



پایش وضعیت کیفی آب زیرزمینی، با استفاده از شاخص IRWQI_{GC}، مطالعه موردی: دشت فریمان، تربت جام

نسرین ایزدی مهر^۱، قاسم ذوالفقاری^۲

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، آلودگی محیط زیست، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه

حکیم سبزواری

۲. دانشیار علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	به دلیل محدودیت منابع آبی بحث آلودگی آب های زیرزمینی مهم و مورد توجه است. هدف از این مطالعه تعیین کیفیت آب های زیرزمینی دشت فریمان- تربت جام با استفاده از شاخص IRWQI _{GC} و بررسی تغییرات مکانی در بازه زمانی پاییز ۹۸- بهار ۹۹ بود. به این منظور در مجموع ۳۰ نمونه جمع آوری شده است و پارامترهای اسیدیته، سختی کل، کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی و نیترات در سه فصل اندازه گیری شده اند. پهنه بندی مکانی نیز با نرم افزار GIS انجام گرفته است. طبق نتایج به دست آمده مقدار شاخص IRWQI _{GC} در سه فصل پاییز ۹۸، زمستان ۹۸ و بهار ۹۹ به ترتیب ۶۰/۴۵، ۳۶/۵۶، ۳۴/۱۴ محاسبه شده است که طبق این نتایج محدوده مورد مطالعه در فصل پاییز ۹۸ دارای کیفیت آب زیرزمینی نسبتاً خوب بوده است و در دو فصل زمستان ۹۸ و بهار ۹۹ دارای کیفیت آب زیرزمینی نسبتاً بد می باشد. بررسی کیفیت آب زیرزمینی در محل های نمونه برداری (چاه های مناطق رباط، سفید سنگ، رحمت آباد، قلعه گک، حیانو، قلعه خاکی، منصور به، اراضی کوشکک، احمدآباد و رخنه گرگ) نشان داده است، بهترین کیفیت آب زیرزمینی مربوط به مناطق رباط بود که دارای کیفیت آب زیرزمینی نسبتاً خوب است و بدترین کیفیت آب زیرزمینی نیز مربوط به قلعه خاکی، اراضی کوشکک و احمدآباد می باشد که دارای کیفیت آب زیرزمینی بدی است. طبق این مطالعه آب های زیرزمینی بخش جنوب و جنوب شرقی دشت فریمان- تربت جام از نظر شوری و سختی و بخش شمالی دشت از نظر پارامتر نیترات آلودگی بیشتری داشته اند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۴	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵	
کلید واژه ها: کیفیت آب های زیرزمینی، پهنه بندی، شاخص IRWQI _{GC} ، تغییرات مکانی	



Monitoring the quality of groundwater, using the IRWQIGC index, Case Study: Fariman-Torbat Jam Plain

Nasrin Ezadi Mehr^{1✉}, Qasim Zulfiqari²

1. MSc in Environmental Engineering, Environment, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran
2. Associate Professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran

Article Info	Abstract
Article type: Research Article	<p>Due to the limitation of water resources, the issue of groundwater pollution has become increasingly important. The purpose of this study was to determine the quality of groundwater in the Fariman-Torbat Jam plain using the IRWQIGC index and to investigate spatial variations during the period from autumn 2019 to spring 2020. For this purpose, a total of 30 samples were collected, and the parameters of pH, total hardness, total dissolved solids (TDS), electrical conductivity (EC), and nitrate were measured across three seasons. Spatial zoning was performed using GIS software. According to the results, the IRWQIGC index values in autumn 2019, winter 2019, and spring 2020 were calculated as 45.60, 36.56, and 34.14, respectively. These results indicate that the groundwater quality in the study area was relatively good during autumn 2019, but relatively poor during winter 2019 and spring 2020. The assessment of groundwater quality at the sampling sites (wells located in Rabat, Sefid Sang, Rahmatabad, Qaleh Gak, Hayano, Qaleh Khaki, Mansourieh, Kushkak lands, Ahmadabad, and Rokhneh Gorg) showed that the best groundwater quality was observed in Rabat, with relatively good groundwater quality, while the worst quality was observed in Qaleh Khaki, Kushkak lands, and Ahmadabad, with poor groundwater quality. Based on the findings, groundwater in the southern and southeastern parts of the Fariman-Torbat Jam plain was more polluted in terms of salinity and hardness, while the groundwater in the northern part was more polluted with respect to nitrate contamination.</p>
Article history:	
Received: 2024/05/13	
Accepted: 2025/03/08	
Available online: 2025/05/05	
Keywords: quality of groundwater, zoning, IRWQIGC index, Spatial Changes	

مقدمه

شهرنشینی بدون برنامه‌ریزی، سیاست‌های اکتشاف نامحدود و تخلیه‌ی آب آلوده در محل نامناسب باعث نفوذ ترکیبات مضر به آب‌های زیرزمینی شده است (پندی و همکاران، ۲۰۰۸). دفع زباله‌های صنعتی و شهری، استفاده از مواد شیمیایی در کشاورزی (کود، علف کش و سموم دفع آفات) علل اصلی آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌باشند (اوله و همکاران، ۲۰۰۹). بررسی کیفیت آب با دقت بالا، کلید کنترل آلودگی آب و بهبود مدیریت آب است (سینگا و همکاران، ۲۰۲۱). کیفیت آب زیرزمینی تأثیر زیادی بر سلامت انسان و توسعه کشاورزی دارد (آدیمالا و تالور، ۲۰۲۰). آلاینده‌های صنعتی، تخلیه فاضلاب‌های خانگی و کشاورزی، همچنین ورود شیرابه حاصل از زباله به رواناب‌های سطحی باعث افزایش آلودگی آب‌های سطحی شده‌است و منابع آب سطحی را کاهش داده است. با اینکه منابع آب‌های سطحی بیش‌تر در معرض آلودگی قرار می‌گیرند ولی به دلیل کمبود منابع آب شیرین و کاهش میانگین بارندگی‌ها در کشور، سفره‌های آب زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منابع آب شیرین دارای اهمیت فراوانی است، بنابراین حفظ کیفیت این منابع بسیار مهم است (جلیلی و همکاران، ۲۰۱۹). کمیت آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر افزایش شهرنشینی قرار می‌گیرد. مشاهده شده‌است که زمین‌های برهنه و زراعی و سایر زمین‌های کم جمعیت به سکونتگاه‌های متراکم تبدیل شده‌اند که هیدرولوژی منطقه را تغییر داده است. این تغییرات شامل افزایش شوری آب و ترکیبات نیتروژن و همچنین آلودگی میکروبیولوژیکی و آلودگی فرآورده‌های نفتی است (بادینژاد و همکاران، ۲۰۲۰). کیفیت آب آبیاری به دلیل تغییر در خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک، به‌طور قابل توجه بر بازده محصول تأثیر می‌گذارد، به همین دلیل ارزیابی ترکیب شیمیایی خاک و آب‌های زیرزمینی قبل از استفاده از آن برای آبیاری اجباری است (اواس و همکاران، ۲۰۱۷). دشت فریمان - تربت جام در حوضه آبریز قره قوم ایران واقع شده‌است و از نظر آب‌های سطحی بسیار فقیر است، به همین دلیل فشار عمده بر روی برداشت از آب‌های زیر زمینی برای مصارف مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی است. تراز سطح آب زیرزمینی دشت فریمان - تربت جام از ۱۲۰۰ متر در غرب دشت تا ۷۶۰ متر در جنوب شرقی دشت در احمدآباد متفاوت است (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۵). هدف از این مطالعه تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فریمان - تربت جام با استفاده از شاخص $IRWQI_{GC}$ و بررسی تغییرات مکانی در بازه زمانی پاییز ۹۸ - بهار ۹۹ بود.

