

مدل سازی زمین آماری تغییرات مکانی کیفیت آب های زیرزمینی با استفاده از GIS و مدل ویلکوکس (مطالعه موردی بخش های مرکزی و کنارک، چابهار)

سعید محمودی زاده و علی اسماعیلی

دوره ۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، صفحات ۱۱۸-۱۰۳

Vol. 7(1), Spring 2021, 103-118

DOI: 10.22034/jewe.2020.255847.1460

Geostatistical Modelling of Spatial Changes in Groundwater Quality Using GIS and Wilcox Model (Case Study: Central and Kenark Districts, Chabahar)

Mahmodizadeh, S. and Esmaily, A.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

کریمی ش.، اگدرنژاد ا. و نخجوانی مقدم م. (۱۴۰۰). مدل سازی زمین آماری تغییرات مکانی کیفیت آب های زیرزمینی با استفاده از GIS و مدل ویلکوکس (مطالعه موردی بخش های مرکزی و کنارک، چابهار). محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۱، صفحات: ۱۱۸-۱۰۳.

Citing this paper: Mahmodizadeh S. and Esmaily A. (2021). Geostatistical modelling of spatial changes in groundwater quality using GIS and Wilcox model (Case study: Central and Kenark Districts, Chabahar). Environ. Water Eng., 7(1), 103-118. DOI: 10.22034/jewe.2020.255847.1460.

مقاله پژوهشی

مدل سازی زمین آماری تغییرات مکانی کیفیت آب های زیرزمینی با استفاده از GIS و مدل ویلکوکس (مطالعه موردی: بخش های مرکزی و کنارک، چابهار)

سعید محمودی زاده^{۱*} و علی اسماعیلی^۲

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی فناوری پیشرفته، کرمان، ایران
^۲استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

نویسنده مسئول: s.mahmodizadeh@student.kgut.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۸/۱۴]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۹/۰۷]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۹/۱۰]

چکیده

مصرف آب با کیفیت نامطلوب برای امور کشاورزی، تأثیر منفی بر روی رشد گیاهان و خصوصیات فیزیکی خاک می گذارد. هدف از پژوهش پیش رو تعیین تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی جهت کشاورزی در بخش های مرکزی و کنارک شهرستان چابهار بود. بدین منظور بعد از جمع آوری آمار دو پارامتر EC و SAR از ۴۰ حلقه چاه موجود در منطقه مطالعاتی در سال ۱۳۹۸، با استفاده از روش های معکوس فاصله، چندجمله ای عام، چندجمله ای محلی، توابع پایه شعاعی و کریجینگ با سمی واریوگرام های دایره ای، کروی، نمایی، گوسین و معادلات درجه دو، مناسب ترین روش جهت درون یابی با توجه به معیارهای ارزیابی مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R^2) انتخاب گردید. که روش درون یابی کریجینگ با مدل واریوگرامی گوسین با $RMSE=13/85$ و $R^2=0/77$ به عنوان مناسب ترین روش جهت درون یابی پارامتر SAR و روش درون یابی کریجینگ با مدل واریوگرامی کروی با $RMSE=797/89$ و $R^2=0/68$ به عنوان مناسب ترین روش جهت درون یابی پارامتر EC در منطقه مورد مطالعه تعیین شدند. در ادامه نقشه کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و آبیاری بر مبنای روش ویلکوکس با استفاده از نقشه تغییرات مکانی دو پارامتر EC و SAR تهیه شد. نتایج نشان داد که حدود ۱۰٪ از آب های زیرزمینی به عنوان کیفیت خوب و ۵۱٪ به عنوان کیفیت متوسط و ۱۶٪ به عنوان کیفیت نامناسب و حدود ۲۳٪ به عنوان آب غیرقابل استفاده را در محدوده مطالعاتی تشکیل دادند.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی؛ کریجینگ؛ کشاورزی؛ میان یابی.



۱- مقدمه

بخش بزرگی از کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در ناحیه آب و هوایی خشک و نیمه خشک از میانگین بارش سالیانه خیلی پایینی برخوردار است. بنابراین به دلیل عدم دسترسی به آب‌های سطحی در بخش‌های زیادی از کشورمان آب‌های زیرزمینی در تأمین آب مصرفی در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت نقش اساسی دارد. شناخت کیفیت آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و آسیب‌پذیرترین منابع تأمین آب در دهه‌های اخیر، یک امر ضروری است (Alizadeh 2015). همچنین با ازدیاد روزافزون جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضای استفاده از آب برای مقاصد مختلفی چون کشاورزی، شرب و صنعت لزوم توسعه سرمایه‌گذاری در بخش آب امری اجتناب‌ناپذیر است (Eskandari 2012; Damaneh et al. 2018; Azare et al. 2012). در بخش کشاورزی آب به‌عنوان یکی از تأثیرگذارترین منابع جهت رشد گیاه است کیفیت مناسب آب زیرزمینی جهت امور کشاورزی مشروط بر اثرات آن بر ترکیبات معدنی خاک و گیاه است.

از لحاظ فیزیکی، نمک می‌تواند با محدود کردن جذب آب از طریق تغییر فرایند اسمزی، رشد گیاه را محدود و از لحاظ شیمیایی، با تأثیر مواد سمی در فرایندهای متابولیک گیاه بسیار مضر باشد. هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم دو عامل بسیار مهم در طبقه‌بندی آب آبیاری می‌باشد (Richards 1954; Panaskar et al. 2016). سامانه اطلاعات مکانی (GPS)^۱ علمی بروز است که نتیجه مناسب و قابل قبولی را در زمینه‌های مختلف از خود ارائه داده است. فن‌های زمین‌آماری یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های این سامانه می‌باشد. زمین‌آمار با استفاده از روش‌های درون‌یابی، سطوحی از داده‌ها را ارائه می‌نماید که دارای همبستگی مکانی هستند. نقشه‌های حاصل از فن‌های زمین‌آمار به‌عنوان ابزارهای گزینش اولیه برای اعمال سیاست‌های تصمیم‌گیری در استراتژی‌های مدیریت آب زیرزمینی در مقیاس محلی و منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد

^۱Geospatial Information Systems

(Samson et al. 2010; Hassani PaK 2013). Fetouani et al. (2008) در مطالعه کیفیت آب زیرزمینی دشت‌های کشاورزی مراکش از نظر اندازه نترات آمونیوم و آلودگی‌های باکترولوژیکی از روش کریجینگ معمولی برای مطالعه و پهنه‌بندی نقشه کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده تغییرات معنی‌دار در مقایسه با مطالعات قبلی بود. Khazaei et al. (2011) پهنه‌بندی آلودگی نترات در آب‌های زیرزمینی استان فارس با استفاده از روش زمین‌آمار را در منطقه سیاخ دارنگون با استفاده از سه روش کریجینگ، معکوس فاصله و کوکریجینگ انجام داده و از کریجینگ شاخص برای تهیه نقشه احتمال آلودگی نترات استفاده نمودند. Marofi et al. (2012) روش‌های زمین‌آمار را جهت تخمین هدایت الکتریکی و pH زه‌آب‌های آبراه‌ای دشت بهار، همدان به‌کار بردند که روش‌های چندجمله‌ای موضعی و فاصله معکوس به ترتیب بهترین الگو برای تخمین هدایت الکتریکی و pH زه‌آب‌ها و روش توابع پایه شعاعی به‌عنوان نامناسب‌ترین الگو در تخمین هدایت الکتریکی و pH تعیین گردیدند. در مطالعه Gong et al. (2014) روش‌های رایج وزن دهی عکس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ در درون‌یابی مقادیر آرسنیک آبخوان منطقه تگزاس مقایسه شدند. آن‌ها بر اساس مقادیر آرسنیک مشاهده‌شده در بیش از ۸۰۰۰ نمونه از چاه‌های تگزاس بیان کردند که روش IDW^۲ در درون‌یابی تغییرات مکانی آرسنیک آب زیرزمینی بهترین نتایج را ارائه داده و دقت روش کریجینگ بیش از کوکریجینگ است. در پژوهش Abbasnia et al. (2019) کیفیت آب زیرزمینی استان سیستان و بلوچستان به‌منظور آشامیدن و کشاورزی مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش با استفاده از مدل‌های کیفیت آب زیرزمینی و سیستم اطلاعات مکانی، منطقه مطالعاتی از نظر کیفیت آب به طبقات خوب، ضعیف، بسیار ضعیف و نامناسب جهت آشامیدن و طبقات عالی و



