

بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی با روش ترکیبی من کندال-تبدیل موجک (مطالعه موردی:
دشت اردبیل)

فرناز دانشور وثوقی و رضا شاکر

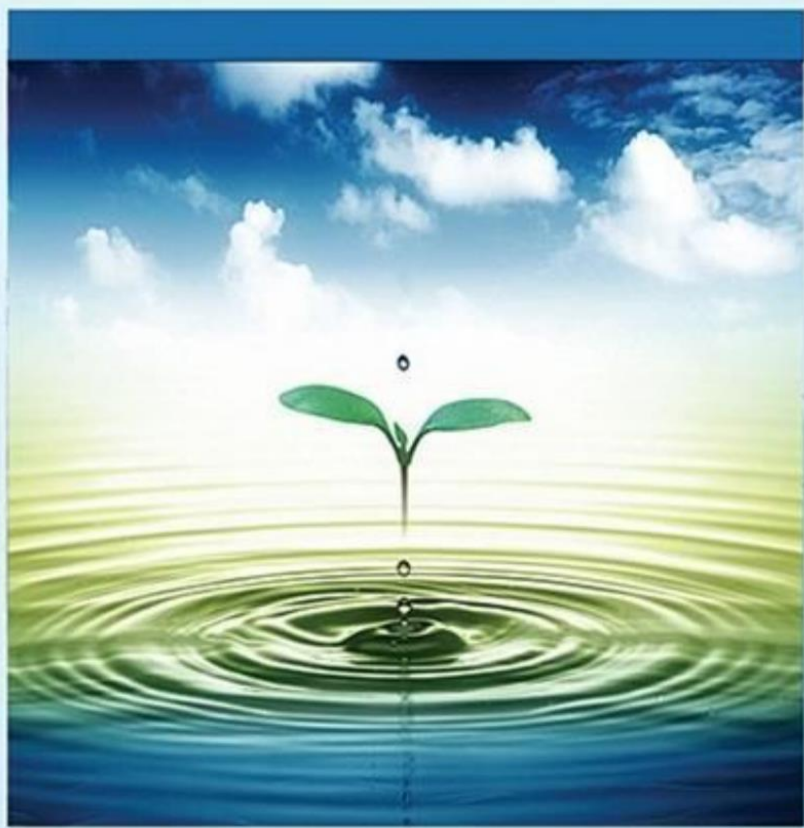
دوره ۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۲۴۳ - ۲۵۳

Vol. 4(3), Autumn 2018, 243 - 253

DOI: 10.22034/jewe.2018.112575.1221

**Assessment of Trend in Groundwater Level
using Hybrid Mann-Kendall and Wavelet
Transform Method (Case Study: Ardabil Plain)**

Daneshvar Vousoughi F. and Shaker R.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: دانشور وثوقی ف. و شاکر ر. (۱۳۹۷). بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی با روش ترکیبی من کندال-تبدیل موجک (مطالعه موردی: دشت اردبیل). مجله محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۴، شماره ۳، صفحات: ۲۴۳ - ۲۵۳.

Citing this paper: Daneshvar Vousoughi F. and Shaker R. (2018). Assessment of trend in groundwater level using hybrid Mann-Kendall and wavelet transform method (Case study: Ardabil Plain). J. Environ. Water Eng., 4(3), 243 - 253. DOI: 10.22034/jewe.2018.112575.1221

بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی با روش ترکیبی من کندال-تبدیل موجک (مطالعه موردی: دشت اردبیل)

فرناز دانشور وثوقی^{۱*} و رضا شاکر^۲

^۱استادیار، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، اردبیل، ایران
^۲دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

*نویسنده مسئول: fdaneshvar.vousoughi@gmail.com

مقاله اصلی

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۷/۰۷/۲۶]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۷/۰۷/۰۸]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۶/۱۱/۱۰]

چکیده

بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب هر منطقه از اهمیت فراوانی برخوردار است. هدف از این پژوهش، بررسی روند موجود و دوره زمانی مؤثر در روند تراز آب زیرزمینی در مقیاس ماهانه در ۱۵ ایستگاه پیژومتری دشت اردبیل با استفاده از روش‌های ناپارامتری من-کندال، ابزار پیش‌پردازش زمانی (تبدیل موجک گسسته) و روش پیش‌پردازش مکانی (نقشه خودسازمانده) است. ابتدا روش خوشه‌بندی نقشه خودسازمانده برای تقسیم مکانی تراز آب زیرزمینی به خوشه‌های همگن استفاده شد. سپس تبدیل موجک برای استخراج ویژگی‌های دینامیکی و چندمقیاسی برای ناپارامتری داده‌های تراز آب زیرزمینی پیژومترهای مرکزی در سطح ۳ استفاده شد. آزمون من-کندال به ترکیبات مختلفی از تبدیل موجک گسسته بعد از حذف ارتباط معنی‌دار مرتبه اول برای محاسبه زیر سری جزئی مسئول در روند سری‌های زمانی پیژومترهای مرکزی اعمال شد. نتایج روند منفی را در منطقه مورد مطالعه نشان داد. در بیشتر سری‌های زمانی تراز آب زیرزمینی زیر سری جزئی در سطح ۳ در ترکیب با زیرسری تقریبی به‌عنوان مؤلفه زمانی تأثیرگذار شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: دشت اردبیل؛ دوره زمانی مؤثر؛ زیرسری؛ ناپارامتری؛ نقشه خودسازمانده.

