

Research Article

Feasibility study for using artificial recharge to dilute the contaminated groundwater by saline sewage of Kaveh Soda factory (Maragheh) and selection of implementation site

Abdorrezza Vaezihir^{1*}, Maryam Hasanpour¹

1- Department of of Earth Sciences, University of Tabriz

Keywords: *Groundwater pollution, Kaveh Soda factory, Artificial recharge, Dilution, Maragheh.*

1-Introduction

Due to population growth, the increasing rate of industrialization, and the continuous exploitation of groundwater by industries, the quantity and quality of groundwater resources have been affected (Daneshvar and Vosoughi et al., 2011). The release of pollutants from industrial activities into groundwater poses irreversible hazards to aquifers in many regions of Iran. The Maragheh Basin in East Azerbaijan Province is one of the aquifers contaminated by industrial effluents, leading to a decline in groundwater quality due to the failure of evaporation ponds of Kaveh Soda Complex (Zenozi and Vaezi, 1399). Consequently, 300 hectares of downstream aquifer have been contaminated with 960,000 cubic meters of groundwater.

In order to control leakage and reduce the volume of stored effluents, one method for improving the quantity and quality of groundwater is artificial recharge, as Fred et al. (2006) suggested. This study assesses and manages the contaminated aquifer by examining the study area's hydrological, soil, hydrogeological, and sedimentological characteristics. A comprehensive watershed analysis determines the optimal location for implementing artificial recharge projects.

The suitability of the location for artificial recharge projects is a key prerequisite for the success of this method. Previous studies, including Hamadi et al. (2007) and Ghayoumian et al. (2004), utilized GIS, MCDM, and DSS techniques for optimal site selection for artificial recharge projects. After determining the appropriate location, the effectiveness of artificial recharge in improving water quality is evaluated. Past research indicates that artificial recharge can significantly enhance the quality of groundwater. Examples from studies conducted by Karlsen et al. (2012), Ma et al. (2012), Soulios et al. (2007) in Greece, and Shi et al. (2015) in China support this notion.

This research thoroughly examines the site status and selects an optimal location for implementing artificial recharge. Subsequently, the area is assessed in various ways to ensure the feasibility of implementing artificial recharge projects. Factors such as topography, geography, accessibility, and the impact on surrounding areas are investigated to ensure sustainable water supply. After confirming the final location, a comprehensive feasibility analysis is conducted to ensure the reliable and long-term implementation of the recharge project.

In another part of the study, groundwater pollution in the vicinity of the Kaveh Soda Factory in Maragheh, resulting from effluent leakage, is investigated. Recharging of runoff water to reduce this pollution is proposed. Considering the increased salinity of groundwater due to contamination, the research indicates that artificial recharge can improve groundwater conditions. This method reduces water salinity,

* Corresponding author: vaezihir@yahoo.com

DOI: 10.22055/aag.2025.45057.2415

Received: 2023-12-03

Accepted: 2025-01-01

can control floods, improves water quality, and revives the aquifer's water table.

These recharge basins are shaped as rectangles with lengths four times their width. After transferring runoff from the Mardagh Chay River, it enters the first sedimentation basin and flows into the recharge basins after clarification. The infiltration of low-salinity runoff and its addition to saline groundwater can rapidly reduce the salinity of the aquifer, which has slowly decreased the aquifer's salinity in recent years due to natural rainwater recharge.

2-Material and methods

This research has been conducted in the downstream lands of the Kaveh Soda Factory in Maragheh to improve the aquifer's condition and reduce groundwater pollution. Comprehensive geology, hydrogeology, and hydrology studies have been carried out, and the sediment amount in the watershed was estimated using the MPSIAC model. Additionally, using the double-ring tests, the surface permeability in different sections of the area was assessed. Ultimately, an appropriate location for implementing the recharge project was chosen based on the type and size of the pollution plume, land use, slope, proximity to the recharge source, and ownership of lands under the Kaveh Soda Factory.

Furthermore, the SCS method was employed to estimate the runoff volume in different return periods of floods. The chosen location considers factors crucial for the success of the artificial recharge project, ensuring effective mitigation of pollution and improvement of the aquifer's quality.

3- Results and discussions

The Mordagh Chay River has been considered the primary water source for implementing artificial recharge projects. The physiographic characteristics of the Mardagh Chay River watershed were also calculated, estimating the area to be approximately 413 square kilometers with an average slope of 22.62 degrees. The results of double-ring tests indicate that the average water infiltration in this area is around 0.36 centimeters per hour.

Using the MPSIAC model, the sediment amount in the watershed was estimated to be 238 cubic meters per square kilometer. A suitable location for the project, covering an area of 58 hectares, was identified within the pollution-affected zone (approximately 300 hectares of downstream lands from the factory). The selection was based on factors such as land use, land slope, pollution plume location, and proximity to the water supply source in the downstream lands of the factory (within a 5-kilometer distance from the lowest lagoon).

4-Conclusion

This study revealed that employing artificial recharge methods through infiltration basins expedites improving contaminated aquifers' quality and the reduction of pollution. The increase in water volume in permeable infiltration basins leads to a decrease in aquifer salinity, thereby enhancing groundwater quality. This research examined the pollution zone around the Kaveh Soda factory and the Mordagh Chai River. The initial estimate reveals approximately 238 cubic meters of sediment per square kilometer and an estimated polluted area of around 300 hectares. To dilute this pollution volume down to the background level of the area (2900 $\mu\text{s/cm}$), recharging 960 thousand cubic meters of water that can be supplied from the Mordagh Chai River. Considering various factors such as the type and extent of pollution, land use, slope, and proximity to water sources, an area of 58 hectares has been selected for implementing the recharge project. This project has the potential to decrease the salinity of groundwater in 3 to 5 years.

5-References

- Daneshvar Vousoughi1, F., Dinpashoh, Y., Aalami, M., 2011. Effect of Drought on Groundwater Level in the Past Two Decades (Case study: Ardebil Plain). *Water and Soil Science* 21(4), 165-179.
- Fred, M.S., O'Hara, R.B., Brommer, J.E., 2006. Consequences of the spatial configuration of resources for the distribution and dynamics of the endangered *Parnassius apollo* butterfly. *Biological Conservation* 130(2), 183-192. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.01.007>.

- Ghayoumian, J., GhermezCheshme, B., Feiznia, S., Noroozi, A.A., 2004. Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge; Case study: Meimeh basin, Isfahan, Iran. *Environmental Geology* 47, 493-500. <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1169-y>.
- Hamadi, K., Makram, A., Jallali, S., Tarhouni, J., 2007. GIS based multi criteria analysis for potential waste water aquifer recharge sites. *Desalination* 215 (1-3), 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.11.016>.
- Karlsen, R.H., Smits, F., Stuyfzand, P., Olsthoorn, T., Van Breukelen, B., 2012. A post audit and inverse modeling in reactive transport: 50 years of artificial recharge in the Amsterdam Water Supply Dunes. *Journal of Hydrology* 454, 7-25. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.019>.
- Shi, X., Jiang, S., Xu, H., Jiang, F., He, Z., Wu, J., 2016. The effects of artificial recharge of groundwater on controlling land subsidence and its influence on groundwater quality and aquifer energy storage in Shanghai, China. *Environmental Earth Sciences* 75(3), 195. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5019-x>.
- Soulios, G., Voudouris, K., Kalfountzos, D., Kaklis, T., Sotiriadis, M., Alexiou, J., Kotsopoulos, S., 2007. Preliminary results of groundwater recharge experiments in Iarisa prefecture. *Bulletin of the Geological Society of Greece* 40(2), 560–569. <https://doi.org/10.12681/bgsg.16324>.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Vaezihir, A., Hasanpour, M., 2025. Feasibility Study for using Artificial Recharge to Dilute the Contaminated Groundwater by saline sewage of Kaveh Soda Factory (Maragheh) and Selection of Implementation Site. *Adv. Appl. Geol.* 14(4), 1124-1441

DOI: 10.22055/aag.2025.45057.2415

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19796.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

بررسی امکان استفاده از روش تغذیه مصنوعی برای رقیق سازی آبخوان آلوده به پساب‌های نمکی کارخانه کاوه سودا مراغه (شمال غرب ایران) و تعیین محل اجرای طرح

