Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Investigation of groundwater quality changes in Varamin Plain of Tehran

Alireza Ahmadi[1*]

[1] Graduated M.Sc. Student, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Introduction

Assessing the quality of water resources, especially drinking water resources, has been of great importance in recent years, along with the per capita reduction of available water resources. Water quality index for drinking and irrigation expresses the total quality of water through a single number at a specific time and place based on various water quality parameters. In this study, the quality of water resources in Varamin Plain was studied using water quality index (WQI) over a period of 10 years.

Materials and Methods

Varamin plain is located 45 km southwest of Tehran and at an altitude of approximately 1000 meters above sea level. Its alluvial plain area is about 138,000 ha, of which more than 50,000 ha are agricultural lands. In this research, data from 35 qualitative data samples including pH, total dissolved solids (TDS), EC, Calcium, Potassium, Sodium, Magnesium, Bicarbonate, Chlorine and Sulfate have been studied. Also, using Pearson correlation, the relationship and the effect of the parameters on each other were investigated. These samples were prepared from different parts of Varamin Plain in a period of 10 years (2008-2018) and the concentration of parameters affecting the quality of groundwater resources was investigated. In this study, ArcGIS 10.5 software was used to prepare spatial distribution maps and SPSS software was used for statistical analysis.

Results and Discussion

According to the WQI in 2008, 51.42% of the region has inadequate water, which in 2018 has decreased to 45%. Also, calcium, sodium and chlorine have a positive and significant correlation with TDS. According to the spatial distribution map of Varamin Plain in 2018, it has more area with suitable quality, while the southern and southwestern part of the region, despite improving the water quality of the region, still have unsuitable quality for drinking. The WQI spatial distribution maps show that the area percent of good class of WQI in 2018 has increased compared to 2008. In both years, the southern and southwestern regions are in poor condition. The high concentration of TDS and EC in some places was due to land use change, wastewater discharge, ecogeomorphological factors, as well as over-extraction of groundwater resources. Good quality range in 2008 is in the central areas, which in 2018; these areas include most of the central and eastern regions.

Conclusion

In general, the results of this study showed that currently the values of a number of effective parameters in determining the quality of groundwater resources such as TDS and EC in most sampled areas and also the pH value in some sampled areas of Varamin Plain has exceeded the standards. In addition, groundwater quality has slightly improved during the study period (2008-2018). Thus, considering the widespread impact of human factors on reducing the quality of groundwater resources in Varamin Plain and the severe rate of groundwater abstraction, careful study of illegal wells in the region, quality protection of groundwater resources and management of exploitation wells and the use of appropriate irrigation systems, proper harvesting as well as proper drainage of agricultural lands is essential in future plans.

Keywords: Environment, Exploitation wells, Groundwater, Quality parameters, Water resources.

Article Type: Research Article

[*]Corresponding Author, E-mail: alirezaahmadi@ut.ac.ir

Citation: Ahmadi, A. (2022). Investigation of groundwater quality changes in Varamin Plain of Tehran. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(1), 14-26.
DOI: 10.22098/MMWS.2021.9356.1037
DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.1.2.7

Received: 06 August 2021, Accepted: 03 October 2021
Water and Soil Management and Modeling, Year 2022, Vol. 2, No. 1, pp.14-26

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی در دشت ورامین تهران

علیرضا احمدی[۱*]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

ارزیابی کیفیت منابع آب به‌خصوص منابع آب آشامیدنی در سال‌های اخیر هم‌زمان با کاهش سرانهٔ منابع آب در دسترس، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش، کیفیت منابع آب دشت ورامین با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) در یک بازهٔ ۱۰ ساله (۹۷-۱۳۸۷) مورد بررسی قرار گرفت. بدین‌منظور، تعداد ۳۵ نمونه از نقاط مختلف دشت ورامین تهیه شد و غلظت پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، کلسیم، سدیم و کلر با کل مواد جامد محلول (TDS) همبستگی مثبت و معناداری دارند. هم‌چنین، بر اساس نقشه توزیع مکانی منطقهٔ دشت ورامین در سال ۱۳۹۷ مساحت بیش‌تری را با کیفیت مناسب داشته است در حالی‌که قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی منطقه در بازهٔ ۱۰ ساله با وجود بهبود کیفیت آب منطقه، هم‌چنان دارای کیفیت نامناسب برای شرب هستند. به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در حال حاضر تعدادی از پارامترهای مؤثر در تعیین کیفیت منابع آب زیرزمینی، مانند TDS، هدایت الکتریکی (EC) در اکثر نقاط نمونه‌برداری شده و هم‌چنین مقدار pH در بعضی نقاط نمونه‌برداری شده دشت ورامین از حد مجاز استانداردها فراتر رفته است. علاوه بر این، کیفیت آب زیرزمینی نیز در بازهٔ زمانی مورد مطالعه کمی بهبود یافته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بر اساس WQI در سال ۱۳۸۷، ۵۱/۴۲ درصد منطقه دارای آب نامناسب از نظر شرب است که این مقدار در سال ۱۳۹۷ به ۴۵ درصد کاهش یافته است. هم‌چنین، میزان ۳۱ درصد آب با کیفیت بد در سال ۱۳۸۷ به ۲۲ درصد کاهش یافته است، درحالی‌که مقدار میزان آب با کیفیت خوب در سال ۱۳۹۷ تا ۲۵ درصد افزایش یافته است. به‌این‌ترتیب توجه به تأثیر گسترده عوامل انسانی بر کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت ورامین و برداشت شدید آب زیرزمینی، بررسی دقیق چاه‌های غیرمجاز در منطقه، حفاظت کیفی از منابع آب زیرزمینی و مدیریت برداشت چاه‌های بهره‌برداری و هم‌چنین استفاده از سامانه‌های آبیاری مناسب در جهت کاهش برداشت و هم‌چنین زهکشی مناسب اراضی کشاورزی در طرح‌های آتی امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، پارامترهای کیفی، چاه‌های بهره‌برداری، محیط زیست، منابع آب

نوع مقاله: پژوهشی

[*] مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: alirezaahmadi@ut.ac.ir

استناد: احمدی، ع. (۱۴۰۱). بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی در دشت ورامین تهران. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۱)، ۱۴-۲۶.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.9356.1037

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.1.2.7

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۱

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۱، صفحه ۱۴ تا ۲۶

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

آب از مهم‌ترین منابع طبیعی، اساسی‌ترین عنصر برای حیات موجودات، مهم‌ترین عوامل برای تداوم حیات جانداران و تنها مایع غیرآلی است که به‌طور طبیعی در سطح زمین وجود دارد و جزء سیاسی‌ترین مواد در جهان به‌حساب می‌آید (Ebadi and Hisorive., 2017; Hussain et al., 2008; Naderi et al., 2018). آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف، مانند کشاورزی، صنعت و شرب دارند (Ehteshami et al., 2014; Naderi et al., 2018; Zohrabi et al., 2015). بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منابع آب در کشورها بر اساس پتانسیل بالقوه منابع آب سطحی است و شناخت شرایط هر منبع در برنامه‌ریزی آب و تأمین مصارف بخش‌های مختلف دارای اهمیت زیادی است (Effendi, 2016; Noori et al., 2019).

منابع آب به‌علت تخلیهٔ انواع مختلف آلاینده‌های موجود در پساب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری به‌عنوان یکی از کانون‌های بحرانی از نظر آلودگی مطرح هستند. آلودگی آب از نمونه‌های بارز تخریب منابع زیستی است. بسیاری از کشورهای جهان خسارت جبران‌ناپذیری درنتیجهٔ بهره‌برداری بی‌رویه و تخلیه آب‌های آلوده ناشی از فعالیت‌های صنعتی و شهری دارند (Alishiri et al., 2017; Jahin et al., 2020; Golshan et al., 2020). بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب زیرزمینی منجر به خطر قابل‌توجهی برای سلامت منابع آب شده است.

