

## تحلیل روند و نقاط تغییر در سری‌های زمانی تراز آب چاه‌های کم‌عمق و عمیق حوضه آبریز گرگانرود

طاهره محمدی<sup>۱</sup>، واحدبردی شیخ<sup>۲\*</sup>، آرش زارع گاریزی<sup>۲</sup> و میثم سالاری جزی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۹)

### چکیده

مطالعه کمی منابع آب زیرزمینی و پایش دقیق روند تغییرات آن طی گذر زمان، به‌ویژه در مناطقی که با محدودیت منابع آبی روبه‌رو هستند، امری ضروری برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی برای مدیریت صحیح و بهره‌برداری پایدار این منابع در آینده محسوب می‌شود. استان گلستان به‌عنوان یکی از استان‌های نیمه‌خشک ایران، به‌دلیل برداشتهای بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی در چند سال گذشته، با افت تراز و شوری آب زیرزمینی مواجه شده است. دشت گرگان با وسعت حدود ۴۷۲۷ کیلومترمربع، یکی از بزرگترین دشت‌های ایران و مهم‌ترین دشت استان گلستان از نظر تولید محصولات کشاورزی راهبردی مبتنی بر آبیاری است. در این دشت شبکه‌ای از پیزومترها و چاه‌های مشاهده‌ای وجود دارد که اندازه‌گیری مستمر ماهانه بیش از ۳۰ سال را شامل می‌شوند. این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در چاه‌های کم‌عمق (دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۷)) و عمیق (دوره ۲۲ ساله (۱۳۹۷-۱۳۷۶)) انجام شد. از روش من-کندال برای آشکارسازی روند و روش‌های پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند برای شناسایی نقاط تغییر ناگهانی در سری‌های زمانی تراز آب زیرزمینی در ۴۹ چاه کم‌عمق و ۱۲ چاه عمیق استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که تراز آب زیرزمینی در اکثر چاه‌های مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار کاهشی در سطح معنی‌داری ۵ درصد بودند. همچنین بیشترین مقدار افت آب زیرزمینی در نواحی جنوبی و جنوب‌غرب دشت است که علت آن را می‌توان علاوه بر برداشت زیاد آب از چاه‌ها به‌دلیل نزدیک بودن به مناطق شهری و برخی از شرایط محلی از قبیل نزدیکی چاه‌های این منطقه به ارتفاعات کوهستانی و قرارگیری آن‌ها در مرز ورودی آبخوان دانست. به همین ترتیب در میانه‌های دشت افت کاهش یافته و در نواحی شمالی و حاشیه دریای خزر میزان افت کم می‌شود. از جمله علل افت کم در ناحیه شمالی دشت را می‌توان نزدیکی به دریای خزر و سطح ایستابی بالا و در نتیجه نامناسب بودن کیفیت آب و زمین (شوری زیاد و حاصل‌خیزی کم) مرتبط دانست که باعث شده است، برداشت آب از این منطقه کمتر باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات آب زیرزمینی، افت سطح ایستابی، آزمون‌های روند ناپارامتری، دشت گرگان

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

۲. گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: v.sheikh@yahoo.com

## مقدمه

منابع آب‌های زیرزمینی از مدت‌ها پیش توسط قنات‌ها و از سال ۱۳۴۹ به بعد با رشد و توسعه فناوری 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 (۷). اگر این میزان با آب وارد شده به منابع آب زیرزمینی مقایسه شود، دیده می‌شود که سالانه شش میلیارد مترمکعب بیلان منفی در منابع آب زیرزمینی در ایران وجود دارد (۷).

در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی از یک‌سو و فعالیت‌های بشر به‌منظور تأمین غذا از سوی دیگر، خسارت‌های جبران‌ناپذیری به این منابع از لحاظ کمی و کیفی وارد کرده است. کشور ما به‌دلیل ریزش‌های جوی کم، نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی، خشکسالی‌های پی‌درپی و افزایش تقاضا برای آب ناشی از رشد جمعیت، شهرنشینی و توسعه بخش‌های مختلف اقتصادی (کشاورزی و صنعت) با مسئله کم‌آبی روبه‌رو است. به‌خصوص اینکه با برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی، سطح آب در چاه‌ها و کیفیت آن در بسیاری از دشت‌های کشور (به‌ویژه در مناطق مرکزی، شرقی و جنوبی) کاهش یافته است (۷). بنابراین، با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران و پیش رفتن دنیا به سوی کم‌آبی، پژوهش و برنامه‌ریزی در زمینه حفظ و نگهداری از منابع آب شیرین و ارزیابی اثرهای ناشی از توسعه کشاورزی، بر منابع آب زیرزمینی برای محافظت از این سرمایه ملی امری حیاتی محسوب می‌شود.

حوضه آبریز گرگانرود واقع در شمال ایران دارای اقلیم‌های مرطوب، نیمه‌مرطوب، مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و خشک است که در سه دهه گذشته نیز به‌دلیل کاهش تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت و توسعه اقتصادی - اجتماعی با مشکلات تأمین آب مورد نیاز مواجه شده 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 قرار گرفته‌اند. از این‌رو، بررسی تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی در طول زمان می‌تواند اثرهای تغییر یا عدم تغییر در شرایط یک منطقه را مشخص نماید.

برای تشخیص روند در سری‌های زمانی متغیرهای مختلف آب زیرزمینی از آزمون‌های مختلفی استفاده شد که این آزمون‌ها به دو دسته پارامتری و ناپارامتری قابل تفکیک هستند. آزمون‌های پارامتری نسبت به آزمون‌های ناپارامتری توان بیشتری در تشخیص روند دارند و هنگام استفاده از آن‌ها بایستی داده‌ها تصادفی و دارای توزیع نرمال باشند (۱۷). آزمون‌های ناپارامتری در صورت تصادفی بودن داده‌ها قابل استفاده‌اند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند (۲۱). آزمون من-کندال نمونه‌ای از آزمون‌های ناپارامتری است که به‌طور گسترده در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیک و هواشناسی به کار گرفته می‌شود، این آزمون را من (۲۵) و سپس کندال (۲۲) برپایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و گسترش دادند (۳۶). ژای و فنگ (۴۳) مزایای این روش را این گونه بیان می‌کنند:

الف- برای سری‌های زمانی که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند، مناسب هستند ب- اثرپذیری آن از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی دیده می‌شود ناچیز است. ج- بزرگی نسبی (رتبه‌بندی) به جای مقادیر کمی در نظر گرفته می‌شود که این امکان را فراهم می‌کند تا داده‌های خارج از محدوده روند کمینه نیز در تحلیل مدنظر قرار بگیرند. د- داده‌های پرت نیز در محاسبات لحاظ می‌شوند. فرض صفر در آزمون من- کندال بر عدم وجود روند معنی‌دار و فرض مقابل به معنی وجود روند معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها است. در پژوهش‌ها برای بررسی روند تراز آب زیرزمینی به‌دلیل نرمال نبودن توزیع داده‌ها از این آزمون استفاده می‌شود (۲۱).

در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه تحلیل روند طولانی مدت تراز آب زیرزمینی، با استفاده از این روش در تمام مناطق جهان (۱۹، ۵، ۴۱، ۸، ۲۴، ۱۴، ۴۰، ۹) از جمله ایران (۳، ۴، ۱۵، ۱۶، ۲۸، ۳۵، ۳۰، ۲۷) انجام شده است. از

دشت‌های ایران را به شکل بحرانی درآورده و همچنین خشکسالی‌های اخیر نیز مزید بر علت شده است. دلیل اصلی این شرایط برداشت بی‌رویه و حساب نشده از منابع آب زیرزمینی است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد از مجموع ۶۰۹ آبخوان موجود در ایران، ۴۰۵ آبخوان به‌عنوان ممنوع بحرانی دسته‌بندی شده‌اند (۲۶). افت سطح آب زیرزمینی و بیلان منفی سفره‌ها، در بیشتر دشت‌های ایران گزارش شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به دشت‌های رفسنجان، زرنند ساوه، زنجان، دشت تویسرکان همدان، دشت ارومیه، دشت یزد- اردکان، مشهد، کاشمر، فریمان - تربت‌جام، کرمان، رفسنجان، جیرفت و زرنند، فیروزآباد، دشت جهرم، دشت میناب، دشت مهورات، نازدشت‌رودان، دشت نورآباد ممسنی و دشت زرین‌گل استان گلستان اشاره کرد. بنابراین وضعیت موجود ایجاب می‌کند که هر چه بیشتر در مورد وضعیت آبخوان‌های کشور مطالعه و بررسی صورت گیرد، از طرفی با پیش‌بینی دقیق نوسان‌های سطح آب زیرزمینی می‌توان در برنامه‌ریزی تامین آب قابل اعتماد و نیز در مدیریت منابع آب استفاده کرد. برای تصمیم‌گیری بهتر و برنامه‌ریزی صحیح‌تر در مورد مدیریت و روش بهره‌برداری از این گونه آبخوان‌ها، ضروری است وضعیت آب زیرزمینی این دشت‌ها در یک دوره طولانی مدت مورد بررسی قرار گرفته و راه‌کارهای مدیریتی جامع ارائه شود. بنابراین در پژوهش حاضر به تحلیل روند و نقاط تغییر در سری‌های زمانی تراز آب چاه‌های کم‌عمق و عمیق حوضه آبریز گرگانود پرداخته شده است.

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، دشت گرگان، واقع در حوضه آبریز گرگانود- قره‌سو است. حوضه آبریز رودخانه‌های گرگانود و قره‌سو، بین مختصات جغرافیایی ۰۲' ۵۴° الی ۱۶' ۵۶° طول شرقی و ۳۴' ۳۶° الی ۴۷' ۳۷° عرض شمالی در بخش شرقی رشته کوه البرز واقع شده است و دارای وسعتی حدود ۱۳۰۶۱ کیلومتر مربع است. دشت گرگان، که یکی از وسیع‌ترین دشت‌های کشور است با روند شرقی- غربی در دامنه شرقی

طرفی بسیاری از مطالعات منطقه‌ای، روند نزولی (۲۳، ۴، ۱۸، ۲۹، ۳۳، ۳۸) در روند تراز آب زیرزمینی را برای بعضی از مناطق و کشورها گزارش کرده‌اند. برای مثال عباس‌نژاد و شاه‌دشت (۲) به این نتیجه رسیدند که روند نزولی تغییر تراز آب زیرزمینی و افت سالانه ۰/۸ متر در سال در دشت سیرجان به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی است. ابارشی و همکاران (۱) در دشت زرین‌گل واقع در حوضه آبریز گرگانود طی پژوهشی دریافتند که در صورت کاهش ۱۰ درصدی میزان بارش، سطح آب زیرزمینی حدود ۱۷ سانتی‌متر افت خواهد داشت. چشمی (۱۲) دریافت که تأثیر تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی دشت رامهرمز استان خوزستان در تمامی بخش‌های آبخوان یکنواخت نیست، و با توجه به عمق کم و ساحلی بودن آبخوان، پستی و بلندی دشت و جهت جریان آب زیرزمینی، بیشترین افت تراز در جنوب‌شرقی دشت است. جهانشاهی نوکنده و کرمی (۲۰) در مطالعه‌ای به شناسایی نقاط بحرانی در آبخوان دشت گرگان و پیشنهاد طرح‌های کوتاه مدت و بلندمدت تغذیه مصنوعی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که در یک دوره ۳۰ ساله بین سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۶۲ سطح آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه یک متر افت داشته است. اگر چه میزان افت بین سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۶۲، حدود ۱۲/۲۳ متر بوده است اما مجدداً از سال ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۹۲، به تدریج این افت جبران شده است. نتایج ایشان همچنین نشان داد که برداشت بیش از حد مجاز آب از چاه‌های منطقه موجب شده برخی نقاط که بیشتر در قسمت جنوبی دشت و در مناطق با تمرکز زیاد کشاورزی واقع شده‌اند بعد از سال ۱۳۸۰ همچنان به افت خود ادامه داده‌اند و افت قابل ملاحظه‌ای داشتند. رضایی بنفشه و همکاران (۳۴) دریافتند که میانگین افت تجمعی تراز آب زیرزمینی حوضه آبخیز تسوج در سال دهم پیش‌بینی نسبت به سال پایه ۷/۸۵ متر خواهد بود. نتایج شرس‌ستا و همکاران (۴۰) در دلنای مکنونگ ویتنام نشان داد که تا پایان قرن ۲۱ میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی و در نتیجه تراز آب زیرزمینی منطقه کاهش خواهد بود. بیلان منفی تراز آب زیرزمینی وضعیت بسیاری از

خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره کرد. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی دیده می‌شود نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. آماره  $Z$  این آزمون توسط روابط زیر تعیین می‌شود (۱۳):

که در آن،  $S$  برابر است با:

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

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{Sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

در رابطه فوق،  $n$  تعداد مشاهدات سری و  $x_j$  و  $x_i$  به ترتیب داده‌های  $j$ ام و  $i$ ام سری هستند. تابع علامت  $\text{sgn}(x_j - x_i)$  نیز برابر است با:

$$\text{Sgn}(\theta) = \begin{cases} +1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad (3)$$

همچنین واریانس  $S$  ( $\text{Var}(s)$ ) در رابطه محاسبه آماره آزمون ( $Z$ )، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^q t_k(t_k-1)2t_k+5}{18} \quad (4)$$

که در آن،  $n$  تعداد داده‌های مشاهداتی است و پارامتر  $t$  بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است. وجود روند معنی‌دار آماری با استفاده از مقدار آماره آزمون من-کندال ( $Z$ ) (رابطه ۱) مشخص می‌شود که دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس یک است. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود که قدرمطلق  $Z$  بدست آمده مد نظر است. باید بررسی کرد رابطه زیر برقرار است یا خیر؟ اگر رابطه زیر برقرار بود، فرض صفر پذیرفته می‌شود. یعنی روندی

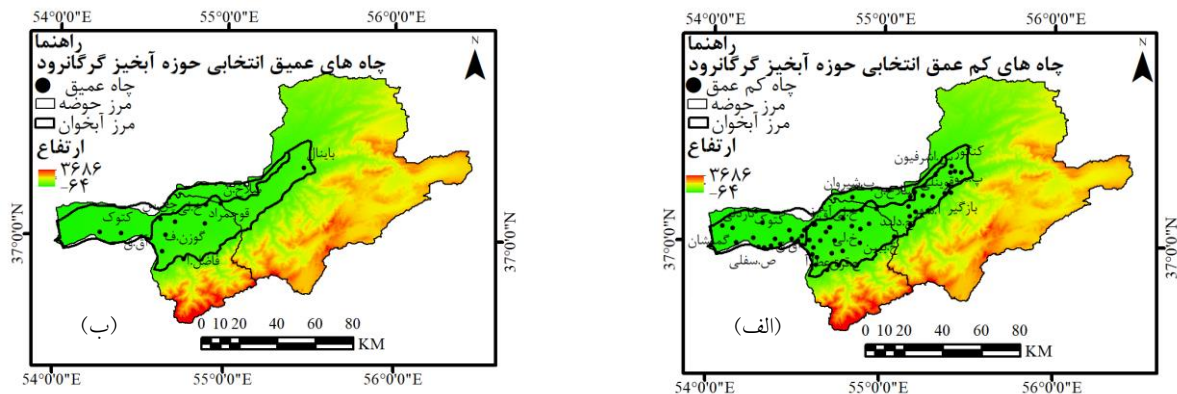
ارتفاعات البرز با وسعتی حدود ۴۷۲۷ کیلومتر مربع در این حوضه گسترده شده است. آبخوان‌های آبرفتی دشت گرگان به‌طور پیوسته از دریای خزر در غرب تا کلاله در شرق به طول ۱۳۰ کیلومتر و از دامنه ارتفاعات جنوبی تا دیوار اسکندر در شمال به عرض ۳۵ کیلومتر گسترش دارد. کمترین ارتفاع در این منطقه سواحل دریای خزر با ۲۶- متر و بیشترین آن در حوضه قره‌سو با ۳۲۰۰ متر (ارتفاعات گرمادشت) و در گرگانرود با ۳۶۰۰ متر (ارتفاعات سرمو) است. شیب حوضه گرگانرود به مراتب کمتر از قره‌سو بوده و به‌طور متوسط ۱/۲۷ درصد برآورد شده است. از مهم‌ترین شهرهای موجود در این محدوده مطالعاتی می‌توان به شهرهای گنبد و علی‌آباد، اشاره کرد. مهم‌ترین سازه‌های آبی موجود در این دشت سدهای گلستان، بوستان، وشمگیر و کوثر است. مشخصات چاه‌های کم‌عمق و عمیق منتخب در شکل ۱ و جدول ۱ و ۲ آورده شده‌اند.

