

بررسی روند و الگوی توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های

کیفی آب (مطالعه موردی دشت همدان-بهار)

عاطفه نورکی^۱

عبدالرحیم هوشمند^{۲*}

hooshmand_a@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۸/۶/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۵

چکیده

زمینه و هدف: امروزه آگاهی از کیفیت منابع آب زیرزمینی، روند و بررسی تغییرات مکانی آن در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این تحقیق بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی، انتخاب بهترین شاخص و پهنه-بندی آن جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار است.

روش بررسی: در این پژوهش به منظور بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب، محاسبه شاخص‌های کیفی و پهنه‌بندی آن از داده-های کیفیت شیمیایی دشت همدان-بهار در بازه زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ استفاده شد. پارامترهای شیمیایی آب شامل SO_4 ، Na، TDS، TH و pH در ۲۵ حلقه چاه اندازه‌گیری شد و با به کارگیری دو آزمون غیرپارامتری من-کندال و تخمین گر شیب سن، وجود روند معنی‌دار برای سری زمانی سالانه در سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین شاخص‌های کیفیت آب (WQI، WQI_{American} و CWQI) به صورت سالیانه محاسبه و از روش مقایسه‌ای جیل جانویک برای مقایسه شاخص‌های مورد نظر استفاده شد. سپس به وسیله سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مناسب‌ترین روش درون‌یابی جهت پهنه‌بندی بهترین شاخص کیفی آب از میان روش‌های درون‌یابی معین (IDW، RBF، LPI و GPI) انتخاب شد.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که ۴ درصد از متغیرهای کیفی دارای روند افزایشی معنی‌دار، ۱۲ درصد دارای روند کاهش‌ی معنی‌دار و ۸۴ درصد بدون روند بوده‌اند. براساس شرایط موجود کیفیت آب زیرزمینی دشت همدان-بهار با استفاده از شاخص‌های WQI، WQI_{American} و CWQI به ترتیب در طبقه خوب، خوب و بد قرار داشت.

بحث و نتیجه‌گیری: براساس نتایج حاصل از مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی، روش RBF نسبت به روش‌های دیگر برتری داشت و از دقت بالا و خطای پایینی برخوردار بوده است لذا درون‌یابی با این روش صورت گرفت. در پایان مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی شاخص WQI نشان داد که در ابتدا و انتهای دوره آماری ۱۰ ساله مورد بررسی میزان شاخص در کل سطح دشت یک روند کاهشی دارد. **واژه‌های کلیدی:** آزمون من-کندال، تخمین گر شیب سن، شاخص کیفی آب، پهنه‌بندی، دشت همدان-بهار.

۱- دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران.

۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. * (مسئول مکاتبات)

Evaluation of Trend and Spatial Distribution Pattern of Groundwater Quality Using Water Quality Indices

(Case study: Hamedan-Bahar plain)

Atefeh Nouraki¹

Abdul Rahim Hooshmand^{2*}

hooshmand_a@scu.ac.ir

Admission Date: September 4, 2019

Date Received: June 26, 2019

Abstract

Background and Objective: Awareness of the quality of groundwater resources in the planning and sustainability management of water resources is a particular importance. This study aimed to investigate the Spatial and temporal variations in groundwater quality, to select the best index and its zoning for managing the groundwater resources of Hamedan-Bahar plain.

Method: In this study, to determine the process of changes in water quality parameters, the groundwater quality indices and its zoning were used from the chemical data of the groundwater of Hamedan-Bahar plain in the period 2005 to 2014. The physical and chemical parameters of water including TDS, Na, SO₄, TH and pH were measured in 25 wells and by applying two non-parametric, Mann-Kendall tests and estimating the Sen's slope, the existence of a significant trend for the annual time series was evaluated at 95 and 99% significance level. Water Quality indices (WQI, WQI_{American} and CWQI) were evaluated annually and Giljanovic comparison method was used to compare the indices. Then, by using the GIS, the most appropriate interpolation method (from among IDW, RBF, LPI and GPI) was selected to zoning the best water quality index.

Findings: The results of this study showed that 4% of the qualitative variables had a significant increase, 12% had a significant decrease and 84% without a trend. Based on the existing conditions, groundwater quality of Hamedan-Bahar plain was characterized by good, good and bad grades using WQI, WQI_{American} and CWQI indices respectively.

Discussion and Conclusion: Based on the results of comparing different interpolation methods, RBF method was superior to other methods, and it has high accuracy and low error. Therefore, the interpolation was carried out with this method. In the end, the comparison the spatial zoning maps of the WQI index showed that at the beginning and the end of the 10-year statistical period, the index had a decreasing trend in the whole plain.

Keywords: Mann-Kendall Tests, the Sen's Slope Estimator, Groundwater Quality, Zoning, Hamedan-Bahar Plain.

1- Ph.D. Candidate, Irrigation and Drainage Department, Water Engineering Faculty, Shahid Chamran University Ahwaz, Iran

2- Associate Professor, Irrigation and Drainage Department, Water Engineering Faculty, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran *(Corresponding Author)

مقدمه

صورت گرفته است که مطالعه نوابیان و همکاران (۱۰)، عادل و همکاران (۱۱) و حمیدیان و همکاران (۱۲) از آن جمله‌اند. نقشه‌های حاصل از تکنیک‌های درون‌یابی معین به‌عنوان ابزارهای گزینش اولیه برای اعمال سیاست‌های تصمیم‌گیری در استراتژی‌های مدیریت آب زیرزمینی در مقیاس محلی و منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۳). در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی در سطح ایران توسط احمدی و هوشمند، (۱۴)، نورمحمدی و همکاران (۱۵) و در سطح جهان توسط طالبی‌نیا و همکاران (۱۶) و موزندا و همکاران (۱۷) برای بررسی تغییرات مکانی خواص کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است. با توجه به تأثیر مستقیم کیفیت منابع آبی در میزان تولیدات کشاورزی و تهدید اقتصاد کشور با کاهش میزان تولیدات، لازم است با بررسی و پایش کیفیت منابع آبی به مدیریت صحیح این منابع کمک کرد. براین اساس، تحقیق حاضر با هدف بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی، تعیین درجه کیفیت آب با استفاده از شاخص‌های کیفی آب، تعیین توزیع مکانی و سپس تحلیل روند تغییرات به وسیله نقشه‌های پهنه بندی انجام یافته است.