مواد و روش‌ها

در مدت زمان مورد مطالعه (پاییز ۹۸ - بهار ۹۹) از ۳۰ چاه عمیق دشت فریمان - تربت جام نمونه‌برداری شده‌است و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت فریمان - تربت جام با استفاده از شاخص $IRWQI_{GC}$ تعیین شده‌است. برای این مطالعه پارامترهای فیزیکی- شیمیایی (NO_3 , EC, TH, pH, TDS) اندازه‌گیری شده‌اند و در نهایت پهنه‌بندی مکانی با نرم‌افزار (GIS) انجام شده‌است. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شده‌است.

-شاخص $IRWQI_{GC}$

شاخص کیفی منابع آبی ایران است. پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی تحت نظارت سازمان محیط‌زیست در سال ۱۳۹۰، راهنمای محاسبه شاخص کیفیت آب‌های زیرزمین $IRWQI_{GC}$ را برای پارامترهای مختلف آب منتشر کرده است. برای محاسبه‌ی شاخص کیفیت آب‌های زیر زمینی $IRWQI_{GC}$ ، تعدادی پارامتر پیشنهاد شده‌است که به هر کدام از آن‌ها متناسب با نقشی که در ایجاد آلودگی دارند، وزنی طبق جدول (۱) تعلق گرفته است.

جدول (۱): پارامترهای شاخص IRWQIGC و وزن آنها

واحد اندازه گیری	وزن	پارامتر	ردیف
بر حسب میلی گرم بر لیتر	۰/۱۵۱	نیترات	۱
بر حسب MPN/100ml	۰/۱۳۴	کلیفرم مدفوع	۲
بر حسب میکرو زیمنس بر سانتی متر	۰/۱۲۹	هدایت الکتریکی	۳
بر حسب میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم	۰/۱۰۳	سختی کل (TH)	۴
-	۰/۰۸۹	SAR	۵
بر حسب میلی گرم بر لیتر	۰/۰۸۸	BOD	۶
بر حسب میلی گرم بر لیتر	۰/۰۸۵	فسفات	۷
بر حسب میلی گرم بر لیتر	۰/۰۸	COD	۸
بر اساس استاندارد	۰/۰۷۴	PH	۹
بر حسب درصد اشباع	۰/۰۶۷	اکسیژن محلول	۱۰

برای محاسبه شاخص IRWQIGC از رابطه (۱) استفاده می کنیم.

$$IRWQIGC = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \right]^{\frac{1}{y}} \quad (1)$$

در این رابطه w_i وزن هر پارامتر i ام، n تعداد پارامترها و I_i مقدار شاخص برای هر پارامتر است. مقدار شاخص (I_i) هر پارامتر از طریق نمودار مربوط به آن پارامتر در نشریه راهنمای محاسبه شاخص کیفیت آب مشخص شده است.

طبق رابطه (۲) از مجموع وزن پارامترهای در دسترس وزن کل برای محاسبه شاخص کیفیت آب محاسبه شده است.

$$Y = \sum_{i=1}^n w_i \quad (2)$$

پس از محاسبه مقدار شاخص IRWQIGC محدوده کیفیت آب طبق جدول (۲) مشخص شده است.

جدول (۲): معادل توصیفی شاخص کیفیت آب های زیرزمینی IRWQIGC

مقدار شاخص	معادل توصیفی
کمتر از ۱۵	خیلی بد
۱۵-۲۹/۹	بد
۳۰-۴۴/۹	نسبتاً بد
۴۵-۵۵	متوسط
۵۵/۱-۷۰	نسبتاً خوب
۷۰/۱-۸۵	خوب
بیشتر از ۸۵	بسیار خوب

معرفی روش های تجزیه، تحلیل و درون یابی مورد استفاده برای پهنه بندی کیفیت آب

روش کار پهنه بندی

برای انجام درون یابی مکانی (پهنه بندی) ابتدا پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد محلول (TDS)، نیترات (NO₃)، سختی کل (TH) و (pH) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به صورت زوج مقایسه شده اند تا وزن پارامترها مشخص شود سپس با استفاده از روش درون یابی عکس مجذور فاصله (IDW)، نقشه های رستری در GIS استخراج و رتبه بندی شده اند. بیشترین رتبه به بدترین کیفیت و کمترین رتبه به بهترین کیفیت هر پارامتر داده شده و در نهایت وزن های هر یک از پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی برای هر یک از لایه ها اعمال شده است.

