Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 45, No. 4, winter 2023, p. 131-144

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

Zoning of Basic Design Parameters of Pressurized Irrigation Systems Based on the Results of Soil and Water Tests Using Geostatistics (Case Study: Plains of Islamabad-Gharb)

S. Arshadi[1], B. Farhadi Bansouleh[2*], F. Sargordi[3] and Sh. Fatehi[4]

1- Former MSc Student, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.
2- Corresponding Author, Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. (bfarhadi@rai.ac.ir)*
3- Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.
4- Research Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 28 October 2021
Revised: 16 August 2022
Accepted: 20 August 2022

Keywords:
Geostatistics, GIS, Interpolation, Pressurized Irrigation, Water Quality.

TO CITE THIS ARTICLE:

Arshadi, S., Farhadi Bansouleh, B., Sargordi, F., Fatehi, S. (2023). 'Zoning of Basic Design Parameters of Pressurized Irrigation Systems Based on the Results of Soil and Water Tests Using Geostatistics (Case Study: Plains of Islamabad-Gharb)', Irrigation Sciences and Engineering, 45(4), pp. 131-144. doi: 10.22055/jise.2022.39006.1997.

Introduction

Maximum sprinkler flow rate, maximum irrigation interval, and leaching requirement are the primary factors in designing sprinkler irrigation systems, which are determined based on the physical and chemical properties of water and soil. This study aimed to prepare the spatial maps of the mentioned parameters in the plains of Islamabad-Gharb district, Kermanshah province. In previous studies, kriging and IDW methods have been found to be suitable for zoning the physical and chemical properties of groundwater and soil. Asadzadeh et al. (2019) investigated the spatial changes of groundwater quality indicators in Ardabil plain by kriging method to investigate the water situation in this area for irrigation systems. Yonesi et al. (2020) also zoned some critical water quality parameters (such as nitrate) of the Najafabad aquifer using the kriging method. Kumar and Sangeetha (2020) used the IDW method to classify groundwater quality in the study area and classify it according to drinking and agricultural uses. Karami and Basirat (2015) evaluated the spatial variations of some surface soil characteristics of Arsanjan plain by kriging and IDW methods. on the other hand, a specific method can not be considered the best method for intermediation and zoning of these parameters. In this study, both methods were used for mediation.

Materials and methods

This study used the results of soil and water tests in 261 sprinkler irrigation projects whose water was supplied from agricultural wells. The results of soil and water tests were stored in a geodatabase. The basic parameters required for the design of sprinkler irrigation systems (for wheat and sugar beet), which could be determined based on soil and water characteristics, were calculated and added to the database. The maximum sprinkler flow rate was calculated according to the distance between the sprinklers on the lateral pipes, the distance between the lateral pipes on the main pipe, and the final

permeability of the soil. The maximum irrigation cycle was calculated according to the root depth, the total available water, the maximum amount of allowable deficit, and evapotranspiration of the crop in the period of maximum water consumption. The leaching requirement was calculated according to the salinity of the irrigation water and the tolerable salinity of the crop. The maps related to soil and water properties and basic parameters were produced using kriging and inverse distance weighting (IDW) interpolation techniques in the grids of 100 meters. Interpolation was done separately for each plain, and only samples of the same plain were used in interpolating the parameters of each plain. Finally, the maps prepared for each layer were merged throughout the region. Using the Model builder tool in ArcGIS software, a model was created for each interpolation method.

Results and Discussion

The results of groundwater salinity zoning based on Kriging and IDW methods indicated that 100% and 97% of the groundwater in the region has an electrical conductivity of less than 700 µS.cm-1. The basic infiltration rate in the western part of the district, where the soil had a higher percentage of clay, was lower than in other areas. Hassanabad and Harsam plains have the lowest and highest average total available water in the district, respectively. The minimum and maximum values of maximum irrigation interval of wheat in zoning by kriging method were 22 and 26 days, respectively, and in IDW method were 18 and 31 days, respectively. The maximum irrigation interval of sugar beet in zoning by kriging method was 7 to 9 days and in IDW method was 6 to 10 days. The maximum leaching fraction of sugar beet in the plains of the district was calculated to be 2.0 and 4.2%, respectively, based on kriging and IDW methods. The minimum and maximum values of wheat leaching fraction in the Kriging method are 0. 9 and 2.3%, respectively, and in the IDW method are 0.6 and 5.0%, respectively. The minimum values for maximum sprinkler flow rate in the 20 * 20 m sprinkler network were determined as 0.95 and 0.57 liters per second, respectively in Kriging and IDW methods.

Conclusion

The results indicate that there is no limit to groundwater use in the region for irrigation in terms of water quality. Based on the results, it can be stated that the irrigation cycle of 10 and 7 days, which is traditionally considered in the region for wheat and sugar beet, is acceptable. Since the leaching fraction was calculated as less than ten percent, there is no need to consider the leaching fraction in irrigation calculations. It is suggested that for new irrigation projects in these plains, soil and water experiments be excluded from their studies, and the results of this study are used. According to the results and the prepared maps, it is possible to design sprinkler irrigation systems in the studied plains with acceptable accuracy without conducting new soil and water tests.

Acknowledgments

The authors of the article consider it necessary to express their gratitude for the cooperation of water and soil management of the Kermanshah Jihad-e-Agriculture Organization and the assistance of Mr. Mehdi Najafi, an expert of Kermanshah Regional Water Company.

References:

1 - Asadzadeh, F., Pirkharrati, H. and Sheikhi Almanabad, Z., 2019. Assessment of spatial distribution some ground water quality indexes in Adrabil plain for irrigation uses. *Journal of Water and Soil Conservation*, 9(1), pp.107-121. (in Persian).

2 - Karami, A. and Basirat, S., 2015. Geostatistical assessment of spatial variability of some surface soil properties in Arsenjan plain. *Iranian journal of Soil Research*, 29(1), pp.59-69. (in Persian).

3 - Kumar, S. and Sangeetha, B., 2020. Assessment of ground water quality in Madurai city by using geospatial techniques. Groundwater for Sustainable Development, 10, 100297

4 - Yonesi, H., Torabipoudeh, H., Shahinejad, B., Arshia, A. and Mirzapour, H., 2020. Groundwater quality trend analysis and zoning using TFPW-MK and GIS(case study: Najaf Abad aquifer). *Journal of Water and Soil Conservation*, 9(3), pp.143-156. (in Persian).