عبدالرضا واعظی هیر*

دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

مریم حسن پور

دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

* vaezihir@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲

چکیده

در این پژوهش، آلودگی آب‌های زیرزمینی در اراضی پایین دست کارخانه کاوه سودا مراغه ناشی از نشت پساب‌های کارخانه مورد بررسی قرار گرفت و راهکار کاهش این آلودگی ارائه شد. ابتدا، با اجرای مطالعات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی دقیق منطقه، همچنین تحلیل‌های زمین‌شناسی و رسوب‌شناسی، روش تغذیه مصنوعی با استفاده از حوضچه‌های نفوذپذیر معرفی شده است تا با استفاده از تزریق سیلاب‌های مازاد حوضه مردق چای به آبخوان، بتوان آب زیرزمینی شور را رقیق و قابل استفاده نمود. مکان اجرای با توجه به معیارهایی از جمله نزدیکی به منابع آب، قرارگیری در مرکز ابر آلودگی، مالکیت زمین و کاربری اراضی انتخاب گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با تزریق آب رودخانه مجاور به میزان حدوداً یک میلیون مترمکعب (۹۶۰ هزار متر مکعب) به حوضچه‌های تغذیه، میزان شوری آب‌های زیرزمینی بهبود می‌یابد. این روش تغذیه مصنوعی نه تنها به بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی کمک می‌کند بلکه برای حفظ کمی منابع آبی کارآمد است. در نهایت، محدوده ای به مساحت ۰/۵۸ کیلومتر مربع در محدوده اراضی پایین دست کارخانه کاوه سودا برای انجام عمل تغذیه انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: آلودگی آب‌های زیرزمینی، نشت پساب، کارخانه کاوه سودا، تغذیه مصنوعی، مراغه

۱- مقدمه

Pourmoghadam و همکاران (۲۰۱۳) در مجتمع فولاد خراسان در نیشابور آلودگی به فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی مشاهده گردیده است، در حال حاضر مقدار این فلزات کمتر از آستانه خطر قرار دارد ولی در صورتیکه راهکار مناسبی جهت بازیابی مجدد سرباره‌های انبار شده اتخاذ نشود، به مرور زمان و با افزایش غلظت عناصر فوق در منابع آب زیرزمینی می‌گردد. همچنین در پژوهشی دیگر (Bornayi Zanouzi, 2020) نشان دادند که کارخانه کاوه سودا پساب تولیدی را در حوضچه‌های تبخیری ذخیره و بخشی از آن را به دریاچه ارومیه منتقل می‌کنند. پس از نمونه برداری از چاه‌های منطقه و آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی دریافتند که خواص هیدروشیمیایی و نمونه‌های این چاه‌ها با خواص پساب کاوه سودا همخوانی داشته و آلودگی‌های شدید ایجاد شده در قسمتی از دشت نتیجه نفوذ پساب‌های صنعتی بر منابع آب زیرزمینی است.

باتوجه به رشد روزافزون جمعیت، پیشرفت بهداشت انسان‌ها و نیاز به منابع غذایی، نیاز به آب شرب، بهداشتی و کشاورزی بیشتر شده است، همچنین در دهه‌های اخیر و بهره‌برداری مداوم از کارخانه‌های صنعتی، کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی تحت تأثیر قرار گرفته است (Daneshvar and Vosoughi et al., 2011). علاوه بر این، وقوع خشکسالی‌های اخیر نیز بر روی این منابع اثرگذار بوده است. ورود آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی به آب‌های زیرزمینی، خطرات جبران‌ناپذیری را به آبخوان‌ها در بسیاری از مناطق ایران وارد کرده است. از این میان می‌توان به تحقیقات Nasrabadi و همکاران (۲۰۰۹) که بیان داشتند، فعالیت‌های صنعتی و معدنی در اطراف معدن مس سونگون بر افزایش سطح آلودگی منابع آب زیرزمینی موثر می‌باشد. همچنین Hosein

همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای در تامیل نادو هند نشان دادند که ساختارهای تغذیه مصنوعی سبب بهبود کیفیت آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه شده است، این بهبود کیفیت آب در نزدیکی ساختارهای تغذیه مصنوعی در سمت پایین جریان مشاهده شده بود. علاوه بر این، Guo و همکاران (۲۰۲۳) در کالیفرنیا آمریکا و Shi و همکاران (۲۰۱۵) در چین نیز نشان دادند که تغذیه مصنوعی می‌تواند باعث بهبود قابل توجه کیفیت آب‌های زیرزمینی شود. در این تحقیق، ابتدا با بررسی دقیق وضعیت حوضه آبریز مورد مطالعه، مکان مناسبی برای اجرای این طرح انتخاب خواهد شد. سپس حوضه آبریز از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد تا مشخص شود آیا امکان تأمین آب مصنوعی در آن وجود دارد یا خیر. پارامترهایی مانند توپوگرافی، جغرافیایی، دسترسی و تأثیر بر مناطق اطراف برای انتخاب مکان مناسبی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا جایی انتخاب شود که تغذیه مکمل به صورت پایدار امکان پذیر باشد. پیش از تأیید نهایی مکان، تحلیل کامل اجراپذیری انجام خواهد شد تا از امکان اجرای قابل اطمینان و مدیریت طرح در بلندمدت با توجه به ویژگی‌های حوضه بررسی شود.

در این مطالعه، آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه پایین دست کارخانه کاوه سودا در مراغه به دلیل نشت پساب‌های کارخانه مورد بررسی و ارائه راهکاری برای کاهش این آلودگی به عنوان هدف اصلی مطالعه قرار دارد. با توجه به مسئله آلودگی آب‌های زیرزمینی به صورت افزایش شوری آب زیرزمینی، این تحقیق تأکید دارد که می‌توان از روش تغذیه مصنوعی بهره برد. تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی را تقویت می‌کند و باعث کاهش شوری آب می‌شود. علاوه بر این، این روش توانایی مهار سیلاب‌ها را داراست و می‌تواند به بهبود هم‌زمان کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی کمک کند.

کارخانه کاوه سودا یکی از واحدهای واقع در شهرک صنعتی مراغه است که محصول اصلی آن کربنات سدیم به عنوان ماده اولیه تولید شیشه و شوینده‌ها می‌باشد. این کارخانه در طول سال‌های مختلف مقدار قابل توجهی پساب تولید می‌کند که حاوی ذرات معدنی معلق و آمونیاک می‌باشد، و حدود ۳/۵ میلیون مترمکعب از این پساب‌ها در سال تولید می‌شود. این پساب‌ها به حوضچه‌های خاکی منتقل شده و در آنجا ذخیره می‌گردند. در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸، شکست حوضچه‌های

آبخوان دشت مراغه در استان آذربایجان شرقی یکی از آبخوان‌های آلوده به پساب‌های صنعتی است که در اثر شکست لاگون‌های نگهداری پساب مجتمع کاوه سودا، کیفیت آب زیرزمینی آن کاهش یافته است (Vaezi et al., 2020). یکی از روش‌های اصلاح کیفیت آب‌های زیرزمینی، تغذیه مصنوعی است که می‌تواند منجر به بهبود کمیت و کیفیت آب شود (Fred et al., 2006).

در این مطالعه، با بررسی ویژگی‌های هیدرولوژیکی، خاک‌شناسی، هیدروژئولوژیکی و رسوب‌شناسی حوضه آبریز مورد مطالعه و همچنین مکان‌یابی بهینه برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی، به امکان‌سنجی و مدیریت آبخوان آلوده پرداخته می‌شود.

مکان‌یابی مناسب برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی از پیش‌نیازهای اصلی موفقیت این روش است. مطالعات پیشین از جمله Hamadi و همکاران (۲۰۰۷)، Ghayoumian و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از تکنیک‌های GIS (Geographic Information System)، MCDM (Multiple Criteria Decision Making) و DSS (Decision support system) به مکان‌یابی بهینه برای پروژه‌های تغذیه مصنوعی پرداخته‌اند. همچنین Ramalingam و Santhakuma (۲۰۰۲) و Sargaonkar و همکاران (۲۰۱۱) با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، معیارهایی همچون خصوصیات زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، خاک، شیب، کاربری اراضی و عمق آب زیرزمینی را برای شناسایی مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی مورد استفاده قرار داده‌اند. در این پژوهش نیز با بهره‌گیری از یافته‌های مطالعات پیشین، مکان‌یابی بهینه جهت اجرای طرح تغذیه مصنوعی صورت خواهد گرفت. پس از تعیین محل مناسب، باید اثربخشی تغذیه مصنوعی در بهبود کیفیت آب مورد ارزیابی قرار گیرد. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که تغذیه مصنوعی می‌تواند باعث بهبود قابل توجهی در کیفیت آب‌های زیرزمینی شود. به عنوان مثال، Hassan و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای در شهر دبدبه عراق، نشان دادند دادکه تغذیه مصنوعی می‌تواند سطح آب را در محدوده ۷۸/۲ تا ۱۱۰ کیلومتر مربع افزایش و بیش از ۴۰ کیلومتر مربع از اراضی کشاورزی را احیا کند. همچنین کیفیت آب زیرزمینی با کاهش EC و TDS به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. همچنین، Thangamani و

آبی در شرق منطقه را تشکیل داده و بخش‌هایی از شهرستان‌های مراغه و ملکان را در بر می‌گیرد. اهمیت ویژه‌ای از نظر منابع آبی دارد و به‌عنوان یک منبع مهم آب برای ساکنان منطقه شناخته می‌شود. مردق چای به‌عنوان یکی از زیرشاخه‌های رودخانه زربینه‌رود در این منطقه شناخته می‌شود و نقش مهمی در تأمین آب و امکانات زیربنایی این مناطق دارد. متوسط دبی سالانه (۱۹۷۴-۲۰۱۷) رودخانه در ایستگاه هیدرومتری قشلاق امیر ۲/۲۵ مترمکعب برثانیه می باشد. بر اساس داده های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مراغه (۱۹۹۰-۲۰۲۱) متوسط بارش محدوده مورد مطالعه ۲۵۸/۳۸ میلیمتر، بیشینه و کمینه دما به ترتیب ۳/۷ - و ۳۴/۵۶ درجه سانتی گراد در ماه های دی و بهمن می باشد.