آلودگی آب رودخانه‌ها پدیده‌ای است که در آن کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب به‌واسطهٔ تخلیه مواد زائد، مانند فاضلاب‌های بهداشتی، رواناب‌های شهری، پساب‌های صنعتی، کشاورزی و دام‌پروری تغییر می‌کند (Fakouri Dekahi et al., 2018; Zohrabi et al., 2015). این آلاینده‌ها آثار منفی زیادی بر محیط زیست و سلامت آبزیان، اکوسیستم و زندگی انسان بر جای گذاشته و احیای مجدد محیط‌های آبی نیز نیازمند صرف وقت، هزینه و تلاش فراوانی است (Naderi et al., 2018; Alishiri et al., 2017). سازمان‌های بین‌المللی همواره بر حفاظت و پاک‌سازی منابع آب توجه ویژه‌ای دارند (Matta et al., 2017). به‌طور کلی گسترش شهرها و احداث واحدهای صنعتی و کشاورزی، وابسته به وجود منابع آب کافی به‌ویژه آب زیرزمینی بوده است (Misaghi et al., 2017; Singh and Kamal, 2014). در این مناطق منابع آب زیرزمینی نه‌تنها تأمین‌کنندهٔ مصارف مختلف آب هستند، بلکه به‌عنوان مجاری طبیعی در انتقال پساب‌ها و فاضلاب‌های تولیدشده، عمل می‌نمایند (Sharifinia et al., 2017). حفظ کیفیت منابع آب به‌منظور تأمین آب آشامیدنی، ارتقاء فعالیت‌ها و کاربری‌های تفریحی و ایجاد یک اکوسیستم مناسب برای ماهیان و حیات‌وحش، مستلزم کیفیت بالای منابع آب رودخانه است. به این دلیل، آگاهی از روند تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها همراه با شناسایی عوامل اصلی آلودگی آن از اهمیت بسیاری برخوردار است (Neissi and Tishehzan, 2018; Nosrati et al., 2018). یکی از ساده‌ترین روش‌ها، جهت تعیین شرایط کیفی آب، استفاده از شاخص‌های کیفی آب است که می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای مدیران منابع آب و متخصصان مربوطه به کار گرفته شود (Brown et al., 1970; Misaghi et al., 2017). شاخص کیفی آب، معیاری برای طبقه‌بندی آب‌های سطحی بر مبنای پارامترهای استاندارد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و در واقع ابزاری ریاضی است که توسط روابطی خاص، برای توصیف ویژگی‌های آب، این پارامترها به کمیت تبدیل شده و سطح کیفی آب را مشخص می‌کند (Noori et al., 2019; Zohrabi et al., 2015).

در پژوهش‌های صورت گرفته در زمینهٔ بررسی کیفیت آب، می‌توان به استفاده از تکنیک‌های آماری و تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای طبقه‌بندی کیفیت آب شرب شهرستان ملارد (Nosrati et al., 2018)، شناسایی زمان و مکان منابع آلاینده برای محافظت از رودخانه‌ها (Dahmardan et al., 2018) و بررسی شاخص‌های کیفیت آب با نمونه‌برداری در فصول مختلف از رودخانه لنگرود (Kazemi et al., 2018) اشاره کرد. Rahmati et al. (2018) روند تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه کارون در پایین‌دست سد گتوند علیا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که کاهش دبی رودخانه، وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیکی و در نتیجه تغییر ناگهانی غلظت پارامترهای کیفی رودخانه در ایستگاه‌های هیدرومتری گتوند، گرگر و عرب اسد در سال‌های مورد مطالعه، از دلایل عمدهٔ افت کیفی جریان رودخانه است. Shatti and Akhoond-Ali (2018) نیز در بررسی وضعیت کیفیت آب رودخانه کارون بیان کردند که تغییرات کیفیت آب، ارتباط مستقیم با میزان دبی رودخانه دارد و افت کیفیت آب در پایین‌دست بر اثر عواملی مانند پساب حوضچه‌های پرورش ماهی، ورود پساب صنعتی و شهری و آب برگشتی از زمین‌های کشاورزی به رودخانه کارون است.

Heydarpour and Jamshidi (2018) بیان داشتند که تغییرات فصلی ورود آلاینده‌ها همچون زهاب منابع آلاینده غیرنقطه‌ای تأثیر به‌سزایی در کاهش کیفیت آب و افزایش میزان کمبود اکسیژن محلول در نقاط پایین‌دست رودخانهٔ تجن داشته است. با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده از سوی این پژوهشگران می‌توان به اهمیت دو چندان بحث ارزیابی کیفیت آب پی‌برد و این‌که ورود فاضلاب‌های تصفیه نشده و رواناب‌های ناشی از

پساب‌های کشاورزی می‌تواند تغییرات زیادی در کیفیت آب و سلامت موجودات زندهٔ رودخانه ایجاد کند.

در این مطالعه آلودگی آب زیرزمینی دشت ورامین از نظر مصارف شرب با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. دشت ورامین از جمله دشت‌های مهم استان تهران است که از نظر مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی اهمیت بالایی دارد. با توجه به کاربری کشاورزی، شرب و صنعت خطر آلودگی، آب‌های زیرزمینی دشت ورامین را تهدید می‌کند. استفاده از آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب، نظر به این‌که آب‌های سطحی در دسترس نبوده و نمی‌تواند به‌تنهایی پاسخگوی نیازهای مختلف بشر باشد، افزایش یافته است. هدف از این مطالعه، ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت ورامین برای یک بازهٔ ۱۰ ساله (۹۷-۱۳۸۷) با استفاده از شاخص کیفیت آب (WQI) و مقایسه با استاندارد کیفی سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2011) در بخش شرب است. در این پژوهش از نرم‌افزار ArcGIS 10.5 برای تهیهٔ نقشه‌های توزیع مکانی WQI و از نرم‌افزار SPSS برای تحلیل آماری داده‌ها استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و طبیعی منطقهٔ مورد مطالعه

