دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۳
پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۵۰-۲۵

*معصومه دلبری[۱]
ام‌البنین پودینه[۲]

بررسی روند و الگوی توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش

تاریخ دریافت: ۹٤/۰۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰٤/۱۳

چکیده

یکی از روش‌های معمول برای تشخیص تغییرات آب‌وهوایی و آب‌شناسی، تحلیل روند در سری زمانی است. در این مطالعه روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش براساس اطلاعات ۱۷ ایستگاه (۱۳ چاه و ٤ قنات) در دوره‌ی آماری (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲) به کمک آزمون‌های ناپارامتری اسپیرمن و مان-کندال مورد ارزیابی قرار گرفت. شیب خط روند برای همه‌ی متغیرها با استفاده از تخمین‌گر شیب سن محاسبه شد. خصوصیات کیفی بررسی شده شامل خاصیت اسیدی (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، سدیم (Na^{+})، درصد سدیم (Na%)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سولفات (SO_4^{-2})، بی‌کربنات (HCO_3^{-})، کلر (Cl^{-})، منیزیم (Mg^{2+})، کلسیم (Ca^{2+})، پتاسیم (K^{+})، مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها، سختی کل (TH) و مقدار کل مواد جامد حل شده در آب (TDS) بودند. نقشه‌های توزیع مکانی متغیرهای کیفی به روش کریجینگ با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تولید گردید. نتایج نشان داد که روش‌های به‌کار برده شده در این تحقیق، در تشخیص ایستگاه‌هایی که کیفیت آب آن‌ها دچار افت بیش‌تری شده است، از عملکرد مشابهی برخوردارند. از بین متغیرهای مورد بررسی، EC و TDS در اکثر ایستگاه‌ها روند افزایشی داشتند. کیفیت آب زیرزمینی در ایستگاه‌های شماره‌ی ۱۰ و ۱٦ دارای بیش‌ترین روند معنی‌دار مثبت بود. میانه شیب خط روند در ۷۰ درصد از نمودارهای رسم شده مثبت بود. همچنین بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی، مقادیر متغیرهای Na%، SAR، pH و HCO_3^{2+} در سال (۱۳۹۲) نسبت به ۱ (۱۳۸٤) در منطقه افزایش داشته‌اند. به‌طور کلی نتایج

*۱- گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. (نویسنده مسئول). E-mail: masoomeh.delbari@uoz.ac.ir
۲- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد منابع آب دانشگاه زابل.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تحقیق حاکی از افت کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های اخیر می‌باشد. لذا ارائه راه‌کارهای مناسب مانند مدیریت و کنترل برداشت از آب‌های زیرزمینی برای جلوگیری از کاهش کیفیت آب زیرزمینی در منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

کلید واژه‌ها: تحلیل روند، کیفیت آب، آزمون مان-کندال، آزمون اسپیرمن، تخمین‌گر شیب سن، روش کریجینگ.

مقدمه

وجود روند در مشخصه‌های کیفی آب زیرزمینی به دلایل مختلف نظیر فرآیندهای هیدرولوژیکی و یا تغییرات اقلیمی انکارناپذیر می‌باشد. تشخیص روند در سری زمانی داده‌های هیدرولوژی و کیفیت آب برای مدیریت و استفاده بهینه از منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های آماری مختلفی برای تشخیص و برآورد روند احتمالی متغیرهای کیفی آب وجود دارد. این روش‌ها شامل روش‌های ساده‌ای مانند همبستگی و آنالیز رگرسیون، آنالیز سری‌های زمانی و روش‌های مبتنی بر آمار ناپارامتری می‌باشند. هدف از آزمون روند تعیین مقادیری از متغیر تصادفی است که به‌طور کلی در برخی از دوره‌های زمانی از نظر آماری دچار افزایش (یا کاهش) شده باشد (Helsel and Hirsch, 1992). کاربردهای فراوانی از روش‌های پارامتری و ناپارامتری برای تشخیص روند در مطالعات کیفیت آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها (Zare Garizi et al, 2012; Zetterqvist, 1991; Yu et al, 1993) و کیفیت آب زیرزمینی (Dehghani and Kaki, 2013; Lettenmaier, 1997; Holz, 2009) گزارش شده است. روش ناپارامتری مان-کندال[3] (Mann, 1945; Kendall, 1975) از جمله آزمون‌های آماری است که به‌طور معمول برای ارزیابی اهمیت روند در داده‌های آب و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن[4] (Sneyers, 1990) نیز از دیگر آزمون‌های ناپارامتری است که مشابه آزمون مان-کندال توانایی بالایی در تشخیص روند دارد (Yue et al, 2002). از طرفی برای محاسبه مقدار شیب خط روند از روش ناپارامتری دیگری به نام تخمین‌گر شیب سن[5] (Sen, 1968: 1380) استفاده می‌گردد.

روش‌های ناپارامتری به‌طور عمده برای داده‌های هیدرولوژیکی که اغلب دارای چولگی زیاد (غیر نرمال)، فصلی و دارای همبستگی سریالی هستند، مناسب‌ترند. این روش‌ها قوی و به فرضیات کم‌تری نیاز دارند (Kundzewicz and Robson, 2004: 7). در سال‌های اخیر از این روش‌ها برای تشخیص روند در متغیرهای کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده شده است. Hirsch et al (1982: 107) به بررسی فسفر آب رودخانه کلمد[6] کالیفرنیا در دوره‌ی آماری (۱۹۷۲) تا (۱۹۷۹) با استفاده از روش‌های کندال فصلی و تخمین‌گر شیب سن پرداختند. براساس نتایج این

3- Mann- Kendall
4- Spearman's Rho
5- Sen's Slope Estimator
6- Klamath

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

تحقیق تغییرات یکنواختی در جهت افزایش فسفر آب به‌وجود آمده که به علت تخلیه آب بوده است. Yu et al (1993: 61) به بررسی روند کیفیت آب ۱۵ ایستگاه واقع در رودخانه کانساس[۷] به کمک روش مان-کندال و تخمین‌گر شیب سن پرداختند. نتایج نشان داد که متغیرهای EC، TDS، Ca^{2+}، TH، Na^{+}، K^{+}، SO_4^{2-}، Cl^{-}، pH، فسفر کل، آمونیاک و رسوب معلق به‌طور عمده از روند کاهشی برخوردار بودند که ناشی از کاهش تخلیه و یا کاهش منابع آلوده‌کننده بود. Aguilar et al (2007: 1615) به شناسایی روند نیترات آب زیرزمینی آبخوان گچی هسبای در بلژیک پرداختند. نتایج نشان داد که رگرسیون خطی و آزمون مان-کندال از نتایج بهتری برخوردار بوده‌اند. Tayfur et al (2008: 157) به بررسی روند متغیرهای هیدروشیمیایی آب زیرزمینی ازمیر ترکیه در دوره‌ی آماری (۲۰۰۲-۲۰۰۱) با روش‌های آزمایشگاهی پرداختند. Bouza-Deano et al (2008: 227) به بررسی روند کیفیت آب رودخانه ابرو اسپانیا توسط سیزده ایستگاه واقع در این رودخانه در یک دوره‌ی آماری ٢٤ ساله به کمک روش‌های مان-کندال فصلی و تخمین‌گر شیب سن پرداختند. نتایج نشان‌دهنده تغییرات متغیرها؛ به‌طور عمده به‌دلیل کاهش غلظت فسفات و افزایش سطح pH رودخانه ابرو در دوره‌ی آماری (٢٠٠٤-١٩٨١) بوده است. Boyacioglu and Boyacioglu (2008: 469) روش ناپارامتری مان-کندال را به همراه تخمین‌گر شیب سن برای بررسی کیفیت آب‌های سطحی در هفت ایستگاه واقع در حوضه تاتالی غرب ترکیه در یک دوره ٦ ساله به‌کار گرفتند. نتایج به‌طور عمده حاکی از روند کاهشی غلظت عناصر در منطقه بوده است. Holz (2009: 255) به بررسی روند کیفیت و عمق آب حوضه مونتاگا واقع در شمال غربی تاسمانیا پرداخت. در این مطالعه تغییر در کیفیت آب به‌علت شرایط محلی گزارش شده است. Wahlin and Grimvall (2010: 217) برای بررسی روند کیفیت آب زیرزمینی سوئد از روش مان-کندال استفاده نمودند. بر اساس نتایج این تحقیق روند مثبت در ظرفیت اسید خنثی و روند منفی در میزان سولفات مشاهده شد. Mozejko (2012: 32) به ارزیابی روش‌های پارامتری و ناپارامتری برای تشخیص روند کیفیت آب رودخانه اردا در دوره زمانی (۱۹۹۱ تا ۲۰۰۷) پرداخت. بر اساس نتایج این تحقیق از بین روش‌های مان-کندال، اسپیرمن و تحلیل رگرسیونی؛ روش‌های مان-کندال و اسپیرمن تقریباً دارای نتایج مشابه بوده‌اند و روش‌های ناپارامتری با توجه به این‌که به فرضیات کم‌تری احتیاج دارند مناسب‌تر تشخیص داده شدند و روند منفی در مقادیر سالانه BOD و COD در سطح ده درصد معنی‌دار مشاهده شده است. در ایران نیز Afzali and Shahedi (2014: 1440) به بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت آمل-بابل با آزمون مان-کندال پرداختند، نتایج بیانگر کاهش ناچیز سطح آب زیرزمینی و بهبود وضعیت کیفی آب زیرزمینی در منطقه بوده است. Abareshi et al (2014: 79) به بررسی روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی دشت زرین‌گل با استفاده از آزمون ناپارامتری مان-کندال و تخمین‌گر شیب سن پرداختند. نتایج به‌دست آمده از پژوهش نشان داد که روند تغییرات غلظت بیش‌تر متغیرهای کیفی آب زیرزمینی رو به افزایش بوده است. Dinpashoh et al (2015: 55) به تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دشت شبستر-صوفیان با استفاده از آزمون مان-کندال و تخمین‌گر شیب سن پرداختند. نتایج

7- Kansas

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نشان داد که در دوره پرآب، ۲۱ درصد از ایستگاه‌ها و در دوره کم‌آب، ۲۲ درصد از ایستگاه‌ها در بیش از نیمی از متغیرها روند افزایشی معنی‌دار را تجربه نمودند. همچنین نتایج آزمون شیب‌خط روند نیز نشان داد که در دوره پرآب کیفیت آب زیرزمینی رو به بهبود و در دوره کم‌آب رو به نزول است. Kolahdouzan et al (2015: 233) به بررسی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت میاندوآب طی یک دوره ۱۰ ساله با روش مان-کندال اصلاح شده برای ماه‌های کم آب و پر آب پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد بیش‌تر متغیرهای مورد بررسی دارای روند صعودی هستند. نتایج تخمین‌گر شیب سن نشان داد که روند تغییرات پارامترهای SAR و EC برای هر دو دوره پر آب و کم آب در حال افزایش است.

