# تحلیل روند تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از روش ناپارامتری من- کندال (مطالعه موردی: دشت تبریز)

فهیمه نگهبان* و یعقوب دین‌پژوه[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۱۱)

**چکیده**

**مطالعه روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در هر منطقه به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این مطالعه روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت تبریز با استفاده از روش ناپارامتری من- کندال بررسی شد. در مطالعه روند تغییرات تراز آب زیرزمینی از اطلاعات ۱۴ حلقه چاه پیزومتری طی دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۷۰ در سطوح معنی‌داری ۱، ۵ و ۱۰ درصد در آزمون روند، بهره گرفته شد. روش تخمین‌گر سن برای ارزیابی شیب خط روند و روش وان بل- هوگس نیز به‌منظور بررسی همگنی روندها استفاده شد. نتایج حاکی از این است که تراز آب زیرزمینی دشت تبریز در اکثر چاه‌های مورد بررسی روند نزولی معنی‌داری داشت. کمترین شیب خط روند تراز آب زیرزمینی در ایستگاه سعیدآباد در بهمن‌ماه برابر ۱/۵۷- متر در سال به‌دست آمد. طبق اطلاعات به‌دست آمده روند تراز آب زیرزمینی همه ایستگاه‌ها در ماه فروردین منفی بود که بیشترین روند منفی متعلق به ایستگاه دیزج لیلی‌خانی (آماره Z معادل ۶/۴۷-) است که در سطح یک درصد معنی‌دار است. کمترین روند منفی نیز متعلق به ایستگاه آناخاتون (آماره Z معادل ۰/۳۲۲-) است. ماه‌های فروردین، اردیبهشت و بهمن در مقایسه با سایر ماه‌ها روند نزولی بیشتری از خود نشان دادند.**

**واژه‌های کلیدی: تخمین‌گر سن، تراز آب زیرزمینی، دشت تبریز، روند،، روش من- کندال**

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: fahime.negahban@yahoo.com

**مقدمه**

منابع آب‌های زیرزمینی از مدت‌ها پیش توسط قنوات و از سال‌های ۱۳۴۹ به بعد با رشد و توسعه تکنولوژی حفاری، از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق مورد بهره‌برداری و گاهی مورد تهاجم قرار گرفته‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در هر سال بیش از ۵۰ میلیارد مترمکعب آب از منابع آب زیرزمینی ایران توسط قنات‌ها، چاه‌های عمیق و چشمه‌ها استخراج شده و مصرف می‌شود. اگر این میزان با آب وارد شده به منابع آب زیرزمینی مقایسه شود، مشاهده خواهد شد که سالانه پنج میلیارد مترمکعب بیلان منفی در مصرف آب‌های زیرزمینی در ایران وجود دارد. در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی از یک سو و فعالیت‌های بشر به منظور تأمین غذا از سوی دیگر، لطمات جبران ناپذیری به این منابع از لحاظ کمّی و کیفی وارد کرده است. کشور ما به‌دلیل ریزش‌های جوی کم و نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی و خشکسالی‌های پی‌درپی و افزایش تقاضا برای آب ناشی از رشد جمعیت، شهرنشینی و توسعه بخش‌های مختلف اقتصادی (کشاورزی و صنعت) با این مسئله کم‌آبی روبه‌رو است. به‌خصوص اینکه با برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی، سطح آب در چاه‌ها و کیفیت در بسیاری از دشت‌های کشور (به‌ویژه در مناطق مرکزی، شرقی و جنوبی) کاهش یافته است (۵). بنابراین، با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران و سوق یافتن دنیا به سوی کم‌آبی، پژوهش و برنامه‌ریزی در زمینه حفظ و نگهداری از منابع آب شیرین و ارزیابی اثرات ناشی از توسعه کشاورزی، بر روی منابع آب‌های زیرزمینی (کمّی و کیفی) برای محافظت از این سرمایه ملی امری حیاتی محسوب می‌شود. دشت تبریز واقع در شمال‌غرب ایران دارای اقلیمی سرد و نیمه‌خشک است که در دو دهه گذشته نیز به‌علت کاهش نزولات جوی با مشکلات تأمین آب مورد نیاز مواجه بوده است. با توجه به مشکل کمبود آب‌های سطحی، مردم بیش از گذشته به استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی روی آورده‌اند به‌طوری که این منابع در خطر نابودی واقع شده‌اند.در زمینه روند تغییرات تراز آب زیرزمینی، مطالعات متعددی انجام شده است. در ادامه تعدادی از این مطالعات به‌صورت مختصر شرح داده می‌شوند.

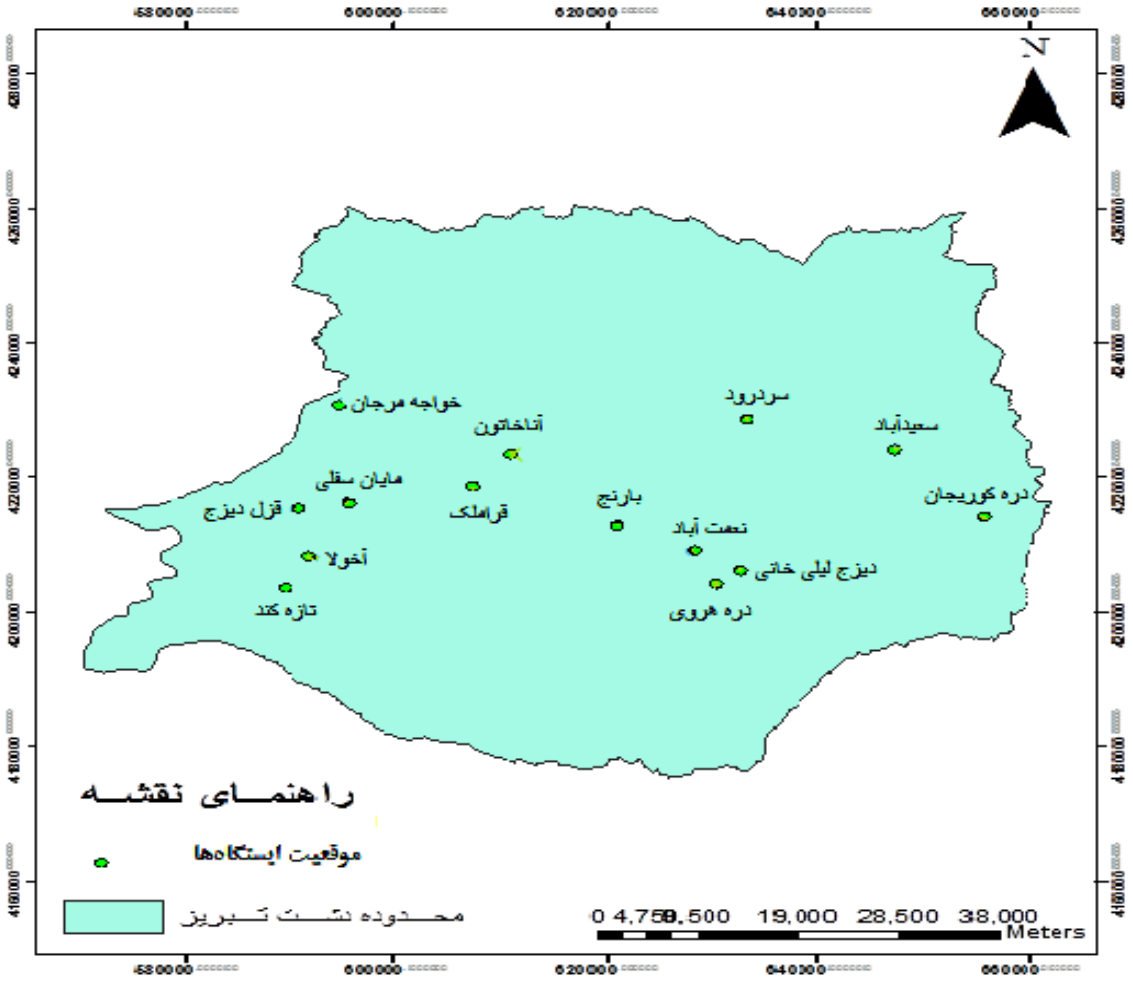
آلبرتسون و گاری (۲) اثر کاربری اراضی و همچنین احداث سد بر نوسانات تراز آب‌های زیرزمینی را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های تفاضلات محدود و المان محدود مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که تأثیر احداث سد در تراز پایین آب زیرزمینی بیشتر تأثیر گذاشته است. گرلس و همکاران (۱۴) سری زمانی نوسانات تراز سطحی آب زیرزمینی را در کشور هلند مورد تحلیل و بررسی قرار دادند و نشان دادند که تراز آب زیرزمینی در بخش گسترده‌ای از منطقه کاهش یافته است که علت آن ناشی از زهکشی آب زیرزمینی، خشکسالی و برداشت بی‌رویه آن توسط کشاورزان بوده است. المدیج و رواح (۳) نوسانات تراز آب زیرزمینی را در منطقه کویت با اطلاعات شش حلقه چاه پیزومتری بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تراز آبزیرزمینی دارای رفتار فصلی است. لی و همکاران (۱۵) عوامل مؤثر بر تغییرت تراز آب زیرزمینی را در شهر دائگو کره در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۹۹ مطالعه کردند. در این مطالعه تأثیر بارش، پمپاژ چاه‌های اطراف و ساخت تونل مترو بر روی تراز آب زیرزمینی با استفاده از روش من- کندال بررسی شد. نتایج بیانگر این بود که احداث تونل مترو بیشترین تأثیر را روی تراز آب زیرزمینی منطقه داشته است. دوبای و همکاران (۹) روند تراز آب زیرزمینی در دلتای رودخانه سرخ ویتنام را به‌صورت مکانی- زمانی در طول دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۹۵ با استفاده از روش ناپارامتری من- کندال در ۵۷ چاه مشاهداتی در آکیفر نامحصور و ۶۳ چاه مشاهداتی در آکیفر محصور بررسی کردند. بررسی‌ها بیانگر این بود که ۳۵ درصد چاه‌ها در آکیفر نامحصور روند نزولی و ۲۱ درصد چاه‌ها روند صعودی داشتند. از سوی دیگر در آکیفر محصور تقریباً تمامی چاه‌ها روند نزولی داشتند.