دشت ورامین در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی تهران واقع شده و دارای طول جغرافیایی ´۲۸ °۵۱ تا ´۳۹ °۵۱ و عرض جغرافیایی ´۲ °۳۵ تا ´۲۹ °۳۵ است و در ارتفاع تقریبی ۱۰۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. مساحت دشت آبرفتی آن حدود ۱۳۸۰۰۰ هکتار است که بیش از ۵۰۰۰۰ هکتار از آن جزء اراضی کشاورزی محسوب می‌شود. دشت ورامین دارای اقلیم خشک بوده و از ویژگی‌های آن بارندگی کم، گرمای زیاد و دورهٔ خشک طولانی است. نواحی شمالی این منطقه با میانگین دمای سالانه ۱۱ درجهٔ سانتی‌گراد کم‌ترین دمای منطقه و نواحی جنوبی منطقه با میانگین سالانهٔ $^{\circ}C$ ۱۸ بیش‌ترین دما را دارند. توزیع فضایی بارش در این منطقه بیان‌گر آن است که از شمال به جنوب و از غرب به شرق از میزان بارش منطقه کاسته می‌شود. تغییرات بارش ایستگاه ورامین نشان می‌دهد مقدار بارش میانگین سالانه در این منطقه ۱۷۳ میلی‌متر است (Houdaji and Jallaliyan, 2004). آبخوان دشت ورامین در شمال غرب با آبخوان دشت تهران و در جنوب غرب با حوزهٔ آبخیز کرج مرتبط است. در ضمن رودخانهٔ شور که مرز غربی دشت ورامین محسوب می‌شود، دارای نقش تغذیه‌کنندگی است. منبع اصلی تأمین‌کنندهٔ آب این رودخانه رواناب‌های سطحی و فاضلاب‌های خام تهران و شمیرانات است (Shemshaki and Entezam Soltani, 2005). بررسی‌های آب زیرزمینی ورامین مشخص می‌نماید که در این محدوده یک آبخوان آبرفتی به وسعت ۱۰۷۵ کیلومترمربع که کلیهٔ گسترهٔ دشت را فرا گرفته، تشکیل شده است. در این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات کیفی، از آمار و اطلاعات شرکت منابع آب ایران استفاده شده است. برای بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت ورامین، تعداد ۳۵ نقطهٔ نمونه‌گیری برای تجزیه و تحلیل انتخاب شد و بر اساس آن ویژگی‌های کیفی این منابع در شرایط بیشینه و کمینه برآورد شد. نمونه‌های برداشتی در آزمایش‌های صورت گرفته در این مطالعه شامل بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلر (Cl^-)، سولفات (SO_4^{2-})، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+)، کل مواد جامد محلول (TDS) و هدایت الکتریکی بوده است (Office of Water Resources Studies, 2018). موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۲- شاخص WQI[1]

شاخص کیفیت آب برای مصارف آشامیدنی و آبیاری، کیفیت کلی آب را از طریق یک عدد واحد در یک زمان و مکان مشخص بر اساس پارامترهای کیفی مختلف آب بیان می‌کند (Vasanthavigar et al., 2012). هدف از این تحقیق بررسی کیفیت منابع آب دشت ورامین با استفاده از WQI بود. بدین‌منظور از داده‌های کیفی آب سال ۱۳۹۷ که در طرح پایش و آزمایش‌های رایج سازمان منابع آب ایران انجام شده است، استفاده شد. در این مطالعه از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی منابع آب زیرزمینی منطقه از قبیل pH، کلراید، سولفات، بی‌کربنات، کل جامدات محلول، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم استفاده شد. به‌منظور بررسی کیفیت آب و تناسب آن جهت مصارف شرب، از WQI به‌عنوان روش متداول و مناسب می‌توان استفاده نمود (Saeedi et al., 2010; Hamzaoui Azaza et al., 2013). این شاخص پارامتری بسیار مهم برای تعیین کیفیت آب و بررسی تناسب آن برای مصارف شرب است (Avvannavar and Shrihari, 2008). این روش، یک روش وزن‌دهی است که تأثیر ترکیبی پارامترهای مختلف بر کیفیت کلی منابع آب، برای مصارف انسانی را فراهم می‌کند (Vasanthavigar et al., 2012). جهت محاسبهٔ WQI از استاندارد WHO استفاده شد. برای محاسبهٔ این شاخص در ابتدا بر اساس اهمیت هر پارامتر در آب شرب وزنی بین یک تا پنج به هر پارامتر تعلق می‌گیرد. سپس وزن نسبی هر پارامتر با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه شد (Vasanthavigar et al., 2012).

$$W_i = {}^{w_i}/_{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (۱)$$

[1] Water Quality Index

در مرحلهٔ بعد، زیرشاخص کیفی q_i بر اساس رابطهٔ ۲ محاسبه شد:

$$q_i=(C_i/S_i)\times 100 \quad (۲)$$

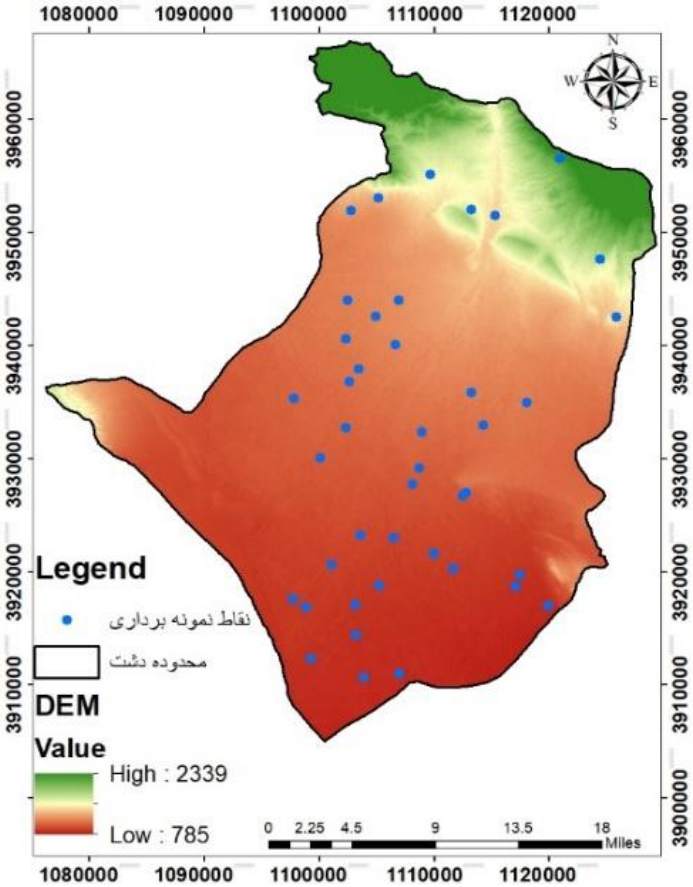
که در آن q_i زیر شاخص پارامتر iام، C_i غلظت هر پارامتر در هر نمونه آب و S_i مقدار استاندارد هر پارامتر بر اساس استاندارد WHO است. سپس، WQI بر اساس رابطه‌های ۳ و ۴ محاسبه شد:

$$SI_i=W_i\times q_i \quad (۳)$$

$$WQI=\sum SI_i \quad (۴)$$

در این مطالعه، به‌منظور بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت ورامین از WQI و برای محاسبهٔ این شاخص، از ۹ پارامتر کیفی استفاده شد. وزن اختصاص یافته به پارامترهای مختلف بر مبنای اهمیت آن‌ها در آب‌های زیرزمینی دشت ورامین برای مصارف شرب، جهت محاسبهٔ WQI، در جدول‌های ۱ و ۲ برای دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ ارائه شده است. بالاترین وزن پنج است که به پارامترهای TDS و هدایت الکتریکی (EC) به‌علت تأثیر بالا بر کیفیت آب برای شرب و کشاورزی اختصاص‌یافته است. Vasanthavigar et al. (2012) نیز بالاترین وزن را به پارامترهای فوق اختصاص داده‌اند. کم‌ترین وزن به پارامترهای سولفات و بی‌کربنات به‌دلیل مقادیر ناچیز و تأثیر کمی که بر کیفیت آب منطقه می‌گذارد، داده شده است (Varol and Davraz, 2014).

بر اساس جدول ۱ پارامترهای TDS و EC در سال ۱۳۸۷ خیلی بیش‌تر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی در بعضی نقاط نمونه‌برداری است که این موضوع می‌تواند در تعیین کیفیت آب منطقه دشت ورامین اثر منفی زیادی در کاربری‌های شرب و کشاورزی بگذارد. در بعضی نقاط پارامتر pH تا بالاترین مقدار مجاز هم اندازه‌گیری شده است و نشان می‌دهد نقاط نمونه‌برداری شده در محدودهٔ خطر است. با بررسی دیگر پارامترها در مقایسه با استاندارد جهانی، وضعیت مطلوب و مناسب است.



