

## ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت بروجرد-دورود و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک‌های زراعی با تحلیل‌های آماری و زمین‌آمار

یاسر سبزواری<sup>۱</sup>، امیرحمزه حقی آبی<sup>۲</sup>، علی حیدر نصرالهی<sup>۳\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۱۱

### چکیده

منابع آب زیرزمینی بزرگ‌ترین ذخیره قابل دسترس آب شیرین زمین هستند که مدیریت و کنترل کیفی آن‌ها موضوعی اساسی است. هدف از این تحقیق، بررسی کیفی آب زیرزمینی از نظر مصارف کشاورزی و تأثیر آن بر نفوذپذیری در دشت بروجرد-دورود است. بدین منظور روند تغییرات پارامترهای هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم، کلسیم، منیزیم، سدیم و بی‌کربنات منابع دشت در بازه زمانی ۱۳۷۲-۱۳۹۵ با آزمون من-کندال بررسی و برای تهیه نقشه‌های کیفی بر اساس شاخص‌های تراوایی، درصد سدیم و ویلکاکس از ۴۱ منبع آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۵ استفاده شد. نتایج نشان داد که روند تغییرات همه پارامترها کاهشی بوده و روند تغییرات بی‌کربنات در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. در طبقه‌بندی کشاورزی بر اساس شاخص تراوایی ۸۵/۸۴ درصد از دشت دارای کیفیت عالی برای آبیاری، از نظر درصد سدیم قسمت مرکزی دشت کیفیت پایین‌تر از سایر نواحی داشته و بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس حدود ۸۵/۹۴ درصد وسعت دشت دارای کیفیت مناسب است. بررسی تأثیر تغییرات EC و SAR بر نفوذپذیری خاک نشان داد که تغییرات این دو پارامتر در سراسر دشت منفی نیست و منطقه دارای وضعیت نفوذپذیری خوب و متوسط است که ۲۶/۸ درصد در رده خوب قرار داشته و منطقه‌ای در طبقه نفوذپذیری بد قرار ندارد.

**واژه‌های کلیدی:** آب زیرزمینی، کریجینگ، کیفیت آب، من-کندال، نفوذپذیری.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۲. استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد

۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، نویسنده مسئول / nasrolahi.a@gmail.com

## مقدمه

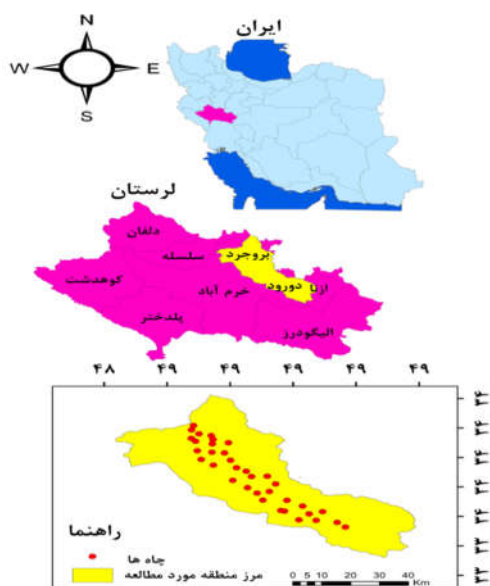
با توجه به افزایش جمعیت و رشد روزافزون، نیاز به مواد غذایی و آب آشامیدنی، بررسی و شناخت بیشتر عوامل تولید، به خصوص منابع آب، امری ضروری به نظر می‌رسد (رحمانی سالاری و امیدواری، ۲۰۱۶). آب‌های زیرزمینی منابع اصلی تأمین آب برای مصارف کشاورزی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند (احمدی و صدق‌آمیز، ۲۰۰۸). امروزه برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی علاوه بر کمبودهای کمی، مسائل کیفی را به وجود آورده است. این مسائل در مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به این منابع بیشتر است، قابل توجه‌تر است. در این مناطق به دلیل کمبود منابع آب، دسترسی به منابع باکیفیت مناسب حائز اهمیت است (لطیف و همکاران، ۲۰۰۵؛ زهتابیان و همکاران، ۲۰۱۰؛ شاکریان و همکاران، ۲۰۱۱). کیفیت آب‌های زیرزمینی در مقیاس‌های مکانی و زمانی تغییر می‌کند و نمی‌توان آن را در طول زمان و مکان ثابت فرض کرد (مظفری‌زاده، ۲۰۰۶). از این رو برای استفاده از منابع آب زیرزمینی و استعدادیابی برای استفاده‌های آتی، بررسی تغییرات مشخصه‌های کیفی منابع در طول زمان و مکان اهمیت می‌یابد. لذا مطالعه و بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت منابع آب برای مدیریت صحیح و کارآمد، استفاده از این منابع ضروری است (زهتابیان و همکاران، ۲۰۱۰) به منظور تعیین روند تغییرات زمانی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. یکی از متداول‌ترین روش‌های غیر پارامتریک در تحلیل روند سری‌های زمانی آزمون من-کندال است (پاسکینی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج تحقیق والدز<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۷) در حوضه آریاهازر کشور بنگلادش نشان داد که تغییرات زمانی شیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان‌های عمیق و کم‌عمق متفاوت است. هوبن<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی حوضه آبریز کابل (افغانستان) پرداختند که نتایج نشان داد سختی آب و شوری در آب زیرزمینی این ناحیه وجود داشته و وقوع خشکسالی متمادی