مختلف درون‌یابی قطعی^۳ و زمین‌آمار^۴ جهت پهنه‌بندی پارامترهای شیمیایی SAR و EC و تعیین مناسب‌ترین روش با توجه به معیارهای ارزیابی،^(۲) پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی از جنبه کشاورزی با استفاده از روش ویل کاکس.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی

شهرستان چابهار در منتهی‌الیه جنوب شرقی ایران در کنار آب‌های دریای عمان، در $37^{\circ} 60'$ طول شرقی و $17^{\circ} 25'$ عرض شمالی واقع شده است. از شمال به شهرستان‌های ایرانشهر و نیک شهر از جنوب به دریای عمان از شرق به پاکستان و از بخش مرکزی و کنارک شهرستان چابهار غرب به استان‌های کرمان و هرمزگان محدود می‌شود. در این پژوهش بخش مرکزی و کنارک شهرستان چابهار به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب گردید (شکل ۱-الف). بالاترین و کمترین درجه حرارت هوا در آن مناطق به ترتیب 50°C و 7°C است و میانگین سالانه آن 25°C است. میزان بارندگی، 70 تا 130 mm و میزان تبخیر 400 mm در سال (چهار برابر بیش‌تر از میانگین ایران) است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

با توجه به اهداف پژوهش به‌منظور ارزیابی و بررسی پارامترهای شیمیایی هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی، از آمار 40 حلقه چاه موجود در منطقه (شکل ۱-الف) که در سال 1398 جمع‌آوری شده است، استفاده گردید. همچنین جهت مقایسه نقشه کیفیت آب زیرزمین تولیدشده به روش ویلکوکس با نقشه اراضی کشاورزی، از نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه استفاده گردید (شکل ۱-ب).

خوب جهت کشاورزی تقسیم‌بندی شد. Honarbakhsh et al. (2019) به‌منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت مرودشت یا استفاده از مدل‌های شولر و ویلکوکس از میانگین 11 پارامتر کیفیت آب زیرزمینی جمع‌آوری شد از 49 حلقه چاه در بازه زمانی $2015-2010$ استفاده کردند. نقشه‌ها خروجی نشان داد، به‌طور کلی آب‌های زیرزمینی در شمال محدوده مطالعاتی کیفیت بهتری نسبت به جنوب آن دارند، جایی که وجود سازه‌های دولومیت و گچی منجر به کاهش کیفیت آب می‌شود. (Feizi et al. (2019) با استفاده از روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آمار به بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت کاشان به‌منظور کشاورزی و آشامیدن پرداختند. در این پژوهش از نمودار ویلکوکس و استانداردهای WHO با به‌کارگیری پنج پارامتر هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، سختی کل، مواد جامد محلول و pH استفاده شد. نتایج نشان داد که نواحی واقع در مرکز، جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه از کیفیت مطلوب برای اهداف آبیاری و آشامیدن برخوردار است. (Almodaresi et al. (2019) به تحلیل کیفی شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی بر اساس نمودارهای شولر و ویل کاکس پرداختند. با توجه به مطالعه آن‌ها، علت پایین بودن کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه میزان بالای پارامترهای سولفات، سختی کل و کل مواد جامد محلول در آب است که از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده کیفیت آب برای آشامیدن است؛ و بررسی نمونه‌ها به‌منظور ارزیابی کیفیت آب جهت مصارف کشاورزی به‌وضوح نشان داد که پارامتر^۱ EC مقادیر بالاتری نسبت به پارامتر^۲ SAR را در محدوده مطالعاتی به خود اختصاص داده است.

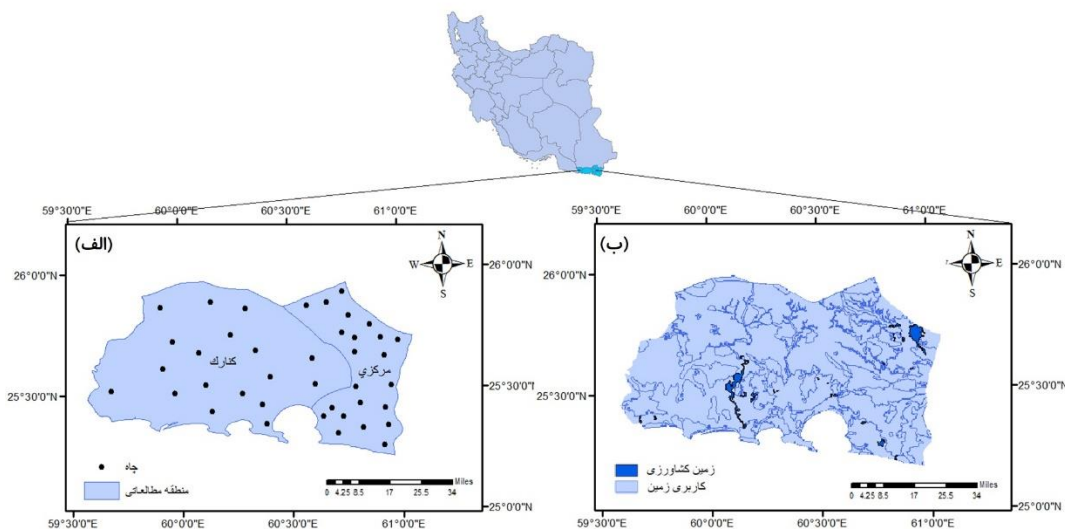
با توجه به اهمیت کیفیت آب زیرزمینی پژوهش پیش رو جهت ارائه یک نقشه کلی از کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف آبیاری و کشاورزی در منطقه مورد نظر، اهداف زیر را دنبال نمود: (۱) مقایسه روش‌های

³Deterministic

⁴Geostatistical

¹Electrical Conductivity

²Sodium Adsorption Ratio



شکل ۱- الف) موقعیت منطقه مطالعاتی و ب) نقشه کاربری اراضی

Fig. 1 a) Location of the study area and b) Map of land uses

۳-۲- روش‌های درون‌یابی قطعی

۳-۲-۱- روش معکوس فاصله

به‌طور کلی در روش معکوس فاصله (IDW) فرض بر این است که نمونه‌هایی که به هم نزدیک‌تر هستند نسبت به نمونه‌های دورتر بیشتر به هم شبیه هستند. در این روش برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر گرفته می‌شوند. وزن نقاطی که به موقعیت نقطه مجهول نزدیک‌تر هستند نسبت به نقاط دورتر، بزرگ‌تر است. از این رو به این روش وزن دهی معکوس فاصله گفته می‌شود. مقدار وزن با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد (Taghizadeh et al. 2009; Delbari 2011).

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

که، λ_i پهنه ایستگاه i ام، D_i فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول، a توان وزن‌دهی و n تعداد نقاط مجاور است.

