

بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت تبریز با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW

ناصر شیرینی^۱، محمدحسین کاظمی^{۲*}، جلال شیرینی^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲. دانشجوی دکتری تخصصی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

*نویسنده مسئول: kazemi_m95@yahoo.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۰۷

چکیده

آب زیرزمینی از جمله منابع بسیار مهم تامین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که بررسی تغییرات کیفی و کمی آن بسیار حائز اهمیت است. در دشت تبریز، به دلیل کاهش میزان نزولات جوی و به تبع آن کاهش حجم رواناب سطحی، منابع آب زیرزمینی نقش مهمی در تامین نیازهای آبی در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعتی دارد. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تبریز از منظر مصارف آبیاری (کشاورزی) و نیز بررسی تغییرات مکانی TDS، Cl، EC و SAR با استفاده از روش زمین آمار است. برای پیش‌بینی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب از نمونه‌های ۸۶ حلقه چاه این منطقه که طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۶ اندازه‌گیری شده‌اند، استفاده شد. با مقایسه روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ با واریوگرام گوسین و نیز IDW مشخص شد که روش کوکریجینگ با واریوگرام گوسین دارای شاخص پراکندگی (SI) کمتری می‌باشد. براساس نتایج حاصل از پهنه‌بندی EC، SAR و همچنین طبقه‌بندی آب زیرزمینی منطقه براساس دیاگرام ویلکاکس، کیفیت آب زیرزمینی دشت تبریز غالباً بین کمی شور تا شور متغیر قرار دارد. عوامل متعددی همچون: برداشت زیاد آب از آبخوان دشت تبریز، وجود سازندهای مارنی در محدوده دشت تبریز و وجود سازندهای شور در بالادست رودهایی که از این دشت می‌گذرند در بالا بودن شوری دشت تبریز موثر است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، تبریز، زمین‌آمار، کیفیت آب، ویلکاکس.

مقدمه

آن بر رشد و تولید گیاهان سنجیده می‌شود (آنکو و همکاران، ۲۰۰۹). به‌منظور حفظ کیفیت آب‌های زیرزمینی اطلاع از پراکنش مکانی و زمانی فاکتورهای کیفی آن‌ها حائز اهمیت است (کلانتری و همکاران، ۱۴۰۰). در این راستا روش‌های زمین آماری یکی از روش‌های پیشرفته برای پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی است (خزاعی و همکاران، ۱۳۹۰).

احمد و همکاران (۲۰۰۲) روش کریجینگ^۱ را در تخمین وابستگی مکانی پارامترهای کیفیت آب نظیر کل مواد جامد محلول (TDS^۲) به‌کاربردند. طبق نتایج به‌دست آمده، کریجینگ قابلیت بالایی برای این هدف دارد. عبدی (۱۳۸۶) با استفاده از اطلاعات فیزیکی-شیمیایی آب زیرزمینی حوضه

افزایش بی‌رویه جمعیت، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری زیاد از آبخوان‌ها، جهت استفاده خانگی، کشاورزی و صنعتی خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به منابع طبیعی کشور از جمله منابع آب زیرزمینی وارد کرده است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کمبود آب‌های سطحی یا عدم وجود آن، استفاده از آب زیرزمینی به عنوان جایگزینی مطمئن مورد توجه قرار گرفته است (علیزاده ۱۳۹۴؛ سعیدی رضوی، ۱۳۹۹؛ نادری و همکاران، ۱۴۰۱). شورشیدن منابع آب زیرزمینی باعث ایجاد مشکلاتی در آبیاری شده است. کیفیت آب آبیاری با توجه به نوع و میزان نمک موجود در آن و تأثیر

² Total Dissolved Solid

¹ Kriging

روش IDW، روش درونیابی موضعی و درونیاب عام را برای پهنه بندی شوری آب‌های زیرزمینی دشت شهر کرد مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد روش کریجینگ معمولی به دلیل دارا بودن میانگین خطای مطلق (MAE^6) و میانگین خطای اریب (MBE^7) پایین تر با کمترین خطا و انحراف نسبی همراه است. ذبیحی و همکاران (۱۳۹۰) با هدف مشخص کردن توزیع مکانی بارش سالانه حوضه آبخیز قم از دو روش کریجینگ و IDW استفاده کرده و دریافتند که تغییرات بارندگی سالانه، بیشتر از واریوگرام گوسین تبعیت می‌کند. مقامی و همکاران (۱۳۹۰) برای پهنه بندی کیفیت آب محدوده شهرستان آبادیه از روش‌های کریجینگ، IDW و Spline استفاده کرده و نتایج نشان داد که روش کریجینگ بهترین روش برای میانابی است.

دشت تبریز از نظر فعالیت کشاورزی و تراکم جمعیت از اهمیت زیادی برخوردار است و آب مورد نیاز اراضی کشاورزی دشت تبریز علاوه بر منابع آب‌های سطحی همانند آجی چای، سنیخ چای و کومور چای از منابع آب‌های زیرزمینی هم تامین می‌گردد. بنابراین جهت استفاده از آب‌های زیر زمینی برای مقاصد آبیاری بایستی به مطالعه کمی و کیفی اینگونه منابع پرداخته شود. این مطالعات برای شناخت وضعیت منابع آب‌های زیر زمینی در وضعیت کنونی و بررسی امکان برآورده نمودن نیازهای آینده صورت می‌گیرد. با توجه به موارد ذکر شده هدف از این بررسی، مقایسه روش‌های زمین آماری، پهنه بندی پارامترهای کیفی هدایت الکتریکی (EC^8) و نسبت جذب سدیم (SAR^9) و کلاس بندی کیفیت آب زیرزمینی این دشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت تبریز در شمال غرب ایران در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. این دشت دارای آبخوان‌هایی با کیفیت آب زیرزمینی متفاوت است. آبخوان آزاد که در کل دشت گسترده شده و در

