



Investigation and Trend Identification of Groundwater Level Variations Using Discrete Transform and Non-Parametric Tests Wavelet (Case study: Azarshahr Plain)

K. Roushangar¹, V. Nourani², and M. Dolatshahi^{3*}

Abstract

Groundwater resources due to lately affected by climate changes and precipitation fluctuations are valuable. Given that the interaction between climate and groundwater components are more complicated than interaction between climate and surface waters components, therefore investigation of changes in groundwater has an important role in planning and sustainable water resources management. In this research, trend of groundwater, precipitation and stream flow time series in monthly, seasonal and annual time scales and dominant periods of trend in original time series for stations located in Azarshahr plain, East Azerbaijan Province and part of the watershed of Urmia Lake were found by using the hybrid Mann-Kendall method with wavelet transform during 45 years. Results showed that, all the stations have a downward trend for all the time scale studied. Accurately, in the results, 16 months, 6 months and 8 years periods were detected as dominant periods for groundwater time series in monthly, seasonally and annual scales, respectively. According to sequential Mann-Kendall results, it can be obtained that a decreasing trend starts from 1378 in the stations. In addition, Sen's method was used to confirm the proposed MK test and its accuracy was confirmed.

Keywords: Groundwater, Trend, Mann-Kendall Test, Discrete Wavelet Transform, Sen's Method.

Received: December 20, 2017

Accepted: January 13, 2020

بررسی و تعیین روند تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از تبدیل موجک گسسته و آزمون‌های ناپارامتریک (مطالعه موردی: دشت آذرشهر)

کیومرث روشنگر^۱، وحید نورانی^۲ و مهری دولتشاهی^{۳*}

چکیده

منابع آب زیرزمینی به دلیل تاثیرپذیری دیرهنگام از تغییرات آب و هوایی ارزشمند هستند. با توجه به این که ارتباط بین متغیرهای آب و هوایی و آب‌های زیرزمینی پیچیده‌تر از آب‌های سطحی است، بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این پژوهش با استفاده از روش ترکیبی تبدیل موجک گسسته و آزمون ناپارامتریک من-کندال، روند سری‌های زمانی آب‌زیرزمینی، بارش و رواناب در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه و همچنین دوره تناوب غالب در تولید روند سری‌های زمانی اصلی برای ایستگاه‌های واقع در دشت آذرشهر، در استان آذربایجان شرقی و قسمتی از حوزه آبریز دریاچه ارومیه، طی دوره‌ی ۴۵ ساله تعیین شده است. نتایج حاکی از وجود یک روند نزولی برای تمام مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه بود. با دقت در نتایج، تناوب‌های ۱۶ ماهه، ۱۲ ماهه و ۸ ساله در سری‌های زمانی آب‌زیرزمینی به ترتیب در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه به عنوان تناوب غالب شناخته شدند. همچنین با توجه به نتایج نمودارهای من-کندال دنباله‌ای، از سال ۱۳۷۸ به بعد روند کاهشی پیوسته‌ای در ایستگاه‌ها شروع شده است. در ضمن برای تصدیق نتایج آزمون من-کندال پیشنهادی، از روش تحلیل روند سن استفاده و درستی آن تأیید گردید.

کلمات کلیدی: آب‌زیرزمینی، روند، آزمون من کندال، تبدیل موجک گسسته، روش سن.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۹/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۰/۲۳

1- Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz. Email: kroshangar@yahoo.com.

2- Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz. Email: vnourani@yahoo.com.

3- M.Sc., Graduate of Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran and Ph.D. Student, School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: Mehri.dsh71@gmail.com.

*- Corresponding Author

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز.

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه تبریز و دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه تهران.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

حرارت، نیاز گیاهان و برداشت بی‌رویه از چاه‌ها می‌باشد. Khorani and Khajeh (2014) با استفاده از آزمون من-کندال روند ۱۸ ساله‌ی بارندگی و سطح آب زیرزمینی دشت داراب را مطالعه کردند. نتایج نشان‌دهنده روند کاهشی در بارندگی منطقه و سطح آب زیرزمینی بیشتر چاه‌ها بود. همچنین سطح آب زیرزمینی چاه‌های بررسی شده به بارندگی فصلی خیلی حساس است و هر بی‌نظمی در بارش مستقیم بر سطح آب زیرزمینی تأثیر دارد.

با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییرات سطح آب زیرزمینی مشاهده می‌شود که در این مطالعات به ندرت به جزئیات نوسانات سری‌های زمانی و تناوب‌های مؤثر بر تولید روند پرداخته شده است. این موضوع از اهمیت به‌سزایی برخوردار است، چراکه تناوب‌های بلندمدت نیز می‌توانند باعث ایجاد روند در تغییرات سطح آب زیرزمینی شوند.

علی‌رغم نایب بودن اغلب پدیده‌های علوم زمین و اینکه دارای پدیده‌های متناوب مختلف در زمان‌های متناوب متفاوت هستند؛ تمام آزمون‌های متداول تعیین روند (مثل آزمون من-کندال) بر اساس فرض ایستا بودن سری‌های زمانی می‌باشند. با توجه به ماهیت غیرخطی، عدم قطعیت و عدم صراحت زیاد و ویژگی‌های متغیر زمانی و مکانی در سیستم‌های هیدرولوژیکی، روش‌های آماری برای تحلیل روند در آن‌ها کامل به نظر نمی‌رسد. در نتیجه برای مطالعات روند فرآیندهای هیدرولوژیکی، استفاده از آزمون من-کندال در ترکیب با روش‌ها یا مدل‌های دیگر گزینه مناسبی می‌تواند باشد (McBeen and Motiee, 2008). امروزه بسیاری از روش‌های تحلیل سیگنال، در علوم مرتبط با آمار و سری زمانی مورد توجه قرار گرفته است که یکی از بهترین روش‌ها، تبدیل موجک است. از آنجا که موجک‌هایی که در تبدیل موجک مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای شکل نامتقارن و بی‌قاعده هستند، برای تحلیل سیگنال‌های حاوی تغییرات ناگهانی و ناپیوستگی‌های موضعی مناسب می‌باشند (Nourani et al., 2015). این روش به دلیل دقت بالا، در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه محققین علوم محیطی قرار گرفته است، هر چند با توجه به جدید بودن آن، تعداد پژوهش‌های انجام شده بر اساس این روش از روش‌های کلاسیک آماری کمتر است (Araghi et al., 2014; Nourani et al., 2015).

Taghavi et al. (2012) تحلیل موجک را برای بررسی تغییرپذیری بارش ایستگاه‌های غرب ایران در یک دوره ی آماری ۴۳ ساله به کار گرفتند. نتایج نشان دادند که در همه‌ی ایستگاه‌ها دوره‌ی بازگشت

مدیریت منابع آب زیرزمینی، نیازمند شناخت عملکرد آن و پیش‌بینی تأثیر عوامل مختلف اقلیمی و انسانی می‌باشد. منابع آب زیرزمینی، نقش اساسی در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت در مناطق نیمه‌خشک به عهده دارند (Khalaj et al., 2019) و یکی از مهم‌ترین منابع آب شیرین موجود در جهان می‌باشند. بررسی نوسانات منابع آب زیرزمینی در تعیین اندازه تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت سفره، ابزاری مفید می‌باشد. تغییرات آب و هوایی به شدت بر پارامترهای هیدرولوژیکی از قبیل رطوبت خاک، آب زیرزمینی، بزرگی و مدت رواناب و به تبع آن بر منابع آبی موجود تأثیر می‌گذارد. بررسی روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی می‌تواند تأثیر بسزایی در تفسیر رابطه بین فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی و تغییرات محیطی در مناطق مورد مطالعه داشته باشد.

امروزه روش‌های آماری مختلفی نظیر آزمون تی، آنالیز رگرسیون، روش اسپیرمن، ضریب همبستگی پیرسون و آزمون من-کندال برای بررسی روند در سری‌های زمانی وجود دارد؛ ولی آزمون من-کندال پرکاربردترین روش شناخته شده است. از جمله مزایای این روش می‌توان به عدم حساسیت به داده‌های مفقود، محاسبات ساده و عدم پیری از توزیع آماری خاص اشاره کرد (Partal and Kucuk, 2006). در دهه‌های اخیر مطالعات بسیاری جهت تشخیص روند و تعیین میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی در رابطه با متغیرهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی انجام شده است. بیشتر این مطالعات روند منفی برای تراز آب زیرزمینی در نقاط مختلف جهان و ایران گزارش کرده‌اند.