۲-۳-۲- روش توابع پایه شعاعی

در روش توابع پایه شعاعی (RBF^1)، یک تابع عمومی کار گرفته می‌شود که وابسته به فاصله بین نقاط درون‌یابی شده و نمونه‌برداری شده است. این تابع به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$Z(x) = \sum_{i=1}^m a_i f_i(x) + \sum_{j=1}^n b_j \Psi(d_j) \quad (2)$$

که، $\varphi(d)$ تابع پایه شعاعی، d_j فاصله بین نقاط نمونه‌برداری شده و پیش‌بینی شده نقطه x را نشان می‌دهد، $f(x)$ فروند تابع و عضو اساسی برای چند جمله‌هایی با درجه کم‌تر از m است. روش تابع شعاعی خود برحسب نوع تابع دارای ۵ نوع، اسپیلاین کاملاً منظم (CRS^2)، اسپیلاین کششی (SWT^3)، چند ربعی (MQ^4)، چند ربعی معکوس (IMQ^5)، و اسپیلاین صفحه‌ای نازک (TPS^6) است. RBF پیش‌بینی کننده‌های دقیقی هستند و با پیش‌بینی کننده‌های چندجمله‌ای عام و محلی که هر دو پیش‌بینی کننده‌های نادقیقی هستند و در

³Spline With Tension

⁴Multi Quadric

⁵Inverse Multi Quadric

⁶Thin Plate Spline

¹ Radial Basis Function

²Completely Regularized Spline

(Webster and Oliver 2007; Nas 2009). نیم تغییرنا با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} r \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

که، $\gamma(h)$ مقدار نیم تغییر نما برای جفت نقاطی است که در فاصله h از هم قرار دارند، $Z(x_i + h)$ مقدار مشاهده شده متغیر موردنظر که به فاصله h از $Z(x_i)$ قرار دارد، $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های مشاهده شده متغیر موردنظر، $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند، می‌باشد. معمولاً هر چه h افزایش یابد، تعداد جفت‌ها کم می‌شود. با افزایش h مقدار نیم تغییرنا تا فاصله معینی اضافه می‌شود و پس از آن به حد ثابتی می‌رسد که حد آستانه نامیده می‌شود. به فاصله بین نمونه‌ها که از آن به بعد مقادیر متغیر در نقاط مجاور تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند و با افزایش بیش‌تر فاصله مقدار نیم تغییرنا تفاوت معنی‌داری نمی‌کند، دامنه یا شعاع تأثیر گفته می‌شود. مقدار نیم تغییرنا به ازاء $h=0$ اثر قطعه‌ای نام دارد. فرمول عمومی تخمین مقادیر مجهول در کلیه روش‌های میانبایی زمین‌آماری از جمله کریجینگ به شرح رابطه (۴) است.

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (4)$$

که، $Z(x_0)$ مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه x_0 ، $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر در مکان x_i ، λ_i وزن داده شده به مشاهده λ_i می‌باشد.

۲-۵- روش و معیارهای ارزیابی

در این پژوهش، جهت ارزیابی روش‌های میانبایی مورد استفاده از روش اعتبار سنجی متقابل استفاده شده است (Momeni et al. 2015). اساس این روش این‌گونه بوده که تعدادی سطح با توجه به تعداد نقاط معلوم ساخته می‌شود و در هر تکرار یکی از نقاط را نادیده گرفته و مقدار آن را با استفاده از نقاط مجاور برآورد می‌کند. ارزیابی روش‌های

آن‌ها سطح مستلزم آن نیست که از میان نقاط اندازه‌گیری شده بگذرد، متفاوت‌اند (Aguiler et al. 2005).

۳-۲- روش چندجمله‌ای عام و چندجمله‌ای محلی

در میانبایی به روش چندجمله‌ای عام (LPI^1) یک چندجمله‌ای را برای تمام سطح، برازش می‌کند. ولی در میانبایی به روش چندجمله‌ای محلی، چندین چندجمله‌ای معین در درون هر همسایگی همپوشانی شده برازش می‌شوند. یک چندجمله‌ای عام مرتبه اول، تنها یک صفحه را در میان داده‌ها برازش می‌کند، چندجمله‌ای عام مرتبه دوم سطحی را با یک خمش با کمان در آن برازش می‌کند و به ما این اجازه را می‌دهد تا این سطوح، نمایش‌دهنده دره‌ها و گودی‌ها باشند، چندجمله‌ای عام مرتبه سوم اجازه وجود دو خمش یا کمان را به ما می‌دهد. در روش چندجمله‌ای محلی (GPI^2)، مرتبه مشخص شده‌ای از چندجمله‌ای با استفاده از همه نقاط موجود در درون همسایگی تعریف شده سطحی را برای همسایگی فوق، برازش می‌دهد. همسایگی‌ها همپوشانی دارند و مقدار استفاده شده برای هر پیش‌بینی، مقدار چندجمله‌ای برازش شده در مرکز همسایگی است (Fan and Gibels 1996).

۲-۴- روش درون‌یابی زمین‌آمار

۲-۴-۱- مدل کریجینگ معمولی

این روش یکی از روش‌های تخمین زمین‌آماری است که با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم تغییرنا (سمی واریوگرام)، مقادیر مجهول را برآورد می‌کند. برای درک بهتر ساختار فضایی نمونه‌های برداشت شده و انتخاب بهترین روش در درون‌یابی، خودهمبستگی فضایی بین نمونه‌ها مطالعه می‌شود. این بررسی را می‌توان با ترسیم فاصله بین نمونه‌ها و واریانس ارزش نمونه‌ها یا به عبارت دیگر سمی واریوگرام‌ها به دست آورد. نیم تغییرنا واریانس وابسته به فاصله است که با نماد γ نشان داده می‌شود. اگر واریانس بین نقاطی به فاصله h کوچک باشد، نشانه وابستگی بیش‌تر بین نقاط است

²Global Polynomial Interpolation

¹Local Polynomial Interpolation

جذب سدیم (SAR) با توجه به میزان تأثیری که بر محصولات و خاک کشاورزی دارند به چهار گروه تقسیم (جدول ۱) و ۱۶ طبقه کیفیت آب را از تلفیق این چهار گروه ایجاد کرده (جدول ۲) که تناسب آب را جهت مصارف کشاورزی تعیین می‌کنند. در ادامه با در نظر گرفتن طبقه‌هایی با کیفیت مشابه به‌عنوان یک طبقه می‌توان نقشه‌ای با چهار طبقه، کیفیت خوب، کیفیت متوسط، کیفیت نامناسب و غیرقابل استفاده را تهیه کرد. در جدول (۲) طبقه C1S1 به‌عنوان طبقه کیفیت خیلی خوب، طبقه‌های C1S2، C2S1، C2S2، C2S3، C3S1، C3S3، C3S2، C3S4، C4S1، C4S2، C4S3 به‌عنوان طبقه کیفیت متوسط و طبقه‌های C1S4، C2S4، C3S4، C4S4، C4S3 به‌عنوان طبقه کیفیت نامناسب دسته‌بندی می‌شوند (Pourkhabaz et al. 2017; Jafari and Bakhshandehmehr 2014; Sadeghi Aghdam 2019). در نهایت نقشه کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی با نقشه اراضی کشاورزی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱- مبنای طبقه‌بندی کیفیت آب به روش ویلکوکس

Table 1 The basis of water quality classification by WilCoX method

SAR		EC	
Range	Class	Range	Class
0-10	S1	250-750	C1
10-18	S2	750-2250	C2
18-26	S3	2250-4000	C3
26-32	S4	4000-8000	C4

جدول ۲- طبقه‌های کیفیت آب به روش ویلکوکس

Table 2 Water quality classes by WilCoX method

SAR	EC			
	C1	C2	C3	C4
S1	C1S1 ^a	C2S1 ^b	C3S1 ^c	C4S1 ^d
S2	C1S2 ^b	C2S2 ^b	C3S2 ^c	C4S2 ^d
S3	C1S3 ^c	C2S3 ^c	C3S3 ^c	C4S3 ^d
S4	C1S4 ^d	C2S4 ^d	C3S4 ^d	C4S4 ^d

^aکیفیت خیلی خوب؛ ^bکیفیت خوب؛ ^cکیفیت متوسط؛ ^dکیفیت نامناسب

میان‌یابی به‌کاررفته در این پژوهش با استفاده از معیارهای ارزیابی مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R^2) بین نقاط تخمینی و واقعی انجام می‌شود (رابطه‌های ۵ و ۶).