© 2023 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٥، شماره‌ی٤، زمستان ١٤٠١، مقاله پژوهشی، ص. ١٣١-١٤٤

پهنه‌بندی پارامترهای اساسی طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی مبتنی بر نتایج آزمایش‌های آب و خاک با استفاده از زمین آمار (مطالعه موردی: دشت‌های شهرستان اسلام‌آباد غرب)

سیامک ارشدی[۱]، بهمن فرهادی بانسوله [۲*]، فرهنگ سرگردی[۳] و شاهرخ فاتحی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲*- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. bfarhadi@razi.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۶ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹

چکیده

حداکثر دبی آبپاش، حداکثر دور آبیاری و نیاز آبشویی از عوامل پایه‌ای طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی هستند که بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خاک تعیین می‌گردند. هدف از این مطالعه تهیه نقشه مکانی پارامترهای مذکور در دشت‌های شهرستان اسلام‌آباد غرب واقع در استان کرمانشاه است. در این مطالعه از نتایج آزمایش‌های آب و خاک ۲٦۱ طرح آبیاری بارانی که منبع تأمین آب آن‌ها چاه کشاورزی بوده است استفاده شد. نقشه‌های مربوط به خصوصیات آب و خاک و همچنین پارامترهای پایه‌ای محاسبه‌شده با روش‌های درون‌یابی کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) برای شبکه‌های ۱۰۰ متری تهیه گردید. نتایج پهنه‌بندی شوری آب زیرزمینی بر اساس روش‌های میان‌یابی کریجینگ و IDW به‌ترتیب بیانگر این بود که ۱۰۰ و ۹۷ درصد آب زیرزمینی منطقه دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۷۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر هست. نفوذپذیری نهایی خاک در مناطق غربی شهرستان که خاک آن دارای درصد رس بیشتری بود، کمتر از سایر مناطق بود. کمترین مقدار برای حداکثر دبی آبپاش در شبکه ۲۰*۲۰ متری در روش‌های کریجینگ و IDW به‌ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۵۷ لیتر در ثانیه محاسبه گردید. نتایج بیانگر این است که ازنظر کیفیت آب محدودیتی برای استفاده از آب‌های زیرزمینی منطقه برای آبیاری وجود ندارد. با توجه به اینکه کسر آبشویی کمتر از ده درصد محاسبه شد نیازی به در نظر گرفتن کسر آبشویی در محاسبات آبیاری نیست. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و نقشه‌های تهیه‌شده می‌توان بدون انجام آزمایش‌های آب و خاک جدید، نسبت به طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی در دشت‌های مورد مطالعه اقدام نمود.

کلید واژه‌ها: آبیاری تحت‌فشار، زمین‌آمار، سامانه اطلاعات جغرافیایی، کیفیت آب، میان‌یابی.

مقدمه

توسعه سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار به‌عنوان یک راهکار برای افزایش بهره‌وری مصرف آب موردتوجه برنامه‌ریزان بخش کشاورزی می‌باشد و دولت و کشاورزان هزینه‌های زیادی برای اجرای این سامانه‌ها پرداخت می‌نمایند. برای طراحی اصولی این سامانه‌ها نیاز به جمع‌آوری اطلاعاتی در رابطه با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خاک (از قبیل شوری آب و خاک، غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب و خاک، اسیدیته آب و خاک، بافت خاک، نفوذپذیری نهایی آب در خاک، کل آب قابل‌دسترس و...) می‌باشد که توسط آزمایشگاه‌های آب و خاک اندازه‌گیری و یا برآورد می‌گردند. برخی از پارامترهای اساسی طراحی که با توجه به نتایج آزمایش‌های آب و خاک محاسبه می‌شوند عبارتند از ۱) دبی آبپاش که تابعی از نفوذپذیری نهایی خاک و فواصل بین آبپاش‌ها است، ۲) دور آبیاری که تابعی از خصوصیات فیزیکی خاک و تبخیر و تعرق گیاه می‌باشد و ۳) نیاز آبشویی که با توجه به نوع گیاه و کیفیت آب آبیاری تعیین می‌شود. طی سالیان گذشته، آزمایش‌های آب و خاک زیادی برای طراحی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در مناطق مختلف کشور ازجمله استان کرمانشاه انجام‌شده است. با توجه به اینکه تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب زیرزمینی در یک منطقه تدریجی است می‌توان با استفاده از این اطلاعات، نقشه پهنه‌بندی این پارامترها را تهیه و در زمان و هزینه طراحی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار صرفه‌جویی کرد. با فراگیر شدن استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، مطالعه‌های متعددی در خصوص میان‌یابی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب‌های زیرزمینی و خصوصیات خاک انجام‌شده است. در بیشتر این مطالعه‌ها تمرکز روی انتخاب روش و مدل مناسب برای میان‌یابی

یک یا چند پارامتر یا شاخص کیفی بوده است و مطالعه‌ای در خصوص پهنه‌بندی پارامترهای پایه‌ای موردنیاز طراحی سامانه‌های آبیاری یافت نشد. روش‌های میان‌یابی کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW: Inverse Distance Weihting) ازجمله روش‌های متداول برای پهنه‌بندی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خاک بوده‌اند. Kashi Zenouzi et al.،(2016) Sadeghi et al. ،(2019) Ghandali et al. ،(2019) Bahrami et al. ،(2019) Solgi و Nasiri (2019) و Abbasi et al. (2019) در مطالعه‌های خود روش کریجینگ را برای بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب مناسب دانستند. Asadzadeh et al. (2019) با روش کریجینگ تغییرات مکانی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت اردبیل را به‌منظور بررسی وضعیت آب‌های این منطقه برای استفاده از سامانه‌های آبیاری بررسی کردند. نتایج آن‌ها بیانگر محدودیت کم تا متوسط شوری آب زیرزمینی دشت اردبیل بود. Fang et al. (2020) در مطالعه‌ای در حوضه آبریز رودخانه داگو واقع در چین با استفاده از روش کریجینگ شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی را پهنه‌بندی کردند. در ادامه بیان کردند که زمین‌آمار می‌تواند جایگزین مناسبی برای بررسی کیفیت آب زیرزمینی در مطالعه‌های هیدرودینامیکی آب زیرزمینی باشد. نتایج این تحقیق ثابت کرد که مدل‌های زمین‌آماری دقت بالایی همراه با مقدار عدم اطمینان معتبری دارند. Zaiming et al. (2012) به بررسی مکانی تراز آب زیرزمینی و بعضی پارامترهای شیمیایی مربوط به ۱۳۰ حلقه چاه واقع در دشت بهای در شمال کشور چین پرداختند. نتایج نشان داد که مدل کروی بهترین مدل برازش داده شده به لگاریتم داده‌های تراز آب زیرزمینی و کل مواد جامد محلول بود حال‌آنکه مدل نمایی برای سختی کل و مدل گوسین برای هدایت الکتریکی (EC: Electrical Conductivity) بهترین مدل بودند. Yonesi et al. (2020) نیز با استفاده از روش کریجینگ برخی پارامترهای کیفی مهم آب (مانند نیترات) آبخوان نجف‌آباد را پهنه‌بندی کردند. Safari et al. (2020) و Kia et al (2019) روش کریجینگ بیزین تجربی را برای پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت هشتگرد و پهنه‌بندی تغییرات زمانی- مکانی شاخص کیفیت آب در آبخوان استان گلستان به‌عنوان روش مناسب میان‌یابی تعیین کردند. در برخی از مطالعه‌ها روش IDW برای پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب مناسب تشخیص داده‌شده و به‌کاررفته است. Kumar و Sangeetha (2020) با استفاده از روش IDW کیفیت آب زیرزمینی را در منطقه مورد مطالعه پهنه‌بندی و بر اساس آن از نظر شرب و کشاورزی طبقه‌بندی کردند. Mousavi et al. (2020) تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت لردگان را با روش IDW پهنه‌بندی و بررسی کردند. نتایج نشان داد پارامترهای SAR و EC آب منطقه مورد مطالعه از نظر کشاورزی شرایط خیلی خوبی دارند. Boufekane و Saighi (2019) ضمن مقایسه روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW برای پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی از قبیل SAR و EC بیان داشتند که روش کوکریجینگ خطای کمتری در منطقه مورد بررسی دارد و پس از پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی با این روش، مناطق با آلودگی بالا را مشخص کردند. Karami و Basirat (2015) به ارزیابی تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌های خاک سطحی دشت ارسنجان پرداختند. نتایج نشان داد ویژگی‌های خاک تغییرپذیری بالایی دارند و بین ویژگی‌های خاک همبستگی معنی‌داری وجود داشت. در بین روش‌های مورد بررسی، مناسب‌ترین روش میان‌یابی برای درصد سیلت را روشIDW و برای سایر متغیرها روش کریجینگ بیان کردند. Karimi et al. (2019) بر اساس روش‌های آمار کلاسیک به بررسی و تحلیل آماری ویژگی‌های کیفی خاک حوزه آبخیز بارده شهرستان شهرکرد پرداختند. نتایج نشان داد که ازلحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین خصوصیات مورد بررسی در کاربری‌های مختلف نیست. هدف از مطالعه کنونی تهیه نقشه مکانی پارامترهای اساسی طراحی سامانه آبیاری بارانی (قابل‌محاسبه بر اساس نتایج آزمایش‌های آب و خاک) در دشت‌های شهرستان اسلام‌آباد غرب واقع در استان کرمانشاه است. با توجه به اینکه در مطالعه‌های قبلی روش‌های کریجینگ و IDW برای پهنه‌بندی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب زیرزمینی و خاک مناسب تشخیص داده‌شده و در نظر گرفتن این موضوع که با قطعیت نمی‌توان یک روش خاص را به‌عنوان بهترین روش، برای میان‌یابی و پهنه‌بندی این پارامترها در نظر گرفت، در این مطالعه از هر دو روش جهت میان‌یابی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