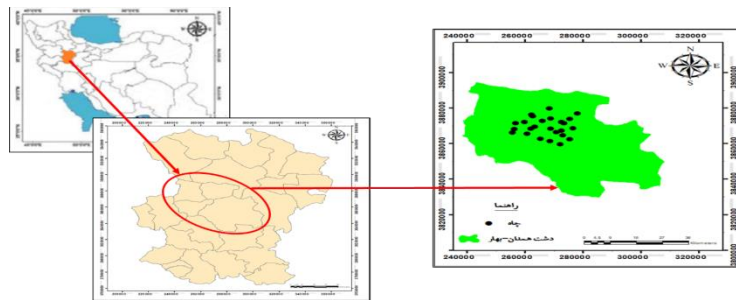
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

دشت همدان بهار در محدوده طول شرقی $48^{\circ}17'$ تا $48^{\circ}33'$ و عرض شمالی $34^{\circ}49'$ تا $35^{\circ}2'$ قرار دارد و با مساحت تقریبی ۹۳۰ کیلومتر مربع در حد فاصل ارتفاع ۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا محدود شده است. تعداد کل چاه‌ها و قنات درون دشت ۲۱۳۲ حلقه می‌باشد که از این تعداد ۱۳۲۹ حلقه چاه عمیق، تعداد ۷۱۶ حلقه چاه نیمه عمیق و ۲۴ رشته قنات است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت و چاه‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی با افزایش بی‌رویه جمعیت و نیاز فراوان به غذا، کمبود منابع آب سطحی و برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک بسیار بااهمیت است. در صورتی که مدیریت مناسبی صورت نگیرد، این منابع به میزان زیادی مستعد آلودگی هستند (۱). یکی از روش‌های معمول برای تشخیص تغییرات آب و هوایی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، تحلیل روند در سری زمانی است (۲). تعیین وجود یا عدم روند در دو دسته روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم‌بندی می‌شود. آزمون‌های آماری ناپارامتری بسیاری مانند آزمون من-کندال (۳) و روش تخمین گر شیب سن (۴) برای تعیین سری داده‌ها تاکنون بسط داده شده‌اند. دلبری و پودینه (۵) با مطالعه روند تغییرات طولانی مدت کیفی آب زیرزمینی خاش با استفاده از روش‌های من-کندال و تخمین گر شیب سن نشان دادند که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه غلظت عناصر روند افزایشی داشته است. همچنین می‌توان به تحقیقات بیات و ورکشی و فصیحی (۶) و رضائی مقدم و همکاران (۷) اشاره نمود.

شاخص‌های کیفی آب یکی از روش‌های بسیار ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری هستند که می‌توانند شرایط کیفی آب را بازگو و به‌عنوان یک ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم‌گیری‌های مربوطه استفاده شوند (۸). از مهم‌ترین شاخص‌های موجود می‌توان به WQI (Water quality index) و $WQI_{American}$ (Canadian water quality index) اشاره کرد. علی‌پور و همکاران (۹) با استفاده از شاخص WQI کیفیت آب زیرزمینی را از نظر شرب در ۹ استان خشک و نیمه‌خشک در ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در اکثر آبخوان‌ها کیفیت آب نامناسب (مقادیری بین ۲۰۰ تا ۳۰۰) است. در همین راستا مطالعات بسیاری در مناطق مختلف با استفاده از این شاخص



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه و محل های نمونه برداری

Figure 1. Location of the study area and sampling sites

روش پژوهش

شیب روند خط روند حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند است. در پژوهش حاضر روند در سری داده های سالانه با اعمال آزمون ناپارامتریک من-کندال و تخمین گر شیب سن در محیط نرم افزار XLSTAT محاسبه شد.

محاسبه شاخص های کیفیت آب

شاخص های WQI، WQI_{American} و CWQI

شاخص های کیفیت آب برای مصارف آشامیدنی و یا آبیاری، کیفیت کلی آب را از طریق یک عدد واحد در یک زمان و مکان مشخص بر اساس پارامترهای کیفیت مختلف آب بیان می کند. جدول ۱ روابط شاخص های کیفیت مورد استفاده در این پژوهش را نشان می دهد. همچنین پارامترهای مورد نیاز برای تعیین شاخص های WQI و WQI_{American} در جدول ۲ گزارش شده است که پس از برآورد شاخص های کیفیت آب می توان کیفیت آب را با استفاده از جدول ۳ طبقه بندی نمود. در این تحقیق برای مقایسه شاخص های مورد نظر و انتخاب بهترین شاخص کیفی آب زیرزمینی، از روش مقایسه ای جیل جانویک استفاده گردید. در نهایت بررسی و مقایسه مقادیر پارامترهای مورد نظر در ایستگاه (چاه) نمونه برداری شده توسط نرم افزار اکسل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

جهت بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، داده های مربوط به مقادیر اسیدیته (pH)، سولفات (SO_4^{2-})، سدیم (Na^+)، سختی کل (TH) و کل مواد جامد محلول (TDS) در یک دوره ی ده ساله از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ برای تعداد ۲۵ چاه از سازمان آب منطقه ای استان همدان اخذ شد. به دلیل این که نمونه برداری در برخی از چاه های منطقه فقط سالی یک بار انجام گرفته بود، از این رو محاسبات به صورت سالانه انجام گرفت. به منظور بررسی و تحلیل روند پارامترهای کیفی آب در چاه های بهره برداری از آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن استفاده شد. آزمون من-کندال آزمونی غیر پارامتری رتبه ای است که توسط من (۱۸) و کندال (۱۹) ارائه شده است و برای تعیین معنی داری روندهای خطی و غیر-خطی مناسب می باشد. در این روش پس از اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S، واریانس پارامتر S محاسبه شده و آماره Z در سطح معنی دار α به دست می آید. مقدار منفی Z بیان گر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان دهنده روند افزایشی در سری داده ها می باشد (۱۵). روش تخمین گر شیب سن مانند روش من-کندال براساس مفهوم تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بنا نهاده شده است. در این روش شیب بین هر جفت داده در سری زمانی محاسبه شده و میانه سری شیب های به دست آمده استخراج می گردد (۴). مقدار مثبت سری زمانی