شکل ۱- نقشهٔ منطقهٔ مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری شده

Figure 1- Map of the study area and sampled points

جدول ۱- وزن نسبی اختصاص‌یافته به پارامترهای آب زیرزمینی دشت ورامین برای محاسبه WQI (میلی‌گرم بر لیتر) در سال ۱۳۸۷

Table 1- Relative weight assigned to groundwater parameters of Varamin plain to calculate the WQI (mg/l) in 2008

W_i	w_i	WHO (WHO, 2011)	حداکثر	حداقل	پارامتر
0.12	4	6.5-8.5	8.36	7.4	pH
0.15	5	1500	7600	380	TDS
0.15	5	1800	11640	596	EC
0.09	3	250	29.2	1.3	Ca
0.12	4	200	65.5	2.4	Na
0.09	3	50	34.2	1.82	Mg
0.09	3	30	0.35	0.03	K
0.09	3	400	56	1.1	Cl
0.03	1	400	58.12	1.82	SO4
0	1	380	8.95	1.61	HCO3

جدول ۲- وزن نسبی اختصاص‌یافته به پارامترهای آب زیرزمینی دشت ورامین برای محاسبه WQI (میلی‌گرم بر لیتر) در سال ۱۳۹۷

Table 2 - Relative weight assigned to groundwater parameters of Varamin plain for calculation of WQI (mg /L) in 2018

W_i	w_i	WHO (WHO, 2011)	حداکثر	حداقل	پارامتر
0.12	4	6.5-8.5	8.73	7.18	pH
0.15	5	1500	5766	376	TDS
0.15	5	1800	9800	593	EC
0.09	3	250	39	3.29	Ca
0.12	4	200	44.9	1.12	Na
0.09	3	50	25.5	0.83	Mg
0.09	3	30	0.41	0.08	K
0.09	3	400	69	0.56	Cl
0.03	1	400	36	1.39	SO4
0.03	1	380	8.39	2.21	HCO3

جدول ۲ وزن نسبی پارامترها و مقایسهٔ آن با استاندارد جهانی را نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۲ حداکثر مقدار TDS، EC و pH از میانگین استاندارد جهانی بیش‌تر است و تأثیر منفی زیادی در WQI با توجه به وزن نسبی بالا دارند. البته پارامترهای دیگر در مقایسه با استاندارد جهانی دارای وضعیت مناسبی هستند. از مقایسهٔ جدول‌های ۱ و ۲ وضعیت شوری آب زیرزمینی کمی مساعدتر شده است، ولی هم‌چنان وضعیت نامطلوبی دارد که می‌توان برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی و هم‌چنین ورود آلودگی‌ها به منابع زیرزمینی را در این موضوع دخیل دانست. در بازهٔ ۱۰ ساله مقدار کلسیم و کلر افزایش یافته، درحالی‌که مقدار سدیم، منیزیم و سولفات مانند TDS و EC کاهش داشته است که می‌توان آن را به افزایش استفاده از سامانه‌های آبیاری پیشرفته، کاهش برداشت آب زیرزمینی و دیگر موارد تأثیرگذار نسبت داد. البته افزایش کلسیم و کلر را باید در رابطه با جنس سازندها و ساختار زمین‌شناسی منطقه در بازهٔ ۱۰ ساله مورد مطالعه قرار داد.

۳- نتایج و بحث

جدول ۳ نشان‌دهندهٔ مقدار نقاط نمونه‌برداری شده و نتیجهٔ محاسبه WQI در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۱۳۸۷ است. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده در اکثر نمونه‌ها مقدار TDS و EC بیش‌تر از استاندارد جهانی است که این دو پارامتر در WQI تأثیر منفی بالایی داشته است. بر اساس جدول ۳ بیش‌ترین میزان TDS و EC مربوط به نمونهٔ شمارهٔ شش است که بر اساس شکل ۱ در قسمت جنوبی منطقه است و این را مرتبط با رابطهٔ مستقیم این دو پارامتر با یکدیگر دانست. هدایت الکتریکی بالاتر از ۱۸۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر نشانه ورود یک منبع آلودگی و یا عامل انسانی به منابع آب است (Singh and Kamal., 2014). بالا بودن غلظت در بعضی نقاط، ناشی از تغییر کاربری اراضی، تخلیهٔ فاضلاب، عوامل اکوژئومورفولوژیکی و همین‌طور برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی دانست. یکی از عوامل بالا بودن هدایت الکتریکی را می‌توان به جنس سازندهای تشکیل‌دهنده و زمین‌شناسی دانست که نشان‌دهندهٔ عمل آبشویی زمین‌های اطراف و یا ورود پساب‌های حاوی انواع آلاینده‌ها به آب زیرزمینی است که باعث افزایش هدایت الکتریکی در نقاط نمونه‌برداری شده است.

جدول ۴ نشان‌دهندهٔ مقدار نقاط نمونه‌برداری شده و WQI در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۱۳۹۷ است. بر اساس جدول ۴ و مقایسهٔ آن با جدول ۳ می‌توان متوجه شد که میزان TDS و EC در سال ۱۳۹۷ کاهش پیدا کرده که نشان‌دهندهٔ عملکرد مناسب نسبت به ۱۰ سال گذشته است و می‌تواند منجر به احیای کیفیت آب زیرزمینی منطقه شود. مطالعات مشابه نشان داد که افزایش

جدول ۳- نتایج پارامترهای اندازه‌گیری شده و WQI محاسبه شده در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۱۳۸۷

Table 3- Results of measured parameters and calculated WQI in the study area in 2008

WQI	EC	TDS	pH	HCO3	Cl	SO4	Ca	Mg	Na	K	نمونه
876.44	7920	5384	7.6	6.5	32.3	41.31	25.6	12.4	42	0.14	1
802.34	7060	4800	8.07	7.12	22.4	40	9.2	23.8	35.5	0.35	2
920.65	8060	5480	7.87	6.6	40.2	40.81	17.2	27.8	42.5	0.27	3
830.98	7400	5106	7.89	4.3	42	28	16	16.6	41.5	0.17	4
355.19	3120	2090	8.04	4.3	16.2	10.84	6.4	12.05	12.4	0.25	5
1294	11640	7600	7.76	4.92	56	58.12	19.8	34.2	65.5	0.26	6
320.38	2880	1900	7.78	5.26	14.7	8.3	6.96	7.94	13.4	0.09	7
765.77	6840	4652	7.4	5.38	36.7	25.45	19.8	17.2	30	0.15	8
136.33	1246	784	7.83	6.11	3	2.87	3.17	2.88	6.8	0.05	9
1116.9	9840	6788	7.76	4.36	48	39.77	29.2	32.2	32.5	0.17	10
190.42	1711	1096	7.79	5.57	4.9	6.8	4.67	5.82	6.5	0.07	11
211.7	1890	1230	7.14	8.49	4.5	6.37	7.8	5.55	6	0.06	12
736.41	6700	4340	7.96	4	32	32.85	13.6	15.4	29.5	0.2	13
734.53	6520	4350	8	8.95	22	34	11	22	32.5	0.11	14
849.53	7530	5046	7.18	3	40.8	33.52	21.05	25.4	29	0.26	15
157.03	1388	920	8.18	5.7	3	4.9	2.72	4.88	6.15	0.07	16
270	2430	1552	7.92	2.7	12.4	9.1	8.5	8.62	7.1	0.1	17
114.05	1009	666	7.93	5.19	2.2	2.8	3.84	3.38	3.1	0.06	18
103.290	934	580	7.68	5.21	1.9	2.27	3	3.12	3.1	0.05	19
224.90	2010	1326	7.85	5.3	7	7.56	6	6.38	7.1	0.05	20
316.55	2870	1836	7.8	5.66	12.9	9.7	6.85	8.65	12.7	0.08	21
316.77	2830	1868	8.12	3	14	10.83	8.2	8.9	11.1	0.13	22
920.12	8300	5394	7.72	2.88	44.4	40.52	28	22.8	37.5	0.21	23
78.89	711	448	7.92	3.84	1.2	2.04	2.15	2.21	2.65	0.05	24
123.90	1141	680	8	4.26	2.8	4.46	3.2	3.83	4.4	0.05	25
83.22	769	470	7.65	4.22	1.5	1.82	3.23	1.82	2.4	0.06	26
90.88	814	528	8.02	4.28	1.1	2.75	2.71	2.35	3.1	0.03	27
66.55	596	380	8.36	1.61	1.6	2.35	1.3	1.9	2.6	0.03	28
341.71	3070	2020	7.99	4.3	11.2	15.87	8.8	8.4	14.2	0.07	29
157.21	1436	892	7.84	3.91	6.3	3.98	8.4	4.4	5.05	0.06	30
125.41	1100	726	8.2	2.85	3.1	4.68	34.2	4.71	3.45	0.05	31
107.65	992	596	7.9	3.78	3.8	2.36	4	3.1	2.75	0.05	32
157.83	1402	940	7.18	6.13	5.4	3.08	6.6	3.98	3.8	0.06	33
122.57	1114	680	7.94	4.17	2.8	4.3	3.22	4.06	3.95	0.05	34
137.01	1230	784	7.89	6.1	2.2	4.2	3.23	4.17	5.1	0.03	35