در ایران نیز کم و بیش مطالعات پراکنده‌ای روی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف انجام شده

است. بیضایی و محمدی (۶) اثر خشکسالی بر تراز آب زیرزمینی دشت نیشابور را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در برداشت بی‌رویه آب برای مصارف کشاورزی، عامل افت سطح آب زیرزمینی است. آنها به این نتیجه رسیدند که میزان افت تراز آب زیرزمینی در مناطق مخروط افکنه نسبت به نواحی مرکزی و جنوبی دشت کمتر است. آباده و همکاران (۱)، با توجه به میزان ضریب همبستگی بین پارامترهای مختلف مقدار افت سطح آب‌های زیرزمینی و مقدار شوری آنها در منطقه زیدآباد مشخص کردند. نتایج نشان داد که افزایش شوری آب زیرزمینی به‌علت افزایش افت سطح آب زیرزمینی بوده است. زینالی و همکاران (۱۹) افت تراز آب زیرزمینی دشت شبستر- صوفیان را در طول دوره آماری ۲۳ سال و فرونشست ناشی از آن را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصله حاکی از این بود که افت تراز آب زیرزمینی دشت معادل ۸/۵۷ متر و نیز فرونشست زمین در بعضی مناطق دشت حدود ۵۰ سانتی‌متر است. محمدی قلعه‌نی و همکاران (۱۰) منابع آب زیرزمینی آبخوان‌های ساوه و اراک را به‌صورت کمّی و کیفی مورد ارزیابی قرار دادند. در مطالعه ایشان از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌منظور ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی تراز و کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده است. نتایج نشان داد که متوسط افت سطح آب زیرزمینی در طی هفت سال در ۵۷ حلقه چاه محدوده دشت اراک برابر با ۳/۳۸ متر و در ۶۳ حلقه چاه مورد مطالعه در آبخوان ساوه برابر ۱۰/۱۹ متر بوده است. دانشور وثوقی (۷) تأثیر خشکسالی بر تراز آب زیرزمینی در دو دهه اخیر در دشت اردبیل را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه روند تراز آب زیرزمینی ۳۲ ایستگاه پیزومتری در مقیاس ماهانه در منطقه دشت اردبیل در دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۶۷ با آزمون ناپارامتری من- کندال بررسی شده است. نتایج نشان داد که در همه ایستگاه‌ها (به‌جز ایستگاه‌های نیاز مدرسه، ینگجه ملا محمدرضا، آغچه کندی و دروازه آستارا) تراز آب زیرزمینی دارای روند منفی است. بررسی خط روند نیز نشان داد که به‌طور متوسط تراز آب زیرزمینی در دشت اردبیل حدود ۱۸ سانتی‌متر در سال افت دارد. نتایج آزمون همگنی نیز نشان داد که روند تراز آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف همگن ولی در ایستگاه‌های مختلف غیر همگن است. فلاح و همکاران (۱۱)، گزارش کردند که سطح آب‌های زیرزمینی دشت داراب به‌دلیل کاهش بارندگی‌ها و استفاده بیش از حد از این منابع در حال سقوط است. منابع آب‌های زیرزمینی این دشت با توجه به بیلان آب و روند کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش شوری، نیترات و pH بسیار ناپایدار هستند. دانشور وثوقی و همکاران (۸)، روند تغییرات کمّی و کیفی آب زیرزمینی را در دشت اردبیل در دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۸۸ با استفاده از آزمون ناپارامتری من- کندال و تخمین‌گر شیب سن، ارزیابی کردند. ایشان برای این منظور از داده‌های ۳۲ چاه مشاهداتی واقع در این دشت و برای حذف اثر خود همبستگی معنی‌دار از سری‌های زمانی از یک روش پیش‌سفید کردن (TFPW) بهره جستند. نتایج نشان داد که روند منفی معنی‌دار در سطح معنی‌داری یک درصد در مورد ۱۷ چاه مشهود بود. تراز سطح آب زیرزمینی دشت اردبیل نیز کاهشی در حدود ۱۸ سانتی‌متر در هر سال نشان داده است. در این مطالعه دشت تبریز برای بررسی و ارزیابی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفته است. روش مورد استفاده در این مطالعه، برای بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی نیز روش ناپارامتری من- کندال است. بنابراین، هدف این مطالعه بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت تبریز است.