۱- مقدمه

استفاده از آب زیرزمینی به‌طور پیوسته برای تأمین نیازهای کشاورزی، شرب و صنعت افزایش یافته است. بر همین اساس، در خصوص روند تغییرات تراز آب زیرزمینی و ارتباط آن با بارش و خشکسالی مطالعات متعددی انجام شده است به‌گونه‌ای که در دهه‌های گذشته روند منفی برای تراز آب زیرزمینی در نقاط مختلف جهان و ایران گزارش شده است از طرفی دیگر وقوع خشکسالی‌های توأم با افت سطح ایستایی در سفره‌های آب زیرزمینی دشت اردبیل در سال-های گذشته این امر را آشکار می‌کند (Daneshvar, Vousoughi et al. 2011). Gehreles et al. (1994) تحلیل سری‌های زمانی نوسانات تراز سطحی آب زیرزمینی را با مدل خطی تابع احتمالاتی انتقالی در کشور هلند انجام دادند. نتایج نشان‌دهنده کاهش تراز آب در بخش گسترده‌ای از منطقه در نتیجه زهکشی آب زیرزمینی، خشکسالی و برداشت بی‌رویه آن توسط کشاورزان بوده است. آن‌ها گزارش دادند که با افزایش عمق دسترسی به آب، تراز آب زیرزمینی نسبت به نوسانات اقلیم و فعالیت‌های بشری با تأخیر عکس‌العمل نشان می‌دهد. Chen et al. (2004) روابط بین متغیرهای آب و هوایی و تراز آب زیرزمینی را با روش همبستگی خطی در سفره آب زیرزمینی با کربنات بالا در ایالت مانیتوبا در کانادا بررسی کردند. آن‌ها برای این کار از داده‌های میانگین، بیشینه، و کمینه دما، و بارش برای دوره آماری ۱۹۰۰-۲۰۰۰ استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بارش و میانگین دمای سالانه در این منطقه همبستگی بالایی را با تراز آب زیرزمینی سالانه دارد. Almedej and AL-Ruwaih (2006) رفتار نوسانات تراز آب زیرزمینی را در مناطق مسکونی کویت و حومه با توجه به اطلاعات ۶ حلقه چاه پیژومتری بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تراز آب زیرزمینی دارای رفتار فصلی است. افزون بر این، این متغیر با درجه حرارت همبستگی منفی و با بارش همبستگی مثبت دارد (Jan et al. 2007). تأثیر شدت و توزیع بارش روی نوسانات تراز آب زیرزمینی تایوان را با استفاده از داده‌های پیژومتری دونر^۱ در مرکز تایوان و ۷

ایستگاه باران‌سنجی به روش همبستگی خطی مطالعه نمودند، نتایج ایشان نشان داد که تراز آب زیرزمینی وابستگی خطی با بارش دارد. (Panda et al. 2007) تأثیر خشکسالی و فعالیت‌های انسانی را روی تراز آب زیرزمینی ۱۰۰۲ ایستگاه پیژومتری ایالت اورپسا^۲ در کشور هند در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۹۴ با روش ناپارامتری مان-کندال^۳ (MK) بررسی کردند. نتایج نشان داد که ۵۹ درصد از ایستگاه‌های پیژومتری قبل از فصل مانسون و ۵۱ درصد آن-ها بعد از فصل مذکور کاهش تراز آب زیرزمینی را تجربه کرده‌اند. Lee et al. (2007) دلایل تغییر تراز آب زیرزمینی را در شهر دانگو^۴ کره جنوبی در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۹۹ مطالعه نمودند. آن‌ها تأثیر بارش، پمپاژ چاه‌های اطراف و ساخت تونل مترو را روی تراز آب زیرزمینی با روش مان-کندال بررسی کردند. نتایج نشان داد که احداث تونل مترو بیشترین تأثیر را روی تراز آب زیرزمینی منطقه داشته است. Zhang et al. (2009) الگوی مکانی و زمانی مقادیر کمینه و بیشینه تراز آب زیرزمینی در ناحیه دلتای رودخانه پرل چین را با روش مان-کندال و روش پیش‌سفیدکردن^۵ شناسایی کردند. آن‌ها نشان دادند که در قسمت بالایی دلتا روند تغییرات تراز آب زیرزمینی کاهشی و در قسمت‌های میانی و پایینی آن افزایشی بود. (Shahid and Hazarika 2009) خشکسالی آب زیرزمینی را در ۳ ناحیه در شمال غرب بنگلادش در ۸۵ حلقه چاه در دوره آماری ۲۰۰۲-۱۹۹۸ با شاخص SPI^۶ مطالعه کردند. نتایج حاکی از آن بود که کمبود آب در ۴۲ درصد نواحی ناشی از استخراج آب زیرزمینی برای آبیاری بوده است. (Le Brocque et al. 2018) رفتار تراز آب زیرزمینی را در برابر تغییرات اقلیمی ۳۸۱ چاه واقع در جنوب استرالیا مطالعه کردند. آن‌ها روند تراز را برای مدت ۲۶ سال با روش مان‌کندال اصلاحی و تخمین‌گر سن انجام دادند. روند کاهشی در تمام چاه‌ها در طول این ۲۶ سال دیده شد و هر سال به‌طور متوسط ۰/۰۶ m کاهش یافت. (Gibrilla et al. 2018) روند تراز آب زیرزمینی،

² Orissa

³ Mann- Kendall

⁴ Daegu

⁵ Pre- whitening

⁶ Standardized precipitation index (SPI)

¹ Donher

تعیین مهم‌ترین دوره تناوب، مسئول ایجاد روند در سری- زمانی اصلی است.