آن را تشدید کرده است. ولیم و گریمول<sup>۴</sup> (۲۰۱۰) روند تغییرات کیفی آب زیرزمینی سفره سویدیش جنوب سودان را با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال بررسی کردند که نتایج نشان داد غلظت یون سولفات کاهش یافته است. ملکوتیان و کرمی (۲۰۰۵) کیفیت چاه‌های شرب دشت بم و بروات را بررسی کردند. نتایج نشان داد که روند تغییرات کیفیت آب این چاه‌ها طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۳ تغییراتی در جهت نامطلوب شدن کیفیت را نشان می‌دهد. رحمانی و شکوهی (۲۰۰۷) به بررسی ۲۳ پارامتر کیفی آب زیرزمینی دشت بهار همدان پرداختند که نتایج نشان داد در وضعیت فعلی، خطری از جانب فلزات سنگین متوجه آب زیرزمینی دشت نیست. لازمه شناخت از تغییرات مکانی منابع، جمع‌آوری پارامترها در مکان‌های مختلف است که این نیازمند صرف وقت و هزینه بالاست. در چنین وضعیتی، روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری می‌تواند بسیار کارآمد باشد (ژورنل و هوجبرگس<sup>۵</sup>، ۱۹۷۸). روش‌های زمین‌آماری با توجه به داشتن توانمندی‌هایی چون کاهش تعداد نمونه‌برداری‌ها، کاربرد توأم و ارائه برآوردهای دقیق‌تر از وضعیت مکانی متغیرها، به لحاظ استفاده می‌توانند باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت برآوردها شود. از دیدگاه زمین‌آمار، هر نمونه تا فاصله معینی با نمونه اطراف خود در ارتباط است و احتمالاً میزان همبستگی بین مقادیر مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر بیشتر است. روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری علاوه بر آنکه از ارتباط مکانی بین داده‌ها در تخمین خصوصیت مورد نظر در نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده می‌کنند، قادرند مقدار نامعینی همراه با هر تخمین را نیز به صورت کمی بیان کنند (گوورتس<sup>۶</sup>، ۱۹۹۷). عباس‌نیا و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی کیفیت آب زیرزمینی چاه‌ها در سیستان و بلوچستان پرداختند. نتایج نشان داد که ۴۰ درصد نمونه‌های طبقه‌بندی‌شده به عنوان آب بسیار خوب و ۶۰ درصد نمونه‌ها از طبقه آب خوب بودند. ناد و هلن<sup>۷</sup> (۲۰۱۳) در تحقیق خود، به نمونه‌برداری از ده چاه مختلف

4. Wahlin, and Grimvall  
5. Journal and Huijbregts  
6. Goovaerts  
7. Nath and Helen

1. Pasquini  
2. Valdes  
3. Houben

می‌دهند. کمترین ارتفاع محدوده ۱۴۳۷ متر، مربوط به بخش‌های خروجی حوزه و بیشترین ارتفاع محدوده ۴۰۱۵ متر از سطح دریا، مربوط به جنوب شرقی محدوده است. محدوده مطالعاتی بروجرد- دورود شامل تنها یک آبخوان است. میانگین بارش سالانه در دشت‌های این محدوده ۴۹۲/۸ میلی‌متر در سال محاسبه شده است. جریاناتی که وارد محدوده بروجرد- دورود می‌شود از ناحیه شمال غرب، جنوب و شرق آن و از سمت محدوده‌های ازنا، میرقاسم و اشترینان است. بیشترین تراز آب زیرزمینی به میزان ۱۵۹۴/۱۶ متر از سطح دریا در شمال آبخوان و در چاه مشاهده‌ای قلعه حاتم با مختصات UTM به طول ۲۸۹۱۹۹ متر و عرض ۳۷۵۶۲۵۰ متر مشاهده شده است. به تدریج به سمت نقاط مرکزی دشت تراز آب زیرزمینی کاهش می‌یابد و کمترین تراز آب زیرزمینی به میزان ۱۴۵۲/۸۳ متر از سطح دریا در چاه مشاهده‌ای تنور با مختصاتی به طول ۳۱۹۸۶۰ متر و عرض ۳۷۱۵۴۸۹ متر در جنوب شرق آبخوان اندازه‌گیری شده است. بر این اساس جهت جریان آب زیرزمینی در این محدوده تقریباً از ارتفاعات حاشیه شمالی دشت به سمت مرکز و جنوب شرق است. در شکل (۱) موقعیت دشت بروجرد- دورود مشخص شده است.



شکل (۱): موقعیت محدوده بروجرد-دورود و چاه‌های دشت در

استان لرستان و ایران

Figure (1): Location of Boroujerd-Dorood Range and Plain Wells in Lorestan and Iran

در سراسر نیاتین کرا در هند اقدام کردند و پارامترهایی مانند  $TDS^1$ ,  $EC^2$ ,  $PH$ ,  $SO_4$  و  $CO_2$  به مدت چهار ماه از مارس ۲۰۱۲ تا ژوئن ۲۰۱۲ را بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که پارامترهایی مانند  $PH$ ,  $EC$  و  $SO_4$  در داخل محدوده مجاز توصیه شده توسط WHO<sup>3</sup> بود اما در برخی از سایت‌ها TDS بیشتر از حد مجاز بود. رفیع شریف‌آباد و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی برای شرب و کشاورزی در دشت اردکان-یزد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که با گذشت زمان کیفیت منابع برای کشاورزی و شرب کاهش یافته و بیشترین میزان آلودگی مربوط به قسمت‌های شمالی و شرقی بوده است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی تغییرات روند پارامترهای کیفی، بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی منابع آب زیرزمینی بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس، شاخص تراوایی، درصد سدیم برای مصارف کشاورزی، بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی و تأثیر تغییرات کیفیت بر نفوذپذیری خاک در دشت بروجرد-دورود، با استفاده از آزمون من-کنندال و سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

دشت بروجرد- دورود با وسعتی به میزان ۲۵۴۵/۸ کیلومترمربع بین عرض شمالی حداقل ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه و حداکثر ۳۴ درجه و ۶ دقیقه و طول شرقی حداقل ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه و حداکثر ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه در شمالی‌ترین قسمت حوزه آبریز کارون بزرگ و در جنوب محدوده مطالعاتی اشترینان واقع شده است. به علت ورود جریانات سطحی به این محدوده و همچنین وجود بارندگی کافی و برفگیر بودن ارتفاعات این محدوده، مسیل‌های واقع در آن دائمی بوده و زهکش اصلی این محدوده را رودخانه‌های سیلاخور، ماربره و رودخانه تیره تشکیل

1. Total Dissolved Solid
2. Electrical Conductivity
3. World Health Organization

مربعات باقی مانده، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، استفاده از روش‌های مقایسه آماری نظیر آنالیز واریانس، کای اسکوار وجود دارد. در تحقیق حاضر از شاخص RMSE برای تعیین روش مناسب استفاده شد که به عنوان شاخصی مهم برای نشان دادن دقت تحلیل مکانی در GIS شناخته می‌شود (نظری زاده و همکاران، ۲۰۰۶) و از طریق رابطه (۶) و با استفاده از داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده به دست می‌آید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (6)$$

از بین روش‌های مختلف، هر کدام که میزان RMSE کمتری داشته باشد، به عنوان روش مناسب انتخاب می‌شود. بعد از انتخاب روش درون‌یابی مناسب، اقدام به پهنه‌بندی فاکتورهای مختلف در سطح دشت مطالعاتی می‌گردد.