Panda et al. (2007) در پژوهشی برای شناختن و یافتن روند تغییرات سطح آب زیرزمینی و نیز تأثیر خشکسالی و دخالت بشر در منطقه‌ی اریسا هند، از روش آماری ناپارامتریک من-کندال استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که افت سطح آب به دلیل کمبود باران در سال‌های خشک، دمای بالا و دخالت بشری باعث شده تا در سال‌های مرطوب به وسیله‌ی تغذیه، این افت جبران نشود. ولی در این مطالعه مشخص نگردید که نقش کدام یک از عوامل مؤثر بر روند تغییرات آب زیرزمینی مانند خشکسالی، دمای بالا و عوامل انسانی در تولید روند بیشتر است. Daneshvar Vousoughi et al. (2010) رفتار تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل را با آزمون ناپارامتری من-کندال مورد مطالعه قرار دادند. آنان مشاهده کردند که در بیشتر ایستگاه‌ها بارش فاقد روند معنی‌دار است ولی روند درجه حرارت مثبت و معنی‌دار می‌باشد. بدین ترتیب دریافتند که افت معنی‌دار تراز آب زیرزمینی ناشی از خشکسالی نبوده بلکه به علت افزایش معنی‌دار درجه

هیدرولوژیکی و هیدروکلیما تولوژیکی مرتبط با تغییرات سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته‌اند ولی بحثی که امروزه مورد توجه قرار می‌گیرد، عوامل و مهم‌تر از آن اثرگذاری این پارامترها بر روی طبیعت است که منجر به تغییرات عملکرد حوضه در طول زمان می‌شوند. در این حین تعیین نقش عوامل انسانی و عوامل اقلیمی در تغییرات به وجود آمده در حوضه‌های آبریز مسأله‌ای اساسی تلقی می‌شود. در جدول ۱ خلاصه تعدادی از پژوهش‌های صورت گرفته در ارتباط با تغییرات سطح آب زیرزمینی بیان شده است.

هدف اصلی این پژوهش، تحلیل روند سری‌های زمانی بارش، رواناب و سطح آب زیرزمینی دشت آذرشهر به منظور تعیین مهمترین جزء پریودیک در تولید روند و تعیین نقطه شروع و تغییر روند پارامترها می‌باشد. در این مطالعه به عنوان نوآوری از روش ترکیبی موجک-من کندال برای بررسی تأثیر و اندرکنش پارامترهای بارش و رواناب بر روی تراز آب زیرزمینی دشت آذرشهر استفاده شد. با اعمال تبدیل موجک امکان بررسی روند در ممان‌ها و تناوب‌های بالاتر فراهم شده و با تحلیل داده‌های ماهانه، فصلی و سالانه تغییرات سریع و آرام مجموعه داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه نقطه شروع و تغییر روند سری‌های زمانی با استفاده از آزمون من-کندال دنباله‌ای تعیین شد.

۲- مواد و روش‌ها

هدف اصلی در این پژوهش یافتن تأثیر و اندرکنش پارامتر بارش بر روی نوسانات تراز آب زیرزمینی، بررسی روند حاکم و همچنین تعیین دوره‌ی تناوب غالب در تولید روند سری‌های زمانی مورد مطالعه است.

سالانه با سطح اطمینان ۹۰ درصد وجود دارد و تحلیل موجک ابزار مناسبی برای بررسی رفتار داده‌های اقلیمی است. (Nalley et al. (2012 از روش ترکیب آزمون روند من-کندال و تبدیل موجک گسسته و همچنین آنالیز من-کندال دنباله‌ای در داده‌های جریان متوسط در جنوبی‌ترین قسمت کانادا (آنتاریو و کبک) استفاده کردند تا پیوندهای اصلی را در تولید روند سری‌زمانی جریان پیدا کنند. نتایج آنالیز روند، ترکیبی از روندهای مثبت و منفی را نشان داد اما روندهای مثبت واضح‌تر بودند. آن‌ها نشان دادند که استفاده از روش تبدیل موجک در کنار روش‌های کلاسیک آماری مانند من-کندال می‌تواند الگوهای نوسانی مؤثر بر تغییرات دوره‌ای پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی را مشخص سازد.

همچنین مطالعاتی با ترکیب تبدیل موجک و روش‌های هوشمند دیگر، تراز آب زیرزمینی را با دقت بالاتری پیش‌بینی نموده‌اند. (Nikbakht and Nouri (2016 پس از خوشه‌بندی چاه‌های مشاهداتی دشت مراغه با استفاده از شبکه‌های موجک-عصبی به پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی پرداختند. نتایج نشان دهنده‌ی کارایی بهتر این شبکه‌ها به جای شبکه‌های عصبی بود. (Rajaei et al. (2016 با بهره‌گیری از برخی مدل‌های هوشمند به پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز شریف‌آباد استان قم پرداختند و دریافتند پمپاژی رویه آب در کاهش تراز آب زیرزمینی اثر بیشتری را دارا می‌باشد. نتایج تحقیق نشان دهنده‌ی دقت بالاتر مدل ترکیبی موجک-عصبی در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی ماهانه و قابلیت آن در تشخیص اجزای تشکیل دهنده داده بود.

با توجه به پیشینه تحقیق مشخص است که روند فرآیندهای

Table 1- Summaries of some important studies about groundwater level changing with Mann-Kendall

جدول ۱- خلاصه تعدادی از مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش من-کندال				
Autor	Year	Study Area	Methods	Results
Panda et al.	2007	Orissa-India	Mann-Kendall	59% of the monitoring stations experience decline in groundwater level (17-23 cm/year)
Daneshvar Vousoughi et al.	2010	Ardebil-Iran	Mann-Kendall Sen's slope estimator Van Belle and Hughe's method	significant negative trend in groundwater level (18 cm/year) and significant positive trend in groundwater quality
Tabari et al.	2011	Mazandaran-Iran	Mann-Kendall Sen's slope estimator	mix of negative and positive trends
Khorani and Khajeh	2014	Darab plain-Iran	Mann-Kendall Sen's slope estimator SPI	Decline in groundwater levels than precipitation occurs with 5 months lag.
Tirgo et al.	2016	Africa	Mann-Kendall break(Pettitt) test Correlation analysis Principle components	Groundwater level responds to rainfall with a delay

در شکل ۱ روند کلی مراحل انجام کار نشان داده شده است.

می‌شوند: (et al., 2012) که اعداد به دست آمده از روابط به سمت بالا گرد

$$L = \frac{\log\left(\frac{n}{2v-1}\right)}{\log(2)} \quad (2)$$

در این رابطه n تعداد داده‌ها در سری‌های زمانی و v بیانگر تعداد ممان‌های حذف شده در موجک دوپچی است که در نرم‌افزار متلب برابر با شماره نوع db انتخاب می‌شود. از آنجایی که سری‌های زمانی مورد مطالعه تغییرات آرامی داشتند، در این مطالعه برای داده‌های ماهانه و فصلی از تبدیل موجک‌های db5-db10 استفاده شده است. پس از تجزیه‌ی سری‌های زمانی در صورتی که مقدار خودهمبستگی برای سری‌های زمانی اصلی و زیر سری‌های حاصل از آن‌ها معنی‌دار باشد از آزمون من-کندال اصلاح شده و در غیر این صورت از آزمون من-کندال اصلی استفاده می‌گردد. لازم به ذکر است که تمام بررسی‌ها و تجزیه و تحلیل انجام شده با در نظر گرفتن سطح احتمال ۹۵٪ انجام شده است.

۲-۲- آزمون من کندال

تاکنون روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه گردیده که روش‌های ناپارامتریک در سری‌های زمانی مربوط به متغیرهای هیدرولوژیکی کاربرد بیشتری دارد (Xu et al., 2003). چرا که روش‌های ناپارامتریک مستقل از توزیع آماری سری‌های زمانی بوده و برای سری‌های زمانی که دارای کشیدگی یا چولگی می‌باشند، مناسب است. از بین روش‌های مختلف ناپارامتریک، آزمون من-کندال به دلیل مزایایی که دارد، در این مطالعه در نظر گرفته شده است.

۱-۲- تبدیل موجک

تبدیل موجک یکی از بهترین روش‌های پردازش سیگنال می‌باشد. به منظور ساده کردن بررسی سری زمانی اصلی، پس از تجزیه آن، هر کدام از دوره‌های تناوب به طور جداگانه مورد تحلیل قرار می‌گیرند. با توجه به ساختار گسسته سری‌های زمانی هیدرولوژیکی فرم گسسته تبدیل موجک (DWT) مورد استفاده واقع می‌شود. در تبدیل موجک گسسته پارامترهای انتقال و مقیاس به صورت غیرپیوسته و با به‌کارگیری از روند دودویی به صورت $a = 2^m$ و $b = 2^{m+n}$ انتخاب می‌شوند. به طوری که m و n اعداد صحیح هستند. برای سری گسسته x_i تبدیل دودویی موجک به صورت زیر می‌باشد:

$$T_{m,n} = 2^{-m/2} \sum_{i=0}^{N-1} \psi(2^{-m}i - n)x_i \quad (1)$$

در این رابطه $\psi(x)$ تابع موجک، N طول سری زمانی و $T_{m,n}$ ضریب موجک برای a و b منتخب می‌باشد؛ که با اعمال تبدیل موجک گسسته در هر مرحله، سیگنال به دو مؤلفه جزء و تقریب تجزیه می‌شود.