زنجانرود به پهنه بندی کیفی با روش کریجینگ در محیط GIS^۱ و براساس طبقه بندی شولر^۲ و طبقه بندی ویلکاکس^۳ پرداخت. ایشان نتیجه گرفتند که با توجه به نقشه های بدست آمده می‌توان وضعیت کیفی آب زیرزمینی را از لحاظ شرب و کشاورزی مورد بررسی قرار داد. تقی زاده مهرجردی و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعات خود از روش‌های زمین آمار (کریجینگ، کوکریجینگ و IDW^۴) برای مکان یابی کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد اردکان استفاده نمودند. به منظور انتخاب بهترین مدل از جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE^5$) استفاده شده و نتایج نشان داد که روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ دارای ارجحیت برای تهیه نقشه های پهنه بندی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه می‌باشند. شعبانی (۱۳۸۷) به منظور بررسی و تحلیل مکانی مقادیر PH و کل نمک‌های محلول (TDS) آب-های زیرزمینی دشت ارسنجان از روش‌های زمین آمار مانند کریجینگ معمولی و کرجینگ ساده و روش‌های معین مانند عکس فاصله (IDW)، تابع شعاعی، تخمین گر موضعی و تخمین گر عام استفاده کرد. نتایج حاکی از آن بود که در بین روش‌های گوناگون میان‌یابی، روش زمین آماری کریجینگ ساده و معمولی نسبت به روش‌های دیگر برتری داشته و به عنوان روش‌های مناسب جهت تهیه نقشه نهایی تغییرات PH و TDS در دشت ارسنجان انتخاب شدند. ادهیکاری و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات مکانی آب زیرزمینی را در هندوستان ارزیابی کردند. آن‌ها نقشه‌های توزیع احتمالی آلودگی آب زیرزمینی را با استفاده از روش کریجینگ تولید کردند. دلگادو و همکاران (۲۰۱۰) از روش کریجینگ برای پیش بینی برخی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی در یوکاتان مکزیکو استفاده کردند. محمدی و همکاران (۱۳۹۰) به منظور تحلیل مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی از امکانات نرم افزاری زمین آمار ArcGIS استفاده کردند. نتایج بررسی آنان نشان داد که در فصول تر سال‌های مورد مطالعه، کیفیت آب زیرزمینی کاهش پیدا کرده است. مرادی و همکاران (۱۳۹۰) دقت روش‌های زمین آمار کریجینگ معمولی، کرجینگ ساده و روش‌های معین شامل

⁶ Mean Absolute Error

⁷ Mean Bias Error

⁸ Electrical Conductivity

⁹ Sodium Absorption Ratio

¹ Geographic Information system

² Schuler

³ Wilcox

⁴ Inverse distance Weighing

⁵ Root Mean Square Errors

یک خاک، نشان دهنده جذب سدیم خاک است (آبیفونا و شریف، ۲۰۱۱). در این رابطه غلظت برحسب میلی‌اکی‌والانت بر لیتر می‌باشد. SAR از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد (علیزاده، ۱۳۹۲):

$$SAR = \frac{(Na^+)}{\sqrt{\frac{1}{2}((Mg^{2+}) + (Ca^{2+}))}} \quad (1)$$

هدایت الکتریکی EC

هدایت الکتریکی (EC) از پارامترهای اصلی در پایش کیفیت آب به لحاظ کشاورزی و شرب می‌باشد. که بیانگر ظرفیت در انتقال جریان الکتریکی و وجود یون‌های موجود در منبع آب است. این پارامتر ارتباط مستقیم با میزان شوری آب، میزان کیفیت آب شرب و میزان جذب سدیم دارد (جمشیدزاده و همکاران، ۲۰۱۱). در واقع EC نشان‌دهنده وجود نمک‌های محلول در آب می‌باشد.

کل نمک‌های محلول TDS

کل نمک‌های محلول به‌عنوان معیاری برای طبقه‌بندی کیفی آب در نظر گرفته می‌شود. منظور از TDS کل مواد جامد محلول در آب است که برابر مجموع غلظت همه یون‌های موجود در آب می‌باشد. مواد محلول در آب ممکن است از نظر ماهیت آلی یا معدنی باشند.

میزان TDS یکی از پارامترهای مهم در تعیین میزان برداشت از آب در یک منطقه می‌باشد. بالا بودن TDS برای مصارف کشاورزی مناسب نمی‌باشد (مگش و همکاران، ۲۰۱۳).

کلر Cl

کلراید یکی از موثرترین آنیون‌هایی می‌باشد که در آب‌های کشاورزی موجود است و به محصولات زراعی و گیاهان آسیب می‌رساند. از تاثیرات مضر آن مثل سوختگی برگ یا از بین رفتن بافت برگ را می‌توان نام برد (خلف و حسن، ۲۰۱۳).

روش‌های میان‌یابی و ارزیابی کریجینگ

یک روش برآورد زمین‌آماري که براساس منطق میانگین متحرک وزن‌دار می‌باشد، روش کریجینگ است. در کریجینگ به‌ازای هر تخمین، خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد و این مهم‌ترین ویژگی این روش است. بنابراین برای هر مقدار

مناطق تغذیه دشت از بالادست دارای کیفیت آب خوب و در طول مسیر جریان رودخانه آبی‌چای و قسمت انتهایی دشت کاملاً شور می‌باشد. آبخوان‌های تحت فشار چند لایه‌ای که در مرکز و قسمت‌های انتهایی دشت قرار گرفته‌اند از کیفیت آب نسبتاً خوبی برخوردارند. حد غربی دشت تبریز به باتلاق‌های نمکی حاشیه دریاچه ارومیه، حد شمالی آن به کوه‌های میشو، حد جنوبی آن به تکه‌ده کوهستانی سهند و حد شرقی آن به شهر تبریز محدود می‌شود. رود اصلی دشت، آبی‌چای می‌باشد که به طرف دریاچه ارومیه جریان دارد. سایر رودخانه‌های دشت را سعید آباد چای، مهرانرود، گماناچای و غیره تشکیل می‌دهند (اصغری مقدم، ۱۹۹۱). شکل شماره ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روش پژوهش

در این پژوهش برای ارزیابی کریجینگ و کوکریجینگ با واریوگرام گوسین و روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) از نرم افزار Geostatistical Analyst در Arc GIS 10.4 پارامترهای: نسبت جذبی سدیم (SAR)، هدایت الکتریکی (EC)، کل املاح محلول (TDS)، کلرید (Cl) استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی دریافت شده است. نمونه‌برداری این پارامترها از ۸۶ حلقه چاه، به مدت ۱۳ سال (از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۶) صورت گرفته است. نقشه و نمودار تغییرات دو پارامتر EC و SAR مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و پس از انتخاب بهترین میان‌یابی، برای تعیین کیفیت آب کشاورزی از نمودار ویلکاکس که یکی از مهم‌ترین روش‌های طبقه‌بندی آب کشاورزی است، استفاده شده است.