## روش پژوهش

در این پژوهش روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در حوضه آبریز گرگانرود مورد بررسی قرار گرفت. برای دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۷) در چاه‌های کم‌عمق و ۲۲ ساله (۱۳۷۶-۱۳۹۷) در چاه‌های عمیق داده‌های تراز آب زیرزمینی از نظر همگنی بررسی شد. در این پژوهش برای تحلیل و انجام آزمون‌های موردنظر از جعبه ابزار XLSTAT استفاده شد. شرکت Addinsoft در سال ۱۳۷۱ جعبه ابزار آماری XLSTAT را به‌منظور افزایش قابلیت تحلیل‌های آماری ارائه کرد. این نرم‌افزار محدوده وسیعی از توابع آماری و تحلیل داده‌ها را شامل می‌شود (۱۰).

## روش من-کندال

این روش یکی از بهترین روش‌های آشکارسازی و تعیین روند داده‌هاست (۳۹). از نقاط قوت روش من-کندال می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی‌ای که از توزیع



شکل ۱. موقعیت چاه‌های کم‌عمق (الف) و عمیق (ب) منتخب در حوضه آبریز گرگانرود

جدول ۱. مشخصات چاه‌های کم‌عمق منتخب

ردیف	نام چاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ردیف	نام چاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	ایمر محمدقلی	۳۴۴۳۶۱	۴۱۲۷۱۰۴	۲۶	محمدآلق	۲۷۵۸۷۷	۴۰۹۹۷۳۷
۲	امان خواجه	۳۵۷۸۶۳	۴۱۳۳۷۹۰	۲۷	میان‌آباد	۲۸۱۲۸۵	۴۰۸۶۶۴۰
۳	آق‌زبیر	۲۸۳۹۶۴	۴۱۰۵۵۸۸	۲۸	ناردلی	۲۴۵۵۷۸	۴۱۰۵۳۶۰
۴	آق‌چلی بالا	۳۳۶۲۹۴	۴۱۱۶۳۷۸	۲۹	نظام‌آباد	۳۳۶۹۳۶	۴۱۱۱۵۱۲
۵	بدراق	۳۰۶۹۸۷	۴۱۰۶۲۳۸	۳۰	شمال آق‌قلا	۲۷۴۶۴۵	۴۱۰۴۳۸۲
۶	بی‌بی شیروان	۳۰۷۳۳۲	۴۱۲۱۲۸۳	۳۱	اوج تپه	۲۹۳۶۹۶	۴۱۰۳۴۵۹
۷	چایی بوین گنبد	۳۳۷۱۶۱	۴۱۲۱۵۵۷	۳۲	اوتق یلقی	۲۸۵۲۴۴	۴۰۹۹۲۹۶
۸	چن سبلی	۲۸۷۱۹۸	۴۱۰۷۳۴۲	۳۳	پرسه‌سو	۳۵۸۲۴۸	۴۱۲۳۴۵۳
۹	عطاآباد	۲۸۷۲۸۵	۴۰۹۵۴۰۶	۳۴	پشمک پناده	۳۴۳۸۰۸	۴۱۲۲۱۱۴
۱۰	آزادشهر	۳۳۷۲۱۲	۴۱۰۷۰۱۳	۳۵	پشمک تاقتموش	۳۳۹۸۱۸	۴۱۱۳۸۹۱
۱۱	بهلکه شیخ موسی	۳۰۲۵۵۸	۴۱۱۰۲۴۰	۳۶	قره‌بلاغ	۲۹۸۱۸۳	۴۰۹۸۹۶۳
۱۲	بلوچ‌آباد قره چشمه	۳۴۶۳۲۱	۴۱۱۴۲۳۴	۳۷	قونلی	۳۴۸۷۵۲	۴۱۲۱۳۵۹
۱۳	بازگیر	۳۵۴۹۳۳	۴۱۲۳۲۹۸	۳۸	صحنه سفلی	۲۶۵۱۸۰	۴۰۹۶۳۲۲
۱۴	جهان‌آباد	۲۸۶۵۸۶	۴۰۹۱۷۱۶	۳۹	سقر یلقی	۲۷۹۳۵۳	۴۰۹۹۰۵۸
۱۵	اداره آب گنبد	۳۳۹۶۶۲	۴۱۲۳۶۹۴	۴۰	سارجه‌کر	۳۵۰۳۳۳	۴۱۳۲۵۶۸
۱۶	گمیشان	۲۴۰۱۱۲	۴۱۰۶۶۲۵	۴۱	سیدلر	۲۸۲۳۵۵	۴۱۰۴۱۸۰
۱۷	قرنجیک بزرگ	۲۶۱۶۵۳	۴۰۹۵۵۰۴	۴۲	سازمان اشرفیون	۳۶۰۳۸۴	۴۱۳۴۳۸۷
۱۸	جنگل دلدن	۳۲۸۸۸۴	۴۱۰۰۹۷۰	۴۳	شیرنگ سفلی	۲۹۶۷۹۳	۴۰۹۲۵۹۶
۱۹	جنگل قرق	۲۹۴۲۸۷	۴۰۸۴۰۰۰	۴۴	شمال آلتین تخماق	۲۵۷۶۰۴	۴۱۱۴۱۳۰
۲۰	کوچک خرطوم	۳۱۵۷۸۳	۴۱۰۷۵۸۴	۴۵	جنوب بصیرآباد	۲۴۷۳۶۶	۴۰۹۸۰۶۹
۲۱	خانبین	۳۱۱۲۸۵	۴۰۹۷۸۵۷	۴۶	جنوب اسماعیل‌آباد	۳۵۶۹۱۰	۴۱۲۷۲۲۸
۲۲	خیوه‌لی	۲۹۵۶۱۹	۴۱۰۵۸۵۷	۴۷	جنوب غربی دوگونجی	۲۷۰۰۸۴	۴۰۹۷۲۲۲
۲۳	کنگور	۳۵۸۵۷۸	۴۱۳۷۰۳۶	۴۸	توماجلر جاده آلمان	۲۵۸۷۵۲	۴۰۹۵۷۹۷
۲۴	مارون کلاته	۳۰۲۳۴۴	۴۰۹۳۶۲۱	۴۹	توماجلر	۲۶۱۰۰۳	۴۱۰۸۲۸۵
۲۵	میرزا علی یلقی	۲۸۱۲۸۸	۴۱۰۱۳۴۸				

جدول ۲. مشخصات چاه‌های عمیق منتخب

ردیف	نام چاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	آق‌قبر	۲۶۷۳۳۳	۴۰۹۹۷۵۵
۲	باینال	۳۶۳۶۴۲	۴۱۳۳۸۷۵
۳	چن‌سبلی	۲۸۷۹۶۷	۴۱۰۷۳۰۶
۴	فاضل‌آباد	۳۰۰۲۵۱	۴۰۸۶۲۲۳
۵	گوزن‌فارس	۲۸۹۰۷۰	۴۰۹۰۴۳۰
۶	کتوک	۲۵۶۰۲۷	۴۱۰۰۳۲۸
۷	خیوه‌لی	۲۹۵۶۹۱	۴۱۰۵۶۹۴
۸	کوچک‌استاجیق	۳۱۱۳۸۷	۴۱۰۴۹۹۱
۹	قانقرمه	۲۷۷۹۴۱	۴۰۹۸۱۹۷
۱۰	فوجمراد	۳۱۲۰۶۳	۴۱۱۴۷۱۸
۱۱	سلاخ‌نوری	۳۱۹۷۶۹	۴۱۱۵۳۴۶
۱۲	شفتالوباغ	۲۹۰۷۱۸	۴۰۹۸۹۸۱

وجود ندارد و داده‌ها تصادفی هستند. اگر رابطه برقرار نبود، فرض یک پذیرفته می‌شود که دلالت بر وجود روند دارد.

$$|Z| \leq \frac{Z\alpha}{2} \quad (5)$$

در حقیقت  $\alpha$  همان سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود.  $Z\alpha$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معناداری  $\alpha$  است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از  $\alpha/2$  استفاده شده است. معمولاً این آزمون برای سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد به انجام می‌رسد. مقدار  $\alpha$  برای سطح ۹۵ درصد، برابر با ۰/۰۵ و برای سطح ۹۹ درصد برابر با ۰/۰۱ است. در سطح اطمینان ۹۵ درصد  $Z_{95\%} = 1.96$  و در سطح اطمینان ۹۹ درصد  $Z_{99\%} = 2.58$  در نظر گرفته می‌شود.

#### تخمین‌گر شیب Sen

به‌منظور برآورد شیب خط روند برای هر یک از سری‌های مورد بررسی از روش تخمین‌گر شیب سن (Sen) استفاده شد. مقدار شیب خط روند ( $\beta$ ) به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\beta = \text{median} \left[ \frac{x_j - x_i}{j - i} \right] \quad \forall (j > i) \quad (6)$$

مقادیر مثبت  $\beta$ ، نشان‌دهنده شیب صعودی و مقادیر منفی آن شیب نزولی است.

#### آزمون نقطه تغییر

برای یافتن نقاط تغییر در سری زمانی جریان از روش‌های Pettitt، SNHT و Buishand استفاده شده است. از آن‌جا که هرکدام از روش‌ها از رویکردهای مختلفی برای تعیین نقاط تغییر استفاده می‌کنند کاربرد هم‌زمان از آن‌ها، قطعیت و اطمینان به نقاط تغییر شناسایی شده را افزایش می‌دهد (۳۱).

#### آزمون نقطه تغییر Pettitt

این آزمون یک آزمون ناپارامتری است که نیازمند فرض نرمال بودن سری زمانی نیست. این آزمون دارای فرض صفر به‌صورت استقلال مقادیر مختلف سری زمانی از یکدیگر و همگنی آن‌ها است. در مقابل در صورتی که شکستگی و ناپیوستگی در مقدار میانگین سری زمانی وجود داشته باشد، مطابق فرض یک این آزمون، سری زمانی ناهمگن است. این روش که آزمون همگنی در یافتن ناهمگنی‌های نقاط میانی سری زمانی توانایی بیشتری

مقیاس داده شده از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$R = \frac{\left( \max_{0 \leq y \leq n} S_y - \min_{0 \leq y \leq n} S_y \right)}{S} \quad (13)$$

برای تعیین سطح معنی‌داری نقطه تغییر مقدار  $\frac{R}{\sqrt{n}}$  با مقدار حدی که توسط بویژاند (۱۱) ارائه شده مقایسه می‌شود. علاوه بر  $R$ ، در این روش مقدار  $Q$  نیز برای تعیین ناهمگنی معرفی شده است.

$$Q = \max_{0 \leq k \leq n} \left| \frac{S_k}{n} \right| \quad (14)$$

این آزمون برای حالتی که تغییر میانگین در نقاط میانی یک سری رخ دهد توانایی بیشتری دارد.

#### آزمون نقطه تغییر SNHT

روش نرمال استاندارد یکی از پرکاربردترین روش‌های آزمون همگنی در پژوهش‌ها است. اگر چه این روش می‌تواند زمان ایجاد ناپیوستگی و یا بروز ناهمگنی را در سری داده‌ها بیابد و گزارش کند، اما روش SNHT حساسیت بیشتری در یافتن ناهمگنی‌های آغازین و انتهایی سری زمانی داده‌ها دارد. فرض اولیه این آزمون نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها است. فرض صفر در این آزمون زمانی پذیرفته می‌شود که آماره آزمون در سطح اطمینان خاصی از مقدار بحرانی کوچک‌تر یا مساوی باشد، و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد.

در روش همگنی نرمال استاندارد فرض صفر (همگن بودن) بیانگر تبعیت سری داده‌ها از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس یک است. در حالی که فرض یک (ناهمگن بودن) ادعا می‌کند که در سری داده‌ها در کمترین حالت یک نقطه مانند  $M$  وجود دارد که داده‌های قبل از آن با میانگین  $\mu_1$  و داده‌های بعد از آن با میانگین  $\mu_2$  تفاوت معنادار دارند (۶، ۳۲). برای انجام این آزمون سری زمانی به صورت سری استاندارد شده  $Z_i$  و  $i=1,2,\dots,n$  در می‌آید. سپس دنباله  $T_k$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

دارد، از جمله آزمون‌هایی است که زمان بروز ناهمگنی را گزارش می‌کند و از مهم‌ترین آزمون‌ها برای تشخیص یک شیفت ناگهانی در سری‌های زمانی است. این آزمون بر اساس تست  $U$  من-ویتی است. این روش فرض می‌کند که مشاهدات از یک دنباله مرتب و پشت سرهم می‌آید. آماره این آزمون توسط رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود. بیشترین مقدار  $|U_{t,T}|$  نقطه تغییر معنادار ( $K_t$ ) را در سری زمانی معرفی می‌کند.

$$U_{t,T} = \begin{cases} V_{1,T} & \text{if } t=1 \\ U_{t-1,T} + V_{t,T} & \text{if } t=1 \end{cases} \quad (7)$$

$$V_{t,T} = \sum_{j=1}^T \text{Sgn}(x_t - x_j) \quad (8)$$

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$K_t = \max |U_{t,T}| \quad (10)$$

اگر احتمال معنی‌داری نقطه تغییر ( $P_t$ ) بیش از حد معنی‌داری  $\alpha$  باشد، سری زمانی فاقد نقطه تغییر معنی‌دار است (۴۲).

$$1 - \exp\left(\frac{-6U_{t,T}^2}{T^3 + T^2}\right) = P_t \quad (11)$$

#### آزمون نقطه تغییر Buishand

این آزمون که توسط بویژاند (۱۱) ارائه شد دارای فرض صفر همگنی مقادیر مختلف سری داده‌ها و استقلال آن‌ها از یکدیگر است. در مقابل فرض یک این آزمون ناهمگنی، وجود ناپیوستگی و شکست در مقادیر سری داده‌هاست. این روش بر اساس جمع جزئی اصلاح شده  $S_y$  است که توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود (۳۱):

$$S_0 = 0 \text{ and } S_y = \sum_{i=1}^y (Y_i - \bar{Y}), y = 1, 2, 3, \dots, n \quad (12)$$

مقدار  $S_y$  وجود شکست در سری زمانی را نشان می‌دهد. مقدار نزدیک به صفر نشان‌دهنده همگنی بوده و مقادیر حدی بیشینه (کمینه) نشان‌دهنده وجود نقطه تغییر منفی (مثبت) است.  $\bar{Y}$  مقدار متوسط از  $Y_i$  و  $S_0$  است. بازه  $R$  اصلاح و تغییر

چاه بی‌بی‌شیروان به میزان ۴/۴۷ متر است. همچنین ۲۴ چاه از ۴۹ چاه کم‌عمق دارای روند نزولی معنی‌دار در تراز آب زیرزمینی در سطح ۵ درصد بودند که شدیدترین روند کاهش مربوط به چاه جنگل قرق بود به طوری که تراز آن در طول دوره مورد مطالعه به میزان ۱۶/۹۴- متر کاهش یافته است. تراز آب در ۱۶ چاه از ۴۹ چاه کم‌عمق مورد مطالعه در منطقه فاقد روند معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند (شکل ۲).