۲- مواد و روش‌ها

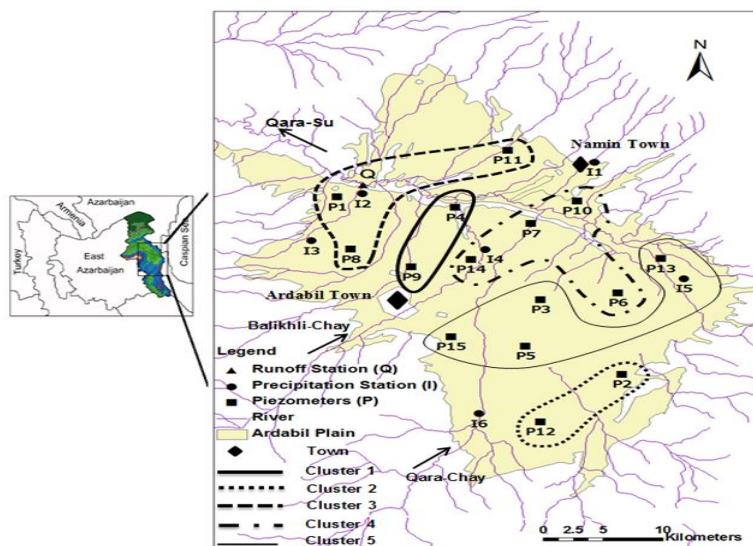
در این پژوهش به بررسی روند تراز آب زیرزمینی در مقیاس ماهانه در ۱۵ ایستگاه (پیزومتر) مجزا در حوضه دشت اردبیل در طول دوره آماری ۱۳۹۱-۱۳۶۷ پرداخته شد. برای تعیین روند در این پژوهش از سه گام استفاده گردید. در گام اول پیزومترها با استفاده از ابزار SOM کلاس‌بندی شده و رفتار قسمت‌های مختلف مشخص گردید بعد از کلاس-بندی پیزومترهای مرکزی برای هر کلاس مشخص و روند برای تک‌تک این پیزومترها با استفاده از آزمون مان-کندال مطالعه شد. همچنین به منظور تعیین دوره زمانی تأثیرگذار در ایجاد روند از روش ترکیبی تبدیل موجک-مان‌کندال استفاده گردید.

۲-۱- منطقه مورد پژوهش

منطقه مورد مطالعه، دشت اردبیل است که در شمال غربی ایران واقع شده است. این دشت به‌طور تقریبی، در عرض جغرافیایی $38^{\circ}03'$ تا $38^{\circ}27'$ شمالی و طول جغرافیایی $47^{\circ}55'$ تا $48^{\circ}20'$ شرقی واقع شده است. دشت اردبیل مشرف بر ارتفاعات بخش غربی رشته کوه البرز (ارتفاعات تالش) و در امتداد دامنه شرقی سبلان قرار دارد. مساحت آن در حدود 990 km^2 می‌باشد. متوسط بارش سالانه در ایستگاه سینوپتیک اردبیل در دوره زمانی ۱۳۹۱-۱۳۵۰ حدود 304 mm می‌باشد. پرباران‌ترین ماه سال اردیبهشت و کم‌باران‌ترین آن مرداد است. میانگین دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک اردبیل حدود 9°C است و یکی از نواحی سردسیر ایران محسوب می‌شود. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی دشت اردبیل و موقعیت ایستگاه‌های پیزومتریک را نشان می‌دهد.

بارش و درجه حرارت را با روش ناپارامتری مان‌کندال و مدل ARIMA ارزیابی کردند. روندی در پارامترهای بارش و درجه حرارت در طول دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۵ مشاهده نشد. هر سه روند کاهشی، افزایشی و بدون تغییرات در چاه-ها دیده شد. با مدل ARIMA روند افزایشی در اکثر چاه‌ها پیش‌بینی شد. در ایران نیز مطالعات پراکنده متعددی مربوط به روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف کشور انجام شده است.

تبدیل موجک را می‌توان به‌عنوان روش پیش فرایند چند مقیاسی برای استخراج انواع مختلفی از ویژگی داده‌ها به‌کار برد، مثل نوسانات کوتاه‌مدت و بلندمدت با تقسیم دوره‌های زمانی به جزئیات کوچکتر. در نتیجه این ویژگی‌ها، تبدیل موجک برای تحلیل دوره‌های هیدرولوژیکی به‌کار می‌رود. به‌نظر می‌رسد روش ترکیبی موجک - من‌کندال برای بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی مناسب باشد (Adamowski 2011). پدیده‌های علوم زمین که دارای خصوصیات نایستا هستند، حاوی پدیده‌های دوره‌ای (متناوب) مختلفی هستند که در زمان‌های تناوب مختلف روی می‌دهند وجود افزایش یا کاهش روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی می‌تواند به‌وسیله تغییر در عواملی نظیر: بارش، رواناب و دما (Xu et al. (2010؛ Paul (2011؛ Wang et al. (2012؛ Almasri et al. (2008؛ Tan et al. (2017؛ Nalley et al. (2012؛ Araghi et al. (2015؛ Rashid et al. (2015 توصیف شود. بررسی روند در سری زمانی هیدرولوژیکی می‌تواند در تفسیر رابطه بین فرآیندهای هیدرولوژیکی و تغییرات محیطی در مناطق مورد مطالعه کمک مؤثری داشته باشد. در مطالعات قبلی ترکیب روش مان‌کندال و تبدیل موجک در پدیده‌های بارش و رواناب و دما مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف از این پژوهش مطالعه روند تغییرات تراز آب زیرزمینی اردبیل با روش ترکیبی من‌کندال و تبدیل موجک و همچنین



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت اردبیل و موقعیت ایستگاه‌های پیزومتری
Fig. 1 Geographical location of Ardabil Plain and the piezometer stations

۲-۲- روش دسته‌بندی SOM

اول، SOM یک بعدی برای طبقه‌بندی پیزومترها به تعداد کلاس‌های تعیین شده در مرحله اول (۵×۱) استفاده شد. در این مرحله، تعداد نرون‌های لایه Kohonen مساوی تعداد کلاس‌های تعیین شده در مرحله اول می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد خوشه‌بندی با SOM، ضریب سیلوهه برای اندازه‌گیری اعتبار خوشه‌بندی مورد استفاده قرار گردید. از فاصله اقلیدسی برای انتخاب پیزومتر مرکزی به‌عنوان بهترین نماینده الگوی آب زیرزمینی هر خوشه استفاده گردید.