نسبت جذبی سدیم SAR

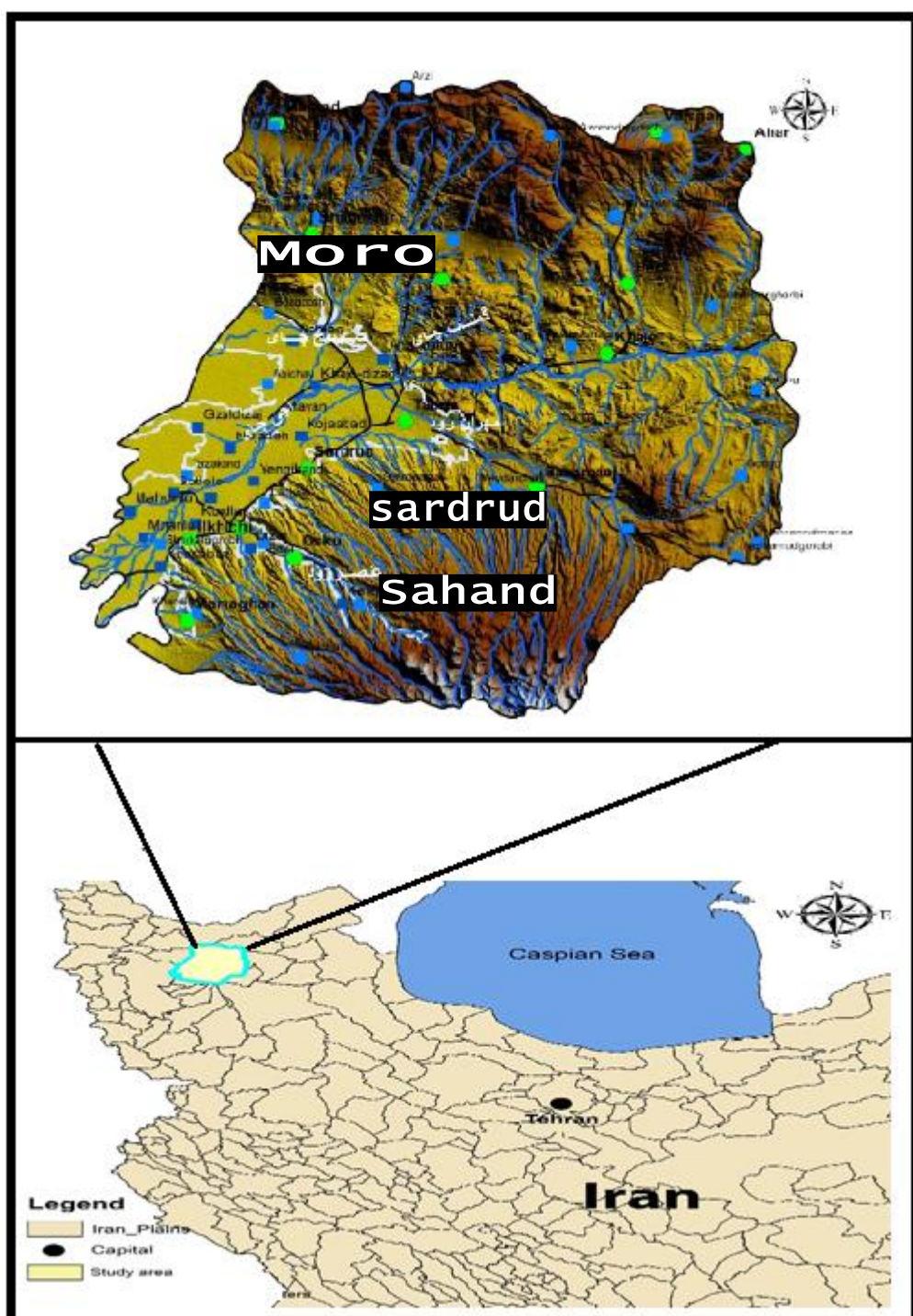
در بررسی و مدیریت خاک‌های که تحت تاثیر سدیم است از نسبت جذب سدیم که به اختصار SAR نوشته می‌شود استفاده می‌شود. نسبت جذب سدیم یکی از پارامترهای سنجش کیفیت آب کشاورزی است که برای تعیین مطلوبیت آب جهت استفاده در آبیاری و کشاورزی با کاتیون‌های قلیایی موجود در آب اندازه‌گیری می‌شود. این شاخص به عنوان استاندارد جهت هشدار سدیمی‌شدن خاک نیز به‌شمار می‌رود. (ریو و همکاران، ۱۹۵۴) نسبت جذب سدیم محلول

اگر متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد آنگاه می‌توان از این تخمین‌گر استفاده کرد ولی در غیر این صورت یا باید از کریجینگ غیرخطی استفاده نمود و یا اینکه توزیع متغیر را به توزیع نرمال تبدیل کرد. کریجینگ بهترین تخمین‌گر خطی ناریب است و واریانس تخمین در آن نیز کمترین می‌باشد. واریوگرام گوسین دارای (SI) کمتری نسبت به سایر واریوگرام‌ها دارد و بالطبع خطای کمتری نیز خواهد داشت. در این تحقیق از کریجینگ واریوگرام گوسین استفاده گردید.