۲-۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

بررسی‌های زمین‌شناسی با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی ورقه اسکو و مراغه برای شناسایی سازندهای موجود در مناطق مطالعاتی انجام گرفت و املح و ترکیبات موجود در آن‌ها که با عبور منابع آبی از آنها باعث تغییر در کمیت و کیفیت این منابع می‌شوند.

در منطقه سنگ‌های پرمین، ژوراسیک تا کواترنری با یک سری از نبوده‌های چینه‌شناسی (رسوبات اردوویسین، سیلورین و دونین) بروی سازند میلا (در شمال غرب منطقه مراغه) با سن کامبرینه‌صورت‌دگر شیب رخنمون دارند. سازند روته در شمال غرب مراغه که حداکثر سن آن جلفین (اشکوب آخر پرمین) می‌باشد، رخنمون دارد. سازند شمشک در شمال غرب و جنوب غربی دشت رخنمون دارد. سازند لار در کوه گوی پستی و جنوب شرق دشت برون‌زد دارد که با توجه به فسیل‌های موجود در آن سن آن ژوراسیک فوقانی تعیین شده است. سازند تیز کوه که سنگ‌آهک خاکستری حاوی اوریتولین می‌باشند که در جنوب شرقی و به‌طور اندک در شمال غرب مراغه رخنمون دارند. در شمال غرب منطقه مطالعاتی، گدازه‌های آندزیتی و بازالتی وجود دارد که معرف فعالیت آتشفشانی سهند در میوسن پایانی هستند. سازند مراغه، گستره وسیعی از محدوده پژوهشی در بخش‌های شمالی و شرقی دشت را در بر می‌گیرد. همچنین تراورتن در جنوب غرب مراغه و نزدیکی روستای ورجوی نیز یافت می‌شود. پادگانه‌های آبرفتی نیز در محدوده مورد مطالعه گسترش چشمگیری دارند به صورتی که فعالیت‌های کشاورزی روی این واحدها انجام می‌گیرد. در محدوده‌ی غربی هم به علت

خاکی باعث رهاسازی پساب‌های موجود در آنها شد که منجر به گسترش آلودگی در اراضی پایین‌دست کارخانه گردید. این آلودگی‌ها آسیب‌های جدی به کشاورزی و محیط‌زیست منطقه وارد کرد. تحقیقات اخیر نشان داده است که حدود ۳۰۰ هکتار (معادل ۳ کیلومتر مربع) از اراضی پایین‌دست به علت نفوذپذیری پساب‌ها تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، و برای پاکسازی این منطقه نیاز به اجرای طرح تغذیه مصنوعی وجود دارد. برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی، روش حوضچه‌ای به‌عنوان روش منتخب در نظر گرفته شده است.

در این روش، به‌طور کلی اندازه و شکل حوضچه‌ها بر اساس شیب سطح زمین مشخص می‌شود، پس باید در ابتدا برای این روش خصوصیات فیزیوگرافی حوضه بخصوص شیب زمین را مشخص نمود. به‌طور کلی اندازه و شکل حوضچه‌ها بر اساس شیب سطح زمین مشخص می‌شود، پس باید در ابتدا برای این روش خصوصیات فیزیوگرافی حوضه بخصوص شیب زمین را مشخص می‌شود.

۲- موقعیت و زمین‌شناسی

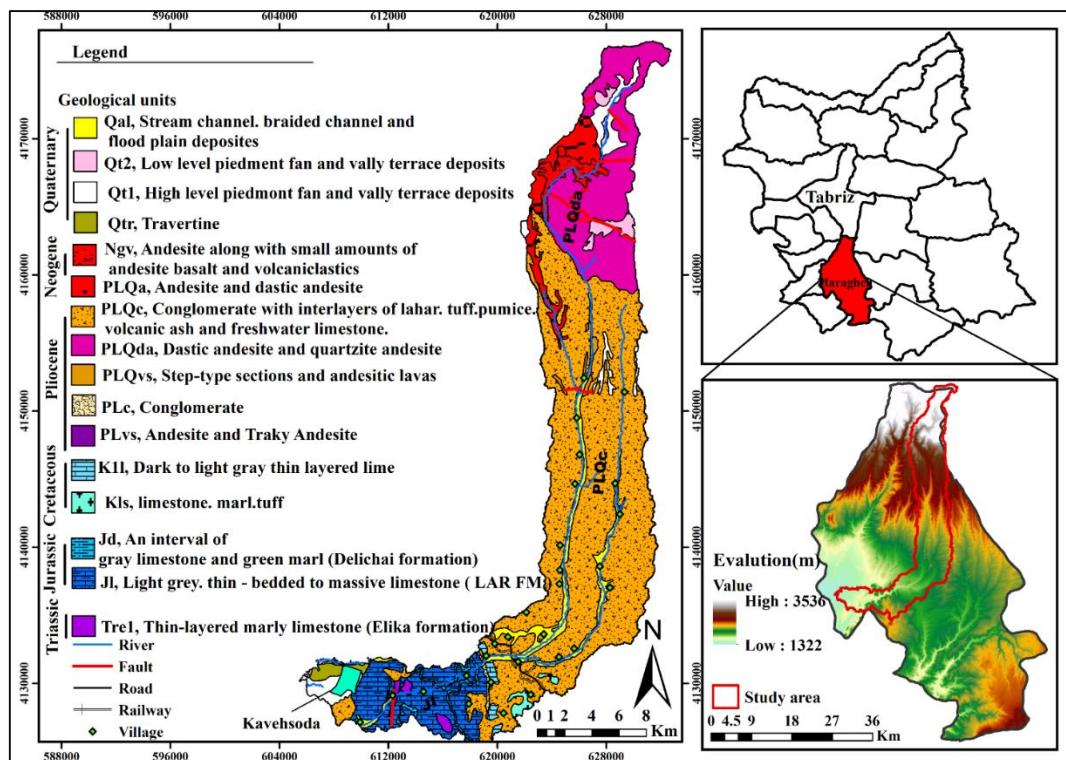
۲-۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی از دو بخش حوزه رودخانه مردق چای و بخش دیگر آن اراضی کارخانه کاوه سودا و بخشی از اراضی پایین‌دست آن تشکیل یافته است. صنایع شیمیائی کاوه سودا، زیر مجموعه کارخانجات گروه صنعتی شیشه کاوه بوده که در سال ۲۰۰۳ در شهرک صنعتی مراغه تأسیس گردیده است. این مجتمع صنعتی با مساحت تقریبی ۲۹۷ هکتار در منطقه‌ای واقع شده است که به دو بخش کاوه سودا و آسا فلوت تقسیم می‌شود. بخش کاوه سودا به‌منظور تولید کربنات سدیم سبک‌وسنگین و بخش آسا فلوت برای تولید محصولات شیشه‌ای فعالیت می‌کنند. فعالیت‌های اصلی این شرکت در بخش کاوه سودا به تولید کربنات سدیم با استفاده از فرایندهای حلالیت متمرکز است. این مجتمع به‌منظور دسترسی به منطقه، از غرب (پایین‌دست) توسط راه‌آهن مراغه - ارومیه عبور می‌کند و دسترسی از جاده‌ها نیز از طریق جاده مراغه - روستای ورجویی و جاده فرعی مراغه - ملکان امکان‌پذیر است. اراضی کارخانه اغلب شامل لاگون‌های تصفیه پساب و مناطق پردازش و دفع پساب‌ها هستند و دارای شیب ملایمی به سمت غرب و شمال غربی می‌باشند.

