Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Spatial evaluation of qualitative parameters of groundwater resources with the aim of its application in agriculture and drinking (Case study: Mehvalat-Feyzabad plain)

Mohammad Fashaee[1]*, Marjan Ghoochanian[2]

[1] Graduated Ph.D. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University Mashhad, Mashhad, Iran
[2] Ph.D. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

Introduction
The reduction of groundwater level in the plains of Khorasan Razavi Province has caused the destruction of groundwater quality and salinity of water resources. This has happened more intensely in Mehvalat plain. Since groundwater in this plain is often used for agriculture and drinking, so knowing the quality of groundwater for use in these two sections is important. Therefore, the purpose of this study is to evaluate and zone water quality variables for two types of drinking and agriculture consumption.

Materials and Methods
PH, permeability index (PI), sodium absorption ratio (SAR), and electrical conductivity (EC) variables have been selected to evaluate the water quality suitable for agriculture and irrigation. Also, the quality of drinking water was compared with the international and national standard indicators. Spatial interpolation methods are now widely used to monitor spatial variations in water quality. In order to zone water quality parameters, a kriging method that is preferable to other geostatistical methods was used.

Results and Discussion
SAR in irrigation water can be used as an indicator to determine the risks of soil sodium contamination. This index was studied for Mehvalat-Feyzabad water wells and is in the middle range. 68% of the study area is in the appropriate class in terms of irrigation water PI and 32% is in the relatively suitable range and no points were found in the inappropriate class. According to the spatial zoning map, pH is in the allowable range of 7 to 8.5 and the EC of water is in the range of low salinity to very saline. The best EC linear relationship with cations, anions, and TDS (Total Dissolved Solids) was presented for the study area in this study. Examining the relationship between these three variables shows that the increase in EC indicates an increase in the amount of cations, anions, and TDS and will affect the consumption of this water for agriculture and drinking in the future.

Conclusion
Due to the fact that the salinity of water for agricultural use was assessed from low salinity to very saline, so leaching and drainage should be done and the type of cultivation should be selected according to the salinity. For areas that are in the very saline group, it is necessary to use salinity-resistant plants with good drainage and low planting frequency. Examination of drinking water quality in the area showed that its use is not suitable for drinking.

Keywords: Cultivation pattern, Groundwater quality, Khorasan Razavi, Zoning.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: am.fashaee@gmail.com

Citation: Fashaee, M., & Ghoochanian, M. (2022). Spatial evaluation of qualitative parameters of groundwater resources with the aim of its application in agriculture and drinking (Case study: Mehvalat-Feyzabad plain). *Water and Soil Management and Modeling*, 2(2), 28-44.
DOI: 10.22098/MMWS.2022.9650.1056
DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.2.3.0

Received: 06 October 2021, Received in revised form: 21 November 2021, Accepted: 22 November 2021, Published online: 10 February 2022
Water and Soil Management and Modeling, Year 2022, Vol. 2, No. 2, pp. 28-44

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili
© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵۴۶-۲۷۸۳

ارزیابی مکانی متغیرهای کیفی منابع آب زیرزمینی با هدف کاربرد آن در کشاورزی و شرب (مطالعهٔ موردی: دشت مه‌ولات-فیض آباد)

محمد فشائی*[۱]، مرجان قوچانیان[۲]

[۱] دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۲] دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

شناخت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی اهمیت ویژه‌ای دارد. کیفیت آب شامل ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آن است. تعیین کاربری آب عمدتاً بر اساس ویژگی‌های شیمیایی آن صورت می‌گیرد. در این پژوهش، کیفیت آب زیرزمینی با اتکا بر ویژگی‌های شیمیایی آن بررسی شد. به‌این‌منظور با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و با روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی، پهنه‌بندی کیفی آب زیرزمینی برای دو نوع کاربری کشاورزی و شرب صورت پذیرفت. با هدف ارزیابی مکانی این روش، از داده‌های کیفیت آب زیرزمینی در دشت مه‌ولات-فیض‌آباد واقع در استان خراسان رضوی استفاده شد. نتایج برآورد پارامترهای نسبت جذب سدیم (SAR)، اسیدیته (pH)، شاخص نفوذپذیری آب (PI) و هدایت الکتریکی (EC) که پارامترهای تأثیرگذار بر ارزیابی آب آبیاری هستند، مبین آن است که آب منطقه برای کشاورزی قابل استفاده است، اما در نظر گرفتن ملاحظات هر گروه از پارامترهای مؤثر بر ارزیابی آب کشاورزی ضروری است. هم‌چنین، بررسی قابلیت آب شرب با استفاده از استانداردهای کیفیت آب ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی نشان داد که EC و مقدار شاخص کل مواد جامد حل شده (TDS) در بازهٔ مطلوب قرار ندارد. بنابراین، باوجود این‌که سایر پارامترهای کیفی برای استفادهٔ شرب در بازهٔ مجاز قرار گرفتند، آب محدوده برای استفادهٔ شرب پیشنهاد نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، الگوی کشت، پهنه‌بندی، کیفیت خراسان رضوی.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: am.fashaee@gmail.com

استناد: فشائی، م.، و قوچانیان، م. (۱۴۰۱). ارزیابی مکانی متغیرهای کیفی منابع آب زیرزمینی با هدف کاربرد آن در کشاورزی و شرب (مطالعهٔ موردی: دشت مه‌ولات-فیض‌آباد). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*. ۲(۲)، ۲۸-۴۴.
DOI: 10.22098/MMWS.2022.9650.1056
DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.2.3.0

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱
مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۲، صفحه ۲۸ تا ۴۴
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

آلودگی آب نه تنها بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد، بلکه سلامت انسان، توسعهٔ اقتصادی و رونق اجتماعی را تهدید می‌کند (Milovanovic et al., 2007). در مناطق کم‌باران که آب سطحی وجود ندارد یا مقدار آن کم است، استفاده از آب زیرزمینی به‌عنوان جایگزینی مطمئن مورد توجه قرار گرفته؛ به‌طوری‌که در برخی مناطق آب زیرزمینی تنها منبع تأمین آب است (Salehi et al., 2017). آب‌های زیرزمینی منابع طبیعی ارزشمندی هستند که در سرتاسر جهان به‌صورت آبخوان محلی گسترش یافته‌اند (Vasanthavigar et al., 2010). شناخت کیفیت آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و آسیب‌پذیرترین منابع تأمین آب در دهه‌های اخیر، یک امر ضروری است. از طرفی در دسترس بودن، کیفیت بالاتر و حضور یک‌سری مواد معدنی در آب‌های زیرزمینی باعث شده این منابع در مقایسه با آب‌های سطحی، مصرف بیش‌تری برای نیازهای بشری داشته باشند Eslami et al. (2017) حرکت آلودگی در آب زیرزمینی، عوامل مختلف مانند ویژگی‌های خاک و شرایط اجتماعی–اقتصادی بهره‌برداران، نقش قابل توجهی در دستیابی به توسعهٔ همه‌جانبه منابع آب دارد (Kawy, 2012). کیفیت آب برای مصارف مختلف بستگی به نوع و غلظت محلول در آب دارد. اغلب منابع مورد نیاز در بخش کشاورزی توسط آب زیرزمینی تأمین می‌شود و از آن‌جایی‌که بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب کشور است؛ بنابراین، مدیریت و پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی اهمیت ویژه‌ای دارد (Vadiati et al., 2015).

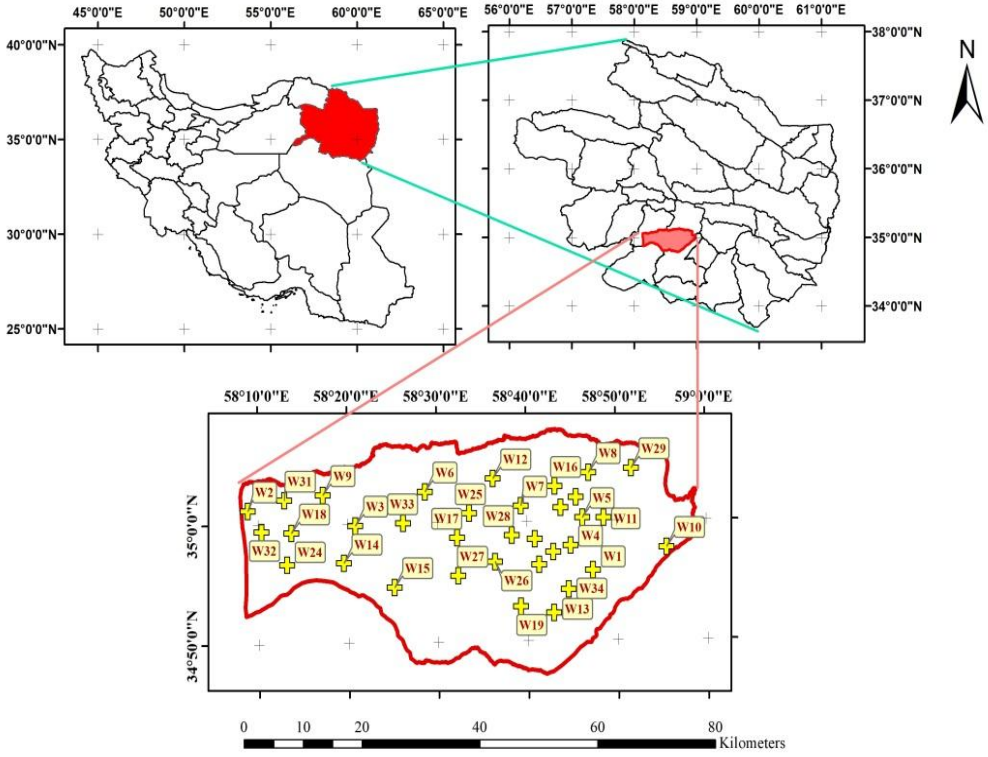
لازم به ذکر است که با ازدیاد روز افزون جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضای استفاده از آب برای مقاصد مختلفی چون کشاورزی، شرب و صنعت لزوم توسعهٔ سرمایه‌گذاری در بخش آب امری اجتناب‌ناپذیر است (Richards, 1954). در پژوهش‌های متفاوت بسیاری از ترکیبات شیمیایی قابل حل در آب در غلظت‌های مختلف یافت می‌شوند (Daniele et al., 2013). Sameh et al. (2019) با بررسی ویژگی‌های شیمیایی و ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقهٔ حلیبی، بخش جنوب شرقی کویر شرقی مصر بیان کردند که آب زیرزمینی تنها منبع آب شیرین منطقه است. آن‌ها ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه را ارزیابی و کیفیت آن را برای مصارف شرب و آبیاری بررسی نموده و نتیجه‌گیری کردند که کیفیت آب زیرزمینی منطقه برای آشامیدن نامناسب، اما برای آبیاری مناسب است. در پژوهشی دیگر، Vasanthavigar et al. (2010) با استفاده از شاخص‌های درصد Na، SAR و TH آب زیرزمینی منطقه تامیلنادو هند را برای اهداف کشاورزی مناسب گزارش نکردند. Valenza et al. (2000) بیان کردند که پدیده شوری و قلیایی‌زایی از ترکیب عوامل اقلیمی، معدنی شدن آب آبیاری و بافت خاک حاصل می‌شود. بنابراین، شناخت کیفی آب برای مصارف مختلف امری اجتناب‌ناپذیر است. شناخت نقاط آلوده و آلاینده‌های منطقه باعث استفادهٔ بهینه و مناسب از آب در مصارف مختلف می‌شود. با توجه به این‌که نمونه‌برداری از تمام نقاط محدوده مطالعاتی مقدور نیست، روش‌های پهنه‌بندی ابزار قدرتمندی در تخمین داده‌ها بر مبنای تغییرات مکانی است. در این راستا، به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌علت ارائه تصویری صحیح از وضعیت کیفی منابع آب امری ضروری است. بنابراین، اولین قدم پس از تعیین کیفیت آب، انتخاب یک مدل مناسب جهت درون‌یابی و پهنه‌بندی داده‌هاست. سیستم اطلاعات جغرافیایی، کاربرد فراوانی در پایش و طبقه‌بندی کیفی آب حوضه‌ها دارد و توانایی تحلیل و بررسی اطلاعات در حجم زیاد را فراهم می‌نماید. در این سیستم، با تعیین مراکز مهم جمعیتی، صنعتی و کشاورزی و تخمین بار آلودگی و ترکیب آن با سایر اطلاعات، می‌توان طرح‌های مدیریتی مفیدتری را ارائه نمود. علاوه براین، به کمک این ابزار، امکان دستیابی به روابط دقیق‌تر برای ارتباط میان پارامترهای کیفی منابع آب و پارامترهای مؤثر در حوضه وجود دارد (Askari Marnani et al., 2009). Maria and Luis (2010) جهت تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی غلظت نیترات در آب زیرزمینی در اراضی کشاورزی، از روش تخمین زمین‌آماری کریجینگ متقاطع استفاده نمودند. هم‌چنین، Arsalan (2012) در پژوهشی روند شوری در دشت بافرا ترکیه را با استفاده از روش کریجینگ بررسی نمود و اعلام کرد روند شوری در سال ۲۰۱۲ در این دشت در مقایسه با سال ۲۰۱۰ به میزان نه درصد کاهش یافته است. در نهایت، Maroufpoor et al. (2020) کیفیت آب زیرزمینی دشت بم–نرماشیر را با استفاده از مدل‌های هیبریدی و روش زمین‌آمار کریجینگ ارزیابی کردند و نشان دادند روش کریجینگ نسبت به روش‌های هیبریدی دقیق‌تر می‌باشد.