### بررسی کیفیت منابع آب برای مصارف کشاورزی

#### شاخص تراوایی (PI)

شاخص تراوایی پارامتری است که برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری به کار می‌رود (دونین<sup>۳</sup>، ۱۹۶۲) و توسط رابطه (۸) بیان شده است:

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} * 100 \quad (8)$$

همه یون‌ها در این معادله برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر هستند. دونین (۱۹۶۴) آب آبیاری را بر اساس شاخص نفوذپذیری تقسیم‌بندی کرد که بر اساس آن، آب می‌تواند به رده‌های ۱، ۲ و ۳ برای آبیاری مناسب و رده ۳ با بیشترین (PI)، ۲۵ درصد برای آبیاری نامناسب هستند (منجزری<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۹) رده‌بندی آب بر اساس شاخص تراوایی (PI) در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱): رده‌بندی آب بر اساس شاخص تراوایی (PI)

Table (1): Water rating based on PI	
PI	کیفیت
> ۷۵	عالی
۲۵ - ۷۵	متوسط
< ۲۵	ضعیف

2. Permeability Index
3. Doonen
4. Manjusree

در این پژوهش، برای تهیه نقشه‌های نفوذپذیری و کیفی بر اساس شاخص تراوایی، درصد سدیم و طبقه‌بندی ویلکاکس در دشت بروجرد-دورود از اطلاعات ۴۱ نمونه از چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و چشمه‌های موجود در دشت بروجرد-دورود در سال ۱۳۹۵ که توسط سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان برداشت شده است، استفاده شد. همچنین برای بررسی روند تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مؤثر در این شاخص‌ها با آزمون من-کنندال، از اطلاعات بازه زمانی ۱۳۷۲-۱۳۹۵ که شامل EC، SAR، Na، Mg، Ca و HCO<sub>3</sub> بود، استفاده شد. اگر در این آزمون، مقدار Z بزرگ‌تر از  $\pm 1/96$  باشد داده‌ها دارای روند هستند و فرض صفر رد می‌شود، در غیر این صورت فاقد روند است. مقدار آماره Z برای سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به ترتیب برابر با ۱/۹۶ و ۲/۵۸ در نظر گرفته می‌شود.

همچنین برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت از اطلاعات دوره زمانی ۱۳۷۶-۱۳۹۵، ۳۶ حلقه چاه پیزومتری موجود در دشت استفاده شد. دلیل انتخاب این بازه زمانی، کامل بودن اطلاعات است.

### انتخاب روش مناسب درون‌یابی

برای بررسی دقت هر روش و یا انتخاب پارامتر مناسب در آن‌ها نیاز به ارزیابی وجود دارد. برای انتخاب روش مناسب درون‌یابی روش‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها روش اعتبارسنجی حذفی<sup>۱</sup> یا تقاطعی است. در این روش، مقایسه‌ای بین نقاط اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی با استفاده از روش‌های مشخص صورت می‌گیرد. به این ترتیب که یک نقطه حذف شده و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر، برای این نقطه تخمین انجام می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود برگردانده شده و نقطه بعدی حذف می‌شود و به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد، به طوری که در پایان دو ستون شامل مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده وجود دارد که می‌توان به مقایسه آن‌ها پرداخت. برای ارزیابی میزان دقت و خطا میان مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی معیارهای مختلفی نظیر مجموع

1. Cross-Validation

طبقه‌بندی آب کشاورزی به چهار گروه با کیفیت خوب، قابل قبول، نامناسب و بد تقسیم می‌شوند (جدول ۳)؛ ترکیب این رده‌ها آب را از نظر کشاورزی در چهار نوع کیفیت و ۱۶ رده تقسیم می‌کنند: شیرین برای کشاورزی کاملاً بی‌ضرر (CIS1)؛ کمی شور برای کشاورزی تقریباً مناسب (CIS2, C2S1, C2S2)؛ شور برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم (CIS3, C2S3, C3S1, C3S2, C3S3) و خیلی شور، کاملاً ضرر برای کشاورزی (C1S4, C2S4, C3S4, C4S4, C4S3, C4S2, C4S1).

جدول (۳): طبقه‌بندی آب کشاورزی طبق دیاگرام ویلکاکس

Table (3): Agricultural Waste Classification according to Wilcox Diagram

کیفیت آب	EC	رده	SAR	رده
عالی	EC < ۲۵۰	C1	SAR < ۱۰	S1
خوب	۲۵۰ < EC < ۷۵۰	C2	۱۰ < SAR < ۱۸	S2
متوسط	۷۵۰ < EC < ۲۲۵۰	C3	۱۸ < SAR < ۲۶	S3
نامناسب	EC < ۲۲۵۰	C4	SAR > ۲۶	S4

#### نفوذپذیری آب به خاک با توجه به کیفیت EC و SAR

جدول (۴) وضعیت نفوذپذیری خاک را با توجه به کیفیت (EC و SAR) آب آبیاری نشان می‌دهد (آیرز و تانجی<sup>۴</sup>، ۱۹۸۱). بر اساس این جدول، آبی با SAR مساوی یا بزرگ‌تر از ۱۲ و EC کمتر از ۲/۹ میلی‌متر بر سانتی‌متر، شدت نفوذ آب به خاک را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. از طرفی افزایش شوری آب یا کاهش SAR می‌تواند باعث افزایش شدت نفوذ گردد؛ بنابراین، برای ارزیابی درست اثر کیفیت آب بر شدت نفوذ آب به خاک، دو عامل EC و SAR بایستی با هم مورد بررسی قرار گیرند.

جدول (۴): راهنمای تفسیر کیفیت آب آبیاری از نظر تأثیر آن بر

شدت نفوذ آب به خاک (آیرز و تانجی، ۱۹۸۱)

Table (4): Guide to the interpretation of irrigation water quality in terms of its effect on the degree of penetration of water into soil (Ayers &amp; Tanji, 1981)

EC (دسی‌زیمنس بر متر)			SAR
بد	متوسط	خوب	
< ۰/۲	۰/۲	> ۰/۷	۰-۳
< ۰/۳	۰/۳	> ۱/۲	۳-۶
< ۰/۵	۰/۵	> ۱/۹	۶-۱۲
< ۱/۳	۱/۳	> ۲/۹	۱۲-۲۰
< ۰/۹	۲/۹	> ۵	۲۰-۴۰

4. Ayers and Tanji

#### درصد سدیم

میزان سدیم آب از پارامترهای مهم برای استفاده از آب در آبیاری زمین‌های کشاورزی است. افزایش سدیم در آب، نفوذپذیری خاک را کاهش می‌دهد (ابراهیم، ۲۰۰۲). درصد سدیم از رابطه (۹) محاسبه می‌شود (سازمان جهانی بهداشت<sup>۱</sup>، ۱۹۸۹):

$$\%Na = \left\{ \frac{(Na^+) + (K^+)}{(Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) + (Na^+) + (K^+)} \right\} * 100 \quad (9)$$

در این معادله، تمامی غلظت‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر است. در جدول (۲) رده‌بندی آب بر اساس درصد سدیم طبق نظر ویلکاکس آورده شده است.