مردق چای در شمال غرب کشور واقع شده و به یکی از حوضه‌های اصلی دریاچه ارومیه تعلق دارد. این رودخانه حوضه

دریاچه ارومیه (غرب شهر بناب) ادامه دارد. حد غربی آبخوان رسوبات ریزدانه دریاچه ای هست. ته نشست های ریزدانه به وجود آمده که تراوایی بسیار کمی دارند را میتوان به صورت مانعی در برابر ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان و دریاچه دانست. شکل (۱) نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ را نشان می دهد.

وجود دریاچهی ارومیه پهنه‌های نمکی یافت می‌شود. کارخانه کاوه سودا در محدوده پادگانه های آبرفتی و توفها قرار دارد. از نظر هیدروژئولوژیکی، رسوبات کواترنری که در بیشتر دشت مراغه- بناب رخمون دارند شامل سازندهای آبداری است که یک آبخوان آبرفتی و آزاد را تشکیل داده اند. آبخوان دشت مراغه بناب در رسوبات کواترنری تشکیل شده است. این آبخوان از شهر مراغه شروع شده و تا شوره زارهای حاشیه



شکل ۱- نقشه موقعیت و زمین محدوده مورد مطالعه (رقومی شده از نقشه سازمان زمین شناسی ورقه اسکو و مراغه)

Fig. 1. Location and Geological map of the study area (digitized form maps of Oskuand Maragheh sheets prepared by Iranian Geological Organization)

گیرند در بردارنده (الف) زمین شناسی (بررسی ساختار و ویژگی های سنگ شناسی لایه های آبدار) (ب) هیدروژئولوژی بررسی نوع آبخوان و ویژگی های هیدروژئولوژیکی آن مانند عمق آب زیرزمینی، و توزیع آب در زیرزمین. (ج) هیدرولوژی (بررسی نظام جریان آب سطحی و نخبارشو (د) بررسی بار رسوبی و میزان رسوب گذاری در منطقه و پیش بینی مقدار رسوبات ممکن) است.

در گستره مورد پژوهش، پس از شکست حوضچه های ترسیب، میزان EC (هدایت الکتریکی) آب بگونه چشمگیری افزایش یافت. اگرچه باید توجه داشت که حد زمینه شوری قبلاً

۳- مواد و روش ها

تغذیه مصنوعی به عنوان یک سیستم مهندسی طراحی شده برای تزریق آب به زیرزمین و ذخیره آب در آبخوان نیازمند مطالعات جامع است. این مطالعات شامل بررسی اطلاعات مختلف و گسترده ای می شوند. اگرچه در مطالعات طرح های تغذیه مصنوعی، شماری از پارامترها به گونه مشترک بررسی می شوند، ولی برخی از این پارامترها، تابع ویژگی های خاص هر منطقه بوده و نیازمند ارزیابی ویژه هستند. در این راستا، پارامترهایی که باید برای امکان سنجی تغذیه مصنوعی در زمین های پایین دست کارخانه کاوه سودا مورد بررسی و ارزیابی قرار

میانگین مقادیر EC در آبهای آلوده به حدود ۵۰۰۰۰ $\mu\text{S}/\text{cm}$ است، در حالی که EC آب رودخانه‌ای که برای تغذیه آبخوان استفاده می‌شود حدوداً ۱۰۰۰ $\mu\text{S}/\text{cm}$ می‌باشد (Bornayi Zanouzi, 2020). با توجه به این مقادیر، حجم آب مورد نیاز برای تغذیه آبخوان به طور تخمینی محاسبه شد. در این راستا، یک آزمایش شبیه‌سازی محیط آبخوان اجرا شد. در این آزمایش، حجم مشخصی آب با مقدار EC مشابه آب رودخانه و حجم دیگری با مقدار EC متوسط مشابه محدوده مطالعاتی تهیه گردید. این دو نوع آب با نسبت‌های مختلف با یکدیگر مخلوط شدند تا به مقدار EC مورد نظر برای حد زمینه محدوده مطالعاتی دست پیدا کنیم. این تجزیه و تحلیل نشان داد که برای رساندن شوری آبخوان به حد زمینه مورد نیاز، حدوداً یک میلیون مترمکعب آب لازم است. در شکل (۲)، مقدار EC در محدوده مورد مطالعه در ماه شهریور سال ۱۴۰۱ نمایش داده شده است.

نیز در این منطقه بالا بوده است. این پژوهش به منظور بهبود وضعیت آبخوان و کاهش آلودگی، از حوضچه‌های نفوذ بهره‌برداری می‌کند.

بر اساس تحقیقات انجام شده و نمونه‌برداری از ۱۰ چاه پایش حفر شده در محدوده مطالعاتی، آلودگی ایجاد شده از نوع شوری آب زیرزمینی در نتیجه ازدیاد یون‌های شور کننده نظیر Na و Cl می‌باشد. دیگر مؤلفه و پارامترها مانند آمونیاک و عناصر سمی و سنگین، پایین‌تر از حد استانداردهای زیست‌محیطی می‌باشد، برای بررسی و تعیین غلظت عناصر سنگین در فروردین ماه ۱۳۹۹ از شبکه پایش موجود در محدوده مطالعاتی (W1 تا W10) نمونه برداری انجام گرفته و سپس مورد آنالیز و بررسی قرار گرفت. غلظت این عناصر بر طبق جدول ۱ کمتر از حد مجاز استاندارد ملی ۱۰۵۳ برای آب آشامیدنی می‌باشد. فقط مقادیر کادمیم در W1 بالاتر از حد مجاز می‌باشد. مقادیر N.D به منزله پایین تر بودن غلظت عنصر مربوطه از حد شناسایی دستگاه می‌باشد.

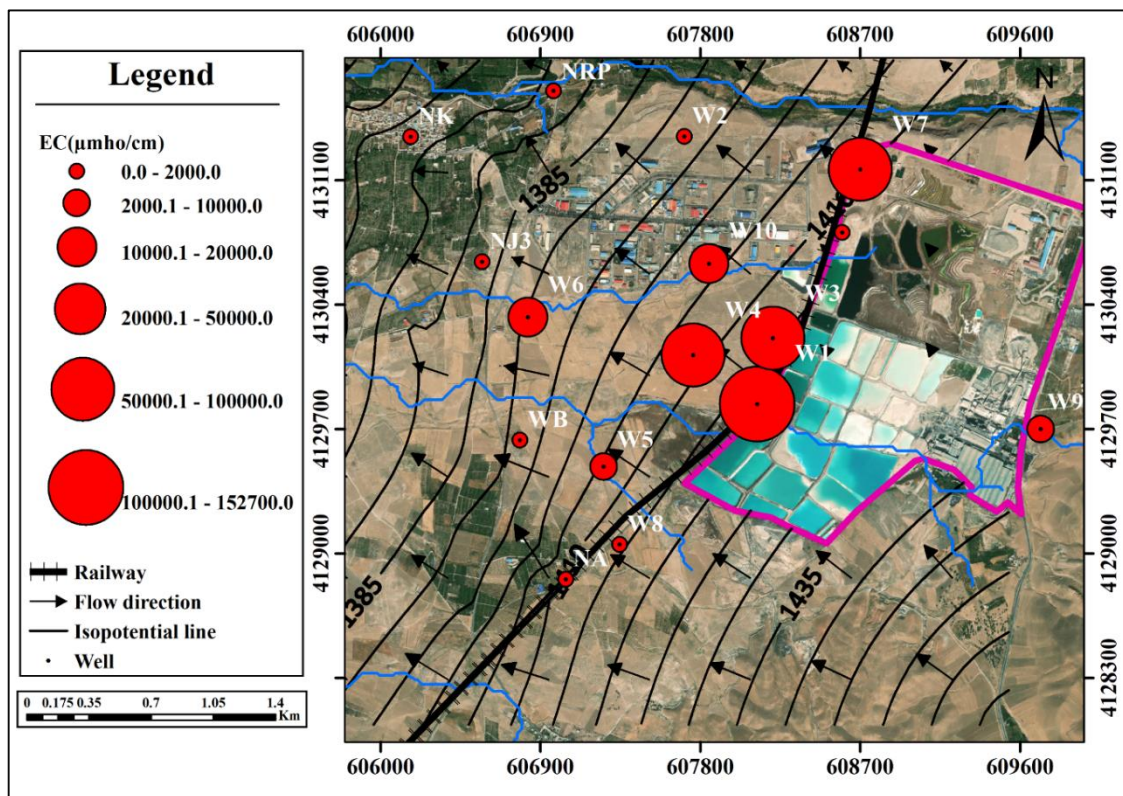
جدول ۱- غلظت عناصر سنگین و سمی و آمونیاک در نمونه‌های آب زیرزمینی