اسلام‌آبادغرب یکی از شهرستان‌های استان کرمانشاه است که در مسیر راه کرمانشاه–خسروی واقع‌شده است. در این شهرستان پنج دشت حاصل‌خیز به نام‌های اسلام‌آباد، شیان، حسن‌آباد، هرسم و دیزگران وجود دارد. موقعیت دشت‌های این شهرستان نسبت به کشور و استان در شکل (۱) نشان داده شده است. میانگین بارندگی، دما و تبخیر سالیانه بر اساس آمار ۳۰ ساله (۱۳۶۶–۹۵) ایستگاه هواشناسی اسلام‌آباد به‌ترتیب ۴۶۲ میلی‌متر، ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۸۴۸ میلی‌متر است. اقلیم منطقه طبق روش آمبرژه و بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی اسلام آبادغرب تعیین گردید. بر این اساس اقلیم منطقه نیمه مرطوب معتدل تعیین گردید.

روش انجام تحقیق

در این مطالعه، نتایج آزمایش‌های آب و خاک مربوط به طرح‌های آبیاری تحت‌فشار که در اراضی تحت پوشش ۲۹۰ حلقه چاه آب کشاورزی شهرستان طی سال‌های ۹۶–۱۳۷۰ اجرا شده‌اند از سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه اخذ گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب (هدایت الکتریکی، مجموع املاح محلول، اسیدیته، غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های مهم، درصد سدیم محلول و

DOI: 10.22055/JISE.2022.39006.1997

نسبت جذبی سدیم) و خاک (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، اسیدیته کل اشباع، درصد مواد خنثی شونده، ظرفیت زراعی خاک، نقطه پژمردگی دائمی، جرم مخصوص ظاهری خاک، درصد شن، درصد سیلت و درصد رس) در اعماق ۳۰ – ۰، ۶۰ – ۳۰ و ۹۰ – ۶۰ سانتی‌متری و نفوذپذیری نهایی لایه سطحی خاک ازجمله پارامترهایی است که در این گزارش‌ها ارائه شده‌اند. در این مطالعه با مشورت با کارشناسان واحد آب و خاک سازمان جهاد کشاورزی استان، صرفا گزارش‌های یکی از آزمایشگاه‌های آب و خاک استان که بیشتر مورد تأیید بود استفاده شد. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته کلیه پارامترهای مربوط به آب در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده است. درصد ذرات رس، سیلت و شن، درصد ماده آلی، هدایت الکتریکی و اسیدیته در سه عمق در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده است. نفوذپذیری لایه سطحی و درصد رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایمی با توجه به خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک برآورد گردیده است. پس از بررسی و حذف داده‌های پرت و غیرمنطقی، درنهایت اطلاعات مربوط به ۲۶۱ طرح برای مطالعه انتخاب شد. لازم به ذکر است که کلیه نتایج مربوط به آزمایش‌های آب و خاک برای سامانه‌های آبیاری بارانی بوده است. بعد از اخذ نقشه محدوده دشت‌های شهرستان از شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در هریک از دشت‌ها مشخص شد. از تعداد ۲۶۱ حلقه چاه آب به‌ترتیب ۳۴، ۴۰،۴۰، ۱۳۲ و ۱۵ حلقه در دشت‌های شیان، حسن‌آباد، هرسم، اسلام‌آباد و دیزگران واقع‌شده است (شکل۲). به‌عنوان نمونه اطلاعات مربوط به خصوصیات آب و خاک سه طرح در جداول (۱) و (۲) ارایه شده است.