استان خراسان رضوی نسبت به سایر استان‌های کشور بیش‌ترین کسری مخزن را در بخش آب زیرزمینی دارد، افت سطح آب در دشت‌های استان خراسان رضوی موجب تخریب کیفیت آب زیرزمینی و شوری تدریجی منابع آب شده است. در دشت مه‌ولات نیز این امر مشاهده شده است (Ministry of Energy, 2019). از آن‌جایی‌که آب زیرزمینی منطقهٔ غالباً مورد استفاده کشاورزی و شرب قرار می‌گیرد، شناخت کیفیت آب زیرزمینی برای این دو مصرف در این دشت امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین، هدف این پژوهش، علاوه‌بر ارزیابی پارامترهای کیفی منطقهٔ مورد مطالعه، پهنه‌بندی برای دو مصرف شرب و کشاورزی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

دشت مه‌ولات-فیض‌آباد در شمال شرق کشور و در مرکز استان خراسان رضوی به مساحت حدود ۲۱۴۵/۲۱ کیلومتر مربع در اراضی شرقی کویر نمک و در قسمت جنوب غربی تربت حیدریه قرار گرفته است. این دشت در سایه کوه‌های حصار رود معجن و ادامه کوه‌های قلعه جوق، بایگ سرخ آباد در شمال، کوه‌های ازغند، کوه سیاه، کوه فدافن در غرب مه‌ولات و کوه کبیر با جهت شمالی و جنوبی که حد فاصل جلگه‌های خواف، رشتخوار و گناباد به مه‌ولات پستی و بلندی‌های این منطقه را تشکیل می‌دهد، قرار دارد. دشت مه‌ولات-فیض‌آباد در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز چهارگانه استان در حوضهٔ آبریز کویر مرکزی قرار دارد. از نظر آب و هوایی بخش عمده‌ای از این محدوده در منطقه گرم و خشک با بارندگی کم و تابستان‌های داغ و زمستان‌های سرد و خشک است. این محدوده بین طول‌های جغرافیایی ۵۸ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۵ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۸ دقیقه واقع شده است. منطقهٔ مطالعاتی مه‌ولات به‌طور کامل منطبق بر زون ایران مرکزی است. شکل ۱ موقعیت منطقهٔ مطالعاتی را نشان می‌دهد. با توجه به اهداف پژوهش اطلاعات کیفی آب زیرزمینی محدودهٔ مطالعاتی مورد نظر از بانک اطلاعاتی دفتر مطالعات پایهٔ منابع شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، برای سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ تهیه و استخراج شد.



شکل ۱- نقشه موقعیت چاه‌های انتخابی محدودهٔ مه‌ولات-فیض‌آباد

Figure 1- Location map of selected wells in Mahwalat-Feyzabad Area

۲-۲- بررسی کیفیت آب زیرزمینی

پایش کیفی آب نه تنها باعث بهبود کیفیت آب می‌شود، بلکه در فرآیند تولید آب سالم نیز ارزش اقتصادی دارد و عامل مهمی در کاهش هزینه‌های تولیدی و تصفیه آب است. به‌منظور مطالعهٔ کیفی و مناسب بودن آب زیرزمینی برای مصارف آشامیدن و کشاورزی در منطقهٔ مه‌ولات-فیض‌آباد، تحلیل‌های هیدروژئوشیمیایی پارامترهای کیفی آب برای چاه‌های انتخابی انجام شد. در این بخش از پژوهش، از تعداد ۱۱۵ حلقهٔ چاه موجود در محدوده، ۳۴ حلقه به روش تصادفی انتخاب شد، به‌طوری‌که مجموعهٔ آن‌ها نمایندهٔ کل چاه‌های دشت باشند. پارامترهای کیفی مورد استفاده در این مطالعه، از جمله هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH) و آنیون‌های اصلی شامل کلرید (Cl^-)، سولفات (So_4^{2-}) و بی‌کربنات (HCo_3^-))، کاتیون‌های اصلی (کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^+) و پتاسیم (K^+))، باقی‌مانده خشک (TDS) و قلیاییت (SAR) بوده است. پارامترهای EC و SAR بدون بعد و سایر پارامترهای ذکر شده بر

حسب اکی‌والانت در لیتر هستند. در این پژوهش از تحلیل انجام گرفته بر پارامترهای کیفی نمونه‌های آب آبخوان به‌عنوان متغیرهای اولیه استفاده شد.

۲-۳- بررسی کیفیت آب برای استفاده کشاورزی

در بررسی کیفیت آب از نظر کشاورزی و آبیاری باید پارامترهای متعددی را در نظر گرفت؛ زیرا شوری یا کیفیت بد آب تنها مربوط به گیاه نیست و خصوصیات فیزیکی خاک را نیز در بر می‌گیرد (Alizadeh, 2014).

۲-۳-۱- اسیدیته آب (pH)

در شرایط متعارف pH آب‌های طبیعی بین ۷ تا ۸/۵ است که در این نوع آب‌ها بی‌کربنات به‌صورت محلول در آب باقی‌می‌ماند. آب کشاورزی بعد از نفوذ در خاک اثر مستقیم روی گیاه دارد، قلیایی بودن آب کشاورزی می‌تواند اثرات اصلاح یا تشدیدکنندگی اثرات سوء، در محیط خاک اطراف ریشه داشته باشد. حدود pH توصیه شده برای مصرف کشاورزی را بین ۵ تا ۹ تعیین شده است (Ayers and Westcot, 1976; 1985).

۲-۳-۲- شاخص نفوذپذیری

نفوذپذیری خاکی که تحت آبیاری قرار دارد، در طولانی‌مدت تحت تأثیر EC آب آبیاری و غلظت Na^+ و HCo_3^- موجود در آب آبیاری قرار می‌گیرد. Doneen et al. (1964)، آب آبیاری را بر اساس شاخص نفوذپذیری (PI) طبقه‌بندی کردند. شاخص نفوذپذیری بر اساس رابطهٔ ۱ تعریف می‌شود:

P (۱)

در رابطهٔ ۱ تمام غلظت‌ها بر حسب میلی اکی والان بر لیتر است. هرچه مقدار این شاخص بیش‌تر باشد، میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد (Gholamalizadeh, 2007). هم‌چنین، Domenico and Schwartz (1990) آب آبیاری را بر اساس شاخص نفوذپذیری در سه کلاس مناسب (PI>۷۵)، نسبتاً مناسب (۷۵>PI>۲۵) و نامناسب (PI<۲۵) طبقه‌بندی کردند.

۲-۳-۳- خطر قلیایی و شوری (SAR)

به‌منظور تشریح حالت تعادل بین کاتیون‌های قابل تبادل و کاتیون‌های محلول، معادلات زیادی پیشنهاد شده است. خاک‌ها محتوی انواع موادی هستند که عمل تبادل کاتیونی در سطح آن‌ها صورت می‌گیرد. لذا تشریح نظری چگونگی کاتیون‌های محلول و قابل تبادل بسیار پیچیده است (Alizadeh, 2014). از آنجایی‌که خطر سدیم معمولاً از لحاظ میزان جذب بیان می‌شود؛ بنابراین، می‌توان آن را از نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم محاسبه کرد. SAR یک پارامتر مهم برای تعیین مناسب بودن آب آبیاری است زیرا میزان خطرات سدیم را ارزیابی می‌کند (Jalili, 2018). درصد بالای سدیم در آب، علاوه‌بر تأثیر مستقیم بر رشد گیاهان، با تغییر ساختمان خاک، نفوذپذیری و هوادهی به‌طور غیر مستقیم نیز رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لازم به ذکر است که هدایت الکتریکی و غلظت سدیم دو عامل بسیار مهم در طبقه‌بندی آب آبیاری هستند. آب آبیاری باعث افزایش فشار اسمزی شده و جذب آب توسط ریشه را با مشکل مواجه می‌کند (Singh et al., 2014).