جدول (۲): رده‌بندی کیفیت آب بر اساس درصد سدیم (ویلکاکس<sup>۲</sup>،

۱۹۵۵)

Table (2): Water quality rating based on sodium percentage (Wilcox, 1955)

ردیف	طبقه‌بندی آب	کلاس آب
۱	< ۲۰	عالی
۲	۲۰-۴۰	خوب
۳	۴۰-۶۰	مجاز
۴	۶۰-۸۰	تقریباً نامناسب
۵	> ۸۰	نامناسب

#### طبقه‌بندی آب بر اساس ویلکاکس

طبقه‌بندی ویلکاکس یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها در زمینه تعیین کیفیت آب کشاورزی است (ویلکاکس، ۱۹۴۸) که بر مبنای دو پارامتر هدایت الکتریکی (برحسب میکروموس بر سانتی‌متر،  $EC * 10^6$ ) و نسبت جذب سدیم به عنوان خطر قلیائیت در نظر گرفته می‌شود. نسبت جذب سدیم SAR طبق رابطه (۱۰) با افزایش سدیم افزایش می‌یابد (ریچاردز<sup>۳</sup>، ۱۹۵۴).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Mg^{2+}) + (Ca^{2+})}{2}}} \quad (10)$$

در آب‌های شور، سدیم جایگزین کلسیم و منیزیم موجود روی ذرات رس خاک می‌شود. این امر باعث تخریب ساختار خاک، تولید خاک قلیایی و در نهایت بسته شدن منافذ خاک می‌شود. از این رو انتقال آب‌وهوا در داخل خاک محدود می‌شود. این شرایط باعث کاهش بازدهی محصولات می‌شود. در این

1. World Health Organization (WHO)
2. Wilcox
3. Richards

## نتایج و بحث

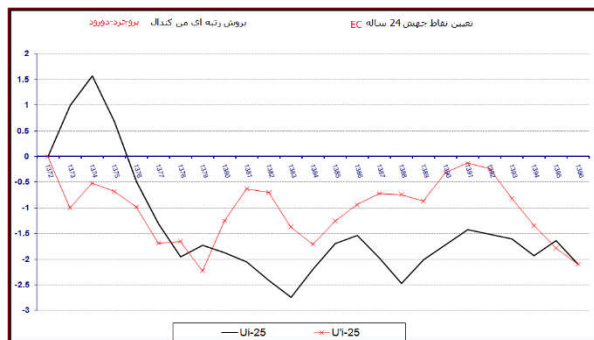
## بررسی تغییرات زمانی

جدول (۵) دربردارنده آماره من-کندال محاسبه شده برای پارامترهای کیفی است. در بررسی تغییرات زمانی، پارامترهای کیفی منابع زیرزمینی دشت بروجرد- دورود در بازه زمانی ۱۳۷۲-۱۳۹۵ مشخص شد که همه این پارامترها به دلیل دارا بودن آماره منفی، روندی کاهشی داشته‌اند و روند تغییرات پارامتر  $HCO_3$  در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار است و سایر پارامترها فاقد روند معنی دار بوده‌اند. شکل (۲) نمودار من-کندال پارامتر EC است که نشان‌دهنده روند تغییرات این پارامتر در بازه زمانی ۲۴ سال است. طبق این گراف، در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۴ جهش‌هایی به صورت افزایشی و در سال ۱۳۷۸ جهشی به صورت کاهشی در روند رخ داده است.

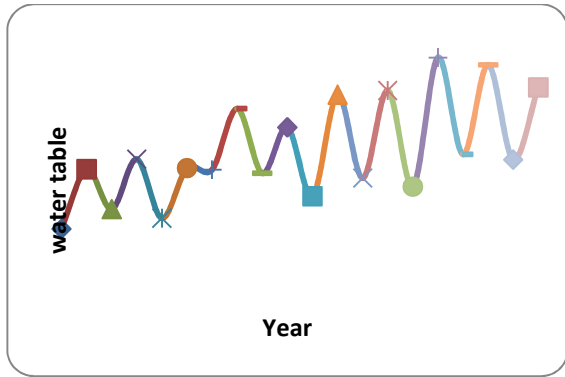
جدول (۵): آماره من-کندال پارامترهای کیفیت منابع آب زیرزمینی  
Table (5): Mann-Kendall Statistics Parameters of Groundwater Quality

پارامتر	$HCO_3$	Na	Mg	Ca	SAR	EC
آماره Z	-۲/۲۶	-۱/۳۱	-۱/۱۹	-۱/۵۱	-۱/۲۶	-۱/۶۱

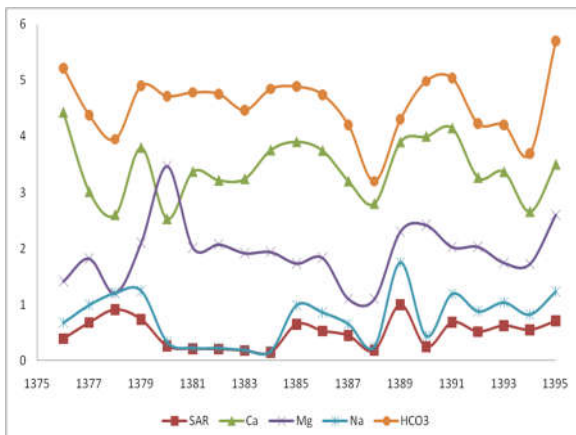
شکل (۳) نشان‌دهنده هیدروگراف چاه‌های دشت در دوره زمانی ۱۳۷۶-۱۳۹۵ و شکل (۴) نشان‌دهنده تغییرات پارامترهای کیفی در دوره زمانی ۱۳۷۲-۱۳۹۵ است. بر اساس این نمودار، عمق آب زیرزمینی افزایش و غلظت پارامترها نسبتاً کاهش یافته است.



شکل (۲): نمودار من-کندال مربوط پارامتر EC  
Figure (2): Mann-Kendal graph for EC



شکل (۳): هیدروگراف منابع آب زیرزمینی دشت بروجرد-دورود  
Figure (3): Hydrograph of Groundwater Resources of Borujerd-Doroud Plain



شکل (۴): نمودار تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی دشت بروجرد-دورود  
Figure (4): Chart of Changes in Groundwater Resources of Borujerd-Doroud Plain

برای پهنه‌بندی پارامترهای کیفی، روش‌های مختلف درون‌یابی مقایسه شد. با توجه به نتایج این مقایسه، روش درون‌یابی کریجینگ معمولی به‌عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی انتخاب شد.