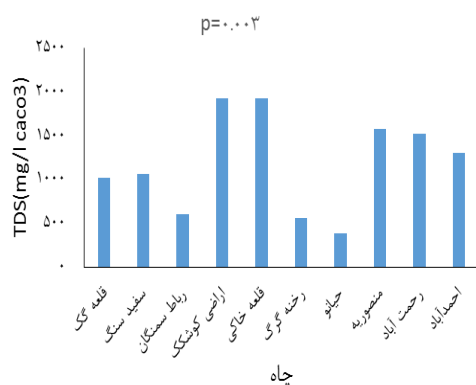
جدول (۳): جدول استاندارد پارامترهای TDS و TH (طبق استاندارد اروپا و ایران)

پارامتر	حداکثر مطلوب (اروپا)	حداکثر مجاز (ایران)
TDS	۱۰۰۰	۱۵۰۰
TH	۲۰۰	۵۰۰

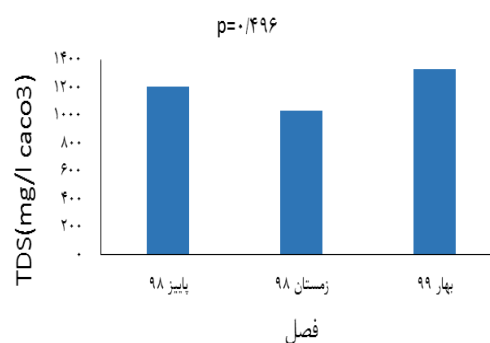
یافته‌ها

- بررسی میانگین غلظت پارامتر TDS بین فصل‌ها و چاه‌های مختلف

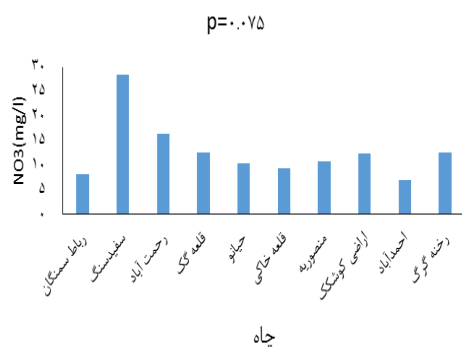
میانگین غلظت پارامترهای TDS, NO₃, EC, pH و TH در محدوده زمانی مورد مطالعه (پاییز ۹۸-بهار ۹۹) در شکل‌های (۱۰) - (۱) نشان داده شده است.



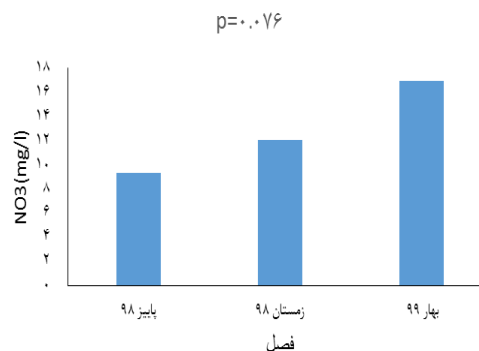
شکل (۲): میانگین غلظت TDS در چاه‌های مختلف (Caco3 mg/l)



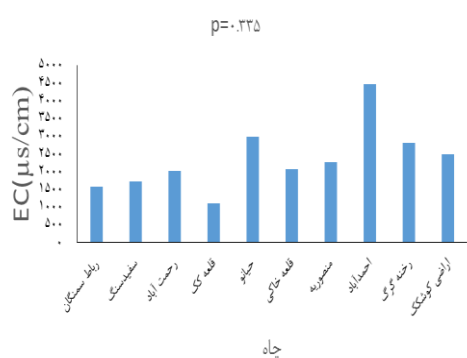
شکل (۱): میانگین غلظت TDS در فصل‌های مختلف (Caco3 mg/l)



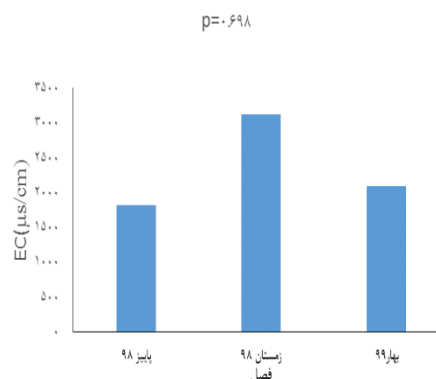
شکل (۴): میانگین غلظت NO₃ در چاه‌های مختلف



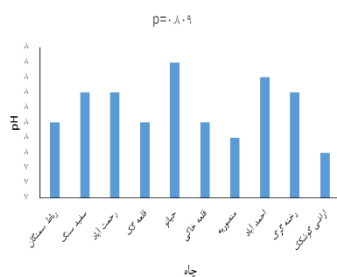
شکل (۳): میانگین غلظت پارامتر NO₃ در فصل‌های مختلف



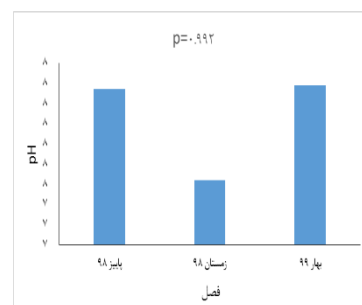
شکل (۶): میانگین غلظت پارامتر EC در چاه‌های مختلف



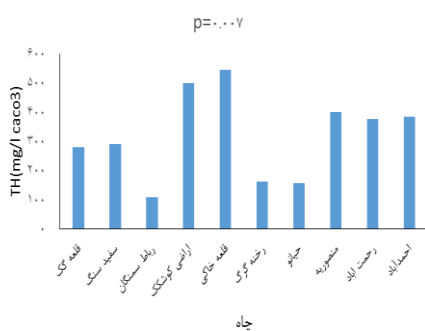
شکل (۵): میانگین غلظت پارامتر EC در فصل‌های مختلف



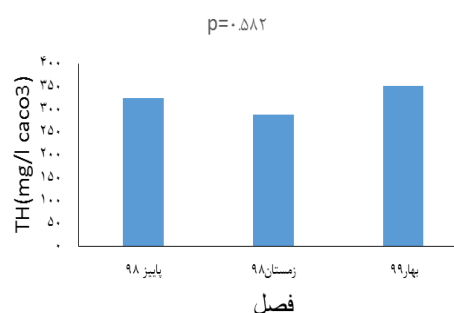
شکل (۸): میانگین غلظت پارامتر pH در چاه‌های مختلف



شکل (۷): میانگین غلظت پارامتر pH در فصل‌های مختلف



شکل (۱۰): میانگین غلظت پارامتر TH در چاه‌های مختلف



شکل (۹): میانگین غلظت پارامتر TH در فصل‌های مختلف

شکل (۲ و ۱) نشان دهنده بیشترین میانگین غلظت مواد جامد محلول (TDS) در فصل بهار ۹۹ و مناطق اراضی کوشک و قلعه خاکی بوده است. شکل (۳ و ۴) نشان دهنده بیشترین میانگین غلظت نیترات (NO_3) در بهار ۹۹ و منطقه سفید سنگ است. شکل (۵ و ۶) نشان دهنده بیشترین میانگین هدایت الکتریکی آب (EC) در زمستان ۹۸ و منطقه احمد آباد است. شکل (۷ و ۸) نشان دهنده بیشترین میانگین اسیدیته آب (pH) در بهار ۹۹ و منطقه حیانو است و شکل (۹ و ۱۰) نیز نشان دهنده بیشترین میانگین سختی آب (TH) در بهار ۹۹ و منطقه قلعه خاکی بوده است.