در مقیاس فصلی در فصل پاییز، چاه‌های بازگیر، بی‌بی‌شیروان، چایی بویین گنبد، اداره آب گنبد، سارجه‌کر، سازمان اشرفیون، کوچک خرطوم و خانبیین (۸ حلقه چاه) دارای روند معنی‌دار افزایشی بودند. ۲۱ چاه از ۴۹ چاه کم‌عمق دارای روند معنی‌دار کاهش بودند. در همین راستا ۲۰ چاه از ۴۹ چاه فاقد روند معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند. شدیدترین روند کاهش در فصل پاییز مربوط به چاه جنگل قرق به میزان ۱۴/۶۶- متر بود. همچنین بیشترین روند افزایشی مربوط به چاه بی‌بی‌شیروان به میزان ۴/۷+ متر بود. در فصل زمستان، چاه‌های بازگیر، بی‌بی‌شیروان، چایی بویین گنبد، اداره آب گنبد، کوچک خرطوم، خانبیین، خیوه‌لی، قوینلی و سارجه‌کر دارای روند معنی‌دار افزایشی بودند. بیشترین روند افزایشی مربوط به چاه بی‌بی‌شیروان به میزان ۴/۱ متر بود. ۲۰ چاه از ۴۹ چاه کم‌عمق دارای روند معنی‌دار کاهش در سطح ۵ درصد بودند. شدیدترین روند کاهش مربوط به چاه جنگل قرق به میزان ۱۵/۲۴- متر بود. ۲۰ چاه از ۴۹ چاه کم‌عمق فاقد روند معنی‌دار بودند. در فصل بهار، چاه‌های بازگیر، بی‌بی‌شیروان، چایی بویین گنبد، اداره آب گنبد، کوچک خرطوم، خانبیین، قوینلی و سارجه‌کر دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح ۵ درصد بودند. بیشترین روند افزایشی مربوط به چاه بی‌بی‌شیروان به میزان ۴/۳۹+ متر بود. همچنین ۱۷ چاه از ۴۹ چاه کم‌عمق دارای روند معنی‌دار کاهش در سطح ۵ درصد بودند. در همین راستا شدیدترین روند کاهش در سطح ۵ درصد مربوط به چاه جنگل قرق به

$$T_k = K \bar{Z}_k^2 + (n-k) \bar{Z}_{n-k}^2 \quad (15)$$

که در آن  $\bar{Z}_k$  میانگین  $k$  داده اول و  $\bar{Z}_{n-k}$  میانگین  $n-k$  داده باقی‌مانده است (۶).

## نتایج و بحث

### آزمون روند در سری‌های تراز آب چاه‌های کم‌عمق حوضه آبریز گرگانرود

در این پژوهش تحلیل روند با به‌کارگیری روش من-کندال و تعیین نقطه تغییر با به‌کارگیری روش‌های Pettitt, SNHT و Buishand برای سری‌های زمانی تراز آب (چاه‌های کم‌عمق و عمیق) در حوضه آبریز گرگانرود ارائه شده است. نتایج بر اساس روش‌های استفاده شده به‌طور ماهانه، فصلی و سالانه ارائه شد تا از وضعیت روند در سیستم هیدرولوژی حوضه تصویر دقیق‌تری فراهم شود.

مقادیر شیب خط روند ( $\beta$ ) و سطح معنی‌داری ( $P$ ) تراز آب چاه‌های کم‌عمق حوضه آبریز گرگانرود در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به مقادیر درج شده در این جدول می‌توان نتیجه گرفت که مقدار تراز آب چاه در اکثر مقیاس‌های زمانی و در ۳۱ چاه از چاه‌های کم‌عمق موجود در منطقه مورد مطالعه، دارای شیب خط روند نزولی بود (به‌عنوان مثال شیب خط روند تیر ماه چاه جنگل قرق ۰/۵۷۳- متر در سال است. یعنی مقدار تراز آب تیر ماه چاه جنگل قرق در کل طول دوره آماری ۳۰ ساله به اندازه ۱۷/۱۹۰- متر کاهش یافته است). چاه جنگل قرق با میزان تراز آب ۱۷/۱۹۰- متر در تیر ماه و چاه بی‌بی‌شیروان با میزان تراز آب ۴/۸۶ متر در مرداد ماه به ترتیب شدیدترین روند کاهش و افزایش ماهانه را در بین چاه‌های مورد مطالعه در دوره زمانی ۳۰ ساله به خود اختصاص دادند.

در مقیاس سالانه، تراز آب چاه در تعداد نه چاه (کوچک خرطوم، اداره آب گنبد، چایی بویین، بی‌بی‌شیروان، بازگیر، سارجه‌کر، قوینلی، قرنجیک و خانبیین) از ۴۹ چاه کم‌عمق مورد مطالعه در منطقه دارای روند افزایشی و معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند. بیشترین مقدار افزایش سطح ایستابی مربوط به



جدول ۳. Pvalue و شیب روند داده‌های تراز آب ماهانه چاه‌های کم عمق حوضه آبریز گرگانرود

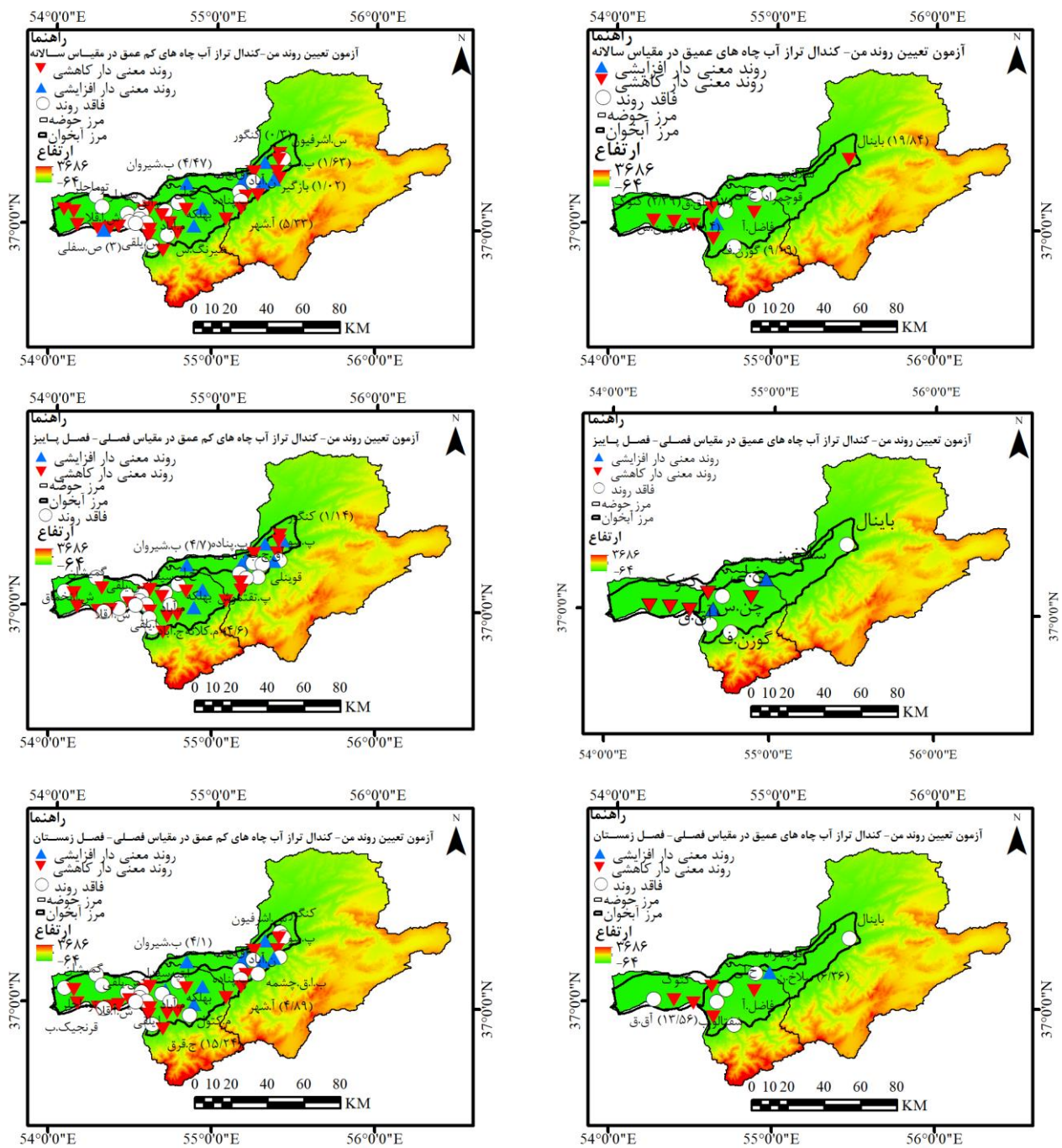
ایستگاه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
جنوب غربی دوگونجی	P	۰/۰۹۲	۰/۰۷۱	۰/۰۷۴	۰/۱۲۵	۰/۰۳۸	۰/۰۸۰	۰/۰۴۷	۰/۱۰۳	۰/۱۲۶	۰/۲۹۲	۰/۲۶۹
	شیب	-۰/۰۲۹	-۰/۰۲۵	-۰/۰۲۳	-۰/۰۲۲	-۰/۰۲۳	-۰/۰۳۲	-۰/۰۳۰	-۰/۰۲۷	-۰/۰۲۵	-۰/۰۱۹	-۰/۰۲۲
توماجر جاده آلمان	P	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۳۱	۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۰/۰۱۹	۰/۰۱۵
	شیب	-۰/۰۵۵	-۰/۰۶۲	-۰/۰۷۳	-۰/۰۷۹	-۰/۰۴۸	-۰/۰۵۱	-۰/۰۳۱	-۰/۰۲۰	-۰/۰۳۰	-۰/۰۳۹	-۰/۰۳۷
ایمر محمدقلی	P	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
	شیب	-۰/۱۹۸	-۰/۱۶۶	-۰/۱۵۷	-۰/۱۵۳	-۰/۱۷۳	-۰/۱۸۰	-۰/۱۸۷	-۰/۱۹۲	-۰/۱۸۳	-۰/۱۹۴	-۰/۱۹۵
امان خواجه	P	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵	۰/۲۰۲	۰/۱۰۶	۰/۰۴۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۱
	شیب	-۰/۰۶۷	-۰/۰۶۸	-۰/۰۷۵	-۰/۰۶۰	-۰/۰۱۹	-۰/۰۱۵	-۰/۰۰۹	-۰/۰۱۳	-۰/۰۲۲	-۰/۰۳۴	<۰/۰۰۰۱
آق زبیر	P	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
	شیب	-۰/۱۲۲	-۰/۱۲۹	-۰/۱۲۹	-۰/۱۱۵	-۰/۰۹۳	-۰/۰۷۳	-۰/۰۷۸	-۰/۰۶۳	-۰/۰۵۳	-۰/۱۰۸	-۰/۰۹۳
آق چلی بالا	P	۰/۷۵۰	۰/۶۱۲	۰/۳۷۸	۰/۳۹۱	۱/۰۰۰	۰/۹۲۹	۰/۹۵۷	۰/۹۲۹	۰/۶۳۰	۰/۹۱۵	۰/۸۰۳
	شیب	-۰/۰۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۵
بدرآق	P	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۳۷	۰/۲۲۷	۰/۰۶۶	۰/۰۴۲	۰/۰۱۷	۰/۰۵۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
	شیب	-۰/۰۵۳	-۰/۰۴۱	-۰/۰۵۲	-۰/۰۲۰	-۰/۰۳۰	-۰/۰۳۷	-۰/۰۴۶	-۰/۰۳۹	-۰/۰۵۲	-۰/۰۵۳	-۰/۰۵۰
بی بی شیروان	P	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
	شیب	۰/۱۵۳	۰/۱۴۳	۰/۱۳۴	۰/۱۲۴	۰/۱۲۸	۰/۱۳۴	۰/۱۳۷	۰/۱۴۸	۰/۱۵۷	۰/۱۶۲	۰/۱۵۸
چانی بوئین گنبد	P	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶	۰/۰۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵
	شیب	۰/۰۴۳	۰/۰۴۴	۰/۰۴۷	۰/۰۴۶	۰/۰۵۰	۰/۰۴۸	۰/۰۵۲	۰/۰۵۴	۰/۰۶۰	۰/۰۵۰	۰/۰۵۳
چن سبلی	P	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۲۰۲	۰/۱۹۰	۰/۳۴۱	۰/۳۳۳	۰/۰۸۶
	شیب	-۰/۰۳۳	-۰/۰۴۳	-۰/۰۴۷	-۰/۰۴۲	-۰/۰۳۸	-۰/۰۲۶	-۰/۰۲۰	-۰/۰۱۹	-۰/۰۱۸	-۰/۰۱۴	-۰/۰۲۹
عطا آباد	P	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
	شیب	-۰/۰۵۵	-۰/۰۴۶	-۰/۰۳۸	-۰/۰۳۶	-۰/۰۴۴	-۰/۰۵۱	-۰/۰۵۱	-۰/۰۶۷	-۰/۰۷۹	-۰/۰۷۶	-۰/۰۶۳
آزادشهر	P	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	شیب	-۰/۲۱۶	-۰/۱۸۱	-۰/۱۶۷	-۰/۱۲۸	-۰/۱۵۴	-۰/۱۹۵	-۰/۱۹۹	-۰/۱۸۰	-۰/۱۷۷	-۰/۱۸۲	-۰/۱۹۳
بهبهک شیب موسی	P	۰/۰۴۷	۰/۰۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۳۲۹	۰/۳۰۲	۰/۵۲۴	۰/۲۸۶	۰/۲۶۲	۰/۱۹۹
	شیب	-۰/۰۰۹	-۰/۰۲۸	-۰/۰۳۷	-۰/۰۳۳	-۰/۰۲۶	-۰/۰۱۵	-۰/۰۱۸	-۰/۰۰۸	-۰/۰۱۰	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۷
بلوچ آبادفرد چمن	P	۰/۰۴۰	۰/۰۷۲	۰/۰۹۳	۰/۱۱۶	۰/۰۱۹	۰/۰۳۲	۰/۰۲۲	۰/۱۵۸	۰/۱۵۳	۰/۳۵۹	۰/۴۶۵
	شیب	-۰/۰۴۲	-۰/۰۲۹	-۰/۰۳۰	-۰/۰۳۵	-۰/۰۳۷	-۰/۰۳۳	-۰/۰۲۵	-۰/۰۱۷	-۰/۰۲۶	-۰/۰۲۰	-۰/۰۱۸
بازگبر	P	۰/۰۶۹	۰/۳۸۲	۰/۰۷۴	۰/۱۰۴	۰/۰۶۳	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۲۶	۰/۱۶۸
	شیب	۰/۰۲۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱۷	۰/۰۳۰	۰/۰۳۷	۰/۰۲۶	۰/۰۳۸	۰/۰۴۴	۰/۰۵۳	۰/۰۴۴	۰/۰۳۷