## طبقه‌بندی کیفی بر اساس شاخص تراوایی (PI)

بر اساس این طبقه‌بندی، قسمت شمال غربی دشت در رده کیفیت ضعیف، قسمت جنوب شرقی دشت در رده متوسط و سایر نواحی دشت در رده عالی برای مصارف آبیاری قرار دارند (شکل ۵). جدول (۶) مساحت این سه رده را در سطح دشت بروجرد-دورود نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این جدول پیداست، ۸۴/۸۵ درصد از دشت دارای کیفیت عالی برای آبیاری قرار دارد.

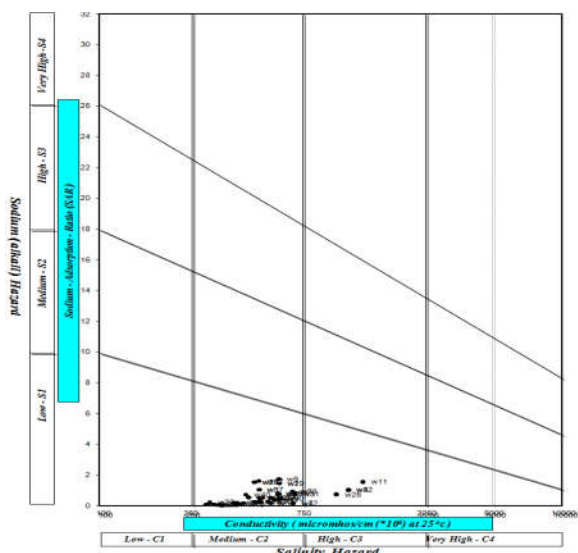
جدول (۷): مساحت کلاس‌های مختلف آب بر اساس درصد سدیم

Table (7): Area of different classes of water based on sodium percentage

مساحت (km <sup>2</sup> )	درصد	کلاس آب
۸۱۰/۵	۳۳/۴	عالی
۱۳۷۳/۵	۵۶/۵۹	خوب
۲۴۳	۱۰/۰۱	مجاز

### طبقه‌بندی کیفی بر اساس ویلکاکس

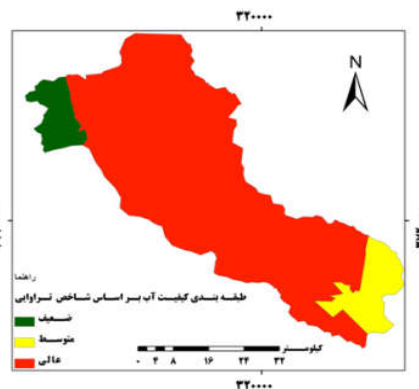
طبقه‌بندی کیفی آب منابع دشت بروجرد-دورود بر اساس دیاگرام ویلکاکس برای سال ۱۳۹۵ انجام گرفت که در شکل (۷) آورده شده است. با توجه به دیاگرام ویلکاکس مستخرج برای همه نمونه‌ها مشاهده می‌شود که کیفیت آب منابع برای کشاورزی در دو رده C2S1 و C3S1 قرار می‌گیرند که ۹۰/۹۱ درصد منابع مورد بررسی رده C2S1 و ۹/۰۹ درصد رده C3S1 را شامل شده‌اند.



شکل (۷): دیاگرام ویلکاکس برای سال ۱۳۹۵

Figure (7): Wilcox Diagram for 2016

در نمودار ویلکاکس، پارامترهای شیمیایی به صورت منفرد در نظر گرفته می‌شوند و نتایج حاصل از آن‌ها قابل تعمیم به کل دشت نیست؛ از این رو برای درک توزیع فضایی پارامترها، پهنه‌بندی انجام می‌شود. شکل (۸ الف و ب) در بردارنده نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی پارامترهای آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی بر اساس روش ویلکاکس، برای طبقه‌بندی آب کشاورزی است.



شکل (۵): طبقه‌بندی کیفیت منابع زیرزمینی بر اساس شاخص تراوایی

Figure (5): Classification of the quality of underground resources based on permeation index

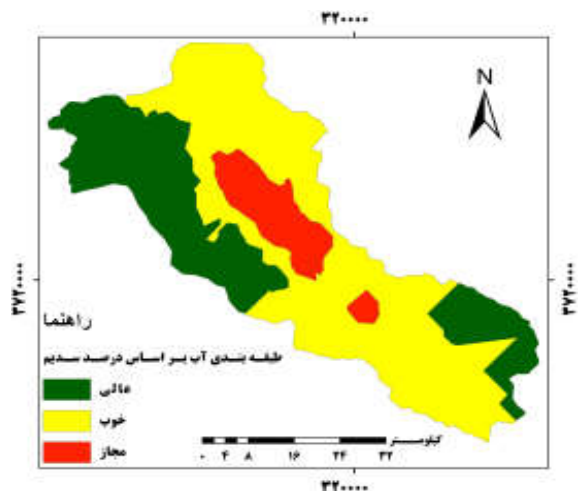
جدول (۶): مساحت رده‌های مختلف بر اساس شاخص تراوایی

Table (6): The area of different classes based on the permeability index

مساحت (km <sup>2</sup> )	درصد	کیفیت
۲۰۸۳/۱۴	۸۵/۸۴	عالی
۲۰۴	۸/۴۱	متوسط
۱۳۹/۷	۵/۷۶	ضعیف

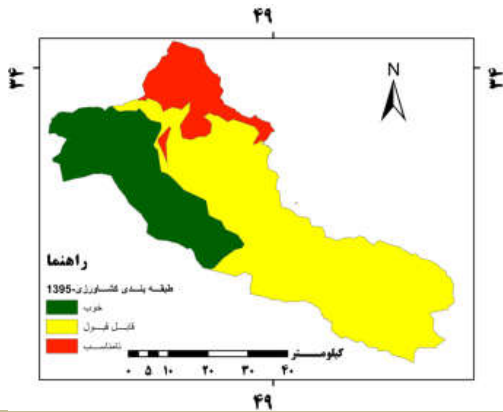
### طبقه‌بندی کیفی بر اساس شاخص %Na

بعد از محاسبه درصد سدیم بر اساس غلظت کاتیون‌های یک و دو ظرفیتی برای هر منبع، نقشه کیفیت بر اساس این شاخص در سطح دشت استخراج شد (شکل ۶). بر اساس این نقشه، نواحی شمال غربی و جنوب شرقی در رده عالی، مرکز دشت در رده مجاز و سایر نواحی در رده خوب از نظر کیفیت آبیاری قرار دارند. جدول (۷) در بردارنده مقدار مساحت تحت پوشش رده‌های مختلف است.