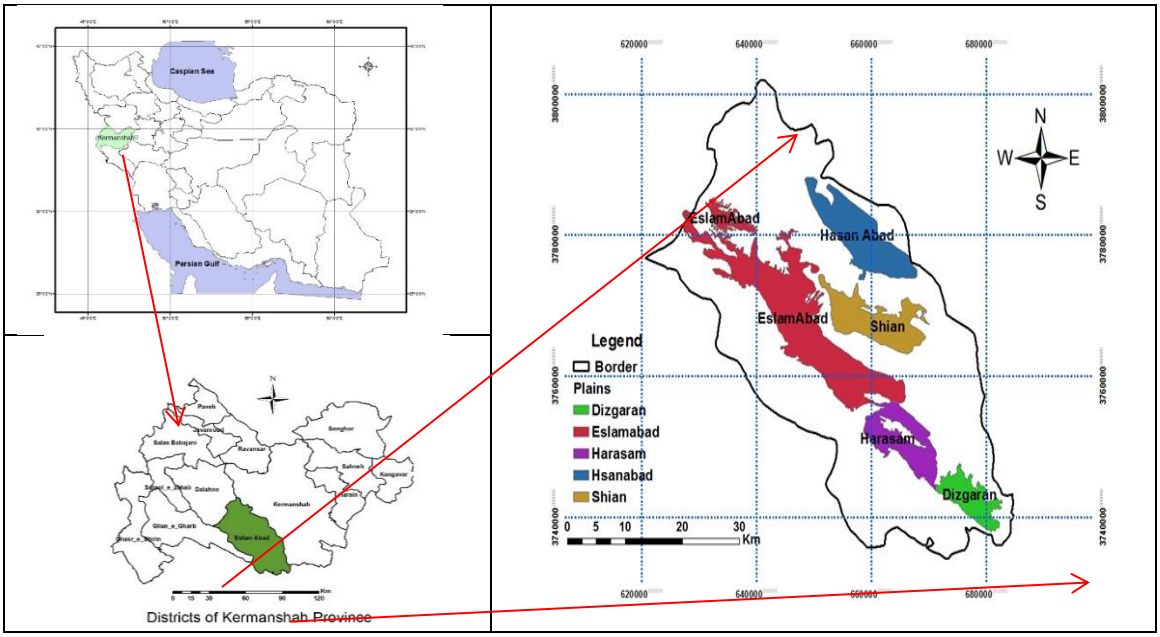


Fig. 1- Location of Islamabad plains in Iran and Kermanshah province

شکل ۱- نقشه موقعیت دشت‌های اسلام‌آباد غرب در کشور و استان کرمانشاه

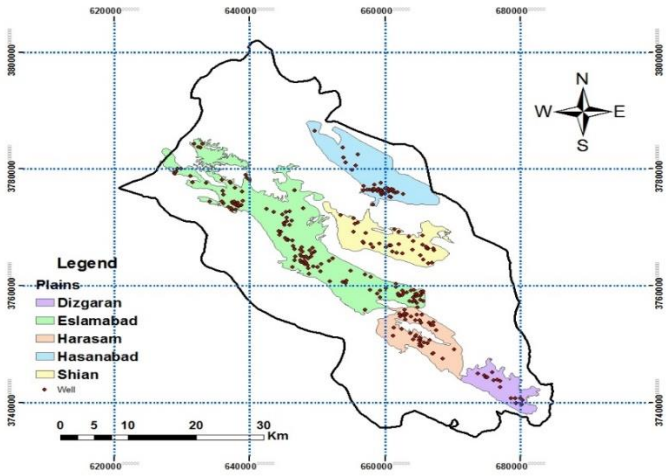


Fig. 2 - Location and distribution of studied projects in the Islamabad plains

شکل ۲- موقعیت و پراکنش طرح‌های مطالعه شده در دشت‌های شهرستان اسلام‌آباد غرب

جدول ۱- موقعیت چاه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب در سه طرح (به عنوان نمونه)

Table 1- Location of well and physical and chemical properties of water in three projects (as an example)

Parameter	unit	Project No.		
		7	65	127
Village Name	-	Ghuchemi Namdar	Momeyi	Firouz Abad
Well depth	m	30	100	48
X coordinate (UTM)	m	664425	649211	629332
Y coordinate (UTM)	m	3757450	3765492	3780041
EC	ds/m	370	512	465
pH	-	7.15	7.7	7.4
Cl^-	meq/l	0.6	0.9	0.7
$SO4^{--}$	meq/l	0	3.39	0.69
$HCO3^-$	meq/l	4.33	6.6	7.3
$(Ca + Mg)^{++}$	meq/l	4.7	9.9	8.6
Na^+	meq/l	0.23	0.99	0.09
TDS		237	327	298
SAR		0.15	0.44	0.04
Classification	-	C2-S1	C2-S1	C2-S1

DOI: 10.22055/JISE.2022.39006.1997

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در سه طرح (به عنوان نمونه)

Table 2- Physical and chemical properties of soil in three projects (as an example)

Parameter	Unit	Soil depth (cm)	Project No.		
			7	65	127
Basic infiltration rate	mm/hr	0-30	14	11	12
Sand	(%)	0-30	5	27	20
		30-60	3	25	22
		60-90	6	25	20
Silt	%	0-30	60	34	54
		30-60	48	32	54
		60-90	45	34	54
Clay	%	0-30	35	39	26
		30-60	49	43	24
		60-90	49	41	26
Soil texture	-	0-30	Silty clay loam	Clay loam	Silty loam
		30-60	Silty clay	Clay	Silty loam
		60-90	Silty clay	Clay	Silty loam
EC	ds/m	0-30	0.8	1.4	0.8
		30-60	0.8	1.5	0.9
		60-90	0.8	1.45	0.85
pH	-	0-30	7.8	8.1	7.45
		30-60	7.5	8.3	7.6
		60-90	7.55	8.25	7.6
FC	% (Vol.)	0-30	33	30	31
		30-60	35	35	31
		60-90	35	35	31
PWP	% (Vol.)	0-30	16	16	16
		30-60	17	18.5	16
		60-90	17	18.5	16
Bulk density	gr/cm^3	0-30	1.36	1.4	1.34
		30-60	1.33	1.3	1.34
		60-90	1.33	1.3	1.34

کلیه داده‌ها در یک بانک اطلاعاتی در محیط Microsoft Access ذخیره گردید. این فایل قابلیت فراخوانی در نرم‌افزار ArcGIS را هم دارد. همان‌گونه که بیان شد کلیه پارامترهای خاک غیر از نفوذپذیری لایه سطحی، در سه عمق اندازه‌گیری شده‌اند. به‌منظور ساده‌سازی و امکان تحلیل راحت‌تر نتایج، میانگین این پارامترها در سه عمق محاسبه و برای هر پارامتر، یک ستون جدید به بانک اطلاعاتی اضافه گردید. مقدار کل آب قابل‌استفاده (TAW) تا عمق یک متری خاک نیز بر اساس رابطه (۱) محاسبه و به بانک اطلاعاتی اضافه شد (ضخامت لایه سوم ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد).

$$TAW = \sum_{i=1}^{3} (FC_i - PWP_i) * D_i \qquad (۱)$$

در این رابطه، FC_i، PWP_i و D_i به‌ترتیب رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و پژمردگی دائمی و ضخامت خاک در لایه i می‌باشند.

بعد از تشکیل لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS، اقدام به تهیه نقشه کلیه پارامترهای موجود در بانک اطلاعاتی گردید. همان‌گونه که در مقدمه و بعد از بررسی منابع بیان شد روش‌های کریجینگ و IDW ازجمله روش‌هایی هستند که در مطالعه‌های متعددی برای پهنه‌بندی خصوصیات خاک و آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرارگرفته‌اند و به‌طورقطع نمی‌توان گفت که کدام روش بر دیگری برتری مطلق دارد؛ بنابراین در این مطالعه از هر دو روش برای میان‌یابی استفاده شد. برای میان‌یابی پارامترهای اولیه و محاسباتی از ابزارهای میان‌یابی در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. به‌منظور کاهش خطاهای انسانی، افزایش سرعت تهیه نقشه‌ها و انجام خودکار فرآیندها، با استفاده از امکانات Model Builder در محیط ArcGIS برای هرکدام از روش‌های میان‌یابی یک مدل به‌منظور میان‌یابی پارامترها تهیه شد. لازم به ذکر است که میان‌یابی در

شبکه‌های ۱۰۰ متری برای هر دشت به‌صورت جداگانه انجام شد و در میان‌یابی پارامترهای هر دشت صرفاً از نمونه‌های همان دشت استفاده گردید. درنهایت نقشه‌های تهیه‌شده برای هر لایه در کل منطقه باهم ادغام گردیدند. با توجه به تعدد میان‌یابی‌ها با استفاده از امکانات Model Builder در این نرم‌افزار کد نویسی به‌گونه‌ای انجام شد که در صورت نیاز (مثلاً افزایش نتایج نمونه‌برداری‌های جدید) تمام نقشه‌ها با یک دستور به‌روز گردند.