یکی از نکات حائز اهمیت در استفاده از این تبدیل، انتخاب موجک مادر می‌باشد. در این مطالعه از موجک مادر دابچر (db) برای تجزیه سیگنال‌ها کمک گرفته شده است؛ چرا که این نوع موجک مادر به طور گسترده در مطالعات هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه‌ی (۲) برای تعیین حداکثر تعداد سطح تجزیه می‌باشد (Nalley

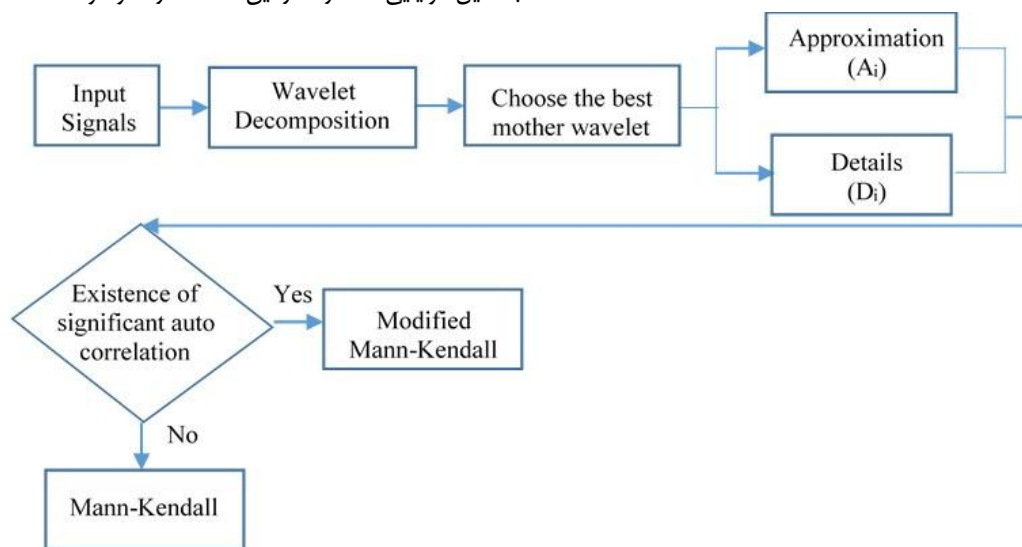


Fig. 1-Flowchart of study steps

شکل ۱- شمای کلی روند انجام کار

حالت‌هایی که واریانس اصلاح شده در روش فوق منفی به دست آمده، تنها با حذف اثر خودهمبستگی تا سه گام اول مقدار Z من کندال محاسبه شده است.

به منظور تعیین موجک مادر نرم، معیار خطای نسبی (e_r) توسط Nalley et al. (2012) پیشنهاد شده است:

$$e_r = \frac{|Z_a - Z_0|}{|Z_0|} \quad (7)$$

که در آن Z_0 معیار Z من-کندال برای داده‌های اصلی و Z_a معیار Z من-کندال آخرین تقریب در سطح تجزیه‌ی استفاده شده می‌باشد.

۳-۲- روش جدید شن

این روش نیازمند فرضیه‌های محدودکننده نبوده و برای نمونه‌هایی با اندازه‌های متفاوت، سری‌های زمانی با ساختار همبستگی متوالی و توابع با توزیع احتمال غیریکنواخت معتبر است. در این رویکرد به منظور شناسایی روند ابتدا سری‌های زمانی اصلی به دو زیرسری تقسیم می‌شوند و سپس نمودار نقطه‌ای این زیرسری‌ها به صورت صعودی یا نزولی مرتب شده در امتداد خط ۱:۱ در مقابل هم رسم می‌شوند. چنانچه این نقاط بالای خط ۱:۱ قرار بگیرند، روند صعودی (مثبت)، اگر پایین خط مذکور قرار بگیرند، روند نزولی (منفی) و چنانچه در امتداد آن قرار گیرند سری زمانی بدون روند در نظر گرفته خواهد شد (Sen, 2012; Nourani et al., 2015).

۴-۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی آذرشهر یکی از ۱۲ آبخوان مجاور دریاچه ارومیه و دارای مرز مشترک با آن است. دشت آذرشهر با ۴۱۶۰ کیلومتر مربع وسعت دارای آبخوان آزاد و آبرفتی است که در شرق دریاچه ارومیه و در حدفاصل طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع بلندترین و پست‌ترین نقاط محدوده برابر با ۳۷۰۰ و ۱۲۸۲ متر از سطح دریا است. میزان تغییرات تراز آب زیرزمینی این آبخوان در بلندمدت ۲/۷۷- متر بوده و این دشت دارای ۷۶۰ چاه با مجموع تخلیه سالانه حدود دو میلیون مترمکعب و ۱۷۹ قنات با مجموع تخلیه سالانه حدود ۱۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. براساس اطلاعات هواشناسی موجود متوسط سالانه بارندگی منطقه ۲۲۱/۳ میلی‌متر و متوسط سالانه تبخیر برابر ۱۵۷۹ میلی‌متر اعلام شده است. همچنین بر اساس مطالعات حداکثر هدایت هیدرولیکی ۰/۰۴-۰/۸ متر بر روز و ضریب ذخیره آبخوان در این محدوده ۰/۰۴-۰/۱۵ برآورد می‌گردد. جنس سنگ بستر در این آبخوان رس و مارن و تراورتن می‌باشد که ایستگاه‌های مورد مطالعه در قسمت رس و مارن

۱-۲-۲- آزمون من-کندال اصلی (MK1)

در این روش، ابتدا آماره‌ی S آزمون من-کندال به صورت زیر برای سری‌های زمانی n سال دوره آماری تمام ایستگاه‌ها تهیه می‌گردد (Adamowski et al., 2003):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(X_j - X_i) \quad \forall 1 \leq i < j \leq n \quad (3)$$

$$\text{sign}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1, & X_j < X_i \\ 0, & X_j = X_i \\ -1, & X_j \geq X_i \end{cases}$$

Mann (1945) و Kendall (1975) نشان دادند که وقتی تعداد داده‌ها بیشتر از ۱۰ باشد، آماره‌ی S تقریباً به صورت نرمال توزیع شده و دارای میانگین صفر و انحراف معیار زیر است:

$$V(S) = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum d(d-1)(2d+5)]}{18} \quad (4)$$

که در آن d تعداد دسته‌ها با داده‌های مساوی برای سری مشخصی از داده‌های موجود برای ماه معین (فصل معین) یک ایستگاه در سال‌های مختلف مورد مطالعه است. آن‌گاه آماره‌ی آزمون در رابطه‌ی (۳) به صورت زیر نرمال می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}}, & X_j < X_i \\ 0, & X_j = X_i \\ \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}}, & X_j \geq X_i \end{cases} \quad (5)$$

فرض صفر (عدم وجود روند در سطح معنی‌داری α) به شرطی که $Z_{1-\alpha/2} < Z < Z_{1+\alpha/2}$ پذیرفته می‌شود.

۲-۲-۲- آزمون من کندال اصلاح شده (MK2)

در این روش تأثیر همه‌ی ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از سری زمانی حذف می‌گردد؛ بدین منظور ابتدا واریانس اصلاح شده‌ی $V(S)^*$ به صورت زیر محاسبه می‌گردد (Hamed and Rao, 1998; Kumar et al., 2009):

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*}$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{f=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)\Gamma_i \quad (6)$$

که در آن Γ_i ضریب خودهمبستگی با تأخیر i می‌باشد. برای محاسبه‌ی Z من-کندال در رابطه‌ی (۵)، $V(S)$ با $V(S)^*$ جایگزین می‌گردد. Hamed and Rao (1998) این روش به اندازه‌ی آزمون MK1 دقیق است. همچنین می‌توان اثر خود همبستگی را تا ۳ گام اول را حذف کرد؛ چراکه اثر گام‌های دیگر چندان قابل توجه نیست (Hamed and Rao, 1998; 2003). در این پژوهش نیز در

مورد نیاز در بخش شرب، کشاورزی و صنعت این شهرستان را ایفا می‌کند. به منظور مطالعه‌ی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در این دشت داده‌های ماهانه سه ایستگاه آب زیرزمینی، یک ایستگاه بارش و یک ایستگاه رواناب با دوره مطالعه‌ی ۴۵ سال انتخاب شده است. ایستگاه هیدرومتری منتخب واقع بر روی رودخانه گمبرچای می‌باشد. این رودخانه تقریباً دائماً می‌باشد و تنها حدود دو ماه در سال کم‌آب یا خشک می‌شود. در محدوده‌ی مطالعاتی آذرشهر ۳۴ ایستگاه پیزومتری وجود دارد که ۳ ایستگاه با توجه به کیفیت و طول داده‌ها انتخاب شده است. موقعیت و مختصات ایستگاه‌ها در شکل ۲ و جدول ۲ نشان داده شده است.

قرار دارد. همچنین ضخامت سنگ کف از ۱۵ متر تا ۷۵ متر متغیر است که این مقدار در غرب آبخوان حدود ۳۰ متر و در شرق حدود ۱۵ متر می‌باشد.