Table 1. The concentration of heavy and toxic elements and ammonia in the groundwater samples

	Fe	Cr	Cd	Mn	Ni	Pb	Zn	Hg*	As	NH3
Threshold Limit	5	2	0.05	1	1	2	2	2	0.1	5
W1	1	1.2	0.1	0.14	0.5	1	0.3	0.26	N.D	0.34
W2	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.2	0.1	0.21	0.33
W3	0.4	N.D	N.D	0.21	0.3	0.4	0.2	N.D	0.01	2.56
W4	0.35	0.4	0.4	N.D	0.3	0.5	0.2	0.11	N.D	0.42
W5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.03	N.D
W6	0.14	0.2	N.D	N.D	0.1	0.1	0.1	N.D	0.1	0.59
W7	0.35	0.3	0.22	0.22	0.25	0.4	0.2	N.D	N.D	0.88
W8	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.1	0.29
W9	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.05	0.29
W10	0.15	N.D	N.D	N.D	0.1	0.25	0.1	N.D	0.01	0.95

The permissible limits of heavy metals in drinking water based on the Iranian National Standard 1053 (mg/L)

The unit of measurement for mercury (Hg) is $\mu\text{g}/\text{L}$, while for the other elements, it is mg/L.



شکل ۲- نقشه مقدار EC و جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه (شهریور ۱۴۰۱)

Fig. 2. EC value in the groundwater of the site and groundwater flow direction (September 2022)

۳-۱- آزمایش نفوذپذیری

یکی از پارامترهای مهم در انتخاب جایگاه تغذیه مصنوعی، نفوذپذیری سطحی خاک است. در این مطالعه، برای ارزیابی نفوذ آب در خاک، از روش استوانه مضاعف بهره برده شده است. این آزمایش مطابق با دستورالعمل و استانداردهای مربوطه از وزارت نیرو و سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور انجام گرفت. نتایج آزمون نفوذ آب در این تحقیق شامل مقدار نفوذ به واحد سانتی متر و زمان نفوذ به واحد دقیقه می باشد. برای انجام این آزمایش، دو استوانه با قطرهای ۳۰ و ۶۰ سانتی متر به صورت متحدالمرکز قرار می گیرند و سپس فضای میانی بین آنها حدود ۱۵ سانتی متر از خاک پر می شود. سپس آب بین دو استوانه و داخل سیلندر کوچکتر به وجود آمده و میزان نفوذ آب در هر لحظه زمانی ثبت می شود تا زمانی که نفوذ به حداکثر مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک برسد. این آزمایش در آبان ماه ۱۴۰۱ و پیش از شروع بارش های فصل تر انجام گرفت. قرائت ها به صورت اندازه گیری در پایان دقایق ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و پس از آن در هر ساعت

برای اجرای یک طرح تغذیه مصنوعی و تأمین آب برای تغذیه، نیاز به منابع آب سطحی است. از این رو، امکان بهره برداری از رودخانه مردق چای که در نزدیکی پهنه پژوهشی است، مورد بررسی قرار گرفت. حوضه آبریز مردق چای در شمال غرب کشور و در استان آذربایجان شرقی جای داشته و طول نزدیک به ۱۰۰ کیلومتر را در بر می گیرد. سرچشمه آب این حوضه از دامنه های جنوبی سهند است و در جریان خود از رودخانه هایی مانند قوری چای، لیلان چای و مغانجیق چای بهره می برد. ادامه مسیر رودخانه به سمت جنوب غربی است و از شمال دشت ملکان نیز عبور می کند. در پایان، به شاخه های مختلفی تقسیم می شود و سیلاب های آن به همراه رودخانه لیلان چای به زینه رود وارد می شوند. این حوضه آبریز از غرب بوسیله حوضه آبریز صوفی چای و از شرق بوسیله حوضه آبریز لیلان چای محدود می شود. این حوضه کم و بیش بیضی شکل و کشیده می باشد و دارای مساحت تقریبی ۴۱۳ کیلومتر مربع و محیط ۲۴۵ کیلومتری می باشد. میانگین شیب حوضه نزدیک به ۲۲/۵ درجه است.

ایستگاه رسوب‌سنجی و هیدرومتری قشلاق امیرکه در منطقه مطالعاتی می باشد، مقایسه شد. برای این منظور، از منابعی از جمله نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، و داده‌های آب‌وهوا استفاده شد. همچنین، مطالعات پیشین جهت بررسی پوشش گیاهی و محاسبه ضریب فرسایش پذیری خاک بهره‌برداری شد. برای بهبود سرعت و دقت در محاسبات و تهیه نقشه‌های اطلاعاتی، از دانش‌سنجش از دور و نرم افزار ArcGIS برای ژئورفرنس و رقومی‌سازی نقشه‌ها بهره گرفته شد. این نقشه‌ها شامل اطلاعاتی از جمله پوشش زمین، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، و شیب بودند که در مدل‌سازی MPSIAC استفاده شدند. این مدل ابتدا در سال ۱۹۶۸ توسط Pacific Southwest Inter Agency Committee در آمریکا برای برآورد فرسایش خاک در مناطق بدون داده اندازه‌گیری رسوب توسعه یافته و در طول زمان بهبود یافت. این مدل عوامل متعددی را شامل می‌شود که شامل زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب‌وهوا، رواناب سطحی، توپوگرافی پوشش سطح زمین، نحوه استفاده از زمین، وضعیت سطح خاک در مقابل فرسایش، و فرسایش رودخانه‌ای هستند. جدول ۳ نحوه ی امتیاز بندی هر یک از عوامل نه گانه ی MPSIAC را نشان می دهد.

یک بار انجام گرفت. نمونه برداری در ۶ نقطه با مختصات ذکر شده در جدول ۲ انجام گرفت.

۳-۱-۲- معادله سازمان حفاظت خاک امریکا (SCS)

کارشناسان سازمان حفاظت خاک امریکا بر اساس معادله کوستیاکوف آزمایش‌های زیادی در مزارع انجام دادند که سرانجام منجر به روشی در برآورد نفوذ گردید که به معادله سازمان حفاظت خاک (USDA, 1974) معروف است. این معادله عبارت است از:

$$i = a(t) + c \quad (\text{رابطه ۲})$$

به طوری که مشاهده می‌گردد معادله مذکور تقریباً مشابه معادله کوستیاکوف می‌باشد با این تفاوت که ضریب c به آن اضافه شده است. در این معادله i و t به ترتیب نفوذ تجمعی و زمان می‌باشد که i می‌تواند برحسب اینچ یا سانتیمتر توصیف شود. ضرایب a و b مربوط به نوع خاک می‌باشند البته مقدار a بسته به اینکه مقدار نفوذ برحسب اینچ یا سانتیمتر محاسبه شود متفاوت است اما b فقط بستگی به نوع خاک دارد. برای پیدا کردن ضرایب معادله SCS ابتدا باید سرعت نفوذ نهایی را برحسب اینچ در ساعت شماره منحنی مشخص نمود حال از روی جدول زیر می‌توان مقادیر a و b را به دست آورد.

۳-۲- فرسایش و رسوب‌شناسی

در این تحقیق، روش MPSIAC برای برآورد فرسایش و رسوب زایی به کار گرفته شد و نتایج حاصل از این روش با داده‌های

جدول ۲- محل های انجام آزمایش استوانه مضاعف در محدوده مطالعاتی

Table 2. The locations of the double cylinder test in the study area

Testing Sites	UTM-X	UTM-Y
DR1	607216	4129828
DR2	607511	4130206
DR3	606685	4130198
DR4	606901	4129498
DR5	606407	4129875
DR6	606776	4129839

جدول ۳- عوامل نه گانه مدل MPESIAC و نحوه محاسبه امتیاز آن ها
Table 3. Nine factors of the MPSIAC model and calculation method of the scores

Factor Index	Relationship	Factors
Surface Geology	$Y1=X1$	X1 Rock Sensitivity to Erosion
Soil	$X2=16.67K$	K Erodibility Factor in the Universal Soil Loss Equation
Climate	$X3=0.2P2$	P 6-hour Rainfall Amount with a 2-Year Return Period (in mm)
Runoff	$X4=0.006R+10QP$	QP Specific Peak Discharge ($m^3/s/km$) , R Runoff Depth (in mm)
Topography	$X5=0.33S$	S Average Slope (in percentage)
Land Cover	$X6=0.2Pb$	Pb Percentage of Bare Land
Land Use	$X7=20-0.2Pc$	P Percentage of Vegetation Canopy Cover
Surface Erosion	$X8=0.25SSF$	X8 Score of the Soil Surface Factor (SSF) in the BLM Land Management Method
Gully Erosion	$X9=1.67SSFg$	Score of the Seventh Factor in the BLM Model X9

۴- بحث و نتایج

یکی از پارامترهای بسیار حیاتی در اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی، دسترسی به منابع آب برای تأمین آب به زیرزمین است. در این راستا، بعد از انجام بررسی‌های جامع در منطقه، تصمیم گرفته شد که رودخانه مردق چای به‌عنوان منبع تأمین آب در این پژوهش مورد استفاده قرار گیرد. این انتخاب به دلیل داشتن شرایط مطلوب تری برای انجام عملیات تغذیه مصنوعی و تزریق آب به زیرزمین صورت گرفت.