تخمین زده شده می‌توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد. این تخمین‌گر به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود (حسنی پاک ۱۳۸۶):

$$Z^*(x_i) = \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

که در آن $Z^*(x_i)$: مقدار متغیر مکانی برآورد شده، λ_i : وزن آماری که به نمونه x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد است و $Z(x_i)$: مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_i .



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط نمونه برداری شده

Figure 1. Geographic location of the study area and spatial distribution of the sample sites.

وجود دارد که می‌توان به جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و نمایه پراکندگی (SI) اشاره نمود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2} \quad (5)$$

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{Z}(x_i)} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2}{\bar{Z}(x_i)}} \quad (6)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - \bar{Z}^*(x_i)) (Z(x_i) - \bar{Z}(x_i))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - \bar{Z}^*(x_i))^2 \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \bar{Z}(x_i))^2}} \right]^2 \quad (7)$$

که در آن‌ها n تعداد نمونه مشاهداتی، $Z^*(x_i)$ مقدار محاسباتی نقطه i ام، $Z(x_i)$ مقدار مشاهداتی بر نقطه i ام، $\bar{Z}(x_i)$ میانگین داده‌های مشاهداتی و $\bar{Z}^*(x_i)$ میانگین داده‌های محاسباتی می‌باشد. مدلی که دارای RMSE کمتر و R^2 بیشتر باشد، به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شده است.

نتایج و بحث

در میان‌یابی کریجینگ و IDW، شرط نرمال بودن داده‌ها فقط جزء مشروط کریجینگ می‌باشد در حالی‌که دیگر روش‌ها چنین محدودیتی ندارند (شعبانی، ۱۳۸۷). در روش میان‌یابی کریجینگ از یک متغیر اصلی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی منطقه استفاده می‌شود اما در روش کوکریجینگ علاوه بر متغیر اصلی از یک متغیر کمکی نیز بهره می‌گیرند لذا انتخاب صحیح این متغیر کمکی تاثیر بسزایی در افزایش تهیه نقشه پهنه‌بندی دارد. بدین منظور از ماتریس مشابهت برای انتخاب متغیر کمکی استفاده شده است (جدول ۳) استفاده می‌شود.

جدول ۳ نشانگر ماتریس مشابهت مابین پارامترهای مورد استفاده می‌باشد. مطابق این جدول در تمام پارامترها به‌جز روش کوکریجینگ با واریوگرام گوسین، SI کمتری نسبت به کریجینگ و IDW دارد. در بین پارامترها CI دارای ضعیف‌ترین شبیه‌سازی می‌باشد. یکی از دلایل این امر را می‌توان بالا بودن مقدار ضریب تغییرات عنوان کرد. این امر با نتایج تحقیقات شعبانی (۱۳۸۷)، حبیبی اربطانی و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

جدول ۱- شاخص‌های آماری پارامترهای کیفی آب زیرزمینی.

کوکریجینگ

کوکریجینگ از اطلاعات انواع متغیرها استفاده می‌کند. استفاده از اطلاعات متغیرهای دیگر جهت کمک به پیش‌بینی جذاب می‌باشد اما با هزینه همراه است. کوکریجینگ نیاز به تخمین بیشتری دارد از جمله تخمین خودهمبستگی برای هر متغیر و هم چنین همبستگی دو جانبه بین متغیرهای دیگر می‌باشد. معادله کوکریجینگ با فرض وجود یک متغیر اصلی و یک متغیر کمکی به‌شرح رابطه ۳ است (هاشمی جزی و همکاران، ۱۳۸۹):

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_{1i} Z_1(x_i) + \sum_{j=1}^m \lambda_{2j} Z_2(x_j) \quad (3)$$

که در آن، $Z^*(x_0)$ مقدار نامعلوم متغیر در نقطه x_0 و n و m ترتیب تعداد نقاط نمونه‌برداری متغیرهای کمکی و اصلی λ_{1i} و λ_{2j} عبارت از وزن‌های آماری اختصاص داده شده به متغیرهای اصلی و کمکی است. و همچنین $Z_1(x_i)$ متغیر مکانی اصلی و $Z_2(x_j)$ متغیر مکانی کمکی یا ثانویه می‌باشد.

روش IDW

در این روش برای هریک از نقاط اندازه‌گیری شده، وزنی براساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرند. سپس این وزن‌ها توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به‌طوری‌که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به‌طور یکنواخت تری بین نقاط هم جوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد (حسنی پاک، ۱۳۸۶):

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-a}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-a}} \quad (4)$$

که در آن: λ_i وزن ایستگاه i ام، D_i فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول، a توان وزن دهی می‌باشد.

به‌منظور ارزیابی و دقت روش‌های میان‌یابی از معیارهای ارزیابی استفاده می‌شود. معیارهای مختلفی برای این کار

Table 1- Statistical indices of groundwater quality parameters.

CV	Skewness	standard deviation	Mean	Max	Min	Parameter
0.96	1.4	1423.71	1475.03	6880.82	163.92	mg L ⁻¹ TDS
0.95	1.48	2224.3	2322	11261.23	267.25	μmoh cm ⁻¹ EC
0.87	1.82	5.58	6.41	27.17	0.66	(-) SAR
1.32	1.77	18.77	14.17	91.15	0.29	meq L ⁻¹ Cl

جدول ۲- نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مورد استفاده در تحقیق.