-کیفیت آب زیرزمینی دشت تربت جام- فریمان در فصل‌ها و چاه‌های مختلف طبق شاخص IRWQIGC

کیفیت آب زیرزمینی دشت تربت جام- فریمان در بازه زمانی بهار ۹۹- پاییز ۹۸ طبق جدول (۴و۵) می‌باشد.

جدول (۴): کیفیت آب زیرزمینی دشت تربت جام- فریمان در فصل‌های مختلف

بازه زمانی	مقدار شاخص IRWQIGC	معادل توصیفی	رده بندی طبق جدول توصیفی شاخص IRWQIGC
پاییز ۹۸	۶۰/۴۵	نسبتاً خوب	رده پنجم
زمستان ۹۸	۳۶/۵۶	نسبتاً بد	رده سوم
بهار ۹۹	۳۴/۱۴	نسبتاً بد	رده سوم

جدول (۵): کیفیت آب زیرزمینی چاه‌های مورد مطالعه‌ی دشت تربت جام-فریمان

ایستگاه (چاه)	مقدار شاخص IRWQIGC	معادل توصیفی	رده بندی طبق جدول توصیفی شاخص IRWQIGC
رباط سمنگان	۸/۵۴	نسبتاً خوب	رده پنجم
سفید سنگ	۳۴/۵۴	نسبتاً بد	رده سوم
رحمت آباد	۳۳/۶۷	نسبتاً بد	رده سوم
قلعه گک	۵۲/۳۲	متوسط	رده چهارم
حیانو	۳۷/۵۹	نسبتاً بد	رده سوم
قلعه خاکی	۲۸/۷۵	بد	رده دوم
منصور به	۳۵/۹۹	نسبتاً بد	رده سوم
اراضی کوشک	۲۹/۷۶	بد	رده دوم
احمدآباد	۲۹/۲	بد	رده دوم
رخنه گرگ	۳۸/۷۳	نسبتاً بد	رده سوم

طبق نتایج جدول (۴) آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه در زمستان ۹۸ و بهار ۹۹ با داشتن مقادیر کیفی ۳۶/۵۶ و ۳۴/۱۴ در رده‌ی سوم جدول توصیفی شاخص IRWQIGC قرار گرفته‌بود و دارای کیفیت آب زیرزمینی نسبتاً بدی بودند و در پاییز ۹۸ کیفیت آب زیرزمینی دشت فریمان-تربت جام با داشتن مقدار کیفی ۶۰/۴۵ در رده‌ی پنجم قرار گرفته‌بود و دارای کیفیت آب زیرزمینی نسبتاً خوب بودند. نتایج جدول (۵) نشان داده است، ۵۰ درصد از چاه‌های مورد مطالعه در رده‌ی سوم جدول توصیفی شاخص IRWQIGC قرار گرفته است و دارای کیفیت آب زیرزمینی نسبتاً بد بودند، ۳۰ درصد در رده‌ی دوم قرار گرفته‌اند و دارای کیفیت آب زیرزمینی بدی بودند، ۱۰ درصد در رده‌ی پنجم جدول توصیفی شاخص IRWQIGC قرار گرفته‌اند و دارای کیفیت آب زیرزمینی نسبتاً خوب بودند و ۱۰ درصد هم در رده‌ی چهارم قرار گرفته‌اند و دارای کیفیت آب زیرزمینی متوسط بودند. طبق این نتایج بهترین کیفیت آب زیرزمینی دشت تربت جام-فریمان در بازه زمانی بهار ۹۹-پاییز ۹۸ مربوط به چاه منطقه‌ی رباط سمنگان بود که در رده پنجم جدول توصیفی شاخص IRWQIGC قرار گرفته است و دارای کیفیت آب زیرزمینی نسبتاً خوب می‌باشد. بدترین کیفیت آب زیرزمینی مربوط به چاه‌های مناطق قلعه خاکی، اراضی کوشک و احمد آباد بود که در رده دوم جدول توصیفی شاخص IRWQIGC قرار گرفته است و دارای کیفیت آب زیرزمینی بدی بوده است.

طبقه‌بندی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه بر اساس خطر شوری برای آبیاری، طبق طبقه‌بندی ویلکاکس در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول (۶): طبقه‌بندی کیفیت آب کشاورزی بر اساس خطر شوری طبق طبقه‌بندی ویلکاکس

رده	طبقه‌بندی کیفی آب کشاورزی	رده‌بندی ویلکاکس	EC (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)	خطر شوری	کیفیت
۱	خیلی خوب	C ₁	<۲۵۰	کم	مناسب برای همه نوع خاک
۲	خوب	C ₂	۲۵۰-۷۵۰	متوسط	تقریباً مناسب (به‌جز گیاهان حساس به شوری)
۳	متوسط	C ₃	۷۵۰-۲۲۵۰	زیاد	نامناسب (به‌جز خاک‌های زهکش دار و گیاهان با تحمل بالا)
۴	نامناسب	C ₄	>۲۲۵۰	خیلی زیاد	غیر قابل استفاده (به‌جز برای گیاهان بسیار مقاوم)

جدول (۷): طبقه‌بندی کیفیت آب منطقه مورد مطالعه بر اساس خطر شوری طبق طبقه‌بندی ویلکاکس

طبقه‌بندی کیفی آب کشاورزی بر اساس مقدار پارامتر EC	شیرین برای کشاورزی کاملاً مناسب	کمی شور و برای کشاورزی تقریباً مناسب	شور برای کشاورزی با تمهیدات مناسب	خیلی شور مضر برای کشاورزی
رده‌بندی ویلکوکس	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
EC (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)	<۲۵۰	۲۵۰-۷۵۰	۷۵۰-۲۲۵۰	>۲۲۵۰
چاه‌ها	-	-	رباط، سفید سنگ، رحمت‌آباد، قلعه گک، قلعه خاکی، منصور به	حیانو، احمدآباد، اراضی کوشکک، رخنه گرگ
فصل‌ها	-	-	پاییز، بهار	زمستان

آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر سختی کل (TH)، طبق جدول (۸) طبقه بندی شده‌است.