برای تخمین حجم رواناب در دوره برگشت سیلاب‌ها، از روش SCS (Soil Conservation Service) استفاده شده است. این روش معمولاً برای ارزیابی نیاز به تغذیه مصنوعی و تعیین میزان آب مورد نیاز برای تزریق به زمین در دوره‌های سیلابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جدول ۳ دبی و حجم سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف برای رودخانه مردق چای را نشان می‌دهد. داده‌های موجود در جدول ۴ از اجرای نرم افزار

HEC-HMS، که برای شبیه‌سازی فرایند بارش و رواناب به کار گرفته می‌شود، به دست آمدند. در این نرم افزار دیتاهای بارش با فاصله زمانی ۳ ساعت وارد گردیده و برنامه برای سیلاب‌های برای دوره بازگشت‌های مختلف اجرا گردید و نتایج حاصل از آن در جدول ۴ نشان داده شده است.

در ادامه خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز رودخانه مردق بررسی شد. این حوضه طول تقریبی ۹۵ کیلومتر و مساحت حدود ۴۱۳ کیلومترمربع، به طور کلی از الگوی هندسی بیضوی تشکیل شده است. ویژگی مهم جغرافیایی این حوضه، میانگین شیب آن است که حدوداً ۲۲/۶۲ درجه را در بر می‌گیرد. همچنین، آبراهه اصلی حوضه که به‌عنوان محور اصلی مطالعات محیطی مورد نظر قرار می‌گیرد، طولی حدود ۷۲ کیلومتر دارد. جدول ۵ خصوصیات فیزیوگرافی حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۴- محاسبه حجم و دبی سیلاب های دوره بازگشت های مختلف

Table 4. Calculating the volume and discharge of floods for different return periods.

Flood Return Period	Peak Flood Discharge (m ³ /s)	Flood Volume (thousand m ³)
2	20.92	299.9
5	42.58	635.43
10	61.44	958.55
25	87.65	1413.13
50	191.22	1529.15

جدول ۵- خصوصیات فیزیوگرافی حوضه مورد مطالعه

Table 5. Physiographic characteristics of the study area

Parameter	Measurement	
Area (km ²)	413.70	
Perimeter (km)	245.18	
Shape	Elongated and elliptical	
Main channel length (km)	71.38	
Time of Concentration	9.32	
Basin Shape Coefficients	Compactness coefficient	3.38
	Horton's Form factor(1932)	0.08
	Circulatory Ratio	0.087
	The equivalent rectangle	Length Width

محاسبات مورد نیاز برای تحلیل و به دست آوردن معادلات نفوذ نیز انجام گرفته و نتایج در جدول (۶) گنجانده شده است.

در گام بعدی مقدار رسوب با استفاده از مدل پسیاک تعدیل شده و در نظر گرفتن فاکتورهای ۹ گانه صورت گرفت.

لایه توپوگرافی حوضه به وسیله تحلیل عددی ارتفاع (DEM) استخراج شده و درصد متوسط شیب ۲۳/۸ درصد تخمین زده شد.

لایه خاک شناسی این لایه با توجه به نقشه اجزای واحد اراضی و گروه های هیدرولوژیکی خاک منطقه برآورد گردید جدول ۷ درصد فرسایش انواع خاکها را نشان می دهد.

معادلات نفوذ تجمعی و نفوذ لحظه ای در هر یک از ۶ نقطه انجام آزمایش برآورد گردید، همچنین از روش SCS برای تخمین معادلات نفوذ نیز استفاده شده است. در این میان برای نتیجه گیری و تحلیل بهتر نتایج از روش SCS برای تحلیل نتایج استفاده گردید. تقریباً نفوذ محاسبه شده در سایر روشها نیز به مقادیر محاسبه شده به روش منتخب برابر است. نتایج آزمایش های نفوذ پذیری نشان دادند که میانگین مقدار نفوذ آب به خاک در پایین دست اراضی کارخانه کاوه سودا حدوداً ۰/۳۶ سانتی متر (بصورت متغیر از ۰/۲۹ الی ۱ سانتی متر در ساعت) در ساعت می باشد. این اطلاعات بسیار حیاتی برای درک توزیع و نفوذ آب در خاک منطقه مورد مطالعه است و در فرآیند طراحی حوضچه های تغذیه از آن استفاده می شود. همچنین،

جدول ۶ - نتایج آزمایش استوانه مضاعف

Table 6. The results of the double ring test

Sample	Equations		SCS Equation	Average instantaneous infiltration (cm/hr)
	Instantaneous infiltration equations			
	Cumulative infiltration	Instantaneous infiltration rate		
۱	$Z = 0.56t^{0.55}$	$i(t) = 0.5t^{-0.45}$	$i(t) = 0.1674t^{0.7792} + 0.6985$	0.31
۲	$Z = 0.45t^{0.52}$	$i(t) = 0.45t^{-0.48}$	$i(t) = 0.1312t^{0.7572} + 0.6985$	0.29
۳	$Z = 0.86t^{0.33}$	$i(t) = 0.86t^{-0.67}$	$i(t) = 0.1312t^{0.7572} + 0.6985$	0.57
۴	$Z = 0.9t^{0.44}$	$i(t) = 0.9t^{-0.56}$	$i(t) = 0.2283t^{0.7990} + 0.6985$	1
۵	$Z = 0.84t^{0.39}$	$i(t) = 0.84t^{-0.61}$	$i(t) = 0.1196t^{0.7475} + 0.6985$	0.62
۶	$Z = 0.84t^{0.39}$	$i(t) = 0.84t^{-0.61}$	$i(t) = 0.1196t^{0.7475} + 0.6985$	0.62

جدول ۷- درصد فرسایش برای انواع خاک‌های منطقه

Table 7. Erosion value for various soils of the study area

Soil Condition	K	Soil Condition	K
Surface soil with gravel cover	0.50	Erosion-resistant land	0.10
Sandy soil	0.16	Fine sandy soil	0.42
Sandy loam soil	0.17	Loam soil with fine sand	0.42
Silty loam soil	0.47	Loam soil	0.37
Silty clay loam soil	0.25	Clay loam soil	0.37

که در آن؛ $T =$ دوره بازگشت،

$t =$ میزان بارندگی بر حسب ساعت

$P(۳۶۰، ۲)$ بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال برابر با

۲۴/۱۶ میلیمتر.

لایه ی زمین‌شناسی سطحی نیز باتوجه به نقشه ی زمین شناسی منطقه و بر اساس واحدهای سنگی حوزه و مقاومت سنگ ها در مقابل فرسایش محاسبه و خروجی نهایی استخراج گردید.

لایه ی رواناب سطحی با توجه به بیشترین بده ی ویژه در سطح و CN (Curve Number) حوضه برآورد و تهیه گردید.

S (رابطه ۵)

$$= \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254(25400/75.5) - 254 = 82.42$$

$R = \left(\frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \right)$ (رابطه ۶)

$$= \frac{(258.38 - (0.2 \times 82.42))^2}{(258.38 + (0.8 \times 82.42))} = 180.42$$

لایه آب‌وهوا نیز باهدف بررسی همبستگی با فرسایش‌پذیری خاک انتخاب شد. برای این منظور، از بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ساله استفاده شد. در ابتدا، با ارزیابی حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته و با استفاده از معادلات مرتبط، میزان بارندگی ۱ ساعته در حوضه با دوره بازگشت ۱۰ سال محاسبه شد.

$P(60,10)$ (رابطه ۳)

$$= [(1.3352 - 0.1964 \ln X_i)X_i]$$

که در آن X_i میانگین حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در یک

دوره آماری ۳۰ ساله (معادل ۲۶/۹۲ میلی متر)

$P(60,10) =$ بارندگی یک ساعته با دوره برگشت ۱۰ ساله

که حدود ۱۸/۵۳ میلیمتر محاسبه گردید.