جدول ۱- شاخص های کیفی آب مورد استفاده در این مطالعه

Table 1. Water quality indices used in this study

شاخص	رابطه	منبع
WQI	$WQI = \text{Antilog} \left[\sum_{i=1}^n W_i \times \log_{10} q_i \right]$	تیواری و میشر (۱۹۸۵)
WQI_{American}	$WQI_{\text{American}} = \left(\frac{\sum q_i W_i}{\sum W_i} \right)$	تیواری و میشر (۱۹۸۵)
CWQI	$CWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$	خان و همکاران (۲۰۰۴)

جدول ۲- مقادیر ضرایب وزنی و استانداردها برای شاخص های WQI_{American} و WQI Table 2. Weighting coefficients and standards for WQI and WQI_{American} indices

پارامتر	TDS	F	pH	NO_3	قلیابیت	CL	SO_4	TH	Na
استانداردها (S_i)	۱۰۰۰	۱/۵	۸/۵	۵۰	۱۲۰	۲۵۰	۲۵۰	۳۰۰	۲۰۰
ضریب وزنی (W_i)	۰/۰۰۱۲	۰/۸۰۹	۰/۱۴۲۸	۰/۰۲۴۲	۰/۰۱۰۱	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶
ضریب وزنی اصلاح شده (W_i)	۰/۰۰۸	N	۰/۸۹۸	N	N	N	N	۰/۰۲۵۴	۰/۰۳۸۱

N: پارامترهایی که داده های آن ها در دسترس نیست و وزن آن ها بر روی سایر پارامترها افزوده می شود.

جدول ۳- طبقه بندی کیفی آب براساس شاخص های WQI ، WQI_{American} و $CWQI$ (۲۰)Table 3. Water quality classification based on WQI ، WQI_{American} and $CWQI$ indices (20)

طبقه بندی	WQI	WQI_{American}	CWQI	شرح
غیر قابل آشامیدن	۱۰۰-۹۱	$300 >$	۲۵-۰	تقریباً در همه موارد نیاز به تصفیه داشته و در حد خطرناک قرار دارد.
خیلی بد	۹۰-۷۱	۳۰۰-۲۰۰	۵۰-۲۶	نیاز به تصفیه فراوان
بد	۷۰-۵۱	۲۰۰-۱۰۰	۷۰-۵۱	نیاز به تصفیه
خوب	۵۰-۲۶	۱۰۰-۵۰	۹۰-۷۱	نیاز به تصفیه خیلی کم
عالی	۲۵-۰	$50 <$	۱۰۰-۹۱	بدون نیاز به تصفیه

روش های میان یابی

(Local polynomial interpolation) استفاده گردید و از نرم افزار Arc GIS 10.3 و برنامه جانبی (Geostatistical Analyst) GA برای تهیه نقشه ها و ارزیابی کیفی، مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی کارایی روش های مختلف درون یابی قطعی و انتخاب بهترین روش

یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت کیفی آب زیرزمینی منطقه، عدم امکان نمونه برداری از تمام نقاط می باشد. بدین منظور از روش های میان یابی معین مانند عکس فاصله (Inverse distance weighting)، توابع پایه شعاعی (RBF)، تخمین گر موضعی (Global Radial basis function)، تخمین گر موضعی (polynomial interpolation) GPI و تخمین گر عام (LPI)

پارامتر را نشان می‌دهد. میانگین تمامی مقادیر اندازه‌گیری شده از نمونه‌ها به جز سدیم و pH بیش‌تر از استاندارد WHO (World health organization) بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار انحراف معیار مربوط به TDS و pH می‌باشد (جدول ۴).

درون‌یابی، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل و معیار آماری ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شده است.

نتایج و بحث

جدول ۴ خلاصه آماری داده‌های مربوط به ۵ عامل کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه و همچنین میزان حد مجاز برای هر

جدول ۴- نتایج آنالیز آماری پارامترهای مورد بررسی

4. Results of statistical analysis for investigated parameters Table

پارامتر	تعداد نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین نمونه‌ها	انحراف معیار	استاندارد WHO
SO ₄ (mg/l)	۲۵۰	۸/۹	۶۳۵/۴۴	۲۰۸/۵۲	۱۳۲/۵۶	۲۰۰
Na (mg/l)	۲۵۰	۴/۶	۲۴۷/۲۵	۵۷/۸۴	۴۵/۰۸	۲۰۰
TH (CaCO ₃ mg/l)	۲۵۰	۱۳۰	۸۹۲/۵	۳۹۹/۰۸	۱۷۷/۶۲	۳۵۰
TDS (mg/l)	۲۵۰	۱۸۶	۱۶۷۱/۶۵	۶۸۱/۹۸	۳۲۵/۹۹	۵۰۰
pH	۲۵۰	۶/۹	۸/۳۸	۷/۶۴	۰/۲۹	۸/۵