بین آبخوان‌های موجود در اطراف دریاچه ارومیه در محدوده استان آذربایجان شرقی پهنه‌های رسوبی ریزدانه گسترده‌ای وجود دارد. تداخل آب شور و شیرین، با افزایش برداشت از آب شیرین، بالا آمدن آب شور و هم از طریق شکل‌گیری جریان معکوس از دریاچه به سمت آبخوان به دلیل پایین رفتن تراز آب زیرزمینی نسبت به تراز دریاچه اتفاق می‌افتد. منابع آب زیرزمینی این دشت نقش اساسی در تأمین آب

Table 2- The stations' position

جدول ۲- موقعیت ایستگاه‌ها

No. station	Station's name	Longitude (Degree)	Latitude (Degree)
S1	Gombar chay	46.10	37.73
P1	Gombar chay	46.10	37.73
G1	Mamaqan	45.94	37.86
G2	Teymourlou	45.90	37.80
G3	Qishlaq	45.88	37.76

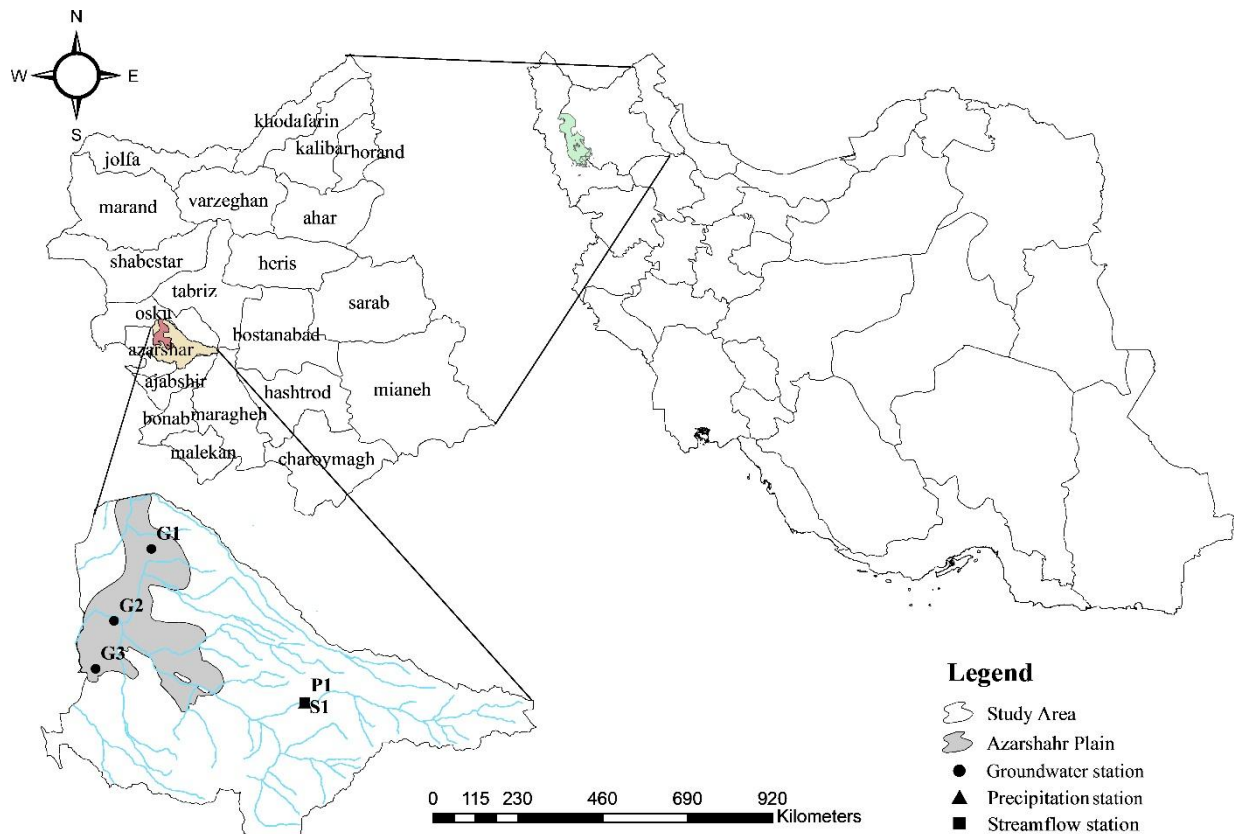


Fig. 2- The stations' position

شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌ها

۳- نتایج و بحث

شکل مشاهده می‌شود که اجزای بالاتر دارای فرکانس پایین (دوره تناوب بلند) هستند که نشان‌دهنده تغییرات آرام و اجزای پایین‌تر دارای فرکانس بالا (دوره تناوب کوتاه) هستند که نشان‌دهنده تغییرات سریع می‌باشند. پس از تجزیه سری‌های زمانی و به دست آوردن اجزای جزء و تقریب و ترکیب‌های مختلف، مقادیر خود همبستگی مرتبه‌ی اول برای سری‌های زمانی و زیر سری‌های حاصل، با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه می‌شود. جدول ۳ مقادیر خودهمبستگی برای سری‌های زمانی رواناب، بارش و سطح آب زیرزمینی را در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه نشان می‌دهد. مقادیر معنی‌دار در سطح اطمینان ۵٪ با علامت ستاره مشخص شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود در اکثر موارد این مقدار معنی‌دار می‌باشد. در صورت معنی‌داری ضریب خودهمبستگی آزمون من-کندال اصلاح شده و در غیر این صورت آزمون من-کندال معمولی بر روی داده‌ها اعمال می‌شود.

در گام اول از مطالعه، سری‌های زمانی در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه، توسط تبدیل موجک گسسته در نرم‌افزار متلب به زیرسری‌هایی تجزیه شدند. از تجزیه‌ی یک سیگنال توسط تبدیل موجک گسسته ضرایب جزئی و تقریب حاصل می‌شوند. ضرایب تقریب (A) نشانگر ضرایب تبدیل موجک با وضوح درشت می‌باشند که روندهای صاف و هموار را در سری نشان می‌دهند و D_1 ضرایب جزء می‌باشند که اطلاعات جزئی از روندها و تناوب‌های خاصی از سری زمانی را ارائه می‌کنند. به عنوان مثال مؤلفه D_3 در داده‌های ماهانه بیانگر پریودهای هشت ماهه، در مقیاس فصلی، بیانگر پریودهای ۲۴ ماهه و به همین طریق، در مقیاس سالانه بیانگر پریودهای هشت ساله است. به عنوان نمونه شکل ۳ تجزیه سری زمانی نوسانات سطح آب زیرزمینی مربوط به ایستگاه شماره ۱ را در مقیاس ماهانه نشان می‌دهند. با توجه به

Table 3- Lag-1 autocorrelation functions of original time series

جدول ۳- مقادیر خودهمبستگی با تأخیر یک گام زمانی برای سری‌های زمانی

Station No.	Monthly	Seasonal	Annual
S	0.58*	-0.20*	0.34*
P	0.24*	-0.296*	0.18
G1	0.99*	0.97*	0.93*
G2	0.95*	0.80*	0.89*
G3	0.97*	0.91*	0.91*

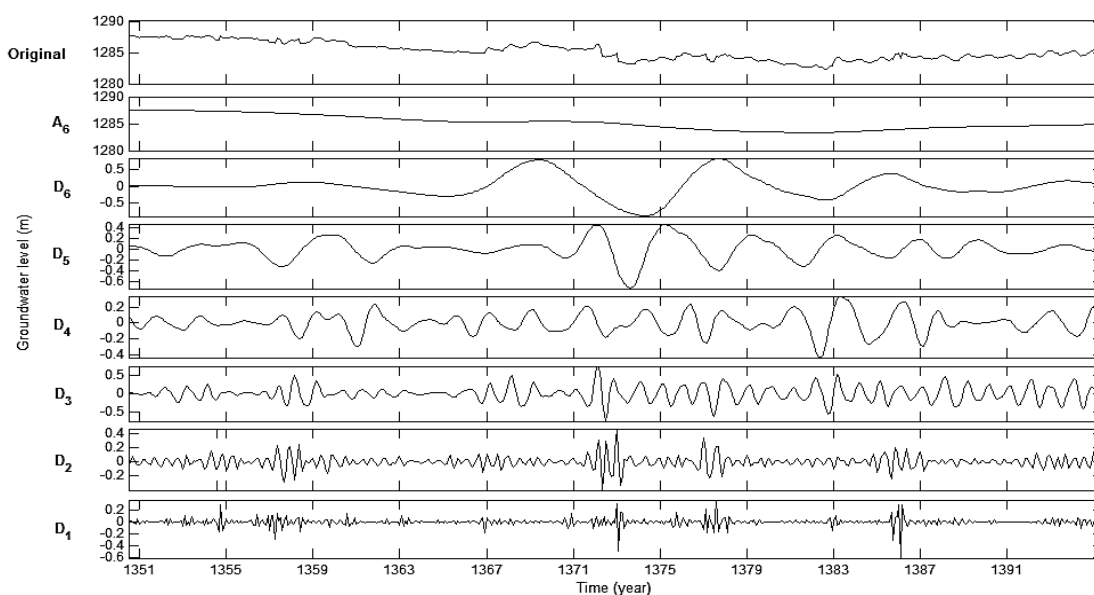


Fig. 3- Decomposed components of monthly groundwater timeseries for G1 using DWT

شکل ۳- مؤلفه‌های سری زمانی سطح آب زیرزمینی ایستگاه ۱ با تبدیل موجک گسسته

همانطور که مشاهده می‌شود به جز زیرسری جزء D5 مربوط به ایستگاه بارش با Z من کندال ۲/۴۲-، هیچکدام از زیرسری‌های جزء دارای روند معنی دار نمی‌باشند. ولی بعد از اضافه شدن زیرسری تقریب، حتی در ایستگاه‌هایی که سری زمانی اصلی دارای روند معنی دار نمی‌باشد، بیشتر ترکیب‌ها دارای روند معنی دار شده است. از بین ترکیبات A+D موجود ترکیب A+D1 در سری‌های زمانی بارش و رواناب و ترکیب A+D4 در سری‌های زمانی سطح آب زیرزمینی (به جز ایستگاه ۳) دارای نزدیک‌ترین آماره‌ی Z من-کندال به سری‌های زمانی اصلی مربوطه هستند.