رواناب‌های سطحی، فعالیت‌های انسانی و تغییر کاربری اراضی، منجر به افزایش میزان TDS می‌شود (Bostanmaneshrad et al., 2018; Ebadi and Hisorive, 2017; Iliopoulou Georgudaki et al., 2003). اگر چه شرایط طبق جدول ۴ هنوز هم مساعد نیست، ولی روند کاهش شوری آب می‌تواند امیدوارکننده باشد. در سال ۱۳۹۷ هم مانند ۱۳۸۷ بیش‌ترین میزان شوری آب مربوط به نمونهٔ شمارهٔ شش است. طبق نتایج به‌دست‌آمده pH در بعضی نقاط افزایش داشته است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار pH در ایستگاه‌های ۱۴ و ۴ مشاهده می‌شود. میزان pH نقش تعیین‌کننده‌ای در سلامت آب داشته و گفته می‌شود pH یک عامل بسیار مهم در ارزیابی کیفیت آب است (Naderi et al., 2018).

جدول‌های ۵ و ۶ طبقه‌بندی و نوع آب بر اساس WQI را ارائه می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از WQI در دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ به خوبی روند بهبود شرایط کیفی آب منطقه را نشان می‌دهد. در سال ۱۳۸۷ میزان درصد نمونه‌های با کیفیت نامناسب در منطقه بیش‌تر از ۵۰ درصد نمونه‌ها را شامل می‌شود،

در حالی‌که در سال ۱۳۹۷ به ۴۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین مقدار نمونه‌های در محدودهٔ خیلی بد و بد روند کاهشی سه و نه درصدی را نشان می‌دهند. با وجود این، میزان آب مناسب و خوب منطقه به بیش از ۲۵ درصد افزایش یافته که در مقایسه با سال ۱۳۸۷ تقریباً ۱۷ درصد افزایش داشته است.

جدول ۶ همبستگی پیرسون را میان پارامترها نشان می‌دهد. بر اساس این ماتریس میان کلسیم و کلر با ضریب پیرسون ۰/۹۳۳ همبستگی مثبت و معناداری وجود دارد. هم‌چنین کلسیم، سدیم و کلر با TDS همبستگی مثبت و معناداری را دارا است. بیش‌ترین ضریب همبستگی میان EC و TDS با ضریب ۰/۹۹۱ به‌دست آمده است. Namdari and Hoshmandzadeh (2019) در تحلیل آماری کیفیت آب رودخانهٔ کارون در بازهٔ زمانی ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۵ در ایستگاه ملاثانی بیان داشتند که Cl و Na یون‌های غالب بر TDS بوده و در این دورهٔ آماری مورد

جدول ۴- نتایج پارامترهای اندازه‌گیری شده و WQI محاسبه شده در منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۱۳۹۷

Table 4 - Results of measured parameters and WQI calculated in the study area in 2018

WQI	EC	TDS	pH	HCO3	Cl	SO4	Ca	Mg	Na	K	نمونه
751.88	6619	4496	8.13	8.39	21.2	35.6	19.2	22.6	27.3	0.16	1
863.87	7916	4976	7.6	5.21	52.3	24.2	36.6	23.2	18.8	0.16	2
502.38	4419	3143	7.3	7.5	26.3	13.2	19.6	8	20	0.24	3
813.29	7200	5116	7.18	4.93	39.8	31.2	37.3	12.3	22.9	0.41	4
371.96	3496	1976	7.6	4.56	18.3	13.2	12.6	12.3	11.8	0.15	5
1015.46	9800	5684	7.9	8.21	59	36	39	13.3	44.9	0.18	6
323.27	3129	1739	7.9*	3.56	19.6	6.73	9.93	6.97	13.3	0.15	7
609.19	5116	3918	7.6	7.93	27.2	19.6	19.2	16.4	16.3	0.14	8
148.33	1412	773	7.6	5.36	4.43	4.49	5.41	4.47	4.63	0.12	9
717.57	6716	4176	7.6	4.76	36	24.9	32.6	11.2	24.9	0.24	10
955.77	8500	5766	8.11	4.43	69	11.9	29.3	25.5	27.3	0.13	11
98.19	896	576	7.6	4.56	0.93	2.29	3.48	2.01	2.76	0.09	12
705.43	6418	4176	7.7	4.73	39.2	18.8	21.2	14.4	31.9	0.18	13
773.69	7296	4319	8.73	2.56	38.2	31.6	33.9	13.4	29.2	0.23	14
175.37	1639	976	7.8	5.43	3.76	6.96	5.39	4.55	5.21	0.11	15
315.63	2916	1739	8.18	3.21	19.8	7.73	17.2	9.4	5.73	0.14	16
103.88	940	549	7.5	3.96	5.2	2.3	6.2	3.6	1.9	0.19	17
92.59	873	539	7.9	4.43	1.76	1.96	4.21	0.9	2.5	0.12	18
162.21	1476	976	7.6	6.93	2.56	3.93	5.96	2.52	5.76	0.15	19
295.62	2916	1566	7.9	4.78	14.3	8.96	9	4.65	15.71	0.14	20
548.58	5100	3216	7.6	6.11	35	10	18	8.5	25	0.12	21
295.92	2931	1476	7.9	2.46	19.2	11.3	14.6	7.7	7.76	0.11	22
85.52	796	496	7.31	3.39	1.76	2.29	3.96	1.35	1.78	0.09	23
128.29	1134	743	7.2	4.85	3.17	2.96	3.45	4.44	2.96	0.11	24
73.67	696	419	7.8	2.21	1.29	2.76	3.39	1.04	1.66	0.09	25
147.43	1170	732	7.8	4.16	2.46	4.21	4.43	2.88	4.11	0.11	26
82.87	729	476	7.8	2.48	0.96	3.59	3.29	2.37	1.96	0.09	27
138.44	1247	849	7.9	4.16	3.56	2.73	5.16	2.32	3.93	0.09	28
193.98	1916	1029	8.2	3.21	4.49	8.84	4.96	3.35	9.43	0.12	29
77.91	711	449	8.18	3.66	1.53	1.92	3.92	1.54	1.56	0.08	30
353.65	3400	1973	8.16	3.56	11.9	17.2	9.96	5.64	16.8	0.12	31
85.80	779	512	7.8	3.88	0.95	1.96	3.73	1.23	2.96	0.09	32
72.71	676	416	7.9	2.31	0.56	3.73	4.72	1.01	1.21	0.09	33
107.46	956	643	7.8	2.43	3.39	4.41	4.53	2.03	3.49	0.11	34
64.34	593	376	7.9	2.88	1.43	1.29	3.56	0.83	1.12	0.09	35