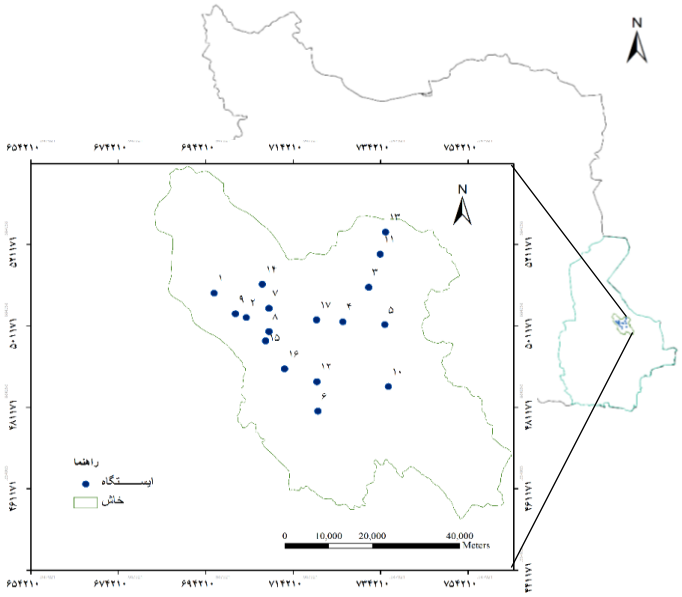
در سال‌های اخیر از روش‌های زمین‌آماری برای پیش‌بینی الگوی مکانی خصوصیات کیفی و کمی آب زیرزمینی به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی استفاده شده است. Adhikary et al (2010: 599) به بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی در غرب دهلی نو هند با استفاده از روش‌های زمین‌آماری کریجینگ معمولی و کریجینگ شاخص پرداختند. Delbari et al (2013) نقشه‌های پهنه‌بندی EC و SAR را با استفاده از روش‌های زمین‌آماری به‌دست آوردند. منابع آب زیرزمینی در محدوده خاش به لحاظ کمی و کیفی از اهمیت فراوانی برخوردار است. از آنجا که هیچ تحقیقی تاکنون به‌منظور بررسی روند کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه صورت نگرفته است، انجام این پژوهش ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق سعی بر این است تا روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی خاش در دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۸۳) با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری اسپیرمن، مان-کندال و تخمین‌گر شیب سن بررسی گردد. همچنین به‌منظور تعیین توزیع مکانی متغیرهای کیفی، روش زمین‌آماری کریجینگ در سال‌های (۱۳۸٤٤ و ۱۳۹۲) مورد استفاده قرار گرفت.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی خاش واقع در استان سیستان‌وبلوچستان یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه تلفیق رودخانه‌های هامون ماشکیل می‌باشد. این محدوده بین طول‌های جغرافیایی ۰۰-٦۱ تا ٤٥-٦۱ شرقی و ٤٥-۲۷ تا ٤۰-۲۸ شمالی در دامنه جنوبی و شرقی کوه تفتان واقع است. بالاترین نقطه‌ی منطقه ۳۹٤۱ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و نواحی خروجی دارای ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد. این محدوده شامل دو دشت یکپارچه به نام‌های خاش و پشتکوه می‌باشد. متوسط دمای سالانه دشت‌های خاش و پشتکوه به‌ترتیب برابر ۱۸/٦ و ۲۰/۳ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه‌ی آن‌ها به‌ترتیب حدود ۱۷۱ و ۱٤٥ میلی‌متر می‌باشد. میزان تبخیر در محدوده مطالعاتی خاش از ۲٦۰۰ میلی‌متر در نواحی شمالی حوضه دشت خاش به ٤۰۰۰ میلی‌متر در حوضه دشت پشتکوه می‌رسد (Zagros Sangab Consultants, 2011). خصوصیات کیفی آب زیرزمینی مورد بررسی در این پژوهش شامل خاصیت اسیدی (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، سدیم (Na^+)، درصد سدیم (Na٪)، نسبت جذب سدیم (SAR)، سولفات (SO_4^{-2})، یون بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلر (Cl^-)، منیزیم (Mg^{2+})، کلسیم (Ca^{2+})، پتاسیم (K^+)، مجموع کاتیون‌ها، مجموع آنیون‌ها، سختی کل (TH) و کل مواد جامد حل شده در آب (TDS) می‌باشد. اطلاعات مربوط به این خصوصیات

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در ۱۷ ایستگاه (۱۳ چاه و ٤ قنات) برای سال‌های (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲) از شرکت آب منطقه‌ای استان سیستان‌وبلوچستان اخذ شد. به‌دلیل این‌که نمونه‌برداری در برخی از چاه‌های منطقه فقط سالی یک بار انجام گرفته بود، از این‌رو محاسبات به‌صورت سالانه انجام گرفت. از طرف دیگر با توجه به در دسترس و کامل‌تر بودن داده‌های سه ماهه آخر سال، از این داده‌ها برای بررسی روند کیفیت آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه استفاده گردید. تحلیل زمین‌آماری مشخصه‌های کیفی در ابتدا و انتهای دوره‌ی مورد بررسی و با توجه به کامل‌تر بودن آمار سال‌های (۱۳۸٤ و ۱۳۹۲)، برای این دو سال و بر اساس اطلاعات چاه‌ها انجام گرفت. (شکل ۱) موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های منتخب در محدوده‌ی مطالعاتی خاش (ایستگاه‌های شماره ۱، ۹، ۱۱ و ۱۳ قنوات هستند)

مواد و روش‌ها

آزمون مان-کندال

آزمون مان-کندال (MK) از جمله روش‌های ناپارامتری است که برای ارزیابی روند در داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی به‌کار می‌رود. آماره مان-کندال (S) به شرح رابطه (۱) برآورد می‌گردد (Mann, 1945; Kendall, 1975):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \mathrm{sgn}(x_j - x_i) \quad ; \quad \forall (i < j \le n) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، n طول سری زمانی، X_i و X_j به‌ترتیب مقادیر متغیر در سری زمانی i و j می‌باشند. sgn (X) تابع علامت بوده و به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

$$sgn(X)=\begin{cases}1 & if\,(X_j-X_i)>0\\ 0 & if\,(X_j-X_i)=0\\ -1 & if\,(X_j-X_i)<0\end{cases}$$ رابطه (۲)

مقادیر مثبت (منفی) S نشان‌دهنده روند رو به بالا (پایین) می‌باشد (Salmi et al, 2002). بر اساس نتایج Mann (1945) و Kendall (1975)، وقتی $n\geq 8$ باشد، آماره S دارای توزیع تقریباً نرمال با میانگین صفر و واریانس به‌دست آمده از رابطه (۳) می‌باشد:

$$Var(S)=\frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5)-\sum_{m=1}^{q}t_m(t_m-1)(2t_m+5)\right]$$ رابطه (۱)

در این رابطه، اندیس m نشان‌دهنده شماره دسته m ام است که دارای داده‌های مشابه هم در ترتیب تاریخی می‌باشند. t_m[8]، تعداد داده‌های یکسان در دسته m ام می‌باشند و q تعداد دسته‌ها می‌باشد. آماره آزمون مان-کندال استاندارد شده Z_{MK} از رابطه (٤) محاسبه می‌گردد:

$$Z_{MK}=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S>0\\ 0 & S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & S<0\end{cases}$$ رابطه (٤)

آماره آزمون MK استاندارد شده Z_{MK} از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک پیروی می‌کند (Yue et al, 2002). پذیرش فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و فقدان روند در سری داده‌ها و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) بر وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد. فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که قدر مطلق Z_{MK} محاسبه شده از مقدار Z نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α کم‌تر باشد. در این مطالعه، سطوح معنی‌داری یک، پنج و ده درصد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی‌که قدر مطلق Z_{MK} محاسبه شده بزرگ‌تر از مقدار آستانه‌ای ۱/٦٤٥ باشد روند داده‌ها در سطح ده درصد معنی‌دار و در غیر این صورت غیر معنی‌دار فرض می‌گردد، به‌همین صورت اگر Z_{MK} محاسبه شده بزرگ‌تر از ارقام ۱/۹٦ و ۲/۳۳ باشد روند داده‌ها به‌ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار فرض می‌گردد.

- آزمون اسپیرمن

آزمون ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن از دیگر آزمون‌های آماری ناپارامتری است که برای تشخیص روند در سری‌های زمانی به‌کار برده می‌شود (Sneyers, 1990; Lehmann, 1975). فرض صفر در این آزمون حاکی از این

8- Number of ties

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

است که داده‌ها مستقل‌اند، فرض مخالف در این آزمون حاکی از وجود روند در داده‌ها می‌باشد. آماره ضریب همبستگی اسپیرمن (ρ_{sp}) از رابطه زیر برآورد می‌گردد (Sneyers, 1990):

$$\rho_{sp} = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n} D_i^{\,2}}{n(n^2-1)}$$ رابطه (۵)

در این رابطه n تعداد کل داده‌ها در سری زمانی و D_i اختلاف بین رتبه‌ها می‌باشد که از رابطه (٦) محاسبه می‌گردد:

$$D_i = R_{X_i} - R_{y_i}$$ رابطه (٦)

که در آن، R_{xi}، رتبه داده در سری زمانی مرتب شده از نظر زمان وقوع و R_{yi}، رتبه داده در سری زمانی مرتب شده به‌صورت صعودی می‌باشد. براساس فرض صفر، توزیع ρ_{sp} تقریباً نرمال با میانگین صفر و واریانس محاسبه شده براساس رابطه (۷) می‌باشد (Sneyers, 1990; Lehmann, 1975):

$$Var(\rho_{sp}) = \frac{1}{n-1}$$ رابطه (۷)

آماره آزمون اسپیرمن استاندارد شده، Z_{SR} از رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$Z_{SR} = \rho_{sp}\sqrt{\frac{n-2}{1-\rho_{sp}^{\,2}}}$$ رابطه (۸)

در این آزمون، اگر قدر مطلق Z_{SR} محاسبه شده بزرگ‌تر از عدد ۱/٦٤٥ باشد، فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد رد می‌شود و بر عکس فرض مخالف مبنی بر وجود روند در بین داده‌ها پذیرفته می‌شود. برای سطح معنی‌داری ۵ و ۱ درصد، عدد مذکور به‌ترتیب ۱/۹٦ و ۲/۳۳ می‌باشد.

- شیب خط روند

در صورتی‌که روند خطی در یک سری زمانی وجود داشته باشد، می‌توان شیب واقعی (تغییرات در واحد زمان) را که نشان‌دهنده شیب روند یکنواخت در مجموعه داده‌ها می‌باشد، با استفاده از یک روش ناپارامتری ساده برآورد نمود (Sen, 1968). مراحل کار بدین ترتیب است که ابتدا برای هر جفت داده مشاهده‌ای X_i و X_j که به‌ترتیب در زمان‌های i و j (j>i) به وقوع پیوسته‌اند، شیب سن (β_k) از رابطه (۹) محاسبه می‌گردد:

$$\beta_k = \left(\frac{X_j - X_i}{j-i}\right) \qquad k = 1,\ldots,N$$ رابطه (۹)

در این رابطه، N= n (n-1)/ 2 تعداد کل شیب‌ها می‌باشد و n تعداد بازه‌های زمانی است. پس از مرتب کردن سری زمانی شیب‌ها، شیب خط روند (β_{med}) از محاسبه میانه این سری زمانی، به‌دست می‌آید. مقادیر مثبت β_{med} نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی نشان‌دهنده روند کاهشی در سری داده‌ها می‌باشد. فاصله اطمینان (C_α) و مقادیر M_1 و M_2 به‌ترتیب از روابط (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) استخراج می‌گردند (Hajjam et al, 2007):

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

$$C_\alpha = Z_1 - \alpha/2\sqrt{Var(S)}$$ رابطه (۱۰)

$$M_1 = \frac{N - C_\alpha}{2}$$ رابطه (۱۱)

$$M_2 = \frac{N + C_\alpha}{2}$$ رابطه (۱۲)

در این روابط، Z_1 آماره توزیع نرمال استاندارد می‌باشد. M_1 اُمین و M_2+1 اُمین شیب‌ها به‌عنوان حدود اعتماد بالا و پایین انتخاب می‌گردند.