با توجه به شکل b-۴ و مقدار همبستگی بین ترکیب A+D4 و سری زمانی اصلی، مشاهده می‌شود که این ترکیب دارای همبستگی بالایی با سری زمانی اصلی دارا می‌باشد. همچنین در شکل f-۴ دو نمودار فاصله کمتری دارند.

به نظر می‌رسد که ممکن است پدیده هیدروکلیماتولوژیکی با دوره تناوب حدود ۵ تا ۶ سال در تولید روند تأثیر می‌گذارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود علیرغم اینکه مقدار Z من-کندال زیرسری D5 در سری زمانی بارش معنی دار بود، ترکیبات موجود آن نقش عمده‌ای در تولید روند مربوط به سری زمانی بارش ایفا نمی‌کند.

نتایج تحلیل سری‌های زمانی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه به ترتیب در جداول ۴، ۵ و ۶ نمایش داده شده‌اند. در این جداول از بین ترکیبات مختلف، ترکیباتی که مقادیر آماره Z من-کندال آن‌ها به سری زمانی اصلی نزدیک‌تر است، به صورت پررنگ نمایش داده شده و مقادیری که در سطح معنی‌داری ۵٪ نشان‌دهنده‌ی روند معنی‌دار هستند با علامت * مشخص شده‌اند. همچنین مقادیر ضریب همبستگی بین نمودارهای من-کندال دنباله‌ای ترکیبات مختلف زیرسری‌های جزء و تقریب و سری زمانی اصلی نیز در این جداول نوشته شده است.

با بررسی نتایج جدول ۴ مشاهده می‌شود که تمامی ایستگاه‌ها دارای یک روند کاهشی بوده است که در این میان تنها سری زمانی بارش دارای روند معنی‌دار نمی‌باشد. از نتایج مربوط به سری زمانی داده‌ها می‌توان دریافت که زیرسری‌های جزء به دست آمده از تبدیل موجک گسسته دارای روند معنی‌دار نیستند، بلکه بعد از اضافه شدن زیرسری تقریب معنی‌دار شده و در تمام موارد، روندها هم جهت با روند سری زمانی اصلی می‌شود. شکل ۴ نمونه‌ای از نمودارهای من-کندال دنباله‌ای برای ایستگاه آب زیرزمینی شماره ۱ در مقیاس ماهانه را نشان می‌دهد. واضح است که هرچه زیرسری‌های جزء اضافه شده به ترکیب بیشتر باشد، مقدار همبستگی نیز بیشتر خواهد شد.

Table 4- Mann-Kendall test values of monthly time series
جدول ۴- مقادیر آزمون من-کندال سری‌های زمانی ماهانه

	Stream flow		Precipitation		Groundwater					
	S1		P1		G1		G2		G3	
	MK-Z	Co	MK-Z	Co	MK-Z	Co	MK-Z	Co	MK-Z	Co
Original	-2.51*	-	-1.08	-	-3.10*		-3.43*		-6.01*	
A	-2.39*	0.56	-2.35*	0.79	-3.07*	0.98	-3.49*	0.91	-5.20*	0.96
D1	-0.80	0.52	0.26	-0.16	1.46	-0.61	0.25	-0.06	0.34	0.10
D2	-1.52	0.04	-1.06	-0.28	-0.30	0.70	0.31	-0.13	-1.34	0.66
D3	0.26	0.55	-0.18	0.49	0.08	-0.47	-0.08	-0.10	-0.31	0.68
D4	-0.90	0.25	-0.18	0.14	-0.30	0.27	0.57	0.61	-1.60	-0.19
D5	-0.32	0.28	-2.42	0.08	0.00	0.39	0.76	-0.04	-0.12	0.49
D6	-1.80	0.53	-	-	-0.07	0.40	0.49	-0.29	-0.45	-0.36
A+D1	-2.48*	0.69	-1.22	0.95	-3.07*	0.98	-3.39*	0.96	-5.24*	0.97
A+D2	-2.84*	0.60	-2.60*	0.95	-3.04*	0.99	-3.38*	0.97	-5.36*	0.97
A+D3	-1.87	0.82	-1.74	0.87	-3.07*	0.99	-3.55*	0.99	-5.75*	0.98
A+D4	-2.32*	0.69	-2.01*	0.84	-3.09*	0.98	-3.44*	0.96	-5.46*	0.97
A+D5	-2.75*	0.39	-2.12*	0.86	-3.01*	0.99	-3.63*	0.95	-5.43*	0.96
A+D6	-3.25*	0.89	-	-	-2.97*	0.97	-3.08*	0.91	-4.92*	0.93

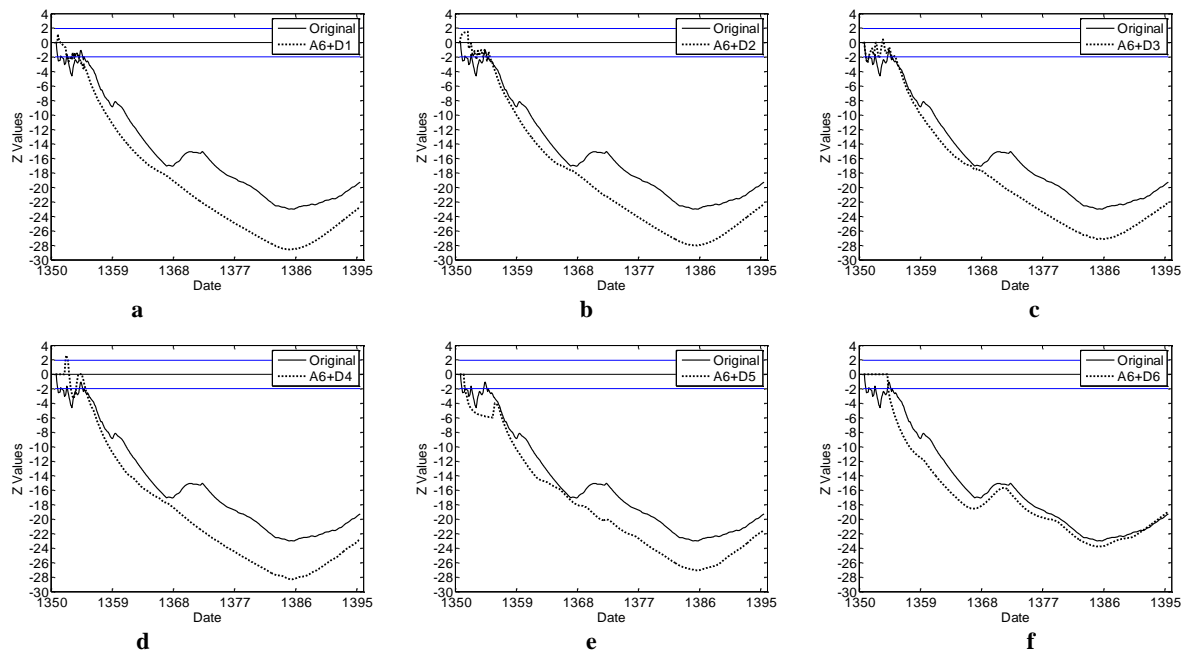


Fig. 4- Sequential MK graphs of monthly time series for G1
 شکل ۴- نمودارهای من-کندال دنباله‌ای سری‌های زمانی ماهانه ایستگاه ۱

Table 5- Mann-Kendall test values of seasonal time series
 جدول ۵- مقادیر آزمون من-کندال سری‌های زمانی فصلی

	Stream flow		Precipitation		Groundwater					
	S1		P1		G1		G2		G3	
	MK-Z	Co	MK-Z	Co	MK-Z	Co	MK-Z	Co	MK-Z	Co
Original	-0.93		-0.56		-3.12*		-3.33*		-5.67*	
A	-2.38*	0.58	-2.18*	0.72	-3.04*	0.98	-3.12*	0.99	-5.44*	0.96
D1	-0.02	-0.12	0.67	-0.05	-0.05	-0.29	-0.08	0.21	0.55	-0.40
D2	0.10	0.21	-0.29	0.10	-0.13	-0.49	-1.13	-0.58	0.31	-0.04
D3	0.03	0.95	-0.69	0.20	2.06	-0.09	-1.62	-0.15	0.49	0.22
D4	-0.73	0.38	-	-	-0.72	-0.09	-	-	-0.23	0.22
A+D1	-1.90	0.53	-0.22	0.92	-3.00*	0.99	-3.07*	0.99	-5.45*	0.98
A+D2	-4.00*	0.58	-1.68	0.75	-3.15*	0.99	-3.24*	0.99	-5.70*	0.99
A+D3	-2.92*	0.66	-1.50	0.80	-2.98*	0.99	-3.10*	0.99	-5.49*	0.98
A+D4	-2.72*	0.81	-	-	-3.05*	0.99	-	-	-4.98*	0.94