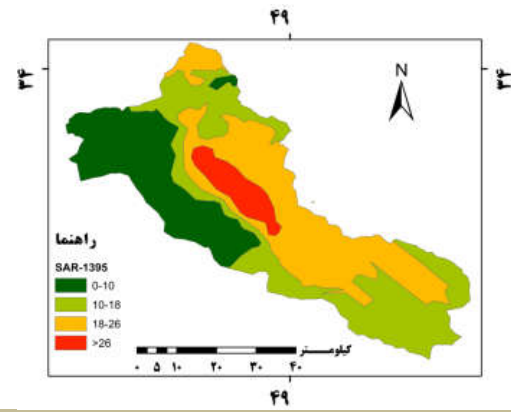


شکل (۶): طبقه‌بندی کیفیت بر اساس درصد سدیم

Figure (6): Classification of the quality based on sodium percentage



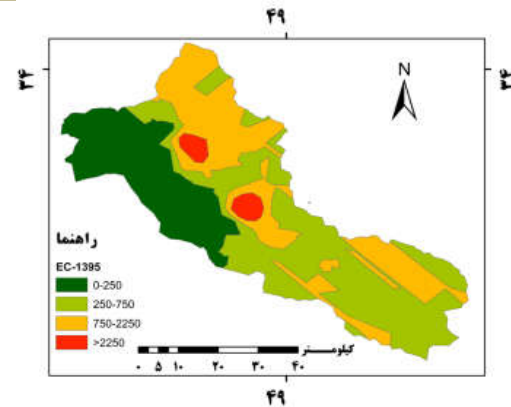
شکل (۹): پهنه بندی کیفیت منابع بر اساس طبقه بندی ویلکاکس  
Figure (9): Sources quality map based on Wilcox classification



شکل (۸): الف. پهنه بندی SAR بر اساس طبقه بندی ویلکاکس  
Figure (8): a. SAR map based on Wilcox classification

جدول (۸): مساحت گروه های مختلف آب بر اساس روش ویلکاکس  
Table (8): Area of various water groups based on Wilcox method

وضعیت آب	درصد	مساحت (km <sup>2</sup> )
کیفیت خوب	۲۶/۰۲	۶۵۲/۵
کیفیت قابل قبول	۵۹/۹۲	۱۵۲۵/۴
کیفیت نامناسب	۱۴/۰۶	۲۸۸/۵



شکل (۸): ب. پهنه بندی EC بر اساس طبقه بندی ویلکاکس  
Figure (8): b. EC map based on Wilcox classification

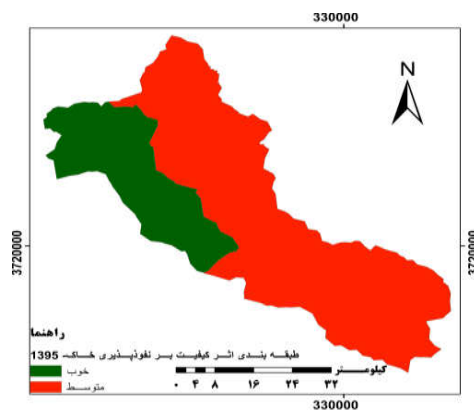
#### تأثیر تغییرات EC و SAR بر وضعیت نفوذپذیری

با استفاده از مقادیر EC و SAR مندرج در جدول (۴) میزان تأثیر کیفیت آب آبیاری روی نفوذپذیری در سال ۱۳۹۵ مشخص شد. نقشه پهنه بندی در شکل (۱۰) نشان می دهد که دشت در این سال از نفوذپذیری متوسط و خوب برخوردار است و نقاطی که دارای نفوذپذیری بد باشد یافت نشد. نتایج حاصل از بررسی نقشه تلفیقی EC و SAR نشان داد که نواحی غرب و شمال غربی دشت در رده خوب قرار داشته و بقیه قسمت های دشت در رده متوسط قرار گرفته است. این اطلاعات می توانند در فرایندهای تصمیم گیری از جمله برنامه ریزی و مدیریت آبیاری بسیار سودمند باشد. شایان ذکر است که عوامل مختلفی از قبیل بافت خاک، وزن مخصوص، فشردگی و... بر مقدار نفوذ مؤثر است و نمی توان مقدار نفوذ را تنها به عامل کیفیت آب نسبت داد. با وجود این، نقشه های به دست آمده با در نظر گرفتن عامل کیفیت آب روی نفوذپذیری ترسیم شده است. جدول (۹) مساحت رده های مختلف نفوذپذیری دشت را نشان می دهد.

نسبت جذبی سدیم SAR: این مؤلفه که با محاسبه کاتیون های Ca، Mg و Na حاصل می شود بیانگر شوری آب است. در سال ۱۳۹۵ در شمال، مرکز و جنوب شاهد حداکثر غلظت هستیم. غلظت SAR در بقیه نواحی از ۰-۷۵ میلی اکی والان در لیتر متغیر است. هدایت الکتریکی EC: معمولاً در طی جریانات زیرسطحی، تبادل یونی صورت می گیرد و با افزایش املاح محلول میزان EC نیز افزایش می یابد. میزان EC دشت در نواحی مختلف باهم متفاوت اند به طوری که در مرکز و شمال شرق دشت، بیشترین آلودگی از نظر EC وجود دارد. میزان این پارامتر از بیشترین (>۱۸ دسی زیمنس) تا کمترین میزان (۰-۱۰ دسی زیمنس) متغیر است. بعد از این مرحله، با تلفیق SAR و EC وضعیت کیفی آب منطقه برای مصارف کشاورزی بر اساس طبقه بندی ویلکاکس (شکل ۹) تهیه شد. جدول (۸) مساحت طبقه های مختلف کیفی سطح دشت بر اساس ویلکاکس را نشان می دهد.