۲-۳- روش من‌کندال

آزمون من‌کندال (MK1) معمولی‌ترین روش شناخته شده برای بررسی روند سری‌های زمانی هیدرولوژیکی می‌باشد. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. همچنین دارای محاسبات ساده هستند و برای داده‌های نالیستا و مفقوده حساس نبوده و در مقابل آن‌ها از خود انعطاف نشان می‌دهد. در این روش داده‌های آماری S برای ماه گام و ایستگاه K طبق رابطه (۱) محاسبه شد (Panda et al. 2007):

در مجموع از داده‌های ۴۹ چاه در نگارش این مقاله بهره گرفته شد. نقشه خودسازمانده به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تبدیل روابط استاتیکی، غیرخطی و پیچیده موجود در داده‌های چندبعدی به روابط هندسی، ساده و با ابعاد کم اجازه می‌دهد تعداد خوشه‌ها با بازرسی دقیق مشخص شود (Kohonen 1998). با توجه به این‌که استفاده از اطلاعات ۱۵ ایستگاه پیزومتری موجود در سطح حوضه دشت اردبیل در قسمت مدل‌سازی می‌تواند باعث بروز خطاهای محاسباتی زیادی گردد. بدین منظور پیش‌پردازش مکانی با روش SOM انجام شد. در مرحله اول خوشه‌بندی، مقادیر ۱۵ پیزومتر منتخب به شبکه خوشه‌بندی SOM دو بعدی برای طبقه‌بندی پیزومترها به خوشه‌هایی با الگوی مشابه، استفاده شد. به‌منظور اعمال SOM دو بعدی، لایه Kohonen در مرحله اول برای اندازه‌های مختلف (۳×۳m، ۴×۴، ۵×۵، الی ۹×۹) آزمایش شد. بعد از آزمون و خطا لایه Kohonen ۵×۵ به‌عنوان SOM دو بعدی مناسب انتخاب شد. در مرحله بعدی، به‌منظور اطمینان از تعداد خوشه‌های انتخاب شده در مرحله

$$S_{gk} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_{jgk} - X_{igk}), \forall 1 \leq i < j \leq n \quad (1)$$

سپس، آماره Z مان‌کنندال برای سری جدید محاسبه شد.

۴-۲- تبدیل موجک

علاوه بر الگوهای مکانی، بعضی ویژگی‌های زمانی در سری-های زمانی تراز آب زیرزمینی وجود دارند که سبب ناپایداری سری‌های زمانی می‌شوند. برای کنترل این ویژگی‌های زمانی، استفاده از داده‌های پیش‌پردازش شده از نظر زمانی نظیر تبدیل موجک می‌تواند مفید باشد. تبدیل موجک با مقیاس زمانی یک سیگنال زمانی پیوسته، $x(t)$ ، به صورت رابطه (۹) تعریف می‌شود:

$$T(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} g^*\left(\frac{t-b}{a}\right)x(t).dt \quad (9)$$

$g(t)$ تابع موجک یا موجک مادر است. پارامتر a فاکتور بزرگنمایی و b نشان دهنده تبدیل موقت تابع g است که امکان مطالعه سیگنال در پیرامون b را می‌دهد.

داده‌های تراز آب زیرزمینی در حوضه‌ی دشت اردبیل که بر اساس داده‌های ماهانه در طول دوره آماری ۱۳۹۱-۱۳۶۷ که از پنج ایستگاه هیدرولوژیکی مجزا اخذ شده بود، مورد بررسی قرار گرفت. به منظور نشان دادن تغییرات سری‌های زمانی هیدرولوژیکی در مقیاس‌های مختلف سری‌های ماهانه توسط تبدیل موجک در نرم‌افزار مطلب (MATLAB) در ۳ سطح تجزیه شدند.

ضرائب جزئی و تقریبی از تجزیه یک سیگنال به وسیله تبدیل موجک گسسته حاصل شدند. ضرائب تقریبی (A) نشانگر ضرائب تبدیل موجک با وضوح درشت می‌باشند که روندهای صاف و هموار را در سری نشان می‌دهند و D_1 ، D_2 ، D_3 ضرائب جزئی می‌باشند که اطلاعات جزئی از روندها در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی ارائه می‌دهند. انتخاب موجک مادر مناسب نقش مهمی را در تبدیل موجک دارد. با توجه به ساختار موجک مادر Daubechies-4 (db4) و شباهت سیگنال تراز آب زیرزمینی به آن، موجک مادر db4 می‌تواند ویژگی‌های سیگنال را در برگیرد و به‌عنوان موجک مادر تجزیه کننده در این پژوهش انتخاب گردید (Nourani et al. 2015). در انتخاب درجه تجزیه نیز، سری‌های زمانی تراز آب زیرزمینی در درجه L ، منجر به $L+1$ زیرسری (یک زیرسری

که در آن n تعداد داده‌های سری، i و j اندیس سال، g اندیس ماه، k اندیس ایستگاه می‌باشد. و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت بوده که به صورت رابطه (۲) تعیین می‌شود:

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

من و کندال نشان دادند که وقتی $n \geq 10$ باشد، آماره S تقریباً به‌طور نرمال توزیع شده و دارای میانگین صفر و انحراف معیار رابطه (۳) است:

$$(\sigma_{gg})_k = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum d(d-1)(2d+5)]}{18} \quad (3)$$

که در آن d تعداد دسته‌ها با داده‌های مساوی برای سری مشخصی از داده‌ها مانند داده‌های موجود برای ماه معین یک ایستگاه در سال‌های مختلف برای متغیرهای مورد بررسی می‌باشد. S_{gk} به صورت رابطه (۴) نرمال شد: (۴) $S'_{gk} = S_{gk} - \text{sgn}(S_{gk})$ که دارای توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ است و طبق رابطه (۵) به دست آمد:

$$Z_{gk} = \frac{S'_{gk}}{(\sigma_{gg})_k^{1/2}} \quad (5)$$

فرض صفر (عدم وجود روند در سطح معنی‌داری α) به شرطی که $-Z_{1-\alpha/2} < Z_{gk} < Z_{1+\alpha/2}$ باشد، پذیرفته می‌شود. مقادیر α به ترتیب برای متغیر تراز ۵٪ انتخاب شد. اگر ضریب خود همبستگی مرتبه اول معنی‌دار باشد، با روش پیش‌سفید کردن (Kumar et al. 2009)، اثر خود همبستگی از سری داده‌ها حذف می‌شود. برای این کار ابتدا سری داده‌های جدید با توجه به شیب خط روند، β ، طبق رابطه (۶) محاسبه شد (Kumar et al. 2009).