Table ۲- Model evaluation results

Co-Kriging (Gaussian)	Cl		EC			SAR			TDS			Kriging (Gaussian)	RMS E SI R ²
	ID W	Kriging (Gaussian)	Co-Kriging (Gaussian)	IDW	Kriging (Gaussian)	Co-Kriging (Gaussian)	IDW	Kriging (Gaussian)	Co-Kriging (Gaussian)	IDW	Kriging (Gaussian)		
22.49	30.1	29.72	2417.33	3163.13	3120.24	5.15	7.28	6.95	1560.3	2056.27	2028.26	6	
0.66	0.52	0.86	0.52	0.69	0.67	0.53	0.75	0.72	0.52	0.69	0.67	0.67	
0.86	0.77	0.9	0.83	0.73	0.91	0.85	0.64	0.9	0.84	0.73	0.91	0.91	

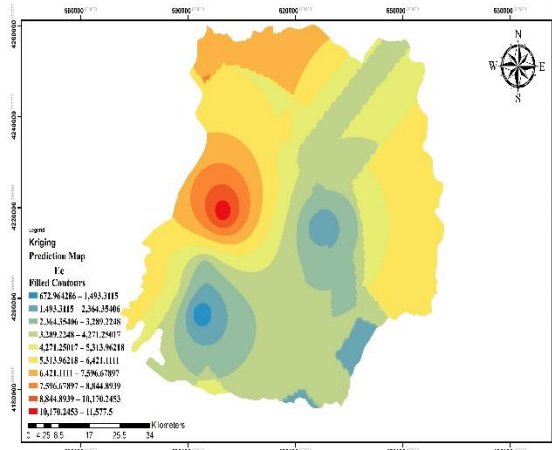
جدول ۳- ماتریس مشابهت مابین پارامترهای موجود.

Table 3- Similarity matrix of the investigated parameters.

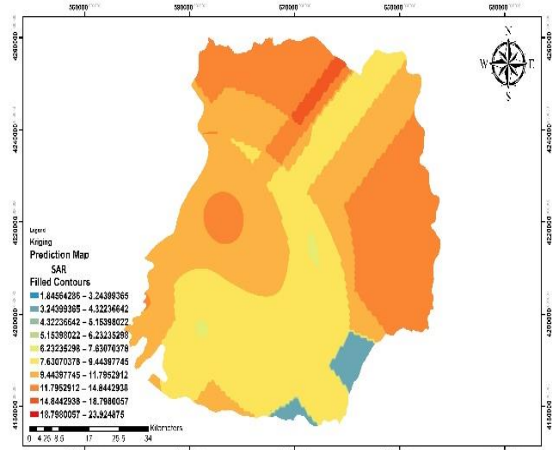
	TDS	SAR	EC	CL
TDS	1	0.836	0.958	0.988
SAR	0.836	1	0.833	0.804
EC	0.958	0.804	1	0.947
Cl	0.988	0.833	0.947	1

افزوده می‌شود. افزایش مقادیر EC و SAR در قسمت مرکزی و غربی به علت همجواری این مناطق با دریاچه ارومیه و برداشت مازاد از آبخوان می‌باشد که باعث نفوذ آب شور به سمت سفره آب زیرزمینی آذرشهر شده است. این تحلیل با بررسی‌های صادقی اقدام و همکاران (۱۳۹۱) و نیز اصغری مقدم و دوچشمه (۱۳۹۵) مطابقت دارد. همچنین نزدیک بودن این مناطق به پهنه‌های تبخیری و کم‌عمق بودن سطح ایستابی در این نواحی را می‌توان از دیگر علل افزایش شوری و سدیمی بودن در این نواحی از دشت عنوان کرد که این امر با نتایج حاصل از تحقیق بی‌دست و همکاران (۱۳۹۴) نیز در تطابق است.

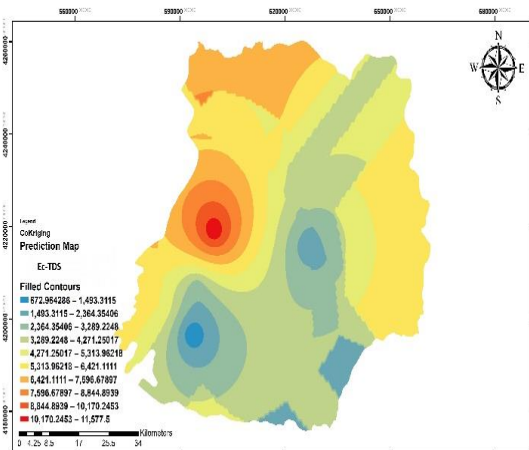
شکل ۲ نتایج پهنه‌بندی پارامترهای EC، SAR و Cl با استفاده از دو روش میان‌یابی به کار گرفته شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. با توجه به دقت بالای مدل کو کریجینگ با میان‌یابی گوسین نسبت به روش‌های کریجینگ و IDW، تنها مقادیر حاصل از این روش مورد بررسی قرار می‌گیرند. با توجه به شکل ۲، مقدار EC در قسمت مرکزی و جنوبی دارای وضعیت مطلوب‌تری نسبت به مناطق غربی و شمالی دشت دارد و همچنین بیشترین مقدار EC در سمت غرب دشت که نزدیک به دریاچه ارومیه است، مشاهده می‌شود. مقدار SAR نیز در قسمت‌هایی از مرکز و جنوب دارای وضعیت مناسب می‌باشد اما هرچقدر به سمت غرب، شمال و شرق منطقه حرکت شود بر مقدار SAR