## مواد و روش‌ها

دشت تبریز در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. رود اصلی دشت، آجی‌چای است که به طرف دریاچه ارومیه جریان دارد. (شکل ۱) موقعیت جغرافیایی چاه‌های مشاهده‌ای را در دشت تبریز نشان می‌دهد. در دشت تبریز دو نوع آبخوان آزاد و تحت فشار وجود دارد. در شرق، شمال‌شرق و جنوب‌شرقی دشت، آبخوان‌های آزاد گسترش یافته است و در

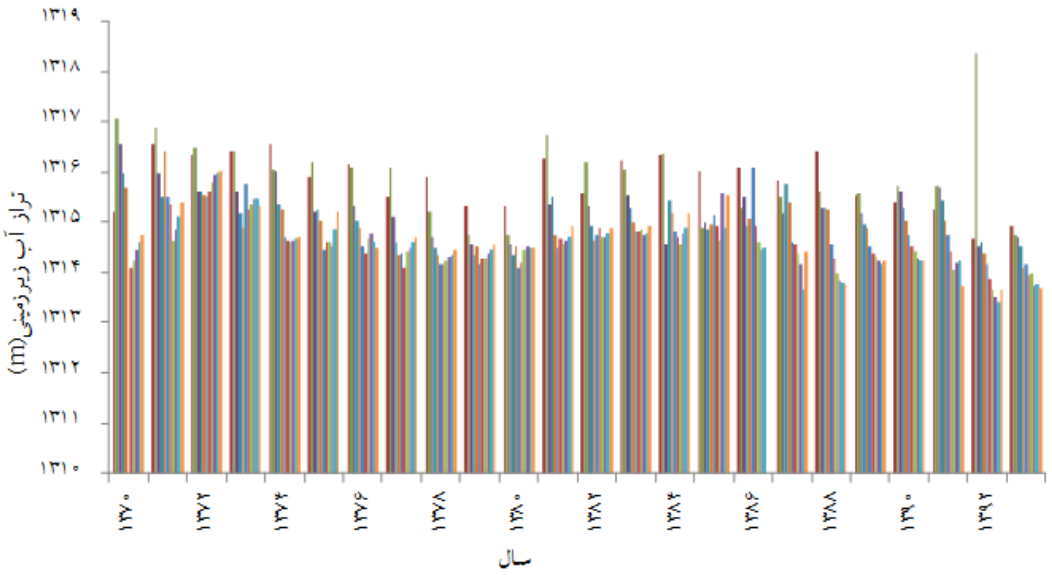



**شکل ۱. موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در دشت تبریز**

قسمت‌های غربی دشت وجود دو نوع آبخوان آزاد و تحت فشار بدیهی به‌نظر می‌رسد. آبخوان آزاد موجود در داخل توف‌های پلیوستسن دارای آب‌های با کیفیت بالا است و از نظر منابع آبی بسیار توسعه یافته است. آبخوان‌های آزاد تشکیل شده در آبرفت‌ها (مخروط افکنه‌ها) با وجود وسعت کم کیفیت آب آنها نیز خوب است. آبخوان تحت فشار بخش مرکزی و غربی دشت حاوی، آب‌هایی با کیفیت نسبتاً مناسب است (۴). نقشه DEM دشت تبریز و داده‌های مورد نیاز از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ شد. در کل محدوده دشت تبریز ۸۹ چاه مشاهداتی وجود دارد که از بین آنها تعداد ۱۴ ایستگاه که دارای طول دوره آماری مناسبی بودند، برای این تحقیق انتخاب شدند. (جدول ۱) مشخصات ایستگاه‌های پیزومتری را در دشت تبریز نشان می‌دهد. عمق دسترسی به آب و تراز سر چاه در هر ایستگاه توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی به‌طور منظم اندازه‌گیری شده است و تراز آب زیرزمینی با کسر کردن عمق دسترسی به آب از تراز سر چاه به‌دست آمد. نمونه‌ای از داده‌های تراز آب زیرزمینی در نمودار (شکل ۲) برای ایستگاه "مایان سفلی" واقع در دشت تبریز نشان داده شده است. همان‌طور که از جدول مذکور می‌توان استنباط کرد، تراز آب زیرزمینی معمولاً در تیرماه به حداکثر مقدار خود رسیده و در بهمن‌ماه به کمترین مقدار خود می‌رسد. بیشترین انحراف معیار داده‌های تراز آب زیرزمینی ایستگاه نمونه (جاده سردرود)

**جدول ۱. مشخصات جغرافیایی چاه‌های مشاهداتی منتخب واقع در دشت تبریز**

| ردیف | نام چاه | طول جغرافیایی (utmx) | عرض جغرافیایی (utmy) | دوره آماری | ارتفاع (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | بارنج | ۶۲۰۹۰۰ | ۴۲۱۲۷۵۰ | ۱۳۷۰-۸۴ | ۱۵۲۵/۲۹ |
| ۲ | تازه‌کند | ۵۸۹۴۰۰ | ۴۲۰۳۵۰۰ | ۱۳۷۰-۹۳ | ۱۳۶۹/۴۱ |
| ۳ | سردرود | ۵۹۹۵۰۰ | ۴۴۲۱۰۱۰۰ | ۱۳۷۰-۹۳ | ۱۳۵۱/۰۵ |
| ۴ | خواجه مرجان | ۵۹۴۶۰۰ | ۴۲۳۰۶۵۰ | ۱۳۷۰-۸۸ | ۱۳۴۳/۰۴ |
| ۵ | دره کوریجان | ۶۹۷۸۰۰ | ۴۲۰۷۳۰۰ | ۱۳۷۰-۸۹ | ۱۵۴۱/۶۳ |
| ۶ | دره هروی | ۶۳۰۳۰۰ | ۴۲۰۴۱۰۰ | ۱۳۷۰-۹۳ | ۱۷۸۷/۴۹ |
| ۷ | دیزج لیلی خان | ۶۳۲۶۵۰ | ۴۲۰۶۰۵۰ | ۱۳۷۰-۹۳ | ۱۸۴۴/۹۹ |
| ۸ | سعیدآباد | ۶۳۷۴۵۰ | ۴۱۹۸۰۰ | ۱۳۷۰-۸۸ | ۱۹۶۰/۵۶ |
| ۹ | قراملک | ۶۰۷۳۵۰ | ۴۲۱۸۶۰۰ | ۱۳۷۰-۹۳ | ۱۳۴۳/۹۹ |
| ۱۰ | مایان سفلی | ۵۹۵۶۰۰ | ۴۲۱۶۱۰۰ | ۱۳۷۰-۹۳ | ۱۳۱۸/۳۷ |
| ۱۱ | نعمت آباد | ۶۲۸۰۰۰ | ۴۲۰۹۱۰۰ | ۱۳۷۰-۹۳ | ۱۶۸۲/۸۲ |
| ۱۲ | آخولا | ۵۹۱۸۵۰ | ۴۲۰۸۲۰۰ | ۱۳۷۰-۹۳ | ۱۳۰۸/۹ |
| ۱۳ | آناخاتون | ۶۱۰۷۵۰ | ۴۲۲۳۳۰۰ | ۱۳۷۰-۹۳ | ۱۳۹۸/۵۷ |
| ۱۴ | قزل دیزج | ۵۹۰۸۰۰ | ۴۲۱۵۳۵۰ | ۱۳۷۰-۹۳ | ۱۳۰۴/۲۳ |




**شکل ۲. نمونه داده‌های تراز آب زیرزمینی در چاه مشاهداتی مایان‌سفلی (برحسب متر) واقع در دشت تبریز**

در شهریورماه (معادل ۱۵/۳ متر) و کمترین آن در اسفندماه (معادل ۱/۷۸ متر) به‌دست آمد.

**روش من- کندال (۱) MK**

اساس روش من- کندال بر پایه رتبه‌بندی داده‌ها است. برای این

کار ابتدا داده‌های تراز آب زیرزمینی هر ایستگاه به‌ترتیب تاریخی مرتب و سپس آماره S و متعاقب آن آماره Z به شرح زیر محاسبه شد. به‌عنوان مثال برای ایستگاه مایان‌سفلی هنگام محاسبه آماره S داده‌های تراز آب مربوط به اولین ماه از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۹۲ را به‌صورت ستونی درج می‌کنیم و سپس داده تراز آب سال ۱۳۷۱ را از داده سال ۱۳۷۰ کسر و برحسب رابطه (Sgn(θ، ۱، ۰ و یا ۱- بودن آن را تعیین می‌کنیم وتا سال ۱۳۹۲، این ترتیب را ادامه می‌دهیم. در مرحله بعدی یک ردیف پایین‌تر آمده و داده تراز آب سال ۱۳۷۳ را از داده سال ۱۳۷۲ کم می‌کنیم و به این‌ترتیب ادامه می‌دهیم تا پایان کار. سپس اعداد به‌دست آمده هر ستون را جمع کرده و در پایان جمع کل آنها را می‌یابیم.