$$X'_i = X_i - (\beta \times i) \quad (6)$$

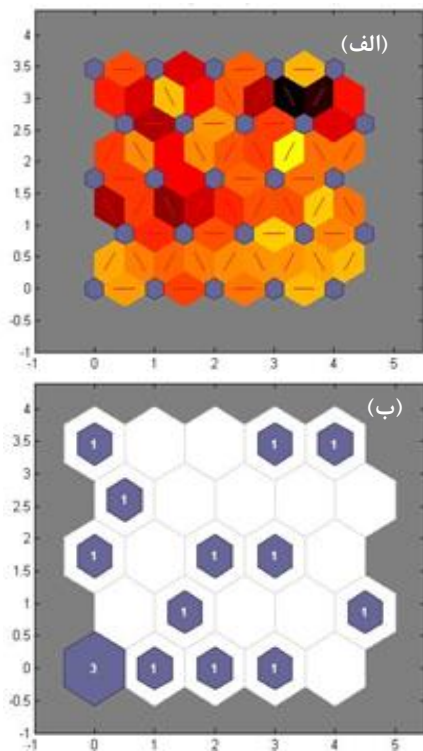
که در آن β شیب خط روند، i شمارنده سال می‌باشد. حال، سری جدیدی به شرح رابطه (۷) به دست آمد:

$$y'_i = X'_i - r_1 * X'_{i-1} \quad (7)$$

با افزودن مجدد جمله روند، $(\beta \times i)$ ، به سری داده اخیر در رابطه (۷)، سری جدیدی به صورت رابطه (۸) به دست آمد:

$$y_i = y'_i + (\beta \times i) \quad (8)$$

۴ می‌باشد که دلیل آن را می‌توان در پراکندگی زیاد پیژومترها (بخصوص پیژومتر P6 نسبت به سایر پیژومترها) جستجو کرد که باعث ناهمخوانی نتایج پیژومترها گردیده است (شکل ۲).



شکل ۲- نتایج خوشه‌بندی SOM دوبعدی برای متغیر تراز آب زیرزمینی: الف- نقشه SOM hits و ب- فاصله‌ی وزن‌های همسایگی
Fig. 2 2-Dimensional SOM clustering of GWL data:
(a) SOM hits, (b) SOM neighbor weight distance plan

۳-۲- روش ترکیبی موجک و آزمون من-کندال

۳-۲-۱- روش نزدیکی آماری Z

در این قسمت نتایج به‌دست آمده از اعمال آزمون من-کندال بر روی ترکیب‌های مختلف آورده می‌شود. پس از تجزیه سری زمانی اصلی با استفاده از تبدیل موجک و به-دست آوردن ترکیب‌های گوناگون از زیرسری‌های حاصل، آزمون من-کندال مناسب جهت شناسایی روند به ترکیب‌های مختلف اعمال شد که نتایج حاصل در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج MK (آماری Z) برای پیژومترهای مرکزی در جدول (۲) آورده شده است.

تقریبی $P_a(t)$ و L زیرسرجئی ($i=1, 2, \dots, L$)
شد. درجه تجزیه ۳ به‌عنوان درجه تجزیه بهینه مطابق رابطه زیر در نظر گرفته شد (Nourani et al. 2015):

$$L = \log N \quad (10)$$

که در آن L و N به ترتیب درجه تجزیه و طول سری زمانی می‌باشد. در این مطالعه با داشتن $N=298$, $L=2/5$ به‌دست می‌آید که درجه تجزیه ۳ در نظر گرفته شد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- نتایج خوشه‌بندی تراز آب زیرزمینی

بعد از آزمون و خطا لایه Kohonen، با توجه به شکل (۲)، تفکیک پیژومترها به ۵ دسته واضح بوده، بنابراین SOM بعدی 5×5 به‌عنوان SOM دوبعدی مناسب انتخاب گردید.

شکل (۲-الف) نقشه Hits لایه خروجی شبکه 5×5 SOM را نشان می‌دهد. نقشه Hits شمایی از لایه خروجی SOM است که هر نرون آن تعداد ورودی‌های داخل آن خوشه را نشان می‌دهد. تعداد ورودی‌های داخل هر خوشه بطور نسبی توسط اندازه قطعه رنگی نیز نشان داده می‌شود. شکل (۲-ب) فاصله وزن‌های همسایگی را که توسط SOM به دست آمده، نشان می‌دهد. شش ضلعی‌های منظم نشان دهنده نرون‌های خروجی SOM و شش ضلعی‌های کشیده شده بیانگر فاصله بین نرون هاست. رنگ‌های تیره‌تر نمایانگر فاصله بیشتر و رنگ‌های روشن‌تر نمایانگر فاصله کمتر است.

نتایج شکل (۲)، ۵ گروه طبقه‌بندی شده مقادیر تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل را نشان می‌دهد. نتایج خوشه‌بندی پیژومترها به ۵ خوشه در جدول (۱) نشان داده شده‌اند. برای ارزیابی عملکرد خوشه‌بندی با SOM، ضریب سیلوهه برای اندازه‌گیری اعتبار خوشه‌بندی مورد استفاده قرار گردید. مطابق مقادیر سیلوهه ارائه‌شده در جدول (۱)، پیژومترهای مرکزی دارای بالاترین مقدار این ضریب می‌باشند. در خوشه‌هایی با دو پیژومتر، پیژومتر با مقدار ضریب سیلوهه بالا به‌عنوان پیژومتر مرکزی انتخاب شد.

