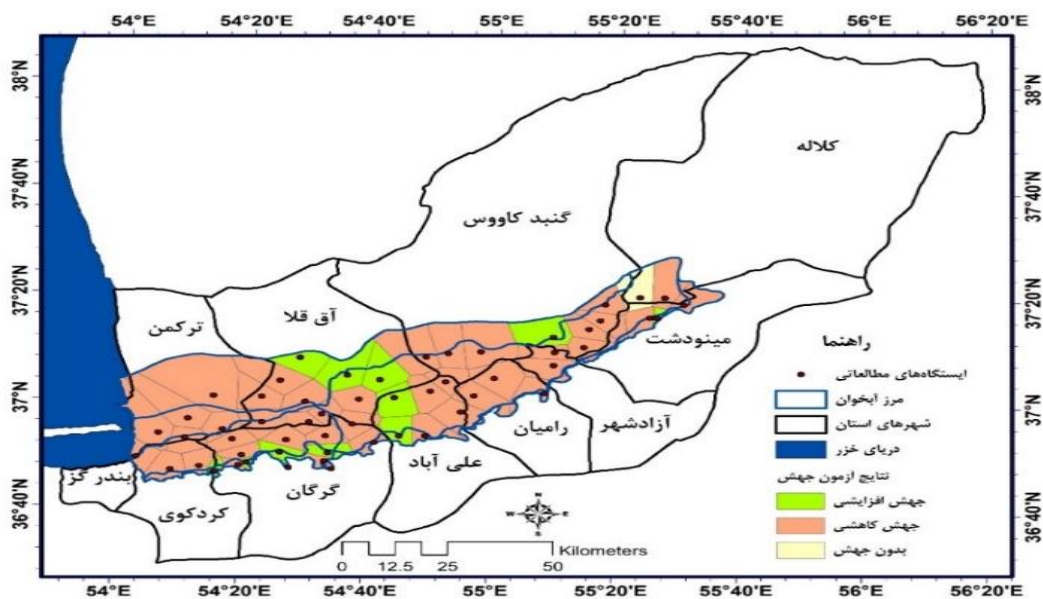
شکل ۵- وضعیت جهش در تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مطالعاتی نیمه عمیق استان گلستان



شکل ۶- وضعیت روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مطالعاتی عمیق استان گلستان



شکل ۷- وضعیت شیب تغییرات روند تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مطالعاتی عمیق استان گلستان



شکل ۸- وضعیت جهش در تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مطالعاتی عمیق استان گلستان

## نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایجی که در تحلیل مکانی تغییرات زمانی تراز سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های استان گلستان طی دوره آماری بدست آمد عبارتند از:

در آبخوان‌های نیمه عمیق، هم روند افزایشی و هم روند کاهش‌ی تراز سطح آب زیرزمینی مشاهده می‌شود. بیشتر بخش‌های شمالی این آبخوان که در پایین دست و در امتداد شیب غالب منطقه می‌باشد، روند افزایشی و بر عکس بخش‌های جنوبی و بالادست

آبخوان روند کاهش‌ی را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد افزایش بهره برداری از منابع آب موجب افزایش تغذیه آبخوان نیمه عمیق ناشی از پساب مصارف مختلف و در نتیجه افزایش تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان نیمه عمیق شده است.

در آبخوان‌های عمیق و چاه‌های پیژومتری، بیشتر ایستگاه‌ها دارای روند کاهش‌ی و یا فاقد روند می‌باشند و به غیر از یک ایستگاه، روند افزایشی دیده نمی‌شود. و از این لحاظ وضعیت کاهش سطح تراز آب‌های زیرزمینی در چاه‌های پیژومتری (واقع در آبخوان‌های



(مطالعه موردی: آبخوان دشت آسپاس). نشریه مهندسی اکوسیستم های بیابان. شماره ۱. ۵۰-۳۹.

صمدی، ر.، بهمنش، ج.، رضایی، ح. ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارومیه). نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۴: ۸۴-۶۷.