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

که در آن n داده‌ها و $\operatorname{sgn}(x_j-x_i)$ تابع علامت است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\operatorname{Sgn}(\theta)=\begin{cases}1 & \text{if} \quad \theta>0\\ 0 & \text{if} \quad \theta=0\\ -1 & \text{if} \quad \theta<0\end{cases} \qquad (2)$$

در هر ایستگاه به تعداد ماه‌ها در طی دوره آماری پارامتر Z داریم. پارامتر Z و Var(s) به شرح زیر محاسبه شدند:

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{\operatorname{var}(s)}} & \text{if} \quad s>0\\ 0 & \text{if} \quad s=0\\ \dfrac{s+1}{\sqrt{\operatorname{var}(s)}} & \text{if} \quad s<0\end{cases} \qquad (3)$$

$$\operatorname{Var}(s)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum d(d-1)(2d+5)}{18} \qquad (4)$$

d تعداد داده‌های یکسان در هر دسته از داده‌های تکراری موجود در سری زمانی داده‌ها است. اگر آماره Z به سمت صفر میل کند مفهوم آن این است که روند معنی‌دار (اعم از صعودی یا نزولی) در سری وجود ندارد و اگر آماره Z خارج از محدوده ۱/۶۴ و ۱/۶۴- باشد، روند در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار است. Z مثبت نشان‌دهنده روند صعودی و Z منفی نشان‌دهنده روند نزولی است.

**شیب خط روند (تخمین‌گر Sen)**

یک شاخص بسیار مفید در آزمون MK شیب خط روند Sen است که با β نمایش داده می‌شود و آن شیب خط روند یکنواخت را در سری داده‌ها نشان می‌دهد (۱۶ و ۱۸).

$$\beta_{gk}=\operatorname{Median}\left(\frac{x_{igk}-x_{jgk}}{i-j}\right),\forall 1\le i\le j\le n \qquad (5)$$

که در آن $\beta_{gk}$ برآوردگر شیب خط روند برای ایستگاه kام در ماه gام باشد. مقادیر مثبت β نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده روند کاهشی است. در این مطالعه مقادیر آماره‌های Z و β برای هر ماه از سال در طول دوره آماری مورد مطالعه در خصوص یکایک ایستگاه‌های منتخب دشت تبریز به‌دست آمد.

**آزمون همگنی روند**

آزمون همگنی روند بر پایه تفکیک مجموع مربعات آماره Z پایه‌گذاری شده است. این روش از آماره $\chi^2$ برای تعیین همگنی روند بین ماه‌ها، ایستگاه‌ها و برهم‌کنش ماه و ایستگاه استفاده می‌کند (۱۳ و ۱۹). در این روش ابتدا جدول آماره من- کندال $z^2_{gk}$ برای ایستگاه‌ها تهیه و سپس میانگین آماره مذکور برای ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از رابطه $z_{g.}=t^{-1}\sum_{k=1}^{t}z_{gk}$ محاسبه شد که در این رابطه t تعداد ایستگاه‌ها است. همچنین میانگین آماره Z برای ماه‌ها و نیز میانگین کل به‌ترتیب از روابط $z_{.k}=s^{-1}\sum_{g=1}^{s}z_{gk}$ و $z_{..}=(st)^{-1}\sum_{g=1}^{s}\sum_{k=1}^{t}z_{gk}$ محاسبه شد. در این روش فرض‌های صفر به‌شرح زیر تعریف و مورد آزمون واقع شد:

۱. $H_0:\tau_{1.}=\tau_{2.}=\ldots=\tau_{s.}$ (آیا روند بین ماه‌ها همگن است؟)

۲. $H_0:\tau_{1.}=\tau_{2.}=\ldots=\tau_{.t}$ (آیا روند بین ایستگاه‌ها همگن است؟)

۳. $H_0:\tau_{gk}-\tau_{g.}-\tau_{.k}-\tau_{..}=\text{cons tan}$ (آیا برهم‌کنش روند بین ایستگاه و ماه همگن است؟)

۴. $H_0:\tau_{..}=0$ (آیا در حالت کلی روند همگن است؟)

تأیید فرض صفر اول به‌منزله یکسان بودن جهت روند در یک ایستگاه ولی در کل ماه‌های سال است و تأیید فرض صفر دوم به معنای عدم وجود روند معنی‌دار برای ماه مشخص در کلیه ایستگاه‌ها است. برای آزمون درستی یا نادرستی فرض‌های صفر آماره‌های $\chi^2$ و درجات آزادی هر کدام به‌صورت زیر محاسبه و با مقادیر نظیر جدول $\chi^2$ در سطح معنی‌داری $\alpha = ۰/۰۵$ مقایسه شدند:

۱. کمیت $\chi^2_{total,st} = \sum_{g=۱}^{s=۱۲}\sum_{k=۱}^{k=t} z^2_{gk}$ با درجه آزادی st که در آن s تعداد ماه‌ها و t تعداد ایستگاه‌ها است.

۲. کمیت $\chi^2_{homogeneity,st-۱} = \sum_{g=۱}^{s=۱۲}\sum_{k=۱}^{k=t}(z_{gk}-z_{..})^2$ با درجه آزادی st-1.

۳. کمیت $\chi^2_{month,s-۱} = t\sum_{g=۱}^{s=۱۲}(z_{g.}-z_{..})^2$ بادرجه آزادی s-1.

۴. کمیت $\chi^2_{site,t-۱} = s\sum_{k=۱}^{t=۳۲}(z_{.k}-z_{..})^2$ با درجه آزادی t-1.

۵. $\chi^2_{site-month,(t-۱)(s-۱)} = \sum_{g=۱}^{s=۱۲}\sum_{k=۱}^{t=۳۲}(z_{gk}-z_{.k}-z_{g.}-z_{..})^2$ با درجه آزادی $(t-۱)(s-۱)$.

۶. $\chi^2_{trend,۱} = stz^2_{..}$ با درجه آزادی ۱.

در صورتی که مقدار محاسبه شده برای هر یک از کمیت‌های شش گانه فوق بزرگ‌تر از مقدار متناظر مستخرج از جدول $\chi^2$ باشد، فرض همگنی روند مربوطه رد و در غیر این‌صورت تأیید می‌شد. مراحل زیر برای آزمون فرض صفر مورد استفاده قرار گرفت .

۱. تحت فرض‌های صفر (اشاره شده در مرحله قبل) کمیت‌های لازم برای آزمون همگنی روند بین ایستگاه‌ها $\chi^2_{site}$، همگنی بین ماه‌ها $\chi^2_{month}$ و همگنی ایستگاه- ماه $\chi^2_{site-month}$ محاسبه می‌شود.

۲. اگر همگنی روند بین ایستگاه‌ها، ماه‌ها و برهم‌کنش ایستگاه- ماه معنی‌دار نباشد، آنگاه آزمون همگنی روند کلی با استفاده از کمیت $\chi^2_{trend}$ انجام می‌شود.

۳. اگر روند در بین ایستگاه‌ها غیر همگن، اما در بین ماه‌ها همگن باشد، آنگاه آزمون همگنی روند تنها برای ایستگاه‌ها با استفاده از کمیت $sz^2_k\ (k = ۱,۲,....,t)$ انجام می‌شود، که تحت فرض صفر $H_۰ = \tau_{.k} = ۰$ دارای توزیع $\chi^2$ است.

۴. اگر روند در بین ماه‌ها غیر همگن اما در بین ایستگاه‌ها همگن باشد. آنگاه آزمون روند تنها برای ماه با محاسبه کمیت $tz^2_{g.}\ (g = ۱,۲,\ldots,s)$ انجام می‌شود، که تحت فرض صفر $H_۰ = \tau_{g.} = ۰$ دارای توزیع $\chi^2$ است.