نتایج به دست آمده ضریب سیلوهه نشان می‌دهد که پیژومترهای کلاس ۵ دارای بهترین میانگین و نیز بهترین نزدیکی نتایج ضریب سیلوهه در بین تمامی خوشه‌ها می‌باشد. پایین‌ترین میانگین نیز مربوط به پیژومترهای کلاس

جدول ۱- نتایج خوشه‌بندی تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل
Table 1 The results of Ardabil plain's groundwater level clustering

شماره کلاس	پیزومترها	ضریب سیلوهه	پیزومتر مرکزی
کلاس ۱	P2, P12	0.72 _ 0.48	P12
کلاس ۲	P1, P8, P11	0.11 _ 0.6 _ 0.47	P8
کلاس ۳	P3, P5, P13, P15	0.79 _ 0.76 _ 0.88 _ 0.86	P5
کلاس ۴	P4, P6, P9, P10	0.44 _ 0.63 _ -0.04 _ 0.66	P4
کلاس ۵	P7, P14	0.96 _ 0.94	P7

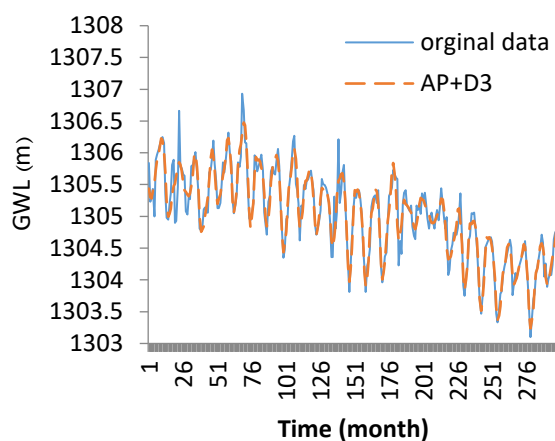
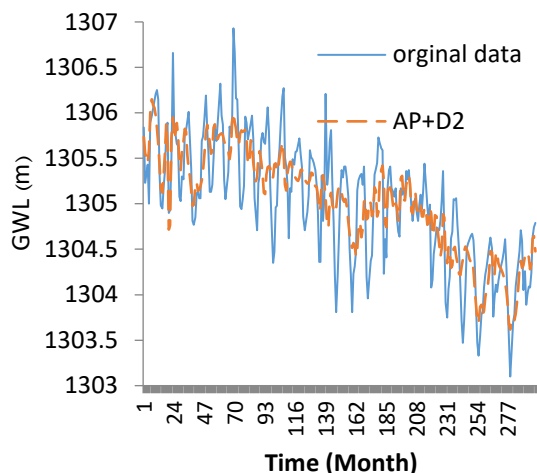
جدول ۲- نتایج روش ترکیبی WT-MK آب زیرزمینی دشت اردبیل
Table 2 WT-MK test results of Ardabil plain's groundwater level

شماره سری	زیرسری‌ها	P4 Z_MK	P5 Z_MK	P7 Z_MK	P8 Z_MK	P12 Z_MK
1	*سری زمانی اصلی	-16.95	-24.37	-22.66	-6.7	-23.73
2	A	-24.46	-25.6	-25.35	-10.27	-25.59
3	D1	-0.19	-0.17	-0.19	-0.71	0.1
4	D2	-0.019	0.75	0.12	-1.36	-0.25
5	D3	0.31	1.34	1.79	-0.42	1.72
6	A+D1	-19.96	-24.79	-23.7	-5.75	-24.03
7	A+D2	-21.39	-25.06	-24.18	-7.62	-24.66
8	A+D3	-18.97	-24.87	-23.68	-7.64	-24.71
9	A+D1+D2	-18.93	-24.63	-23.26	-5.74	-23.81
10	A+D2+D3	-17.97	-24.64	-23.21	-7	-24.24
11	A+D1+D3	-17.53	-24.36	-22.77	-5.9	-23.78

مقدار Z-MK به Z-MK سری زمانی اصلی می‌باشند. در بین کلیه ترکیبات در مقیاس ماهانه ترکیب (A+D1+D3) نزدیکترین مقادیر Z-MK را به Z-MK سری زمانی اصلی مربوطه دارد.

جدول (۳) میزان همبستگی خطی سری زمانی اصلی پیزومترهای مرکزی با ترکیب زیرسری‌ها آن پیزومترها را نشان می‌دهد. مطابق جدول (۳) در همه پیزومترهای مرکزی ترکیب (A+D3) دارای بالاترین میزان همبستگی خطی با سری زمانی اصلی پیزومترهای مرکزی می‌باشند، که بیانگر این است که زیرسری جزئی D3 به عبارت دیگر تناوب ۸ ماهه به‌عنوان زیرسری تاثیر گذار در تولید روند تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل معرفی می‌گردد. در تجزیه سری‌های تراز آب زیرزمینی مشاهده می‌شود، فرکانس پایین D3 مربوط به اجزای بالاتر می‌باشد که نشان‌دهنده اجزای تغییرات آرام است.

مطابق نتایج جدول (۲)، آماره Z در همه پیزومترهای مرکزی منفی بوده و روند کاهشی در همه پیزومترهای مرکزی دشت مشاهده می‌شود. به‌ویژه، پیزومترهای خوشه سوم که پیزومترهای مرکزی دشت را شامل می‌شود، به‌دلیل برداشت بی‌رویه روند کاهشی بیشتری را تجربه کردند. پیزومترهای خوشه دوم که پیزومترهای واقع در خروجی دشت در بر می‌گیرد، به‌دلیل تغذیه دشت در قسمت خروجی، روند کاهشی کمتری را نشان می‌دهند. همچنین در این جدول مشاهده می‌شود که ترکیباتی که مقادیر Z-MK آن‌ها به Z-MK سری زمانی اصلی نزدیکتر است، به‌صورت پررنگ نمایش داده شده‌اند. در مقیاس ماهانه از بین ترکیب‌های A+Dj، ترکیب A+D1 برای پیزومترهای P5 و P12 (کلاس ۱ و ۳) دارای نزدیکترین مقدار Z-MK به Z-MK سری زمانی اصلی می‌باشند، به‌صورت پررنگ نمایش داده شده‌است. برای پیزومترهای P4 و P7 و P8 (کلاس‌های ۲، ۴ و ۵) ترکیب A+D3 دارای نزدیکترین



شکل ۳- نمودار آزمون من کندال دنباله ای برای مقیاس ماهانه در پیزومتر P4

Fig. 3 Sequential MK graphs for the monthly scale at piezometer P4

در مطالعات روند تراز آب زیرزمینی: Daneshvar et al. (2011), Jahanbakhsh et al. (2010), Karami and Azizi (2004) و Bayati (2010) که بر روی دشت‌های اردبیل، سراب، تبریز و قزوین با روش‌های مختلف پارامتری انجام دادند، تنها مطالعه Daneshvar et al. (2011) با روش ناپارامتری مان کندال انجام گرفت که در تمام دشت‌ها روند نزولی مشابه نتایج این پژوهش گزارش گردید. در پژوهش‌های خارجی (Panda et al. 2007, Gibrilla et al. 2018) و (Brocque et al. 2018) از روش من کندال برای مطالعات روند استفاده کردند که در هیچ‌کدام از تحقیقات صورت گرفته از تبدیل موجک برای شناسایی دوره زمانی تأثیرگذار استفاده نشده است.