سپس با استفاده از معادله اصلاح شده ی بل، وزیری، قهرمان (۱۳۷۶) مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال ارزیابی و ارزش نهایی آن محاسبه گردید.

PTt (رابطه ۴)

$$= (0.4847 + 0.2251 \ln(T - 0.4112))(-0.0158 + 1.0198 t^{0.375})P^{1060}$$

بر پایه بررسی‌های انجام شده به وسیله، مشخص شده است که نزدیک به ۳۰۰ هکتار از اراضی پایین دست تحت تأثیر نشت لاگون‌ها قرار گرفته است. در این راستا، جایگاه مناسب برای انجام طرح‌های تغذیه مصنوعی باید در داخل محدوده آلوده یا حداقل در فاصله‌ای نزدیک به آن متمرکز شود. این انتخاب به دو دلیل اساسی می‌باشد؛ نخست، در محدوده تعیین شده آبخوان‌ها به ناحیه‌ای آلوده به پساب کارخانه کاه‌سودا وابسته هستند و کارخانه مسئول پاک‌سازی این ناحیه می‌باشد. دوم اینکه، اگر طرح‌های تغذیه مصنوعی در سایر پهنه‌ها اجرا شوند، نیاز به خرید دیگر زمین‌هاباعث افزایش هزینه‌ها در اجرای طرح می‌شود. همچنین، مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که به دلیل وجود آلودگی در محدوده‌ای مشخص از حوضه آبخیز، انتخاب مکان مناسب برای انجام طرح‌های تغذیه مصنوعی از پیش نیازهای اجرایی موفقیت‌آمیز این طرح‌هاست. یکی از پارامترهای بسیار مهم در این مرحله نیز نزدیکی به منبع تغذیه می‌باشد که رودخانه مردق چایبه‌عنوان منبع اصلی تغذیه در نظر گرفته شده است. رودخانه در محدوده نزدیک به ۵ کیلومتری مکان منتخب قرار دارد و وجود کانال‌های مناسبی برای انتقال آب از محل رودخانه به مکان منتخب از اهمیت بسزایی برخوردار است. این امر سبب کاهش هزینه‌های احداث کانال‌های آب می‌شود. شکل (۶) مکان پیشنهادی و جدول (۹) نیز مختصات محل پیشنهادی برای اجرای طرح تغذیه را نشان می‌دهد. در محل مورد نظر بوسیله Bornayi Zanouzi و همکاران در فروردین ماه ۲۰۲۰، آزمایش‌های پمپاژ انجام شد و بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون پمپاژ، هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و قابلیت انتقال داده‌های چاه پمپاژ به ترتیب 0.15 (m/d) ، 0.1 و $5/85 \text{ (m}^2/\text{d)}$ برآورد گردید. همچنین، لازم است که موقعیت مکانی طرح‌ها به گونه‌ای گزینش شود که در آینده به هیچ‌گونه چالش برای توسعه پروژه‌های عمرانی، به خصوص در محدوده‌های شهری و شهرک‌های صنعتی منجر نشود. افزون بر این، در مرحله ارزیابی اثرات طرح‌های تغذیه مصنوعی بر وضعیت آبخوان، باید آثار اجرای برنامه‌های توسعه نیز مورد توجه و پایش قرار گیرد. این امر به ویژه در مواردی که پروژه‌های توسعه عمرانی در نظر گرفته شده باشند، بسیار مهم می‌شود.

$$Q_p = \frac{R}{A} = \frac{2.25}{406.82} = 0.00553 \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$X_4 = (0.006 \times 180.42) + (10 \times 0.00553) = 1.137 \quad (\text{رابطه ۸})$$

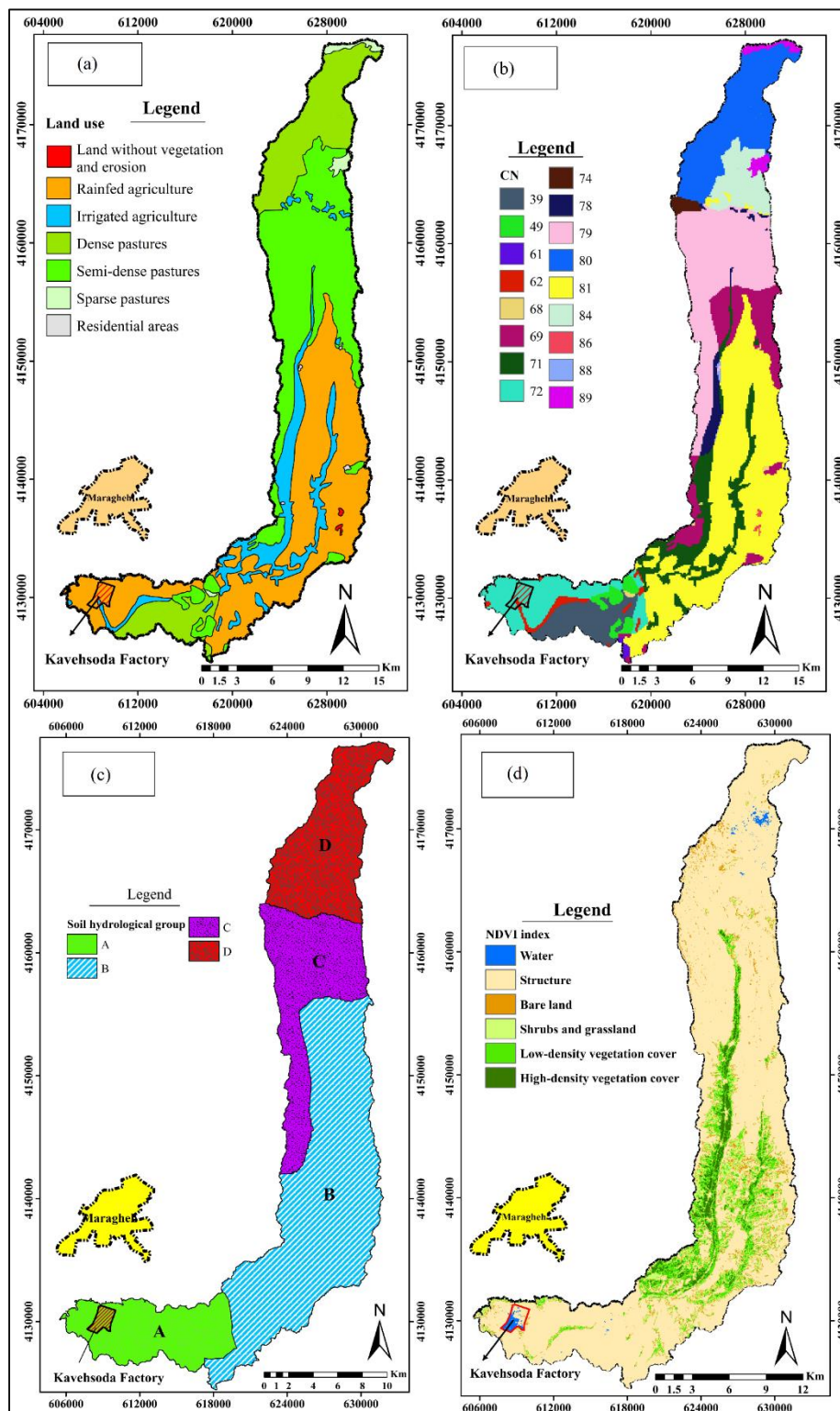
برای کاربری اراضی و تعیین شاخص پوشش گیاهی نیز درصد تاج پوشش گیاهی استخراج گردید. جهت استخراج درصد تاج پوشش گیاهی از اعمال شاخص پوشش گیاهی بر روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. (Alavi Panah, 2006). برای تهیه لایه شاخص پوشش گیاهی با استفاده از دو باند ۴ و ۵ و با استفاده از معادله ۵ شاخص پوشش در محدوده ۱ تا -۱ در محیط ArcGIS ایجاد گردید (رابطه ۹).

$$NDVI = \frac{\text{band5} - \text{band4}}{\text{band5} + \text{band4}} \quad (\text{رابطه ۹})$$

لایه‌ی وضعیت فرسایش برای تهیه‌ی این لایه از روش دفتر مدیریت اراضی آمریکا (BLM) استفاده گردیده است. این روش بر اساس ارزیابی هفت عامل حرکت خاک لاشبرگ سطحی وضعیت سنگ‌ها، قطعات سنگی تحکیم یافته فرسایش، شیاری شکل آبراهه‌ها و فرسایش خندقی، برآورد می‌شود.