قربانی، خ.، سهرابی، ا.، سالاری جزی م و عبدالحسینی م. ۱۳۹۵. پیش بینی تاثیر تغییر اقلیم بر روند دبی ماهانه رودخانه با بکار بردن مدل هیدرولوژیکی (IHACRES) مطالعه موردی: حوضه آبریز گالیکش. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، دانشگاه آزاد اسلامی. (۴) ۱۸-۳۴.

قربانی، خ. ۱۳۹۳. الگوی فصلی و مکانی تغییر اقلیم دمای هوا در ایران. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۱(۵): ۲۷۰-۲۵۷.

مهری، س.، آل شیخ، ع.، جوادزاده، ز. ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات کیفی و سطح ایستابی آب های زیرزمینی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله اکوهیدرولوژی. ۴: ۴۰۴-۳۹۵.

Masoudi, R., Zehtabian, G., Ahmadi, H., Malekian, A. 2015. Assessment of trends in groundwater quality and quantity of Kashan plain. Desert Management. 3.5: 65-78.

Zhang, X., Vincent, L.A., Hogg, W.D., Niitsoo, A. 2000. Temperature and rainfall trends in Canada during the 20th century. Atmospheric Ocean. 38.3: 395-429.

Abdullahi, M.G., Toriman, M.E., Gasim, M.B., Garba, I. 2015. Trends analysis of groundwater: using non-parametric methods in Terengganu Malaysia. Journal of Earth Science & Climatic Change. 6.1: 251-252.

Gao, Z., Zhang, L., Cheng, L., Zhang, X., Cowan, T., Cai, W., Brutsaert, W. 2015. Groundwater storage trends in the Loess Plateau of China estimated from streamflow records. Journal of Hydrology. 530: 281-290.

Hamed, K. H., Rao, A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of hydrology. 204.1-4: 182-196.

Hooshm, A., Salarjazi, M., Bahrami, M., Zahiri, J., & Soleimani, S. 2013. Assessment of pan evaporation changes in South Western Iran. African Journal of Agricultural Research, 8.16: 1449-1456.

Kahya, E., Kalayc, S. 2004. Trend analysis of stream flow in Turkey. Journal of Hydrology. 289: 128-144.

Kendall, M.G. 1957. Rank Correlation Measures. Charles Griffin. London. 202.

عمیق) نسبت به چاه های مشاهده ای (واقع در آبخوان های نیمه عمیق) وخیم تر می باشد. با توجه به اینکه تغذیه سفره عمیق تنها به صورت جریان زیرزمینی در بخش جنوبی آبخوان صورت می پذیرد و پساب مصارف در تغذیه آبخوان عمیق تاثیری ندارد، لذا افزایش بهره برداری از چاه های عمیق شرب در بخش جنوبی و توسعه بهره برداری چاه های کشاورزی عمیق در نواحی میانی و شمالی آبخوان، موجب کاهش سطح تراز آبخوان عمیق شده است. در مناطق مسکونی و شهرهایی که پساب مصارف شرب به صورت چاه های جذبی عمیق دفع می شود، افزایش مصارف شرب ناشی از رشد جمعیت شهرنشینی، موجب افزایش تغذیه سفره ناشی از پساب شرب و جبران بخشی از افت تراز آبخوان شده است. این امر در برخی شهرهای بزرگ حتی موجب افزایش تراز آبخوان عمیق در مناطق شهری گرگان، علی آباد کردکوی، گنبد گردیده است. پیش بینی می شود با احداث و گسترش بهره برداری از سیستم جمع آوری فاضلاب شهری، میزان تغذیه آبخوان از پساب شرب کاهش چشم گیری داشته باشد و لذا در مناطق شهری نیز در آینده افت محسوس تراز سطح آبخوان عمیق متصور می باشد.

آزمون همگنی پیتیت نیز برای تشخیص تغییر و جهش در سری زمانی داده های تراز سطح آب زیرزمینی، در چاه های مشاهده ای، هر دو وضعیت جهش افزایشی و کاهش را نشان می دهد به طوری که ۷۰ درصد چاه های دارای جهش کاهش و ۳۰ درصد مابقی که در شمال آبخوان واقع شده اند دارای جهش افزایشی می باشند. در چاه های پیژومتری نیز بیشتر آنها، دارای جهش کاهش و حدود ۱۰ درصد آنها دارای جهش افزایشی می باشند. البته تأیید وضعیت افزایشی جهش در پیژومترها با آزمون من-کندال مطابقت ندارد. این چاه ها در آزمون من-کندال فاقد روند معنی دار بودند.