با استفاده از جدول ۱ و محاسبهٔ نسبت جذب سدیم (رابطهٔ ۲)، وضعیت کیفیت آب آبیاری قابل ارزیابی است:

S (۲)

۲-۳-۴- هدایت الکتریکی (EC)

ساده‌ترین و مهم‌ترین شاخص کیفیت آب برای آبیاری کشاورزی، شوری یا هدایت الکتریکی است که ارزیابی آن کاربرد بسیاری در بهبود وضعیت کشاورزی دارد. شور شدن آب آبیاری، اثر منفی بر رشد گیاه و ویژگی‌های خاک، دارد که به کمیت و کیفیت آب، چگونگی مصرف آب و ویژگی‌هایی مانند بافت خاک وابسته است.

هر چند طبقه‌بندی آب‌ها از نظر شوری با کاربرد آن‌ها برای آبیاری و تولید محصولات گیاهی (اعم از خوراکی و غیرخوراکی) سروکار دارد، مدیریت این آب‌ها در حین مصرف و شرایط محیط مصرف (مثلاً شرایط خاک) ممکن است، گروه‌بندی و انتظارات ناشی از آن را دگرگون کند. به‌عبارت‌دیگر، ممکن است آبی از گروه کیفیتی خوب به‌علت مدیریت نادرست نتایج نامطلوب به بار آورد، ولی آبی از گروه کیفیتی متوسط با مدیریت خوب نتایج خوشایند به‌دست دهد. بنابراین، هدف از طبقه‌بندی آب‌ها، آگاهی از خطرات و زیان‌های احتمالی کاربرد آن‌ها و اتخاذ روش‌های مدیریتی مناسب برای دستیابی به نتیجه بهینه است. در جدول ۲ محدوده‌های مجاز مصرف آب شور برای تولید محصولات کشاورزی به همراه موارد کاربرد برای هر طبقه‌بندی ارائه شده است (Vice President for Strategic Planning and Oversight, 2010).

۲-۳-۵- رابطهٔ بین هدایت الکتریکی با سایر پارامترها

هدایت الکتریکی املاح یکی از مشخصه‌های کیفی آب است که غالباً برای تحلیل شیمیایی آب اندازه‌گیری می‌شود. به‌همین

ترتیب مطالعه و بررسی شوری خاک نیز با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پایه‌گذاری شده است (Zare Abyaneh et al., 2014). مطالعه و دسته‌بندی خاک‌های شور با توجه‌به غلظت کل نمک‌های محلول صورت می‌گیرد که این پارامتر را می‌توان با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی تعیین کرد (Corwin and Lesch, 2005).

غلظت کل نمک‌های محلول (TDS) در عصارهٔ اشباع خاک که یکی از پارامترهای مهم در مطالعات شوری اراضی کشاورزی است را می‌توان از روی EC با دقتی قابل قبول محاسبه نمود. رابطهٔ EC و TDS و یا رابطه با مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها توسط آزمایشگاه شوری ایالت متحده برای تخمین غلظت کل نمک‌های محلول با توجه‌به هدایت‌الکتریکی در قالب مدل رگرسیون خطی ساده با عرض از مبدأ صفر ارائه شده است. (رابطه‌های ۳ و ۴) (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

$$TDS = 640EC \quad (۳)$$

$$C = 10EC \quad (۴)$$

در روابط فوق TDS غلظت کل نمک‌های محلول (میلی‌گرم در لیتر)، EC هدایت الکتریکی بر حسب دسی‌زیمنس بر متر و C غلظت محلول بر حسب میلی اکی والانت در لیتر است. Chang et al. (1983) برای تخمین غلظت کل نمک‌های محلول و مجموع غلظت کاتیون‌های محلول در عصارهٔ اشباع، روابط رگرسیونی ارائه نمودند.

جدول ۱- خطر نسبت جذب سدیم برای استفاده آبیاری (Zaman et al., 2018; Ebrahimi et al., 2016)

Table 1- Danger of sodium absorption ratio for irrigation use (Zaman et al., 2018; Ebrahimi et al., 2016)

نسبت جذب سدیم (SAR)	خطر قلیاییت	محدودیت
1-10	کم	استفاده برای محصولات حساس به سدیم
10-18	متوسط	نیاز به آبشویی
18-26	زیاد	نامناسب برای استفاده مداوم
>26	خیلی زیاد	نامناسب

جدول ۲- طبقه‌بندی پیشنهادی برای آب‌ها از نظر شوری در آبیاری (Vice President for Strategic Planning and Oversight, 2010)

Table 2- Proposed classification for water in terms of salinity in irrigation (Vice President for Strategic Planning and Oversight, 2010)

نام گروه	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	ملاحظات
غیرشور	<700	در هر نوع بافت خاک برای آبیاری همه گیاهان قابل استفاده‌اند. در شرایط بارندگی کم، آبشویی زمستانه توصیه می‌شود.
کم‌شور	2500-700	در خاک‌های دارای بافت سبک و متوسط بی‌خطرند. در خاک‌های رسی، آبشویی نمک‌ها و زهکشی باید انجام شود.
لب‌شور	8000-2500	در خاک‌های سبک با یک بار آبشویی زمستانه همراه باشد. در خاک‌های بافت متوسط و سنگین آبشویی نمک‌ها در هر نوبت آبیاری انجام شود و در این خاک‌ها برای محصولات حساس به شوری به کار نرود. در مرحله جوانه زنی، تاحدامکان از آب‌های غیر شور یا کم‌شور استفاده شود.
شور	12000-8000	برای گیاهان حساس به شوری در هیچ خاکی به‌کار نرود. در همه خاک‌ها آبشویی نمک‌ها همراه با هر آبیاری انجام شود. در مرحله جوانه زنی از آب‌های غیر شور و کم‌شور استفاده شود. در همه موارد از کاربرد این آب‌ها در خاک‌هایی که زهکشی خوبی ندارند استفاده نشود.
خیلی شور	20000-12000	فقط در موارد استثنایی (گیاهان یا ارقام مقاوم به شوری+خاک‌های سبک با زهکشی خوب) یا در شرایط اضطراری (خشکسالی) در دفعات کم استفاده از این آب‌ها مجاز است.
ابرشور	>20000	غیرمجاز برای آبیاری.

جدول ۳- مقایسه پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی منطقه با حدود توصیه شده برای استفادهٔ شرب (WHO, 2008; Institute of Standards and Industrial Research, 2009)

Table 2- Comparison of groundwater quality parameters in the region with the limits recommended for drinking use (WHO, 2008; Institute of Standards and Industrial Research, 2009)

پارامتر	واحد	سازمان بهداشت جهانی	موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
اسیدیته (pH)	-	6.5-8.5	6.5-8.5
هدایت الکتریکی (EC)	µmhos/cm (میکروموس بر سانتی‌متر)	1500	1500-2000
کل مواد جامد حل شده (TDS)	mg/l (میلی‌گرم بر لیتر)	1000	1000-1500
کلرید (Cl^-)	mg/l (میلی‌گرم بر لیتر)	250	250-400
سدیم (Na^+)	mg/l (میلی‌گرم بر لیتر)	200	200
سولفات ($So4^{2-}$)	mg/l (میلی‌گرم بر لیتر)	400	250-400
کلسیم (Ca)	mg/l (میلی‌گرم بر لیتر)		75-250
منیزیم (Mg)	mg/l (میلی‌گرم بر لیتر)		30-1500

۲-۴- بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای استفادهٔ شرب

از آن‌جایی‌که کیفیت آب‌های زیرزمینی ممکن است توسط عوامل مختلف کاهش یابد، قابلیت شرب آن باید از طریق استانداردهای خاص کنترل شود. در این پژوهش، غلظت‌های ترکیبات عمدهٔ آب‌های زیرزمینی منطقه مه‌ولات–فیض‌آباد با استفاده از حدود استاندارد توصیه شده برای مصرف شرب (جدول ۳) ارزیابی شد. (WHO, 2008; Institute of Standards and Industrial Research, 2009).

۲-۵- ارزیابی مکانی منطقهٔ مورد مطالعه

امروزه به‌طور وسیعی از روش‌های درون‌یابی مکانی برای پیش‌بینی و تعیین تغییرات مکانی کیفیت منابع آب استفاده می‌شود. درون‌یابی به دو طریق قطعی و زمین‌آمار انجام می‌شود. در روش قطعی تنها از توابع ریاضی استفاده می‌شود در صورتی‌که روش زمین‌آمار (انواع روش کریجینگ و کوکریجینگ) بر اساس تئوری متغیرات ناحیه‌ای بوده و به توابع ریاضی و آمار وابسته است و از مدل واریوگرام که ابزار اصلی در زمین‌آمار است، برای توصیف پیوستگی فضایی داده‌های ورودی و تخمین مقدار مکان‌های اندازه‌گیری نشده، استفاده می‌شود (Momeni Demneh et al., 2015).

روش کریجینگ از روش‌های زمین‌آماری مهم است که با استفاده از کل اطلاعات مدل ریاضیاتی لازم جهت تخمین مقادیر نامعلوم نقاط را فراهم می‌آورد. در روش کریجینگ ابتدا ساختار اطلاعات و توزیع مکانی آن‌ها تحلیل شده و سپس با برازش بهترین مدل بر ساختار مکانی داده‌ها، نقشه درون‌یابی ترسیم می‌شود (Cressie, 1990; Oliver, 1990). علاوه بر این، Momeni Demneh et al. (2015) بیان کردند که به‌منظور پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب، روش‌های کریجینگ بر سایر روش‌های زمین‌آمار ارجحیت دارد. از این‌رو، برای درک توزیع فضایی مناطق مناسب و نامناسب، روش پهنه‌بندی مکانی در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 به روش کریجینگ معمولی[1] انجام شد.

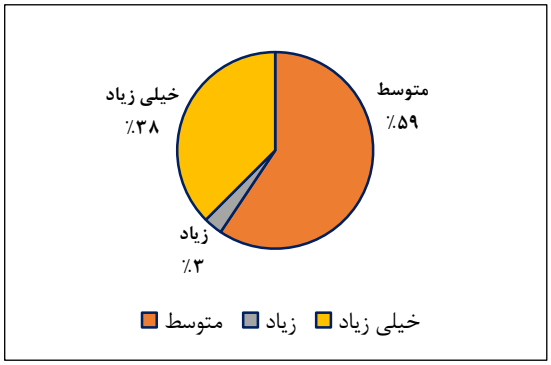
۳- بحث و نتایج

در این پژوهش به‌دلیل اهمیت مصرف آب برای دو بخش کشاورزی و شرب، کیفیت آب زیرزمینی برای این دو نوع مصرف بررسی و در ادامه نتایج به‌دست آمده به تفکیک نوع مصرف ارائه شده است.