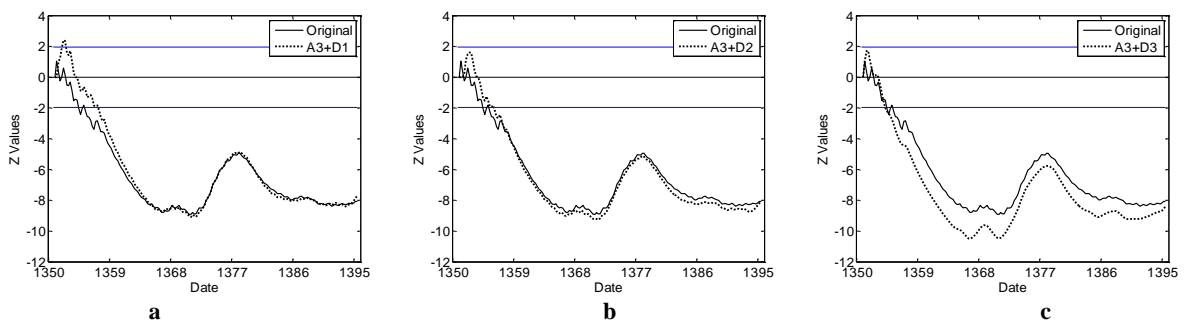


Fig. 5- Sequential MK graphs of seasonal time series for G2
 شکل ۵- نمودارهای من-کندال دنباله‌ای سری‌های زمانی فصلی ایستگاه ۲

Table 6- Mann-Kendall test values of annual time series
جدول ۶- مقادیر آزمون من-کندال سری‌های زمانی سالانه

	Stream flow		Precipitation		Groundwater					
	S1		P1		G1		G2		G3	
	MK-Z	Co	MK-Z	Co	MK-Z	Co	MK-Z	Co	MK-Z	Co
Original	-2.34*		-1.14		-2.62*		-3.61*		-4.54*	
A	-2.19*	0.69	-1.20	0.54	-2.65*	0.97	-3.14*	0.90	-4.11*	0.68
D1	0.85	0.05	-1.39	0.47	-1.73	-0.31	-1.14	0.17	0.21	-0.01
D2	0.05	-0.11	0.70	0.33	-0.03	-0.20	-0.62	-0.32	-0.21	0.10
D3	0.49	0.01	-0.37	0.11	-1.12	0.62	-2.37*	0.76	0.53	0.40
D4	-	-	-0.72	0.26	-	-	-	-	0.24	0.05
A+D1	-2.57*	0.83	-2.02*	0.63	-2.53*	0.97	-3.32*	0.89	-4.44*	0.71
A+D2	-2.17*	0.83	-1.42	0.57	-2.43*	0.98	-2.85*	0.96	-5.45*	0.75
A+D3	-2.93*	0.82	-3.14*	0.50	-2.54*	0.98	-3.53*	0.90	-4.46*	0.81
A+D4	-	-	-1.59	0.56	-	-	-	-	-4.87*	0.97

کرد که ترکیب A+D3 (هشت سال) در تمام ایستگاه‌های آب زیرزمینی از مقدار همبستگی بالایی برخوردار می‌باشد.

در این تحقیق از آزمون من-کندال دنباله‌ای برای بررسی نقاط عطف تحلیل‌های من-کندال سری‌های زمانی در مقیاس ماهانه استفاده شده است. کاربرد مهم آزمون من-کندال، یافتن زمان تقریبی شروع رخداد یک روند می‌باشد. این زمان رخداد، نقطه‌ی تقاطع منحنی‌های پیش‌رو $U(t)$ و پس‌رو $U'(t)$ آماره‌ی آزمون در نظر گرفته می‌شود. مقادیر مثبت و منفی $U(t)$ به ترتیب بیانگر یک روند افزایشی و کاهش می‌باشند ($U'(t)$ مشابه $U(t)$ می‌باشد) (Jahandideh and Shirvani, 2012).

شکل‌های $\gamma(a-e)$ به ترتیب نشانگر نمودارهای پس‌رو و پیش‌رو سری‌های زمانی بارش، رواناب و سطح آب زیرزمینی ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳، برای منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشند. با توجه به نمودار مربوط به منحنی من-کندال دنباله‌ای سری زمانی بارش (شکل $\gamma-a$) مشاهده می‌شود که منحنی‌های پیش‌رو و پس‌رو در تمام دوره مطالعاتی داخل محدوده‌ی اطمینان بوده و در نقاط زیادی باهم تلاقی داشته‌اند. بنابراین نقطه عطف معنی‌داری را برای سری زمانی بارش نمی‌توان در نظر گرفت. منحنی پیش‌رو مربوط به ایستگاه رواناب (شکل $\gamma-b$) نیز نشان دهنده‌ی یک روند منفی پیوسته بعد از سال ۱۳۷۸ است.

این منحنی‌های پیش‌رو و پس‌رو در سال ۱۳۹۳ با هم تلاقی کرده و سپس از هم فاصله گرفته‌اند و پس از آن منحنی پیش‌رو از حدود اطمینان خارج شده‌است.

با بررسی سری زمانی داده‌های فصلی (جدول ۵) می‌توان مشاهده کرد که همانند نتایج داده‌های ماهانه تمام ایستگاه‌ها دارای روند منفی می‌باشند که به جز سری زمانی بارش و رواناب، دیگر سری‌های زمانی دارای روند معنی‌دار هستند. همان‌طور که از نتایج موجود در جدول ۵ می‌توان دریافت، تناوب‌های شش ماهه در سری‌های زمانی بارش و رواناب و تناوب‌های ۱۲ ماهه در سری‌های زمانی مربوط به سطح آب‌زیرزمینی در مقیاس فصلی مؤثر در تولید روند می‌باشد. نتایج مربوط به ترکیبات مؤلفه تقریب و دو مؤلفه جزء سری‌های زمانی آب‌زیرزمینی بیانگر تأثیر توأم عوامل فرکانسی مختلف بر تغییرات سطح آب‌زیرزمینی می‌باشد. فرکانس‌های بالا مربوط به تأثیر پدیده‌های کوتاه مدت و فرکانس‌های پایین مربوط به پدیده‌های بلندمدت می‌باشد. در این میان فرکانس‌های شش ماهه و ۱۲ ماهه به عنوان الگوهای نوسانی غالب مطرح می‌باشند. با توجه به این که فرکانس شش ماهه مؤثر در تولید روند سری‌های زمانی بارش نیز می‌باشد، به نظر می‌رسد که فرکانس‌های بالای مؤثر در تولید روند داده‌های فصلی ناشی از بارش و جریان آب سطحی می‌باشد.

با توجه به مقادیر Z من کندال داده‌های سالانه‌ی موجود در جدول ۶ می‌توان نتیجه گرفت که همانند سری‌های زمانی ماهانه و فصلی، در مقیاس سالانه نیز تمام ایستگاه‌ها دارای روند منفی می‌باشند که این مقادیر تنها در سری زمانی مربوط به ایستگاه بارش معنی‌دار نیست. همان‌طور که مشاهده می‌شود جزء D2 (در ترکیب با زیرسری تقریب حاصل از آخرین سطح تجزیه) بیشترین اثر را در تولید روند سری‌های زمانی بارش و دنباله‌ای برای ایستگاه آب زیرزمینی شماره ۳ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۶ و مقادیر همبستگی نیز می‌توان مشاهده

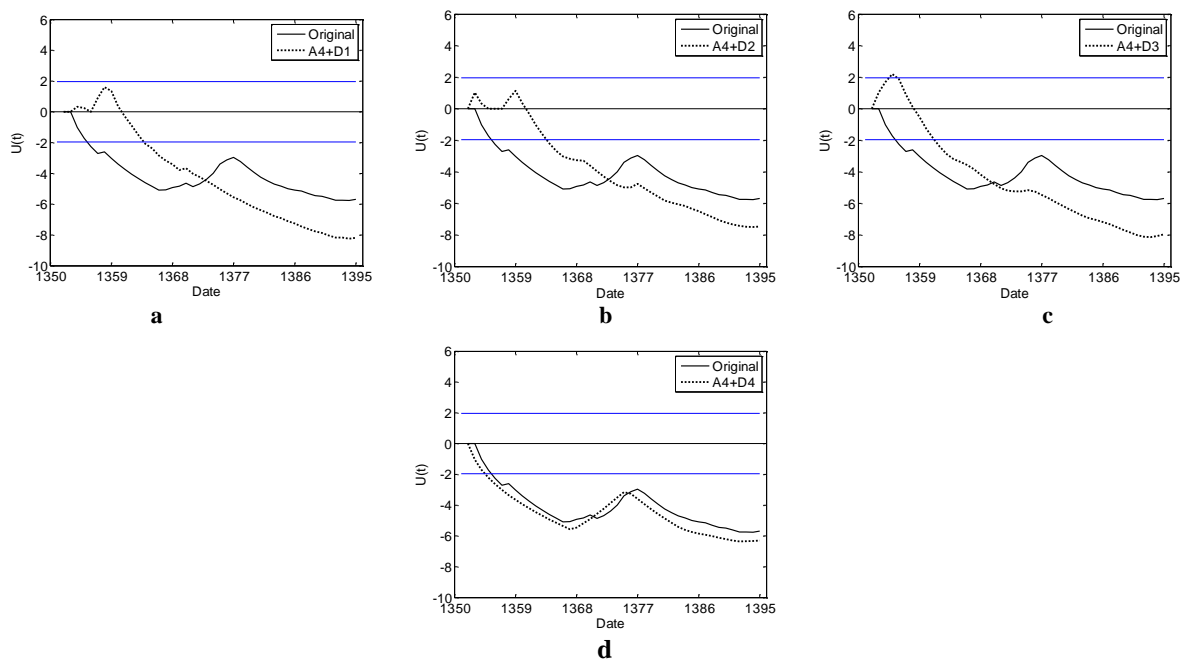


Fig. 6- Sequential MK graphs of annual time series for G1
 شکل ۶- نمودارهای من-کندال دنباله‌ای سری‌های زمانی سالانه ایستگاه ۱

شدت این روند کاسته شده، ولی دوباره شدت روند کاهشی افزایش یافته است. در هر سه ایستگاه نمودارهای پیش‌رو و پس‌رو از سال ۱۳۷۸ به بعد از هم فاصله گرفته‌اند.