اگر روند هم در بین ماه‌ها و هم در بین ایستگاه‌ها ناهمگن باشد یا برهم‌کنش ایستگاه- ماه معنی‌دار باشد، پس آزمون همگنی روند ایستگاه- ماه به‌تنهایی انجام می‌شود. برای این کار تنها لازم است برای هر ایستگاه و ماه کمیت $z_{gk}\ (g = ۱,۲,\ldots,s; k = ۱,۲,\ldots,t)$ محاسبه و معنی‌داری آن آزمایش شود. فرض صفر عدم وجود روند معنی‌داری $\alpha$ پذیرفته می‌شود اگر $-z_{\alpha/۲} < z_{gk} < z_{\alpha/۲}$ باشد.

## نتایج و بحث

(جدول ۲) مقادیر آماره Z من- کندال مربوط به متغیر تراز آب زیرزمینی دشت تبریز را نشان می‌دهد. طبق جدول روند تراز آب زیرزمینی همه ایستگاه‌ها در ماه فروردین منفی هستند. بیشترین روند منفی متعلق به ایستگاه دیزج لیلی‌خانی (آماره Z معادل ۶/۴۷-) است که در سطح یک درصد معنی‌دار است. این ایستگاه در جنوب‌شرق دشت تبریز واقع است. کمترین روند منفی نیز متعلق به ایستگاه آناخاتون (آماره Z معادل ۰/۳۲۲-) است. این ایستگاه در قسمت غرب شهر تبریز قرار دارد. در ماه اردیبهشت نیز بیشترین روند مثبت متعلق به ایستگاه آناخاتون (آماره Z معادل ۰/۸۶۸) بود. قابل ذکر است که در این ماه تنها دو ایستگاه آناخاتون و دره کوریجان دارای روند مثبت بودند و بقیه ایستگاه‌ها روند منفی داشتند. در ماه خرداد تنها ایستگاه آناخاتون روند مثبت (آماره Z معادل ۰/۲۹۷) داشت و سایر

جدول ۲. مقادیر آماره من- کندال برای متغیر تراز آب زیرزمینی در چاه‌های منتخب دشت تبریز

| نام چاه | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | $Z_{Ik}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بارنج | -۱/۳۸ | -۱/۵۸ | -۳/۲۶ | -۲/۶۷ | -۱/۸۳ | -۲/۶۷ | -۲/۴۲ | -۲/۲۷ | -۲/۲۷ | -۲/۳۲ | -۲/۴۷ | -۲/۶۷ | -۲/۳۲ |
| تازه‌کند | -۶/۱۲ | -۶/۲۷ | -۶/۳۷ | -۵/۹۷ | -۵/۶۰ | -۵/۶۰ | -۵/۶۵ | -۶/۰۷ | -۶/۴۷ | -۶/۴۲ | -۶/۳۷ | -۶/۴۷ | -۶/۱۲ |
| سردرود | -۲/۳۳ | -۲/۱۰ | -۲/۰۵ | -۱/۱۱ | -۲/۲۵ | -۲/۸۲ | -۲/۴۳ | -۲/۶۳ | -۲/۰۸ | -۲/۵۷ | -۲/۷۵ | -۳/۶۲ | -۲/۳۹ |
| خواجه مرجان | -۲/۶۵ | -۳/۱۸ | -۳/۰۷ | -۲/۸۴ | -۱/۶۶ | -۱/۷۸ | -۲/۶۵ | -۲/۱۳ | -۲/۲۳ | -۱/۸۸ | -۱/۸۵ | -۲/۳۰ | -۲/۳۵ |
| دره کوریجان | -۰/۵۱ | ۰/۰۳ | -۰/۴۲ | -۰/۸۱ | ۰/۳۸ | ۰/۰۶ | -۱/۰۰ | -۰/۶۲ | -۱/۳۹ | -۱/۴۵ | -۱/۰۷ | -۱/۸۱ | -۰/۷۱ |
| دره هروی | -۳/۵۹ | -۳/۹۴ | -۲/۹۵ | -۳/۴۹ | -۳/۹۰ | -۴/۱۲ | -۴/۰۹ | -۳/۱۷ | -۴/۴۸ | -۴/۳۱ | -۳/۵۴ | -۴/۴۸ | -۳/۹۲ |
| دیزج لیلی خان | -۶/۴۷ | -۶/۶۷ | -۶/۶۷ | -۶/۶۷ | -۶/۷۲ | -۶/۱۰ | -۶/۶۹ | -۶/۱۰ | -۶/۳۷ | -۶/۵۷ | -۶/۵۷ | -۶/۱۷ | -۶/۴۸ |
| سعیدآباد | -۵/۴۵ | -۴/۹۹ | -۵/۳۵ | -۵/۱۴ | -۵/۰۷ | -۴/۴۴ | -۵/۲۱ | -۵/۴۲ | -۵/۴۵ | -۵/۴۲ | -۵/۴۹ | -۵/۶۳ | -۵/۲۵ |
| قراملک | -۳/۷۹ | -۳/۳۹ | -۳/۲۹ | -۳/۱۹ | -۳/۷۴ | -۳/۶۹ | -۳/۸۱ | -۴/۳۴ | -۴/۱۶ | -۴/۳۹ | -۴/۳۶ | -۴/۵۶ | -۳/۸۹ |
| مایان سفلی | -۱/۶۳ | -۲/۳۵ | -۲/۱۰ | -۱/۹۰ | -۱/۳۸ | -۱/۱۱ | -۰/۸۷ | -۱/۳۸ | -۲/۶۵ | -۳/۱۵ | -۳/۱۹ | -۳/۴۵ | -۲/۱۰ |
| نعمت‌آباد | -۳/۷۲ | -۳/۷۴ | -۳/۰۵ | -۱/۶۱ | -۰/۷۸ | ۰/۰۰ | -۱/۸۸ | -۲/۲۳ | -۳/۷۴ | -۳/۸۶ | -۳/۶۴ | -۳/۵۳ | -۲/۶۹ |
| آخولا | -۵/۷۲ | -۵/۵۸ | -۵/۶۸ | -۵/۵۰ | -۵/۵۰ | -۵/۵۹ | -۵/۴۱ | -۵/۵۵ | -۶/۰۵ | -۶/۰۷ | -۵/۷۸ | -۵/۹۱ | -۵/۶۹ |
| آناخاتون | -۰/۳۲ | ۰/۸۶ | ۰/۲۹ | ۲/۴۵ | ۰/۰۲ | ۰/۵۵ | ۱/۲۴ | ۰/۸۹ | ۱/۱۰ | ۰/۴۷ | ۰/۰۷ | -۰/۰۲ | ۰/۵۸ |
| قزل دیزج | -۲/۸۰ | -۳/۰۷ | -۳/۹۴ | -۳/۷۹ | -۴/۸۶ | -۳/۱۰ | -۲/۳۲ | -۲/۷۷ | -۲/۷۵ | -۲/۸۰ | -۳/۵۹ | -۳/۶۲ | -۳/۲۸ |
| $Z_{g.}$ | -۳/۳۳ | -۳/۸۷ | -۳/۶۸ | -۳/۶۲ | -۳/۵۴ | -۳/۱۶ | -۳/۰۸ | -۲/۸۸ | -۳/۰۶ | -۳/۰۲ | -۳/۴۲ | -۳/۲۸ | -۳/۳۲ |