تحلیل روند پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

سختی کل آب در تعدادی از ایستگاه‌ها (کریم آباد، جورقان - کارخانه شیشه و شرق صالح آباد) روند منفی در سطح ۵ درصد مشاهده شد. با توجه به مقدار شیب سن محاسبه شده، بیش‌ترین شیب خط روند با علامت مثبت متعلق به ایستگاه کارخانه قند با شیب ۲۴/۵ میلی گرم بر لیتر در سال می‌باشد. متغیر TDS در ۱۳ ایستگاه روند نزولی و در ۱۲ ایستگاه روند صعودی داشت که در دو ایستگاه گنج تپه و جمشید آباد لالچین مقدار تغییرات به‌طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد روند کاهشی مشاهده شد. همچنین براساس شیب سن، بالاترین شیب خط روند برای متغیر TDS برابر ۲۷/۰۸ میلی گرم بر لیتر در سال بوده است که در ایستگاه جاده کرمانشاه مشاهده شد. متغیر pH فقط در سطح ۵ درصد و برای ایستگاه‌های صالح آباد، جاده کرمانشاه، کارخانه قند و جمشید آباد لالچین روند معنی‌دار منفی داشت و شدت روند نزولی pH بیش‌تر و روند صعودی آن کم‌تر بود. به‌طور کلی از بین متغیرهای مورد بررسی، SO₄، TH و pH بیش‌ترین مجموعه‌های معنی‌دار را در بین ایستگاه‌ها دارا بودند (جدول ۵). نتایج

نتایج آنالیز روند برای کلیه پارامترهای کیفی مورد مطالعه در دوره ۱۰ ساله در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به جدول یاد شده، ایستگاه‌های کریم آباد، گنج تپه، جمشید آباد لالچین و شرق صالح آباد در سطح ۱ درصد، حسام آباد و بند ۳ بهار در سطح ۵ درصد روند منفی در متغیر سولفات را داشته‌اند. جدول ۵ میان شیب خط روند متغیرهای کیفی آب زیرزمینی را در مقیاس سالانه برای هر یک از ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. در بین ایستگاه‌ها کم‌ترین و بیش‌ترین شیب خط روند متعلق به ایستگاه‌های حسام آباد و گرچغا به ترتیب برابر با ۰/۵۸۶- و ۰/۲۰۳ میلی گرم بر لیتر در سال بود. در اکثر ایستگاه‌ها متغیر سدیم، دارای روند افزایشی می‌باشد. این روند افزایشی در ایستگاه‌های جاده کرمانشاه، لالچین و شرق صالح آباد در سطح ۱ درصد و در ایستگاه یکن آباد در سطح ۵ درصد مشاهده شد. همچنین بررسی شیب خط روند در مقیاس سالانه نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین شیب خط روند در ایستگاه‌های بهرام آباد و دهپیاز به ترتیب برابر با ۱/۰۹۴ و ۰/۹۸۲- میلی گرم بر لیتر در سال بود. در مورد

تحقیق دلبری و پودینه (۵) از نظر نزدیکی نتایج حاصل از محدوده مطالعاتی خاش، با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. روش من-کندال در تشخیص روند کیفیت آب زیرزمینی

جدول ۵- نتایج آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن برای متغیرهای کیفی آب زیرزمینی دشت همدان-بهار (۱۳۸۴-۱۳۹۳)

Table 5. Mann-Kendall test and trend line slope for the water quality variables of Hamedan-Bahar plain (2005-2014)

pH	TDS	TH	Na	SO ₄	آماره	ایستگاه
-۰/۵۱۱*	۰/۲۸۹	۰/۰۹	۰/۴۲۲	-۰/۴۲۲	Kendall's Tau Slope	صالح آباد
-۰/۰۳۳	۶/۳۳۸	۱/۷۸۶	۰/۱۵۹	-۰/۰۷۶		
-۰/۴۴۹	۰/۱۵۶	۰/۲۰	۰/۰۶۷	۰/۰۴۵	Kendall's Tau Slope	ارومند
-۰/۰۰۵	۲/۰۸	۴/۵۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱		
-۰/۱۶۷	-۰/۲۵۴	-۰/۵۰	۰/۵۳۵	-۰/۳۸۹	Kendall's Tau Slope	پلیس راه
-۰/۰۳۱	-۱۲/۸۵۴	-۲۴/۳۷۵	۰/۱۶۴	-۰/۴۸۳		
-۰/۶۴۴*	۰/۳۷۸	۰/۳۷۸	۰/۶۴۴*	-۰/۰۲۲	Kendall's Tau Slope	جاده کرمانشاه
-۰/۰۰۴	۲۷/۰۸	۱۲/۹۱۷	۰/۰۸۰	-۰/۰۰۵		
۰/۳۶۸	-۰/۴۹۴	-۰/۵۵۲**	۰/۰۶۷	-۰/۷۷۸**	Kendall's Tau Slope	کریم آباد
۰/۰۳۶	-۳/۵۸۴	-۵	۰/۰۰۹	-۰/۱۳۰		
۰/۰۴۵	۰/۰۲۲	-۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	-۰/۳۶۰	Kendall's Tau Slope	هارون آباد
۰/۰۰۴	۰/۶۵۰	-۲/۰۸	۰/۰۱	-۰/۰۷۷		
-۰/۳۳۳	-۰/۲۴۴	-۰/۲۴۴	۰/۱۱۱	-۰/۵۱۱*	Kendall's Tau Slope	حسام آباد
-۰/۰۳۵	-۸/۹۸۱	-۱۰	۰/۰۲۵	-۰/۵۸۶		
-۰/۴۲۲	۰/۴۴۹	۰/۳۶۰	۰/۵۱۱*	-۰/۳۳۳	Kendall's Tau Slope	لالجین
-۰/۰۳۷	۱۱/۵۲	۴	۰/۱۱	-۰/۲۰۹		
-۰/۴۶۷	۰/۳۷۸	۰/۴۶۷	-۰/۲	-۰/۳۳۳	Kendall's Tau Slope	دهپياز
-۰/۰۶۷	۱۶/۲	۲۰	-۰/۹۸۲	-۰/۱۰۵		
-۰/۱۵۶	-۰/۳۱۵	۰/۱۳۵	-۰/۰۶۷	۰/۲	Kendall's Tau Slope	گرچغا
-۰/۰۱۷	-۵/۷۸۶	۷/۰۸	-۰/۰۱۶	۰/۲۰۳		
-۰/۶۲۹**	۰/۲	۰/۶۸۹**	۰/۰۶۷	۰/۲۷	Kendall's Tau Slope	کارخانه قند
-۰/۰۹۲	۲۴/۸	۲۴/۵	۰/۰۲۱	۰/۱۰۷		
-۰/۴۷۹	۰/۱۶۷	-۰/۶۴۸*	۰/۴۴۴	-۰/۳۳۳	Kendall's Tau Slope	جورقان - کارخانه شیشه
-۰/۰۳۳	۷/۱۸۶	-۷/۵	۰/۳۱۰	-۰/۱۶۵		
-۰/۳۶۶	-۰/۲۷۸	-۰/۲۸۶	-۰/۲۲۲	-۰/۲۲۲	Kendall's Tau Slope	جورقان
-۰/۰۰۳	-۱۴/۰۰۲	-۱۰/۴۳۸	-۰/۵۹۹	-۰/۲۰۸		