لایه‌ی فرسایش رودخانه‌ای این لایه با توجه به ارزیابی عامل فرسایش خندقی در روش BLM تهیه گردیده است از تلفیق و همپوشانی عوامل یادشده به وسیله نرم‌افزار ArcGIS، در نهایت، یک لایه پردازش و با نام لایه‌ی وضعیت فرسایش ارائه گردیده است.

در پایان، با جمع عوامل ۹ گانه، بر پایه روابط زیر رسوبدهی سالانه، تولید رسوب و فرسایش ویژه در واحدهای همگن اندازه-گیری شد. بر پایه معادله ۶ نرخ رسوب تولیدی حوضه ۲۳۸ مترمکعب در کیلومتر مربع تخمین زده شد که در رده بندی MPSIAC شدت رسوبدهی میانه است. در محدوده مورد مطالعه به سبب وجود لایه‌های سنگی مارنی، آهکی و همچنین وجود سنگ‌ها و خاکسترهای آتشفشانی، ترکیب رسوبات سیلابی مخلوطی از رسوبات دانه ریز مارنی و توفی تا رسوبات متوسط و درشت از سنگهای آتشفشانی می‌باشد. جدول (۸) امتیاز هر یک از عوامل نه گانه‌ی MPSIAC را نشان می‌دهد.



شکل ۳- لایه های اطلاعاتی تهیه شده برای ارزیابی فرسایش. (a) نقشه کاربری اراضی، (b) نقشه CN حوضه نقشه، (c) گروه هیدرولوژیکی خاک و (d) شاخص NDVI

Fig. 3. The developed layers of information to evaluate the erosion amount. (a) Land Use map, (b) CN (Curve Number) map, and (c) Soil Hydrological Group map and (d) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) map.

جدول ۸- امتیاز های محاسبه شده عوامل MPSIAC
Table 8. Calculated scores for MPSIAC factors

Factor Index	Score
Surface geology	4.56
Soil	5.33
Climate	4.84
Runoff	1.137
Topography	7.43
Land cover	15.6
Land use	15.96
Surface erosion	11.25
Gully erosion	8.35

جدول ۹- مختصات محل پیشنهادی برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی
Table 9. The coordinates of the proposed location for the implementation of the artificial recharge plan

No.	UTM-X	UTM-Y
1	606632.88	4129855.30
2	606901.37	4130569.87
3	607617.01	4130282.73
4	607152.00	4129520.57



شکل ۴- محدوده پیشنهادی برای احداث حوضچه های تغذیه (مقیاس ۱/۱۰۰۰)
Fig. 4. The proposed site for the construction of recharge basins (Scale 1/1000)

۵- نتیجه گیری

با بررسی دقیق و جامع انجام شده در این مطالعه، می توان نتیجه گرفت که روش تغذیه مصنوعی با استفاده از حوضچه های نفوذ به منظور بهبود کیفیت آبخوان آلوده و کاهش آلودگی، یک راهکار موثر و کارآمد باشد. با افزایش آب در حوضچه های نفوذپذیر و نفوذ این آب به آبخوان، مقدار شوری آب آبخوان به طور ملموس کاهش یافته و این موضوع به بهبود کیفیت منابع آب زیرزمینی کمک می کند. در این پژوهش محدوده آلوده در اراضی پایین دست کارخانه کاوه سودا و همچنین رودخانه مردق جای که منبع تامین آب می باشد به طور کامل مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا مقدار رسوب حوضه در حدود ۲۳۸ متر مکعب در کیلومتر مربع تخمین زده شد. مساحت محدوده ی آلوده ۳۰۰ هکتار برآورد گردید، برای پاکسازی این مقدار آلودگی به حدود

یک میلیون مترمکعب (۹۶۰۰۰۰ مترمکعب) آب احتیاج است که منبع تامین این آب رودخانه مردق چای با دبی متوسط سالیانه ۲/۲۵ مترمکعب برثانیه تخمین زده شد. با توجه به ویژگی هایی همچون نوع و محدوده آلودگی، کاربری اراضی، شیب، نزدیکی به منبع آب و اراضی تحت تملک کارخانه کاوه سودا محدوده ای در پایین دست این کارخانه با مساحت ۵۸ هکتار برای اجرای طرح تغذیه انتخاب گردید.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از گروه صنعتی شیشه کاوه برای تامین بخشی از هزینه های این تحقیق و حمایت مجموعه مدیریتی و کارشناسان آن شرکت برای انجام این پژوهش ابراز می دارند.

مراجع

- Alavi Panah, K., 2006. Application of Remote Sensing in Earth Sciences. University of Tehran Press. 496 P. (in Persian).
- Bornayi Zanouzi, A., 2020. Investigation of aquifer contamination due to potential effluent leakage from Kave Soda factory (Maragheh), identification of pollution source and extent, and providing remediation methods. Master's thesis. Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz.
- Daneshvar Vousoughi, F., Dinpashoh, Y., Aalami, M., 2011. Effect of Drought on Groundwater Level in the Past Two Decades (Case study: Ardebil Plain). *Water and Soil Science* 21(4), 165-179.
- Fred, M.S., O'Hara, R.B., Brommer, J.E., 2006. Consequences of the spatial configuration of resources for the distribution and dynamics of the endangered Parnassius apollo butterfly. *Biological Conservation* 130(2), 183-192. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.01.007>.
- Ghayoumian, J., GhermezCheshme, B., Feiznia, S., Noroozi, A.A., 2004. Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge; Case study: Meimeh basin, Isfahan, Iran. *Environmental Geology* 47, 493-500. <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1169-y>.
- Guo, Z., Fogg, G.E., Chen, K., Pauloo, R., Zheng, C., 2023. Sustainability of regional groundwater quality in response to managed aquifer recharge. *Water Resources Research* 59(1), e2021WR031459. <https://doi.org/10.1029/2021WR031459>.
- Hamadi, K., Makram, A., Jallali, S., Tarhouni, J., 2007. GIS based multi criteria analysis for potential waste water aquifer recharge sites. *Desalination* 215 (1-3), 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.11.016>.
- Hassan, W.H., Ghanim, A.A., Mahdi, K., Adham, A., Mahdi, F.A., Nile, B. K., et al., 2023. Effect of artificial recharge on the salinity and groundwater level in Al-Dibdibba Aquifer in Iraq using treated wastewater. *Water* 15(4), 695. <https://doi.org/10.3390/w15040695>.
- Hosein Pourmoghdam, M., Lashkaripour, D., Pourya, D., 2013. The effect of Khorasan Steel Complex slag on the pollution of groundwater resources in Neyshabur plain. Proceedings of the 32nd National and 1st International Geological Congress, Iran.
- Kostiakov, A.N., 1932. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity of studying it from the dynamic point of view for the purposes of amelioration. *Trans. Sixth Comm. International Society of. Soil Sciences*, 1, 7-21.

- Nasrabadi, T., Nabi Bidhendi, G.R., Karbassi, A.R., Hoveidi, H., Nasrabadi, I., Pezeshk, H., Rashidinejad, F., 2009. Influence of Sungun copper mine on groundwater quality, NW Iran. *Environmental Geology* 58(4), 693-700. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1543-2>.
- Ravi Shankar, M.N., Mohan, G., 2005. A GIS-based hydrogeomorphic approach for identification of site-specific artificial-recharge techniques in the Deccan Volcanic Province. *Journal of Earth System Science* 114, 505-514. <https://doi.org/10.1007/BF02702026>.
- Ramalingam, M., Santhakumar, A., 2002. Case study on artificial recharge using remote sensing and GIS. *GIS Development Journal* 3, 85-97.
- Sargaonkar, A.P., Rathi, B., Baile, A., 2011. Identifying potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan, India. *Environmental Earth Sciences* 62, 1099-1108. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0598-z>.
- Shi, X., Jiang, S., Xu, H., Jiang, F., He, Z., Wu, J., 2016. The effects of artificial recharge of groundwater on controlling land subsidence and its influence on groundwater quality and aquifer energy storage in Shanghai, China. *Environmental Earth Sciences* 75(3), 195. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5019-x>.
- Thangamani, S., 2017. Effectiveness of Artificial Recharge Structures in Enhancing Groundwater Quantity and Quality. *Chem. Chemical Science Review and Letters* 6(23), 2042-2050.
- US Department of Agriculture, Natural Resources and Conservation Service, 1974. *National Engineering Handbook*. Section 15. Border Irrigation. National Technical Information Service, Washington, DC, Chapter 4.
- Vaezi, A., Pashazadeh, L., & Tabarmaye, M., 2020. Environmental Management Plan (EMP) for the Kaveh Soda Factory (Maragheh). Report, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, (in Persian).