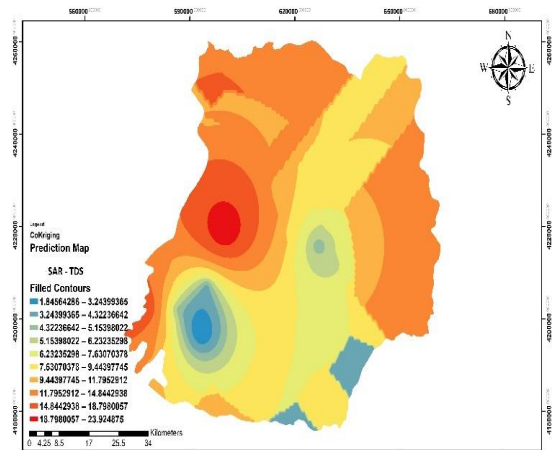
EC Kriging



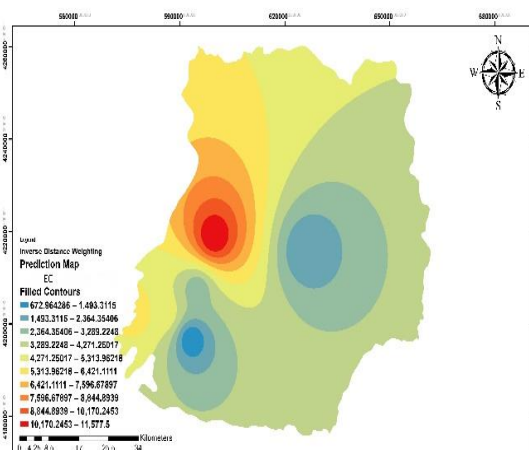
SAR Kriging



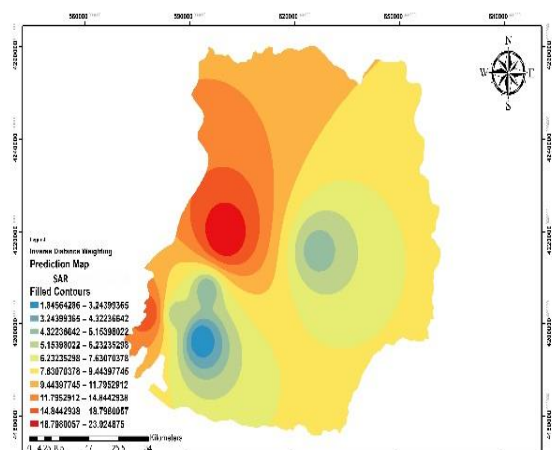
EC CoKriging



SAR CoKriging



EC IDW



SAR IDW

شکل ۲- نقشه‌های میان‌یابی شده EC و SAR از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۶.

Figure 2- Interpolated maps of the SAR and EC for the period 2004–2017.

جدول ۴- طبقه‌بندی آب آبیاری کشاورزی براساس دیگرام ویلکاکس.

Table 4- Classification of irrigation water quality based on the Wilcox diagram.

Agricultural irrigation water quality	Water class
Excellent – suitable for agricultural irrigation with no significant adverse effects	C1S1
Good – generally suitable for agricultural irrigation	C2S1, C2S2, C1S2
Fair – suitable for agricultural irrigation with appropriate management practices	C3S3, C3S2, C3S1, C2S3, C1S3
Poor – unsuitable or potentially harmful for agricultural irrigation	C1S4, C2S4, C3S4, C4S4, C4S3, C4S2, C4S1

جدول ۵- بازه‌های EC و SAR در دیاگرام ویلکاکس.

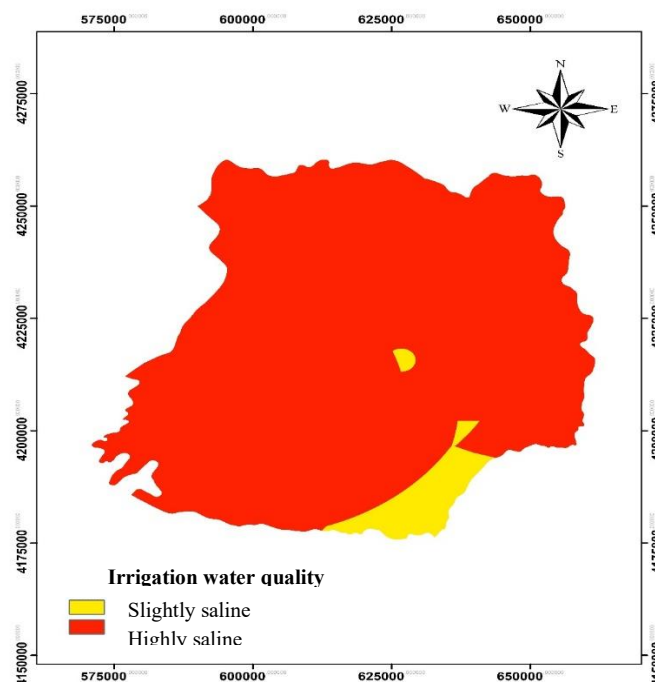
Table 5- EC and SAR ranges used in the Wilcox diagram.

SAR	class	EC ($\mu\text{mohs/cm}$)	class
0-10	S1	100-250	C1
10-18	S2	250-750	C2
18-26	S3	750-2250	C3
>26	S4	>2250	C4

جدول ۶- طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی براساس دیاگرام ویلکاکس.

Table 6- Classification of groundwater quality based on the Wilcox diagram.

Area (km^2)	Percentage of total area (%)	Class	Irrigation water quality	Geostatistical method
6106.85	11.3	C2S1	Slightly saline	Gaussian Kriging
47936.09	88.7	C4S2-C4S3-C4S4	Highly saline	



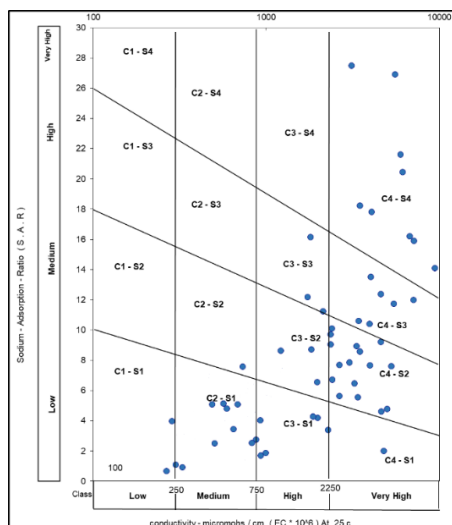
شکل ۳- نقشه‌های کلاس‌بندی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی.

Figure 3- Spatial distribution maps of groundwater quality classes for agricultural irrigation.