-۰/۴۶۷	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۴۲۲	۰/۲۴۴	Kendall's Tau Slope	لنگاه
-۰/۰۸۳	۲۶/۸	۸/۳۳۳	۰/۱۵۸	۰/۰۵		
-۰/۲۸۹	-۰/۲۴۴	-۰/۴۴۹	۰/۴۲۲	-۰/۳۷۸	Kendall's Tau Slope	بهرام آباد
-۰/۰۵۹	-۵/۶۹۲	-۶/۸۷۵	۱/۰۹۴	-۰/۲		
-۰/۱۹۷	-۰/۵	۰/۲۹۵	۰/۲۲۲	-۰/۲۲۲	Kendall's Tau Slope	دستجرد
-۰/۰۲	-۶/۶۳۸	-۲/۳۳	۰/۰۳۵	-۰/۰۵۷		
-۰/۰۲۲	۰/۳۱۵	-۰/۳۸۶	۰/۷۷۸**	۰/۴۲۲	Kendall's Tau Slope	یکن آباد
-۰/۰۰۲	۷/۵۴	-۵/۴۱	۰/۱۲۲	۰/۱		
-۰/۲۸۹	-۰/۲	-۰/۱۸	-۰/۳۳۳	-۰/۶۴۴*	Kendall's Tau Slope	بند ۳ بهار
-۰/۰۱۷	-۷/۶۱۶	-۱/۶۶	-۰/۰۵	-۰/۰۳۵		
-۰/۴۹۴	-۰/۵۵۶*	-۰/۰۹	-۰/۲۸۹	-۰/۶۴۴**	Kendall's Tau Slope	گنج تپه
-۰/۰۴	-۱۵/۶۸	-۲/۱۲۵	-۰/۴۱۲	-۰/۱۶۶		
-۰/۵۱۱*	-۰/۵۵۶*	-۰/۲۷	-۰/۶۸۹	-۰/۸۲۲**	Kendall's Tau Slope	جمشید آباد لالجین
-۰/۰۶۴	-۱۱/۱۶	-۳/۷۵	-۰/۰۷۴	-۰/۳۳۲		
-۰/۴۱۶	-۰/۲۱۴	-۰/۵۴۶	۰/۲۸۶	۰/۵	Kendall's Tau Slope	دهنجد
-۰/۰۲۱	-۳/۲۲	-۱۴/۰۶	۰/۰۷۲	۰/۰۶۸		
-۰/۱۴۳	-۰/۵	-۰/۵۴۶	۰/۴۲۹	-۰/۲۸۶	Kendall's Tau Slope	بهداریگ
-۰/۰۲۵	-۶/۳۱	-۱۰/۸۳۳	۰/۰۷۴	-۰/۱۷۴		
۰/۱۱۱	۰/۴۴۴	۰/۵	-۰/۲۷	۰/۲۲۲	Kendall's Tau Slope	هارون آباد - تغذیه مصنوعی
۰/۰۰۵	۵/۰۷۷	۹/۰۶۳	-۰/۰۹۳	۰/۰۵۸		
-۰/۴۴۹	۰/۱۱۱	۰/۰۷	۰/۲۸۹	-۰/۴۶۷	Kendall's Tau Slope	یکن آباد شرب
-۰/۰۶۹	۲/۰۵۷	۰	۰/۰۱۱	-۰/۰۷۴		
-۰/۴۰۵	-۰/۳۷۸	۰/۶۲۹*	۰/۵۱۱*	۰/۶۷۴**	Kendall's Tau Slope	شرق صالح آباد
-۰/۰۴۵	-۶/۲۸	-۵/۴۱۷	۰/۰۹۵	۰/۰۷۵		

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

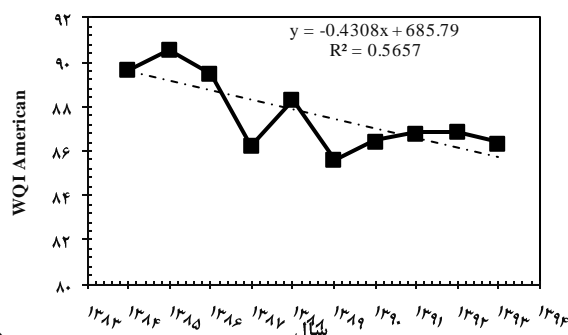
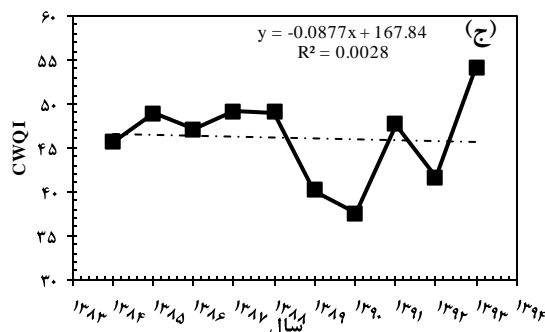
روند تغییرات شاخص‌های کیفی آب

