



Laboratory investigation of the relationship between trench dimensions and infiltration capacity in unsaturated environment

Mojtaba Hasanpour¹ , Hossein Khozaymehnezhad²  , Abolfazl Akbarpour³ 

¹ Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: mbohlool69@yahoo.com

² *Corresponding Author*, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: Hkhozaymeh@birjand.ac.ir

³ Department of Civil Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran. E-mail: akbarpour@birjand.ac.ir

ABSTRACT

Artificial recharge can play an important role in strengthening and sustaining underground water. It is important to choose the right method for artificial recharge according to the conditions. The present study focused on investigating the effect of conduit dimensions on the level of infiltration capacity in an unsaturated environment. For this purpose, a physical model was created. Initially, water with a flow rate of 2.2 liters per minute entered the conduit at a depth of 10 centimeters, a width of 8 centimeters, and a length of 80 centimeters. Then the depth of the conduit was kept constant, and the width of the conduit was varied to 0.5, 0.75, 1.25, and 1.5 times. Subsequently, the width of the conduit was kept constant, and the depth of the conduit was varied to 0.5, 0.75, 1.25, and 1.5 times. The output flow rate from the model was measured at all mentioned stages. The results indicated that changes in the output flow rate from the model due to variations in the depth of the conduit compared to variations in the width of the conduit are more significant. Additionally, the results showed that the trends of changes in the volume of the conduit and the infiltration area of the conduit compared to the trends of changes in the output flow rate from the model are greater. The trends of changes in the volume of the conduit compared to the trends of changes in the output flow rate from the model for changes in the depth of the conduit and the trends of changes in the output flow rate from the model for changes in the width of the conduit are 7 and 25 times, respectively. The trend of changes in the infiltration area of the conduit for changes in the depth of the conduit compared to the trend of changes in the output flow rate from the model was calculated to be 5 times. Furthermore, the trend of changes in the infiltration area of the conduit for changes in the width of the conduit compared to the trend of changes in the output flow rate from the model was found to be 7 times.

Keywords: artificial recharge, outflow, trench width, trench depth, permeable pipe

Article Type: Research Article

Article history: Received: 31 May 2024 Revised: 06 August 2024 Accepted: 07 September 2024 ePublished: 21 December 2024

1. Introduction

The urgent and increasing human need for water resources around the world, especially in arid and semi-arid regions, has focused more attention on researching new methods of storing and reusing groundwater and surface water (Karim, 2018). In order to design a suitable artificial recharge method, sufficient information about the distribution of water flow in the soil is required. On the other hand, researching water flow distribution in porous media without modeling field conditions is time-consuming and costly. The purpose of this research is to investigate the effect of trench dimensions on infiltration capacity in unsaturated environment and to introduce artificial recharge method suitable for desert areas

2. Materials and Methods

In order to achieve the goals of this research, the physical model was built in the hydraulic laboratory of Birjand University. In the conducted tests, the depth and width of the trench (separately) were variable and other fixed factors were considered. Considering that the purpose of this research is to investigate the effect of trench dimensions on the amount of infiltration capacity in an unsaturated environment. Therefore, in the first stage, water with a flow rate of 2.2 liters per minute entered the trench with a depth of 10 cm, a width of 8 cm and a length of 80 cm (the length of the trench was constant in all the experiments) and the volume of water exiting from the measurement model became. In the next step, keeping the depth of the trench constant, the width of the trench was 0.5, 0.75, 1.25, and 1.5 times, and the volume of water coming out of the model was measured for different widths. Also, considering the width of the trench as fixed, the depth of the trench was changed with the mentioned ratios. After the water reached the stagnation level, the output water volume was measured at 5-minute intervals for 60 minutes for all the inlet flow rates of the model. Then, after 60 minutes, the output water volume (V_{out}) from the model was measured for another 30 minutes. Then the inlet flow was stopped and the output flow rate from the model was measured at 5 minute intervals for another 120 minutes.

3. Results and Discussion

The amount of Q_{out} is directly affected by the changes in depth and width of the trench. In equal volumes, in cases where the ratio of depth to width is greater, the value of Q_{out} is greater. In Figure 1, the trend of changes in the volume of the trench with the trend of changes in the flow output from the model according to the changes in the depth of the trench and also the changes in the width of the trench are examined. The results have shown that the slope of changes in the volume of the trench is not proportional to the slope of the output flow and shows a higher value. The slope of changes in trench volume is 20%, while the slope of changes in output flow is 2.8%, and the slope of changes in output flow is 0.8%. This shows that depth changes are more effective than trench width changes in increasing the amount of infiltration.

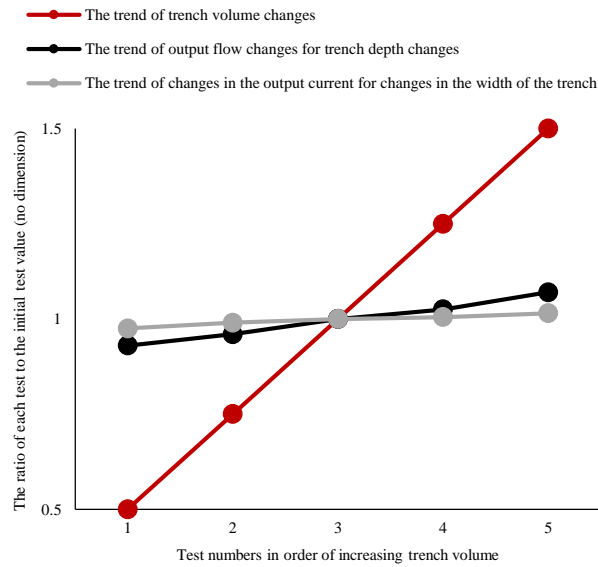


Figure 1. Examining the changes in the volume of the trench and the changes in the output current according to the changes in the depth and width of the trench