- کریجینگ معمولی[9]

روش کریجینگ معمولی به‌عنوان بهترین تخمین‌گر خطی ناااریب[10]، با حداقل نمودن واریانس خطاها به تخمین مقادیر مجهول می‌پردازد (Isaaks and Srivastava, 1989). تخمین‌گر کریجینگ معمولی، مقدار متغیر در نقطه دلخواه را براساس یک رابطه خطی وزنی مقادیر معلوم متغیر در همسایگی آن نقطه برآورد می‌کند (Isaaks and Srivastava, 1989):

$$\hat{Z}_{OK}(u) = \sum_{i=}^{m(u)} \lambda_i^{OK}.Z(u_i), \qquad \sum_{i=1}^{m(u)} \lambda_i^{OK}$$ رابطه (۱۳)

که در این رابطه، $\hat{Z}_{OK}(u)$ مقدار تخمین زده شده در موقعیت u، λ_i^{OK} وزن نسبت داده شده به متغیر در نقطه u_i، $Z(u_i)$، مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه i ام و $m(u)$ تعداد نقاط همسایگی است.

یافته‌ها و بحث

روش مان-کندال

مقادیر آماره‌ی Z_{MK} مان-کندال متغیرهای کیفی محدوده‌ی مطالعاتی خاش در (جدول ۱) نشان داده شده است. به‌طوری که از این جدول می‌توان استنباط کرد، درصد روند مثبت معنی‌دار در سطوح ۱۰، ۵ و ۱ به‌ترتیب برابر ۶۳/۹۵، ۶۳/۰۸ و ٦٤/٤٤ می‌باشد. درصد روند منفی معنی‌دار در همین سطوح به‌ترتیب برابر ۳٦/۰۵، ۳٦/۹۲ و ۳۵/۵٦ می‌باشد. از مقایسه این درصدها در سطوح معنی‌داری مختلف مشاهده می‌گردد که روند مثبت معنی‌دار در هر سه سطح بالاتر از روند منفی معنی‌دار بوده است. این نتایج حاکی از افزایش غلظت متغیرهای کیفی مورد بررسی و در پی آن کاهش کیفیت آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش می‌باشد. متغیرهای EC و TDS در همه‌ی ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه‌های شماره‌ی ۳، ۵، ٦، ۹، ۱۲ و ۱۳ از روند مثبت برخوردار بوده است. متغیرهای مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها در ایستگاه‌های شماره‌ی ٤، ۱۰ و ۱٦ روند افزایشی و در ایستگاه‌های شماره‌ی ۳ و ۵ روند

9- Ordinary Kriging
10- Best Linear Unbiased Estimator

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

کاهشی معنی‌دار داشته‌اند. متغیرهای کیفی Mg^{2+} و SO_4^{2-} در هیچ ایستگاهی روند مثبت معنی‌دار نداشته‌اند. متغیر pH فقط در سطح ۱۰ درصد و برای ایستگاه‌های شماره‌ی ٦ و ۷ روند مثبت داشته است. نسبت جذب سدیم (SAR) فقط برای ایستگاه‌های شماره‌ی ۱۰ و ۱۵ روند افزایشی داشته است. متغیر TH در ایستگاه‌های شماره‌ی ۱۰ و ١٦ روند مثبت داشته است. ایستگاه‌های شماره‌ی ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ روند افزایشی را در یون بی‌کربنات (HCO_3^-) تجربه کرده‌اند. روند تغییرات Ca^{2+} فقط در ایستگاه شماره‌ی ٤ مثبت و در سایر ایستگاه‌ها، منفی یا صفر بوده است. متغیر Na^+ در ایستگاه‌های شماره‌ی ۱۰ و ۱۵ روند افزایشی داشته است. روند تغییرات درصد سدیم در ایستگاه‌های شماره‌ی ٦ و ۱۵ مثبت و در ایستگاه شماره‌ی ١٦ منفی بوده است. ایستگاه‌های ۲، ٤، ۸، ۱۰، ۱۱، ١٦ و ۱۷ روند مثبت در متغیر K^+ را داشته‌اند. متغیر Cl^- در ایستگاه‌های ۲، ۱۰، ۱۵، ١٦ و ۱۷ روند مثبت داشته است. از طرفی متغیرهای کیفی مورد بررسی در ایستگاه‌های ۳، ۹، ۱۲ و ۱۳ هیچ روند مثبتی از خود نشان ندادند. در مجموع ایستگاه ۱۰ بیش‌ترین روند مثبت متغیرهای کیفی را دارا بوده است. بعد از این ایستگاه، ایستگاه‌های ١٦، ۱۷ و ٤ بیش‌ترین مجموعه‌های معنی‌دار مثبت را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به روند مثبت اکثر متغیرهای مورد مطالعه، کیفیت آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش در طول دوره‌ی آماری افت پیدا کرده است. با توجه به نتایج این آزمون کیفیت آب چاه‌های شماره‌ی ۱۰، ١٦، ۱۷ و ٤ دچار افت بیش‌تری شده است. همچنین از بین متغیرهای مورد بررسی، EC، TDS، K^+ و Cl^- بیش‌ترین مجموعه‌های معنی‌دار را در بین ایستگاه‌ها دارا بودند.

– روش اسپیرمن

آماره‌ی Z_{SR} حاصل از تحلیل روند تغییرات متغیرهای کیفی آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی خاش با استفاده از آزمون ناپارامتری اسپیرمن در (ادامه جدول ۵) نشان داده شده است. با توجه به این جدول، متغیرهای کیفی ایستگاه‌های شماره‌ی ٤، ۱۰، ۱۵ و ١٦ روندهای مثبت بیش‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشته‌اند. در میان متغیرهای کیفی مورد بررسی، متغیرهای Ca^{2+} و SO_4^{2-} از روندهای منفی بیش‌تری در اکثر ایستگاه‌ها برخوردار بودند. بیش‌ترین روند مثبت معنی‌دار متعلق به متغیرهای EC و TDS بوده است. پس از این متغیرها، متغیرهای K^+، Na%، Cl^-، TH و HCO_3^- بیش‌ترین روندهای مثبت معنی‌دار را در اکثر ایستگاه‌ها به خود اختصاص داده‌اند. متغیر SO_4^{2-} در اکثر ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته است. متغیرهای SO_4^{2-}، مجموع کاتیون‌ها و Mg^{2+} تنها متغیرهایی بوده‌اند که به‌ترتیب در ایستگاه‌های ۱۳، ١٦ و ۱۰ دارای روند مثبت معنی‌دار بوده‌اند. مجموع آنیون‌ها در ایستگاه‌های ۳، ۵ و ۱۳ دارای روند منفی و در ایستگاه‌های ٤ و ١٦ دارای روند مثبت بوده است. متغیر Na^+ در ایستگاه‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۵ روند مثبت داشته است. متغیر SAR در ایستگاه‌های ۹ و ١٦ از روند منفی و در ایستگاه‌های ۱۰ و ۱۵ از روند مثبت برخوردار بوده است. متغیر pH تنها در ایستگاه‌های ٦ و ۱۰ دارای روند مثبت بوده است. از (جدول ۲) استنباط می‌گردد که ۳۷/۲۵ درصد از آماره‌های محاسبه شده برای متغیرهای کیفی آب زیرزمینی این منطقه حاکی از معنی‌دار بودن آماره‌ها در سطح ۱۰ درصد و یا کم‌تر بوده است. از این درصد معنی‌داری، ۵۹ درصد دارای روند مثبت معنی‌دار و ٤۱ درصد دارای روند منفی معنی‌دار بوده‌اند. با توجه به بالاتر بودن درصد روند مثبت معنی‌دار اغلب

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

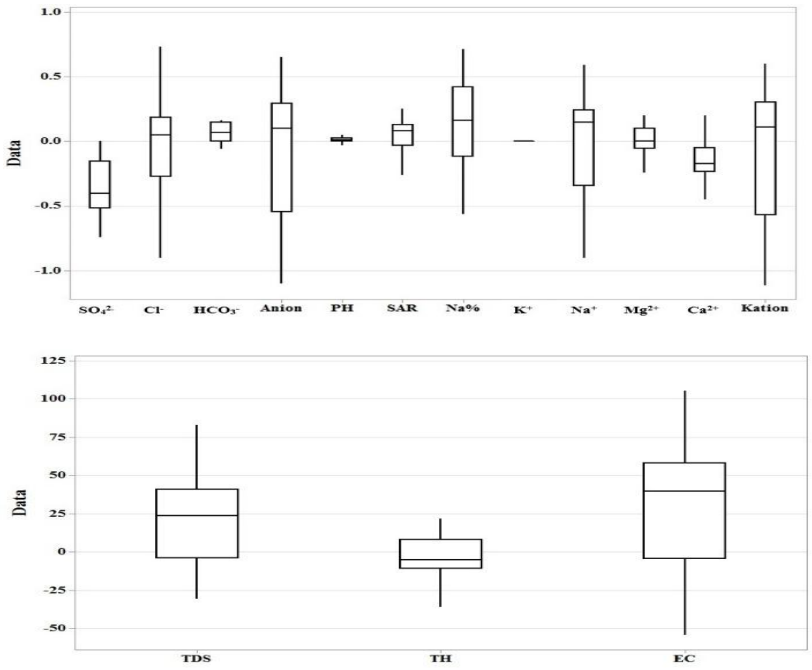
متغیرهای مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش در طول دوره‌ی آماری افت پیدا کرده است.

- شیب خط روند

(جدول ۳) میانه شیب خط روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی را در مقیاس سالانه برای هر یک از ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، ۵۰ درصد از متغیرهای کیفی دارای روند مثبت، ۳۹ درصد دارای روند منفی و ۱۱ درصد بدون روند بوده‌اند. روند مثبت حاکی از افزایش غلظت متغیرها طی ۱۰ سال مورد بررسی می‌باشد. به‌عنوان مثال رقم میانه‌ی ۸۲/۸۷ میلی‌گرم در لیتر برای متغیر TDS نشان‌دهنده این است که هر ده سال مقدار ۸۲۸/۷ میلی‌گرم در لیتر به مقدار TDS افزوده می‌شود. بیش‌ترین تعداد شیب‌های مثبت مربوط به ایستگاه شماره‌ی ۱۰ و بیش‌ترین تعداد شیب‌های منفی مربوط به ایستگاه شماره ۱۲ می‌باشد. نمودارهای باکس-ویسکر برای همه‌ی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی رسم شد (شکل ۲). در این نمودار، پاره‌خط موجود در داخل مستطیل‌ها نشان دهنده‌ی میانه شیب خط روند به ازای هر متغیر در بین ایستگاه‌های مورد بررسی است. قسمت پایین هر مستطیل نشان دهنده‌ی صدک ۲۵ و قسمت بالای آن نشان دهنده‌ی صدک ۷۵ است. انتهای خطوط قائم در قسمت پایین و بالای هر نمودار به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی حداقل و حداکثر شیب خط روند در بین ایستگاه‌ها می‌باشد. با توجه به نمودارهای رسم شده، ملاحظه می‌گردد که در ۷۰ درصد نمودارهای رسم شده میانه شیب‌های خط روند متغیرهای کیفی، مثبت بوده است. این نشان دهنده این است که با توجه به میانه در هر سال به غلظت متغیرهای موجود در آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش افزوده می‌شود و کیفیت آب زیرزمینی با توجه به زمان سیر نزولی داشته است. بالاترین شیب خط روند برای متغیر EC برابر ۱۰۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر بوده است که در ایستگاه پیزومتری شماره ۱۰ مشاهده شده است. بالاترین مقدار SAR در همین ایستگاه و برابر ۰/۲۵ بوده است. از این‌رو این ایستگاه از نظر EC و SAR نسبت به سایر ایستگاه‌ها دچار افت بیش‌تری شده است. با این‌حال با توجه به روش طبقه‌بندی ویل‌کوکس و استفاده از نمودار آن که کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی در مطالعات هیدرولوژی است (Alizadeh, 2010) این آب از نظر کشاورزی در کلاس C_1- S_1 قرار دارد، به‌عبارت دیگر این آب برای مصارف کشاورزی مشکلی ندارد. بالاترین مقدار شیب خط روند TDS و TH به‌ترتیب برابر ۸۲/۸۷ و ۲۱/٦٦ میلی‌گرم در لیتر مربوط به ایستگاه شماره ١٦ می‌باشد. کیفیت آب این چاه با گذشت زمان دچار افت شده است اما با توجه به جدول استانداردهای مواد شیمیایی آب آشامیدنی (Alizadeh, 2010)، این مقادیر در حد مجاز بوده و برای مصارف شرب مشکلی ندارد. کم‌ترین مقدار شیب EC و SAR به‌ترتیب برابر ٥٤/٢- و ۰/۱۱-، مربوط به چاه شماره‌ی ۱۳ (ایستگاه گزو در شمال‌غربی منطقه) می‌باشد. از این‌رو در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، این چاه دارای بالاترین کیفیت آب برای کشاورزی می‌باشد. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی ایستگاه‌های شماره‌ی ۱۰، ۸، ۱، ١٤، ۱۵ و ١٦ از شیب‌های مثبت بیش‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها برخوردار بوده‌اند. از این‌رو کیفیت آب این ایستگاه‌ها نسبت به سایر ایستگاه‌ها در سطح پایین‌تری قرار داشته است. با توجه به نتایج حاصل از تخمین‌گر شیب سن، متغیرهای EC،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