برای منابع آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۷ روی داده است. همان‌طور که در شکل ۲ ب ملاحظه می‌گردد شاخص $WQI_{American}$ در تمام سال‌ها تقریباً روند یکسان و کمتر از ۱۰۰ بوده و در محدوده خوب قرار دارد. با بررسی شکل ۲ ج مشاهده می‌شود که در تمامی سال‌ها به‌جز سال ۱۳۹۳ مقدار شاخص $CWQI$ کمتر از ۵۰ می‌باشد. براساس این شاخص وضعیت کیفی آب دشت همدان - بهار در سال ۱۳۹۳ متوسط و

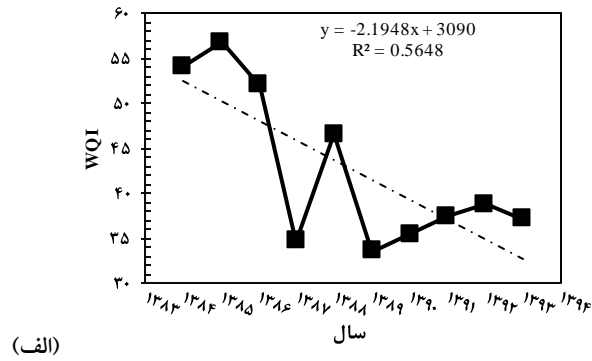
شکل ۲ روند تغییرات متوسط سه شاخص کیفی WQI ، $WQI_{American}$ و $CWQI$ برای سال‌های مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲ الف مشاهده می‌شود، مقدار شاخص WQI به‌جز سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵، در محدوده خوب قرار دارد. براساس این شاخص بحرانی‌ترین سال برای منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار، سال ۱۳۸۵ بوده است. این مسئله در حالی است که بهترین شاخص کیفی

WQI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص کیفی برای پایش و ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت همدان-بهار معرفی شد و کارگزاران می‌توانند از این شاخص کیفی برای پایش و ارزیابی تغییرات ایجاد شده در کیفیت آب زیرزمینی دشت همدان-بهار استفاده کنند. در مطالعه نوابیان و همکاران (۱۰) که به بررسی کیفیت آب زیرزمینی استان گیلان با چندین شاخص پرداختند، مشاهده شد که متوسط و پایین‌ترین مقدار شاخص WQI در محدوده کم‌تر از ۲۵ (شرایط عالی) قرار دارد و در شرایط حداکثر مقادیر شاخص WQI به بالاتر از ۱۰۰ (غیر قابل آشامیدن) رسیده است. همچنین عادل و همکاران (۱۱) نیز دریافتند که آب زیرزمینی مناطق بررسی شده افزایش ۳/۴ واحدی WQI به ازای هر سال داشته است و در وضعیت مطلوبی قرار ندارد. در مجموع کیفیت آب زیرزمینی دشت همدان-بهار مطابق با شاخص WQI در طبقه خوب قرار دارد و با لحاظ نمودن تصفیه خیلی کم برای مصارف شرب، مناسب ارزیابی می‌شود.

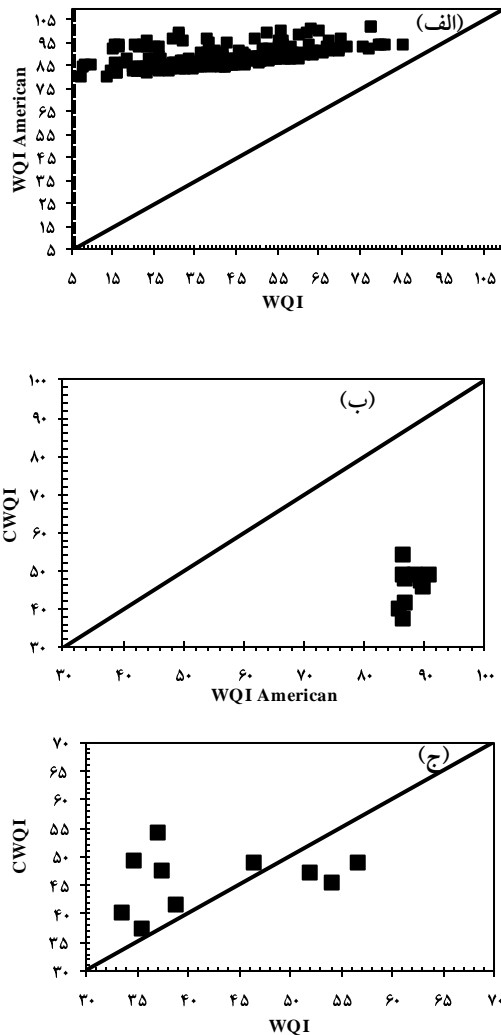
در سایر سال‌ها وضعیت بدی داشته است. در کل روند تغییرات میانگین شاخص‌ها منفی بوده که نشان‌دهنده افزایش کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت همدان-بهار است (شکل ۲). تفاوت نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف، انتخاب شاخص دقیق و مناسب‌تر را برای ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت همدان-بهار ضروری می‌سازد. لذا شکل ۳ نمودارهای مقایسه‌ای این سه شاخص را به صورت دو به دو نشان می‌دهد. در شکل ۳ الف مقادیر شاخص‌های کیفی WQI و WQI_{American} با هم مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیش‌تر نقاط در بالای خط مستقیم جداکننده دو شاخص قرار گرفته‌اند، لذا پراکنش و تفاوت اعداد در شاخص WQI بیش‌تر از شاخص WQI_{American} می‌باشد. بنابراین شاخص WQI نسبت به شاخص WQI_{American} در بیان واقعی کیفیت آب زیرزمینی دشت همدان-بهار، دقیق‌تر است. با توجه به توضیحات قبل در روش مقایسه‌ای جیل جانویک و مقایسه مرحله به مرحله بین شاخص‌ها از (نمودار ۳ الف تا ج)، شاخص