**جدول ۳. مقادیر شیب خط روند (β) برای متغیر تراز آب زیرزمینی ایستگاه‌های منتخب دشت تبریز (m/year)**

| نام چاه | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بارنج | -۰/۰۷ | -۰/۰۸ | -۰/۱۴ | -۰/۱۴ | -۰/۰۶ | -۰/۱۰ | -۰/۰۷ | -۰/۰۷ | -۰/۰۹ | -۰/۱۰ | -۰/۱۰ | -۰/۱۲ |
| تازه‌کند | -۰/۹۵ | -۰/۹۷ | -۱/۰۵ | -۰/۹۶ | -۱/۱۶ | -۱/۱۵ | -۱/۲۱ | -۱/۱۷ | -۱/۱۳ | -۱/۰۹ | -۱/۰۴ | -۱/۰۱ |
| سردرود | -۰۸,۰ | -۰/۰۷ | -۰/۰۹ | -۰/۰۲ | -۰/۰۷ | -۰/۰۹ | -۰/۱۰ | -۰/۱۱ | -۰/۰۹ | -۰/۱۲ | -۰/۱۱ | -۰/۱۴ |
| خواجه مرجان | -۰/۱۴ | -۰/۱۷ | -۰/۱۷ | -۰/۱۴ | -۰/۱۲ | -۰/۱۱ | -۰/۱۳ | -۰/۱۳ | -۰/۱۳ | -۰/۱۳ | -۰/۱۵ | -۰/۱۶ |
| دره کوریجان | -۰/۰۳ | -۰/۰۱ | -۰/۰۲ | -۰/۰۵ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | -۰/۱۱ | -۰/۰۴ | -۰/۰۹ | -۰/۰۹ | -۰/۰۷ | -۰/۱۱ |
| دره هروی | -۰/۴۴ | -۰/۵۳ | -۰/۴۲ | -۰/۴۷ | -۰/۵۰ | -۰/۴۸ | -۰/۵۷ | -۰/۴۰ | -۰/۵۶ | -۰/۵۸ | -۰/۵۱ | -۰/۵۳ |
| دیزج لیلی‌خان | -۰/۸۵ | -۰/۸۶ | -۰/۸۴ | -۰/۸۴ | -۰/۸۳ | -۰/۷۹ | -۰/۹۰ | -۰/۸۷ | -۰/۸۷ | -۰/۸۸ | -۰/۸۸ | -۰/۸۹ |
| سعیدآباد | -۱/۳۲ | -۱/۳۷ | -۱/۴۴ | -۱/۴۵ | -۱/۴۵ | -۱/۴۱ | -۱/۴۴ | -۱/۳۷ | -۱/۴۹ | -۱/۵۱ | -۱/۵۷ | -۱/۵۶ |
| قراملک | -۰/۱۴ | -۰/۱۳ | -۰/۱۳ | -۰/۱۱ | -۰/۱۲ | -۰/۱۳ | -۰/۱۳ | -۰/۱۵ | -۰/۱۴ | -۰/۱۴ | -۰/۱۴ | -۰/۱۴ |
| مایان سفلی | -۰/۰۴ | -۰/۰۴ | -۰/۰۵ | -۰/۰۳ | -۰/۰۲ | -۰/۰۲ | -۰/۰۲ | -۰/۰۳ | -۰/۰۳ | -۰/۰۴ | -۰/۰۵ | -۰/۰۶ |
| نعمت‌آباد | -۰/۲۴ | -۰/۲۵ | -۰/۲۴ | -۰/۱۱ | -۰/۰۸ | ۰/۰۸ | -۰/۲۴ | -۰/۲۷ | -۰/۲۷ | ۰/۲۷ | -۰/۲۵ | -۰/۲۶ |
| آخولا | -۱/۰۰ | -۱/۰۱ | -۰/۹۶ | -۰/۹۶ | -۰/۹۶ | -۰/۹۶ | -۱/۰۰ | -۰/۹۷ | -۰/۹۶ | -۰/۹۷ | -۱/۰۰ | -۰/۹۷ |
| آناخاتون | -۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ |
| قزل دیزج | -۰/۱۱ | -۰/۰۹ | -۰/۰۹ | -۰/۰۵ | -۰/۰۶ | -۰/۰۵ | -۰/۰۲ | -۰/۰۶ | -۰/۰۶ | -۰/۰۷ | -۰/۰۹ | -۰/۰۹ |
| میانه شیب‌ها | -۰/۱۵ | -۰/۱۵ | -۰/۱۳ | -۰/۱۳ | -۰/۱۴ | -۰/۱۳ | -۰/۱۱ | -۰/۱۰ | -۰/۱۳ | -۰/۱۵ | -۰/۱۵ | -۰/۱۴ |

ایستگاه‌ها روند منفی داشتند. در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور به جز پنج ایستگاه که با روند مثبت و یک ایستگاه بدون روند، سایر ایستگاه‌ها از خود روند منفی نشان دادند. ماه‌های مهر، آبان و آذر نیز روند تراز آب زیرزمینی تنها در ایستگاه آناخاتون مثبت و بقیه ایستگاه‌ها روندها منفی داشتند. در فصل زمستان که معمولاً برداشت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی متوقف می‌شود، روند تراز آب زیرزمینی به‌جز ایستگاه آناخاتون (با روند مثبت) در همه ایستگاه‌ها منفی بود. این نتیجه تا حد زیادی با نتایج ارائه شده توسط بهشتی وایقان (۲) که در آن برای فصل زمستان حدود ۸۹ درصد ایستگاه‌ها در دشت شبستر- صوفیان روند نزولی برای سطح ایستابی داشتند همخوانی دارد. همچنین نتایج به‌دست آمده در این مطالعه همسو با نتایج ارائه شده برای دشت اردبیل که در آن ۹۲/۸ درصد ایستگاه‌ها روند نزولی در فصل زمستان از خود نشان داده‌اند، است. نتیجه به‌دست آمده با یافته‌های شمس‌الدعا و همکاران (۱۷) در پاره‌ای موارد هم‌سو و در پاره‌ای موارد غیر هم‌سو است. زیرا به گزارش ایشان برای منطقه دلتای گانگ- براهما پوترا که در آن ۱۳ ایستگاه پیزومتری برای بررسی روند انتخاب شده بود در ایستگاهی روند شدید نزولی و در ایستگاه دیگر روند نزولی ملایم و در ایستگاه سوم روند صعودی ملایم گزارش شده است. ایشان افت تراز آب زیرزمینی را برای دلتای مذکور یک متر در سال گزارش کرده است. نتایج مطالعه حاضر با مطالعه دابای و همکاران (۱۲) که در دلتای رودخانه قرمز در ویتنام برای ۵۷ ایستگاه در سفره آبدار آزاد به‌دست آمده، همخوانی ندارد. زیرا در مطالعه دابای و همکاران فقط ۳۵ درصد ایستگاه‌ها روند نزولی نشان داده‌اند و بقیه دارای روند

**جدول ۴. نتایج آزمون همگنی زمانی و مکانی برای متغیر تراز آب زیرزمینی دشت تبریز**

| منبع تغییر | درجه آزادی | $\chi^2$ محاسباتی | $\chi^2$ جدول | نتیجه آزمون |
|---|---|---|---|---|
| $\chi^2_{total}$ | ۱۶۸ | ۲۵۸۶/۴۱ | ۱۹۸/۸۶ | معنی‌دار |
| $\chi^2_{homogenity}$ | ۱۶۷ | ۷۱۷/۹۲ | ۱۹۷/۷۷ | معنی‌دار |
| $\chi^2_{month}$ | ۱۱ | ۱۴/۳۲ | ۱۹/۶۸ | معنی‌دار |
| $\chi^2_{site}$ | ۱۳ | ۶۵۵/۴۹ | ۲۲/۴ | غیر معنی‌دار |
| $\chi^2_{site-month}$ | ۱۴۳ | ۷۵۲۲/۰۵ | ۱۷۱/۵۳ | معنی‌دار |
| $\chi^2_{trend}$ | ۱ | ۱۸۶۸/۴۸ | ۳/۸۴ | معنی‌دار |