با توجه به اینکه اهداف اصلی استفاده از نتایج آزمایش‌های آب و خاک، تعیین حداکثر دور آبیاری، حداکثر دبی آبپاش و نیاز آبشویی است، در این مطالعه نقشه پهنه‌بندی این پارامترها برای دو محصول غالب پاییزه (گندم) و بهاره (چغندرقند) تهیه و تفسیر شد. حداکثر دبی آبپاش (Q_{max}) بستگی به فاصله بین آبپاش‌ها روی لوله فرعی (S_m)، فاصله لوله‌های جانبی روی لوله اصلی (S_l) و نفوذپذیری نهایی خاک (i_f) دارد که از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$Q_{max} = \frac{S_m * S_l * i_f}{360} \qquad (۲)$$

در این رابطه S_m و S_l برحسب متر، i_f برحسب سانتی‌متر بر ساعت و Q_{max} برحسب لیتر در ثانیه هست. حداکثر دور آبیاری (F)، به عمق ریشه (D)، مقدار کل آب قابل‌استفاده تا عمق یک متری (TAW)، حداکثر مقدار تخلیه مجاز (MAD) و تبخیر و تعرق گیاه در دوره حداکثر مصرف آب (ET_{max}) بستگی دارد (رابطه ۳).

$$F = \frac{MAD * TAW * D}{ET_{max}} \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، مقادیر D، TAW، ET_{max} و F به‌ترتیب برحسب متر، میلی‌متر بر متر، میلی‌متر در روز و روز می‌باشند. مقدار MAD بدون واحد هست و برای هر دو محصول نیم (۰/۵) در نظر گرفته شد. حداکثر تبخیر و تعرق گندم و چغندرقند با توجه به اطلاعات مندرج در سند ملی آب کشور به‌ترتیب ۳/۳ و ۹/۳ میلی‌متر در روز، در نظر گرفته شد.

شور شدن زمین‌هایی که قبلاً حاصلخیز بوده‌اند بستگی به شوری آب آبیاری و مقدار آبی دارد که مازاد بر تبخیروتعرق به زمین داده می‌شود تا از منطقه توسعه ریشه‌ها عبور نماید. آن بخش از آب آبیاری که به داخل خاک نفوذ کرده و از منطقه ریشه می‌گذرد جزء آبشویی (LF: Leaching Fraction) نام دارد که با توجه به شوری آب آبیاری (EC_{iw}) و نوع گیاه از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد. مقدار EC_e با توجه به جداول و در حالت بدون کاهش عملکرد ناشی از شوری خاک برای گندم و چغندرقند به‌ترتیب شش و هفت دسی زیمنس بر متر در نظر گرفته شد (Alizadeh, 2009).

$$LF = \frac{EC_{iw}}{5 * EC_e - EC_{iw}} \qquad (۴)$$

نتایج و بحث

شوری آب زیرزمینی

نقشه پهنه‌بندی EC آب زیرزمینی به دو روش کریجینگ و IDW در شکل (۳) ارائه‌شده است. مشاهده می‌گردد که قسمت‌های میانی شهرستان، شوری بالاتری دارد و در حومه شمالی شهرستان، منطقه دیزگران و قسمت‌های جنوبی دشت حمیل، EC آب پایین‌تر است. دشت‌های دیزگران و شیان به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر EC آب زیرزمینی را نسبت به سایر دشت‌های شهرستان دارا می‌باشند. خلاصه نتایج آماری هر دو روش پهنه‌بندی در جدول (۱) ارائه‌شده است. با توجه به معیار طبقه‌بندی کیفی آب آبیاری به روش فائو، آب‌های زیرزمینی کل منطقه در پهنه‌بندی به روش کریجینگ از نظر شوری (EC) در کلاس بدون محدودیت قرار دارند (Alizadeh, 2009). بر اساس نقشه طبقه‌بندی EC آب زیرزمینی در روش IDW و با معیار فائو، EC آب زیرزمینی دشت‌های شهرستان در دو کلاس بدون محدودیت و محدودیت کم تا متوسط قرار می‌گیرند. نتایج بیانگر این است که بر اساس این روش میان‌یابی نیز حدود ۹۷ درصد آب زیرزمینی منطقه محدودیتی برای استفاده در آبیاری ندارد.

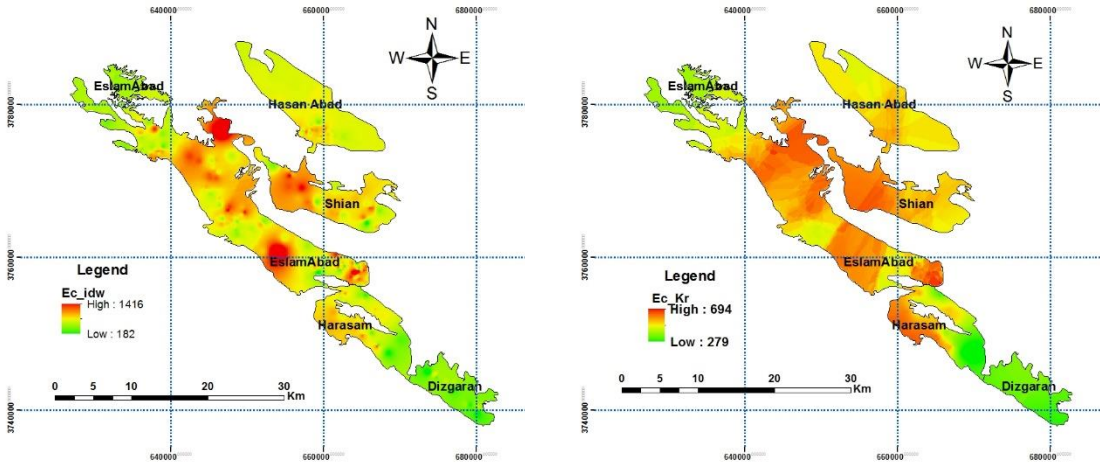
نفوذپذیری نهایی خاک

نقشه‌های پهنه‌بندی نفوذپذیری نهایی خاک دشت‌های شهرستان، به دو روش کریجینگ و IDW در شکل (۴) نشان داده‌شده است. با توجه به این نقشه‌ها مشاهده می‌گردد که نفوذپذیری خاک‌های دشت دیزگران بالاتر از سایر مناطق است. در حالت کلی می‌توان گفت که در مناطق غربی شهرستان یعنی دشت‌های اسلام‌آباد، حسن‌آباد و نیمه غربی دشت شیان، نفوذپذیری خاک کمتر و در نواحی شرقی آن یعنی دشت‌های دیزگران، هرسم و نیمه شرقی دشت شیان، نفوذپذیری خاک بیشتر است. این موضوع با نقشه پهنه‌بندی درصد رس خاک تا حدود زیادی هم‌خوانی دارد (به دلیل محدودیت در تعداد صفحات این نقشه ارائه نشده است). بدین معنی که در مناطقی که نفوذپذیری خاک کمتر است درصد رس خاک نیز بالاتر هست.

کل آب قابل‌دسترس

با توجه به نقشه پهنه‌بندی کل آب قابل‌دسترس خاک زراعی دشت‌های شهرستان به دو روش IDW و کریجینگ شکل (۵) می‌توان گفت دشت حسن‌آباد کمترین مقادیر آب قابل نگهداری در خاک را دارد و این مقدار در دشت‌های اسلام‌آباد و هرسم، بیشتر از سایر دشت‌هاست. حداقل مقدار آب قابل نگهداری خاک ۱۳۰ میلی‌متر در متر بیانگر ظرفیت نگهداری نسبتاً خوب خاک‌های‌شهرستان است.