TDS، درصد سدیم، Na^+، SAR، HCO_3^-، Cl^-، pH و مجموع کاتیون‌ها در اکثر ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته‌اند. متغیر مجموع کاتیون‌ها در ۱۰ و ۷ ایستگاه، به‌ترتیب دارای شیب مثبت و منفی بوده است در حالی که مجموع آنیون‌ها در ۹ و ۸ ایستگاه به‌ترتیب دارای شیب مثبت و منفی بوده است. متغیر Mg^{2+} در ۸ و ۷ ایستگاه و متغیر Ca^{2+} در ۳ و ۱۳ ایستگاه به‌ترتیب دارای شیب مثبت و منفی بوده‌اند. این در حالی است که متغیر K^+ در ایستگاه شماره ۱۳ دارای شیب منفی و در ایستگاه شماره ۱۶ دارای شیب مثبت بوده است. متغیر SO_4^{2-} در ۱۵ ایستگاه دارای شیب منفی بوده است.



شکل ۲: نمودارهای باکس–ویسکر شیب خط روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش

- پیش‌بینی الگوی پراکنش مکانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی

به‌منظور مقایسه الگوی توزیع مکانی متغیرهای کیفی دشت خاش در طی سال‌های (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲)، نقشه‌های پهنه‌بندی متغیرهای کیفی مربوط به سال‌های (۱۳۸٤ و ۱۳۹۲) با استفاده از روش کریجینگ معمولی تهیه گردید (شکل ۳). با توجه به نقشه‌های ارائه شده، بالاترین مقادیر مجموع کاتیون‌ها و مجموع آنیون‌ها در هر دو سال (۱۳۸٤ و ۱۳۹۲) در جنوب محدوده مورد بررسی مشاهده شده است. بالاترین مقادیر Mg^{2+} در سال (۱۳۸٤)، در اطراف ایستگاه شماره ۳ (شمال‌شرقی) و ۱۲ (جنوب‌غربی)، و در سال (۱۳۹۲) در اطراف ایستگاه‌های شماره‌ی ٦، ۷، ۸ و ۱۵ (شمال غربی) مشاهده شده است. بالاترین مقادیر برای متغیرهای Na^+ و K^+ در هر دو سال در جنوب منطقه مشاهده شده است. از طرفی Na% در سال (۱۳۹۲) مقداری افزایش نسبت به سال (۱۳۸٤) داشته است. به‌طوری که در سال (۱۳۸٤) بالاترین مقادیر در شرق، جنوب و غرب منطقه و در سال (۱۳۹۲) بالاترین مقادیر در جنوب منطقه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

دیده می‌شود. برای متغیرهای EC و SAR بالاترین مقادیر در هر دو سال مربوط به نواحی جنوبی بوده است. مقادیر TH در سال (۱۳۸٤)، بالاتر از سال (۱۳۹۲) بوده است. بالاترین مقادیر TH در سال (۱۳۸٤) مشابه Mg^{2+} در اطراف ایستگاه‌های ۳ و ۱۲ مشاهده می‌شود در حالی که نقشه سال (۱۳۹۲) توزیع یکنواخت‌تری از این متغیر را نشان می‌دهد. نقشه مربوط به TDS نشان می-دهد که در سال (۱۳۸٤) بالاترین مقادیر در جنوب و شمال منطقه و در سال (۱۳۹۲) در نواحی جنوبی مشاهده می‌شود. از طرفی بالاترین مقادیر pH در هر دو سال در نواحی شرقی مشاهده شده است. نقشه مربوط به Ca^{2+} در سال (۱۳۸٤) بالاترین مقادیر را در اطراف ایستگاه شماره ۱۲ در حالی‌که در سال (۱۳۹۲) در نواحی شمالی نشان می‌دهد. همچنین نقشه‌ها نشان می‌دهد که مقادیر HCO_3^{2+} در سال (۱۳۹۲) نسبت به سال (۱۳۸٤) در کل منطقه افزایش داشته است. بالاترین مقادیر این متغیر در سال (۱۳۸٤) مربوط به نواحی جنوبی و در سال (۱۳۹۲) مربوط به شمال‌غربی منطقه می‌باشد. بالاترین مقادیر Cl^- و SO_4^{2-} به‌طور مشابه در سال (۱۳۸٤) در اطراف چاه شماره ۳ (شمال‌شرقی) و نواحی جنوبی منطقه و در سال (۱۳۹۲) در نواحی جنوبی مشاهده شده است. در مجموع براساس نقشه‌های ترسیم شده، مقادیر متغیرهای Na%، SAR، pH و HCO_3^{2+} در سال (۱۳۹۲) نسبت به (۱۳۸٤) در منطقه افزایش داشته‌اند. Daneshvar Vousoughi and Dinpashoh (2013) افزایش متغیرهای مجموع آنیون‌ها، مجموع کاتیون‌ها، EC، Na^+، SO_4^{2-}، TDS و Ca^{2+} در آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل را گزارش کرده‌اند. نتایج تحقیق Mozejko (2012) از نظر نزدیکی نتایج حاصل از روش‌های مان-کندال و اسپیرمن در تشخیص روند کیفیت آب رودخانه اردا، با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در مطالعه ایشان روش‌های ناپارامتری نسبت به روش‌های پارامتری برای تحلیل روند مناسب‌ترتشخیص داده شدند. نتایج تحقیق Yu et al (1993) نیز برای بررسی روند کیفیت آب ۱۵ ایستگاه واقع در رودخانه کانساس به کمک روش‌های ناپارامتری حاکی از روند کاهشی متغیرهای EC، TDS، Ca^{2+}، TH، Na^+، K^+، SO_4^{2-}، Cl^-، pH، فسفر کل، آمونیاک و رسوب معلق بوده است. این روند کاهشی به‌علت کاهش تخلیه و کاهش منابع آلوده‌کننده‌ی مرتبط، بوده است. در تحقیق Adhikary et al (2010: 599) غلظت EC، Mg^{2+} و SO_4^{-2} در کل منطقه بالا بوده است. در مجموع نتایج آزمون روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در محدوده‌ی مطالعاتی خاش با آزمون‌های مان-کندال، اسپیرمن و تخمین‌گر شیب سن حاکی از روند مثبت اغلب متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در اکثر ایستگاه‌های منطقه بوده است. از عمده‌ترین عوامل افت کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه می‌توان به برداشت بی‌رویه آب‌زیرزمینی (که موجب ورود آب شور از لایه‌های زیرین به داخل چاه می‌گردد)، رشد جمعیت، پیشرفت زندگی صنعتی و عدم توجه به چگونگی بهره‌برداری علمی از آب‌های زیرزمینی اشاره نمود.

- روند بارندگی ایستگاه‌های محدوده‌ی مطالعاتی خاش

به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر افت کیفیت آب زیرزمینی این منطقه، روند بارندگی نیز در این منطقه مورد بررسی قرار گرفت. (جدول ٤) آماره‌ی Z آزمون مان-کندال و شیب خط روند را برای بارندگی سالانه در دو ایستگاه باران‌سنجی خاش و کوشه واقع در محدوده‌ی مطالعاتی خاش در دوره‌ی آماری (۱۳۹۱-۱۳٦۷) نشان می‌دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۱- نتایج روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش با آزمون ناپارامتری مان-کندال (۱۳۹۲-۱۳۸۳)*

ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
	اسماعیل آباد	اکبرآباد	بلوچ آباد	بیلری	پشت گیابان	دشت رباط	دورین	رستم آباد	عباس آباد	علی آباد گزنجین
مجموع کاتیون‌ها	۰/۸۰	۰/۵۳	-۱/۹۸*	۱/۷۸	-۱/۷۸	-۰/۷۱	۰	۰/۹۹	-۰/۵۲	۲/۹۶**
مجموع آنیون‌ها	۰/۸۰	۰/۴۴	-۱/۹۸*	۱/۹۶*	-۱/۷۸	-۰/۷۱	۰/۱	۰/۹۹	-۰/۶۲	۲/۹۶**
Mg^{2+}	۱/۰۷	۱/۶۰	-۱/۷۹	۰	-۰/۴۴	-۰/۳۵	-۰/۱	۰/۸۰	۰/۷۴	۱/۲۶
Na^{+}	۱/۲۵	۱/۲۵	-۰/۵۲	۰/۲۶	-۱/۳۴	-۰/۷۱	۰/۷۲	۱/۲۵	۰/۴۱	۳/۰۴**
K^{+}	۱/۳۹	**۱/۹۵**	۰/۲۸	**۲/۰۷***	۰	۰/۳۸	۱/۱۶	۱/۸۱	۱/۳۵	**۲/۰۷***
Na%	۰/۸۹	۰/۵۳	۰/۹۳	-۰/۷۱	۰/۵۳	**۱/۷۸**	۰/۵۲	-۰/۱۷	۰/۵۲	۰/۱۷
EC	**۲/۵۰****	**۳/۵۰****	-۰/۹۳	**۳/۹۳****	-۱/۲۵	۰/۱۷	**۳/۰۵****	**۲/۷۸****	۰/۱۰	**۳/۷۶****
SAR	۱/۲۵	۱/۰۷	-۰/۱۰	-۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۷۱	۰/۶۲	۰/۱۷	۰/۵۲	**۲/۳۲****
TH	-۰/۹۰	-۰/۴۵	**-۳/۳۳****	۱/۱۶	**-۱/۹۶***	-۱/۶۲	-۰/۸۶	۰/۸۹	**-۲/۱۸***	**۱/۷۸**
TDS	**۲/۶۸****	**۳/۶۸*****	-۰/۳۱	**۳/۵۷*****	-۰/۱۷	۰	**۲/۷۴*****	**۲/۴۲***	۱/۵۶	**۳/۷۶*****
pH	۰	۰	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۳۶	**۱/۷۰**	**۱/۷۷**	۰/۲۶	۰/۳۲	۰/۰۹
Ca^{2+}	**-۲/۶۸****	**-۲/۷۸****	**-۲/۷۲*****	**۲/۵۲*****	**-۲/۶۲*****	-۱/۵۲	-۰/۸۳	-۰/۸۰	**-۲/۷۲*****	۱/۲۶
HCO_3^{-}	**۳/۱۷****	۰/۷۳	۱/۴۸	۰	**۱/۸۷**	-۱/۲۹	۰/۷۴	۰/۶۲	۱/۵۸	**۲/۱۲***
Cl^{-}	۰/۹۹	**۱/۹۸***	**-۳/۳۳*****	۱/۶۲	**-۲/۸۶*****	**-۱/۸۷**	۰/۸۲	۱/۱۶	-۰/۱۰	**۳/۷۵*****
SO_4^{2-}	-۱/۶۰	**-۳/۰۴*****	**-۲/۸۱*****	-۱/۲۶	**-۲/۱۴***	۰	**-۱/۹۸***	-۱/۲۵	**-۲/۳۹*****	-۰/۹۰
۱	۳	٤	۰	٦	۱	۲	۳	۳	۰	۱۰
۲	۱	۲	۷	۰	٦	۱	۱	۰	۳	۰