۳-۱- بررسی منابع آب برای مصرف کشاورزی

نتایج مربوط به میانگین داده‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مه‌ولات–فیض‌آباد در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در بین کاتیون‌ها (Na, Mg, Ca و K) عنصر سدیم بیش‌ترین مقدار را دارد. ازدیاد سدیم در آب و افزایش نسبی آن نسبت به کلسیم و منیزیم باعث متلاشی شدن ذرات خاک و کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود (Alizadeh, 2014). در بین آنیون‌ها (Co_3, Cl, Hco و So_4) نیز دو عنصر کلر و سولفات بیش‌ترین مقدار را دارند، افزایش این دو عنصر در صورت استفاده از روش آبیاری بارانی باعث سوختگی در برگ‌ها خواهد شد (Zaki and Ansari, 2015). نسبت جذب سدیم (SAR) آب آبیاری می‌تواند به‌عنوان نمایه‌ای برای تعیین خطرات ناشی از سدیمی شدن خاک مورد استفاده قرار گیرد؛ زیرا می‌توان SAR آب آبیاری را با SAR در محلول خاک که پس از تعادل با آب آبیاری حاصل می‌شود، ارتباط داد (Gholamalizadeh, 2007). اگر از رسوب نمک در داخل خاک، جذب نمک توسط گیاهان و هوازدگی کانی‌های خاک صرف نظر شود، غلظت آب آبیاری پس از ورود به داخل خاک بدون آن‌که ترکیب نسبی آن عوض شود، به مرور افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر درصد سدیم محلول تغییر نخواهد کرد اما مقدار SAR متناسب با جذر غلظت کل افزایش می‌یابد (Alizadeh, 2014). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، میزان محاسبه شده پارامتر SAR برای آب زیرزمینی محدودهٔ مه‌ولات–فیض‌آباد از ۸/۹ تا ۴۷ متغیر است.

بر اساس SAR، زیان‌های ناشی از سدیمی بودن آب آبیاری را می‌توان بر اساس کلاس‌بندی سدیمی آب (جدول ۱) ارزیابی کرد. با استفاده از جدول ۱ خطر قلیاییت آب چاه‌های محدودهٔ مه‌ولات–فیض‌آباد بررسی و در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- ارزیابی کلاس‌های خطر سدیمی (قلیاییت) آب محدودهٔ مه‌ولات–فیض‌آباد

Figure 2 - Evaluation of sodium water classes in Mahwalat-Feyzabad Area

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، ۵۹ درصد از چاه‌های این محدوده، در کلاس سدیمی S_2 یعنی محدودهٔ متوسط قرار دارند و خطر قلیاییت آن متوسط است. بنابراین، می‌توان بیان کرد که میانگین خطر قلیاییت آب زیرزمینی در حد

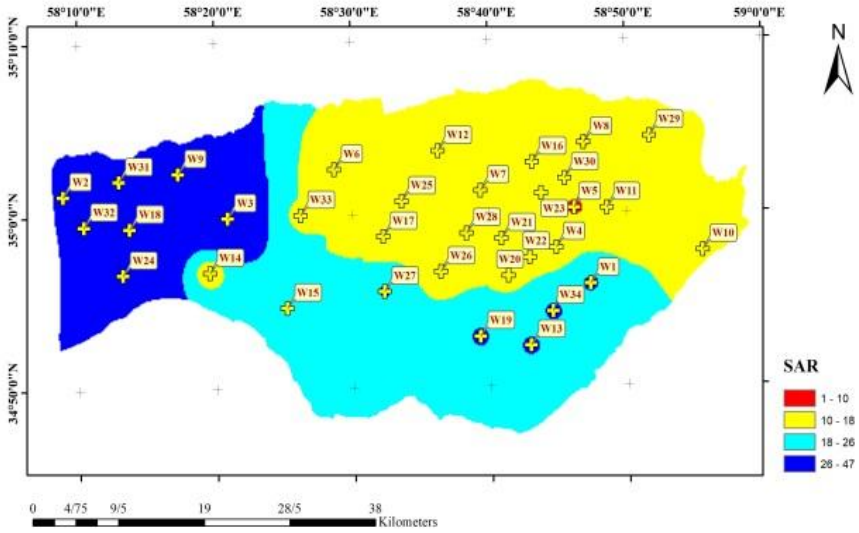
[1] Ordinary

متوسط قرار دارد. با توجه به جدول ۱ محدودیت استفاده از آب آبیاری که با نمایهٔ SAR ارائه شده است، در صورت استفاده از چاه‌های محدودهٔ مطالعاتی مه‌ولات–فیض‌آباد خطر قلیاییت آب آبیاری در محدودهٔ متوسط قرار دارد و در این محدوده آبشویی پیشنهاد می‌شود.

جدول ۴- نتایج تحلیل آماری داده‌های آب زیرزمینی منطقهٔ مورد مطالعه

Table 4- Results of statistical analysis of groundwater data in the study area

پارامتر	EC (میکروموس بر سانتی‌متر)	TDS (میلی‌گرم بر لیتر)	pH	Ca (میلی‌گرم بر لیتر)	Mg (میلی‌گرم بر لیتر)	Na (میلی‌گرم بر لیتر)	K (میلی‌گرم بر لیتر)	HCO3 (میلی‌گرم بر لیتر)	CO3 (میلی‌گرم بر لیتر)	CL (میلی‌گرم بر لیتر)	SO4 (میلی‌گرم بر لیتر)	SAR	PI
میانگین	8097.3	5101.4	7.8	10.9	9.3	64.1	0.2	3.4	0.1	62.8	16.5	21.8	86.8
حداکثر	19230	12114.9	8.5	33.6	26.6	142	0.5	5.6	1	167	51.8	47.1	123.9
حداقل	1511	951.9	7.1	0.9	0.5	12.6	0	1.3	0	3.5	5.3	8.9	64.6
انحراف معیار	6282.8	3958	2.8	10.4	8	49.8	0.2	1.4	0.3	56.7	11.6	12	16.6



شکل ۳- پهنه‌بندی مکانی SAR در محدودهٔ مه‌ولات–فیض‌آباد

Figure 3- Spatial zoning of SAR in the Mehwalat-Feyzabad Area

بر اساس کلاس‌بندی جدول ۱ و پهنه‌بندی SAR محدودهٔ مطالعاتی (شکل ۳) در قسمت شمال شرقی و بخشی از شمال منطقه، میزان خطر سدیمی منطقه در حد متوسط و در جنوب شرقی و بخش‌هایی از مرکز منطقهٔ مطالعاتی خطر سدیمی در حد زیاد است. درحالی‌که در بخش غربی منطقه میزان قلیاییت در حد خیلی زیاد قرار دارد. در نقشه پهنه‌بندی ۴۴ درصد از خطر سدیمی محدوده در حد متوسط (کلاس ۱۰–۱۸) قرار دارد.

آب آبیاری با SAR زیاد به‌علت پراکندگی ذرات رس و تورم موجب کاهش پایداری ساختمان خاک شده و در نتیجه سبب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. یک روش پیشنهادی برای کاهش آثار منفی سدیم موجود در آب آبیاری منطقه، تزریق کلسیم در آب است. تزریق کلسیم با کاهش SAR و افزایش EC آب، آثار منفی سدیم را کاهش می‌دهد. تزریق کلسیم همچنین از تشکیل بی‌کربنات سدیم (یک خطر دیگر برای نفوذ آب) جلوگیری می‌کند. تزریق منیزیم معمولاً برای تصفیهٔ آب مورد استفاده قرار نمی‌گیرد؛ زیرا از کلسیم گران‌تر است و کم‌تر در بهبود ساختمان خاک مؤثر است. هم‌چنین، گچ یا منابع دیگر کلسیم محلول (مانند کلرید کلسیم) نیز می‌توانند برای تصفیهٔ آب استفاده شوند. گچ به‌ندرت خالص است؛ بنابراین، مقدار توصیه شده باید بر اساس درجهٔ خلوص تنظیم شود. هم‌چنین، میزان گچ یا سایر منابع کلسیم مورد نیاز به بافت خاک و سایر خصوصیات آب آبیاری بستگی دارد (Hopkins et al., 2007; Dehghani and Saadat, 2018). اثر SAR بر پراکنش ذرات و تخریب ساختمان خاک به مقدار EC آب و خاک نیز بستگی دارد و مقدار EC تعیین‌کننده حد بحرانی تخریب ساختمان خاک توسط سدیم است (Taghizadeh Qassab et al., 2017). با افزایش SAR، خاک منبسط می‌شود (Ruiz et al., 2005) و هم‌چنین پارامتری مؤثر در تعیین کیفیت آب آبیاری برای محصولات مختلف است.

با استفاده از جدول ۵ پارامتر SAR تعیین می‌کند چه محصولاتی با آب آبیاری مورد استفاده می‌تواند کشت شود. در ستون انتهایی جدول ۵ درصد چاه‌هایی که برای هر دسته از محصولات معرفی شده در منطقه قرار دارد، ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، حدود ۶۰ درصد چاه‌ها در طبقه‌بندی محصولات حساس قرار دارد. بنابراین، با توجه به جدول و فارغ از مطالعات اجتماعی الگوی کشت پیشنهادی برای این منطقه ارقام مقاوم لوبیا، شبدر، جو دوسر، برنج و در بعضی مناطق گندم، جو، گوجه‌فرنگی، چغندر، چمن بلند گندم و چمن تاج‌دار است. بر اساس کلاس‌بندی Domenico and Schwartz (1990) کلاس‌های شاخص نفوذپذیری منطقه و پهنه‌بندی مکانی این پارامتر در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- راهنمای تفسیر کیفیت آب آبیاری برای محصولات مختلف محدودهٔ مه‌ولات-فیض‌آباد (Ministry for the Environment, 2000)

Table 5- Guidelines for interpreting irrigation water quality (Ministry for the Environment, 2000) for different products in the Mehwalat-Feyzabad Area

میزان حساسیت محصولات	نسبت جذب سدیم آب آبیاری	نوع محصول	درصد چاه‌های مورد مطالعه
خیلی حساس	2-8	میوه‌ها، مغز خشکبار، مرکبات، آوکادو	3 درصد
حساس	8-18	لوبیا	59 درصد
نیمه مقاوم	18-46	شبدر، جو دوسر، برنج	35 درصد
مقاوم	46-102	گندم، جو، گوجه‌فرنگی، چغندر، چمن بلند گندم، چمن تاج‌دار	3 درصد

در شکل ۴ مشاهده می‌شود که ۶۸ درصد از نمونه‌ها از نظر شاخص نفوذپذیری آب آبیاری محدودهٔ مورد مطالعه در کلاس مناسب و ۳۲ درصد در محدودهٔ نسبتاً مناسب قرار دارند و نمونهٔ آبی در کلاس نامناسب یافت نشد. بنابراین، می‌توان گزارش نمود در صورت استفاده از آب زیرزمینی محدودهٔ مه‌ولات-فیض‌آباد، این آب نفوذپذیری نسبتاً مناسب تا مناسبی دارد.

همان‌طوری‌که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بر اساس پهنه‌بندی شاخص نفوذپذیری آب آبیاری محدودهٔ مطالعاتی در قسمت جنوب شرقی و بخشی از محدودهٔ شرق، میزان شاخص نفوذپذیری در وضعیت نسبتاً مناسب قرار دارد و در سایر نقاط محدودهٔ میزان این شاخص مناسب است. اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC) آب آبیاری از دیگر پارامترهای مؤثر بر آب آبیاری است که پهنه‌بندی مکانی این پارامترها در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است.