DOI: 10.22055/JISE.2022.39006.1997



a) b)

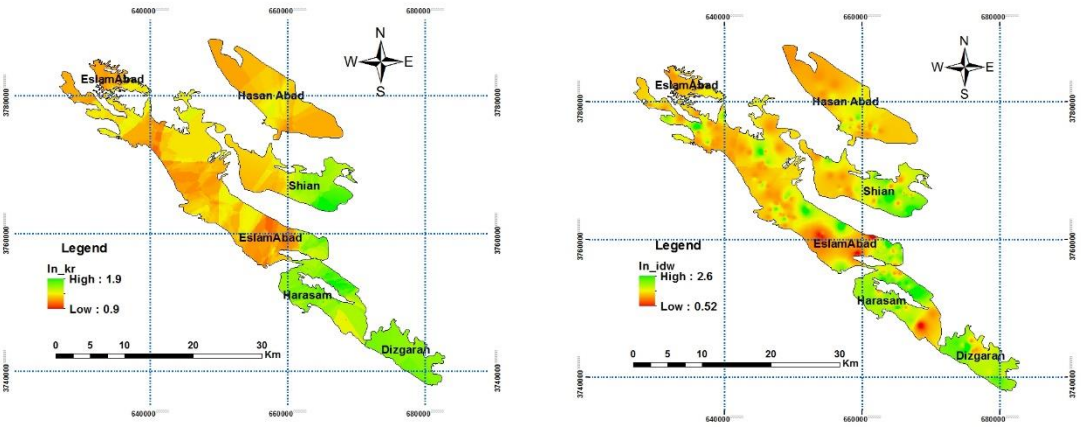
Fig. 3 – The map of Groundwater EC (µS / cm) generated by a) IDW and b) Kriging method

شکل ۳- نقشه هدایت الکتریکی (µS / cm)آب زیرزمینی تهیه‌شده بر اساس روش‌های a) IDW و b) کریجینگ

جدول ۱- خلاصه نتایج آماری پهنه‌بندی شوری آب زیرزمینی برحسب میکرو زیمنس بر سانتی‌متر

Table 1 - Summary of statistical results of groundwater salinity zoning (µS / cm)

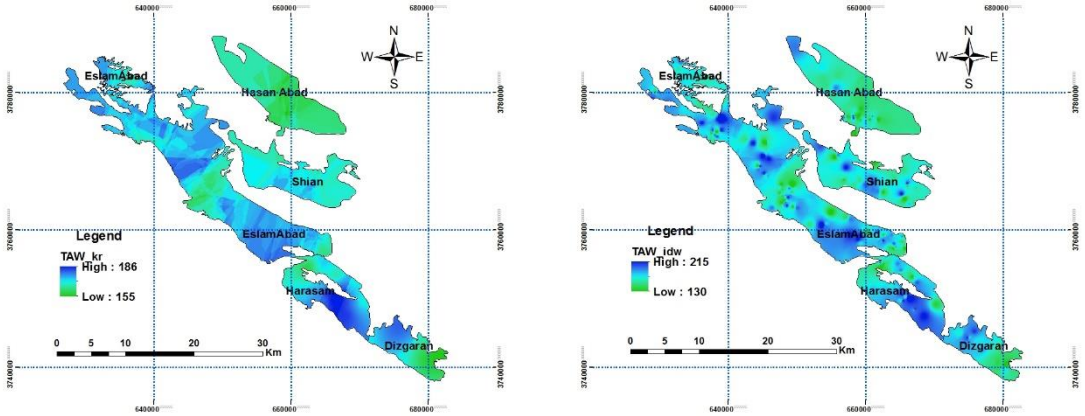
Method	Plain	Minimum	Maximun	Range	Average	Standard Deviation
Kriging	Shian	497	654	158	575	43
	asanabad	478	603	124	519	24
	slamabad	397	694	297	553	70
	Harasam	280	673	393	478	112
	Dizgaran	321	401	80	362	18
IDW	Shian	200	827	626	578	82
	Hasanabad	321	735	415	504	27
	slamabad	186	1416	1231	560	114
	Harasam	198	840	642	488	84
	Dizgaran	182	577	396	358	43



a) b)

Fig. 4 - Soil permeability zoning map by a) Kriging and b) IDW methods (cm/hr)

شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی نفوذپذیری خاک به روش‌های a) کریجینگ و b) IDW برحسب سانتی‌متر بر ساعت



a) b)

Fig. 5 – Total available water in the soil (mm/m) based a) Kriging and b) IDW Methods

شکل ۵- کل آب قابل‌دسترس خاک (mm/m) به روش‌های a) کریجینگ و b) IDW

حداکثر دور آبیاری

نقشه پهنه‌بندی حداکثر دور آبیاری گندم و چغندرقند در شکل‌های (۶) و (۷) ارائه شده است. با توجه به اینکه در محاسبات تعیین حداکثر دور آبیاری، عمق ریشه، میزان تبخیر و تعرق حداکثر و مقدار تخلیه مجاز برای هرکدام از گیاهان در کلیه دشت‌ها یکسان فرض شده است حداکثر دور آبیاری ضریبی از نقشه آب قابل‌دسترس هست؛ بنابراین تغییرات مکانی این پارامتر مشابه با نقشه مقدار کل آب قابل‌دسترس هست. مشاهده می‌گردد در مناطق جنوبی و شمالی دشت اسلام‌آباد، قسمت‌های جنوبی دشت هرسم، شمال و شمال غربی دشت دیزگران و تا حدودی بخش‌هایی از مرکز دشت شیان حداکثر دور آبیاری را می‌توان بیشتر از سایر مناطق در نظر گرفت. در حالت کلی حداکثر فاصله بین دو آبیاری در دشت حسن‌آباد نسبت به سایر دشت‌ها کمتر است. حداکثر دور آبیاری گندم بر اساس نقشه‌های تهیه‌شده به روش کریجینگ ۲۲ تا ۲۶ روز و به روش IDW، ۱۸ تا ۳۱ روز تعیین گردید. حداکثر دور آبیاری چغندرقند در دشت‌های شهرستان اسلام‌آباد غرب در روش کریجینگ به‌ترتیب بین هفت تا نه روز و در روش IDW، بین شش تا ۱۰ روز تعیین گردید. انتخاب دور آبیاری یک مسئله مدیریتی بوده و کم‌تر تحت تأثیر مسائل هیدرولیکی هست. معمولاً دور آبیاری بین پنج تا ۱۰ روز برای آبیاری بارانی مناسب است (Roshani, 2015). در اینجا چون حداکثر دور آبیاری محاسبه‌شده بیشتر از این مقادیر است. لذا می‌توان دور آبیاری گندم را برای کلیه دشت‌های شهرستان ۱۰ روز در نظر گرفت. دور آبیاری هفت روز که به‌طور متداول برای چغندرقند در منطقه معمول است ممکن است در برخی از مناطق این شهرستان ازجمله دشت حسن‌آباد منجر به ایجاد تنش آبی محدودی گردد. پیشنهاد می‌گردد در این دشت مطالعات تکمیلی انجام شود.