برآیند کلی آزمون های بررسی تغییرات سری زمانی داده های تراز سطح آب زیرزمینی، نشان دهنده کاهش تراز سطح سفره آب زیرزمینی در سطح وسیعی از آبخوان های استان می باشد. افزایش بهره برداری از منابع آب زیرزمینی و وقوع خشکسالی های متعدد و به تبع آن کاهش تغذیه آبخوان از مهمترین دلایل کاهش تراز سطح آب سفره های زیرزمینی می باشد.

## منابع

اکرامی، م.، شریفی، د.، ملکی نژاد، ح.، اختصاصی، م. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان در دهه ۸۸-۱۳۷۹. فصلنامه علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد. ۲: ۹۱-۸۲.

چوبین، ب.، ملکیان، آ.، قره چایی، ح. ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات زمانی سطح ایستابی آب های زیرزمینی در یک زیست بوم خشک

- Orissa, India. *Journal of hydrology*. 343.3-4: 140-153.
- Pettit, A.N. 1979. A non-parametric approach to the change-point detection. *Applied Statistics*. 28: 126-135.
- Piri, H., Bameri, A. 2014. Investigating the quantity variation trend of ground water table using geostatistics and GIS (Case study: Sirjan Plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 5.1: 29-44.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*. 63.324: 1379-1389.
- Zhang, L., Brutsaert, W., Crosbie, R., Potter, N. 2014. Long-term annual groundwater storage trends in Australian catchments. *Advances in water resources*. 74: 156-165.
- Mair, A., Fares, A. 2010. Influence of groundwater pumping and rainfall spatio-temporal variation on streamflow. *Journal of hydrology*. 393.3-4: 287-308.
- Mann, H.B. 1945. Non-parametric Tests against Trend. The econometric society. *Econometrica*. 13: 245-259.
- Moazed, H., Salarijazi, M., Moradzadeh, M., & Soleymani, S. 2012. Changes in rainfall characteristics in Southwestern Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 7.18: 2835-2843.
- Moslemzadeh, M., Salarizazi, M., & Soleymani, S. 2011. Application and assessment of kriging and cokriging methods on groundwater level estimation. *J Am Sci*, 7.7: 34-39.
- 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

## Spatial and Temporal Analysis of Groundwater Level Fluctuations in Deep and Shallow Aquifers of Golestan Province Using Nonparametric Statistical Tests in GIS Environment

Kh. Ghorbani<sup>1</sup>

Received: Dec.30, 2018

Accepted: Feb.12, 2019

### Abstract

Groundwater as one of the valuable resources all over the world is unfortunately facing a great decline of aquifer level during past decades caused by its overexploitation beside the decrease of precipitation. This reduction is more in arid and semi-arid climatic zones where the most part of irrigation requirement is supplied through wells. Therefore, the monitoring of the spatio-temporal variation of groundwater resources would be necessary. In this study, shallow and deep aquifers of Golestan province were considered as case study. Non-parametric tests including Mann-Kendall, Sen's slope and Pitite were used for analysis of recorded time series between years of 1990 to 2016 in 277 piezometric stations. The results were interpolated in GIS environment. In this study, the pattern and trends of groundwater level data were investigated. Results showed the aquifer groundwater level has a decreasing trend in most of the areas but in shallow aquifers along with the decreasing trend, an increasing trend has been observed in some places. In shallow aquifers, the slope of the trend line is in accordance with groundwater flow direction but there is no regular pattern in deep aquifer. The decreasing trendline of groundwater variation in deep aquifer is more than 8 percent. This aquifer has worst conditions in groundwater depletion than the shallow aquifer and this may be due to overexploitation of the aquifer and the failure of fast replacement. Also result showed that all three nonparametric tests were highlighted these variations and are following the same pattern.

**Keywords:** Aquifer, Overexploitation, Trend, Golestan, Pitite, Groundwater

---

1- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources  
(ghorbani.khalil@yahoo.com)