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

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Z'_i - Z^-)(Z_i - Z^-)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Z'_i - Z^-)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z^-)^2}} \quad (6)$$

که، $Z'(x_i)$ مقدار تخمینی متغیر موردنظر در نقطه x_i و $Z(x_i)$ مقدار واقعی متغیر موردنظر در نقطه x_i می‌باشد.

۶-۲- روش پژوهش

جهت اعمال روش‌های زمین‌آماری، در گام اول شاخص‌های آماری داده‌ها از قبیل حداکثر، حداقل، میانگین، میانه، چولگی، کشیدگی، انحراف معیار و ضریب تغییرات، محاسبه و در ادامه توزیع داده‌های موجود از نظر نرمال بودن، با توجه به این شاخص‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در صورت عدم تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال، نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از روش لگاریتمی انجام خواهد گرفت. در مرحله بعد به پهنه‌بندی دو پارامتر شیمیایی EC و SAR با استفاده از مجموع روش‌های درون‌یابی قطعی (LPI، GPI، RBF) و IDW) و روش درون‌یابی زمین‌آمار (کریجینگ معمولی) با سمی واریوگرام‌های دایره‌ای، کروی، نمایی، گوسین و معادلات درجه دو پرداخته شد و بهترین روش جهت پهنه‌بندی این دو پارامتر با توجه به کم‌ترین خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE) و بیش‌ترین ضریب همبستگی (R^2) بین داده‌های موجود و داده‌های تخمین زده‌شده انتخاب شد. پهنه‌بندی‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام شد.

در ادامه به‌منظور تعیین طبقه کیفیت آب زیرزمینی جهت کشاورزی از دیاگرام و طبقه‌بندی ویلکوکس استفاده شد. در این دیاگرام دو شاخص هدایت الکتریکی (EC) و نسبت



۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- تحلیل داده‌ها

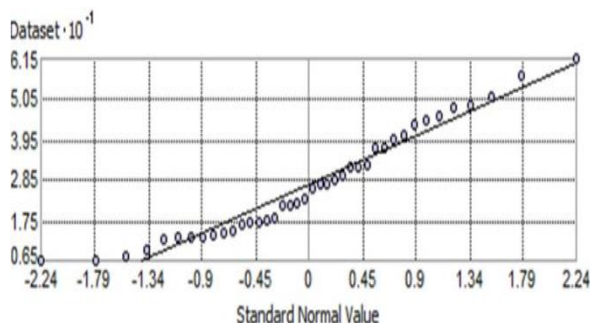
آمار توصیفی دو پارامتر شیمیایی EC و SAR به ترتیب در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است. یکی از روش‌های ارزیابی نرمال بودن داده‌ها استفاده از ضریب چولگی باشد، لذا هنگامی که این ضریب کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها نیازی به تبدیل نخواهند داشت ولی اگر در بازه بین ۰/۵ تا ۱ و بیشتر از ۱ باشد، آنگاه باید جهت نرمال‌سازی داده‌ها اقدام کرد (Hassany Pak 2013; Mohammadyari et al. 2016). با توجه به شکل (۳) و مقادیر ارائه شده در جدول (۳)، نزدیکی بین میانگین و میانه و همچنین نزدیک بودن مقدار چولگی به عدد صفر و کشیدگی به عدد ۳ نشان‌دهنده توزیع فراوانی نرمال EC می‌باشد. از طرف دیگر نزدیکی مقادیر این پارامتر

به خط رگرسیون (شکل ۴) نشان‌دهنده پیروی کردن از توزیع نرمال می‌باشد؛ اما آمار توصیفی پارامتر SAR (جدول ۴) نشان‌دهنده توزیع فراوانی غیر نرمال این پارامتر است و از آنجایی که شرط اعمال روش‌های میانبایی نرمال بودن داده‌ها می‌باشد، از روش لگاریتمی برای نزدیک کردن توزیع داده‌ها به حالت نرمال استفاده شد. بعد از نرمال‌سازی داده‌های SAR، میانگین و میانه به ترتیب ارقام ۳/۱۴۳ و ۳/۲۱۱، چولگی ۰/۲۲۳- و کشیدگی ۲/۲۶۱ را به خود اختصاص دادند که نشان‌دهنده نزدیکی داده‌ها به توزیع نرمال است. در صورتی که داده‌ها توزیع نرمال داشته باشند، نمودار توزیع فراوانی آن‌ها حالت زنگوله‌ای شکل خواهد داشت، در این حالت ۵۰٪ داده‌ها پایین‌تر از میانه و ۵۰٪ داده‌ها بالاتر از میانه قرار می‌گیرند.

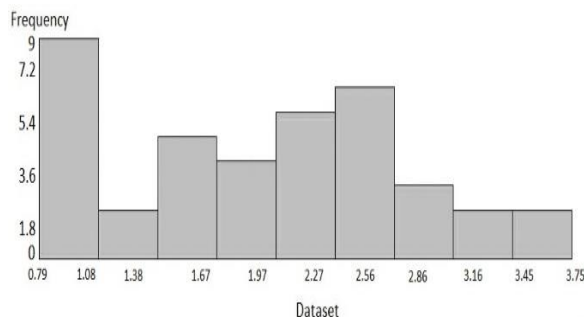
جدول ۳- آمار توصیفی پارامتر شیمیایی EC

Table 3 Descriptive statistics of EC chemical parameters

Interquartile Range (Q3)	Interquartile Range (Q1)	Median	Kurtosis	Skewness	Standard Deviation	Average	Maximum	Minimum	Parameter
2675	1315.5	2061.5	2.0021	0.0572	827.1	2004.2	3750	785	EC



شکل ۴- خط رگرسیون برای پارامتر EC
Fig. 4 Regression line for EC parameter



شکل ۳- هیستوگرام پارامتر EC
Fig. 3 EC histogram

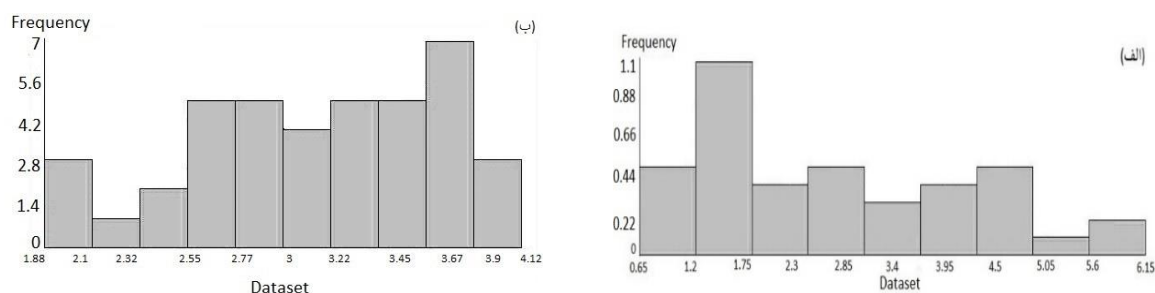
جدول ۴- آمار توصیفی پارامتر شیمیایی نسبت جذب سدیم

Table 4 Descriptive statistics of SAR chemical parameters

Parameter	Min	Max	Mean	SD	Skewness	Kurtosis	Median	Interquartile Range (Q1)	Interquartile Range (Q3)
SAR (Before Normalization)	6.61	61.533	27.252	14.854	0.5308	2.036	24.846	14.174	36.631
SAR (After Normalization)	1.8763	4.1196	3.1433	0.6019	-0.223	2.2613	3.2113	2.6513	3.6536

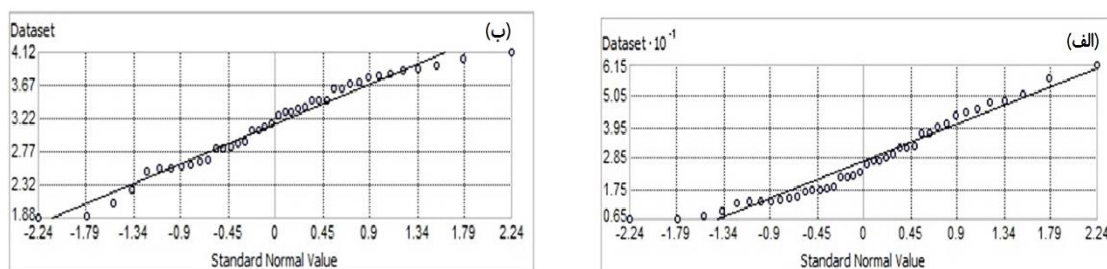
الگوی هیستوگرام حالت زنگوله‌ای شکل پیدا کرده است. از طرف دیگر مقایسه شکل‌های (۶ الف و ب) نشان‌دهنده نزدیکی داده‌ها SAR به خط رگرسیون بعد از نرمال‌سازی است.