بر اساس نقشهٔ پهنه‌بندی مکانی اسیدیته آب منطقه در محدودهٔ مجاز ۷ تا ۸/۵ قرار دارد. هدایت الکتریکی آب محدوده در گروه کم شور تا خیلی شور قرار دارد (جدول ۲ و شکل ۷). آب منطقه کاربرد کشاورزی دارد، اما تنها برای مناطقی که آب آن کم‌شور باشد با انجام آب‌شویی و زه‌کشی بی‌خطر است. برای مناطق لب‌شور، شور و خیلی شور نیاز است بسته به نوع آب و نوع کشت محصول انتخاب شود. لازم به ذکر است برای مناطقی که در گروه خیلی شور قرار دارند نیاز است از گیاهان مقاوم به شوری با زهکشی خوب و در دفعات کم استفاده شود.

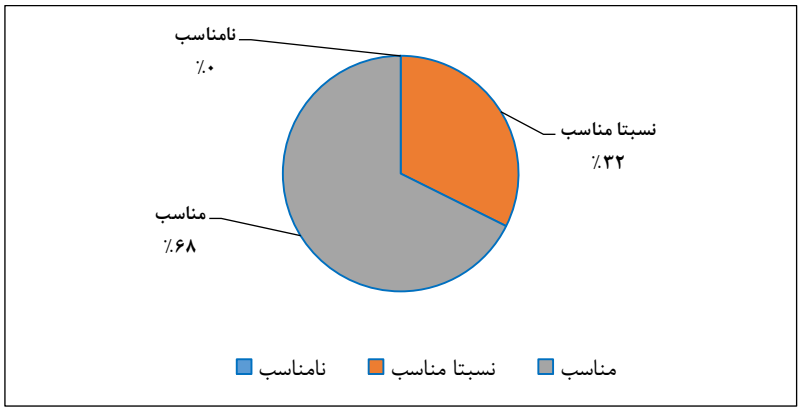
۳-۲- رابطهٔ بین هدایت الکتریکی با سایر پارامترها

بهترین رابطهٔ خطی EC با کاتیون‌ها، آنیون‌ها و TDS (باقیمانده املاح) در شکل ۸ ارائه شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود رابطه EC با پارامتر TDS همبستگی بالایی دارد. با توجه به رابطهٔ ۳، ضریب این رابطه برابر ۶۴۰ است، درحالی‌که نتایج برازش این دو پارامتر حاکی از اختلاف ۱۰ واحدی (کاهش) در این ضریب است. همچنین ضریب ثابت رابطه بین هدایت الکتریکی و مجموع کاتیون‌ها و مجموع آنیون‌ها نسبت به رابطهٔ ۴ به‌ترتیب با افزایش ۰/۳۹ و کاهش ۰/۱ واحدی همراه است. لازم به ذکر است، ضریب تبیین در رابطه بین هدایت الکتریکی با مجموع آنیون‌ها کمتر از رابطه بین هدایت الکتریکی و مجموع کاتیون‌ها و باقیمانده املاح است. دلیل این کاهش را می‌توان به نوع سنجش آنیون‌ها نسبت به کاتیون‌ها و هم‌چنین سنجش نشدن تمام آنیون‌ها مربوط دانست، به‌طوری‌که سنجش آنیون‌ها بسیار مشکل‌تر و زمان برتر از کاتیون‌هاست. Iyasele et al. (2015) به نتیجهٔ مشابه دست یافتند و ضریب تبیین در رابطهٔ EC و TDS را برابر ۰/۹ گزارش کردند. Soleimani Sardo et al. (2013) نشان دادند در رودخانهٔ چم‌انجیر خرم‌آباد، متغیرهای هدایت الکتریکی، سختی کل و کل مواد جامد محلول دارای روند صعودی و معنادار بوده‌اند. بررسی ارتباط این سه پارامتر نشان می‌دهد که افزایش EC بیان‌گر افزایش مقدار کاتیون‌ها، آنیون‌ها و TDS است و در آینده مصرف این آب برای کشاورزی و شرب را تحت تأثیر قرار خواهد داد (Soleimani Sardo et al., 2013).

۳-۳- بررسی منابع آب برای مصرف شرب

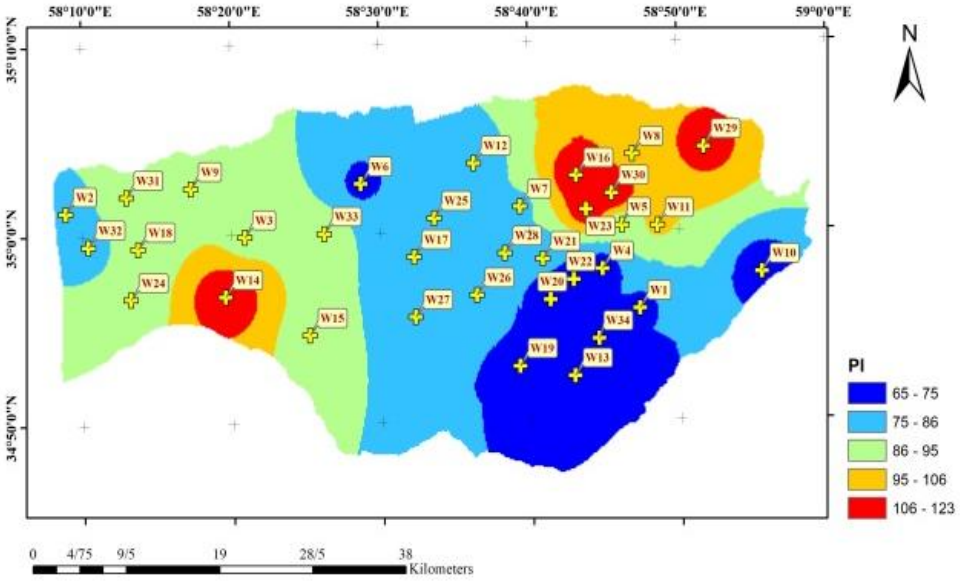
در این بخش، با استفاده از حدود توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2008) کیفیت آب شرب منطقه در

جدول ۶ و هم‌چنین پهنه‌بندی مکانی این پارامترها در شکل ۹ ارائه شد. با توجه به پهنه‌بندی پارامترهای کیفی در شکل ۹ و استانداردهای ارائه شده در جدول ۵، در هیچ منطقهٔ مکانی هدایت الکتریکی (EC) در حد مجاز برای استفادهٔ شرب قرار ندارد. استاندارد ارائه شده آب شرب در جدول ۵ و پهنه‌بندی کل مواد جامد حل شده (TDS) نشان می‌دهند که بخش غالب منطقه در محدودهٔ غیرمجاز قرار گرفته و در برخی نقاط که مقدار آن در محدودهٔ مجاز بوده به‌دلیل چیرگی نقاط مجاور مساحت ناچیزی به خود اختصاص داده به‌طوری‌که قابل چشم‌پوشی است. بنابراین، چاه‌های این محدوده بر اساس این پارامتر در محدودهٔ مجاز برای شرب قرار ندارند. هم‌چنین با استفاده از جدول ۵ و شکل ۹ مشاهده می‌شود که سه پارامتر Cl^-، Na^+ و So_4^{2-} در محدودهٔ مجاز برای استفادهٔ شرب قرار دارند. بررسی شکل ۶ و جدول ۵ اسیدیته (pH) نشان داد که آب منطقه در محدودهٔ مجاز ۷ تا ۸/۵ برای مصرف شرب قرار دارد.



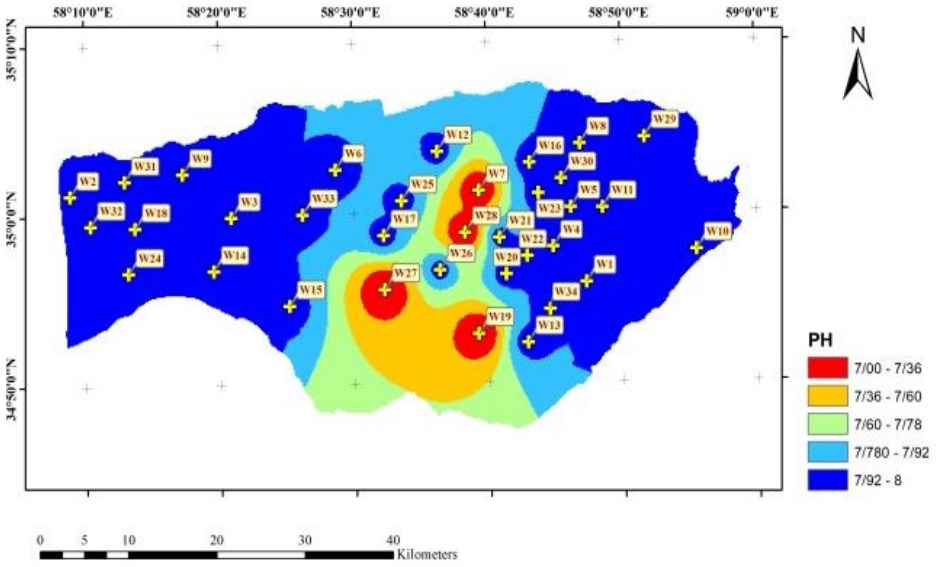
شکل ۴- ارزیابی کلاس‌های شاخص نفوذپذیری آب محدودهٔ مه‌ولات-فیض‌آباد

Figure 4 - Evaluation of water permeability index classes in Mehvalat-Feyzabad area



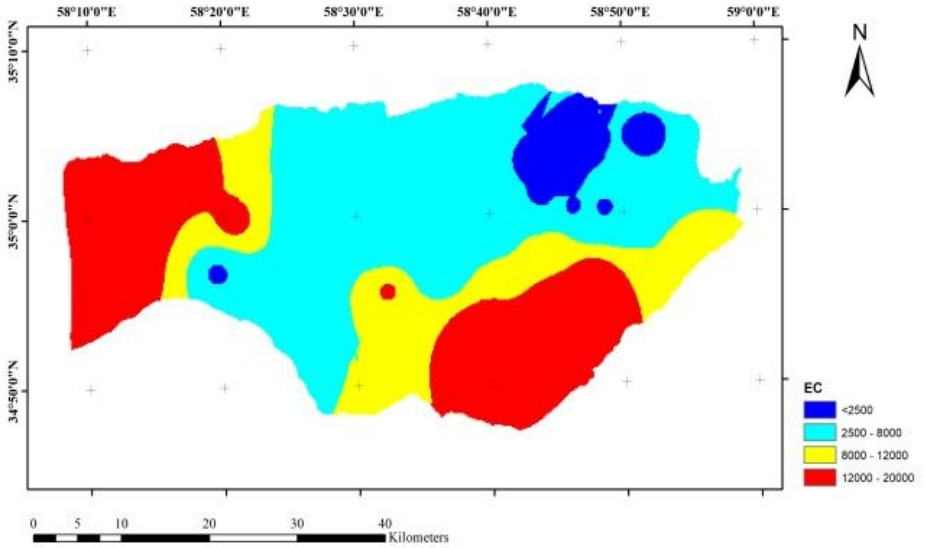
شکل ۵- پهنه‌بندی مکانی شاخص PI محدودهٔ مه‌ولات-فیض‌آباد