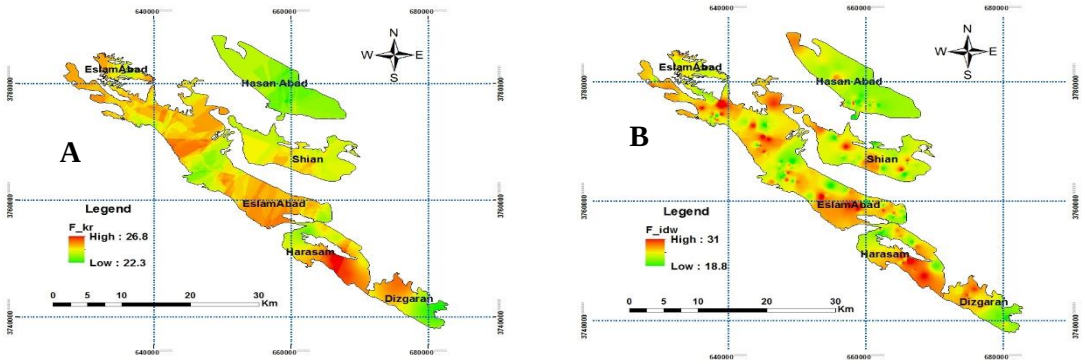


Fig. 6 –The map of wheat maximum irrigation interval (day) by a) Kriging and b) IDW methods

شکل ٦- نقشه پهنه‌بندی حداکثر دور آبیاری گندم به روش a) کریجینگ و b) IDW برحسب روز

DOI: 10.22055/JISE.2022.39006.1997

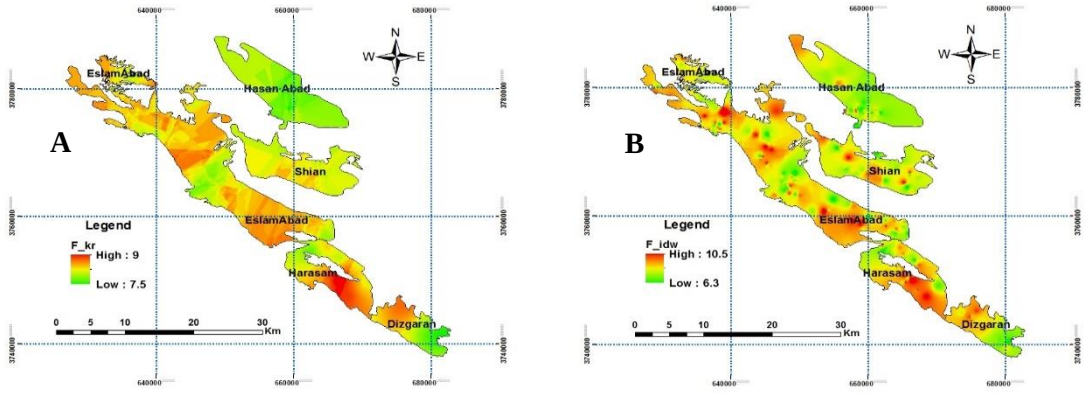


Fig. 7 - The map of sugarbeet maximum irrigation interval (day) by a) Kriging and b) IDW methods

شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی حداکثر دور آبیاری چغندرقند به روش a) کریجینگ و b) IDW برحسب روز

کسر آبشویی

مقدار کسر آبشویی گندم و چغندرقند بر اساس رابطه (۵) محاسبه و همانند سایر نقشه‌ها به روش‌های روش کریجینگ و IDW پهنه‌بندی شدند. با توجه به اینکه مقدار ECe برای هرکدام از گیاهان در دشت‌های شهرستان یکسان فرض شد، مقدار کسر آبشویی برای هرکدام از گیاهان عملاً تابعی از هدایت الکتریکی آب آبیاری (ECiw) هست که پهنه‌بندی آن در شکل (۳) ترسیم‌شده است. در قسمت‌های شمالی و جنوبی دشت اسلام‌آباد، مناطق مرکزی و غرب دشت شیان، غرب و شمال غربی دشت هرسم و تا حدودی ناحیه مرکزی دشت حسن‌آباد که شوری آب زیرزمینی بالاتر هست نیاز آبشویی گیاهان مورد مطالعه هم بیشتر بود. حداکثر کسر آبشویی محاسبه‌شده برای هر دو گیاه (گندم و چغندرقند) در دشت-های این شهرستان کمتر از پنج درصد محاسبه شد. معمولاً در طراحی سامانه‌های آبیاری درصورتی‌که کسر آبشویی کمتر از ۱۰ درصد محاسبه شود، فرض می‌کنند که این مقدار توسط تلفات نفوذ عمقی ناشی از غیریکنواختی سامانه آبیاری تأمین گردد و کسر آبشویی را لحاظ نمی‌کنند. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه نیازی به در نظر گرفتن کسر آبشویی نیست، لذا نقشه‌های این پارامتر ارائه نشده است.

دبی آبپاش

سامانه آبیاری بارانی رایج در منطقه مورد مطالعه مشابه با سایر مناطق استان کرمانشاه، آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبپاش متحرک است. در این منطقه فاصله بین آبپاش‌ها بین ۲۰ تا ۲۵ متر در نظر گرفته می‌شود. فلذا در ادامه حداکثر دبی آبپاش برای آبپاش‌های با فواصل ۲۰، ۲۲ و ۲۵ متر تعیین گردید. طبق رابطه (۳)، حداکثر دبی آبپاش برای فاصله مشخص آبپاش‌ها ارتباط مستقیم با نفوذپذیری نهایی خاک دارد. در ادامه نقشه حداکثر دبی آبپاش برای آبپاش‌های بافاصله ۲۰ متر از یکدیگر تهیه‌شده بر اساس روش‌های میان‌یابی کریجینگ و IDW در شکل (۸) ارائه شده است. در مناطق شرقی دشت شیان، بیشتر مناطق دشت‌های هرسم و دیزگران که نفوذپذیری خاک بیشتر هست امکان استفاده از آبپاش‌های با دبی بیشتر وجود دارد و طراح سامانه آبیاری آزادی عمل بیشتری برای انتخاب نوع آبپاش دارد. حداکثر دبی آبپاش برای سایر شبکه‌ها ضریبی از فاصله ۲۰ متری است. این ضریب برای فواصل آبپاش‌های ۲۲ و ۲۵ متری به‌ترتیب ۱/۲۱ و ۱/۵۶هست.

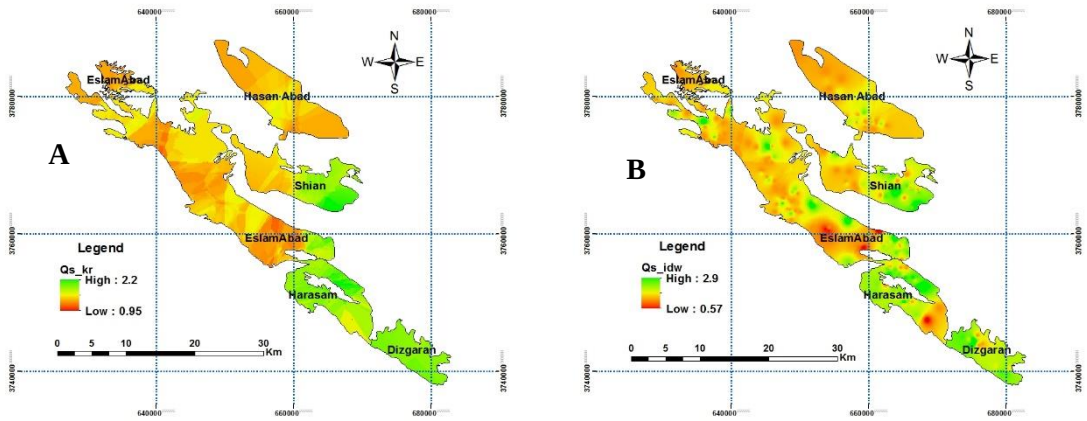


Fig. 8- The map of maximum sprinkler discharge (L/s) for sprinkler spacing of 20 meters based on interpolation techniques of a) kriging and b) IDW

شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی حداکثر دبی آبپاش (L/s) برای آبپاش‌های بافاصله ۲۰ متر بر اساس روش‌های میان‌یابی a) کریجینگ و b) IDW