جدول ۳. Pvalue و شیب روند داده‌های تراز آب ماهانه چاه‌های کم عمق حوضه آبریز گرگانرود (ادامه)

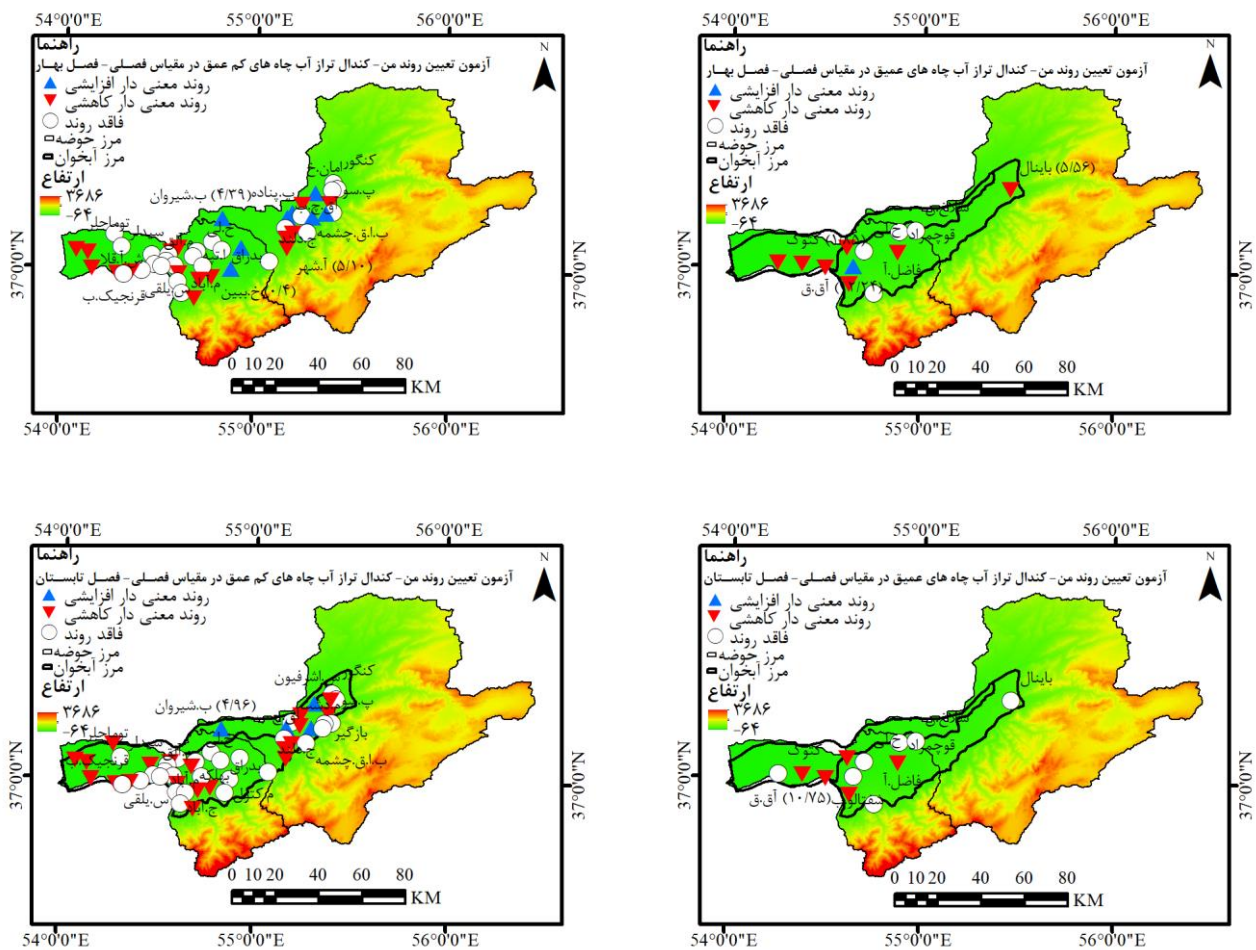
ایستگاه	شهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
جهان آباد	P	۰/۰۰۷	۰/۰۳۰	۰/۰۳۲	۰/۰۶۱	۰/۱۲۱	۰/۱۹۱	۰/۴۸۶	۰/۸۴۷	۰/۶۳۴	۰/۸۳۸	۰/۰۳۰
	شیب	-۰/۰۳۰	-۰/۰۲۵	-۰/۰۲۷	-۰/۰۲۸	-۰/۰۲۷	-۰/۰۲۹	-۰/۰۱۲	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۵	-۰/۰۳۵
اداره آب گنبد	P	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۲۶	۰/۶۲۲	۰/۴۰۰
	شیب	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۳۳	۰/۰۳۰	۰/۰۳۴	۰/۰۳۲	۰/۰۳۹	۰/۰۲۴	۰/۰۱۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹
گمیشان	P	۰/۸۹۲	۰/۸۲۶	۰/۴۷۵	۰/۹۵۷	۰/۶۶۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۵۶
	شیب	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۶	-۰/۰۲۶	-۰/۰۲۵	-۰/۰۲۸	-۰/۰۲۰	-۰/۰۱۵	-۰/۰۱۵
قرنچیک بزرگ	P	۰/۸۷۲	۰/۴۰۲	۰/۰۸۷	۰/۶۰۵	۰/۹۵۷	۰/۷۷۵	۰/۲۴۶	۰/۰۶۹	۰/۳۰۹	۰/۴۸۶	۰/۶۹۲
	شیب	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۸	-۰/۰۱۰	-۰/۰۱۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶	۰/۰۲۰	۰/۰۳۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰
جنگل دلند	P	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۳۰	۰/۰۶۱	۰/۱۲۱	۰/۱۹۱	۰/۴۸۶	۰/۸۴۷	۰/۶۳۴	۰/۸۳۸	۰/۰۳۰
	شیب	-۰/۰۲۵	-۰/۰۳۰	-۰/۰۲۷	-۰/۰۲۸	-۰/۰۲۷	-۰/۰۲۹	-۰/۰۱۲	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۵	-۰/۰۳۵
جنگل قرق	P	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
	شیب	-۰/۵۱۳	-۰/۵۴۲	-۰/۵۲۵	-۰/۵۴۷	-۰/۵۵۸	-۰/۵۲۵	-۰/۵۶۴	-۰/۵۷۰	-۰/۵۷۳	-۰/۵۷۱	-۰/۵۵۵
کوچک خرطوم	P	۰/۰۷۴	۰/۲۶۹	۰/۰۳۳	۰/۰۸۶	۰/۰۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲
	شیب	۰/۰۱۴	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱۸	۰/۰۲۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۵	۰/۰۴۴	۰/۰۳۷	۰/۰۲۷
خانابین	P	۰/۱۸۹	۰/۰۷۲	۰/۱۶۵	۰/۰۳۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۰	۰/۰۶۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴	۰/۰۳۲	۰/۰۸۸
	شیب	۰/۰۲۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۷	۰/۰۲۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۹	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲
خیوه لی	P	۰/۶۶۶	۰/۳۲۸	۰/۵۹۹	۰/۰۲۷	۰/۵۲۶	۰/۵۹۹	۰/۶۲۶	۰/۸۹۵	۰/۹۲۵	۰/۶۹۲	۰/۹۰۱
	شیب	-۰/۰۰۶	-۰/۰۱۷	-۰/۰۰۸	-۰/۰۲۵	-۰/۰۱۰	-۰/۰۱۰	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵	-۰/۰۱۰	-۰/۰۰۲
کنگور	P	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۵۲۹	۰/۳۳۱	۰/۱۹۰	۰/۵۴۰	۰/۳۲۴	۰/۱۷۴	۰/۸۴۷	۰/۴۱۴	۰/۶۶۶
	شیب	-۰/۰۴۳	-۰/۰۴۲	-۰/۰۳۱	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۸	-۰/۰۱۲	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۳
توماچلر	P	۰/۴۰۰	۰/۲۲۴	۰/۹۴۴	۰/۸۳۳	۰/۸۷۷	۰/۷۴۱	۰/۵۸۸	۰/۸۸۴	۰/۸۸۴	۰/۲۸۸	۰/۸۸۹
	شیب	-۰/۰۰۶	-۰/۰۱۲	-۰/۰۱۲	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۱
جنوب بصیر آباد	P	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲۸	۰/۰۰۹	۰/۰۱۱
	شیب	-۰/۰۳۱	-۰/۰۳۲	-۰/۰۳۴	-۰/۰۳۲	-۰/۰۳۶	-۰/۰۳۶	-۰/۰۳۳	-۰/۰۳۱	-۰/۰۳۱	-۰/۰۲۰	-۰/۰۲۴
جنوب اسماعیل آباد	P	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
	شیب	-۰/۳۰۱	-۰/۲۹۳	-۰/۲۹۰	-۰/۲۷۳	-۰/۲۴۲	-۰/۲۵۰	-۰/۱۸۷	-۰/۱۸۳	-۰/۱۶۱	-۰/۲۲۳	-۰/۲۱۱
پشمک تقموش	P	۰/۰۰۰	۰/۰۶۳	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
	شیب	-۰/۱۸۰	-۰/۱۱۴	-۰/۱۵۴	-۰/۲۹۰	-۰/۳۱۶	-۰/۳۲۰	-۰/۳۱۷	-۰/۲۹۹	-۰/۲۹۳	-۰/۲۹۵	-۰/۲۸۰
قره بلاغ	P	۰/۰۱۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۲۳	۰/۰۵۱	۰/۰۷۵	۰/۰۲۷	۰/۰۳۹	۰/۰۲۰	۰/۰۳۲
	شیب	-۰/۰۵۱	-۰/۰۴۴	-۰/۰۶۰	-۰/۰۵۴	-۰/۰۵۴	-۰/۰۵۱	-۰/۰۵۰	-۰/۰۵۵	-۰/۰۴۶	-۰/۰۵۲	-۰/۰۴۸
قونلی	P	۰/۵۶۳	۱/۰۰۰	۰/۵۹۹	۰/۰۳۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۹	۰/۱۶۹
	شیب	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۲۰	۰/۰۱۸	۰/۰۲۰	۰/۰۱۹	۰/۰۲۶	۰/۰۱۲

جدول ۳. Pvalue و شیب روند داده‌های تراز آب ماهانه چاه‌های کم عمق حوضه آبریز گرگانرود (ادامه)

شهرنور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	ایستگاه
	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	صحنه سفلی
	۰/۰۹۴	۰/۰۷۹	۰/۰۹۵	۰/۰۹۲	۰/۰۹۹	۰/۰۹۴	۰/۱۰۱	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۹۳	۰/۰۸۸	P
	۰/۴۷۵	۰/۷۸۴	۰/۴۵۳	۰/۵۹۹	۰/۷۵۰	۰/۶۸۸	۰/۹۲۵	۰/۶۸۰	۰/۸۰۷	۰/۶۸۰	۰/۹۲۵	P
	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	شیب
	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	۰/۰۸۳	P
	۰/۰۸۳	۰/۱۱۰	۰/۱۱۳	۰/۱۱۳	۰/۱۱۰	۰/۱۱۳	۰/۰۹۷	۰/۰۸۲	۰/۰۵۸	۰/۰۵۶	۰/۰۴۸	شیب
	۰/۳۱۸	۰/۱۰۱	۰/۰۶۶	۰/۰۶۲	۰/۰۵۱	۰/۰۷۴	۰/۰۸۱	۰/۰۵۶	۰/۳۲۹	۰/۶۴۹	۰/۷۰۷	P
	۰/۰۱۶	۰/۰۲۷	۰/۰۲۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱۴	۰/۰۲۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	شیب
	۰/۴۱۶	۰/۵۱۴	۰/۸۵۱	۰/۸۵۱	۰/۲۱۹	۰/۱۱۳	۰/۵۴۵	۰/۰۶۹	۰/۱۲۸	۰/۳۳۳	۰/۰۴۸	P
	۰/۰۱۵	۰/۰۱۷	۰/۰۲۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۲۹	۰/۰۱۴	۰/۰۴۱	۰/۰۴۳	۰/۰۲۲	۰/۰۴۴	شیب
	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	P
	۰/۱۹۳	۰/۱۵۶	۰/۱۰۳	۰/۱۱۱	۰/۱۱۹	۰/۱۵۰	۰/۱۵۷	۰/۱۷۶	۰/۲۴۷	۰/۱۵۰	۰/۲۱۵	شیب
	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	P
	۰/۱۵۴	۰/۱۳۶	۰/۱۵۲	۰/۱۵۰	۰/۱۵۵	۰/۱۴۰	۰/۱۳۷	۰/۱۳۱	۰/۱۲۷	۰/۱۶۰	۰/۱۶۵	شیب
	۰/۶۳۴	۰/۵۴۰	۰/۶۸۳	۰/۸۵۰	۰/۲۲۲	۰/۴۴۴	۰/۳۹۱	۰/۸۸۶	۰/۷۳۵	۰/۵۴۴	۰/۱۴۳	P
	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰	شیب
	۰/۱۸۷	۰/۳۷۲	۰/۴۸۸	۰/۲۵۲	۰/۲۰۹	۰/۲۸۵	۰/۲۴۵	۰/۲۶۰	۰/۴۳۱	۰/۱۶۹	۰/۱۴۳	P
	۰/۰۲۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	۰/۰۱۸	۰/۰۱۰	۰/۰۱۹	۰/۰۲۱	شیب
	۰/۹۱۹	۰/۰۹۷	۰/۰۹۹	۰/۰۰۷	۰/۴۹۶	۰/۸۱۷	۰/۷۴۸	۱/۰۰۰	۰/۸۲۵	۰/۶۹۴	۰/۵۷۵	P
	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	شیب
	۰/۱۷۶	۰/۰۲۲	۰/۰۵۶	۰/۰۱۱	۰/۰۱۸	۰/۰۱۲	۰/۰۵۶	۰/۰۰۲	۰/۰۲۸	۰/۱۸۷	۰/۰۶۶	P
	۰/۰۱۷	۰/۰۲۷	۰/۰۳۷	۰/۰۵۱	۰/۰۴۷	۰/۰۴۳	۰/۰۲۱	۰/۰۳۰	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱۹	شیب
	۰/۰۷۲	۰/۰۵۳	۰/۱۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۳۴	۰/۰۵۶	۰/۰۴۵	۰/۱۱۵	۰/۱۶۵	۰/۰۲۲	۰/۰۱۵	P
	۰/۰۴۲	۰/۰۳۵	۰/۰۲۷	۰/۰۶۸	۰/۰۶۳	۰/۰۶۱	۰/۰۵۶	۰/۰۵۹	۰/۰۳۷	۰/۰۵۲	۰/۰۵۳	شیب
	۰/۱۲۲	۰/۲۱۲	۰/۲۴۸	۰/۲۱۲	۰/۱۶۸	۰/۱۷۴	۰/۳۰۰	۰/۲۰۵	۰/۳۵۰	۰/۲۸۴	۰/۳۸۶	P
	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۰۲۰	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	شیب
	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۴۳۴	۰/۰۹۹	۰/۳۲۴	۰/۲۸۴	۰/۶۸۱	۰/۰۹۲	۰/۱۱۰	۰/۰۰۱	P
	۰/۰۲۸	۰/۰۳۷	۰/۰۲۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۳۳	شیب
	۰/۱۵۸	۰/۰۵۰	۰/۳۲۹	۰/۸۹۶	۰/۷۲۶	۰/۵۹۹	۰/۷۷۶	۰/۵۰۲	۰/۶۵۳	۰/۱۶۵	۰/۵۷۴	P
	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۲۲	۰/۰۰۷	شیب
	۰/۰۶۲	۰/۰۳۰	۰/۰۵۷	۰/۰۵۵	۰/۰۳۷	۰/۰۵۲	۰/۰۵۴	۰/۰۵۶	۰/۰۲۴	۰/۰۸۷	۰/۰۸۰	P
	۰/۰۰۵۶	۰/۰۶۸	۰/۰۵۲	۰/۰۵۴	۰/۰۵۵	۰/۰۶۳	۰/۰۵۴	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۸	۰/۰۶۱	شیب
	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۴۹۷	۰/۵۲۲	۰/۳۸۸	۰/۶۲۹	۰/۶۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰	P
	۰/۱۱۷	۰/۱۴۳	۰/۱۵۶	۰/۰۷۴	۰/۰۴۱	۰/۰۲۲	۰/۰۲۷	۰/۰۱۸	۰/۰۱۶	۰/۰۶۳	۰/۰۸۵	شیب
	۰/۷۰۸	۰/۳۳۰	۰/۶۲۵	۰/۹۵۵	۰/۹۲۵	۰/۸۹۵	۰/۶۹۴	۰/۷۵۰	۰/۳۹۸	۰/۴۶۴	۰/۵۴۸	P
	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	شیب