(ب)



شکل ۲- روند تغییرات شاخص کیفی الف) WQI، ب) WQIAmerican، ج) CWQI در دوره ۱۰ ساله مورد مطالعه
 Figure 2. The trend changes in qualitative index a) WQI, b) WQIAmerican, c) CWQI, over the 10-year study period



شکل ۳- مقایسه شاخص های کیفی الف) WQI و WQIAmerican، ب) CWQI و WQIAmerican، ج) WQI و CWQI
 Figure 3. Compare qualitative indices a) WQI & WQIAmerican, b) CWQI & WQIAmerican, c) WQI & CWQI

اعتبارسنجی متقابل و پهنه بندی

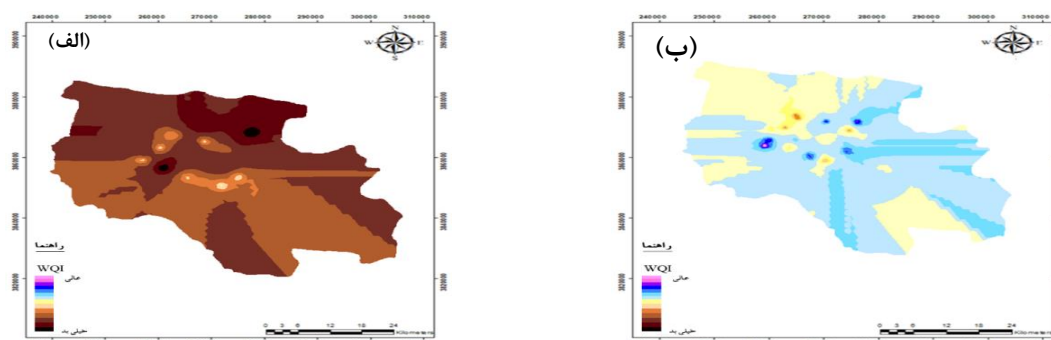
آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که شاخص کیفیت آب زیرزمینی WQI در قسمت شمال دارای بیشترین مقدار و در مرکز و جنوب غربی دشت کمترین مقدار است (شکل ۴). همچنین تخلیه فاضلاب‌های شهری در ناحیه جنوب شرقی دشت نیز موجب افزایش غلظت آلاینده‌ها در این ناحیه و حرکت آن‌ها در امتداد شمال شرق به دلیل ارتباط هیدرولوژیکی آبخوان از ناحیه شمال شرق با دشت کبودآهنگ می‌باشد که در شکل ۴ الف در سال ۱۳۸۴ به صورت مکان‌های پررنگ‌تر دیده می‌شود. بهمنی و همکاران (۲۲) مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آلودگی حاشیه جنوبی آبخوان همدان بهار را کشاورزی سنگین و استفاده بی‌رویه از کودهای مرغی و شیمیایی، فاضلاب شهرهای همدان و بهار، کشتارگاه صنعتی و واحدهای صنعتی واقع در حاشیه جنوبی آبخوان دانستند. با مقایسه شکل ۴ (الف و ب) مقدار عددی شاخص WQI در سال ۱۳۹۳ کم‌تر از سال ۱۳۸۴ بوده که نشان‌دهنده بهبود وضع کیفی آب آشامیدنی در دشت همدان بهار است. بهمنی و زالی (۲۲) روش RBF برای پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی پیشنهاد دادند که با نتایج فوق مطابقت دارد.

نتایج ارزیابی اعتبار روش‌های مختلف درونیابی قطعی در جدول ۶ نشان داده شده است. هم‌چنان که مشاهده می‌شود که روش RBF دارای RMSE پایین‌تر نسبت به سایر روش‌های درونیابی بود و درمورد روش‌های دیگر پس از روش RBF کم‌ترین خطا مربوط به روش IDW (توان ۲) است. لذا روش RBF به‌عنوان مناسب‌ترین روش درونیابی در تهیه نقشه کیفیت آب زیرزمینی دشت همدان بهار انتخاب شد. همچنین بهمنی و زالی (۲۲) نیز روش RBF را برای پهنه‌بندی نیترا و هدایت الکتریکی در دشت کبودآهنگ پیشنهاد دادند و در برخی از مطالعات دیگر مثل علی‌پور و همکاران (۹) نور محمدی و همکاران (۱۵) مدل IDW را برای پهنه‌بندی پیشنهاد دادند. البته با توجه به متغیر بودن پارامترهای مؤثر در غلظت یک عنصر در منابع آب زیرزمینی این روش درونیابی گرچه در این دشت بسیار کارآمد است، ولی ممکن است در دشت دیگری کارایی مناسب را نداشته باشد (۱۵). به‌منظور مقایسه الگوی توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت همدان بهار براساس شاخص WQI در طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳، نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص WQI مربوط به سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳ با استفاده از روش RBF تهیه گردید (شکل ۴). نقشه‌های کیفیت

جدول ۶- نتایج اعتبارسنجی روش‌های مناسب درونیابی قطعی در GIS

Table 6. Cross validation results of deterministic methods in GIS

RMSE روش‌های درونیابی						سال
GPI	LPI	RBF	IDW-3	IDW-2	IDW-1	
۶/۵۹	۶/۱۸	۵/۴۹	۵/۹۴	۵/۵۹	۵/۷۲	۱۳۸۴
۶/۴۷	۵	۴/۲۰	۴/۶۵	۴/۱۸	۴/۲۵	۱۳۹۳



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفیت آب WQI در دشت همدان-بهار (الف) سال ۱۳۸۴، (ب) سال ۱۳۹۳

Figure 4. Spatial distribution map of water quality index WQI in Hamedan-Bahar plain a) 2005 year, b) 2014 year

نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی وضعیت کیفیت آب زیرزمینی دشت همدان-بهار انجام شد. نتایج آزمون روند من-کندال نشان داد که درصد روندهای معنی‌دار کاهشی پارامترهای کیفی مورد بررسی بیش از درصد روندهای افزایشی است. به طوری که از بین پنج متغیر کیفیت آب، چهار متغیر روند کاهشی (Na) داشته است. شاخص WQI عملکرد بهتری داشت و تغییرات کیفی آب را بهتر از سایر شاخص‌ها نشان داد. از طرفی مقایسه نقشه پهنه‌بندی شاخص WQI در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳، نشان‌دهنده بهبود وضع کیفی آب آشامیدنی در دشت همدان-بهار است. لذا کارگزاران و مسئولان منطقه می‌توانند از این شاخص کیفی برای پایش و ارزیابی تغییرات ایجاد شده در کیفیت آب دشت همدان-بهار استفاده کنند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از شرکت آب منطقه‌ای استان همدان که در انجام این پژوهش مساعدت‌های لازم را عنایت فرمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

Reference

- of Yazd in 2008. Journal of Health system research 6:1048-1056. (In Persian)
- Zare Abyane, H., Bayat Varkeshi, M., Maruofi, S. 2012. Investigation groundwater fluctuations in Malayer Plain. J. Soil Water Sci; 22: 2. 173-190. (In Persian)
- Dinpasho, Y., Fakhari Fard, A., Hassanpoor, M A., Beheshtee Vayghan, V., 2015. Trend analysis of groundwater quality of Shabestar - Soofan Plain. Irrigation Science and Engineering; 38(1):55-69. (In Persian)
- Sen P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, Journal of the American Statistical Association, 63:1379-1389
- Delbari, M., Podine, A., 2018. Study of the trend and pattern of spatial distribution of groundwater quality in Khash study area. Journal of the Geographic Space Quarterly, Vol. 63, PP. 25-50. (In Persian)
- Bayat-Varkeshi, M., Fasihi, R., 2018. Monitoring of groundwater quality changes trend in four plains of Gilan province during a 12-year period. Journal of the Health & Environ, Vol. 10, PP. 547-558(in Persian).
- Ebrahimi, A., Eshramposh, M H., Ghaneian, MT., Davoudi, M., Hashemi, H., Behzadi S., 2010. The survey chemical quality of ground water in the vicinity of sanitary landfill

- province using water quality index. *Journal of the Hydrogeology*. Vol, 2. PP. 31-44. (In Persian)
13. Samson, M. G. Swaminathan and N. Venkat Kumar. 2010. Assessing groundwater quality for potability using fuzzy logic and GIS- A case study for Tiruchirappalli City- India. *Comp. Model. And New Technols*. 14(2):58-68
 14. Ahmadi, M., Hoshmand, A., 2018. Evaluation of Corrosion and Scaling Potential of Groundwater in Dezful-Andimeshk Plain Using Geostatistical Methods. *Journal of the Iran-Water Resources Research*. Vol, 14. PP. 263-267. (In Persian)
 15. Normohamadi, S., Tajbakhsh, M., Memarian, H., 2017. Investigation of the effect of precipitation element on groundwater resources using spatio-temporal spatial analysis of drought (Case study: Mashhad plain in Kashfrud River basin), *Journal of the Geography and geography and environmental hazards*. Vol. 6. PP.19-44. (In Persian)
 16. Talebiniya, M., Khosravi, H., & Zohrabi, S. (2019). Assessing the ground water quality for pressurized irrigation systems in Kerman Province, Iran using GIS. *Sustainable Water Resources Management*, 1-10.
 17. Muzenda, F., Masocha, M., & Misi, S. N. 2019. Groundwater quality assessment using a water quality index and GIS: A case of Ushewokunze Settlement, Harare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*
 18. Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend, *Econometrica*. 13:245-259
 7. Rezai- moghadam, M., Nicjo, M., Hejazi, M., Khezri, S., Kazemi, A., 2017. The effect of hydrogeomorphological factors on water quality changes in Siminrood river in different stations during the years 2003-2013. *Journal of the Ecohydrology*. Vol. 2, PP.395-405. (In Persian)
 8. Khalaaji, M., Ebrahimi, E., Hasheminejad, h., 2017. Water Quality Assessment of Zayanderood's Dam Lake using Water Qualitative Index in 2013. *J. Water and Soil Sci*. Vol. 21. PP. 265-277. (In Persian)
 9. Alipor, A., Rahimi, J., Azarnivand, A., 2017. Evaluation of groundwater quality for drinking and agricultural purposes-Pre-requisite for planning of land use planning in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of the Pasture and Watershed Management*. Vol, 2. PP. 423-434. (In Persian)
 10. Navabian, M., Yousfi, S., Esmaeli Voraki, M., Ghodsi, M. First National Conference on Water and Agriculture Resource Challenges, Iranian Irrigation and Drainage Association, Islamic Azad University of Khorasgan. 2012. (In Persian)
 11. Adeli, B., Mohamadi, H., Sadodin, A., Bazrafshan, A., Armin, A., 2018. Qualitative and quantitative assessment of groundwater aquifers using the WQI method and the Mann-Kendall test (case study: Sarkhoon plain, Hormozgan province). *Journal of the Ecohydrology*, Vol 3. PP. 801-811. (In Persian)
 12. Hamidian, L., Meraji, H., Fijani, A., Betalebloii, S., 2017. Assessment of groundwater quality in Bushehr

- quality data in Newfoundland and Labrador, Water Quality Research Journal of Canada, 39, pp 285–293.
22. Bahmani, O., Zali, A., 2018. Investigation and determination of spatial distribution of nitrate and electrical conductivity in groundwater using ground-based method (Case study: Kaboodarahang Plain). Quarterly Journal of Environmental Science and Technology.
19. Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods. Griffin, London, UK.
20. Tiwari, T N., Mishra, M A., 1985. A preliminary assignment of water quality index of major Indian rivers. Journal of Environ Proc 5:276- 279
21. Khan, A.A., Paterson, R., and Khan, H. 2004. Modification and application of the Canadian Council of Ministers of the Environment water quality index (CCMEWQI) for the communication of drinking water