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۲- نتایج روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش با آزمون ناپارامتری مان-کندال (۱۳۹۲-۱۳۸۳)*

	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱۵	۱٦	۱۷
ایستگاه	فیض آباد	کلکلی	گرو	گل کن	ناصرآباد	ناصری	هامون پشتکوه
مجموع کاتیون‌ها	-۰/۱۷	-۰/۷۱	-۱/۲۵	۰/۲٦	۰/٦۲	۱/۸۸	۱/۰۸
مجموع آنیون‌ها	-۰/۱۷	-۰/۷۱	-۱/۲۵	۰/۲٦	۰/٦۲	۱/۷۰	۱/۰۸
Mg^{2+}	۰/٤٤	-۱/۰۷	-۰/۹۰	۰/۳٦	-۰/٦۲	۱/۳۵	۰/۱۸
Na^{+}	۰	-۱/۵۲	-۰/٤٤	۰/٦۲	۲/۳۲**	۰/۷۱	۰/۸۰
K^{+}	۲/۰۷*	-۰/۱۱	-۱/۱۵	۱/۱۳	۱/٤٤	۱/۸٦	۲/۰۷*
Na%	۰/۳۵	-۰/۱۷	۰/۸۹	۱/۳٤	۲/٦۸**	-۲/٦۸**	-۱/۰۷
EC	۱/۸۸	-۰/۱۷	-۰/۸۹	۲/۵۰**	۲/۱٤*	۲/۹٦**	۳/۲۱**
SAR	۰/۳۵	-۰/۷۱	-۰/۸۹	۱/۰۷	۲/۵۰**	-۲/۱٤*	-۰/۵۳
TH	-۱/٤٤	-۱/۲۵	-۱/۹٦*	-۱/٦۲	-۱/۹٦*	۱/۸۸	۱/۲۷
TDS	۲/۰٦*	۰	-۰/۵۳	۲/۸٦**	۲/۱٤*	۲/۹٦**	۳/۲۱**
pH	-۰/۳۵	۰/٤٤	-۰/۷۱	۱/۵۲	۱/۱٦	-۰/۰۹	۰
Ca^{2+}	-۲/۷۰**	-۰/۰۸	-۲/٤۲**	-۲/۵۲**	-۱/۸۰	۰/۷۱	۰/۲۷
HCO_3^-	۱/۵٤	-۰/۱۸	۰/٦۲	-۰/۰۸	۲/٦۰**	-۰/۸۹	۰
Cl^-	۰	-۱/۸۰	-۱/۳٤	۱/٤٤	۲/٦۸*	۳/٤۰**	۱/۸۲
SO_4^{2-}	-۱/۸۰	-۰/۷۲	-۲/۷۸**	-۲/۰٦*	-۱/٤۳	-۰/۲٦	-۰/۷۱
	۳	۰	۰	۲	۷	۷	٤
	۲	۱	۳	۲	۲	۲	۰

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۳- نتایج روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش با آزمون ناپارامتری مان- کندال (۱۳۹۲-۱۳۸۳)*

تعداد ایستگاه با روند	تعداد ایستگاه با روند منفی	تعداد ایستگاه بدون روند
۳	۲	۱۲
۳	۲	۱۲
۰	۱	۱۶
۲	۰	۱۵
۷	۰	۱۰
۲	۱	۱۴
۱۱	۰	۶
۲	۱	۱۴
۲	۵	۱۰
۱۱	۰	۶
۲	۰	۱۵
۱	۹	۷
۱	۹	۷
۵	٤	۸
۰	۷	۹
–	–	–
–	–	–

* جدول فوق شامل مقادیر آماره‌ی Z_{MK} مان- کندال می‌باشد. ارقام پر رنگ نشان دهنده‌ی معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد می‌باشد که به ترتیب بدون ستاره، با یک ستاره و با دو ستاره مشخص شده‌اند. SAR، pH و ٪Na^+ بدون واحد، Ca^{2+}، Mg^{2+}، K^+، HCO_3^-، SO_4^{2-}، Na^+، Cl^-، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر حسب میلی اکی‌والان در لیتر، TH، TDS برحسب میلی‌گرم در لیتر و EC برحسب دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. ستون‌هایی که با اعداد ۱ و ۲ شماره‌گذاری شده‌اند به‌ترتیب برابر تعداد روندهای مثبت و منفی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی به‌صورت مجزا در هر ایستگاه می‌باشد.

جدول ٤- نتایج روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش (۱۳۹۲-۱۳۸۳) با آزمون ناپارامتری اسپیرمن*

ایستگاه																			
۱	اسماعیل آباد	۱	۱/۱۱	۰/۷۸	۱	۱/۵۶	۲/۲۷*	۰/۹۹	۱/۴۰	۲/۴۵**	۰/۲	۰/۹۳-	۲/۶۳**	۱-	۰/۹۳-	۱/۷۲-	۳	۱	۲
۲	اکبرآباد	۰/۶۳	۱/۲۹	۱/۳۲	۰/۶۰	۲/۰۸*	/۸۸**	۱/۱٤	۱/۳۶	/۹۵**	۰/۱۶	۰/۷۰-	۰/۸۷	/۵۸**	۲/۰۶*	/۷۰**	٤	۲	۲
۳	بلوچ آباد	۱/۹۳-	۰/۹-	۲/۰٤*-	۱/۹۳-	۰/۵۱	۰/۶۱-	۱/۰۸	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۲۸	۲/۶۸**-	۱/۵۸	۲/۴۶***-	۲/۶۸**-	۲/۵۹***-	۰	۷	۲
٤	بیلری	۱/۵۸	۰/٤۰	۰/۲۵-	۱/۷۶	۲/۱۰*	۳***	۰/۶-	۰/۰۱	۲/۸۹**	۰/٤۹	۱/۳۸	۰/۳۱	۲/۳۹***	۱/۰۶	۱/۷۵-	۵	۱	۲
۵	پشت گلبان	۱/۸۳-	۱/۳۵-	۰/٤۸-	۱/۸۳-	۰	۱/۰۲-	۱/۱۱	۰/۷۸	۰/۰۱	۰/۳۳	۲/۲۳*-	۱/۷٤	۲/۲۸*-	۲/۷**-	۲/۳۱*-	۱	۶	۳
۶	دشت رباط	۰/۵۶-	۰/۵۶-	۰/۲۷-	۰/۵۶-	۰/۵۲	۰/۳۷	۲/۰۱*	۰/۸۱	۰/۰۹	۱/۸۲	۱/۸۳-	۰/۹۹-	۱/۶۷-	۱/۸۷-	۰/۰۹-	۲	۲	۳

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۵- نتایج روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش (۱۳۹۲-۱۳۸۳) با آزمون ناپارامتری اسپیرمن*

ایستگاه	۷	۸	۹	۱۰
	دورین	رستم آباد	عباس آباد	علی آباد گرنچین
مجموع کاتیون‌ها	-۰/۸۷	۱/۰۸	-۲/۴۸**	۰/۹۶
مجموع آنیون‌ها	۰	۱/۰۸	۰	۰
Mg^{2+}	۰/۸۹	۰/۸۲	۰/۷۵	۲/۶۳**
Na^{+}	۱/۲۸	۱/۱۴	۱/۵۴	۲/۱۰*
K^{+}	۰/۸	۱/۹۲	۰/۸۹	۰/۳۴
Na%	۲/۶۱**	-۰/۲۷	۰/۲۸	۲/۹۹**
EC	۰/۸۸	۲/۴۴**	۰/۸۹	۱/۶۹
SAR	-۰/۹۷	۰/۱۲	-۲/۰۲*	۱/۸۷
TH	۲/۵۶**	۰/۹۲	۱/۶۰	۲/۹۹**
TDS	۱/۸۳	۲/۳۳**	۰/۱۶	۰/۱۲
pH	۰/۳۳	۰/۶۲	-۰/۸۲	۲/۶۶**
Ca^{2+}	-۲/۸۲**	-۰/۸۰	۰/۹۳	۱/۱۱
HCO_3^-	۰/۶۵	۰/۶۹	۱/۵۴	۲/۰۱*
Cl^-	۱/۰۳	۱/۳۸	۰/۱۲	۲/۹۶**
SO_4^{2-}	-۱/۸۳	-۱/۴۰	-۲/۳۵**	-۱/۱۱
۱	۳	۳	۰	۹
۲	۲	۰	۳	۰

ادامه جدول ۲- نتایج روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش (۱۳۹۲-۱۳۸۳) با آزمون ناپارامتری اسپیرمن*

ایستگاه	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
	فیض آباد	کلکلی	گزو	گل کن
مجموع کاتیون‌ها	-۲/۳۷**	-۰/۵۲	-۱/۸۳	۰/۱۴
مجموع آنیون‌ها	-۰/۵۲	-۰/۵۲	-۱/۸۳	۰/۱۴
Mg^{2+}	-۰/۱۲	-۰/۸۹	-۱/۱۸	۰/۱۴
Na^{+}	۲/۱۰*	-۱/۰۹	-۰/۵۸	۰/۶۵
K^{+}	۰/۴۵	۰/۰۶	-۱/۳۵	۱/۲۵
Na%	۲/۱۱*	-۰/۱۲	۱/۱۴	۱/۱۳
EC	۰/۴۱	-۰/۱۲	-۱/۲۱	۲/۳۴**
SAR	-۱/۵۹	-۰/۴۵	-۰/۷۴	۱/۰۷
TH	۲/۱۵*	-۱/۱۸	-۲/۱۹*	-۱/۴۸
TDS	-۰/۶۷	-۰/۰۹	-۰/۰۵	۲/۶۰**
pH	-۰/۳۴	۰/۳۲	-۰/۸۱	۱/۲۲
Ca^{2+}	۰/۲۷	۰/۰۷	/۴۲**	-۲/۵۰**
HCO_3^-	۱/۴۵	۰/۲۵	۰/۵۲	۰/۴۰
Cl^-	۰/۲۳	-۱/۹۱	-۱/۸۶	۱/۲۸
SO_4^{2-}	-۱/۹۵	-۰/۷۶	۲/۷**	-۲/۰۴*
۱	۳	۰	۲	۲
۲	۲	۱	۴	۲

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ۲- نتایج روند تغییرات برخی از متغیرهای کیفی آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش (۱۳۹۲-۱۳۸۳) با آزمون ناپارامتری اسپیرمن*

	ایستگاه	مجموع کاتیون‌ها	مجموع آنیون‌ها	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Na%	EC	SAR	TH	TDS	pH	Ca^{2+}	HCO_3^{-}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	۱	۲
۱۵	ناصرآباد	۰/۷٤	۰/۷٤	-۰/۸۲	۲/۰۹*	۱/۵٤	۲/۵۲**	۲/۱۲*	۲/٤۱**	۲/۰۹*	۲/۱۲*	۱/٤۲	-۱/۸۳	۲/۵۵**	۲/۰۳*	-۱/۸۳	۸	۲
۱۶	ناصری	۱/۸۹	۱/۷۵	۱/۵٦	۰/۸۱	۱/۸۷	-۱/۹۸	۲/٦٦**	-۱/۸۷	۱/۹۷*	۲/٦٦**	-۰/۳۱	۱/۱۱	-۰/۰۵	۲/۸۰**	-۰/٦۲	۷	۲
۱۷	هامون پشتکوه	۱/۱۸	۱/۱۸	۰/۳۱	۱/۰۲	۲/۱۰*	-۱/۲۵	۲/۷٤**	-۰/٦۳	۱/۲۵	۲/۷٤**	۰/۱٦	۰/٤۸	۰/۳۱	۱/۹۳	-۰/۷۰	٤	۰