شکل (۵ الف و ب) هیستوگرام پارامتر SAR قبل و بعد از نرمال‌سازی را نشان می‌دهد، مقایسه الگوی هیستوگرام قبل و بعد از نرمال‌سازی داده‌ها نشان می‌دهد که داده‌های پارامتر SAR بعد از نرمال‌سازی وضعیت بهتری به خود گرفته و



شکل ۵- هیستوگرام پارامتر SAR (الف) قبل از و (ب) بعد از نرمال‌سازی

Fig. 5 SAR parameter histogram of a) before and b) after normalization



شکل ۶- خط رگرسیون پارامتر SAR (الف) قبل از و (ب) بعد از نرمال‌سازی

Fig. 6 Regression line for SAR a) before and b) after normalization

مدل واریوگرامی گوسین با $RMSE=13/85$ و $R^2=0/77$ و روش درون‌یابی کریجینگ با مدل واریوگرامی کروی با $RMSE=797/89$ و $R^2=0/68$ به ترتیب به‌عنوان مناسب‌ترین روش‌ها جهت درون‌یابی پارامتر SAR و EC است. با توجه به ارقام جدول (۵) نامناسب‌ترین روش جهت پهنه‌بندی پارامتر SAR با داده‌های موجود، روش چندجمله‌ای عام (Global Polynomial) می‌باشد که دارای $RMSE=16/76$ و $R^2=0/59$ است و روش معکوس فاصله (IDW) با $RMSE=872/88$ و $R^2=0/49$ روشی نامناسب جهت پهنه‌بندی پارامتر EC با داده‌های موجود می‌باشد. چون کریجینگ یک روش زمین‌آماري است و مبتنی بر

۳-۲- تحلیل روش‌های درون‌یابی

پس از بررسی‌هایی که جهت نرمال بودن پارامترها صورت گرفت، عمل درون‌یابی پارامترهای EC و SAR با روش‌های معکوس فاصله، چندجمله‌ای جهانی، چندجمله‌ای محلی، تابع شعاعی و روش زمین‌آمار کریجینگ با مدل‌های واریوگرام دایره‌ای، کروی، نمایی، گوسین، معادلات درجه ۲ انجام گردید. در جدول (۵) نتایج ارزیابی دقت هر کدام از این روش‌های ذکر شده، ارائه شده است. در میان این روش‌ها، روشی به‌عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی هر پارامتر انتخاب می‌شود که دارای $RMSE$ کم‌تر و R^2 بیش‌تر باشد. در میان روش‌های ذکر شده، روش درون‌یابی کریجینگ با

تصادفی بودن متغیر مورد بررسی است، لذا روش های زمین-آماري همچون کریجینگ معمولاً در شرایطی که داده ها از توزیع نرمال تبعیت کنند، با کمترین خطا مقدار یا مقادیر مجهول را درون یابی می کنند. نتایج این پژوهش روش کریجینگ را به عنوان بهترین روش جهت میان یابی دو پارامتر SAR و EC معرفی می کند، بررسی کارهای مشابه در زمینه میان یابی و بررسی کیفیت آب های زیرزمینی، تأیید کننده نتایج این پژوهش می باشند (Zhao et al. 2016; Zhang et al. 2015).

(Jafari et al. 2015). در پژوهش Jafari et al به منظور بررسی تغییرات مکانی شوری و قلیائی آب های زیرزمینی استان اصفهان با استفاده از روش های زمین آمار، علیرغم کمتر بودن میزان RMSE و بالا بودن ضریب همبستگی روش کریجینگ نسبت به روش های IDW و RBF نتایج بهتری ارائه کرد و به عنوان بهترین روش انتخاب گردید (Jafari et al. 2014). همچنین (Balandeh and Ahmadi 2013)

جدول ۵- ارزیابی دقت روش های میان یابی برای پارامترهای SAR و EC

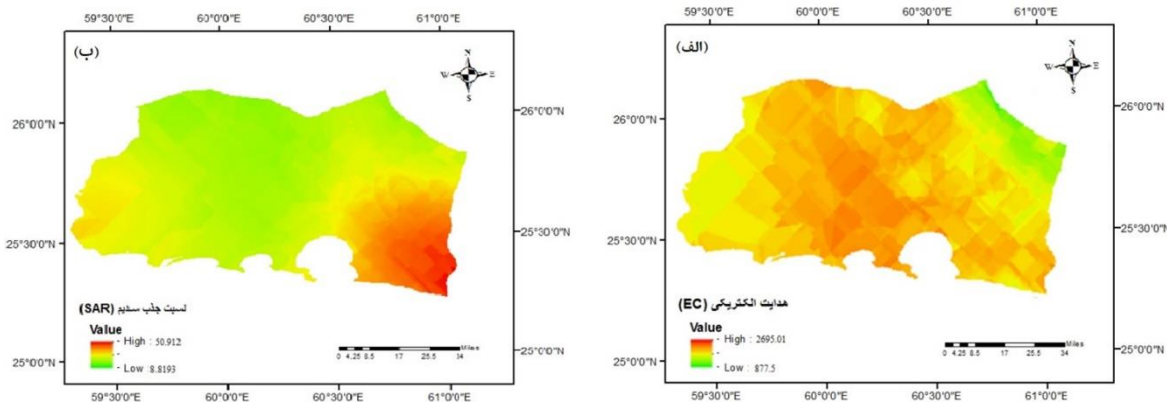
Table 5 Evaluation of the accuracy of interpolation methods for parameters EC and SAR

Parameter	Interpolation	Semivariogram	CO/(C+CO)	Mean	RMSE	R ²	
SAR	Ordinary Kriging	Circular	0.425	0.033759	13.8851	0.75	
		Spherical	0.53	0.01079	13.895	0.76	
	IDW	Exponential	0.439	0.0433	13.888	0.73	
		Gaussian	0.443	0.01008	13.85	0.77	
		Quadratic equation	0.492	0.0538	13.908	0.7	
	Global Polynomial			0.10108	14.6333	0.64	
	Local Polynomial			1.348	16.7669	0.59	
	Radial Basis Function			0.135	14.08771	0.67	
	EC	Ordinary Kriging	Circular	0.703	46.74	806.5096	0.61
			Spherical	0.692	63.33	797.89	0.68
		IDW	Exponential	0.656	65.84	805.56	0.61
Gaussian			0.58	60.84461	799.0691	0.67	
Quadratic equation			0.624	65.809	806.5096	0.61	
Global Polynomial				-7.563725	872.8895	0.49	
Local Polynomial				11.98076	851.8165	0.52	
Radial Basis Function				-27.18	841.87	0.58	
			5.17	870.65	0.5		

آب زیرزمینی نشان داد که روش های کریجینگ بر سایر روش های زمین آمار ارجحیت دارند. مطالعات دیگری که در این زمینه صورت گرفته است، نتایج مختلفی ارائه کرده اند، ولی در کلیه این پژوهش ها بهترین روش میان یابی کریجینگ معرفی شده است و تنها تفاوت موجود در ارتباط با مدل های واریوگرامی برآزش یافته روی داده ها می باشد.