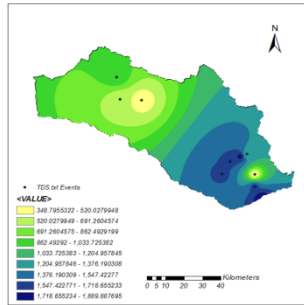
جدول (۸): طبقه بندی آب‌های زیرزمینی بر اساس سختی کل (TH)

سختی کل (TH) (mg/l)	تقسیم بندی آب	تعداد نمونه	درصد نمونه
<۷۵	نرم	-	-
۷۵-۱۵۰	سختی متوسط	رباط (۱)	۱۰٪
۱۵۰-۳۰۰	سخت	(سفید سنگ، قلعه گک، حیانو، رخنه گرگ)	۴۰٪
>۳۰۰	خیلی سخت	(رحمت‌آباد، قلعه خاکی، منصور به، اراضی کوشکک، احمدآباد)	۵۰٪

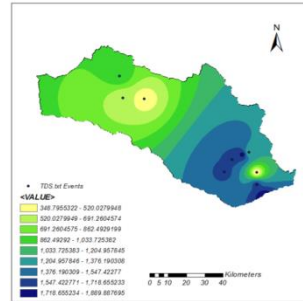
طبق نتایج جدول (۸)، ۵۰٪ از مناطق مورد مطالعه در رده خیلی سخت، ۴۰٪ در رده سخت و ۱۰٪ در رده سختی متوسط قرار گرفته است.

– نقشه‌های پهنه‌بندی

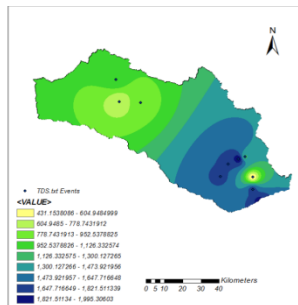
– نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر TDS



شکل (۱۲): نقشه پهنه‌بندی پارامتر TDS در فصل زمستان



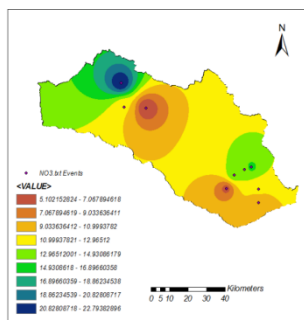
شکل (۱۱): نقشه پهنه‌بندی پارامتر TDS در فصل پاییز



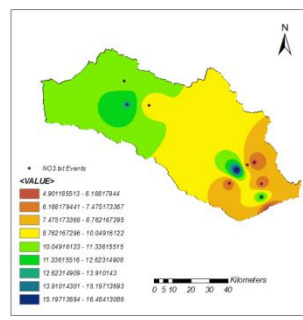
شکل (۱۳): نقشه پهنه‌بندی پارامتر TDS در فصل بهار

نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر کل جامدات محلول (TDS) در شکل‌های (۱۱-۱۳) نشان داده است که در فصل پاییز و زمستان ۹۸، مقدار TDS در ۵۰٪ دشت فریمان- تربت جام کم‌تر از حداکثر مطلوب ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم، در ۲۵٪ محدوده مورد مطالعه بیش‌تر از حداکثر مطلوب ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم و کمتر از حداکثر مجاز ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم می‌باشد و در ۲۵٪ محدوده مورد مطالعه بیش‌تر از حداکثر مجاز ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم می‌باشد. در فصل بهار ۹۹ مقدار TDS در ۵۰٪ دشت فریمان- تربت جام کم‌تر از حداکثر مطلوب ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم، در ۳۰٪ محدوده مورد مطالعه بیش‌تر از حداکثر مطلوب ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم و کمتر از حداکثر مجاز ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم و در ۲۰٪ محدوده مورد مطالعه بیش‌تر از حداکثر مجاز ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم وجود داشت.

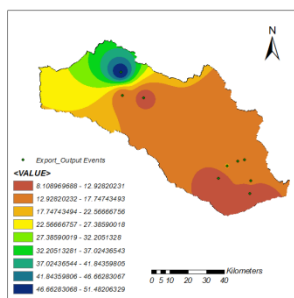
– نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر NO3



شکل (۱۵): نقشه پهنه‌بندی پارامتر NO3 در فصل زمستان

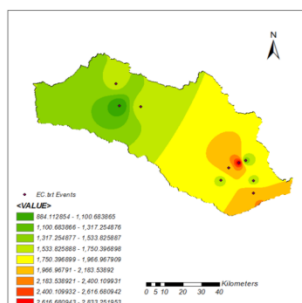


شکل (۱۴): نقشه پهنه‌بندی پارامتر NO3 در فصل پاییز

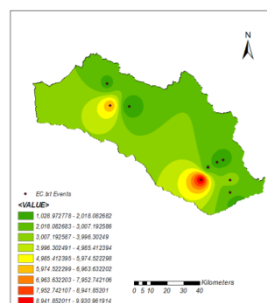
شکل (۱۶): نقشه پهنه‌بندی پارامتر NO_3 در فصل بهار

نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر نیترات (NO_3) در شکل‌های (۱۶-۱۴) نشان داده است که در فصل پاییز ۹۸ مقدار پارامتر NO_3 از قسمت شرق و جنوب شرقی به سمت غرب و شمال غربی دشت فریمان- تربت جام و به اطراف رو به افزایش است که بیشترین مقدار غلظت NO_3 در این فصل در بخش جنوبی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. در فصل زمستان ۹۸ مقدار پارامتر NO_3 از قسمت مرکزی به اطراف و بخش شمالی دشت فریمان- تربت جام و همچنین از بخش جنوبی به اطراف محدوده مورد مطالعه رو به افزایش است، که بیشترین غلظت NO_3 در این فصل در بخش شمال محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. در فصل بهار ۹۹ مقدار پارامتر NO_3 از جنوب به سمت بخش شمال-تربت جام رو به افزایش می‌باشد، که بیشترین غلظت NO_3 در این فصل در بخش شمالی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است.