جدول ۵- تقسیم‌بندی WQI برای مصارف شرب آب زیرزمینی (۱۳۸۷)
Table 5 - WQI classification for groundwater consumption (2018)

درصد نمونه‌ها	نوع آب	بازه
0	عالی	<50
8.57	خوب	50-100
31.4	بد	100-200
8.57	خیلی بد	200-300
51.42	نامناسب	>300

جدول ۶- تقسیم‌بندی WQI برای مصارف شرب آب زیرزمینی (۱۳۹۷)
Table 6- WQI classification for groundwater consumption (2018)

درصد نمونه‌ها	نوع آب	بازه
0	عالی	<50
25.71	خوب	50-100
22.85	بد	100-200
5.71	خیلی بد	200-300
45.71	نامناسب	>300

مطالعه، EC و TDS روند افزایشی داشته است که سبب کاهش کیفیت آب رودخانه کارون شده‌اند. علاوه بر این، Neissi and Tishehzan (2018) با ارزیابی کیفیت آب رودخانهٔ دز با استفاده از تحلیل همبستگی و تحلیل خوشه‌ای نشان دادند بین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی رودخانه، رابطه معناداری وجود دارد و متغیرهای اصلی تعیین‌کننده کیفیت آب رودخانهٔ دز EC، pH و دما هستند، اما در تجزیه و تحلیل متغیرهای کیفی آب رودخانه کارون بر اساس جدول ضرایب همبستگی، Namdari and Hoshmandzadeh (2019) گزارش کردند که پارامتر pH ارتباط معناداری با متغیرهای شیمیایی آب نداشته و نیز ارتباط معناداری بین TDS و کلسیم وجود دارد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

جدول ۷- ضرایب همبستگی پارامترهای مورد بررسی در منطقهٔ مورد مطالعه
Table 7- Correlation coefficients of the studied parameters in the study area

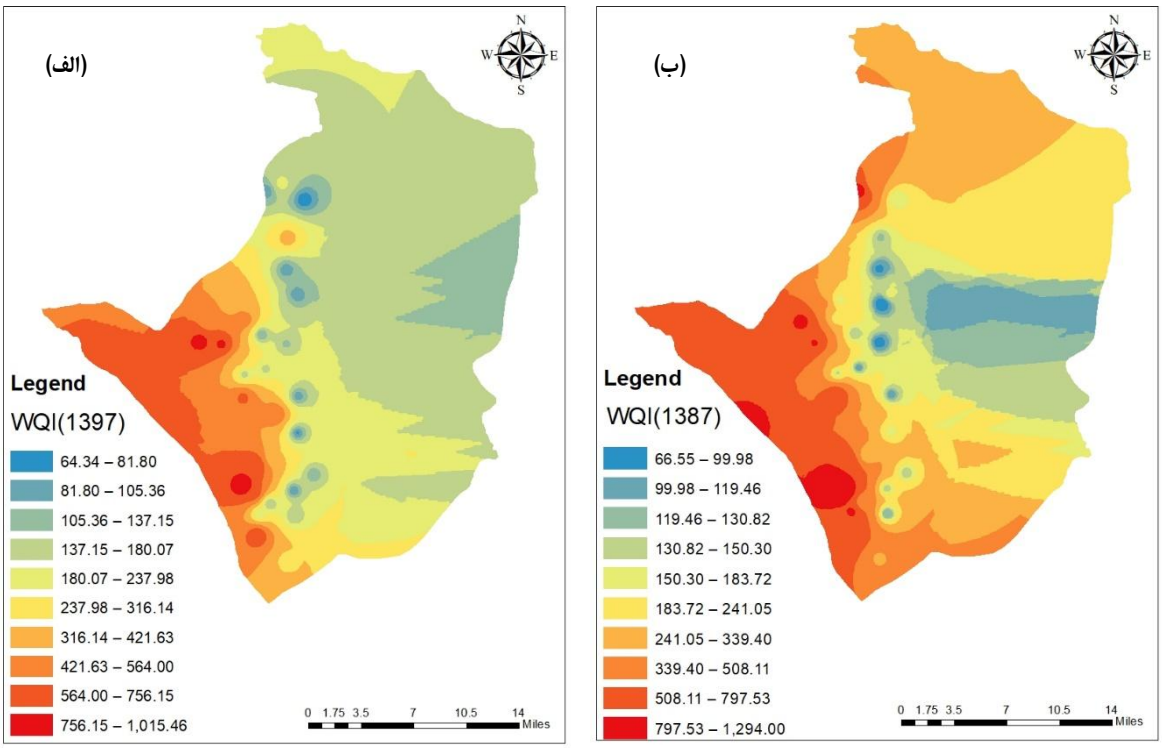
پارامتر	K	Na	Mg	Ca	SO4	Cl	HCO3	pH	TDS	EC
k	1									
Na	0.575**	1								
Mg	0.442**	0.762**	1							
Ca	0.722**	0.865**	0.814**	1						
SO4	0.678**	0.874**	0.768**	0.880**	1					
Cl	0.550**	0.884**	0.868**	0.933**	0.755**	1				
HCO3	0.15	0.533**	0.473**	0.391*	0.486**	0.393*	1			
pH	-0.248	0.144	0.108	0.049	0.152	0.070	-0.314	1		
TDS	0.647**	0.927**	0.905**	0.951**	0.866**	0.954**	0.526**	0.053	1	
EC	0.625**	0.948**	0.888**	0.961**	0.899**	0.962**	0.490**	0.109	0.991**	1

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). *. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

شکل ۲ نقشهٔ توزیع مکانی WQI در دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ را نشان می‌دهد. نقشهٔ توزیع مکانی WQI نشان می‌دهد که مقدار مساحت طبقهٔ خوب شاخص در سال ۱۳۹۷ در مقایسه با سال ۱۳۸۷ بیش‌تر شده است. در هر دو سال مناطق جنوبی و جنوب غربی در شرایط نامناسبی هستند. محدودهٔ کیفی خوب در سال ۱۳۸۷ در نواحی مرکزی است که در سال ۱۳۹۷ این مناطق بیش‌تر مناطق مرکزی و شرقی را شامل می‌شود.