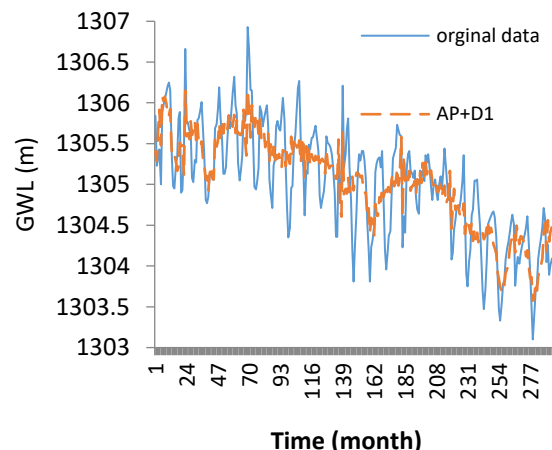
جدول ۳- نتایج میزان همبستگی خطی سری زمانی اصلی پیزومترهای مرکزی با زیرسری‌ها

Table 3 Linear autocorrelation functions of central piezometers with sub-series

پیزومتر مرکزی	AP+D1	AP+D2	AP+D3
P4	0.818	0.824	0.962
P5	0.995	0.995	0.997
P7	0.977	0.977	0.993
P8	0.921	0.943	0.966
P12	0.992	0.992	0.995

۳-۲-۲- روش من کندال دنباله‌ای

در این روش (روش نمودار) برای هر کدام از پیزومترهای مرکزی نمودار سری زمانی اصلی با تمامی ترکیب‌های A+D1 و A+D2 و A+D3 رسم شد. ترکیبی که دارای بالاترین شباهت و نزدیکی با سری زمانی اصلی می‌باشد به‌عنوان زیرسری جزئی تأثیرگذار در روند تراز آب زیرزمینی آن پیزومتر معرفی می‌گردد. نمودارهای حاصل از آزمون من کندال دنباله‌ای که در مقیاس ماهانه برای ترکیب‌های A+D1 و A+D2 و A+D3 و سری زمانی اصلی شده رسم شد، نشان داد که در هر پنج پیزومتر مرکزی P4, P5, P7, P8 و P12 در مقیاس‌های ماهانه تناوب (D3) به‌عنوان موثرترین زیرسری جزئی در تولید روند تراز آب زیرزمینی در دشت اردبیل می‌باشد. به‌عنوان نمونه نمودار ترکیب زیرسری‌ها و سری زمانی اصلی پیزومتر P4 در شکل (۳) آورده شده است.



۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه روند تراز آب زیرزمینی در مقیاس ماهانه در پنج ایستگاه منتخب یا مجزا در حوضه‌ی دشت اردبیل مورد مطالعه قرار گرفت. بطوریکه هدف اصلی تعیین موثرترین دوره‌ی تناوب در سری زمانی اصلی بوده است. نتایج نشان داد که:

۱- تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل در تمامی پیزومترها روند کاهشی داشته و افت تراز آب زیرزمینی کاهش چشمگیری داشته است. بیشترین افت تراز آب زیرزمینی مربوط به پیزومتر ۵ (پیراقوم) و کمترین افت تراز آب زیرزمینی مربوط به پیزومتر ۸ (صومعه) می‌باشد.

groundwater alignment in two recent decades (Case Study: Ardebil Plain). *J. Water Soil Sci.*, 4(21), 165-179 [In Persian].

Gehreles J. C., Van Geer F. C., and De Vries J. J. (1994). Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modeling in an area with shallow to deep unsaturated zones. *J. Hydrol.*, 157, 105-138.

Gibrilla A., Anornu G. and Adomako D. (2018). Trend analysis and ARIMA modelling of recent groundwater levels in the White Volta River basin of Ghana. *Groundwater Sustain. Dev.*, 6, 150-163.

Jahanbakhsh S. and Karami F. (2010). Relation between drought and groundwater resources of Tabriz Plain. Final report of the research project, Tabriz University [In Persian].

Jan C-D., Chen T-H. and Lo W-C. (2007). Effects of rainfall intensity and distribution on groundwater level fluctuations. *J. Hydrol.*, 332, 348-360.

Kahya E., and Kalayci S. (2004). Trend analysis of streamflow in Turkey, *J. Hydrol.*, 289, 128-144.

Karami F. and Bayati Khatibi M. (2010). Impact of drought on dropdown of groundwater in Sarab Plain. Final report of the research project, Tabriz University, Iran [In Persian].

Kendall M. G. (1975). Rank Correlation Measures. Charles Griffin Inc. London.

Kohonen, T. The Self organizing map, *Neurocomputing*. 1998. 21, 1-6.

۲- در خوشه‌های ۲، ۴ و ۵ تناوب کوتاه مدت ۸ ماهه و در خوشه‌های ۱ و ۳ تناوب‌های ۲ ماهه به‌عنوان مهمترین تناوب‌ها در ایجاد روند منفی پیزومترهای دشت اردبیل با روش نزدیکی آماره من-کندال شناخته شدند.

۳- در روش‌های همبستگی خطی و مان‌کندال دنباله‌ای تناوب مدت ۸ ماهه، تناوب تأثیرگذار در روند تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل بود.

برای پیشنهاد برای کارهای آتی می‌توان از سایر آزمون‌های نا پارامتری و سایر روش‌های خوشه‌بندی همچون Kmeans برای مطالعه روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی استفاده کرد.