نمودارهای من کندال دنباله‌ای مربوط به سری‌های زمانی آب‌بازرسی (e- γ , d- γ , c- γ) تقریباً رفتار مشابهی داشته‌اند و حدوداً از سال ۱۳۵۴ به بعد روند منفی معنی‌داری را تجربه کرده‌اند. در ایستگاه‌های ۲ و ۳ (شکل d- γ و e- γ) بین سال‌های ۱۳۷۲-۱۳۷۸ از

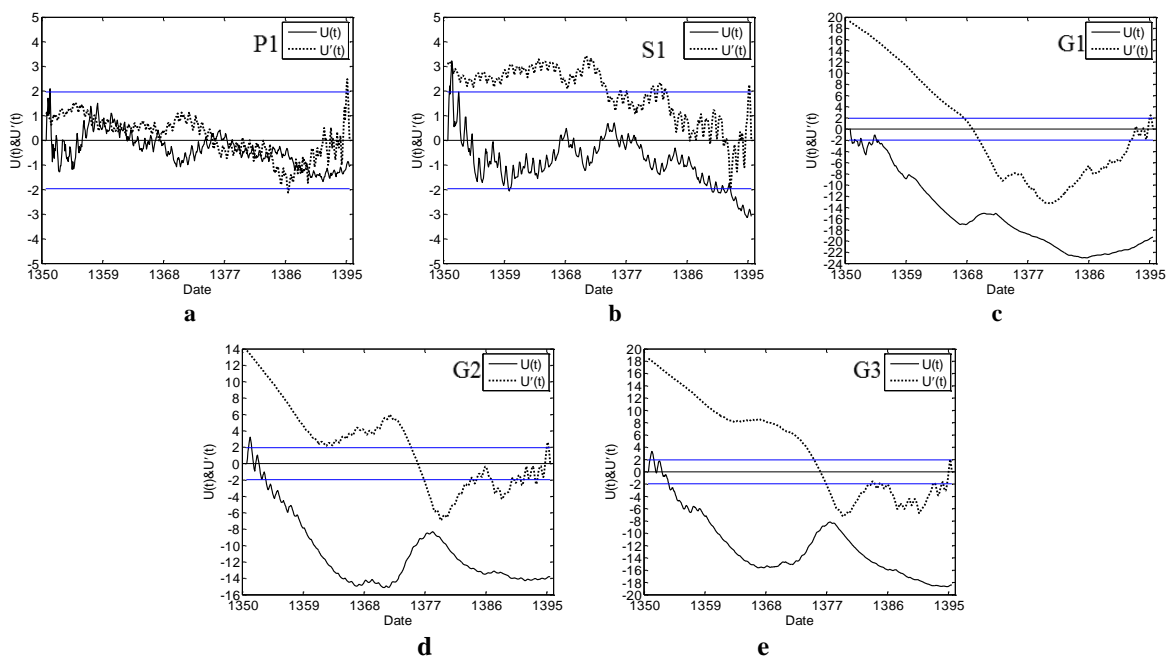


Fig. 7- Progressive and Retrograde Sequential MK graphs of monthly time series
 شکل ۷- نمودارهای من-کندال دنباله‌ای پیش‌رو و پس‌رو سری‌های زمانی ماهانه

۲/۳۴، ۲/۶۲، ۳/۶۱- و ۴/۵۴- می‌باشد. همان طور که انتظار می‌رفت در شکل ۸-۵ تمام نقاط زیر خط ۱:۱ می‌باشند و روند منفی برای سری زمانی سطح آب زیرزمینی ایستگاه ۳ بیشتر مشهود می‌باشد.

(Mirabbasi Najafabadi and Dinpashoh (2010) نشان دادند که جریان رودخانه‌های شمال غرب ایران در مقیاس سالانه در همه ایستگاه‌ها روند نزولی دارند. (Nourani et al. (2015 یک روند کاهشی قابل ملاحظه از سال ۱۳۷۷ به بعد برای سری‌های زمانی سطح آب دریاچه ارومیه و رواناب را گزارش کردند و همچنین نشان دادند که در سال‌های اخیر کاهش روند در سری زمانی رواناب نقش اساسی را در خشکی دریاچه ارومیه ایفا می‌کند.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

در این مطالعه تأثیر پارامترهای بارش و رواناب بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت آذرشهر و همچنین روند سری‌های زمانی سطح آب زیرزمینی، بارش و رواناب سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از روش ترکیبی موجک گسسته و آزمون من-کندال مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج شبیه‌سازی توسط Yue and Wang (2002) نشان داد که توانایی آزمون‌های رتبه‌بندی شده به سطح معنی‌داری در نظر گرفته شده، بزرگی روند، اندازه‌ی نمونه و تعداد متغیرها در سری زمانی بستگی دارد. برای غلبه بر این مشکلات در این مطالعه از روش جدید شن کمک گرفته شده‌است.

نتایج مربوط به تحلیل سری زمانی سالانه ایستگاه‌های آب زیرزمینی، بارش و رواناب در شکل ۸ نشان داده شده است. به منظور مقارن بودن، نمودار شن در دو بازه‌ی ۱۳۷۳-۱۳۹۵ و ۱۳۵۱-۱۳۷۳ رسم شده است. با توجه به نمودار شن مربوط به بارش و رواناب (شکل ۸-۵ و ۸-۶)، مشاهده می‌شود که بیشتر نقاط در نزدیکی و زیر خط ۱:۱ می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی وجود روند منفی در این ایستگاه می‌باشد. لازم به ذکر است، این مقدار در سری زمانی بارش چندان قابل توجه نمی‌باشد (شکل ۸-۵). با توجه به شکل‌های ۸-۵ تا ۸-۶ و اینکه نقاط از خط ۱:۱ فاصله گرفته‌اند، روند منفی قابل توجهی در نمودارهای شن مربوط به ایستگاه‌های آب زیرزمینی مشاهده می‌شود. همچنین با توجه به آرایش عمودی نقاط در ایستگاه ۳ (شکل ۸-۵) می‌توان بیان داشت که تغییرات در نیمه دوم دوره‌ی مطالعاتی بیشتر است. با توجه به جدول ۶ مقدار آماره Z من-کندال برای سری‌های زمانی بارش، رواناب و سطح آب زیرزمینی ایستگاه‌های شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برابر ۱/۱۴،

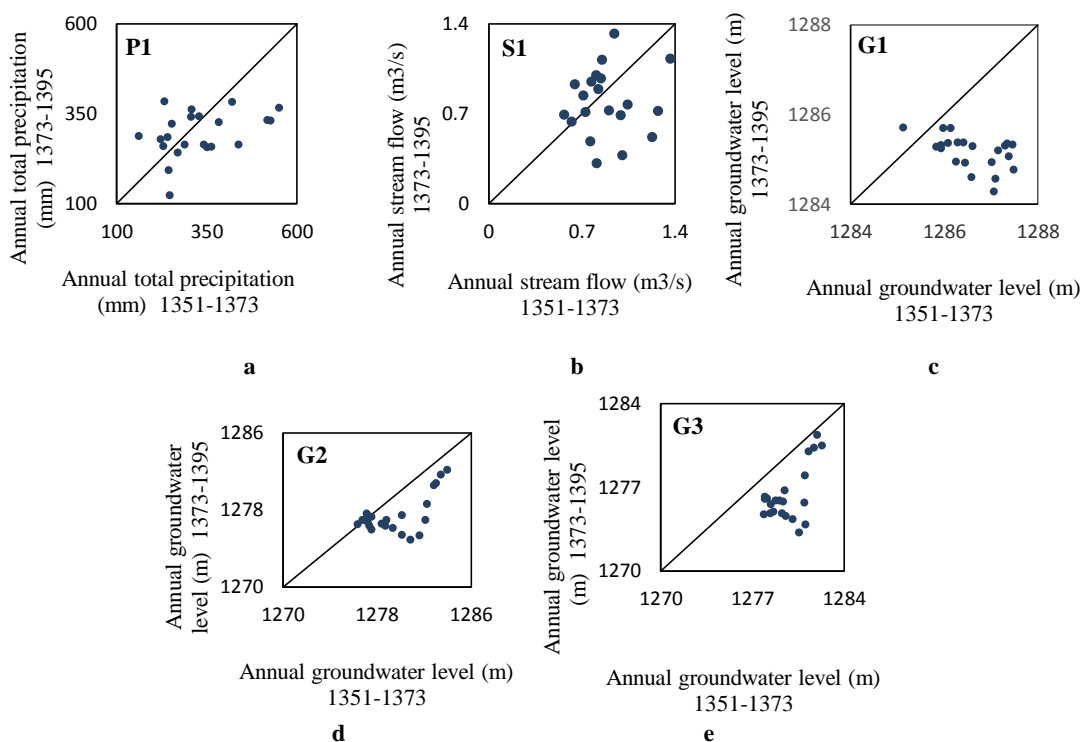


Fig. 8- Results of Sen's method

شکل ۸- نتایج روش شن

چراکه بیشتر نقاط در زیر خط ۱:۱ قرار گرفته بودند. باتوجه به فاصله بیشتر نقاط از خط ۱:۱ در داده‌های مربوط به ایستگاه‌های آب زیرزمینی نیز نتیجه گرفته شد که مقدار روند منفی در این ایستگاه‌ها بیشتر می‌باشد. در نهایت با مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از روش شن و من-کندال می‌توان دریافت که در بیشتر موارد نتایج آزمون روندیابی جدید شن با نتایج حاصل از آزمون من-کندال مطابقت دارد.