ترکیبات شیمیایی آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های منعکس‌کنندهٔ ترکیبات موجود در منابع آب در نظر گرفته می‌شود. نظارت کامل بر کیفیت آب فقط می‌تواند از طریق پایش معتبر و کنترل سالانه منابع آب منطقه واقعی شود (Golshan et al., 2020; Hohensinner et al., 2018; Shatti and Akhoond Ali., 2018). کنترل و کاهش بار منابع آلایندهٔ حوضه از طریق اعمال بهترین راهکارهای مدیریتی قابل انجام است که شامل

مؤثرترین روش‌ها و یا ترکیبی از روش‌ها برای کنترل منابع آلایندهٔ نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای هستند که در سطح حوزهٔ آبخیز قابل انجام است (Jahin et al., 2020; Neissi and Tishehzan, 2018; Iliopoulou Georgudaki et al., 2003; Fakouri Dekahi et al., 2018). راهکارهای مدیریتی به شکل‌های سازه‌ای نظیر احداث تصفیه‌خانه فاضلاب و یا غیرسازه‌ای نظیر اصلاح کاربری اراضی، تغییر الگوی کشت و یا آموزش عمومی در جهت استفاده از سامانه‌های آبیاری مدرن به‌منظور کاهش برداشت از آب زیرزمینی منطقه ضروری است که از آن جمله می‌توان به اجرای طرح‌های آبخیزداری بر پایهٔ آمایش کاربری و کنترل منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای آلاینده‌ها و کاهش یا حذف آن‌ها قبل از ورود به شبکهٔ آبراهه‌ها و در نهایت پیکره‌های آبی بزرگ‌تر در پایین‌دست حوضه اشاره کرد (Sharifinia et al., 2017).



شکل۲- نقشهٔ توزیع مکانی WQI در (الف) سال ۱۳۹۷ و (ب) سال ۱۳۸۷

Figure 2- Spatial distribution map of WQI in (a) 2018 and (b) 2008

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش کیفیت منابع آب دشت ورامین با استفاده از WQI در یک بازهٔ ۱۰ ساله (۹۷-۱۳۸۷) مورد بررسی قرار گرفت. قرارگیری اراضی کشاورزی و کشت محصولات مختلف کشاورزی از یک سو و افزایش فعالیت‌های صنعتی و کاربری شهری، می‌تواند اهمیت بررسی کیفیت منابع آب را در منطقه افزایش دهد. در این پژوهش از داده‌های ۳۵ نمونهٔ داده کیفی که شامل pH، TDS، EC، کلسیم، پتاسیم، سدیم، منیزیم، بی‌کربنات، کلر و سولفات مورد مطالعه قرار گرفته است. هم‌چنین با استفاده از همبستگی پیرسون میزان ارتباط و تأثیر پارامترها بر یکدیگر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که TDS و EC در اکثر نقاط نمونه‌برداری شده و هم‌چنین مقدار pH در بعضی نقاط نمونه‌برداری شده دشت ورامین در سال ۱۳۹۷ از حد مجاز استانداردها فراتر رفته است. بر اساس WQI در سال ۱۳۸۷، ۵۱/۴۲ درصد منطقه دارای آب نامناسب است که این مقدار در سال ۱۳۹۷ به ۴۵ درصد کاهش یافته است. هم‌چنین میزان ۳۱ درصد آب با کیفیت بد در سال ۱۳۸۷ به ۲۲ درصد کاهش‌یافته است، درحالی‌که مقدار میزان آب با کیفیت خوب در سال ۱۳۹۷ تا ۲۵ درصد افزایش یافته است. هم‌چنین کلسیم، سدیم و کلر با TDS همبستگی مثبت و معناداری دارد. بیش‌ترین ضریب همبستگی میان EC و TDS با ضریب ۰/۹۹۱ به‌دست آمده است. بر اساس نقشهٔ توزیع مکانی منطقهٔ دشت ورامین در سال ۱۳۹۷ مساحت بیش‌تری را با کیفیت مناسب داشته است، در حالی‌که قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی منطقه در بازهٔ ۱۰ ساله با وجود بهبود کیفیت آب منطقه هم‌چنان دارای کیفیت نامناسب برای شرب است که دلیل این امر را می‌توان اصلاح سیستم

آبیاری، کاهش مصرف، جلوگیری از هدررفت آب و هم‌چنین ایجاد تصفیه‌خانه در منطقهٔ دشت ورامین دانست. علاوه بر این، کیفیت آب زیرزمینی نیز در بازهٔ زمانی مطالعاتی (۹۷-۱۳۸۷)، کمی بهبود یافته است. به‌این‌ترتیب توجه به تأثیر گسترده عوامل انسانی بر کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت ورامین و میزان شدید برداشت آب زیرزمینی، بررسی دقیق چاه‌های غیرمجاز در منطقه، حفاظت کیفی از منابع آب زیرزمینی و مدیریت برداشت چاه‌های بهره‌برداری و هم‌چنین استفاده از سامانه‌های آبیاری مناسب در جهت کاهش برداشت و هم‌چنین زهکشی مناسب اراضی کشاورزی در طرح‌های آتی امری ضروری به‌نظر می‌رسد. راهکارهای مدیریتی به شکل‌های سازه‌ای نظیر احداث تصفیه‌خانه فاضلاب و یا غیرسازه‌ای نظیر اصلاح کاربری اراضی، تغییر الگوی کشت و یا آموزش عمومی در جهت استفاده از سامانه‌های آبیاری مدرن به‌منظور کاهش برداشت از آب زیرزمینی منطقه ضروری است.

منابع

ده‌مردان، ا.، مظاهری، م.، و محمدولی سامانی، ج. (۱۳۹۷). شناسایی مکان، زمان فعالیت و شدت منبع آلایندهٔ نامشخص در رودخانه. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۵(۱)، ۳۵-۵۲.

رحمتی، ح.، برومندنسب، س.، ایزدپناه، ز.، و الباجی، م. (۱۳۹۷). شناسایی تغییرات ناگهانی و تدریجی پارامترهای کیفی آب در ایستگاه‌های پایین‌دست سد گتوندعلیا. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۲(۲)، ۴۵۸-۴۷۱.

شطی، ص.، و آخوندعلی، ع.م. (۱۳۹۷). بررسی اثرات دورهٔ خشکسالی هیدرولوژیک اخیر بر میزان شوری رودخانهٔ کارون. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۲(۵)، ۱۱۸۹-۱۲۰۲.

شمشکی، ا.، و سلطانی، ا.ا. (۱۳۸۴). ساز و کار و علل تشکیل شکاف‌های زمین در منطقهٔ معین آباد-ورامین. چهارمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیطزیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

ظهرابی، ن.، علی‌زاده، ا.، حسونی‌زاده، ه.، و حسین‌زاده، س.م. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی کیفی رودخانهٔ جراحی بر اساس شاخص NSFWQI و با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS). *اکوبیولوژی تالاب*، ۶ (۴)، ۳۱-۴۰.

علی‌شیری، ه.، سجادی‌فر، س.ح.، و محمدباقری، ا. (۱۳۸۹). بررسی فرضیات منحنی کوزنتس محیطزیستی (مطالعهٔ موردی آلودگی آب). *آب و فاضلاب*، ۲۸(۱)، ۵۷-۶۴.

نادری، م.ح.، ذاکری‌نیا، م.، و سالاری‌جزی، م. (۱۳۹۷). بررسی عوامل تأثیرگذار بر مؤلفه‌های کیفیت آب رودخانهٔ قره‌سو استان گلستان. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۲(۵)، ۱۲۴۰-۱۲۵۲.

نامداری، ح.، و هوشمندزاده، م. (۱۳۹۸). روندیابی و تحلیل آماری کیفیت آب رودخانهٔ کارون در ایستگاه آبسنجی ملاثانی. *اکوبیولوژی تالاب*، ۱۱(۱)، ۵-۲۲.

نصرتی، ک.، رجبی‌اسلامی، ع.، و صیادی، م. (۱۳۹۷). تحلیل و طبقه‌بندی کیفیت آب شرب شهرستان ملارد - تهران با استفاده تکنیک‌های آماری چندمتغیره. *هیدروژئومورفولوژی*، ۵(۱۵)، ۱۷۱-۱۹۰.