جدول -۳ میانه شیب خط روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی

تعداد ایستگاه بدون روند	تعداد ایستگاه با روند منفی	تعداد ایستگاه با روند مثبت
۱۱	۵	۱
۱۲	۳	۲
۱۵	۱	۱
۱۳	۰	۳
۱۱	۰	۵
۱۱	۱	۵
۷	۰	۶
۱۳	۲	۲
۷	٤	۵
۷	۰	۶
۱٤	۰	۲
۷	۷	۲
۱۲	۰	٤
۷	۵	۵
٦	۱۰	۱
-	-	-
-	-	-

* جدول فوق مقادیر آماره‌ی Z_{SR} اسپیرمن است. ارقام پر رنگ نشان دهنده‌ی معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد بوده که به‌ترتیب بدون ستاره، با یک ستاره و با دو ستاره مشخص شده‌اند. SAR، pH و Na٪ بدون واحد، Ca^{2+}، Mg^{2+}، K^{+}، HCO_3^{-}، SO_4^{2-}، Na، Cl^{-}، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر حسب میلی اکی‌والان در لیتر، TH، TDS برحسب میلی‌گرم در لیتر و EC برحسب دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. ستون‌هایی که با اعداد ۱ و ۲ شماره‌گذاری شده‌اند به‌ترتیب برابر تعداد روندهای مثبت و منفی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی به‌صورت مجزا در هر ایستگاه می‌باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۵- مقادیر شیب خط روند (β) سری‌های زمانی متغیرهای کیفی آّب زیرزمینی (بر حسب واحد متغیر در سال) محدوده‌ی مطالعاتی خاش*

ایستگاه		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
		اسماعیل آباد	اکبرآباد	بلوچ آباد	بیابری	پشت گلبان	دشت رباط	دورین	رستم آباد	عباس آباد
مجموع کاتیون‌ها		۰/۲۲	۰/۲	-۱/۱۱	۰/۴۳	-۰/۴۷	-۰/۸۱	۰/۰۲	۰/۳۵	-۰/۱۲
مجموع آنیون‌ها		۰/۲۲	۰/۲	-۱/۱	۰/۴۳	-۰/۴۷	-۰/۸۱	-۰/۰۰۷	۰/۳۷	-۰/۱۰
Mg^{2+}		۰/۱	۰/۱۶	-۰/۲۴	۰	-۰/۰۶	-۰/۰۵	-۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۴
Na^{+}		۰/۲۳	۰/۲۱	-۰/۵۷	۰/۱۶	-۰/۳۲	-۰/۹	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۰۹
K^{+}		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Na%		۰/۷۱	۰/۴۲	۰/۲۶	-۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۶	-۰/۰۵	۰/۴۳
EC		۴۸/۳۳	۴۹/۲	-۴۷/۵	۵۶/۶۶	-۲۲/۲۵	۲۳/۳۳	۴۰	۶۰	۲/۶۶
SAR		۰/۱۳	۰/۱۲	-۰/۰۲	-۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۸
TH		-۵	-۰/۸۳	-۳۵/۶۲	۱۲	-۶/۲۵	-۱۱/۴۲	-۲/۹۳	۷/۵	-۸/۱۶
TDS		۳۹/۵	۳۹/۵	-۳۰/۷۵	۳۳/۸۳	-۶/۵	-۶/۵	۲۳/۶۵	۵۴/۳۷	۱۱/۴۲
pH		۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰۵
Ca^{2+}		-۰/۲	-۰/۲۱	-۰/۴۵	۰/۳۳	-۰/۱۷	-۰/۱۷	-۰/۱۶	-۰/۱	-۰/۳
HCO_3^-		۰/۱۵	۰/۰۵	۱/۳۵	۰	۰/۰۵	-۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۶	۰/۰۷
Cl^-		۰/۲	۰/۱۶	-۰/۹	۰/۳	-۰/۱۶	-۰/۶۲	۰/۱۷	۰/۱	۰
SO_4^{2-}		-۰/۳۲	-۰/۴۶	-۱/۰۷	-۰/۲۷	-۰/۴	۰	-۰/۵۵	-۰/۷۴	-۰/۴۹
		۱	۱۰	۲	۹	۴	۴	۹	۱۱	۷
		۱۱	۱۰	۲	۹	۴	۴	۹	۱۱	۷
		۵	۵	۱۳	۵	۱۲	۱۱	۷	۵	۷

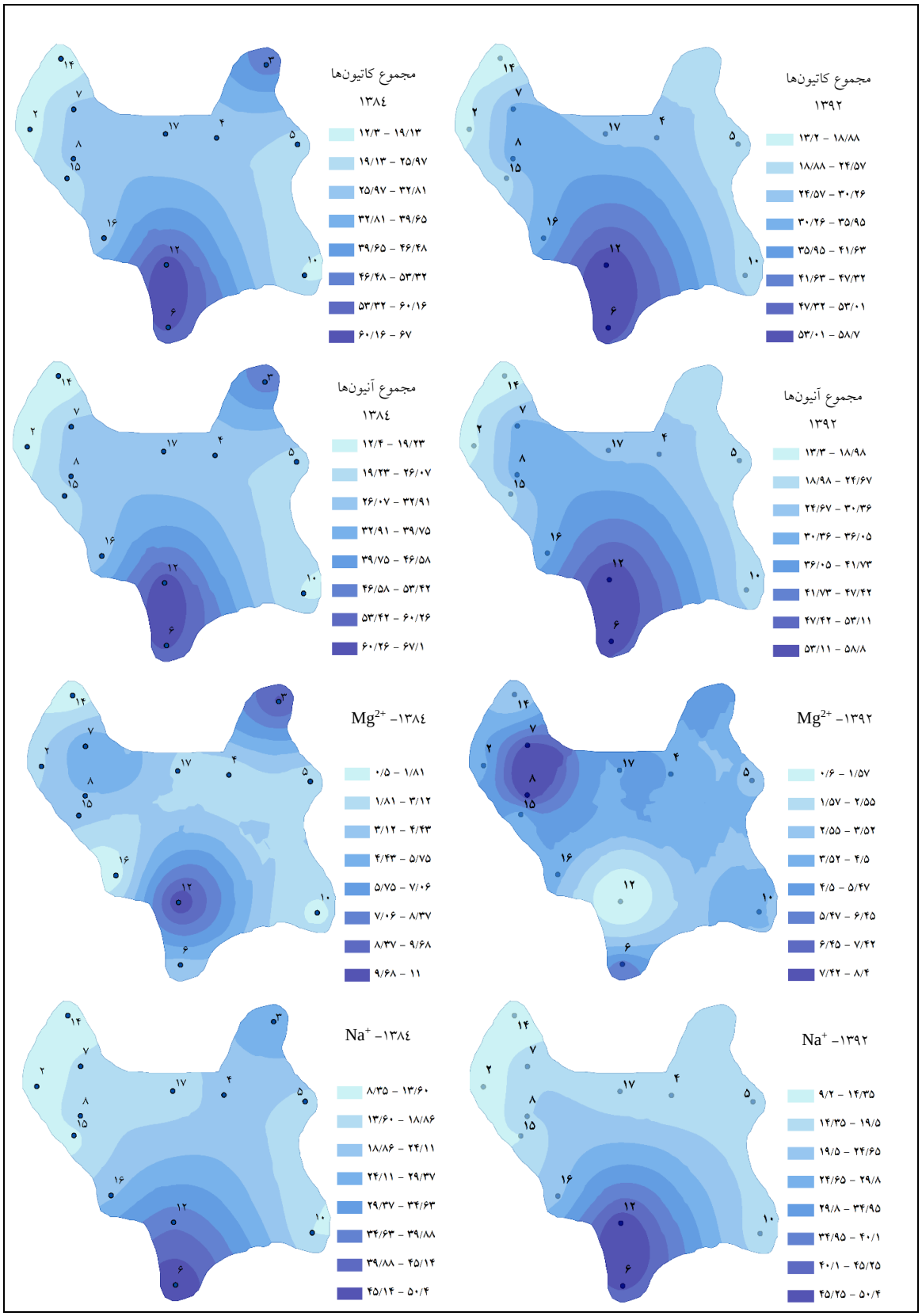
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ادامه جدول ٦- مقادیر شیب خط روند (β) سری‌های زمانی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی (بر حسب واحد متغیر در سال) محدوده‌ی مطالعاتی خاش*

ایستگاه	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
	علی آباد	فیض آباد	کلکلی	گرو	گل کن	ناصرآباد	ناصری	هامون پشتکوه
مجموع کاتیون‌ها	۰/۲٦	-۰/۱	-۰/٦٦	-۰/٦٦	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/٦	۰/۲٦
مجموع آنیون‌ها	۰/٦٥	-۰/۱	-۰/٦۲	-۰/٦٦	۰/۱	۰/۱۷	۰/٦	۰/۲۲
Mg^{2+}	۰/۱	۰/۰٥	-۰/٤۸	-۰/۰٥	۰/۰٤	-۰/۰۸	۰/۲	۰
Na^{+}	۰/٥۹	-۰/۰٤	-۰/۳٦	-۰/٤٦	۰/۱۱	۰/۳٥	۰/۳۲	۰/۱٥
K^{+}	۰	۰	۰	-۰/۰۰٦	۰	۰	۰/۰۰۷	۰
Na%	۰/۱٤	۰/۰۸	-۰/۱۸	۰/٤۲	۰/۳۸	۱/۲۹	-۱/۲۲	-۰/٥٦
EC	۱۰٥/٥	۲۰	-۱۱/٤۲	-٥٤/۲	۱۳/٦٦	٤۷/٥	۱۰٤	٦۰
SAR	۰/۲٥	۰/۱۳	-۰/۰۸	-۰/۱۱	۰/۱٤	۰/۳۳	-۰/۲٦	-۰/۰۳
TH	۹/۲۸	-٥	-۲۰	-۲۰/٦۲	-٥	-۱۰	۲۱/٦٦	۱۳/۳۳
TDS	۷۸	۲۳/۸۳	-۱/۳	-٦٥/٤٤	۲۰/٤۱	٤۲/۲٥	۸۲/۸۷	۳۹
pH	۰	-۰/۰۳	۰/۰۱	-۰/۰۳	۰/۰٥	۰/۰٤	۰	۰
Ca^{2+}	۰/۰٥	-۰/۲۳	-۰/۲٤	-۰/۳۳	-۰/۱۲	-۰/۲	۰/۲	۰
HCO_3^-	۰/۰۷	۰/۱٥	-۰/۰٥	۰/۱٥	۰	۰/۷۸	-۰/۳	۰
Cl^-	۰/۷۳	۰	-۰/۳۸	-۰/۳۸	۰/۰٥	۰/۱	۰/٥۳	۰/۰۳
SO_4^{2-}	-۰/۰۷	-۰/٤٥	-۰/۱۸	-۰/٤	-۰/٤۰	-۰/٥٤	-۰/۱	-۰/۱۳
۲	۳	۹	۱٥	۱٥	٥	٦	٦	٥
۱	۱۲	٦	۱	۲	۱۰	۱۰	۱۰	۷