به منظور بررسی تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی و پراکندگی شوری آن از روش کریجینگ استفاده کردند. نتایج حاصله از مطالعه آن ها نشان داد که روش میان یابی کریجینگ همبستگی مناسبی بین داده های موجود و داده های تخمین زده شده دارد نتایج حاصل از پژوهش Momeni et al. (2015) به منظور تعیین تغییرات مکانی پارامترهای کیفی

می‌دهند. نقشه حاصل از پهنه‌بندی پارامتر EC با استفاده از روش کریجینگ با مدل واریوگرامی کروی در شکل ۷ (الف) و نقشه حاصل از میانبندی پارامتر SAR با استفاده از روش کریجینگ با مدل واریوگرامی گوسین در شکل ۷ (ب) نمایش داده شده است. نقشه‌های موجود تغییرات مکانی دو پارامتر را در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهند، با توجه به این نقشه‌ها میزان EC آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی بین 8.8193 تا 50.912 $\mu\text{mhos/cm}$ در شمال شرقی تا 26.000 در بخش مرکزی متغیر است؛ و پارامتر SAR بین 8.1193 در بخش‌های شمالی و مرکزی و 50.912 در جنوب شرقی متغیر است. به‌طور کلی بیش‌ترین مقادیر EC در مرکزیت بخش کنارک و بیش‌ترین مقادیر SAR در جنوب شرقی بخش مرکزی چابهار واقع شده است.



شکل ۷ الف) میانبندی متغیر EC با استفاده از روش کریجینگ با مدل واریوگرام کروی. ب) میانبندی متغیر SAR با استفاده از روش کریجینگ با مدل واریوگرام گوسین

Fig. 7 a) EC variable interpolation using kriging method and spherical semivariogram. b) SAR variable interpolation using kriging method and Gaussian semivariogram

مقادیر پارامتر SAR در پنج بازه جای خواهند گرفت که طبقه S5 مقادیر بیش‌تر از ۳۲ را پوشش می‌دهد که این طبقه مربوط به آب‌های غیرقابل استفاده جهت امور کشاورزی است. در نهایت نقشه طبقه‌های مختلف کیفیت آب زیرزمین از جنبه کشاورزی (بر اساس جدول ۲)، از تلفیق دو نقشه طبقه‌بندی شده SAR و EC تهیه شد (شکل ۹-الف).

نقشه طبقه‌های کیفیت آب زیرزمینی شامل ۹ طبقه که ۲ طبقه کیفیت خوب (S1C2, S2C2)، ۴ طبقه

تفاوت در این مدل‌ها به تعداد داده‌ها و پراکنش مکانی آن‌ها بسیار وابسته است (Chung et al. 2014; Karami et al. 2018; Taheri et al. 2019).

برای سنجش وضعیت ساختار مکانی نمونه‌های اندازه‌گیری شده در روش میانبندی کریجینگ، از نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه تأثیر که با C0 و (C+C0) نشان داده می‌شود، استفاده می‌شود. مقادیر پایین این مقدار نشان‌دهنده بالا بودن ساختار مکانی نسبت به ساختار تصادفی است. اگر این نسبت کمتر از ۲۵٪ باشد وابستگی مکانی قوی و اگر بین ۲۵ تا ۷۵٪ باشد، وابستگی مکانی متوسط و اگر بالاتر از ۷۵٪ باشد، وابستگی مکانی ضعیف را نشان می‌دهد (Robinson and Metternicht 2006). مقادیر حاصل از این نسبت در جدول (۵) نشان‌دهنده وابستگی مکانی متوسط متغیرها را نشان

۳-۳- نتایج تحلیل مدل ویلکوکس

نمودار ویلکوکس بر اساس دو فاکتور SAR و EC نمونه‌ها را در ۱۶ کلاس مختلف طبقه‌بندی می‌کند (جدول ۲) که طبقات S1C1 و S4C4 با حداقل و حداکثر شوری و قلیایی به ترتیب بهترین و بدترین قلیایی هستند. با توجه به بازه‌های تعیین شده توسط روش ویلکوکس برای دو پارامتر EC و SAR، در پژوهش حاضر پارامتر EC با توجه به مقادیر آن فقط شامل دو بازه C2 و C3 خواهد بود، از طرف دیگر

جدول ۶- مساحت طبقه‌های کیفیت آب زیرزمینی به روش ویلکوکس

Table 6 Area of groundwater quality classes by Wilcox method

Area (Ha)	Class	Area (Ha)	Class
33882.87	S2C3	2693.83	S1C1
157842.76	S3C3	7657	S2C2
47838.25	S4C4	217238.53	S3C3
184406.38	S5	82696.82	S4C2
		2927.88	S1C3

۴-۳- نتایج تحلیل مکانی کیفیت آب زیرزمین

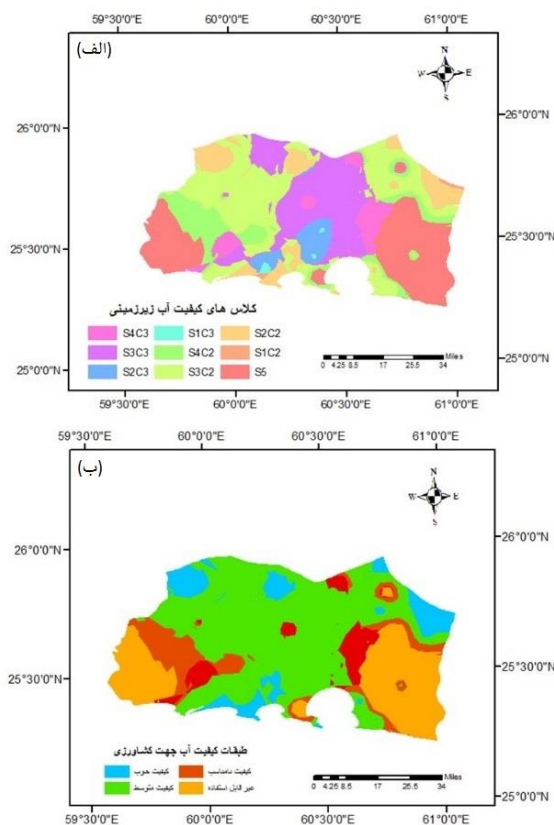
با در نظر گرفتن طبقه‌هایی با کیفیت‌های مشابه به‌عنوان یک طبقه می‌توان نقشه‌ای با چهار طبقه، کیفیت خوب، کیفیت متوسط، کیفیت نامناسب و غیرقابل استفاده جهت امور کشاورزی را تهیه کرد (شکل ۹-ب). درصد پوشش هرکدام از این ۴ طبقه در جدول (۷) ذکر شده است. بر اساس این ارقام حدود ۱۰٪ از آب‌های زیرزمین به‌عنوان آب خوب و ۵۱٪ به‌عنوان آب متوسط و ۱۶٪ به‌عنوان آب نامناسب و حدود ۲۳٪ به‌عنوان آب غیرقابل استفاده را در محدوده مطالعاتی تشکیل داده‌اند. مساحت اعظم طبقه‌های نامناسب و غیرقابل استفاده در بخش‌های جنوب شرقی و جنوب غربی منطقه مطالعاتی واقع شده‌اند. با توجه به نقشه کاربری اراضی (شکل ۱-ب)، اراضی کشاورزی مساحت ۱۴۷۴۵ ha را به خود اختصاص داده‌اند. قسمت اعظم این اراضی در شمال شرقی و مرکز منطقه مطالعاتی واقع شده‌اند. با مقایسه نقشه کیفیت آب‌های زیرزمینی با نقشه اراضی کشاورزی مشخص گردید که حدود ۴۰۰۰ ha از این اراضی در محدوده‌ای قرار گرفته‌اند که بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس دارای کیفیت خوب جهت کشاورزی است و باقی در محدوده‌هایی با کیفیت‌های متوسط و نامناسب واقع شده‌اند.