شکل ۲. آزمون تعیین روند من کندال تراز آب چاه های کم عمق و عمیق حوضه آبریز گرگنرود در مقیاس فصلی و سالانه



شکل ۲. آزمون تعیین روند من کندانال تراز آب چاه‌های کم عمق و عمیق حوضه آبریز گرگانرود در مقیاس فصلی و سالانه (ادامه شکل ۲)

### آزمون روند در سری‌های تراز آب چاه‌های عمیق حوضه آبریز گرگانرود

مقادیر شیب خط روند ( $\beta$ ) و سطح معنی‌داری (P) تراز آب ماهانه چاه‌های عمیق حوضه آبریز گرگانرود در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به مقادیر درج شده در این جدول می‌توان نتیجه گرفت که مقدار تراز آب چاه در هشت چاه از ۱۲ چاه عمیق مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار کاهشی در سطح ۵ درصد بودند و شدیدترین روند کاهشی مربوط آبان ماه و چاه باینال به میزان ۳۶/۲۵ متر بود. همچنین دو چاه سلاخ نوری و شفتالوباغ دارای روند معنی‌دار افزایشی تراز آب در سطح ۵ درصد بودند. در همین راستا چاه شفتالوباغ در آبان ماه بیشترین تغییر در تراز آب را به میزان ۲۴/۷۴ متر

میزان ۱۴/۶۴- متر بود. ۲۴ چاه از ۴۹ چاه کم عمق موجود در منطقه فاقد روند معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند. در فصل تابستان، چاه‌های بی‌بی‌شیروان، چایی بویین گنبد، قوینلی و سارجه‌کر دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح ۵ درصد بودند. بیشترین روند افزایشی مربوط به چاه بی‌بی‌شیروان به میزان ۴/۹۶+ متر بود. ۲۰ چاه از ۴۹ چاه مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار کاهشی در سطح ۵ درصد بودند. در همین راستا شدیدترین روند کاهشی تراز آب مربوط به چاه جنگل قرق به میزان ۱۵/۶۲- متر بود. ۲۵ چاه از ۴۹ چاه کم عمق مورد مطالعه فاقد روند معنی‌دار افزایش یا کاهشی در سطح ۵ درصد بودند (جدول ۳).

جدول ۴. P-value و شیب روند داده‌های تراز آب ماهانه چاه‌های عمیق حوضه آبریز گرگانرود

شهرنور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	ایستگاه
	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	P
	-0/499	-0/500	-0/543	-0/556	-0/573	-0/603	-0/605	-0/664	-0/644	-0/559	-0/543	شیب
	0/006	0/010	0/001	<0/0001	0/000	0/000	0/000	0/001	0/006	<0/0001	0/001	P
	-0/937	-0/168	-0/182	-0/318	-0/323	-0/400	-0/540	-0/912	-1/148	-1/208	-1/044	شیب
	0/008	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	0/003	<0/0001	0/001	P
	-0/361	-0/673	-0/870	-0/810	-0/942	-1/066	-1/022	-1/044	-0/522	-0/502	-0/352	شیب
	0/592	0/552	0/310	0/412	0/329	0/800	0/212	0/212	1/000	0/352	0/910	P
	0/420	-0/045	-0/613	-0/478	-0/686	-0/621	-0/553	-0/444	0/000	0/544	-0/051	شیب
	0/005	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	0/000	0/009	0/044	0/206	P
	-0/268	-0/180	-0/240	-0/324	-0/428	-0/436	-0/528	-0/489	-0/322	-0/276	-0/244	شیب
	0/028	0/112	0/071	0/048	0/055	0/159	0/062	0/071	0/071	0/018	0/019	P
	-0/093	-0/063	-0/083	-0/089	-0/082	-0/086	-0/090	-0/093	-0/096	-0/100	-0/101	شیب
	0/538	0/381	0/675	0/552	0/600	0/441	0/780	0/362	0/276	0/675	0/827	P
	0/148	0/208	-0/042	-0/091	-0/070	-0/211	-0/140	-0/260	-0/211	-0/175	0/102	شیب
	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	P
	-0/572	-0/612	-0/578	-0/591	-0/596	-0/622	-0/622	-0/610	-0/582	-0/526	-0/472	شیب
	0/000	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	P
	-0/411	-0/402	-0/455	-0/525	-0/598	-0/593	-0/581	-0/675	-0/618	-0/572	-0/526	شیب
	0/370	0/581	0/806	0/800	0/705	0/649	0/752	0/162	0/013	0/021	0/012	P
	0/196	-0/031	-0/018	0/015	0/042	0/048	0/025	0/278	0/652	0/712	0/651	شیب
	0/024	0/855	0/080	0/327	0/097	0/075	0/020	0/050	0/005	<0/0001	0/000	P
	0/295	0/111	0/208	0/224	0/220	0/263	0/379	0/401	0/582	0/825	0/576	شیب
	0/820	0/770	1/000	0/362	0/227	0/675	0/972	0/824	0/441	0/362	0/806	P
	-0/006	0/004	0/001	-0/019	-0/025	-0/006	0/002	-0/002	0/021	0/022	-0/002	شیب

آق‌قبر، چن‌سبلی، گوزن‌فارس، کوچک‌استاجیق و قانقرمه دارای روند معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند. در همین راستا چاه چن‌سبلی شدیدترین کاهش تراز آب به میزان  $11/80$  متر را به خود اختصاص داد. چاه‌های باینال، فاضل‌آباد، کتوک، خیه‌ولی، قوچمراد، سلاخ‌نوری و شفتالوباغ فاقد روند معنی‌دار افزایشی یا کاهش‌ی در سطح معنی‌داری ۵ درصد بودند (شکل ۲).

### آزمون شناسایی نقطه تغییر در سری‌های تراز آب چاه‌های کم‌عمق حوضه آبریز گرگانرود

روش‌های SNHT، Pettitt، Buishand در بررسی همگنی سری داده‌ها، زمان بروز جهش یا زمان معنادار شدن میزان تغییر را محاسبه و معرفی می‌کنند. از این آزمون‌ها برای بررسی همگنی سری داده‌های تراز آب چاه با استفاده از امکانات موجود در افزونه XLSTAT استفاده شد. در هر آزمون فرض جایگزین، وجود یک نقطه جهش در میانگین سری است که در نتیجه معنی‌دار شدن فرض، تاریخ وقوع جهش مشخص و سری داده‌ها به دو بازه زمانی دارای میانگین‌های متفاوت تفکیک می‌شود. نتایج آزمون نقطه تغییر روی سری‌های مورد مطالعه بیانگر آن است که در تعدادی از سری‌های مورد مطالعه تغییرات ناگهانی معنی‌دار به وقوع پیوسته است. تغییرات ناگهانی منفی در سری‌های زمانی بیشتر چاه‌ها دیده شده است.

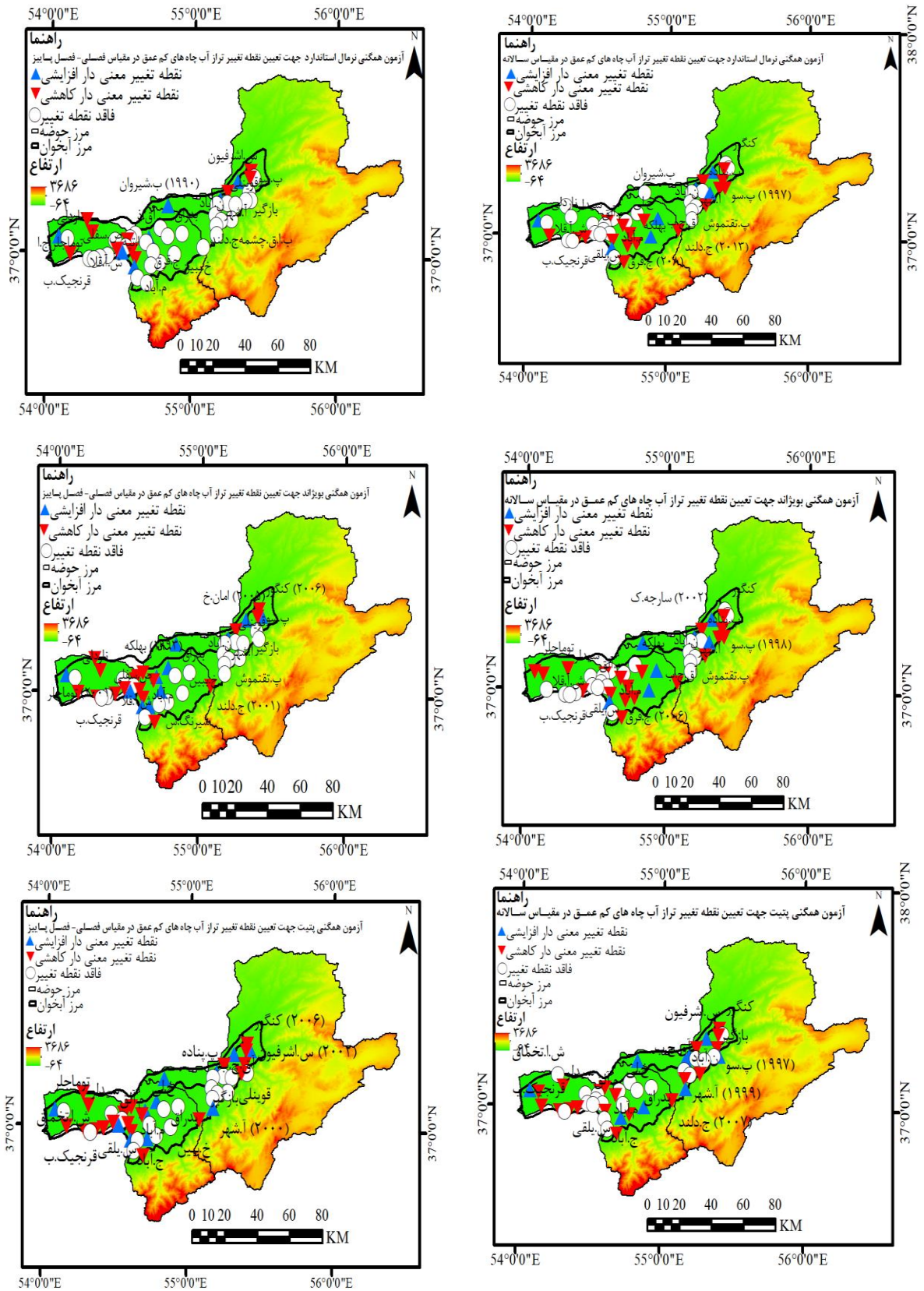
### نقطه تغییر معنی‌دار در تراز آب ماهانه چاه‌های کم‌عمق منطقه مطالعاتی

نتایج بررسی‌ها در مقیاس ماهانه نشان داد که داده‌های تراز آب در اکثر چاه‌ها توسط هر سه آزمون پتیت، نرمال‌استاندارد و بویژاند ناهمگن شناخته شدند و جهش ناگهانی در داده‌ها در سال‌های مختلف دیده شد. به‌طورکلی تعداد تغییرات کاهش‌ی در تراز آب چاه‌های مورد مطالعه، به‌طور معنی‌داری بیشتر از تغییرات افزایشی بوده و بیشتر در بازه زمانی ۱۳۸۶-۱۳۸۱ و ۱۳۷۹-۱۳۷۵ اتفاق افتاده است.

به خود اختصاص داده بود. چاه‌های فاضل‌آباد و خیه‌ولی فاقد روند معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند.