صعودی بوده است. با این حال ایشان علاوه بر سفره آبدار آزاد ۶۳ ایستگاه پیزومتریک را در سفره آبدار تحت فشار در همان منطقه مطالعه کرده است که تقریباً در همه ایستگاه‌های سفره تحت فشار روند نزولی در سطح پیزومتریک گزارش شده است که با مطالعه فعلی برای دشت تبریز همخوانی دارد. (جدول ۳) مقادیر شیب خط روند را برای متغیر تراز آب زیرزمینی دشت تبریز نشان می‌دهد. با توجه به جدول شیب خط روند تراز آب زیرزمینی همه ماه‌ها برای اکثر ایستگاه‌ها منفی است. ماه‌های فروردین، اردیبهشت و بهمن در مقایسه با سایر ماه‌ها شدیدترین روند نزولی را داشتند. با توجه به داده‌های شیب شدیدترین خط روند منفی در ماه بهمن مربوط به ایستگاه سعیدآباد معادل ۱/۵۷- است. مفهوم آن این است که در این ایستگاه در ماه بهمن تراز آب زیرزمینی به‌طور متوسط نسبت به سال قبل حدود ۱/۵۷ متر افت داشته است. این ایستگاه در شرق شهر تبریز قرار دارد. لازم به‌ذکر است که در این ایستگاه افت تراز آب زیرزمینی در سایر ماه‌ها نیز در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها بیشتر است. به‌نظر می‌رسد رشد کارخانجات صنعتی در این ناحیه، گسترش شهرسازی و احداث شهرک‌های مسکونی و همچنین برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی علت این امر است. در (جدول ۴) نتایج کلی آزمون همگنی آورده شده است. با توجه به شش مرحله از آزمون همگنی انجام شده فقط برای ماه‌ها همگنی روند دیده می‌شود و در آزمون‌های دیگر فرض همگنی روند تراز آب زیرزمینی رد می‌شود.

برای آزمون همگنی کل در این مرحله مجموع مقادیر $z^2_{gk}$ را برای کلیه ایستگاه‌ها و ماه‌ها محاسبه شد. مقدار $\chi^2$ محاسباتی معادل ۲۵۸۶/۴۱ است اما مقدار $\chi^2$ به دست آمده از جدول با درجه آزادی ۱۶۸ (۱۴×۱۲)، (۱۲ بیانگر تعداد ماه‌ها و۱۴ بیانگر تعداد تعداد ایستگاه‌ها) برابر با ۱۹۸/۸۶ است. چون $\chi^2$ محاسباتی بزرگ‌تر از $\chi^2$ جدول است لذا، نتایج نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن همگنی کل است. بنابراین، فرض صفر مبنی بر همگنی کل در بین داده‌های تراز آب زیرزمینی پذیرفته می‌شود.

$$\chi^2_{total,st} = \sum_{g=1}^{s=12}\sum_{k=1}^{t=29} z^2_{gk} = 2586/41 \qquad (6)$$

برای بررسی همگنی در بین متغیرهای تراز آب زیرزمینی مجموع مقادیر $(z_{gk}-z_{..})^2$ برای تمام ماه‌ها و ایستگاه‌ها محاسبه شد. همچنین مقدار $\chi^2$ محاسباتی ۷۱۷/۹۳ به‌دست آمد. به‌دلیل اینکه $\chi^2$ محاسباتی بسیار بزرگ‌تر از $\chi^2$ جدول (۱۹۷/۷۷) با درجه آزادی ۱۶۷است لذا، می‌توان این چنین نتیجه گرفت که همگنی روند در تمام ماه‌ها و ایستگاه‌ها (به‌طور یک جا) موجود نیست چرا که مقادیر آماره Z در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف از مقدار میانگین کلی تفاوت معنی‌داری دارد.

$$\chi^2_{homogenity,st-1} = \sum_{g=1}^{s=12}\sum_{k=1}^{t=29}(z_{gk}-z_{..})^2 = 717/93 \qquad (7)$$

به‌منظور بررسی همگنی زمانی تراز آب زیرزمینی به شرح زیر عمل شد:

با توجه به مقادیر $\left(z_{g.}-z_{..}\right)^2$ نتایج نشان داد که مقدار

$\chi^2_{month,s-1}$ محاسباتی معادل ۱۴/۳۲ بود. درحالی که $\chi^2$ به‌دست آمده از جدول با درجه آزادی ۱۱، (۱۲-۱)، برابر با ۱۹/۶۸ است. بنابراین، چون $\chi^2$ محاسباتی کوچک‌تر از $\chi^2$ جدول است، در نتیجه همگنی روند در ماه‌ها از نظر تغییرات تراز آب زیرزمینی در سطح معنی‌داری پنج درصد تأیید می‌شود و معنا و مفهوم آن این است که روند منفی در مورد متغیر تراز سطح در تمام ماه‌های سال در دشت تبریز از همگنی کامل برخوردار است.

$$X^2_{month,s-1} = t\sum_{g=1}^{s=12}\left(z_{g.} - z_{..}\right)^2 = 14/32 \qquad (8)$$

برای بررسی همگنی مکانی روند تراز آب زیرزمینی در دشت تبریز مقادیر آماره $(z_{.k} - z_{..})^2$ برای ایستگاه‌های مختلف تراز آب زیرزمینی دشت تبریز محاسبه شد. که مقادیر آماره $\chi^2_{site,t-1}$ معادل ۶۵۵/۴۹ حاصل شد و $\chi^2$ نظیر جدول نیز با درجه آزادی ۱۳ معادل ۲۲/۴ است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که همگنی در روند ایستگاه‌ها از نظر تغییرات تراز آب زیرزمینی در سطح معنی‌داری پنج درصد وجود ندارد. به‌عبارت دیگر برخی ایستگاه‌ها روند منفی شدید (مانند ایستگاه‌های تازه کند، دیزج لیلی‌خانی، آخولا و سعیدآباد به‌ترتیب با مقادیر ۶/۱۲-، ۶/۴۸-، ۵/۶۹- و ۵/۲۵-) و برخی ایستگاه‌ها روند منفی ناچیز (مانند دره کوریجان و بارنج به‌ترتیب با مقادیر ۰/۷۱۹- و ۲/۳۲-) و برخی دیگر روند مثبت (مانند آناخاتون با مقدار ۰/۵۸) دارند.

$$\chi^2_{site,t-1} = s\sum_{k=1}^{t=14}(z_{.k} - z_{..})^2 = 655/49 \qquad (9)$$

در ادامه جهت بررسی همگنی روند برهم‌کنش ماه‌ها و ایستگاه‌ها مقادیر $(z_{gk} - z_{.k} - z_{g.} - z_{..})^2$ برای ۱۴ ایستگاه در خصوص متغیر تراز آب زیرزمینی دشت تبریز محاسبه شد. مقدار آماره $\chi^2_{site-month,(t-1)(s-1)}$ معادل ۷۵۲۲/۰۵ به‌دست آمد که بزرگ‌تر از مقدار $\chi^2$ جدول با درجه آزادی ۱۴۳ است که نشان‌دهنده معنی‌داری برهم‌کنش ماه و ایستگاه است. به‌عبارت بهتر روند موجود بین ماه و ایستگاه همگن نیست. بنابراین، برای بررسی معنی‌داری روند، لازم است که روند ایستگاه‌ها به‌طور جداگانه مورد آزمون قرار گیرند.

$$\chi^2_{site-month,(t-1)(s-1)} = \sum_{g=1}^{s}\sum_{k=1}^{t} (z_g - z_{.k} - z_{g.} - z_{..})^2 = 7522/05 \qquad (10)$$

به‌دلیل اینکه ایستگاه‌ها ناهمگن ولی ماه‌ها همگن هستند. بنابراین، برای هر ایستگاه به‌طور جداگانه مقادیر $sz^2_k$ (k از ۱ تا ۱۴) محاسبه شد. با توجه به آماره $\chi^2$ جدول $(P<0/05)$ مقدار آن با درجه آزادی واحد برابر با ۳/۸۴ است. بنابراین، با مقایسه این مقدار با اعداد محاسبه شده، چون $sz^2_k$ هیچ کدام از ایستگاه‌ها از این رقم کوچک‌تر نیست بنابراین، هیچ کدام از ایستگاه‌ها همگنی روند ندارند و غیر همگن محسوب می‌شوند.