جدول ۷- سطح تحت پوشش طبقات کیفیت آب زیرزمینی

Table 7 Area covered by groundwater quality classes

Area Covered %	Groundwater Quality Classes
9.83	Good Quality
51.09	Medium Quality
16.19	Poor Quality
22.83	Useless

کیفیت متوسط (S3C2, S1C3, S2C3, S3C3)، ۲ طبقه کیفیت نامناسب (S4C2, S4C3) و ۱ طبقه کیفیت غیرقابل استفاده بودن (S5) آب‌های زیرزمینی را در آن منطقه نشان می‌دهند. مساحت هرکدام از این طبقه‌ها برحسب هکتار در جدول (۶) ارائه شده است. بیش‌ترین سطح پوششی مربوط به طبقه S3C2 با مساحت حدود ۲۱۷۲۳۸ ha و کم‌ترین سطح پوششی مربوط به طبقه S1C2 با مساحت حدود ۲۶۹۳ ha است.



شکل ۹- الف) طبقه‌های کیفیت آب زیرزمینی به روش ویلکوکس. ب) کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و آبیاری

Fig. 9 a) groundwater quality classes by Wilcox method and b) Groundwater quality for agricultural and irrigation uses

مرکزی چابهار و بیشترین مقادیر EC در مرکزیت بخش کنارک واقع شده است.

۲- پارامتر EC با توجه به مقادیرش فقط شامل دو بازه C2 و C3 خواهند بود، از طرف دیگر مقادیر پارامتر SAR در پنج بازه جای خواهند گرفت که طبقه S5 مقادیر بیش تر از ۳۲ را پوشش می دهد که این طبقه مربوط به آب های غیرقابل استفاده جهت امور کشاورزی است.

۳- حدود ۱۰٪ از آب های زیرزمین به عنوان کیفیت خوب و ۵۱٪ به عنوان کیفیت متوسط و ۱۶٪ به عنوان کیفیت نامناسب و حدود ۲۳٪ به عنوان آب غیرقابل استفاده طبقه بندی شده اند.

۴- حدود ۴۰۰۰ ha از ۱۴۷۴۵ زمین کشاورزی در منطقه ای واقع شده اند که از نظر کیفیت آب جز طبقه خوب است و مابقی در مناطقی با کیفیت های متوسط و نامناسب واقع شده اند.

باید توجه داشت آبیاری با آب زیرزمینی شور نه تنها باعث آسیب رساندن به گیاه می شوند، بلکه باعث شوری خاک می گردد؛ بنابراین آب آبیاری اثرات مهمی بر عملکرد محصول دارد. از سوی دیگر کشاورزی به منظور جلوگیری از تجمع نمک بر روی گیاه ناچار به استفاده چند برابر آب برای آبیاری می شود. این امر به نوبه خود موجب برداشت بیشتر از سفره و افت سطح آب زیرزمینی می شود. در نتیجه، ارزیابی کیفیت آب آبیاری از اهمیت بالایی جهت مطالعه رشد گیاه برخوردار است.

دسترسی به داده ها

داده ها حسب درخواست، از طرف نویسندگان مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال است.

شوری می تواند اثرات مخرب متعددی بر رشد گیاه داشته باشد. نمک زیاد در خاک مانع جذب آب توسط گیاهان و در نتیجه از بین رفتن گیاه می شود. از سوی دیگر نفوذپذیری خاک یکی از مشخصات فیزیکی آن است که در مسائل آبیاری و زهکشی اهمیت بالایی دارد. پارامتر EC و SAR بر نفوذپذیری خاک تأثیرگذار هستند. این تأثیرگذاری بیان کننده این مطلب است که تا چه حد ذره های خاک در اثر کیفیت آب به هم چسبیده و یا از هم دور می شوند، در نتیجه نفوذ کند آب به ناتوانی در تأمین آب کافی برای گیاه می انجامد که از نشانه های آن خشکی خاک، تهویه ضعیف، غرقاب شدن طولانی و کاهش محصول است (Feng et al. 2020; Li et al. 2018). بنابراین از دو پارامتر EC و SAR آب آبیاری برای ارزیابی تأثیر خاک بر عملکرد محصول استفاده می شود. بر اساس طبقه بندی ویلکوکس، آب آبیاری در ۳ کلاس C1S2, C2S1, C2S2 جای می گیرند، این آب از نظر شوری جز آب های خوب و مناسب به حساب می آیند و می توان از این آب به منظور آبیاری استفاده نمود. همچنین درجه سدیمی بودن این آب کم می باشد و می توان از این آب برای آبیاری اغلب اراضی گیاهان استفاده کرد (Rivastava et al. 2019; Kawo and Karuppanan 2018).

۴- نتیجه گیری

مهمترین نتایج این تحقیق به صورت زیر قابل بیان است:

- ۱- بهترین روش میانبایی که دارای میزان خطای RMSE کم تر و R^2 بیش تر است، روش میانبایی کریجینگ با مدل واریوگرامی کروی برای پارامتر EC و روش کریجینگ با مدل واریوگرامی گوسین برای پارامتر SAR در منطقه مورد مطالعه می باشد. بیشترین مقادیر SAR در جنوب شرقی بخش

index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human Ecol. Risk Assess. Int. J.*, 25(4), 988-1005.

References

Abbasnia, A., Yousefi, N., Mahvi, A., Nabizadeh, R., Radfard, M., Yousefi, M. and Alimohammadi, M. (2019). Evaluation of groundwater quality using water quality



- Alizadeh, A. (2015). Principles of applied hydrology. Astan Quds Razavi Publishing. 320 pp [In Persian].
- Almodaresi, S. A., Mohammadrezaei, M., Dolatabadi, M. and Nateghi, M. R. (2019). Qualitative analysis of groundwater quality indicators based on Schuler and Wilcox diagrams: IDW and Kriging Models. *J. Environ. Health Sustain. Dev.*, 4(4), 903-912.
- Azare, A., Saravi, M., Salajegheh, S. and Jafari, S. M. (2012). Temporal and spatial change of groundwater quality in Shahr-e-Babak plain for agricultural the base Wilcox and FAO. *J. Elixir Pollution.*, 47, 9029- 9034 [In Persian].
- Balandeh, N. and Ahmadi, A. (2013). Zoning of the groundwater-level and salinity using geostatistic. *Int. J. Agri. Res. Rev.* 3(1), 109-112.
- Chung, S., Venkatramanan, S. and Kim, T. (2014). Influence of hydrogeochemical processes and assessment of suitability for groundwater uses in Busan City, Korea. *Environ. Develop. Sustain.*, 17(3), 423-41.
- Delbari, M. Afrasiab, P. and Miremadi, S. R. (2011). Spatio-temporal variability analysis of groundwater salinity and depth (case study: Mazandaran province). *Iran. J. Irrig. Drain.*, 3(4), 359-374 [In Persian].
- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, G., Salajegheh, A. Ghorbani, M. and Khosravi, H. (2018). Assessing the effect of land use changes on groundwater quality and quantity (Case study: west basin of Jazmoryan wetland). *J. Range Watershed Manag.*, 71(3), 563-578 [In Persian].
- Fan, J. and Gibels, I. (1996). Local polynomial modelling and its applications. Chapman & Hall. London. *Water Resources Bulletin.* 998-1004 pp.
- Fetouani, S., Sbaa, M., Vanclooster, M. and Bendra, B. (2008). Assessing groundwater quality in the irrigated plain of Triffa (North-east Morocco). *J. Agri. Water Manage.*, 95(2), 133-142.
- Feizi, Z., Keshtkar, A. and Afzali, A. (2019). Using geostatistical and deterministic modelling to identify spatial variability of groundwater quality. *Desert.*, 24(1), 143-151 [In Persian].
- Feng, W., Qian, H., Xu, P. and Hou, K. (2020). Hydrochemical characteristic of groundwater and its impact on crop yields in the Baojixia irrigation area, China. *Water*, 12(5), 1443.
- Gong, G., Mattevada, S. and O'Bryant, S. E. (2014). Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. *Environ. Res.*, 130, 59-69.
- Hassany Pak, A. (2013). Geostatistics, Tehran University Press. 14 pp [In Persian].
- Honarbaksh, A., Azma, A., Nikseresht, F., Mousazadeh, M., Eftekhari, M. and Ostovari, Y. (2019). Hydro-chemical assessment and GIS-mapping of groundwater quality parameters in semi-arid regions. *J. Water Suppl. Res. Technol. Aqua.*, 68 (7), 509-522.
- Jafari, R. and Bakhshandehmehr, L. (2014). Analyzing the spatial variations of groundwater salinity and alkalinity in Isfahan Province using geostatistics. *J. Water Soil Sci.*, 18 (68), 183-195 [In Persian].
- Karami, S., Madani, H. and Katibeh, H. (2018). Assessment and modeling of the groundwater hydrogeochemical quality parameters via geostatistical approaches. *Appl. Water Sci.*, 8, 23-36 [In Persian].
- Kawo, N. S. and Karuppanan, S. (2018). Groundwater quality assessment using water quality index and GIS technique in Modjo River Basin, central Ethiopia. *J. Africa. Earth Sci.*, 147, 300-311.
- Khazaei, S. H., Abbasitabar, H. and Taghizadeh, M. R. (2011). Spatial distribution of nitrate contamination in groundwater using