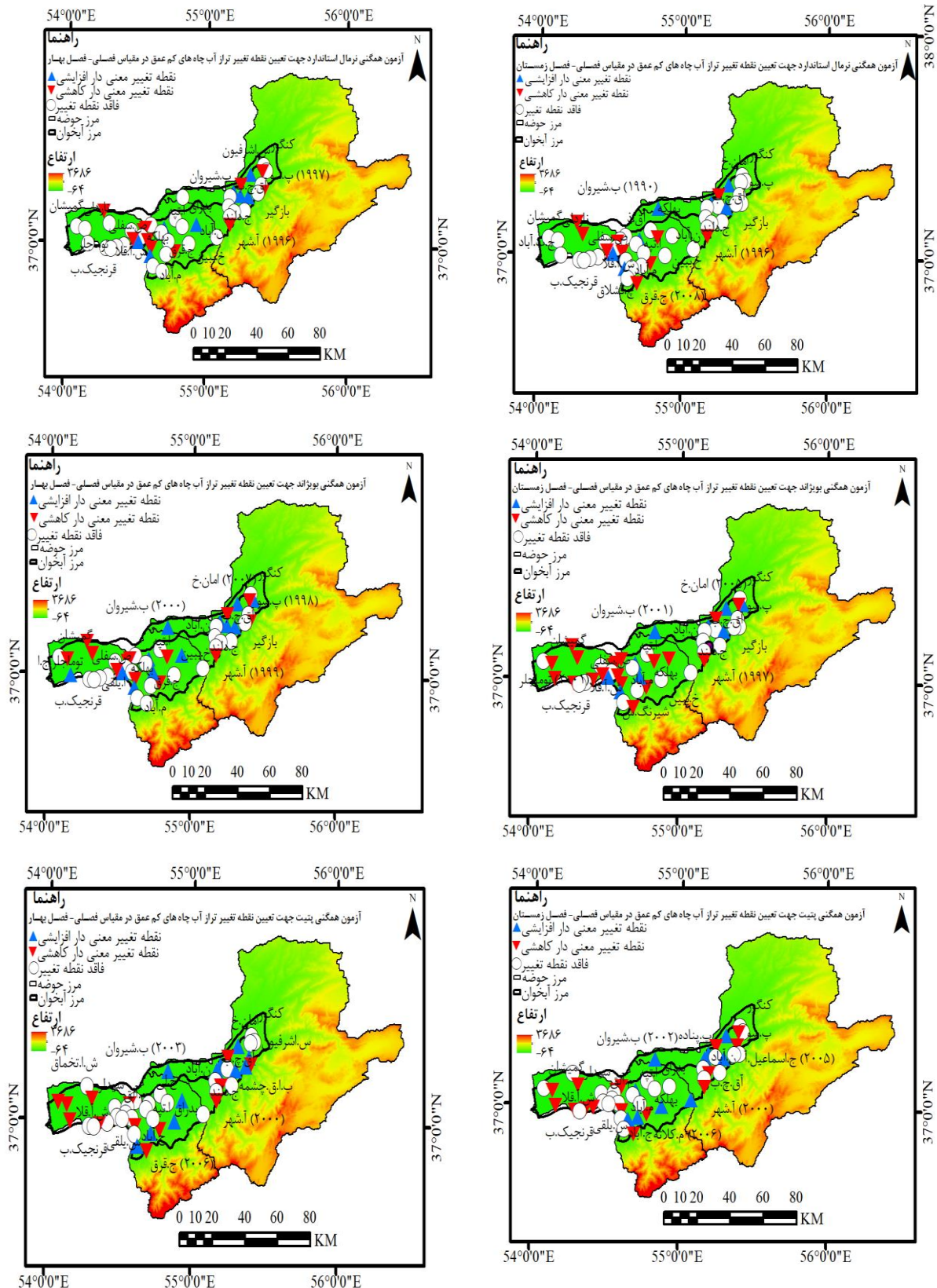
در مقیاس سالانه، تراز آب چاه در هفت چاه چن‌سبلی، باینال، آق‌قبر، کوچک‌استاجیق، قانقرمه، گوزن‌فارس و کتوک دارای روند معنی‌دار کاهش‌ی در سطح ۵ درصد بودند. شدیدترین کاهش تراز آب مربوط به چاه چن‌سبلی به میزان  $21/13$  متر بود. در همین راستا چاه شفتالوباغ با میزان تراز آب  $10/46$  متر بیشترین روند افزایشی را در مقیاس سالانه به خود اختصاص داد. از ۱۲ چاه عمیق موجود در منطقه چهار چاه خیه‌ولی، فاضل‌آباد، قوچمراد و سلاخ‌نوری فاقد روند معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند (شکل ۳).

در مقیاس فصلی، در فصل پاییز چاه‌های سلاخ‌نوری و شفتالوباغ دارای روند معنی‌دار افزایشی بودند. همچنین چاه‌های آق‌قبر، چن‌سبلی، کتوک، کوچک‌استاجیق و قانقرمه دارای روند معنی‌دار کاهش‌ی بودند و شدیدترین کاهش مربوط به چاه آق‌قبر به میزان  $13$  متر بود. در همین راستا چاه‌های باینال، فاضل‌آباد، گوزن‌فارس، خیه‌ولی و قوچمراد فاقد روند معنی‌دار بودند. در فصل زمستان از بین ۱۲ چاه عمیق مورد مطالعه فقط چاه سلاخ‌نوری دارای روند معنی‌دار افزایشی به میزان  $6/36$  متر بود. چاه‌های آق‌قبر، چن‌سبلی، گوزن‌فارس، کوچک‌استاجیق و قانقرمه دارای روند معنی‌دار کاهش‌ی بوده و چاه چن‌سبلی با میزان تراز  $24/78$  متر شدیدترین کاهش تراز آب را در فصل زمستان به خود اختصاص داده است. چاه‌های باینال، فاضل‌آباد، کتوک، خیه‌ولی، قوچمراد و شفتالوباغ فاقد روند معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند. در فصل بهار، از بین ۱۲ چاه عمیق مورد مطالعه فقط چاه شفتالوباغ دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح ۵ درصد به میزان  $4/65$  متر بود. چاه‌های آق‌قبر، باینال، چن‌سبلی، گوزن‌فارس، کتوک، کوچک‌استاجیق و قانقرمه دارای روند معنی‌دار کاهش‌ی بودند و شدیدترین کاهش مربوط به چاه چن‌سبلی به میزان  $18/21$  متر بود. چاه‌های فاضل‌آباد، خیه‌ولی، قوچمراد و سلاخ‌نوری فاقد روند معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند. در فصل تابستان، هیچ‌کدام از چاه‌های مورد مطالعه روند معنی‌دار افزایشی در تراز آب نشان ندادند. چاه‌های



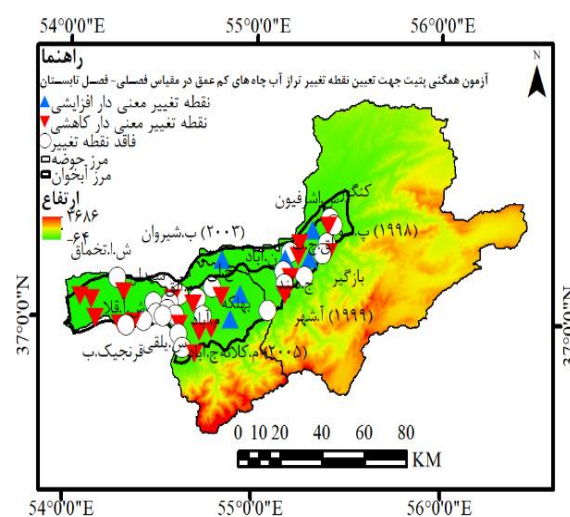
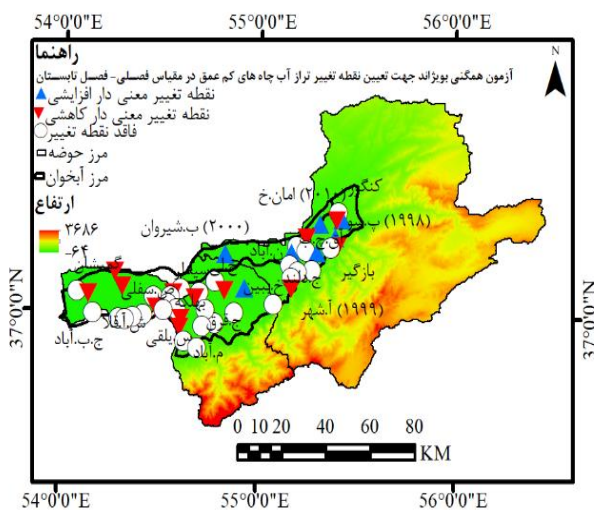
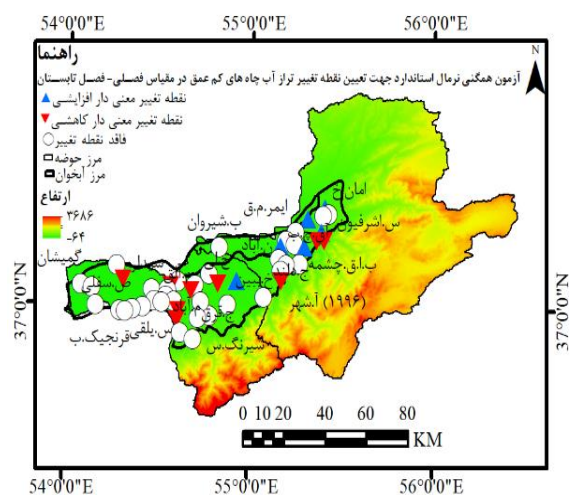
شکل ۳. آزمون‌های همگنی پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند تراز آب چاه‌های کم عمق حوضه آبریز گرگانود در مقیاس فصلی و سالانه





شکل ۳. آزمون‌های همگنی پیتیت، نرمال استاندارد و بویژاند تراز آب چاه‌های کم عمق حوضه آبریز گرگانرود در مقیاس فصلی و سالانه

(ادامه شکل ۳)



شکل ۳. آزمون‌های همگنی پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند تراز آب چاه‌های کم عمق حوضه آبریز گرگانرود در مقیاس فصلی و سالانه (ادامه شکل ۳)

توسط هر سه آزمون پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند ناهمگن شناخته شدند. در فصل پاییز طبق آزمون‌های همگنی پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند بیشترین تغییرات افزایشی معنی‌دار تراز آب در سطح ۵ درصد به ترتیب مربوط به چاه‌های پرسه سو، سقریلقی و سقریلقی در سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۶۸ و ۱۳۷۹ بود. در همین راستا شدیدترین تغییرات کاهش تراز آب مربوط به چاه‌های توماجلر، محمد آلق و شمال آلتین تخماق در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۶۸ و ۱۳۶۸ بود. در همین راستا در فصل زمستان، طبق آزمون‌های همگنی پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند بیشترین تغییرات معنی‌دار افزایشی تراز آب به ترتیب مربوط به چاه‌های بی‌بی‌شیروان، سقریلقی و سقریلقی در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۶۸ و ۱۳۶۸ بود. همین‌طور شدیدترین تغییرات کاهش تراز آب مربوط به چاه‌های صحنه سفلی محمدآلق و محمدآلق در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۶۸ و ۱۳۶۸ بود. همچنین در فصل بهار، بیشترین تغییرات افزایشی معنی‌دار تراز آب در سطح ۵ درصد مطابق آزمون پتیت در چاه جنوب غربی اسماعیل آباد در سال ۱۳۷۷ و مطابق هر دو آزمون نرمال استاندارد و بویژاند در چاه سقریلقی در سال ۱۳۶۸ اتفاق افتاده است. شدیدترین تغییرات کاهش تراز آب در سطح ۵ درصد مطابق هر دو آزمون پتیت به چاه توماجلر در سال ۱۳۷۹ و مطابق هر دو آزمون نرمال استاندارد و بویژاند در چاه محمد آلق در سال ۱۳۶۸ بود. در فصل تابستان، بیشترین تغییرات افزایشی معنی‌دار تراز آب در سطح ۵ درصد طبق آزمون پتیت مربوط به چاه خانبین در سال ۱۳۸۰ و مطابق هر دو آزمون نرمال استاندارد و بویژاند در چاه جنوب غربی اسماعیل آباد در سال ۱۳۷۱ بود. در این فصل، شدیدترین تغییرات کاهش تراز آب در سطح ۵ درصد، طبق روش پتیت مربوط به چاه توماجلر در سال ۱۳۷۸ و مطابق دو روش دیگر مربوط به چاه جهان‌آباد در سال ۱۳۸۴ بود. طبق نتایج به دست آمده بیشتر تغییرات فصلی مربوط به آزمون همگنی پتیت در بازه زمانی ۱۳۷۸-۱۳۸۵ اتفاق افتاده است. بیشتر تغییرات فصلی مربوط به آزمون نرمال استاندارد در بازه زمانی ۱۳۶۸-۱۳۷۴ اتفاق افتاده است. بیشتر تغییرات فصلی مربوط به آزمون همگنی بویژاند در بازه زمانی ۱۳۷۸-۱۳۸۵ اتفاق افتاده است.

### نقطه تغییر معنی‌دار در تراز آب سالانه چاه‌های کم‌عمق منطقه مطالعاتی

نتایج بررسی‌ها در مقیاس سالانه نشان داد که داده‌های تراز سالانه در اکثر چاه‌ها توسط هر سه آزمون پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند ناهمگن شناخته شدند و جهش ناگهانی در داده‌ها در سال‌های مختلف دیده شد. طبق نتایج به دست آمده از آزمون همگنی پتیت ۲۱ چاه از ۴۹ چاه کم‌عمق مورد مطالعه دارای نقطه تغییر کاهش در سطح معنی‌داری ۵ درصد بودند. هشت چاه از ۴۹ چاه کم‌عمق مورد مطالعه دارای نقطه تغییر معنی‌دار افزایشی بودند. ۲۰ چاه از مجموع ۴۹ چاه فاقد نقطه تغییر معنی‌دار در تراز آب سالانه بودند. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون همگنی نرمال استاندارد، ۱۸ چاه از ۴۹ چاه کم‌عمق مورد مطالعه دارای تغییرات معنی‌دار کاهش بودند. هفت چاه از ۴۹ چاه دارای تغییرات تراز آب معنی‌دار افزایشی در سطح ۵ درصد بودند. ۲۴ چاه از ۴۹ چاه کم‌عمق مورد مطالعه فاقد نقطه تغییر معنی‌دار در تراز آب بودند. طبق نتایج به دست آمده از آزمون همگنی بویژاند، ۲۱ چاه از مجموع ۴۹ چاه مورد مطالعه دارای نقطه تغییر کاهش معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند. هشت چاه از مجموع ۴۹ چاه کم‌عمق مورد مطالعه دارای نقطه تغییر افزایشی در سطح معنی‌داری ۵ درصد بودند. ۲۰ چاه از ۴۹ چاه مورد مطالعه فاقد نقطه تغییر در سطح معنی‌داری ۵ درصد بودند. طبق نتایج به دست آمده بیشتر تغییرات کاهش در تراز آب چاه‌های کم‌عمق در مقیاس سالانه توسط آزمون پتیت و بویژاند در بازه زمانی ۱۳۸۵-۱۳۷۹ رخ داده است. همین‌طور اکثر تغییرات کاهش در تراز آب سالانه توسط آزمون نرمال استاندارد در بازه زمانی ۱۳۷۶-۱۳۷۰ رخ داده است.

### نقطه تغییر معنی‌دار در تراز آب فصلی چاه‌های کم‌عمق منطقه مطالعاتی

با توجه به نتایج به دست آمده، داده‌های تراز فصلی در اکثر چاه‌ها

### نقطه تغییر معنی دار در تراز آب ماهانه چاه‌های عمیق منطقه مطالعاتی

به جز چهار چاه فاضل آباد، خیوه‌لی، سلاخ نوری و شفتالوباغ که تغییراتی از نوع افزایشی در تراز آب ماهانه داشتند، بقیه چاه‌ها دارای تغییرات کاهش‌ی در اکثر ماه‌ها بودند. شدیدترین مقدار کاهش تراز آب در مقیاس ماهانه مربوط به چاه فاضل آباد در آبان ماه ۱۳۸۹ بود که توسط هر سه آزمون پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند تخمین زده شد. بیشترین تغییرات افزایشی تراز آب مربوط به چاه باینال بود که در شهریور سال ۱۳۸۶ توسط آزمون بویژاند تخمین زده شد. تعداد تغییرات کاهش‌ی در تراز آب چاه‌های مورد مطالعه، به‌طور معنی دار بیشتر از تغییرات افزایشی بود که توسط دو آزمون پتیت و بویژاند در بازه زمانی ۱۳۸۶-۱۳۸۳ و توسط آزمون نرمال استاندارد در بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۸ تخمین زده شد.