لحاظ واریانس مکانی، موقعیت مکانی، موقعیت و توزیع نمونه‌ها قابل اعتماد است و نسبت به روش‌های دیگر، بیشتر مورد استفاده محققان در این گونه مطالعات بوده است. در طبقه‌بندی کیفیت منابع زیرزمینی دشت بر اساس شاخص‌های تراوایی، درصد سدیم و ویلکاکس مشخص شد که ۸۴/۸۵ درصد دشت دارای شاخص PI بیشتر از ۷۵ است، ۳۳/۴ درصد از وسعت دشت از نظر درصد سدیم در رده عالی قرار دارند و در بخش دیگر که به بررسی طبقه‌بندی بر اساس دیاگرام ویلکاکس پرداخته شد، نتایج نشان داد که بر اساس این طبقه‌بندی، قسمت‌های غربی بهترین کیفیت را برای کشاورزی دارند و در ناحیه شمال دشت بروجرد-دورود از کیفیت آب کاسته می‌شود. در نهایت بررسی تأثیر تغییرات EC و SAR بر نفوذپذیری نشان داد که کل منطقه مستعد نفوذپذیری خوب و متوسط است و نواحی با نفوذپذیری بد یافت نشد. دلبری و همکاران (۲۰۱۳) هم از طبقه‌بندی پیشنهادی آیرز و تانجی برای بررسی اثر کیفیت منابع زیرزمینی بر نفوذپذیری خاک دشت کرمان استفاده کردند و نتایج این تحقیق با نتایج ایشان مطابقت دارد. دلیل این تغییرات کیفی می‌تواند تبادلات شیمیایی بین آب و سازند آهکی دشت بروجرد-دورود و اثرپذیری آب باشد. این تبادلات شیمیایی باعث می‌شود که آب زیرزمینی در گستره خود ناهمگن شود، چون آب زیرزمینی در حین حرکت خود به مواد مختلف برخورد کرده و مواد مختلف با مقادیر متفاوت را در خود حل می‌کند. در پایان، پیشنهاد می‌شود با توجه به کمبود اطلاعات و آمار برای حوزه‌های بکری مانند حوزه بروجرد-دورود و اهمیت مدیریت بهینه منابع آب و شناخت اراضی مستعد برای پیشرفت‌های آبی، از نمونه‌برداری‌های مستقیم و تحلیل نتایج و استفاده از آمار موجود از مناطق مجاور، اقدام به بررسی کیفیت منابع آبی گردد و به‌عنوان راهنمایی مناسب مد نظر مدیران و تصمیم‌گیران قرار گیرد.



شکل (۱۰): پهنه‌بندی نفوذپذیری خاک‌های دشت

Figure (10): Permeability mapping of plain soils

جدول (۹): مساحت رده‌های مختلف نفوذپذیری دشت

Table (9): Area of different grades of plain permeability

وضعیت نفوذپذیری	درصد	مساحت (km <sup>2</sup> )
خوب	۲۶/۸	۶۶۱/۱
متوسط	۷۳/۲	۱۸۰۵/۳

## نتیجه‌گیری

بررسی روند تغییرات زمانی پارامترهای کیفی نشان داد که روند همه پارامترها کاهش یافته است. روند تغییرات HCO<sub>3</sub> در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. کاهش آلودگی می‌تواند در طی فیلتراسیون، ته‌نشینی ذرات معلق و نفوذ که به خصوصیات فیزیکی و هیدرودینامیک آبخوان وابسته است، رخ دهد. فراریت آلاینده‌ها، به جز مواردی که تبدیل جزء غیر فرار به فرار در داخل آب رخ می‌دهد، بیشتر به خواص آلاینده بستگی دارد و نه آبخوان یا آب زیرزمینی. فرایندهای زمین‌شناسی که سرنوشت آلاینده‌ها را در طی انتقال به آب زیرزمینی تعیین می‌کنند، به طبیعت آبخوان (کانی‌ها، ترکیب شیمیایی، محتوای مواد آلی، حضور باکتری‌ها) و طبیعت آب زیرزمینی که به ترکیب آبخوان وابسته است، بستگی دارد. در این مطالعه برای پهنه‌بندی پارامترهای کیفی از روش کریجینگ استفاده شد. در مطالعاتی همچون دادرسی و سبزواری (۲۰۰۶)، بالوشا و همکاران (۲۰۱۰)، دلبری و همکاران (۲۰۱۳) و احمد (۲۰۰۲) نیز بیان شده است که روش کریجینگ و نتایج حاصل از آن به دلیل

## مراجع

1. Abbasnia, A., Radfard, M., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Yousefi, M., Soleimani, H., & Alimohammadi, M., 2018. Groundwater quality assessment for irrigation purposes based on irrigation water quality index and its zoning with GIS in the villages of Chabahar, Sistan and Baluchistan, Iran. Data in brief 19, 623-631.
2. Ahmadi, S. H., & Sedghamiz, A. 2008. Application and evaluation of kriging and cokriging methods on groundwater depth mapping. Environmental Monitoring and Assessment 138, 357-368.
3. Ahmed, S. 2002. Groundwater monitoring network design: application of geostatistics with a few case studies from a granitic aquifer in a semi – arid region. J. American Journal 67, 1564–1571.
5. Ayers, R. S., Tanji, K. 1981. An application from Ayers and Westcot's 1985" Use of treated municipal wastewaters for irrigation. FAO Irrigation and Drainage Paper 29.
6. Baalousha, H. 2010. Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: a case study from Heretaunga Plains, New Zealand. Agricultural water management 97, 240-246.
7. Dadrasi sabzevar, A. 2006. Quantitative and qualitative changes of groundwater resources and its role in destruction of land. The first regional conference on optimal utilization of water sources in Karoon and Zayandehrood, Shahrekord University. September 14th-15th, 2006. [Persian]
8. Delbari, M., Afrasiab, p., salary, m. 2013. The zonation of qualitative parameters (salinity and sodium) of water using statistical pit methods Case study: Kerman plain, Journal of Water Resources Engineering, Sixth Year, Spring 2013, 24-11.
9. Doneen, L. D. 1964. Notes on water quality in agriculture. Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis.
10. Doonen, L. D. 1962. The influence of crop and soil on percolating waters. In Proceeding of 1961 Biennial Conference on Groundwater Recharge.
11. Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford Univ. Press, New York. Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford Univ. Press, New York.
12. Houben, G., Tünnermeier, T., Eqrar, N., Himmelsbach, T. 2009. Hydrogeology of the Kabul Basin (Afghanistan), part II: groundwater geochemistry. Hydrogeology journal 17, 935-948.
13. Ibrahim, A.A. 2002. Irrigation water quality evaluation of IA-Hassa springers and its predictive effects on soil properties. Pkistan Journal of Biological sciences. Vol.5, No. 6, PP.651-655.
14. Journel, A.G., C.J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press. New York. 600 p.
15. Latif, M., Mousavi, S., Ofyuni, M., Velayati, S. 2005. Investigation of Nitrate Contamination and its Origin in Groundwater of Mashhad Plain, journal of Agricultural Science and Natural Resources 12, 21-32. [Persian]
16. Malkutian, M. Wow. Worms 2005. Change in chemical quality of groundwater resources in the Bravoat and Bam Plain. Hormozgan Medical Journal, Second Year 8, 109-116. [Persian]
17. Manjusree, T. M. Joseph, S. Thomas, J. 2009. Hydrogeochemistry and Groundwater Quality in the Coastal Sandy Clay Aquifers of Alappuzha District, Kerala, Journal geological society of india 74, 459-468.
18. Mozafarizadeh J. 2006. "Investigating the effect of geology formations on the groundwater quality" -1St Conference Environment Geology Tehran. [Persian]
19. Nath, V.R. and Helen, H.M. 2013. Evaluation of ground water quality in Neyyattinkara Taluk, Kerala. Journal of Chemical & Pharmaceutical Research, 5(4).
20. Nazarizadeh, F., Ershadian, B., ZandVakili, K., Nouriemamzade'i, M. 2006. Investigating the variations in groundwater quality in Balarood plain in Khuzestan province originally published as an ASCE 1981 Water Forum Conference Proceedings. [Persian]
21. Pasquini, A. I., Lecomte, K. L., Piovano, E. L., Depetris, P. J. 2006. Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. Quaternary International 158, 127-139.
22. Rafi Sharif-Abad, J., Noahhegar, A., Zahtabian, Gh.R. and Gholami, H. 2013. Investigating temporal and spatial variations of groundwater quality for drinking and farming in Ardakan plain of Yazd. - Desertification Management Research 9,