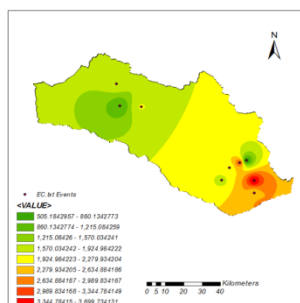
نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر EC



شکل (۱۸): نقشه پهنه‌بندی پارامتر EC در فصل زمستان



شکل (۱۷): نقشه پهنه‌بندی پارامتر EC در فصل پاییز

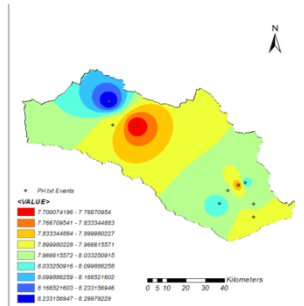


شکل (۱۹): نقشه پهنه‌بندی پارامتر EC در فصل بهار

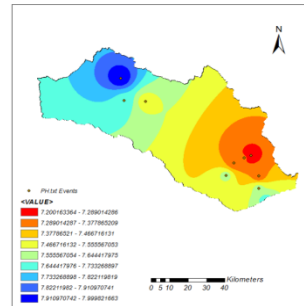
نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر EC در شکل‌های (۱۷-۱۹) نشان داده است که در فصل پاییز ۹۸ مقدار پارامتر EC از غرب به شرق و از شمال غربی به جنوب شرقی دشت فریمان- تربت جام رو به افزایش است که بیشترین مقدار غلظت EC در این

فصل در بخش جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. در فصل زمستان ۹۸ مقدار پارامتر EC از شمال به جنوب و از شمال غربی به جنوب غربی دشت فریمان - تربت جام رو به افزایش است، که بیشترین غلظت EC در این فصل در بخش جنوبی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. در فصل بهار ۹۹ مقدار پارامتر EC از شمال غربی به جنوب شرقی دشت فریمان - تربت جام رو به افزایش می‌باشد، که بیشترین غلظت EC در این فصل در بخش جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است.

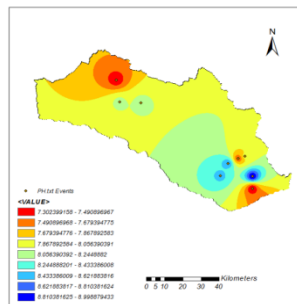
نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر pH



شکل (۲۱): نقشه پهنه‌بندی پارامتر pH در فصل زمستان



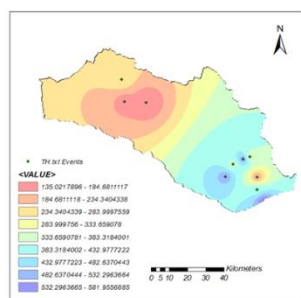
شکل (۲۰): نقشه پهنه‌بندی پارامتر pH در فصل پاییز



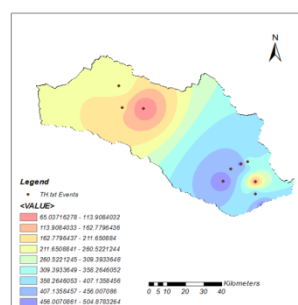
شکل (۲۲): نقشه پهنه‌بندی پارامتر pH در فصل بهار

نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر pH در شکل‌های (۲۰-۲۲) نشان داده است که در فصل پاییز ۹۸ مقدار پارامتر pH از قسمت مرکزی دشت فریمان - تربت جام به اطراف رو به افزایش است که بیشترین مقدار غلظت pH در این فصل در بخش شمال غربی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. در فصل زمستان ۹۸ مقدار پارامتر pH از شرق به غرب و شمال غربی دشت فریمان - تربت جام رو به افزایش است، که بیشترین غلظت pH در این فصل در بخش شمال غربی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. در فصل بهار ۹۹ مقدار پارامتر pH از جنوب شرقی و شمال غربی به سمت بخش مرکزی دشت فریمان - تربت جام رو به افزایش می‌باشد، که بیشترین غلظت pH در این فصل در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است.

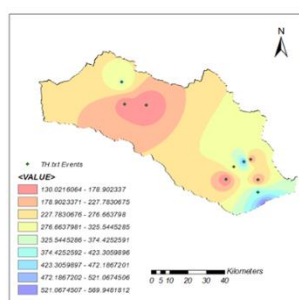
- نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر TH



شکل (۲۴): نقشه پهنه‌بندی پارامتر TH در فصل زمستان



شکل (۲۳): نقشه پهنه‌بندی پارامتر TH در فصل پاییز



شکل (۲۵): نقشه پهنه‌بندی پارامتر TH در فصل بهار

نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر TH در شکل‌های (۲۳-۲۵) نشان داده است که در هر سه فصل مورد مطالعه مقدار پارامتر TH از قسمت مرکزی به اطراف و سمت شمال و جنوب دشت فریمان - تربت جام رو به افزایش بود که بیشترین مقدار غلظت در این فصل‌ها در بخش جنوبی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. در فصل پاییز ۹۸، مقدار TH در ۳۰٪ دشت فریمان - تربت جام کمتر از حداکثر مطلوب ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم، در ۶۰٪ محدوده مورد مطالعه بیشتر از حداکثر مطلوب ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم و کمتر از حداکثر مجاز ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم و در ۱۰٪ محدوده مورد مطالعه بیشتر از حداکثر مجاز ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم بود. در فصل زمستان ۹۸ و بهار ۹۹، مقدار TH در ۲۵٪ دشت فریمان - تربت جام کمتر از حداکثر مطلوب ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم، در ۷۰٪ محدوده مورد مطالعه بیشتر از حداکثر مطلوب ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم و کمتر از حداکثر مجاز ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم و در ۵٪ محدوده مورد مطالعه بیشتر از حداکثر مجاز ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم مشاهده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده با استفاده از شاخص IRWQI_{GC} طبق جدول (۵ و ۴)، بهترین کیفیت آب زیرزمینی دشت فریمان - تربت جام در بازه‌ی زمانی پاییز ۹۸ - بهار ۹۹ مربوط به فصل پاییز ۹۸ و چاه رباط سمنگان بوده است. طبق این نتایج پایین‌ترین کیفیت آب زیرزمینی در بهار ۹۹ و در منطقه قلعه خاکی محاسبه شده است. نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر کل جامدات محلول (TDS) نشان داده است، مقدار TDS در فصل پاییز و زمستان ۹۸ در ۲۵٪ محدوده مورد مطالعه و در فصل بهار ۹۹ در ۲۰٪ محدوده مورد مطالعه بیشتر از حداکثر مجاز ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. مقدار متوسط کل جامدات محلول (TDS) در اراضی رحمت‌آباد، قلعه خاکی، منصور به و اراضی کوشک بیش‌تر از حداکثر مجاز ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شده است و بخش جنوب شرقی دشت فریمان - تربت جام بیشترین غلظت را نشان داده است. نتایج بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی محدوده