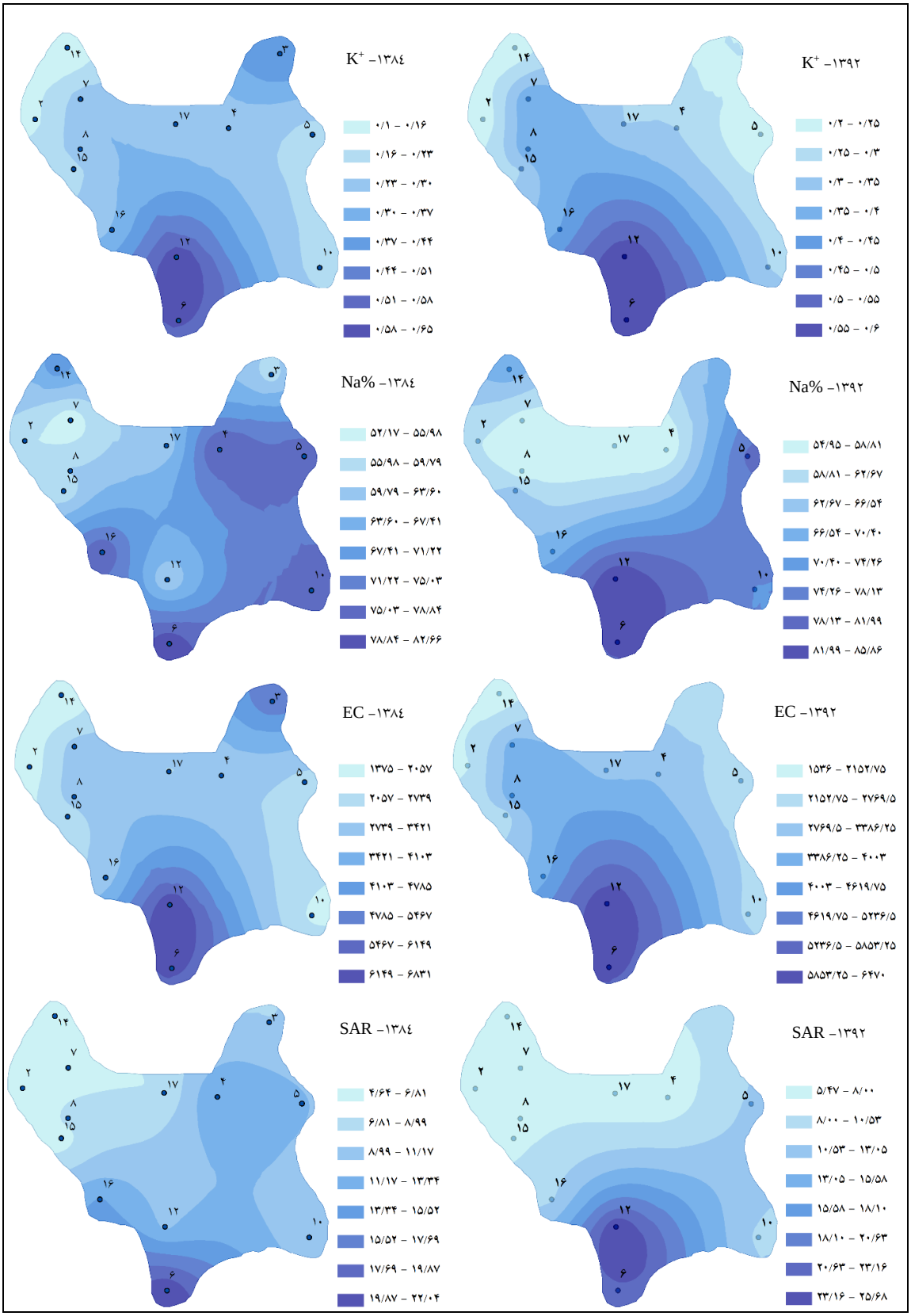
تعداد ایستگاه	تعداد ایستگاه	تعداد ایستگاه
۱۰	۷	۰
۹	۸	۰
۸	۷	۲
۱۱	٦	۰
۱۲	۱	۱٥
۱۲	٥	۰
۱۳	٤	۰
۱۱	٦	۰
٥	۱۲	۰
۱۲	٥	۰
۱۰	۲	٥
۳	۱۳	۱
۱۱	٤	۲
۱۰	٥	۲
۰	۱٥	۲
–	–	–
–	–	–

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



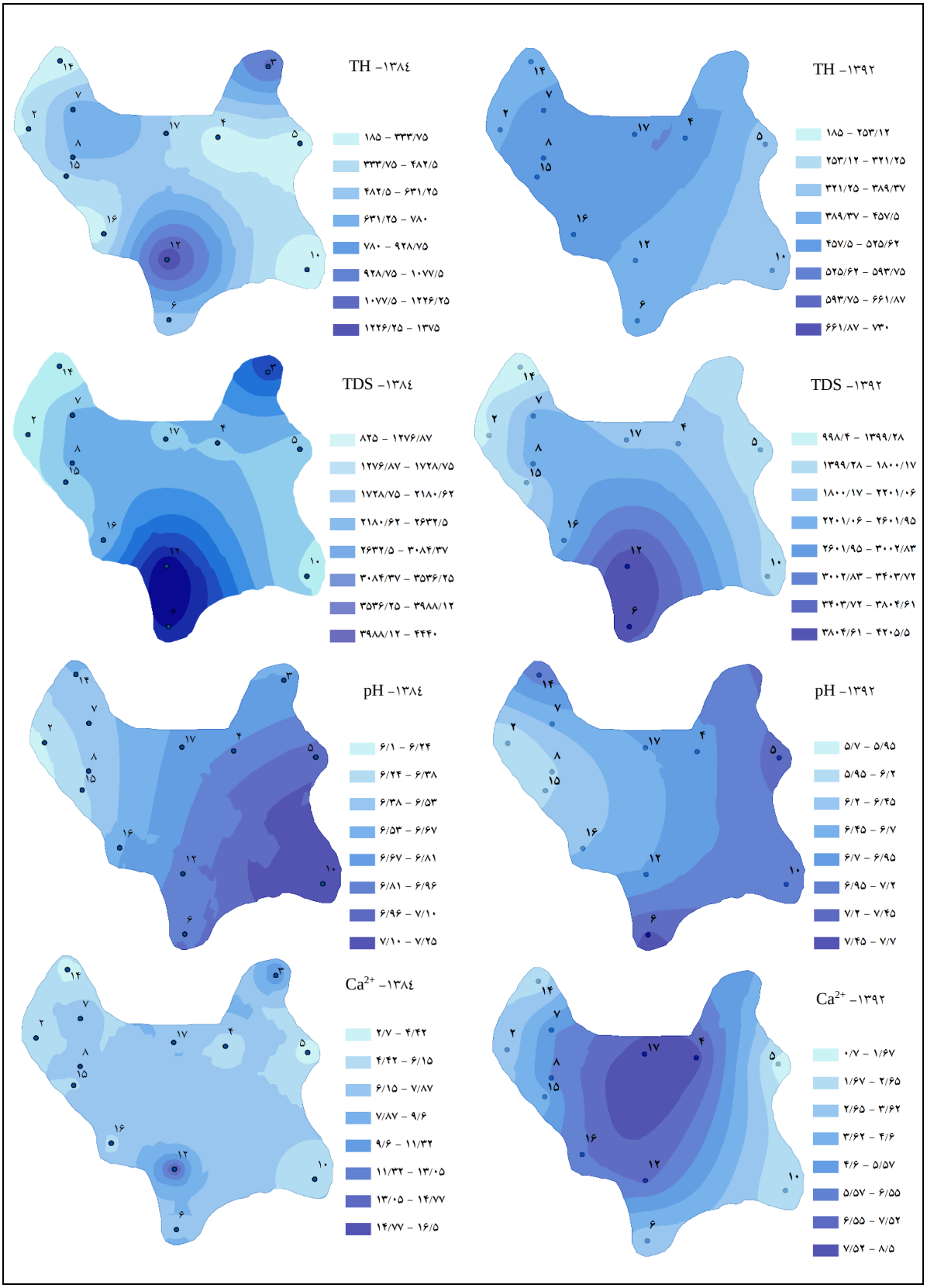
شکل ۳: نقشه توزیع مکانی متغیرهای کیفی دشت خاش

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



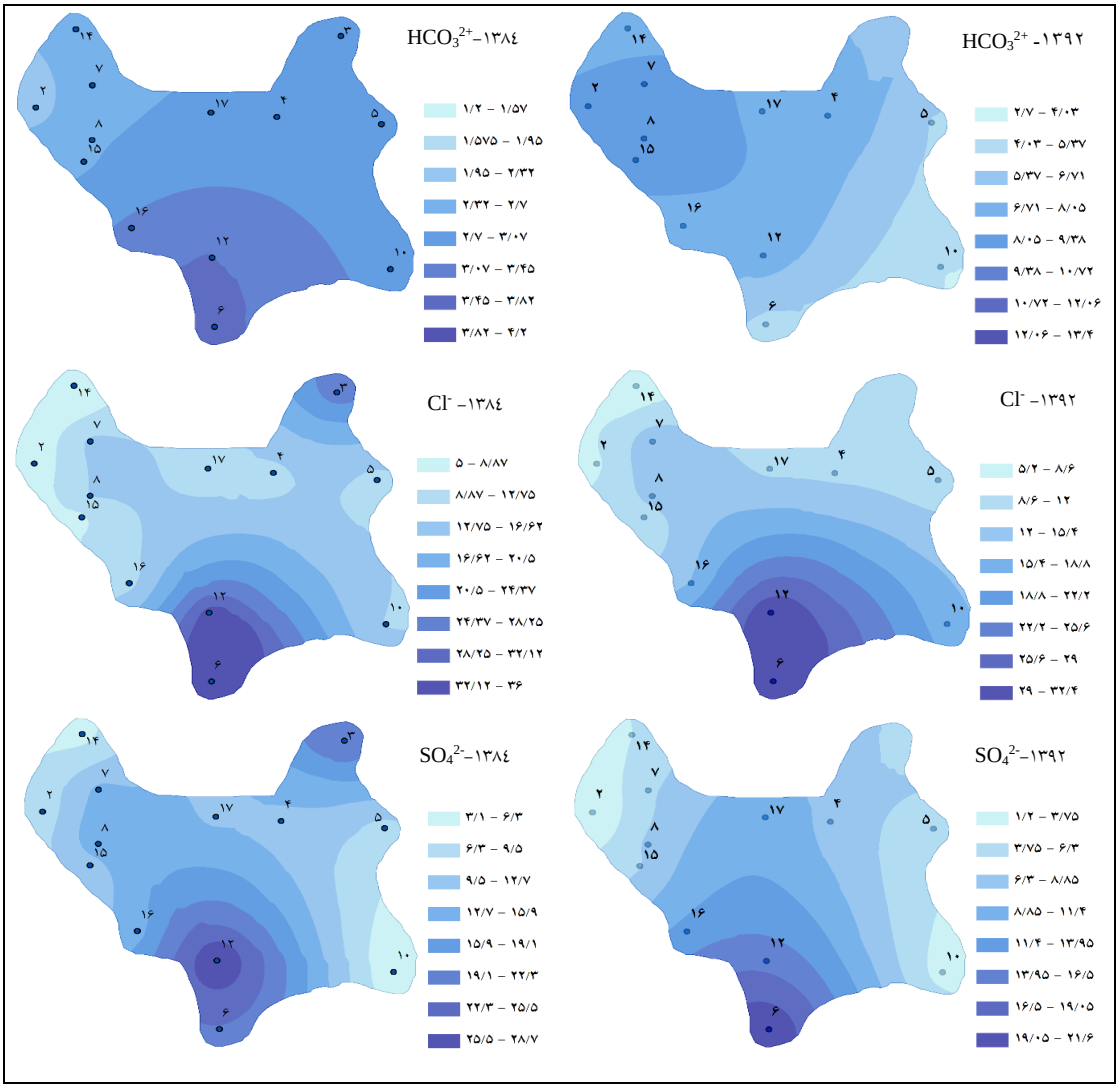
ادامه شکل ۳: نقشه توزیع مکانی متغیرهای کیفی دشت خاش