- geostatistic in Fars Province (Case study: Siakh Darengoun Area). *J. Nat. Environ.*, 64(3), 267-279 [In Persian].
- Li, P., Wu, J., Tian, R., He, S. He, X., Xue, C. and Zhang, K. (2018). Geochemistry, hydraulic connectivity and quality appraisal of multilayered groundwater in the Hongdunzi Coal Mine, Northwest China. *Mine Water Environ.*, 37, 222-237.
- Marofi, S., Toranjeyan, A. and Abyaneh, H. (2012). Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar Plain. *J. Water Soil Conser.*, 16(2), 169-187 [In Persian].
- Mohammadyari, F., Aqdar, H. and Basiri, R. (2016). Evaluation groundwater quality parameters using GIS and geostatistics (case Study: Mehran Plain and Dehloran Ilam). *J. Nat. Environ.*, 69(3), 597-616 [In Persian].
- Momeni, D. J., Joulaei, F., Alidadi, H. and Peiravi, R. (2015). Evaluation of interpolation methods to determine spatial variations of groundwater qualitative parameters (Case study: Gonabad Plain). *J. Res. Environ. Health*, 1(3), 165-17 [In Persian].
- Nas, B. (2009). Geostatistical approach to assessment of spatial distribution of groundwater quality. *Polish J. Environ. Stud.*, 18(6), 1073-1082.
- Panaskar, D. B., Wagh, V. M., Muley, A. A., Mukate, S. V., Pawar, R. S. and Aamalawar, M. L. (2016). Evaluating groundwater suitability for the domestic, irrigation, and industrial purposes in Nanded Tehsil, Maharashtra, India, using GIS and statistics. *Arab. J. Geosci.*, 9(13), 615.
- Pourkhabaz, H. R., Aghdar, H. and MohammadYari, F. (2017). Zoning groundwater quality for agriculture by classification Wilcox index (Case study: Qazvin plain). *Geogr-Space*, (58)17, 111-129 [In Persian].
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, agriculture handbook. United States, Department of Agriculture, 60 pp.
- Rivastava, S. K. (2019). Assessment of groundwater quality for the suitability of irrigation and its impacts on crop yields in the Guna district, India. *Agri. Water Manag.*, 216, 224-241.
- Robinson, T. P and Metternicht, G. (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Comp. Electron. Agri.*, 50, 97-108.
- Sadeghi Aghdam, F., Nadiri, A., Asgharai, M. A. and Novinpour, A. (2019). Assessing the suitability and quality zoning of groundwater resources of Naqadeh plain for drinking, agriculture, and industrial purposes. *J. R. S. GIS Nat. Resour.*, 9(4), 17-36 [In Persian].
- Samson, M., Swaminathan, G. and Venkat, K. N. (2010). Assessing groundwater quality for potability using a fuzzy logic and GIS- A case study for Tiruchirappalli City- India. *Comp. Model. New Technol.*, 14(2), 58-68.
- Taheri Tizro, A. and Mohamadi, M. (2019). Geostatistical approach for groundwater quality evaluation in Zarin Abad Plain, Iran. *Iran. J. Health Sci.*, 7 (3), 9-20 [In Persian].
- Taghizadeh Mehrjard, R., Zareian Jahromi, M., Mahmoodi, S., Heidari, A. and Sarmadian, F. (2009). Investigation of interpolation methods to determine spatial distribution of groundwater quality in Rafsanjan. *Iran. J. Watershed Manage. Sci. Eng.*, 2(5), 63-70 [In Persian].
- Webster, R. and Oliver, M. (2007). *Geostatistics for environmental scientists*. 2nd edition, John Wiley & Sons Chichester, West Sussex. 210 pp.



Zhang, L., Lu, Z. and Wang, P. (2015). Efficient structural reliability analysis method based on advanced Kriging model. *Appl. Math. Model.*, 39(2), 781-93.

Zhao, Y., Lu, W. and Xiao, C. (2016). A Kriging surrogate model coupled in simulation-optimization approach for identifying release history of groundwater sources. *J. Contam. Hydrol.*, 185, 51-60.



Research Paper

Geostatistical Modelling of Spatial Changes in Groundwater Quality Using GIS and Wilcox Model (Case Study: Central and Kenark Districts, Chabahar)

Saeed Mahmoodizadeh^{1*} and Ali Esmaily²

¹M.Sc., Department of Remote Sensing Engineering, Faculty of Surveying, University of Industrial and Technological Advanced Studies, Kerman, Iran

²Assist. Professor, Department of Surveying Engineering, Faculty of Surveying, University of Industrial and Technological Advanced Studies, Kerman, Iran

Corresponding author: s.mahmodizadeh@student.kgut.ac.ir

Received: November 04, 2020

Revised: November 27, 2020

Accepted: November 30, 2020

Abstract

Using unsuitable quality water for agricultural purposes has negative consequences on plant growth and the soil physical properties. The aim of this study was to investigate the spatial changes in ground water quality with agricultural applicability in central Chabahar and Kenark Distircts. For this purpose, we first performed interpolation for EC and SAR parameters from 40 wells in the study area in 2019. Then we employed inverse distance weighting , global polynomial, local polynomial, radial basis function and kriging with circular, spherical, exponential, gaussian, as well as quadratic equation semivariograms; the most suitable method for interpolation was selected baed on the Root Mean Square Error (RMSE) and coefficient of determination (R^2) criteria. The research found that kriging interpolation method with a Gaussian variogram having RSME=13.85 and $R^2=0.77$ was the most suitable methods for interolating with the SAR paramete and the kriging interpolation method with as spherical variogram having RSME=797.89 and $R^2=0.68$ was considered as the most suitable methods for interpolating EC. Then, based on Wilcox method, the groundwater quality map for agricultural and irrigation uses was prepared using the spatial variation map of two parameters, EC and SAR. The results showed that the quality classification of the groundwater in the study area was: about 10% as good, 51% as fair, 16% as poor, and about 23% as unusable water.

Keywords: Agricultural; Groundwater; Interpolation; Kriging.