در حالت کلی برای طبقه‌بندی آب زیرزمینی در مصارف کشاورزی از دیاگرام ویلکاکس استفاده می‌شود. در این دیاگرام براساس دو فاکتور درصد جذب سدیم (SAR) و هدایت الکتریکی (EC) کیفیت آب برای کشاورزی مشخص می‌گردد. براساس جدول ۴، در دیاگرام ویلکاکس، آب کشاورزی به ۱۶ رده از C1S1 تا C4S4 تقسیم‌بندی می‌شوند و بازه‌بندی EC و SAR نیز در جدول ۵ نشان داده شده است (ویلکاکس، ۱۹۵۵).

طبق نقشه‌ی کلاس‌بندی شده در شکل ۳، کیفیت آب کشاورزی دشت تبریز به سه کلاس C2S1 (کمی شور)، C4S2 (خیلی شور) تقسیم‌بندی شده است. براین‌اساس، چاه‌های مورد مطالعه در نمودار ویلکاکس با نقشه‌های کلاس‌بندی شده کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در

دشت تبریز همخوانی دارد (شکل ۴). با بررسی نقشه به دست آمده براساس دیاگرام ویلکاکس مشاهده می شود که آب زیرزمینی این دشت در بسیاری از نقاط آن برای مصارف کشاورزی مناسب نمی باشد.



شکل ۴- دیاگرام ویلکاکس چاه های مورد مطالعه دشت تبریز .

Figure 4- Wilcox diagram of the groundwater samples collected from the Tabriz Plain wells.

این منطقه برداشت مازاد از آبخوان دشت تبریز می باشد. کاهش استخراج آب زیرزمینی در این منطقه و کاشت محصولات زراعی مقاوم به شوری مثل گیاهان علوفه ای از جمله اقدامات عملی و کاربردی در این زمینه است. همچنین بررسی ها نشان داد که چاه های مورد استفاده در دشت تبریز از پراکنش مکانی کافی برخوردار نمی باشند و لذا توصیه می شود تعداد چاه های مشاهداتی در این منطقه با توجه به پایین بودن سطح ایستابی و افزایش غلظت املاح افزایش یابد تا بررسی های دقیق تری در این خصوص میسر گردد.

کلانتری، ن.، شیخ زاده، ع.، محمدی، ه.، چقازدری، ز. (۱۴۰۰). ارزیابی وضعیت هیدروژئوشیمی آب زیرزمینی آبخوان عقیلی با تأکید بر روش های آماری چند متغیره. نشریه هیدروژئولوژی، (۲): ۹۵-۱۰۸.

گرگیچ، آ.د. (۱۳۹۵). هیدروژئولوژی آبخوان آذرشهر و مدل سازی کمی آن با استفاده از مدل های تلفیقی و دینامیک سیستم. رساله دکتری تخصصی، دانشگاه تبریز.

نادری، م.، میرعباسی، ر.، نصر اصفهانی، م.ع. (۱۴۰۴). بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت سفید دشت و ارزیابی آن برای استفاده در مصارف کشاورزی. نشریه هیدروژئولوژی، (۲): ۹۱-۱۰۸.

Reference

نتیجه گیری

طبق نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر، روش زمین آمار از قابلیت بالایی برای بررسی توزیع مکانی و تهیه نقشه های پهنه بندی پارامترهای کیفی آب دارند. در این تحقیق، از میان این روش ها، روش کوکریجینگ با واریوگرام گوسین بهترین میان یابی را ارائه داده است و با استفاده از این روش، پهنه بندی EC و SAR صورت پذیرفت. در نتیجه این پهنه بندی، کیفیت آب زیرزمینی دشت تبریز برای مصارف آبیاری کشاورزی در غالب نقاط به عنوان خیلی شور ارزیابی شد. علت بالا بودن شوری آب

منابع

بی دست، س.، فاخری فرد، ا.، فرقانی، ا.، شهابی، م. (۱۳۹۴). تحلیل و تفسیر تغییرات مکانی و زمانی برخی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان دشت تبریز). نشریه دانش آب و خاک، (۲۵): ۲۹۷-۳۲۰.

حاجی هاشمی جزی، م.ر.، آتشگاهی، م.، حمیدیان، ا.ج. (۱۳۸۹). برآورد مکانی مولفه های کیفی آب های زیرزمینی با استفاده از روش های زمین آمار مطالعه موردی: دشت گلپایگان. نشریه محیط زیست طبیعی، (۶۳): ۳۴۷-۳۵۷.

سعیدی رضوی، ب. (۱۳۹۹). بررسی آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت گلپایگان با استفاده از بهینه سازی روش دراستیک. نشریه هیدروژئولوژی، (۲): ۶۱-۷۴.