Figure 5- Spatial zoning of PI index of Mehwalat-Feyzabad Area



شکل ۶- پهنه‌بندی مکانی شاخص pH محدودهٔ مه‌ولات-فیض‌آباد

Figure 6- Spatial zoning of pH index of Mehwalat-Feyzabad Area



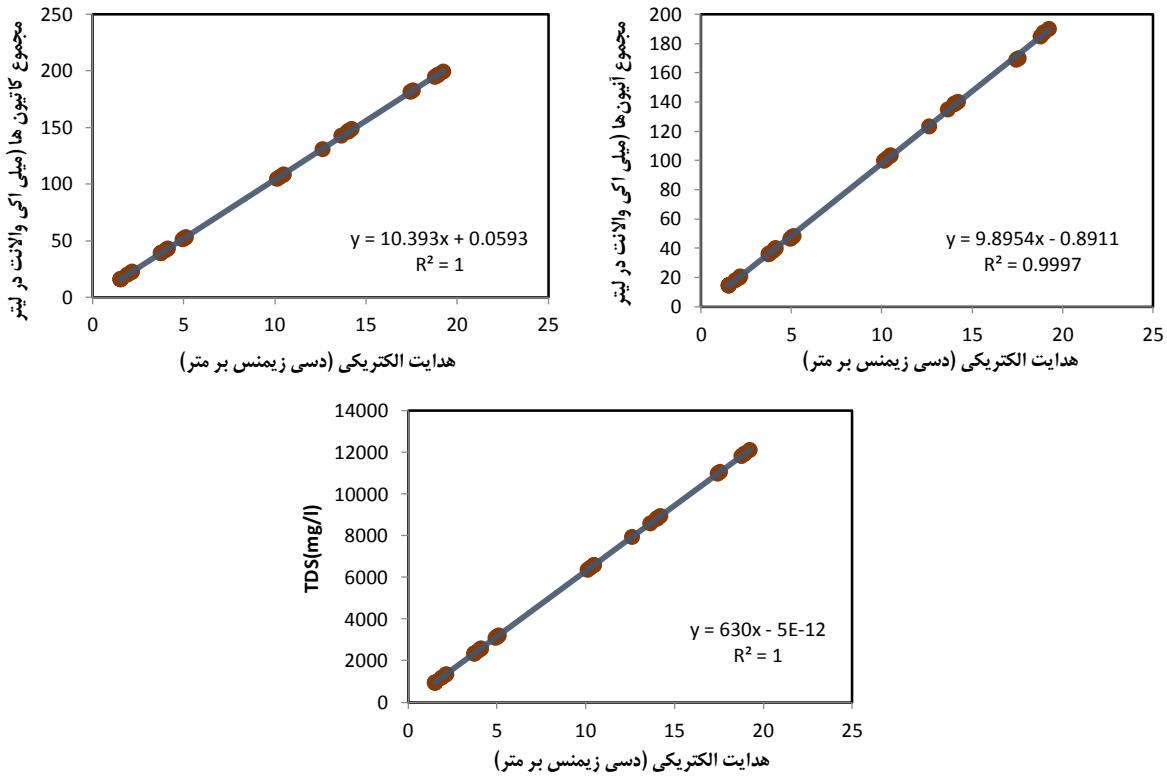
شکل ۷- پهنه‌بندی مکانی شاخص EC محدودهٔ مه‌ولات-فیض‌آباد

Figure 7- Spatial zoning of EC parameter of Mehwalat-Feyzabad

جدول ۶- مقایسهٔ پارامترهای کیفی آب زیرزمینی منطقه با حدود توصیه شده سازمان بهداشت جهانی برای استفادهٔ شرب (WHO, 2008)

Table 6- Comparison of groundwater quality parameters in the region with the recommended limits of the World Health Organization for drinking use (WHO, 2008)

پارامتر	واحد	حد سازمان بهداشت جهانی	محدوده مشاهداتی نمونه‌ها	میانگین مشاهدات	ارزیابی کیفیت
اسیدیته (pH)	-	6.5-8.5	7.1-8.4	7.82	100 درصد نمونه‌ها در محدودهٔ مجاز
هدایت الکتریکی (EC)	µmhos/cm	1500	1511-19230	10370.5	هیچ یک از نمونه‌ها در محدودهٔ مجاز نیستند
کل مواد جامد حل شده (TDS)	mg/l	1000	951.93-12114.9	6533.4	15 درصد نمونه‌ها در محدودهٔ مجاز
کلرید (Cl^-)	mg/l	250	3.5-167	85.25	100 درصد نمونه‌ها در محدودهٔ مجاز
سدیم (Na^+)	mg/l	200	12.6-142	77.3	100 درصد نمونه‌ها در محدودهٔ مجاز
سولفات (So_4^{2-})	mg/l	400	5.3-49	27.15	100 درصد نمونه‌ها در محدودهٔ مجاز



شکل ۸- رابطهٔ بین هدایت الکتریکی با باقیماندهٔ املاح، مجموع کاتیون‌ها و مجموع آنیون‌ها

Figure 8 - Relationship between electrical conductivity and solute residue, total cations and total anions

۳-۴- ارزیابی مکانی مصرف کشاورزی و شرب

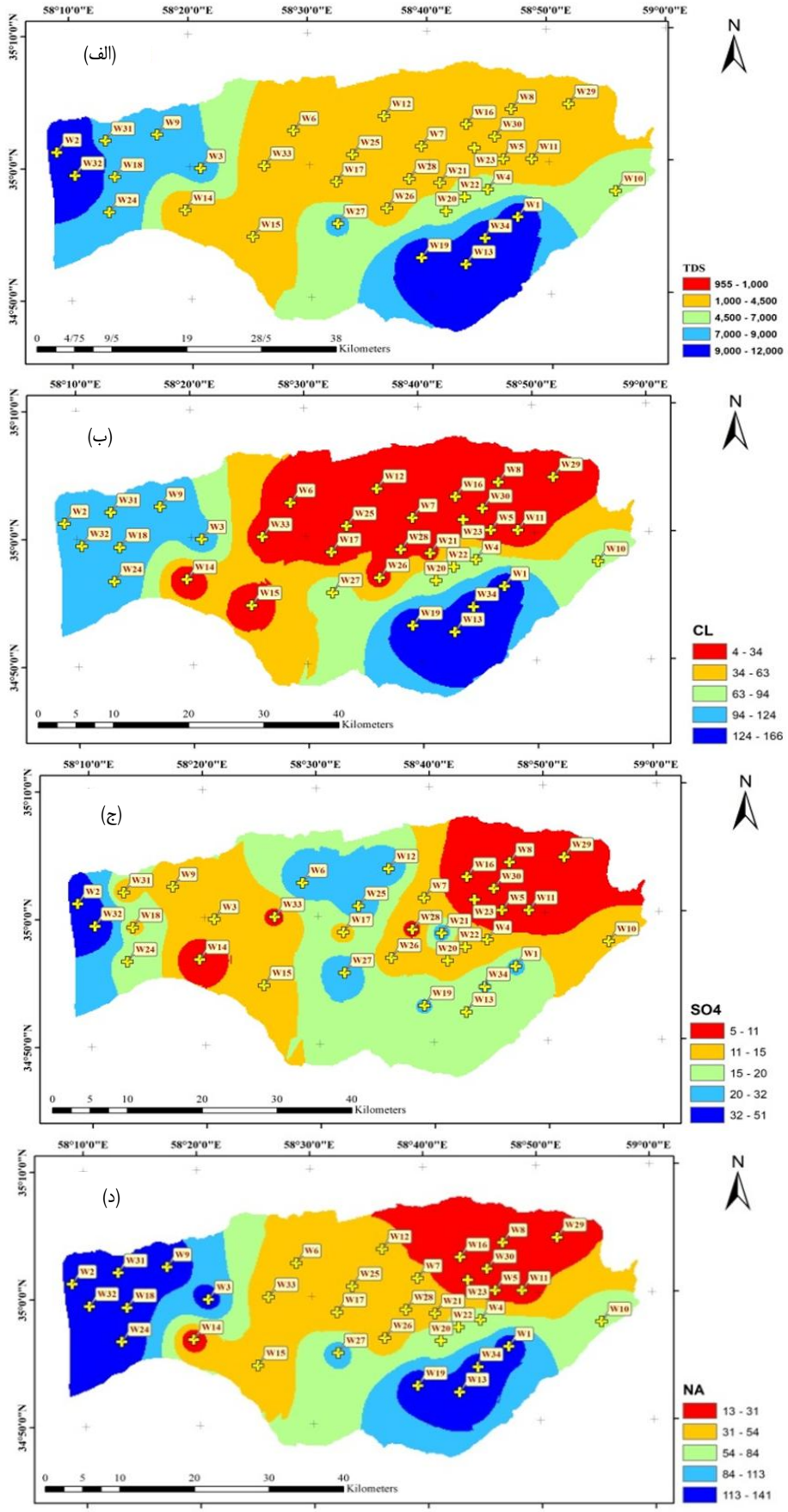
از میان پارامترهای تأثیرگذار بر آب آبیاری، پارامتر اسیدیته (pH) در محدودهٔ مجاز قرار دارد؛ بنابراین، نقشهٔ پهنه‌بندی دو پارامتر SAR، PI و EC (شکل‌های ۳، ۵ و ۷) با نقشهٔ کاربری اراضی (شکل ۱۰) ارزیابی شد. بررسی شکل‌های ۳ و ۹ نشان می‌دهد که برای بخش‌های جنوب شرقی و بخشی از شمال منطقه که کاربری کشاورزی دارند، میزان SAR در محدودهٔ متوسط تا خیلی زیاد قرار دارد؛ بنابراین، در این بخش از منطقه کاربری کشاورزی مناسب نیست.

بررسی شکل‌های ۵ و ۱۰ نشان می‌دهد که در بخش جنوب شرقی منطقه که میزان PI در حد نامناسب قرار دارد، منطقه دارای کاربری کشاورزی است. بررسی شکل‌های ۷ و ۱۰ و جدول ۲ نشان می‌دهد که آب محدودهٔ مطالعاتی برای مناطقی که تا گروه لب‌شور قرار دارند و بخش زیادی از زمین‌های با کاربری کشاورزی را در بر می‌گیرند با ملاحظات ذکر شده در جدول ۲، قابل استفاده برای کشاورزی است. اما در مناطقی که هدایت الکتریکی آب آبیاری بالای ۸۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است و در گروه شور و خیلی شور قرار می‌گیرند نیاز است از گونه‌های مقاوم به شوری استفاده شود.