مورد مطالعه از نظر خطر شوری طبق طبقه بندی ویلکاکس در جدول (۷) نشان داده است؛ مقدار پارامتر EC که بیانگر شوری آب‌های زیرزمینی است، در فصل زمستان بالاتر از حد استاندارد کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی بوده است. مقدار این پارامتر در فصل پاییز ۹۸ و بهار ۹۹ در محدوده‌ی استاندارد محاسبه شده است. طبق جدول (۷)، ۶۰٪ مناطق مورد مطالعه در طبقه‌ی شور و برای کشاورزی با تمهیدات مناسب و ۴۰٪ در طبقه‌ی خیلی شور و مضر برای کشاورزی قرار گرفته‌اند. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر EC، بیشترین مقدار پارامتر EC در بخش جنوب و جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. طبق نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر نترات (NO_3)، بیشترین مقدار نترات آب‌های زیرزمینی دشت فریمان-تربت‌جام در بخش شمالی محدوده مشاهده شده است. (ایزانلو و همکاران، ۱۳۸۸) بیان کردند، عامل اصلی آلودگی آب‌های زیرزمینی به نترات ورود فاضلاب‌ها و رواناب‌های کشاورزی به منابع آب‌های زیرزمینی است و در بسیاری از کشورهای جهان از قبیل انگلستان، چین، استرالیا و ترکیه غلظت‌های بالای نترات در آب‌های زیرزمینی مشاهده شده است. طبق نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر pH، بیشترین مقدار غلظت آن در بخش شمال غربی محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. همچنین طبق نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر سختی کل (TH) در فصل پاییز ۹۸، مقدار TH در ۱۰٪ محدوده مورد مطالعه و در فصل زمستان ۹۸ و بهار ۹۹ در ۵٪ محدوده مورد مطالعه بیشتر از حداکثر مجاز ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر می‌باشد و بیشترین مقدار غلظت آن در بخش جنوبی دشت فریمان-تربت‌جام مشاهده شده است. مقدار متوسط بارندگی دشت فریمان-تربت‌جام در پاییز ۹۸، ۴۱/۴۳ میلی‌متر، در زمستان ۹۸، ۵ میلی‌متر و در بهار ۹۹، ۱۶/۳۳ میلی‌متر بوده است، با توجه به این مقادیر فصل پاییز ۹۸ بیشتر بارندگی و فصل زمستان ۹۸ کمترین بارندگی را در بازه زمانی مورد مطالعه (پاییز ۹۸-بهار ۹۹) داشته است. با توجه به نتایج به دست آمده احتمال می‌رود بین میزان بارندگی و تغییرات پارامترهای EC، TDS، TH، NO_3 و pH ارتباطی برقرار باشد، به دلیل اینکه نقشه‌های پهنه‌بندی این پارامترها با اختلاف ناچیزی در فصل پاییز که میزان بارندگی بیشتری داشته است مقادیر قابل قبولتری از این پارامترها را نشان می‌دهد. مقدار پارامتر نترات (NO_3) و pH طبق نقشه‌های پهنه‌بندی در فصل بهار ۹۹ بیشتر است، با وجود اینکه بارندگی فصل بهار نسبت به فصل زمستان مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد، احتمالاً دلیل این است که در فصل بهار فعالیت‌های انسانی و استفاده از آب‌های زیرزمینی برای مصارف آبیاری نسبت به فصل زمستان بیشتر است و با وجود بارش به دلیل برداشت بی رویه افت سطح آب‌های زیرزمینی ایجاد شده است که این امر باعث بالا رفتن مقدار pH و NO_3 آب‌های زیرزمینی در این فصل شده است. همچنین استفاده از کودهای نترات و کودهای شیمیایی برای مزارع کشاورزی هم به این امر تأثیر گذاشته است. پیشنهاد می‌شود برای کاهش اثرات زیان‌بار افزایش سختی، شوری و اثرات افزایش نترات، بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی برای مصارف مختلف به حداقل برسد و استفاده از کودهای شیمیایی در مزارع دشت فریمان-تربت‌جام به صورت کنترل شده انجام شود. شوری آب یکی از خصوصیات مهم کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی است، زمانی که شوری آب‌های زیرزمینی افزایش یابد غلظت نمک در خاک بالا رفته و خاک رطوبت خود را از دست می‌دهد. برای رفع شوری منابع آب زیرزمینی پیشنهاد می‌شود کشاورزان از کودهای حاوی کلرید استفاده نکنند و محصولات زراعی مقاوم نسبت به شوری و دارای ریشه سطحی کشت شود، همچنین پیشنهاد می‌شود از روش آبیاری قطره‌ای برای حفظ رطوبت اطراف گیاه و کاهش اثرات شوری استفاده شود. از آبیاری در شرایط بادی و هوای گرم هم خودداری شود.

منابع

- اخوان، سمیرا، زارع ایبانه، حمید، بیات ورکشی، مریم (۱۳۹۳). مروری نظام‌مند بر مطالعات انجام شده در خصوص غلظت نترات در منابع آبی ایران. در: نشریه سلامت و محیط، (ص ۲۰۵-۲۲۸). تهران: انجمن علمی بهداشت محیط ایران.
- ایزانلو، حسن، مجیدی، غریب، نظری، شهرام، ملکی، افشین، خزائی، محمد، طباطبایی مجد، مریم سادات، وطن خواه، مهشید (۱۳۹۴) الف. بررسی غلظت نترات و نیتريت در منابع آب زیرزمینی شهر جیرفت. در: نشریه دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، (ص ۱۰۴۲-۱۰۳۵). سبزوار: دانشگاه علوم پزشکی سبزوار.
- اصغری مقدم، اصغر، جوانمرد، زهرا، ودیعتی، میثم، نجیب، مرتضی (۱۳۹۴) ب. ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های FGQI و GQI (مطالعه موردی: دشت مهربان). در: فصلنامه نشریه هیدروژئو مورفولوژی، (ص ۷۹-۹۸). تبریز: دانشگاه جغرافیا و برنامه‌ریزی.

آقایی پور، نیلوفر، پیر دشتی، همت اله، زواره، محسن، اسدی، حسین، بهمنیار، محمد علی (۱۳۹۷) الف. ارزیابی تغییرپذیری مکانی برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در شالیزارهای دشت فوژات با استفاده از زمین آمار. در: نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی (پژوهشی و سازندگی)، (ص ۵۰-۷۱). خراسان رضوی: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی.

بهرامی نسب، رؤیا، پیر خراطی، حسین، عباس فام، علیرضا، شیخی، زهرا، بازرگان، دلنیا (۱۳۹۷) ب. ارزیابی کیفیت آب زیر زمینی دشت رشکان به منظور استفاده از آن در کشاورزی. در: اولین کنفرانس تحقیقات بنیادین در علوم کشاورزی و زیست محیطی. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.