- 119-107. [Persian]
23. Rahmani, A. Shokoohi, R. 2007. Evaluation of groundwater quality in Hamedan plain, Tenth National Conference on Environmental Health. 2009-2298. [Persian]
24. Rahman-Salari, K. And hope, sh. 2016. Study of the efficiency of statistical methods (Kriging and IDW) in preparing the Fertility Map of Kamaland plain of Khorramabad. International Conference on Architecture, Urbanism, Civil Engineering and the Environment. [Persian]
25. Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils 78, 154.
26. Shakerian, N., Zehtabian, G. R., Azarnivand, H., & Khosravi, H. 2011. Evaluation of desertification intensity based on soil and water criteria in Jarghooyeh region. Desert 16, 23-32.
27. Valdes, D., Dupont, J.P., Laignel, B., Ogier, S., Leboulanger, T. and Mahler, B.J. 2007. A spatial analysis of structural controls on Karst groundwater geochemistry at a regional scale. Journal of hydrology, 340(3-4), pp.244-255.
28. Wahlin, K., & Grimvall, A. 2010. Roadmap for assessing regional trends in groundwater quality. Environmental monitoring and assessment 165, 217-231.
29. Wilcox, L. 1955. Classification and use of irrigation waters.
30. World Health Organization. 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture: report of a WHO scientific group [meeting held in Geneva from 18 to 23 November 1987].
31. Zehtabian, G., Khosravi, H., Ghodsi, M. 2010. High demand in a land of water scarcity: Iran. In Water and Sustainability in Arid Regions. 75-86.

## Evaluation of Groundwater Resources Quality and Its Effect on soil permeability in Borujerd-Doroud Plain Using statistical and geostatistical analysis

Yaser Sabzevari<sup>1\*</sup>, Amir Hamzeh Haghiabi<sup>2</sup>, Ali Heidar Nasrollahi<sup>3</sup>

Received: 10/02/2019

Accepted: 02/09/2019

### Expanded abstracts

**Introduction:** Considering the increasing population and the growing need for food and drinking water, it is essential to explore and understand the factors of crop production, especially water resources. Today, the removal of undiluted water from underground water sources has produced qualitative issues, in addition to a few shortcomings. These issues are more significant in arid and semi-arid regions, which are more dependent on these resources. In these areas, due to lack of water resources, access to appropriate quality resources is important. The quality of groundwater undergoes spatial and temporal scales and cannot be assumed to be constant over time and place. Therefore, for the purpose of using groundwater resources and targeting for future uses, it is important to consider changes in the quality characteristics of resources over time and place. Therefore, studying the temporal and spatial variations of water quality is essential for properly and efficiently managing the use of these resources. In order to determine the process of time variation, different methods are used. One of the most common non-parametric methods is analysis of the trend in time series using the Mann-Kendall test. It is necessary to know the spatial changes of resources, to collect parameters in different locations, which requires a high cost and time. In such a situation, geospatial interpolation methods can be very efficient. Land use methods can reduce costs and increase the accuracy of estimation, due to the ability of reducing the number of samplings, application of the combination and providing more accurate estimation of variables location. The purpose of this research is investigation of groundwater quality in terms of agricultural use and its effect on permeability in Borujerd-Doroud Plain.

**Materials and methods:** Borujerd-Doroud Plain with an area of 2545.8 km<sup>2</sup> is located in northeast of Lorestan province and northernmost part the large Karon Basin. the trend of changes in the parameters of electrical conductivity, calcium, magnesium, sodium and bicarbonate of plain resources during the period of time (1994-2016) was investigated by the Mann-Kendall test and for qualitative maps preparation based on the Permeability Index, Sodium Percentage, and Wilcox, the data of 41 groundwater resources in 2016 were used. The accuracy evaluation of any interpolation or selection of the appropriate parameter is necessary. In the present study, the RMSE index was used to determine the appropriate method. Among different methods, each one with less RMSE is selected as the appropriate method. Different methods of interpolation were compared for the zoning of the quality parameters. Regarding the results of this comparison, the conventional Kriging interpolation method was chosen as the most appropriate interpolation method due to lower RMSE. The permeability index is a parameter that is used to evaluate the quality of irrigation water. Sodium levels of water are important parameters for using water in irrigated agricultural land. Increasing of sodium in water decreases soil permeability. Wilcox classification is one of the most important classifications for determining the quality of agricultural water based on two parameters of electrical conductivity and sodium absorption ratio as alkalinity risk.

**Result:** The results showed that the trend of changes in all parameters was reduced, which showed that the trend of changes in bicarbonate content was significant at 95% confidence level. In terms of permeability index, 85.84% of the plain has excellent irrigation water quality. Based on this classification, the water quality in northwest of the plain is poor, in southeast is moderate and in other plain areas is excellent for irrigation purposes. Based on the qualitative map of the percent of sodium, the irrigation water quality in northwest and southeast of the plain is excellent, and in the central area of the plain is allowable. The irrigation water quality in other areas of plain is good. The irrigation water quality based on Wilcox's method was classified in two C2S1 and C3S1 classes, which included 90.91% of the studied sources of C2S1 and 9.09% of the C3S1 grade.

**Discussion and Conclusion:** The quality map based on this classification showed that 85.94% of the plain area has a good water quality. The Investigation of EC and SAR changes effects on soil permeability showed that the variations of these two parameters are not negative across the plain, and the region has a good and moderate permeability status, which is 26.8%.

**Keywords:** Groundwater, Kriging, Mann-Kendal, Permeability, Water Quality.

1. MSc student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Corresponding author; Yasersabzevari1511@gmail.com

2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University

3. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University

DOI: 10.22052/deej.2018.7.25.11