$$\chi^2_{trend,1} = stz^2_{..} = 12\times14\times(-3/33)^2 \qquad (11)$$

نتایج حاکی از این بود که تراز آب زیرزمینی دشت تبریز در اکثر چاه‌های مورد بررسی روند نزولی معنی‌داری داشتند. روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در همه چاه‌ها نزولی و در سطح یک درصد معنی‌دار بود. کمترین خط روند تراز آب زیرزمینی در ایستگاه سعیدآباد در ماه مرداد برابر ۱/۴۵- بود. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که شیب خط روند در بخش‌های شرقی دشت تبریز در مقایسه با بخش‌های غربی به‌مراتب بیشتر بود. برخی از عواقب افت تراز آب زیرزمینی به‌شرح زیر هستند:

۱. افزایش هزینه برداشت آب از چاه به‌دلیل افزایش عمق دسترسی به آب.
۲. رکود کشاورزی و کاهش تولید محصولات کشاورزی و نیاز به واردات محصولات برای جبران کمبود.
۳. نشست زمین و بروز مشکلات زیست‌محیطی و به‌دنبال آن مشکلات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی.
۴. افزایش مهاجرت از روستا به شهر به‌دلیل نابودی کار کشاورزی و بروز ناهنجاری‌های اجتماعی.

## نتیجه‌گیری

نتایج در حالت کلی حاکی از افت تراز آب زیرزمینی در

دشت تبریز است. این وضعیت سرآغاز چالش‌های جدیدی در زمینه کم‌آبی و اثرات آن در منطقه است. به‌نظر می‌رسد زنگ‌های خطر به‌طور پی‌درپی در اغلب دشت‌های کشور ازجمله تبریز به صدا در آمده است. زیرا علاوه بر افت تراز آب در اکثر دشت‌ها نشست زمین نیز روی داده است در واقع نشست زمین و ایجاد ترک‌های عمیق در سطح خاک نشان‌دهنده نابودی کل سفره آبدار است. اگر بخواهیم توسعه کشاورزی را بدون استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی (و سطحی) در برنامه‌ها بگنجانیم به‌طور قطع و یقین چنین توسعه‌ای فرجام خوبی نخواهد داشت و به شکست خواهد انجامید. در این صورت برگشت به وضعیت اولیه محال خواهد بود. بنابراین، لازم است تنها مقدار آبی از دشت‌ها برداشت شود که حداکثر برابر با مقدار تغذیه دشت توسط نزولات جوی باشد. انجام مطالعات مشابه در کلیه دشت‌های کشور که در آن از سفره‌های آبدار آزاد یا تحت فشار استفاده می‌شود توصیه می‌شود.

## منابع مورد استفاده


1. Abadeh, M., M. Ownagh, A. Mosaedi and A. Zainoldini. 2006. The study of water table drawdown on the salinity of groundwater in Zeydabad area, Sirjan. *Journal of Agricultural Scinences and Natural Resources* 13(2): 1-10.
2. Albertson, P. E. and W. H. Gary. 1996. Groundwater analysis using a geographic Information system following finite-differenced and element techniques. *Engineering Geology* 42: 167-173.
3. Almedeij, J. and F. AL-Ruwaih. 2006. Periodic behavior of groundwater level fluctuations in residential areas. *Journal of Hydrology* 328: 677-684.
4. Asghari Moghaddam, A. 1991. Hydrology of Tabriz Area. Iran. PhD. Thesis, University of London College, London, UK. England.
5. Beheshtee Vayghan, V. 2012. Trend analysis of groundwater changes and precioitation in Shabestar- Soofian plain. MSc. Thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
6. Beyzai, A. and H. Mohammadi. 2003. Analysis of recent droughts effects on groundwater resources in Neyshabur plain. MSc. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran.
7. Daneshvar Vousoughi, F. 2010. Analysis the impact of drought on groundwater resources (quantitative and qualitative) of Ardabil plain and providing reasonable solutions to these threats. MSc. Thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
8. Daneshvar Vousoughi, F., Y. Dinpashoh and M. Aalami. 2010. Effect of drought on groundwater level in the past two decades (case study: Ardebil plain). *Journal of Water and Soil Knowledge* 21(4): 165-179.
9. Du Bui, D., A. Kawamura, T. N. Tong and H. N. Amaguchi. 2012. Spatio-temporal analysis of recent groundwater-level trends in the Red River Delta, Vietnam. *Hydrogeology Journal* 20: 1635-1650.
10. Ebrahimi, K., Sh. Araghinejad and M. Mohammadi Ghaleni 2010. Groundwater quantity and quality evaluation: A case study for saveh and arak aquifers. *Journal of Soil and Water Knowledge* 21(2): 93-108.
11. Fallah, S., M. Ghobadinia, M. Shokrgozar and SH. Ghorbani. 2010. A study on sustainability of groundwater resources of Darab plain, Iran. *Journal of Water Research in Agriculture* 26(2): 161-172.
12. Gan, T. Y. 1998. Hydroclimatic trends and possible climetic warmingin the Canadian Prairies. *Water Resource Researches* 34(11): 3009-3015.
13. Gehrels, J. C., F. C. Van Geer and J. J. De Vries. 1994. Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modeling in an area with shallow to deep unsaturated zones. *Journal of Hydrology* 157:105-138.
14. Lee, J. Y., M. J. Yi, S. H. Moon, M. Cho, J. H. Won, K. H. Ahn and J. M. Lee. 2007. Causes of the changes in groundwater levels at Daegu, Korea: the effect of subway excavations, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 66: 251-258.
15. Sen, P. K. Estimates of the regression coefficients based on kendalls tau. *Journal of the American Statistical Association* 63: 1379-1389.
16. Shamsudduha, M., R. E. Chanller, R. G. Taylor and K. M. Ahmed. 2009. Recent trends in groundwater levels in a highly seasonal hydrological system: The Ganges- Brahmaputra- Meghana delta. *Hydrology and Earth System Science* 13: 2373- 2385.

17. Theil, H. 1950. A Rank Invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis, Part 3. *Springer* 53: 1379-1412.
18. Van Bell, G. and J. P. Hughes. 1984. Nonparametric tests for trend in water quality. *Water Resource Researches* 20(1): 127-136.
19. Zeynali, A., M. AllafNajib and M. A. Hasanpur Agdam. Land subsidence in Shabestar- Soofian plain due to groundwater level decline. *In*: Proceeding of 2009 Second National Water Conference, University of Behbahan, Behbahan, I.R.

**Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)**
**Vol. 23, No. 2, Summer 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.**

# Trend Analysis of Groundwater Level, Using Mann-Kendall Non Parametric Method (Case Study: Tabriz Plain)

**F. Negahban* and Y. Dinpazhoh[1]**

(Received: April 19-2017 ; Accepted: September 2-2018)

## Abstract

Studying the trends of water table in any region especially in arid and semi-arid regions is an important issue. This study focuses on assessing groundwater table changes in Tabriz plain. For this purpose, non-parametric Mann-Kendall test is used. In studing groundwater level the information of 14 pizometric wells in the period of 1991-2013 was used. Significant levels of 1, 5 and 10% were used for the trend test. Slope of trend lines is estimated using the sen's estimator method. The homogeneity of trends were tested using the Van Belle and Hughes method. The results showed that groundwater level in the most of pizometric wells have decreasing trend, That was significante in 1% sifnificance level. According to the research, trend of groundwater level was negative in all of the stations in April and maximum negative trend was belong to Dizaj Leily Khany station (Z= -6/47) that was significante in 1% sifnificance level. Also the minimum negative trend was belong to Ana Khaton station (Z= -0/322). The minimum groundwater level was -1.45 in Said-Abad station.

**Keywords**: Groundwater level, Mann-kendall, Sen's estimator, Tabriz plain, Trend

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz
*: Corresponding Author, Email: fahime.negahban@yahoo.com