ترابی پوده، حسن، یونسی، حجت‌الله، ا. حقی زاده، علی، ارشیا، آزاده (۱۳۹۸) الف. ارزیابی تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی و شاخص کیفیت آب‌های زیرزمینی در محدوده آبخوان‌های انجانات نجف‌آباد. در: نشریه علمی مهندسی اکوسیستم بیابان، (ص ۶۶-۵۳). کاشان: دانشگاه کاشان

سرابی، سمیه، بوداقپور، سیامک، شهبازی سحرانی، مهشید (۱۳۹۶) الف. تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر آلودگی آب‌های زیرزمینی به نترات در ایران. در: کنفرانس بین المللی کشاورزی، محیط‌زیست و منابع طبیعی در هزاره سوم. رشت: سازمان جهاد کشاورزی و اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گیلان.

عظیمیان، سمیرا، فرقانی تهرانی، گیتی، اختری، یوسف (۱۳۹۶) ب. بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیر زمینی دشت فریمان - تربت‌جام. در: پنجمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری. تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصرالدین طوسی.

قره محمودلو، مجتبی، حشمت پور، علی، جندقی، نادر، زارع، علی، مهربانی، حسین (۱۳۹۸) ب. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق برای هدف‌های آبیاری و شرب. در: فصلنامه نشریه علوم محیطی، (ص ۸۹-۱۰۶). تهران: پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی.

لطیف، مسعود، موسوی، سید فرهاد، افیونی، مجید، ولایتی، سعداله (۱۳۸۴). بررسی آلودگی نترات و منشا یابی آن در آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مشهد). در: نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی. گرگان: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی.

لشگری پور، غلامرضا، غفوری، محمد، دم شناس، مهدی (۱۳۸۷). تأثیر افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت فریمان- تربت‌جام. در: دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی. اهواز: انجمن زمین‌شناسی ایران.

موزن‌زاده، روزبه، علیزاده، امین (۱۳۹۴) ج. تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی دشت فریمان- تربت‌جام با رویکرد مدیریتی در سطح مزرعه. در: نشریه آبیاری و زهکشی ایران، (ص ۴۰۷-۴۱۷). تهران: انجمن علمی آبیاری و زهکشی ایران.

یاسمنی، سمانه، محمدزاده، حسین، مساعدی، ابوالفضل (۱۳۹۱). بررسی اثر خشک‌سالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت تربت‌جام- فریمان با به‌کارگیری شاخص‌های GRI و SPI. در: شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. شیراز: انجمن زمین‌شناسی ایران.

Adimalla, N., & Taloor, A. K. (2020). Hydrogeochemical investigation of groundwater quality in the hard rock terrain of South India using Geographic Information System (GIS) and groundwater quality index (GWQI) techniques. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100288.

Awais, M., Arshad, M., Shah, S.H. H. and Anwar-ul-Haq, M. 2017. Evaluating groundwater quality for irrigated agriculture. Spatio-temporal investigations using GIS and geostatistics in Punjab, Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(23).1-15.

Adeyeye, J. A., Akinyemi, O.D., Awomeso, J.A., Bada, B.S., and Akintan, O.B. 2021. Geochemical investigation of groundwater salinity status in selected coastal areas of south western nigeria. *Sustainable Water Resources Management*, 7(4). 1-15.

Badeenezhad, A., Tabatabaee, H. R., Nikbakht, H. A., Radfard, M., Abbasnia, A., Baghapour, M. A., & Alhamd, M. (2020). Estimation of the groundwater quality index and investigation of the affecting factors their changes in Shiraz drinking groundwater, Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100435

Bhatti, N.B., Siyal, A.A., Qureshi, A.L., Solangi, G.S., Memon, N.A., and Bhatti, I.A. (2020). Impact of small dams construction on groundwater quality and level using water quality index (WQI) and GIS: Nagarparkar area of Sindh, Pakistan. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(10). 2586-2607.

Donohue, S., Mccarthy, V., Rafferty, P., Orr, A., and Flynn, R. (2015). Geophysical and hydrogeological characterization of the impacts of on-site wastewater treatment discharge to groundwater in poorly productive bedrock aquifer. *Science of the Total Environment*, 523. 109-119.

Elmahdy, S. I., & Mohamed, M. M. (2012). Topographic attributes control groundwater flow and groundwater salinity of Al Ain, UAE: a prediction method using remote sensing and GIS. *J Environ Earth Sci*, 2(8), 1-13.

- Eghbalian, S., Bahmani, O. 2020. Study of Local and Temporal Changes of Groundwater Quality Standards of Hamedan-Bahar Plain Using (GIS) over a 10 Year Period. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(3). 83-98.
- Jalili, M., Hosseini, M. S., Ehrampoush, M. H., Sarlak, M., Abbasi, F., & Fallahzadeh, R. A. (2019). Use of water quality index and spatial analysis to assess groundwater quality for drinking purpose in Ardakan, Iran. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 4(3), 834-842.
- Krcmar, D., Tenodi, S., Grba, N., kerkez, D., Watson, M., Roncevic, S., and Dalmacija, B. (2018). Preremedial assessmwnt of the municipal landfill pollution impact on soil and shallow groundwater in subotica, Serbia. *Science of the Total Environment*, 615.1341-1354.
- Nematollahi, M. J., Ebrahimi, P., Razmara, M., and Ghasemi, A. (2016). Hydrogeochemical investigations and groundwater quality assessment of Torbat-Zaveh plain, Khorasan Razavi, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1). 1-21.
- Pandey, S. K. and Tiwari, S. 2008. Physicochemical analysis of groundwater of selected area of Ghazipur city - A case study. *Nature and Science*, Vol. 6 (4), pp. 25-28.
- Singha, S., Pasupuleti, S., Singha, S. S., Singh, R., & Kumar, S. (2021). Prediction of groundwater quality using efficient machine learning technique. *Chemosphere*, 276, 130265.
- Sivakumar, D. (2014). 'Groundwater Quality Assessment around Nagalkeni Tannery Industrial Belt'. *World Academy of Science, Engineering and Technology, Open Science Index 87, International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 8(3), 324 – 329.
- Ullah, R.; Malik, R.N. and Qadir, A. 2009. Assessment of groundwater contamination in an industrial city, Sialkot, Pakistan. *African Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 3(1), pp. 429466.