نیسی، ل.، و تیشه‌زن، پ. (۱۳۹۷). ارزیابی کیفیت آب رودخانه دز با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۹(۱)، ۱۳۹-۱۵۰.

References

Alishiri, H., Sajadifar, S.H., & Mohammadbagheri, A. (2017). Validity of the environmental Kuznets curve Hypotheses in water pollution: A Case study. *Journal of Water and Wastewater*, 28(1), 57-64 (in Persian).

Avvannavar, S.M., & Shrihari, S. (2008). Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, India. *Journal of Environment Monitoring Assesment*, 143(1-3), 279-290.

Bostanmaneshrad, F., Partani, S., Noori, R., Nachtnebel, H.P., Berndtsson, R., & Adamowski, J.F. (2018). Relationship between water quality and macro-scale parameters (land use, erosion, geology, and population density) in the Siminehrood River Basin. *Journal of Science of the Total Environment*, 639, 1588-1600.

Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., & Tozer, R.G. (1970). Water quality index - do we dare. *Journal of Water and Sewage Works*, 117(14), 339-343.

Dahmardan, A., Mazaheri, M., & Mohammad Vali Samani, J. (2018). Identification of location, activity time and intensity of the unknown pollutant source in river. *Environmental Management Hazards*, 5(1), 35-52 (in Persian).

Ebadi, A.G., & Hisoriev, H. (2017). Metal pollution status of Tajan River–Northern Iran. *Journal of Toxicological and Environmental Chemistry*, 99(9-10), 1358-1367.

Effendi, H. (2016). River water quality preliminary rapid assessment using pollution index. *Journal of Procedia Environmental Sciences*, 33, 562-567.

Ehteshami, M., Biglarijoo, N., & Salari, M. (2014). Assessment and quality classification of water in Karun, Dez and Karkheh Rivers. *Journal of River Engineering*, 2(8), 23-30.

Fakouri Dekahi, B., Mazaheri, M., & Mohammadvali Samani, J. (2018). Evaluation of Karun River water salinity reduction strategies using management scenarios. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 5(2), 1-10.

Golshan, M., Dastoorpour, M., & Birgani, Y.T. (2020). Fuzzy environmental monitoring for the quality assessment: Detailed feasibility study for the Karun River basin, Iran. Journal of Groundwater for Sustainable *Development*, 10, 100324.

Hamzaoui-Azaza, F., Tlili-Zrelli, B., Bouhlila, R., & Gueddari, M. (2013). An integrated statistical methods and modelling mineral–water interaction to identifying hydrogeochemical processes in groundwater in southern Tunisia. *Journal of Chemical Speciation & Bioavailability*, 25(3), 165-178.

Heydarpour, M., & Jamshidi, S. (2018). Determination of total permitted river pollution and allocation of seasonal variations of pollution based pollution model for standardization and multi-parameter monitoring of water quality. *Journal of Environmental Studies*, 44(3), 519-531.

Hohensinner S., Hauer C., Muhar S. (2018) River Morphology, Channelization, and Habitat Restoration. Pp. 41-65, In: Schmutz S., Sendzimir J. (eds) Riverine Ecosystem Management. Aquatic Ecology Series, vol 8. Springer, Cham.

Houdaji, M. & Jallaliyan, A. (2004). Distribution of iron, zinc and lead in soil and crops in the Mobarakeh steel plant region. *Journal of Environmental Studies*, 30(36), 15-26.

Hussain, M., Ahmed, S.M., & Abderrahman, W. (2008). Cluster analysis and quality assessment of logged water at an irrigation project, eastern Saudi Arabia. *Journal of Environmental Management*, 86(1), 297-307.

Iliopoulou-Georgudaki, J., Kantzaris, V., Katharios, P., Kaspiris, P., Georgiadis, T., & Montesantou, B. (2003). An application of different bioindicators for assessing water quality: a case study in the rivers Alfeios and Pineios (Peloponnisos, Greece). *Ecological Indicators*, 2(4), 345-360.

Jahin, H.S., Abuzaid, A.S., & Abdellatif, A.D. (2020). Using multivariate analysis to develop irrigation water quality index for surface water in Kafr El-Sheikh Governorate, Egypt. *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100532.

Matta, G., Srivastava, S., Pandey, R.R., & Saini, K.K. (2017). Assessment of physicochemical characteristics of Ganga Canal water quality in Uttarakhand. *Environment, development and sustainability*, 19(2), 419-431.

Misaghi, F., Delgosha, F., Razzaghmanesh, M., & Myers, B. (2017). Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: A case study of the Ghezel Ozan River. *Journal of Science of the Total Environment*, 589, 107-116.

Naderi, M.H., Zakerinia, M., & Salarijazi, M. (2018). Evaluation of the influential factors on water quality components of Qarasoo River in Golestan Province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12(5), 1240-1252 (in Persian).

Namdari, H., & Hoshmandzadeh, M. (2019). Trend and statistical analysis of water quality of Karun River at Molasani hydrometric station. *Jouranl of Wetland Ecobiology*, 11(1), 5-22 (in Persian).

Neissi, L., & Tishehzan, P. (2018). Dez River Water Quality assessment by using multivariate statistical methods. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 9(1), 139-150 (in Persian).

Noori, R., Berndtsson, R., Hosseinzadeh, M., Adamowski, J.F., & Abyaneh, M.R. (2019). A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. *Journal of Environmental Pollution*, 244, 575-587.

Nosrati, K., Rajabi Eslami, A., & Sayadi, M. (2018). The Analysis and Classification of Water Quality Using a Multivariate Static Technique in the City of Mallard, Tehran. *Journal of Hydrogeomorphology*, 5(15), 171-190 (in Persian).

Rahmati, H., Boroomand-Nasab, S., Izadpanah, Z., & Albaji, M. (2018). Detecting abrupt and gradual changes in water quality parameters at the downstream stations of Gotvand-Olia Dam. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12(2), 458-471.

Saeedi, M., Sharifi, O.A., & Meraji, H. (2010). Development of groundwater quality index. *Journal of Environment Monitoring Assessment*, 163, 327-335.

Sharifinia, M., Adeli, B., & Nafarzadegan, A.R. (2017). Evaluation of water quality trends in the Maroon River Basin, Iran, from 1990 to 2010 by WQI and multivariate analyses. *Journal of Environmental Earth Sciences*, 76, 781.

Shatti, S., & Akhoond-Ali, M.A. (2018). Analysis the effects of recent hydrological drought on Karun River salinity. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12(5), 1189-1202 (In Persian).

Shemshaki, A., & Soltani, I.E. (2005). Mechanism and Causes of Earth Fissures in Moinabad-Varamin Region. 4th Iranian Conference on Engineering Geology and Environment, Tehran, Iran (in Persian).

Singh, G., & Kamal, R.K. (2014). Application of water quality index for assessment of surface water quality status in Goa. *Journal of Current World Environment*, 9(3), 994-1000.

Varol, S., & Davraz, A. (2014). Evaluation of the groundwater quality with WQI (water quality index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Journal of Environment Earth Science*, 73(4), 1725-1744.

Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., Vijayaragavan, K., Rajiv Ganthi, R., Chidambaram, S., Anandhan, P., Manivannan, R., & Vasudevan, S. (2012). Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India. *Journal of Environment Monitoring Assessment*, 171, 595–609.

WHO (2011). Guidelines for Drinking Water Quality. 4th Edition World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Zohrabi, N., Alizadeh, E., Hasounizadeh, H., & Hosseinzedeh, S.M. (2015). Zoning Quality of Jarahi River using NSFWQI and GIS. *Jouranl of Wetland Ecobiolog*, 6(4), 31-40.