نتیجه‌گیری

نتایج بیانگر این است که حداقل ۹۷ درصد آب زیرزمینی منطقه بر اساس معیار FAO از نظر کیفی برای سامانه‌های آبیاری بارانی محدودیتی ندارند. علی‌رغم اینکه مناطق مرکزی شهرستان (بخش‌هایی از دشت شیان و اسلام‌آباد) شوری بالاتری نسبت به سایر مناطق دارا هستند ولی در کل کسر آبشویی موردنیاز برای گیاهان مورد مطالعه حتی در این نواحی نیز کمتر از پنج درصد برآورد گردید. با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد که در این مناطق نیازی به در نظر گرفتن آب اضافی برای شستشوی نمک‌ها نیست. با توجه به نقشه‌های نفوذپذیری نهایی خاک می‌توان بیان کرد که مناطق غربی شهرستان نفوذپذیری کمتر و نواحی شرقی نفوذپذیری بیشتری دارد. نفوذپذیری نهایی مهم‌ترین عامل در انتخاب حداکثر دبی آبپاش است که در این مطالعه موردتوجه قرار گرفت و بر اساس آن حداکثر دبی آبپاش برای فواصل مختلف آبپاش تعیین گردید. پیشنهاد می‌گردد که طراحان سامانه‌های آبیاری توجه خاصی به نفوذپذیری نهایی خاک و دبی آبپاش در مناطق غربی شهرستان که نفوذپذیری کمتری دارند داشته باشند. با توجه به ظرفیت نگهداری نسبتاً مناسب آب در بیشتر خاک‌های منطقه مورد مطالعه، دور آبیاری ۱۰ و هفت روز برای گندم و چغندرقند منطقی به نظر می‌رسد. البته در دشت حسن‌آباد نیاز به مطالعات تکمیلی در خصوص تدقیق دور آبیاری چغندرقند هست. با توجه به اینکه تعداد نمونه‌های مورد بررسی در این مطالعه حتی بیشتر از تعداد نمونه مورد نیاز برای مطالعات تفصیلی است و پراکنش نقاط نمونه برداری نیز نسبتا مناسب هست (شکل ۲)، می توان نتایج پهنه‌بندی را با دقت قابل قبولی پذیرفت. به نظر می‌رسد که با توجه به نقشه‌های تهیه‌شده بتوان بدون انجام آزمایش‌های جدید آب و خاک، با دقت قابل قبولی نسبت به طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی در دشت‌های مورد مطالعه اقدام نمود. با این کار می‌توان در وقت و هزینه‌های کشاورزان و طراح سامانه آبیاری صرفه‌جویی نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم میدانند از همکاری مدیریت آب و خاک سازمان جهادکشاورزی استان کرمانشاه و مساعدت‌های آقای مهندس مهدی نجفی کارشناس شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه کمال تشکر و امتنان را داشته باشند.

References

1- Abbasi, Z., Azimzadeh, H., Talebi, A. and Sotoudeh, A., 2019. Evaluating Quality of Ajabshir groundwater resources based on groundwater quality indicator (GQI) and geographical information system. *Journal of Water and Soil Science*, 22(4), pp.99-108. (in Persian)

2- Asadzadeh, F., Pirkharrati, H. and Sheikhi Almanabad, Z., 2019. Assessment of spatial distribution some ground water quality indexes in Adrabil plain for irrigation uses. *Journal of Water and Soil Conservation*, 9(1), pp.107-121. (in Persian).

3- Alizadeh, A., 2009. Modern land drainage: Planning, design and management of agricultural drainage systems. Imam Reza International University Press. (Translated in Persian)

4- Bahrami, E., Mohammadrezapour, O., Safavi Gerdini, M., Mohamadi Sedigh, M. and Salarijazi, M., 2019. Geostatistical assessment of spatial and temporal variations of ground water quality parameters in Qorveh and Dehgolan south plain. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 9(33), pp.167-182. (in Persian)

5- Boufekane, A. and Saighi, O., 2019. Assessing groundwater quality for irrigation using geostatistical method – case of Wadi Nil plain (North-East Algeria). *Groundwater for Sustainable Development*, 8, pp.179-186.

6- Fang,Y,. Zheng, T., Zheng, X., Peng, H,. Wang, H,. Xin, J. and Zhang, B., 2020. Assessment of the hydrodynamics role for groundwater quality using an integration of GIS, water quality index and multivariate statistical techniques. *Journal of Environmental Management*, 273, 111185.

7- Ghandali, M., Shayesteh, K. and Sadi Mesgari, M., 2019. Groundwater quality zoning for agricultural and drinking usage using water quality index and geostatistics techniques in Semnan watershed. *Journal of Water and Soil Science*, 23(1), pp.187-198. (in Persian)

DOI: 10.22055/JISE.2022.39006.1997

8- Karami, A. and Basirat, S., 2015. Geostatistical assessment of spatial variability of some surface soil properties in Arsenjan plain. *Iranian journal of Soil Research*, 29(1), pp.59-69. (in Persian)

9- Karimi, A., Moghani, N., Mohammadi, J. and Naderi, M., 2019. Investigation of some soil physical quality properties in different land uses in bardeh catchment, Shahrekord (Chaharmahal and Bakhtiari province). *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(5), pp.249-263. (in Persian)

10- Kashi, Zenouzi, L., Yazdani, M., Khosroshahi, M. and Rahimi, M., 2019. Assessment changes of some parameters of groundwater quality in the Marand country watershed - East Azarbayejan. *Journal of Water and Soil*, 32(6), pp.1081-1095. (in Persian)

11- Kia, F., Ghorbani, Kh. and salarijazi, M., 2019. Assessment of spatial and temporal variations of groundwater quality using WQI during two decades in aquifer of Golestan province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(1), pp.39-51. (in Persian)

12- Kumar, S. and Sangeetha, B., 2020. Assessment of ground water quality in Madurai city by using geospatial techniques. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100297

13- Mousavi, A., Solaimani, K., Shokrian, F. and Roshuni, S.H., 2020. Investigation of spatio-temporal variation in groundwater resource quality using geo-statistical methods (case study: Lordegan plain, Chaharmahal and Bakhteyari province). *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 10(39), pp.262-276. (in Persian)

14- Roshani, A., 2015. Design of sprinkler irrigation systems (classic - wheellmove). Tehran: Agricultural Education and Extension Press. (in Persian).

15- Sadeghi, S.H., Allbuali, A. and Ghazavi, R., 2016. Investigation of temporal and spatial trends of water quality parameters change using geostatistic methods in Kashan plain. *Journal of Water and Soil Science*, 20(76), pp.73-83. (in Persian)

16- Safari, F., Shahbazi, A. and Ketabchi, H., 2020. Quality analysis and nitrate map of groundwater resources in Alborz province (Hashtgerd plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(5), pp.113-130. (in Persian)

17- Solgi, E. and Nasiri, M., 2019. Zoning of some drinking water quality parameters using GIS (case study: Malayer city). *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 93(6), pp.177-190. (in Persian)

18- Yonesi, H., Torabipoudeh, H., Shahinejad, B., Arshia, A. and Mirzapour, H., 2020. Groundwater quality trend analysis and zoning using TFPW-MK and GIS (case study: Najaf Abad aquifer). *Journal of Water and Soil Conservation*, 9(3), pp.143-156. (in Persian)

19- Zaiming, Z., Guanghui, Z., Mingjiang, Y. and Jinzhe, W., 2012. Spatial variability of the shallow groundwater level and its chemistry characteristics in the low plain around the Bohai Sea, North China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(6), pp. 3697-3710.