### نقطه تغییر معنی دار در تراز آب سالانه چاه‌های عمیق منطقه مطالعاتی

هفت چاه آق‌قبر، باینال، چن سبلی، گوزن فارس، کتوک، کوچک استاجیق و قانقرمه دارای نقطه تغییر کاهش‌ی معنی دار (سطح ۵ درصد) در تراز آب سالانه بودند و چاه‌های فاضل آباد، خیوه‌لی، چن سبلی، سلاخ نوری، شفتالوباغ و قوچمراد فاقد تغییرات معنی دار در تراز آب سالانه بودند. هیچکدام از چاه‌ها در مقیاس سالانه روند افزایشی نداشتند. شدیدترین مقدار کاهش‌ی در تراز آب مربوط به سال ۱۳۸۵ چاه چن سبلی بود، که توسط هر سه آزمون پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند تخمین زده شد (شکل ۴). تعداد تغییرات کاهش‌ی در تراز آب در چاه‌های عمیق مورد مطالعه، بیشتر در بازه زمانی ۱۳۸۸-۱۳۸۵ (پتیت و بویژاند) و ۱۳۸۳-۱۳۸۶ (نرمال استاندارد) قابل مشاهده بود.

### نقطه تغییر معنی دار در تراز آب فصلی چاه‌های عمیق منطقه مطالعاتی

با توجه به نتایج به‌دست آمده، داده‌های تراز آب فصلی در اکثر چاه‌ها توسط سه آزمون پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند ناهمگن شناخته شدند. در فصل پاییز، بیشترین تغییرات معنی دار تراز آب

طبق هر سه آزمون همگنی پتیت، نرمال استاندارد در چاه سلاخ نوری ولی به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۵ اتفاق افتاده است. شدیدترین میزان کاهش در تراز آب مربوط به چاه‌های چن سبلی، آق‌قبر و چن سبلی در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۲ اتفاق افتاده است. تعداد تغییرات کاهش‌ی در چاه‌های مورد مطالعه، به‌طور معنی دار بیشتر از تغییرات افزایشی بوده و بیشتر در بازه زمانی ۱۳۸۸-۱۳۸۵ (آزمون پتیت و بویژاند) و ۱۳۸۶-۱۳۸۳ (نرمال استاندارد) قابل دیدن است.

با توجه به مطالب بررسی شده، فرایند نتیجه‌گیری مناسب از نتایج هم‌زمان سه آزمون پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند را می‌توان به‌صورت زیر عنوان کرد:

- آزمون نرمال استاندارد گرایش به تعیین ناهمگنی در بخش‌های آغازین و پایانی سری زمانی دارد و توانایی آن در تعیین ناهمگنی در کناره‌های بازه است، بنابراین به تنهایی برای تعیین نقطه جهش برآورد دقیقی ندارد.

- آزمون‌های پتیت و بویژاند در بیشتر موارد جواب یکسانی برای محاسبه نقطه ناهمگنی دارند.

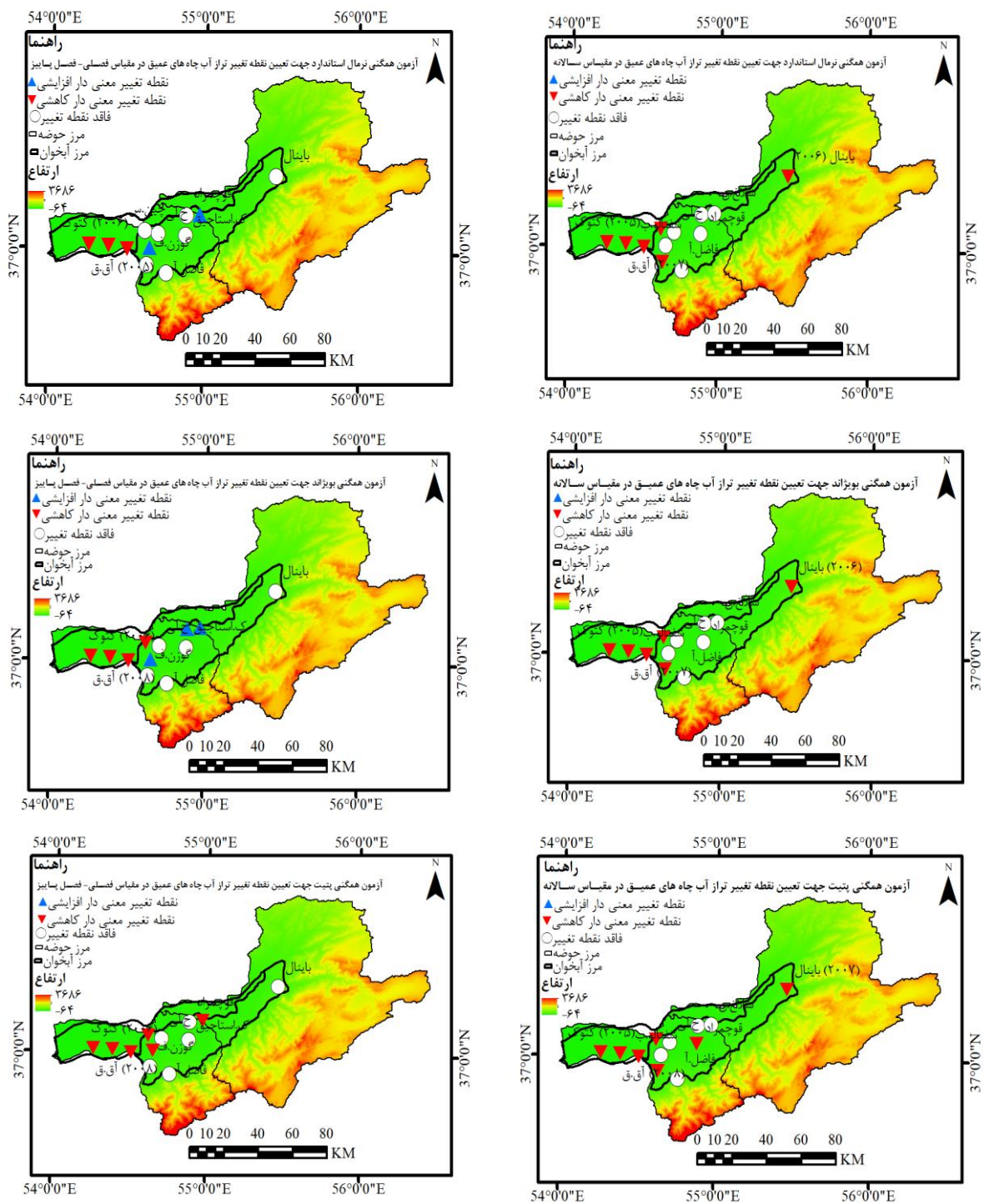
- وقتی هر دو آزمون پتیت و بویژاند گرایش به قسمت میانی بازه دارند، جواب آن‌ها دقت خوبی از تعیین نقطه ناهمگنی داشته ولی معمولاً آزمون نرمال استاندارد در این شرایط از دقت خوبی برخوردار نیست.

- وقتی هر سه آزمون به ابتدای بازه گرایش دارند هر سه تخمین خوبی از نقطه جهش ارائه می‌دهند در حالی که وقتی دو آزمون پتیت و بویژاند به انتهای بازه گرایش پیدا می‌کنند، جواب آزمون نرمال استاندارد را می‌توان به‌عنوان برآورد با دقت خوب در نظر گرفت.

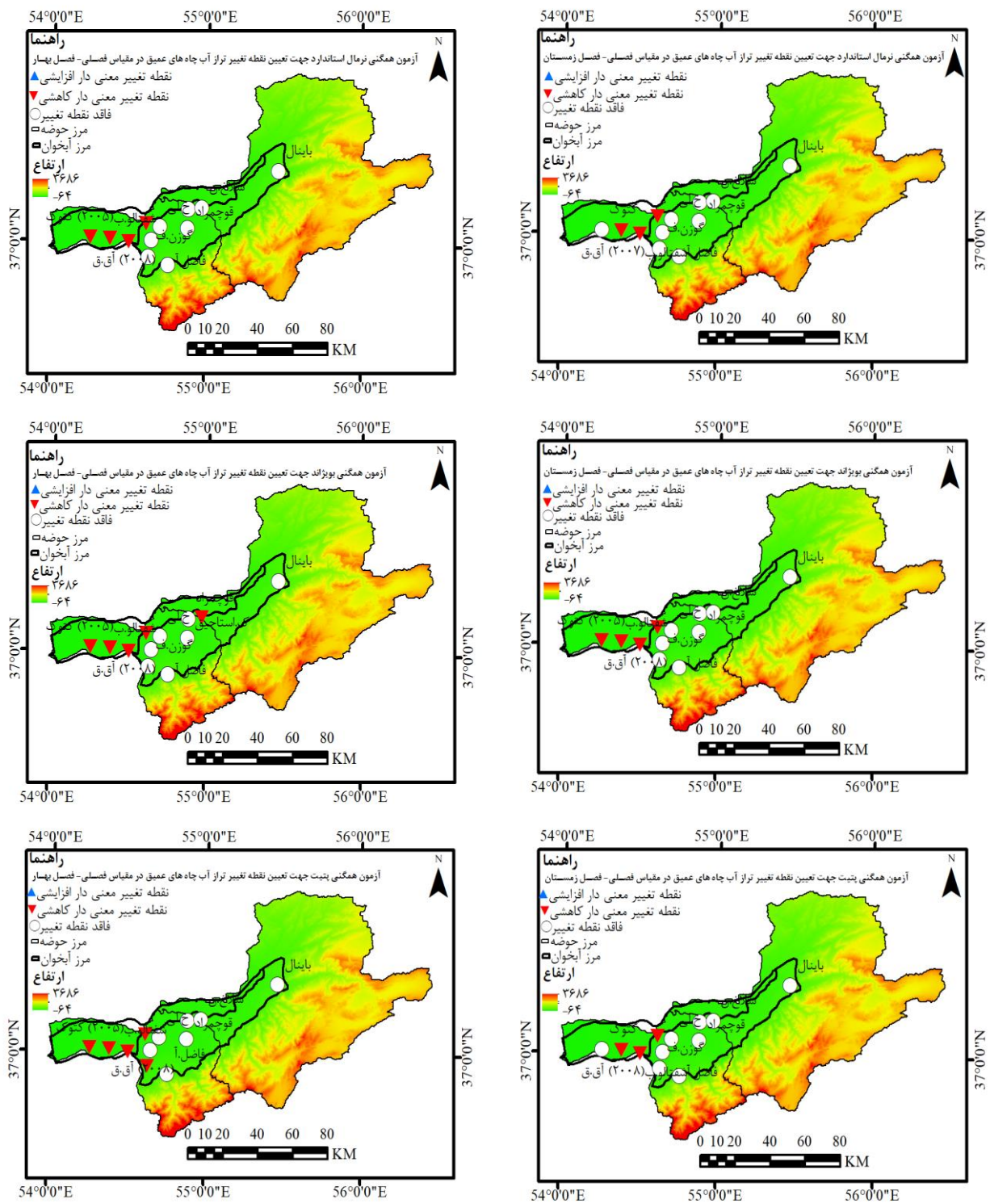
- وقتی هر سه آزمون یک مقدار میانی بازه را به‌عنوان نقطه ناهمگنی محاسبه می‌کنند، نتیجه دقیقی برای نقطه ناهمگن به‌دست می‌آید.

نتایج کلی به‌دست آمده از این مطالعه را می‌توان به شکل موردی زیر بیان کرد:

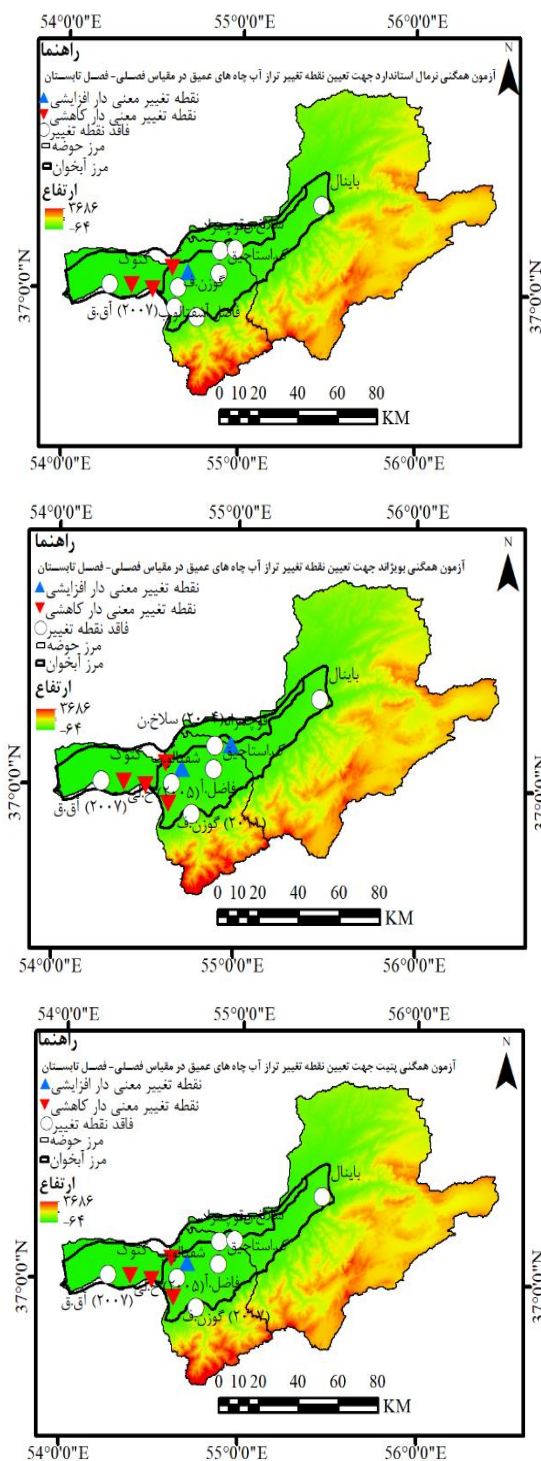
- استفاده از نتایج هم‌زمان آزمون‌های روند در شناسایی دقیق‌تر روند کاهش‌ی و افزایشی در داده‌های دبی مؤثرتر است.



شکل ۴. آزمون‌های همگنی پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند تراز آب چاه‌های عمیق حوضه آبریز گرگانرود در مقیاس فصلی و سالانه



شکل ۴. آزمون‌های همگنی پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند تراز آب چاه‌های عمیق حوضه آبریز گرگانود در مقیاس فصلی و سالانه (ادامه شکل ۴)



شکل ۴. آزمون‌های همگنی پتیت، نرمال استاندارد و بویژاند تراز آب چاه‌های عمیق حوزه آبریز گرگانرود در مقیاس فصلی و سالانه

(ادامه شکل ۴)

روش‌های استفاده شده ممکن است نتوانند از جهش‌های رخ داده تصویر یکسان و درستی ارائه کنند. استفاده از نتایج همزمان

- اتکا به نتایج آزمون در تحلیل نقاط رخداد جهش در سری کافی نیست و با توجه به الگوریتم‌های محاسباتی هر روش،

آزمون‌ها در شناسایی زمان دقیق‌تر ناهمگنی مؤثر است.