۵- مراجع

- Adamowski K, Prokoph A, and Adamowski J (2009) Development of a new method of wavelet aided trend detection and estimation. *Hydrological Processes* 23(18):2686-2696
- Addison PS, Murray KB, and Watson JN (2001) Wavelet transform analysis of open channel wake flows. *Journal of Engineering Mechanics* 127:58-70
- Araghi A, Mousavi Baygi M, Adamowski J, Malard J, Nalley D, and Hashemina SM (2014) Using wavelet transforms to estimate surface temperature trends and dominant periodicities in Iran based on gridded reanalysis data. *Atmospheric Research* 155:52-72
- Daneshvar Vousoughi F, Dinpashoh Y, Aalami M (2011) Effect of drought on groundwater level in the past two decades (Case study: Ardebil Plain). *Water and Soil Science* 21(4):165-179 (In Persian)
- Hamed KH and Roa AR (1998) A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology* 204:182-196
- Jahandideh M and Shirvani A (2012) Trend analysis for the precipitation time sub-series in Fars province. *Water Engineering* 5:73-84
- Kendall MG (1975) Rank correlation measures. Charles Griffin, London
- Khalaj M, Kholghi M, Saghafian B, and Bazrafshan J (2019) Investigating effect of climate change and human activities on groundwater level and quality in semiarid regions. *Iran-Water Resources Research* 15(2) 278-290 (In Persian)
- Khorani A, Khajeh M (2014) An Investigation on the coincidence between trend of drought and groundwater levels decline (A Case Study: Plain of Darab). *The Scientific Research Journals Spatial Planning* 18(2):57-80 (In Persian)
- Kumar S, Merwade V, Kam J, and Thurner K (2009) Stream flow trends in Indiana: Effect of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology* 374:171-183

بعد از تجزیه سری‌های زمانی اصلی با استفاده از تبدیل موجک گسسته و تولید اجزا جزء و تقریب، مدل‌های مختلفی از ترکیب این اجزا به دست آمد. با توجه به این که استفاده از آزمون من-کندال مشروط بر عدم وجود خود همبستگی معنی‌دار می‌باشد، بنابراین قبل از اعمال آزمون من-کندال ضرایب خود همبستگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید. در صورت معنی‌دار بودن ضرایب خود همبستگی، آزمون من-کندال اصلاح شده و در غیر این صورت آزمون من-کندال اصلی مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله‌ی بعد نمودارهای من-کندال دنباله‌ای برای هر یک از سری‌های زمانی اصلی در مقابل سری‌های جزئی (به همراه تقریب) رسم گردید. سپس ترکیبی که مقدار آماره‌ی Z من-کندال آن به سری زمانی اصلی نزدیک‌تر بود و نمودار من-کندال دنباله‌ای آن دارای همبستگی نسبتاً بالایی با سری زمانی اصلی داشت، به عنوان دوره‌ی تناوب موثر در تولید روند شناخته شد. در نهایت با بررسی نمودارهای من-کندال دنباله‌ای سری‌های زمانی اصلی در مقیاس ماهانه، زمان تقریبی شروع روندها مشخص شد.

نتایج نشان داد که به طور کلی برای سری‌های زمانی آب زیرزمینی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه به ترتیب تناوب‌های بلند مدت ۱۶ ماه، ۱۲ ماه و ۸ سال نقش عمده‌ای در تولید روند دارند. اما در مورد سری‌های زمانی بارش و رواناب می‌توان گفت که تناوب‌های کوتاه مدت دو ماه، شش ماه و چهار سال مؤثر در تولید روند می‌باشد. بر طبق نتایج آزمون من-کندال دنباله‌ای مشاهده شد که در تمام سری‌های زمانی یک روند کاهشی از سال ۱۳۷۸ شروع شده و ادامه می‌یابد. در سری زمانی بارش نیز از همین سال یک روند کاهش مشاهده می‌شود ولی در مقایسه با روند کاهشی تراز سطح آب زیرزمینی و رواناب چشمگیر نیست. جهت جریان آب‌های زیرزمینی این منطقه از جنوب شرق به سمت شمال غرب است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که شدت افت سطح آب زیرزمینی در ایستگاه‌های مطالعاتی از جنوب به شمال کمتر می‌شود. بنابراین باید میزان برداشت از قسمت‌های شمالی آبخوان بیشتر کنترل شود. آنچه حائز اهمیت می‌باشد، اینکه تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در هر سال برای چاه‌های پیژومتری مختلف متفاوت می‌باشد و این امر تأثیر گرفته از اختلاف در نوع سازند، ضریب آبگذری، شیب هیدرولیکی و میزان برداشت متفاوت از سفره آب زیرزمینی در مناطق مختلف می‌باشد. با توجه به این که جریان آب سطحی بیشتر تحت تأثیر عوامل انسانی قرار می‌گیرد بنابراین به نظر می‌رسد شروع کاهش روند رواناب و عوامل انسانی تأثیر بیشتری در کاهش سطح آب زیرزمینی داشته است. نتایج مربوط به تحلیل روند شن بر روی داده‌های سالانه نیز نشان‌دهنده‌ی روند منفی برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بود.

- measurements in Marmara region (Turkey). *Physics and Chemistry of the Earth* 31(18):1189-1200
- Sen Z (2012) Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering* 17(9):1042-1046
- Rajaei T, Zeynivand A, Jafari H (2016) Prediction of groundwater level Sharif Abad catchment of Qom using WANN and GP models. *Researches in Geographical Sciences* 16(42):7-26 (In Persian)
- Tabari H, Nikbakht J, Shifteh Some'e B (2012) Investigation of groundwater level fluctuations in the north of Iran. *Environment Earth Science* 66:231-243
- Taghavi F, Neyestani A, Mohammadi H, and Rostami Jalilian S (2012) Application of wavelet analysis to investigate precipitation variability at western regions of Iran. *Iranian Journal of Geophysics* 5(4):13-30 (In Persian)
- Tirogo J, Jost A, Biaou A, Valdes-Lao D, Koussoubé Y, Ribstein P (2016) Climate Variability and Groundwater Response: A Case Study in Burkina Faso (West Africa). *Water* 8(5)
- Yue S and Wang CY (2002) Assessment of the significance of sample serial correlation by the bootstrap test. *Water Resources Management* 16(1): 23-35
- Xu ZX, Takeuchi K, and Ishidaira H (2003) Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation. *Journal of Hydrology* 279(1-4):144-150
- Zare Abianeh H, Bayat Varkeshi M, and Marofi S (2012) Investigating water table depth fluctuations in the Malayer Plain. *Water and Soil Science* 22(2):173-190 (In Persian)
- Mann HB (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13:245-259
- McBeen E and Motiee H (2008) Assessment of impacts of climate change on water resources: a case study of the Great Lake of North America. *Hydrology and Earth System Sciences* 12:239-255
- Mirabbasi Najafabadi R and Dinpashoh Y (2010) Trend analysis of streamflow across the north west of Iran in recent three decades. *Journal of Water and Soil* 24(4):757-768
- Nalley D, Adamowski J, and Khalil B (2012) Using discrete wavelet transforms to analyze trends in stream flow and precipitation in Quebec and Ontario (1954-2008). *Journal of Hydrology* 475:204-228
- Nikbakht J (2016) Groundwater level forecasting using wavelet-artificial neural networks (Case study: Maragheh Plain-East Azarbaijan). *Hydrogeology* 1(1):29-43 (In Persian)
- Nourani V, Hosseini Baghanam A, Adamowski J, and Kisi O (2014) Applications of hybrid wavelet-artificial intelligence models in hydrology: A review. *Journal of Hydrology* 514:358-377
- Nourani V, Ranjbar S, and Tootoonchi F (2015) Change detection of hydrological processes using wavelet-entropy complexity measure, Case study: Urmia Lake. *Journal of Civil and Environmental Engineering* 45.3(80):75-86 (In Persian)
- Panda K, Mishra A, Jena SK, James BK, and Kumar A (2007) The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. *Journal of Hydrology* 343:140-153
- Partal T and Kucuk M (2006) Long-term trend analysis using wavelet components of annual precipitations