- Jamshidzadeh, Z., Mirbagheri, S.A. (2011). Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran. *Desalination*, 270: 23-30.
- Kalantari, N., sheikhzadeh, A., Mohammadi, H., chaghazardi, Z. (2022). Evaluation of the Aghili aquifer hydrochemical status with emphasis on multivariable statistics method. *Hydrogeology*, 6(2), 95-108. [In Persian]
- Ketata, M., Moncef, G., Bouhlila, R. (2011). Use of geographical information system and water quality index to assess groundwater quality in El Khairat deep aquifer (Enfidha, Central East Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 5: 1379-1390.
- Khalaf, R.M., Hassan, W.H. (2013). Evaluation of irrigation water quality index IWQI for Al-Dammam confined aquifer in the west and southwest of Karbala city, Iraq. *International Journal of Civil Engineering*, 23: 21-34.
- Khazaei, S., Abbasi Tabar, H., Taghizadeh-Mehrjardi, R. (2011). Spatial Distribution of Nitrate Contamination in Groundwater Using Geostatistic in Fars Province (Case study: Siakh Darengoun Area). *Journal of Natural Environment*, 64(3): 267-279.
- Magesh, N., Krishnakumar, S., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J.P. (2013). Groundwater quality assessment using WQI and GIS techniques, Dindigul district, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11): 4179-4189.
- Maghami, Y., Ghazavi, R., Vali, A., Sharafi, S. (2011). Evaluation of Different Interpolation Methods for Water Quality Zoning Using GIS (Case Study: Abadeh County). *Geography and Environmental Planning* 22(2): 171-182.
- Mogaddam, A.A., Gorgij, A.D. (2016). Feasibility Study of Hydraulic Relationship of Lake Urmia with Azarshahr Coastal Coastal Aquifer Using Geochemical Reversal Ratios and Modeling. *Ecology*, 42(1): 65-80.
- Mohammadi, M., Mohammadi-Ghaleney, M., Ebrahimi, K. (2011). Spatial and temporal variations of groundwater quality in Qazvin plain. *Iranian Water Research*, 5(8): 52-41.
- Moradi, M., Vagharfard, H., Khorani, A., Mahmoudinejad, V. (2011). Evaluation of Different Interpolation Methods in Groundwater Salinity Zoning Using Cross-Validation Technique (Case Study: Shahrekord Plain). *Iranian Remote Sensing and GIS*, 3(1): 35-44.
- Naderi Eshkaftaki, M., Mirabbasi, R., Nasr Esfahani, M.A. (2023). Investigation of Temporal and Spatial Variations of Groundwater Quality in Sefiddasht Plain and Suitability Evaluation for Agricultural Use. *Hydrogeology*, 7(2), 91-108. [In Persian]
- Abdi, P. (2007). Investigation and Evaluation of Groundwater Quality in Zanjan Plain Using GIS. Third Conference on Applied Geology and Environment. Islamic Azad University, Eslamshahr, Iran. (In Persian)
- Adhikary, P.P., Chandrasekharan, H., Chakraborty, D., Kamble, K. (2010). Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India using geostatistical approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167(1-4): 599-615.
- Ahmed, S., Mazumder, Q., Jahan, C., Ahmed, M., Islam, S. (2002). Hydrochemistry and classification of groundwater, Rajshahi city Corporation area, Bangladesh. *Journal of the Geological Society of India*, 60(4): 411-418.
- Alizadeh, A. (2013). Soil-Water-Plant relationship. Emam Reza University Press, Mashhad.
- Alizadeh, A. (2015). Design of Irrigation Systems Volume I: Design of Surface Irrigation Systems. Emam Reza University Press, Mashhad
- Alizadeh, A. (2015). Principles of Applied Hydrology. Emam Reza University Press, Mashhad.
- Anku, Y.S., Banoeng-Yakubo, B., Asiedu, D.K., Yidana, S.M. (2009). Water quality analysis of groundwater in crystalline basement rocks, Northern Ghana. *Environmental Geology*, 58(5): 989-997.
- Asghari Moghaddam, A. (1991). The hydrology of Tabriz area, Iran. Ph.D Thesis. University College London, London.
- Bidast, S., Fakheri fard, A., Forghani, A. and Shahabi, M. (2015). Analyze and Interpretation of Spatial and Temporal Variations of Some Groundwater Qualitative Variables (Case Study: Tabriz Plain Aquifer). *Water and Soil Science*, 25(3), 297-320. [In Persian]
- Delgado, C., Pacheco, J., Cabrera, A., Batllori, E., Orellana, R., Bautista, F. (2010). Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: The case of Yucatan, Mexico. *Agricultural Water Management*, 97(10): 1423-1433.
- Gorgij, A.D. (2015). Hydrogeology of Azarshahr aquifer and its quantitative modeling using hybrid models and system dynamics. PhD thesis, Tabriz University. [In Persian]
- Habibi, V., Ahmadi, A., fattahi, M. (2009). Modeling Spatial Variability of Ground Water Chemical Properties Using Geostatistical Methods. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 3(7): 23-34.
- Hasanipak, A.A. (2007). Grosseteste's University of Tehran Press, Tehran.

Hydrological Drought on Groundwater Quantity and Quality (Case Study: Marand Plain). *Journal of Watershed Management Research*, 7(14): 177-187.

Obiefuna, G., Sheriff, A. (2011). Assessment of shallow ground water quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for irrigation and domestic purposes. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3(2): 131-141.

Pirzadeh, B., Asvar, T. (2020). Determining Spatial and Temporal Variations of Groundwater Quality Parameters Using GIS and Interpolation Methods (Case Study: Sirjan Plain). *Irrigation and Water Engineering*, 11(2), 266-275. [In Persian]

Reeve, R.C., Bower, C.A., Brooks, R.H., Gschwend, F.B. (1954). A comparison of the effects of exchangeable sodium and potassium upon the physical condition of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 18 (2): 130.

Robinson, T., Metternicht, G. (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50: 97-108.

Sadeghi Agdam, F., Mogaddam, A.A., Najib, M. (2012). Study on trend and controlling factors of salinity in the alluvial aquifer of Azarshahr Plain. The Third Comprehensive Water Resources Management Conference. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Saeedi Razavi, B. (2020). Assessment of Groundwater Vulnerability of Golpayegan Plain Using DRASTIC Method Optimization. *Hydrogeology*, 5(2), 61-74. [In Persian]

Shabani, M. (2008). Determination of the most suitable geostatistical method for mapping of groundwater PH and TDS changes (Case study: Arsanjan plain). *Water Resources Engineering Research*, 1(1): 47-58.

Taghizadeh-Mehrjardi, R., Jahromi, M., Heidari, A. (2008). Spatial Distribution of Groundwater Quality with Geostatistics (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). *World Applied Sciences Journal*, 4: 9-17.

Watkins, C., Brown, J., Dromgoole, F. (1988). Salt-tolerance of the coastal plant, *Tetragonia trigyna* Banks et Sol. ex Hook. (climbing New Zealand spinach). *New Zealand Journal of Botany*, 26: 153-162.

Wilcox, L. (1955). Classification and use of irrigation waters. US DA, Washington.

Zabihi, A., Soleimani, K., Sabani, M., Abravsh, S. (2011). An Investigation of Annual Rainfall Spatial Distribution Using Geostatistical Methods (A Case Study: Qom Province). *Natural Geography Research*, 78: 101-112.

Zeinali, B., Faridpour, M., Saraskanroud, S. (2016). Investigate the Effect Meteorological and