References

Adamowski J., Chan H. F. (2011). A Wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting, *J. Hydrol.*, 407, 28-40.

Almasri A., Locking H. and Shukar G. (2008). Testing for climate warming in Sweden during 1850-1999 using wavelet analysis. *J. Appl. Stat.*, 35, 431-443.

Almedej J. and AL-Ruwaih F. (2006). Periodic behavior of groundwater level fluctuations in residential areas. *J. Hydrol.*, 328, 677-684

Araghi A., Mousavi Baygi M., Adamowski J., Malard J., Nalley D. and Hasheminia S. M. (2015) Using wavelet transforms to estimate surface temperature trends and dominant periodicities in Iran based on gridded reanalysis data. *Atmos. Res.*, 155, 52-72.

Azizi Q. (2004). The relationship between recent droughts and groundwater resources in Qazvin Plain. *J. Geogr. Res.*, 46, 131-143 [In Persian].

Chen Z., Grasby S. and Osadetz K. G. (2004). Relation between climate variability and groundwater level in the upper carbonate aquifer, south Manitoba, Canada. *J. Hydrol.*, 290, 43-62.

Chitsazan M. Mirzaei Y. Mohammadi Behzad H. R. (2010). The effect of drought on the quantity and quality of groundwater resources of Khoy Plain. Second National Conference on Drought Effects and Management Tools, Esfahan, Iran [In Persian].

Daneshvar Vousoughi F., Dinpashoh Y. and Alami M.T. (2011). The effect of drought on

- Kumar S., Merwade V., Kam J. and Thurner K. (2009). Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *J. Hydrol.*, 374, 171-183.
- Brocque A., Kath J. and Smith K. (2018). Chronic groundwater decline: A multi-decadal analysis of groundwater trends under extreme climate cycles. *J. Hydrol.*, 561, 976-986.
- Lee J. Y., Yi M. J., Moon S. H., Cho M., Won J. H., Ahn K. H. and Lee J. M. (2007). Causes of the changes in groundwater levels at Daegu, Korea: the effect of subway excavations. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 66, 251-258.
- Mann, H. B. (1945). Non-parametric test against trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
- Nalley D., Adamowski J. and Khalil B. (2012). Using discrete wavelet transforms to analyze trends instream flow and precipitation in Quebec and Ontario (1954–2008). *J. Hydrol.*, 475, 204-228.
- Nourani V., Alami M. T. and Aminfar M. H. (2009). A combined neural-wavelet model for prediction of Ligvanchai watershed precipitation. *Eng. Appl. Artif. Intel.*, 22, 466–472.
- Nourani V., Taghi Alami, M., Daneshvar Vousoughi, F. (2015). Wavelet-entropy data pre-processing approach for ANN-based groundwater level modeling. *J. Hydrol.*, 524, 255–269.
- Panda K., Mishra A., Jena S. K., James B. K. and Kumar A. (2007). The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India. *J. Hydrol. Process.*, 343, 140-153.
- Paul S., Datta D. and Sarkar P. K. (2011). Determination of trend of temporal trend of annual precipitation by stationary wavelet components in Northern part of Maharashtra. *J. Environ. Sci.*, 2, 1–11.
- Rashid Md. M., Beecham, S. and Chowdhury R. K. (2015). Assessment of trends in point rainfall using Continuous Wavelet Transforms. *Adv. Water Resour.*, 82, 1-15.
- Shahid, S., and Hazarika, M. K. (2009). Groundwater drought in the northwestern districts of Bangladesh. *Water Resour. Manage.*, 24, 1989-2006.
- Tan C., Huang B., Liu K., Chen H., Liu F., Qiu J. and Yang J. (2017). Using the wavelet transform to detect temporal variations in hydrological processes in the Pearl River, China. *Quat. Int.*, 440, Part B, 10, 52-63.
- Wang H., Zhang M., Zhu H., Dang X., Yang Z. and Yin L. (2012). Hydro-climatic trends in the last 50 years in the lower reach of the Shiyang River Basin, NW China. *Catena* 95, 33–41.
- Xu K., Milliman J.D., and Xu H. (2010). Temporal trend of precipitation and runoff in major Chinese rivers since 1951. *Global. Planet. Change.*, 73, 219-232.
- Zhang W., Yan Y., Zeng J., Li L., Dong X. and Cai H. (2009). Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global. Planet. Change.*, 69, 35-47.

Assessment of Trend in Groundwater Level using Hybrid Mann-Kendall and Wavelet Transform Method (Case Study: Ardabil Plain)

Farnaz Daneshvar Vousoughi^{1*} and Reza Shaker²

¹Assist. Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Ardabil Islamic Azad University, Ardabil, Iran

²M.Tech. Student, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Ahar Islamic Azad University, Ahar, Iran

*Corresponding author: fdaneshvar.vousoughi@gmail.com

Original Paper

Received: January 30, 2018 **Revised:** September 30, 2018 **Accepted:** October 18, 2018

Abstract

Study of changes in groundwater resources has great importance on planning and management of sustainable water resources in any region. The goal of this study was trends and dominant period investigation in groundwater level data at monthly timescales in fifteen piezometers of Ardabil plain using non-parametric Mann-Kendall (MK), temporal pre-processing (discrete wavelet transform) and spatial pre-processing (self-organizing map) methods. In first step, a Self-Organizing-Map (SOM)-based clustering technique was used to identify spatially homogeneous clusters of groundwater level (GWL) data. At second step, the wavelet transform (WT) was also used to extract dynamic and multi-scale features of the non-stationary GWL for central piezometers at 3 level. At last step, The MK test were applied to different combinations of DWT after removing the effect of significant lag-1 serial correlation to calculate COMPONENTS responsible for trend of the time series. The results showed that negative trend is prevalent in the case study; generally, wavelet-based detail at level 3 plus the approximations time series was conceded as the dominant periodic component.

Keywords: Ardabil Plain; Dominant Period; Non-Parametric; Self-Organizing Map; Sub-Series.