- نتایج ارایه شده توسط آزمون‌ها به معنی تاریخ دقیق رخداد جهش نیست و باید به‌عنوان محدوده تقریبی وقوع ناهمگنی مدنظر قرار گیرند.

یافته‌های این پژوهش همسو با نتایج (۸، ۴۰، ۳۸) و مغایر با نتایج (۴۱ و ۹) بود. دوبای و همکاران (۱۴) روند تراز آب زیرزمینی در دلتای رودخانه سرخ ویتنام را به‌صورت مکانی- زمانی در طول دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۷۳ با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال در ۵۷ چاه مشاهداتی در آبخوان نامحصور و ۶۳ چاه مشاهداتی در آبخوان محصور بررسی کردند. بررسی‌ها بیانگر این بود که ۳۵ درصد چاه‌ها در آبخوان نامحصور روند نزولی و ۲۱ درصد چاه‌ها روند صعودی داشتند که با نتایج این پژوهش همسو بود. در همین راستا، گریس و همکاران (۱۹) سری زمانی نوسانات تراز سطحی آب زیرزمینی را در کشور هلند تحلیل و بررسی کردند 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. صمدی و همکاران (۳۷) روند تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت ارومیه را با به‌کارگیری آزمون ناپارامتری من-کندال طی دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۸۹ و با استفاده از داده‌های ثبت شده در ۳۱ ایستگاه پیزومتری بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد در همه ایستگاه‌ها تراز آب زیرزمینی روند منفی داشته و ۱۹/۹ سانتی‌متر در سال کاهش یافته است. همین‌طور زینالی و همکاران (۴۲) 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 حاصل 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. همان‌طور که در شکل ۲، ۳ و ۴ دیده می‌شود بیشترین مقدار افت آب زیرزمینی در نواحی جنوبی و جنوب‌غرب دشت است که علت آن علاوه بر برداشت زیاد آب از چاه‌ها، نزدیکی به مناطق شهری، وجود برخی از شرایط محلی از قبیل نزدیکی چاه‌های این منطقه

به کوهستان و قرارگیری آن‌ها در مرز ورودی آبخوان دانست. به همین ترتیب در میانه‌های دشت افت کاهش یافته و در نواحی شمالی و حاشیه دریای خزر میزان افت کم می‌شود. از جمله علل افت کم در ناحیه شمالی دشت را می‌توان وجود زمین‌های کشاورزی در مجاورت چاه‌های این منطقه، نزدیکی به دریای خزر و تغذیه زیاد آبخوان از سوی ارتفاعات جنوبی دشت دانست. به‌علاوه وجود شوره‌زارها در این منطقه و در نتیجه نامناسب بودن کیفیت آب باعث شده است که برداشت آب از این منطقه کمتر باشد. در این پژوهش چاه جنگل قرق در اکثر مقیاس‌های زمانی بیشترین میزان افت را به خود اختصاص داده است که با نتایج جهانشاهی نوکنده و کرمی (۲۰) مطابقت داشت. اگرچه به لحاظ افت تراز آب زیرزمینی، می‌توان منطقه مورد مطالعه را به سه قسمت تقسیم کرد، ولی غیریکنواختی در مقادیر افت در قسمت‌های مختلف دیده می‌شود. به عبارت دیگر، تمام چاه‌های قرار گرفته در محدوده‌ای با افت زیاد دارای افت زیاد نیستند و تعدادی از آن‌ها حتی افت اندک یا بدون افت هستند. این امر نشان‌دهنده این موضوع است که میزان افت سطح آب در دشت گرگان منطقه‌ای نیست و به‌صورت محلی است و علت آن را می‌توان تمرکز برداشت در نقاطی خاص (نه در یک محدوده خاص) بیان کرد. از نظر مکانی اکثر این نقاط در حاشیه جنوبی دشت و نزدیک به ارتفاعات قرار دارند. مطابق نقشه استان، این نقاط در شهرهای مینودشت، گالیکش، آزادشهر، رامیان، گرگان، آق‌قلا و اطراف آن پراکنده شده است. به‌طور کلی این شهرها دارای زمین‌های زراعی وسیعی هستند و شغل اصلی مردم در این شهرها، کشاورزی است. بنابراین علت اصلی افت سطح آب زیرزمینی در این نقاط را می‌توان برداشت بیش از حد مجاز از چاه‌ها برای آبیاری اراضی کشاورزی بیان کرد.

### نتیجه‌گیری

اگرچه در زمینه جلوگیری از افت تراز آب زیرزمینی، تاکنون پیشنهادهای گوناگونی توسط کارشناسان ارائه شده است که



-در جریان قرار دادن مصرف کنندگان اصلی (کشاورزان)، از بحران به وجود آمده، ریشه‌یابی آن در چارچوب برنامه‌های متعدد و اطلاع‌رسانی به طرق مختلف به نحوی که بتوان با یک بسیج عمومی برای برون رفت از بحران افت آب زیرزمینی اقدامات اساسی انجام داد، زیرا در کاری چنین مهم و بزرگ پشتیبانی آگاهانه همه مردم به‌ویژه مصرف کنندگان اصلی آب الزامی است.

کمتر به آن‌ها توجه شده است، با وجود این به نظر می‌رسد که با انجام موارد زیر می‌توان تا حدودی جلوی افت تراز آب زیرزمینی را گرفت و یا از تشدید آن جلوگیری کرد:  
 --تغییر الگوی کشت، یعنی جایگزین کردن محصولات با نیاز آبی کمتر به جای محصولات پرمصرف، به‌ویژه باغ‌ها  
 -یافتن راه کارهای مناسب برای تعادل بخشی آبخوان‌ها، به‌ویژه در زمینه مهار و کنترل برداشت از یک سو و تغذیه مصنوعی از سوی دیگر

### منابع مورد استفاده

1. Abarashi, F., M. Meftah Halaghi, A. Dehghani, A. R. Kaboli and M. Rahimian. 2014. Aquifer management of Zarin Gol plain in Golestan province using groundwater model. *Gorgan University Water and Soil Conservation Research Journal* 21: 281-292.
2. Abbas Nejad, A. And W. Shahidasht. 2013. Investigate the susceptibility of Sirjan Plain due to excessive withdrawals from the aquifer area. *Journal of Geography and Territorial Spatial Arrangement*. 7(2): 85-96 (In Persian).
3. 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 Sciences and Natural Resources* 13: 1-10.
4. Akbari, M., M. R. Jarge and H. Madani Sadat. 2009. Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer), *Journal of Water and Soil Conservation* 16: 63-78.
5. 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.
6. Alexandersson, H. 1986. A homogeneity test applied to precipitation data, *International Journal of Climatology*, 6: 661-675.
7. Alizadeh, A. 2003. Principles of applied hydrology 14th edn. Imam Reza Press. University of Ferdousi, Mashhad. 712 pp (In Persian)
8. Almedejj, J. and F. AL-Ruwaih. 2006. Periodic behavior of groundwater level fluctuations in residential areas. *Journal of Hydrology* 328: 677-684.
9. Asoka, A., T. Gleeson, Y. Wada and V. Mishra. 2017. Relative Contribution of Monsoon Precipitation and Pumping to Changes in Groundwater Storage in India. *Nature Geoscience* 10: 109-117.
10. Bahreman, A., G. Hamdami and E. Saniyi. 2013. Analysis of long-term changes in rainfall and discharge in the west of Lake Urmia, *Watershed Management Research Journal* 8: 43-58. (In Persian).
11. Buishand, T. A. 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology* 58: 11-27.
12. Cheshmi, A. 2014. Assessment of climate change effects on groundwater resources using climatic indicators, SPI & NARX neural network (Case study: Ramhormoz Plain - Khuzestan Province). *Journal of Water Resources and Development*. 1(4): 54-62 (In Persian).
13. Changnon, S.A. and K. E. Kunkel. 1995. Climate related fluctuations in Midwestern floods during 1921-1985. *Journal of Water Resources and Management* 121: 326-334.
14. 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.
15. 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 (In Persian).
16. Fallah, S., M. Ghobadinia, M. Shokrogozar and S. Ghorbani. 2010. A study on sustainability of groundwater resources of Darab plain, Iran. *Journal of Water Research in Agriculture*. 26: 161-172.
17. Faghani, M., K. Ghorbani and M. Salari Jazi. 2017. Analysis of trend and failure point in seasonal series of SPI drought index in Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 4(11): 667-679. (In Persian).

18. Fatehi Marj, A., M. Tai Semirmi, A. N. Kolahchi, S. K. Mirnia. 2011. Forecasting the fluctuations of the reservoir level of Gerbaygan aquifer for the period 2008 to 2058 using the MODFLOW numerical model, *Journal of Irrigation Geo sciences (Agricultural Scientific Journal)* 34: 41-50.
19. 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.
20. Jahanshahi Nokandeh, N. and G. H. Karami. Identifying critical points of underground water in Gorgan plain aquifer and providing solutions to solve this crisis. In: Procceing of 2015 the first international conference on environment and natural resources. Kharazi Higher Institute of Science and Technology, Shiraz, Iran.
21. Kazemzadeh, M., A. Malekian and A. Rasoulzadeh. 2013. Analysis of river flow trends using parametric and non-parametric statistical approaches in Ardabil province. *Journal of Earth Knowledge Research*. 3(15): 53-61(In Persian).
22. Kendall, M. G., 1975: Rank Correlation Methods, 4th Ed. Charles Griffin, London, UK; 272.
23. Lashkari Pour, Gh. R., H. R. Rostami Barani, A. Kohandel, and H. Tarshizi. Groundwater level drop and land subsidence in Kashmar plain. In: Proceeding of 2006 10th Conference of Iranian Geological Society, Tarbiat Moallem University, 2428-2438.
24. 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.
25. Mann, H. B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrical*. 13: 245-259.
26. Ministry of Energy report. 2018. Office of Protection and Exploitation of groundwater resources of Iran.
27. Mirabbasi, R., F. Ahmadi and D. Jhajharia. 2020. Comparison of parametric and non-parametric methods for trend identification in groundwater levels in Sirjan plain aquifer, Iran. *Hydrology Research* 51: 1455-1477.
28. Mohammadi, H. 2011. Hydrology and meteorology of dry areas, first edition, Tehran, University of Tehran. 300 Pp.
29. Mohammadi Ghalehi M., K. Ebrahimi and S. H. Araghinejad. 2011. Groundwater quantity and quality evaluation: A Case Study for Saveh and Arak Aquifers, *Journal of Water and Soil Science* 21: 93-108.
30. Moslemi, H., and R. Darvishi. 2017. Solutions to reduce the drop in groundwater level (case study: Laver plain - Hormozgan province), *extension scientific journal of land management* 5: 126-135.
31. Naderi, M., V. Sheikh, A. Bahrehmand, C. Komaki and A. Ghangermeh. 2023. Analysis of river flow regime changes using the indicators of hydrologic alteration (Case study: Hableroud watershed). *Water and Soil Management and Modeling* 3: 2783-2546.
32. Pettitt, A. N. 1979. A non-parametric approach to change point problem. *Applied Statistics* 8: 126-135.
33. Rahimzadeh, F. 2011. Statistical methods in meteorological and climatological studies. Weather Publications Tehran. (In Persian).
34. Rezaei Banafsheh, M., T. Jalali Ansaroodi, M. Zarghami and A. Asghari Moghaddam. 2015. Investigate of climate change impacts on groundwater level in Tasuj Basin by statistical downscaling method. *Iran Water Resources Research*. 11(2): 106–116 (In Persian).
35. Rostamzadeh, H., I. Asadi and J. Jafarzadeh. 2014. Investigating the level of groundwater stagnation in Ardabil plain, *Journal of Spatial Analysis of Natural Hazards* 2: 31-42.
36. Salmani, H., V. B. Sheikh, A. Salman Mahiny, M. Ownegh and A. Fathabadi. 2019. Long-Term trend analysis of climate and hydrological series using removal of the autocorrelation statistical methods in the eastern gorganrood basin, Golestan province. *Journal of Watershed Management Research*. 10(19): 58-72 (In Persian).
37. Samadi, R., J. Behmanesh and H. Rezaei. 2015. Investigating trends in groundwater level. (Case study: Urmia plain). *Journal of Water and soil conservation* 22 (4): 67-84 (In Persian).
38. Shafiei, N., A. Amir Ahmadi and A. Rahmani. 2019. Finding potential sources of groundwater catchment model Shannon entropy Nourabad plain mamasans, *Journal of Geographical Space* 19 (66): 291-304. (In Persian).
39. Sheikh, V. B., A. Babaei and Y. Moshkhian. 2009. Investigation of changes in the precipitation regime of the Gorgan River watershed. *Journal of Watershed Science and Engineering of Iran* 3(8): 29-38
40. Shrestha, S., T. Bach and V. Pandey. 2016. Climate Change Impacts on Groundwater Resources in Mekong Delta. *Environmental Science & Policy* 61: 1–13.
41. Yue, Sh. P. Pilon, B. Phinney and G. Cavadias. 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes* 16: 1807–1829.
42. 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, Iran (In Persian).
43. Zhai, L., and Q. Feng. 2009. Spatial and temporal pattern of precipitation and drought in Gansu Province, Northwest China. *Natural Hazards* 49: 1-24.

## Trend Analysis and Change Points in Time Series of Water Level of Shallow and Deep Wells in Gorganrood Watershed

T. Mohammadi<sup>1</sup>, V. Sheikh<sup>1\*</sup>, A. Zare Garizi<sup>1</sup> and M. Salarijazi<sup>2</sup>

(Received: January 8-2023 ; Accepted: April 18-2023)

### Abstract

A quantitative study of groundwater resources and accurate monitoring of changes over time, especially in areas facing limited water resources, is considered essential for proper management and sustainable exploitation of these resources. Golestan province, one of the semi-arid provinces of Iran has faced a drop in the groundwater level and an increase in the salinity of the groundwater due to the excessive withdrawals from the groundwater table and the reduction of atmospheric precipitation in the past few years. Gorgan Plain with an area of about 4727 square kilometers is one of the largest plains in Iran and the most important plain of Golestan province in terms of water supply for agricultural and drinking purposes. In this plain, there is a network of piezometers and observation wells that include continuous monthly measurements for more than 30 years. The objective of this research was to investigate the changes in the groundwater level of shallow (30 years (1989-2018)) and deep (22 years (1997-2018)) wells. The Man-Kendall method was used to reveal the trend and Pettitt, Normal Standard, and Buishand methods were used to identify sudden change points in a time series of groundwater levels in 49 shallow wells and 12 deep wells. The results of this research showed that the groundwater level in most of the studied wells had a significantly decreasing trend at a significant level of 5%. Also, the largest amount of groundwater loss was in the southern and southwestern parts of the plain, which can be attributed to a large amount of water taken from the wells due to their proximity to urban areas and some local conditions such as the proximity of the wells of this area are located in altitudes and at the entrance border of the aquifer. In the same way, as it rises, the fall decreases in the middle of the plain, and the amount of fall decreases in the northern areas and the edge of the Caspian Sea. It can be related to the proximity to the Caspian Sea and the high water table, and as a result, the inappropriate quality of water and land (high salinity and low fertility), which has caused the water withdrawal from this area to be less.

**Keywords:** Groundwater level, Water table drawdown, Non-parametric methods, Gorgan plain

---

1. Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran.

2. Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran.

\*: Corresponding author, Email: v.sheikh@yahoo.com