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



ادامه شکل ۳: نقشه توزیع مکانی متغیرهای کیفی دشت خاش

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



ادامه شکل ۳: نقشه توزیع مکانی متغیرهای کیفی دشت خاش

با توجه به آزمون مان–کندال هر دو ایستگاه دارای روند منفی در میزان بارش سالانه بوده‌اند. به‌طوری که روند ایستگاه شماره‌ی ۲ در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. نتایج تخمین‌گر سن نیز حاکی از روند کاهشی در میزان بارندگی ایستگاه‌ها می‌باشد. البته این روند کاهشی در ایستگاه شماره‌ی ۲، مشهودتر است. این نتایج حاکی از کاهش میزان نزولات جوی و در پی آن کاهش کیفیت آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش از لحاظ ۱۵ متغیر کیفی به‌صورت سالانه در طول دوره‌ی آماری (۱۳۹۲–۱۳۸۳) با روش‌های ناپارامتری مان–کندال و اسپیرمن مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تخمین‌گر شیب سن برای تخمین شیب خط روند متغیرهای کیفی به‌کار گرفته شد. نتایج آزمون

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

روند حاکی از روند مثبت اغلب متغیرهای کیفی آب زیرزمینی در اکثر ایستگاه‌های منطقه بوده است. شدیدترین روند مثبت با روش‌های مان-کندال (Z_{MK}=۳/۹۳) و اسپیرمن (Z_{SR}=۳) مربوط به EC در ایستگاه شماره‌ی ٤ بوده است. بر اساس نتایج حاصل از روش مان-کندال، ایستگاه‌های شماره‌ی ۱۰، ١٦، ۱۷ و ٤ بیش‌ترین مجموعه‌های مثبت معنی‌دار متغیرهای کیفی را به‌خود اختصاص داده‌اند. در روش اسپیرمن ایستگاه‌های شماره‌ی ٤، ۱۰، ۱۵ و ١٦ روندهای مثبت بیش‌تری دارا بوده‌اند و بر اساس نتایج تخمین‌گر سن ایستگاه‌های ۱۰، ۸، ۱، ١٤، ۱۵ و ١٦ از شیب‌های مثبت بیش‌تری برخوردار بوده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، ایستگاه‌های ۱۰ و ١٦ در هر سه روش جزو ایستگاه‌های بحرانی بوده‌اند. با توجه به روش‌های مان-کندال و اسپیرمن از بین متغیرهای کیفی مورد بررسی، متغیرهای EC و TDS در اکثر ایستگاه‌ها دارای بیش‌ترین روند افزایشی بوده‌اند. همچنین نتایج تخمین‌گر سن نیز حاکی از مثبت بودن شیب خط روند این دو متغیر در اکثر ایستگاه‌ها بوده است. متغیر SO_4^{2-} با توجه به نتایج هر سه روش در اکثر ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته است. براساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، عملکرد روش‌ها در تشخیص ایستگاه‌هایی که کیفیت آب آن‌ها دچار افت بیش‌تری شده است، مشابه بود. نقشه‌های پهنه‌بندی متغیرهای کیفی دشت خاش نشان داد که از بین متغیرهای مورد بررسی، میزان Na%، SAR، pH و HCO_3^{2+} در سال (۱۳۹۲) نسبت به (١٣٨٤) در منطقه افزایش داشته است. با توجه به نتایج آزمون مان-کندال و تخمین‌گر شیب سن، روند بارش سالانه در دو ایستگاه مورد بررسی، منفی بوده است (جدول ٦). این نتایج حاکی از کاهش میزان نزولات جوی و در نتیجه کاهش حجم آب ورودی به آب‌خوان و در پی آن افت کیفیت آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی خاش می‌باشد. برداشت بی‌رویه آب‌زیرزمینی (که موجب ورود آب شور از لایه‌های زیرین به داخل چاه می‌گردد)، رشد جمعیت، پیشرفت زندگی صنعتی و عدم توجه به چگونگی بهره‌برداری علمی از آب‌های زیرزمینی از دیگر عواملی می‌باشد که این وضعیت را تشدید می‌کند. راهکارهای ارائه شده برای جلوگیری از افت کیفی آب زیرزمینی در این منطقه با توجه به کاهش بارندگی سالانه، شامل مدیریت و کنترل برداشت از آب‌های زیرزمینی، جلوگیری از ورود آب‌های آلوده (فاضلاب‌های خانگی و صنعتی) به حریم چاه‌ها و ارائه‌ی برنامه‌های آموزشی و ترویجی از طرف سازمان‌ها به‌منظور بالا بردن سطح آگاهی مردم در راستای حفظ و حراست منابع آبی برای نسل‌های آینده می‌باشد.

جدول ۷- نتایج تحلیل روند بارندگی

شماره	ایستگاه	روش مان- کندال	شیب سن
۱	خاش	-۰/۷۲	-۱/۷۱
۲	کوشه	-۱/۹۸*	-٤/۹۷

*معنی‌داری در سطح ۵٪

سپاس‌گزاری

از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سیستان‌وبلوچستان به‌دلیل تأمین داده‌های لازم برای انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Abareshi, F., Meftah Halghi, M., Dehghani, A. A., (2014), "The trend of groundwater quality parameters in Zarringol Plain using nonparametric Mann-Kendall and Sen's Methods", ***Journal of Water and Soil Conservation***, 21: 79-100. [In Persian].
- Adhikary, P. P., Chandrasekharan, H., Chakraborty, D., Kamble, K., (2010), "Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India using geostatistical approach", ***Environmental monitoring and assessment***, 167 (1-4): 599-615.
- Afzali, A., Shahedi, K., (2014), "Investigation on trend of groundwater quantity-quality variation in Amol-Babol plain", ***Journal of Watershed Management Research***, 5: 144-156. [In Persian].
- Aguilar, J.B., Orban, P., Dassargues, A., Brouyère, S., (2007), "Identification of groundwater quality trends in a chalk aquifer threatened by intensive agriculture in Belgium", ***Hydrogeology Journal***, 15: 1615-1627.
- Alizadeh, A., (2010), "The principles of applied hydrology. 28th Edition", Imam Reza (AS) University, Mashhad.
- Bouza-Deaño, R., Ternero-Rodriguez, M., Fernández-Espinosa, A., (2008), "Trend study and assessment of surface water quality in the Ebro River (Spain)", ***Journal of Hydrology***, 361: 227-239.
- Boyacioglu, H., Boyacioglu, H., (2008), "Investigation of temporal trends in hydrochemical quality of surface water in Western Turkey", ***Bulletin of environmental contamination and toxicology***, 80: 469-474.
- Daneshvar Vousoughi, F., Dinpashoh, Y., (2013), "Trends of groundwater quality of ardabil plain using the Spearman method", ***Journal of Environmental Studies***, 38: 17-28. [In Persian].
- Dehghani, R., Kaki, M., (2013), "Analysis of the trends of groundwater quality changes by using the Spearman Test in Mazndaran Plain, Northern Iran", ***International Bulletin of Water Resources and Developmen***t, 1: 112-121.
- Delbari, M., Afrasiab, P., Salari, M., (2013), "Mapping water salinity and sodicity using selected geostatistical methods, case study: Kerman Plain", ***Water engineering***, 6: 11-24. [In Persian].
- Dinpashoh, Y., Fakhari Fard, A., Hassanpoor Eghdam, M. A., Beheshtee Vayghan, V., (2015), "Trend Analysis of Groundwater Quality of Shabestar- Soofian Plain", ***Journal of Irrigation Science and Engineering***, 38: 55-69. [In Persian].
- Hajjam, S., Khoshkhoo, Y., Shams`edin Vandi, R., (2007), "Analysis of seasonal and annual precipitation trends in some sites located in central Iran, using non- parametric methods", ***Journal of Geographical Research***, 64: 157-168.
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M., (1992), "Statistical methods in water resources (Vol. 49)" , Elsevier: London.
- Hirsch, R. M., Slack, J. R., Smith, R. A., (1982), "Techniques of trend analysis for monthly water quality data", ***Water resources research***, 18: 107-121.
- Holz, G. K., (2009), "Seasonal variation in groundwater levels and quality under intensively drained and grazed pastures in the Montagu catchment, NW Tasmania", ***Agricultural Water Management***, 96: 255-266.
- Isaaks, E. H., Srivastava R. M., (1989), "An introduction to applied geostatistics", Oxford University Press, Nen York.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Journel, A. G., Huijbregts, C. J., (1978), "Mining geostatistics", London Academic Press, New York. 600 p.
- Kendall, M. G., (1975), "Rank correlation measures", Charles Griffin Inc: London.
- Kolahdouzan, A., Dinpashoh, Y., Abbas Poor, D., Ghorbanian, M., (2015), "Study of Groundwater Qualitative Changes Trend in Miandoab Plain Using the Mann- Kendall Method", ***Water and Soil Science***, 25: 221-235. [In Persian].
- Kundzewicz, Z. W., Robson, A. J., (2004), "Change detection in hydrological records- a review of the methodology/revue méthodologique de la détection de changements dans les chroniques hydrologiques", ***Hydrological Sciences Journal***, 49: 7-19.
- Lehmann, E. L., (1975), "Nonparametrics, statistical methods based on ranks", Holden-Day, Inc: California.
- Lettenmaier, D. P., (1977), "Detection of trends in stream quality: Monitoring network design and data analysis", University of Washington: Washington.
- Mann, H. B., (1945), "Nonparametric Tests Against Trend", ***Econometrica***, 13: 245-259.
- Mozejko, J., (2012), "Detecting and estimating trends of water quality parameters", ***Water Quality Monitoring and Assessment***, 25:1- 27.
- Salmi, T., Maatta, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T., (2002), ***"Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates***", Vol. 31, Publications on Air Quality, Helsinki, Finland.
- Sen P.K., (1968), "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau", ***Journal of the American Statistical Association***, 63:1379-1389.
- Sneyers, R., (1990), "On the statistical analysis of series of observations", World Meteorological Organization, Technical Note no. 143, WMO no. 415.
- Tayfur, G., Kirer. T., Baba, A., (2008), "Groundwater quality and hydrogeochemical properties of Torbal Region, Izmir, Turkey", ***Environmental monitoring and assessment***, 146: 157-169.
- Theil, H., (1992), "***A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis***", In: Henri, T., (Ed), Contributions to economics and econometrics, Springer: Netherlands, pp 345-381.
- Wahlin, K., Grimvall, A., (2010), "Roadmap for assessing regional trends in groundwater quality", ***Environmental monitoring and assessment***, 165: 217-231.
- Yu, Y., Zou, S., Whittemore, D., (1993), "Nonparametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas", ***Journal of Hydrology***, 150: 61-80.
- Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G., (2002), "Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series", ***Journal of hydrology***, 259: 254-271.
- Zagros Sangab Consultants, (2011), Data analysis and water balance in Khah study area, 3th volume, Tehran: Zagros Sangab Consultants.
- Zare Garizi, A., Sadoddin, A., Sheikh, V., Salman, A. R., (2012), "Long-term trend analysis of water quality variables for the Chehelchay River (Golestan province)", ***Iranian Water Research Journal***, 6: 1-11. [In Persian].
- Zetterqvist, L., (1991), "Statistical estimation and interpretation of trends in water quality time series", ***Water Resources Research***, 27 (7): 1637-1648.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]