بررسی پارامترهای تأثیرگذار برای مصرف شرب (شکل ۹) و نقشهٔ کاربری اراضی (شکل ۱۰) نشان داد که دو پارامتر EC و TDS در محدودهٔ استانداردهای شرب (جدول ۲) قرار ندارند. همچنین بررسی دو نقشهٔ پهنه‌بندی پارامترهای EC (شکل ۷) و SAR (شکل ۳) نشان می‌دهد که در نقاطی که پارامتر EC افزایش یافته، SAR نیز افزایش پیدا کرده است و نشان‌دهندهٔ همبستگی بین این دو پارامتر است که با نتایج Zayn al-Dini et al. (2013) برای منطقهٔ رفسنجان و Noorbakhsh (2001) برای منطقهٔ رودشت اصفهان مطابقت دارد.

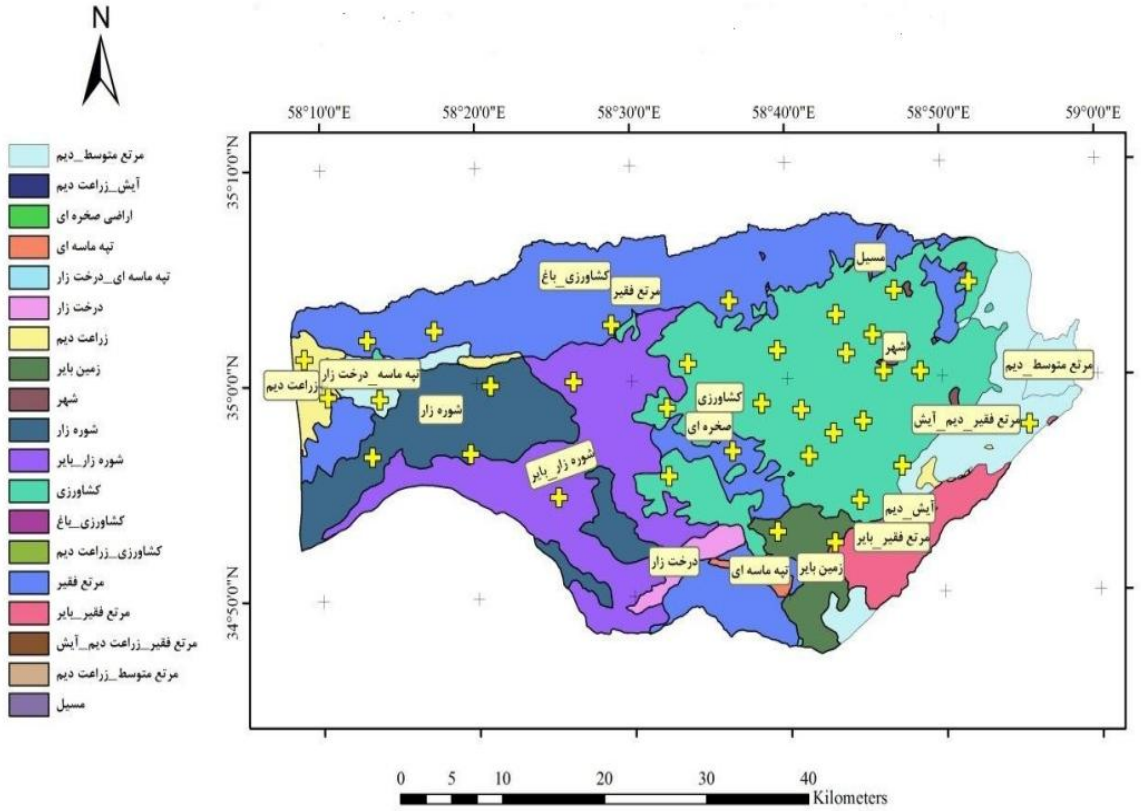
۴- نتیجه‌گیری

بررسی کیفیت آب گامی مهم در جهت استفادهٔ بهینه و مناسب از منابع آب برای شرب و همچنین انتخاب الگوی کشت مناسب و سازگار با کیفیت آب است. از این‌رو ضرورت مطالعهٔ ویژگی‌های کیفی آب در برنامه‌های مدیریت منابع آب به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است. در مناطق خشکی همچون مه‌ولات-فیض‌آباد بررسی کیفیت آب منطقه و ارزیابی آن برای دو کاربری حیاتی شرب و کشاورزی اهمیت زیادی دارد. اسیدیته (pH)، شاخص نفوذپذیری آب آبیاری (PI)، نسبت جذب سدیم (SAR) که نمایه‌ای برای تعیین خطرات ناشی از سدیمی شدن خاک است و هدایت الکتریکی (EC) از تأثیرگذارترین پارامترهای قابل بررسی در آب آبیاری کشاورزی هستند. هر کدام از آن‌ها بسته به



شکل ۹- پهنه‌بندی مکانی پارامترهای TDS (الف)، Cl^- (ب)، So_4^{2-} (ج) و Na^+ (د) محدودهٔ مطالعاتی مه‌ولات-فیض‌آباد

Figure 9- Spatial zoning of TDS (a), Cl^- (b), So_4^{2-} (c), and Na^+ (d) parameters- Mahwalat-Feyzabad study area



شکل ۱۰- نقشهٔ کاربری اراضی محدودهٔ مطالعاتی مه‌ولات-فیض‌آباد

Figure 10- Land use map of Mahwalat-Feyzabad study area

کلاس‌های متفاوتی که آب منطقه در آن قرار می‌گیرد ملاحظات خاص خود را می‌طلبد.

نتایج سنجش کیفیت آب مربوط به داده‌های کیفی آبخوان دشت مه‌ولات-فیض‌آباد نشان می‌دهد که تنها درصورتی می‌توان از آب منطقه برای کشاورزی استفاده نمود که آبشویی انجام شود. پیشنهاد می‌شود برای مناطقی که SAR در حد بالایی قرار دارد برای کاهش آثار منفی سدیم، از گچ یا منابع دیگر کلسیم محلول (مانند کلرید کلسیم) برای تصفیهٔ آب استفاده شود. از آن‌جایی‌که آثار منفی سدیم، تخریب خاک و کاهش ارزش اقتصادی محصولات را به‌دنبال دارد، پیشنهاد می‌شود در طرح‌های توسعه‌ای کشاورزی نیاز آبشویی، کارآیی آب و جریان خروجی مزرعه تحت کشت محصولات مختلف بررسی شود تا تأثیر کیفیت آب منطقه بر رشد محصولات نمایان شود.

با توجه به محدودهٔ پارامتر SAR و فارغ از مطالعات اجتماعی، الگوی کشت پیشنهادی برای این منطقه ارقام مقاوم لوبیا، شبدر، جو دوسر، برنج و در بعضی مناطق گندم، جو، گوجه‌فرنگی، چغندر، چمن بلند، گندم، چمن تاج‌دار است. با توجه به این‌که شوری آب منطقه برای کشاورزی از کم‌شور تا خیلی شور ارزیابی شد، نتیجه‌گیری می‌شود انجام عملیات آبشویی و زهکشی ضرورت دارد و نوع کشت بر اساس طبقه آب از کم‌شور تا خیلی شور انتخاب شود. برای مناطقی که در گروه خیلی شور قرار دارند از گیاهان مقاوم به شوری، با زهکشی خوب و با تعداد دفعات کم استفاده شود.

پارامترهای اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کل مواد جامد حل شونده (TDS)، کلرید (Cl^-)، سدیم (Na^+) و سولفات (So_4^{2-}) پارامترهای مؤثری برای مصرف شرب هستند که حدود مجاز آن‌ها توسط سازمان بهداشت جهانی ارائه شده است. برای بررسی قابلیت آب شرب محدودهٔ مورد مطالعه با استفاده از استانداردهای ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی کیفیت آب شرب بررسی و مشاهده شد که با وجود به این‌که سه پارامتر کلرید (Cl^-)، سدیم (Na^+) و سولفات (So_4^{2-}) در محدودهٔ مجاز قرار دارند اما پارامترهای EC و TDS ارزیابی شده با توجه به استانداردهای موجود برای استفادهٔ شرب در حد مجاز نیستند، لذا استفاده از آب منطقه برای مصرف شرب مناسب نیست و پیشنهاد نمی‌شود.

منابع

اسلامی، ف.، شکوهی، ر.، درویش متولی، م.، و سالاری، م. (۱۳۹۶). ارزیابی شاخص کیفیت آب (WQI) منابع آب زیرزمینی استان کرمان در سال ۱۳۹۴. *سلامت محیط کار*، ۳(۱)، ۴۸-۵۸.

تقی‌زاده قصاب، ا.، صفادوست، ا.، و مصدقی، م.ر. (۱۳۹۶). تأثیر شوری و سدیم آب آبیاری و بافت خاک بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک و رطوبت مناسب برای خاک‌ورزی. *پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)*، ۳۱(۳)، ۴۱۹-۴۳۰.

جلیلی، ف. ۱۳۹۷. اثر شوری و نسبت جذب سدیم (SAR) آب آبیاری بر عملکرد و نسبت‌های یونی در دو رقم کلزا (Brassica napus L). *مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۸(۱)، ۱۷۵-۱۸۲.

دهقانی، ف.، و سعادت، س. (۱۳۹۷). دستورالعمل استفاده از گچ برای اصلاح خاک‌های سدیمی. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۵۵۶.

زارع‌ابیانه، ح.، جوزی، م.، افروزی، ع.، و غریب‌زاده، ا. (۱۳۹۳). تعیین روابط هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) با برخی پارامترهای شوری خاک در مقایسه با روش جدید تعیین EC_e. *مهندسی آبیاری و آب*، ۴(۱۶)، ۸۱-۹۳.

زکی، م.، و انصاری، ح. (۱۳۹۴). بررسی امکان اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر اساس پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در دشت نیشابور. کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

زین‌الدینی، م.، شیرانی، ح.، مظفری، و.، و اسفندیارپور، ع. (۱۳۹۲). تغییرپذیری قابلیت هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم خاک و تأثیر آن‌ها بر رشد پسته. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۰(۶)، ۱۶۵-۱۸۱.

سلیمانی ساردو، م.، ولی، ع. ع.، قضاوی، ر.، و سعیدی گراغانی، ح. ر. (۱۳۹۲). آنالیز و روندیابی پارامترهای کیفیت شیمیایی آب، مطالعهٔ موردی رودخانهٔ چم انجیر خرم‌آباد. *مهندسی آبیاری و آب*، ۱۲(۳)، ۹۵-۱۰۶.

صالحی، ح.، زینی‌وند، ح.، و احمدی، ش. (۱۳۹۶). ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی و انتخاب مناسب‌ترین روش میان‌یابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شهرستان سقز. *اکوبیولوژی تالاب*، ۹(۳۲)، ۵-۱۸.

عسکری مارنانی، ص.، چیت‌سازان، م.، و میرزایی، ی. (۱۳۸۸). بررسی کیفیت آب زیرحوضه رودخانه فیروزآباد از نظر شرب و کشاورزی با استفاده از GIS. هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران.

علیزاده، ا. (۱۳۹۳). رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ چهاردهم، انتشارات دانشگاه صنعتی سجاد، ۷۲۷ صفحه.

غلامعلی‌زاده، ه. (۱۳۸۶). کیفیت و ارزیابی کیفی آب آبیاری. چاپ دوم، انتشارات علوم کشاورزی، ۱۱۸ صفحه.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، (۱۳۸۹). ضوابط زیست‌محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها. نشریه ۵۳۵، تهران، ایران.

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۸۸). آب آشامیدنی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی. تجدید نظر پنجم، ایران.

مومنی دمنه، ج.، جولایی، ف.، علیدادی، ح.، و پیروی، ر. (۱۳۹۴). ارزیابی روش‌های درون‌یابی جهت تعیین تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (مطالعهٔ موردی: دشت گناباد). *پژوهش در بهداشت محیط*، ۱(۳)، ۱۶۵-۱۷۶.

نوربخش، ف. (۱۳۸۰). بررسی رابطه بین هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، غلظت یون کلرید و قدرت یونی در عصاره اشباع برخی خاک‌های شور و سدیمی منطقه رودشت اصفهان. *پژوهش و سازندگی*، ۱۴(۱)، ۶۴-۶۶.

ودیعتی، م.، اصغری مقدم، ا.، و نخعی، م. (۱۳۹۴). ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی با استفاده از مدل استنتاج فازی. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. ۹(۳۱)، ۶۹-۷۷.

وزارت نیرو. (۱۳۹۸). دشت‌های ممنوعه کشور. شرکت مدیریت منابع آب ایران معاونت حفاظت و بهره‌برداری، دفتر حفاظت و بهره‌برداری منابع آب و امور مشترکین، تهران، ایران.

Refernces

Alizadeh, A. (2014). *The relationship between water, soil and plants*. Fourteenth edition: Sajjad University of Technology Publications, 727 pages (in Persian).

Askari Marnani, P., Chit Sazan, M., & Mirzaei, Y. (2009). Investigation of water quality in Firoozabad river basin in terms of drinking and agriculture using GIS. 8th International River Engineering Seminar, Ahwaz, Iran (in Persian).

Arsalan, H. (2012). Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turkey. *Agricultural Water Management*, 113, 57-63.

Ministry for the Environment, (2000). Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. National Water Quality Management Strategy.

Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1976). Water quality for agri-culture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29.

Ayers, R.S., & Westcot., D.W. (1985). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev.1.

Chang, C., Sommerfeldt, T.G., Carefoot, J.M., & Schaalje, G.B. (1983). Relationship of electrical conductivity with total disolved salts and cation concentration of sulfate-dominant

soil extracts. Canadian. *Journal of Soil Science*, 63(1), 79-86.

Corwin, D., & Lesch., S. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1-3), 11-43.

Cressie, N. (1990). The origins of kriging. *Mathematical Geology*, 22(3), 239-252.

Daniele, L., Vallejo, Á., Corbella, M., Molina, L., & Pulido-Bosch, A. (2013). Hydrogeochemistry and geochemical simulations to assess water-rock interactions in complex carbonate aquifers: the case of Aguadulce (SE Spain). *Applied Geochemistry*, 29, 43–54.

Dehghani, F., & Saadat, S. (2018). Instructions for using gypsum to modify sodium soils. Ministry of Jihad Agriculture, Agricultural Research, Education and Extension Organization Soil and Water Research Institute, Journal No. 556 (in Persian).

Doneen, L.D. (1964). *Notes on water quality in agriculture*. Part 1, Issue 4001 of Water Science and Engineering papers, Department of Water Sciences and Engineering, University of California, Davis, 96 pages.

Domenico, P.A., & Schwartz, F.W. (1990). *Physical and Chemical Hydrogeology*. vol. 824. Wiley, New York.

Ebrahimi, M., Kazemi, H., Ehtashemi, M., & Rockaway, T.D. (2016). Assessment of groundwater quantity and quality and saltwater intrusion in the Damghan Basin, Iran. *Geochemistry*, 76(2), 227-241.

Vice President for Strategic Planning and Oversight, (2010). Environmental criteria for reuse of returned water and wastewater. Journal 535 (in Persian).

Eslami, F., Shokouhi, R., Darvish Motavi, M., & Salari, M. (2017). Evaluation of water quality index (WQI) of groundwater resources in Kerman province in 1394, *Journal of Occupational Health, 3(1), 48-58* (in Persian).

Gholamalizadeh, H. (2007). *Quality and quality assessment of irrigation water*. Second edition, Agricultural Sciences Publications, 118 pages (in Persian).

Hopkins, B.G., Horneck, A.D., Stevens, R.G., Ellsworth, J.W., & Sullivan, D.M. (2007). *Managing irrigation water quality for crop production in the Pacific Northwest*. Pacific Northwest Extension Publication, PNW 597-E, 29 pages.

Institute of Standards and Industrial Research, (2009). Drinking water physical and chemical properties. Fifth Edition, Iran (in Persian).

Iyasele, J.U., David., J., & Idiata, D.J. (2015). Investigation of the relationship between electrical conductivity and total dissolved solids for mono-valent, di-valent and trivalent metal compounds. *International Journal of Engineering Research and Reviews*, 3(1), 40-48.

Jalili, F. (2018). Effect of salinity and sodium absorption ratio (SAR) of irrigation water on yield and ion ratios in two rapeseed cultivars (*Brassica napus L.*). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8(1), 175-182 (in Persian).

Kawy, W. (2012). Use of spatial analyses techniques to suggested irrigation scheduling in WadiElNatrun Depression, Egypt. *Arab Journal Geoscience*. 5(6), 1199–1207.

Maria., P.M., & Luis, R. (2010). Nitrate probability mapping in the northern aquifer alluvial system of the river Tagus (Portugal) using Disjunctive kriging. *Science of the Total Enviroment*, 408(5), 1021-1034.

Maroufpoor, S., Jalali, M.N., Nikmehr, S., Shiri, N., Shiri, J., & Maroufpoor, E. (2020). Modeling groundwater quality by using hybrid intelligent and geostatistical methods. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(22), 1-15.

Milovanovic, M. (2007). Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/ Vardar River, *Southeastern Europe. Desalination*, 213, 159–173.

Ministry of Energy. (2019). Forbidden plains of the country. Iran Water Resources Management Company Deputy of Protection and Exploitation. Office of Protection and Exploitation of Water Resources and Customer Affairs.

Momeni Demneh, J., Julaei, F., Alidadi, H., & Piravi, R. (2015). Evaluation of interpolation methods to determine the spatial variation of groundwater quality parameters (Case study of Gonabad plain). *Environmental Health Research*, 1(3), 165-176 (in Persian).

Noorbakhsh, F. (2001). Investigation of the relationship between electrical conductivity, sodium adsorption ratio, chloride ion concentration and ionic strength in saturated extracts of some saline and sodium soils of Rudasht region of Isfahan. *Research and construction*, 14(1), 64-66 (in Persian).

Oliver, M.A. (1990). Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographic Information Systems*, 4(3), 313–332.

Richards, L.A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. US Department of Agriculture Handbook, 60 pages.

Ruiz, V., Wu, L., & Lu, J. (2005). Effect of sodicity on the water characteristics of six California soils. The American Society of Agronomy, the Crop Science Society of America, and the Soil Science Society of America International Annual Meetings, Salt Lake City, US.

Salehi, H., Zinivand, H., & Ahmadi, Sh. (2017). Groundwater quality assessment and selection

of the most appropriate intermediation method using Geographic Information System (GIS) in Saqez. *Wetland Ecobiology Quarterly*, 9(32), 5-18 (in Persian).

Sameh, R., Zaki, M., Redwan, M., Ahmed M., Ahmed, A., & Moneim, A. (2018). Chemical characteristics and assessment of groundwater quality in Halayieb area, southeastern part of the Eastern Desert. *Egypt. Geosciences Journal*, 23, 149-164.

Singh, P., Tiwari A.K., & Singh, P.K. (2014). Hydro chemical characteristic and quality assessment of groundwater of Ranchi Township area, Jharkhand, India. *Current World Environment*, 9(3), 804-813.

Soleimani Sardo, M., Wali, A.A., Ghazavi, R., & Saeedi Graghani, H. (2013). Analysis and trending of chemical water quality parameters; Case study of Cham fig river in Khorramabad. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 12(3), 95-106 (in Persian).

Taghizadeh Qassab, A., Safadoust, A., & Mossadeghi, M.R. (2017). The effect of salinity and sodium of irrigation water and soil texture on some mechanical properties of soil and moisture suitable for tillage. *Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 31(3), 419-430 (in Persian).

U.S. Salinity Laboratory Staff, (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Department of Agriculture, Handbook 60, Government Print Office, Washington, DC, 160 pages.

Valenza, A., Grillot, J.C., & Dazy, J. (2000). Influence of groundwater on the degradation of irrigation soils in a semi-arid region, the inner delta of the Niger River, Mali. *Hydrogeology*, 8(4), 417-429.

Vadiati, M., Asghari Moghadam, A., & Nakhaei, M. (2015). Groundwater quality assessment for agricultural use using fuzzy inference model. *Iranian Watershed Management Science and Engineering*, 9(31), 69-77 (in Persian).

Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., Vijayaragavan, K., Rajiv Ganthi, R., Chidambaram, S., Anandhan, P., Manivannan, R., & Vasudevan, S. (2010). Application of Water Quality Index for Groundwater Quality Assessment: Thirumanimuttar Sub-Basin, Tamilnadu, India. *Environmental Monitoring Assessment*, 17, 595-609.

WHO, (2008). Guidelines for drinking-water quality. Third edition incorporating the first and second addenda, Volume 1 Recommendations, Geneva.

Zaman, M., Shahid, S.A., & Heng, L. (2018). *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques*. Springer International Publishing.

Zare Abyaneh, H., Jozi, M., Afroozi, A., & Gharibzadeh, A. (2014). Determining the electrical conductivity relationships of saturated extract (ECe) with some soil salinity parameters in comparison with the new ECe determination method. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 4(16), 81-93 (in Persian).

Zaki, M., & Ansari, H. (2015). Investigating the possibility of implementing pressurized irrigation systems based on groundwater quality parameters in Neishabour plain. National Congress of Irrigation and Drainage, Mashhad, Iran (in Persian).

Zayn al-Dini, M., Shirani, H., Mozaffari, W., & Esfandiarpour, A. (2013). Variability of electrical conductivity and soil sodium uptake ratio and their effect on pistachio growth. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 20(6), 165-181 (in Persian).