Also, the effects of the infiltration level on the output flow rate from the tank were investigated. Investigations show that the trend of changes in the trench level changes with a greater slope than the trend of the output flow rate from the model. The slope of the trench surface change trend was calculated as 14.29% for the trench depth change, while the slope of the model output flow rate change for the trench depth change is 2.8%. also . The slope of the trench surface changes was calculated as 5.7% per trench width change, while the slope of the model output flow rate changes was 0.8% per trench width changes (Figures 2 and 3).

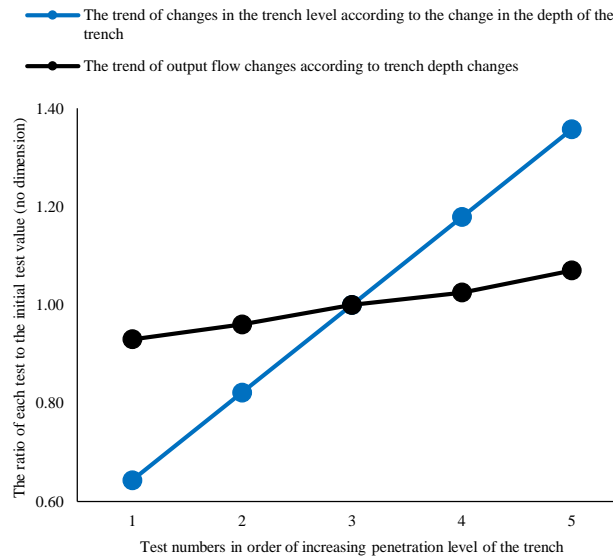


Figure 2. Examining the trend of changes in the infiltration level of the trench and the trend of the output flow changes according to the changes in the depth of the trench

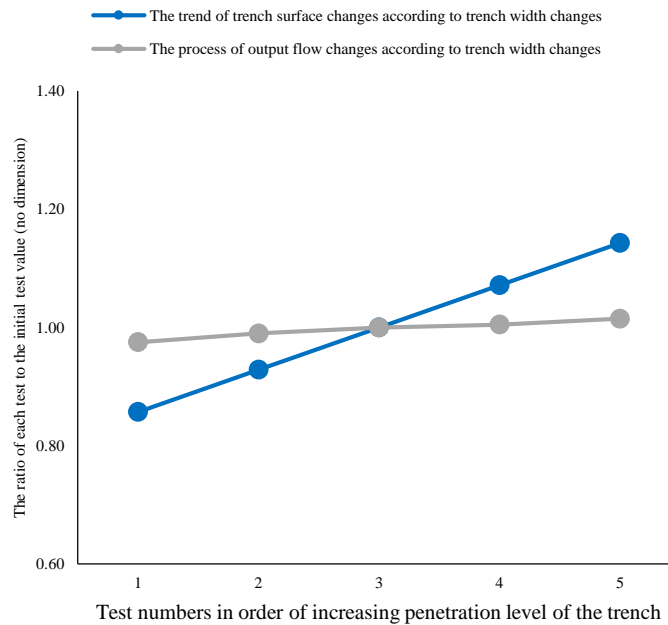


Figure 3. Examining the trend of changes in the infiltration level of the trench and the trend of the output flow changes according to the changes in the width of the trench

4. Conclusions

The results showed that in the conditions where the width of the trench was considered constant and its depth was considered variable, compared to the conditions where the depth of the trench was considered constant and its width was considered variable; The changes in the output current from the model are greater. For example, in the case where the width of the trench was considered fixed, for every 1.5 times the depth of the trench, the output water volume increased by 7%. 1.5 doubling of the width of the trench, the volume of the outflow water increased by 1.3 percent. Also, the results showed that the trend of changes in the volume of the trench and the infiltration level of the trench is more than the trend of the changes in the flow rate of the model. The trend of changes in trench volume is 7 times and 25 times the ratio of changes in flow rate output from the model per change in depth of the trench and the trend of changes in flow rate output from the model per change in width of the trench, respectively. The trend of changes in the infiltration level of the trench was calculated by the change of the depth of the trench, the ratio of the trend of the output flow rate changes was calculated 5 times from the model. Also, the change trend of the infiltration level of the trench for the change of the trench width, the ratio of the change trend of the output flow rate was obtained from the model 7 times.

5. References

Karim, I. (2018). Artificial Recharge of Groundwater by Injection Wells (Case Study). *Int. J. Sci. Eng. Technol.*, 6(1), 6193-6196. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119639>

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Cite this article: Hasanpour, M., Khozaymehnezhad, H., & Akbarpour, A. (2024). Laboratory investigation of the relationship between trench dimensions and infiltration capacity in unsaturated environment, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(4), 1-18. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10800.1129>



بررسی آزمایشگاهی رابطه بین ابعاد ترانسه و ظرفیت نفوذ در محیط غیر اشباع

مجتبی حسن پور^۱ ID، حسین خزیمه نژاد^۲ ID، ابوالفضل اکبرپور^۳ ID

^۱ گروه علوم ومهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: mbohool69@yahoo.com

^۲ نویسنده مسئول، گروه علوم ومهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: hkhozeymeh@birjand.ac.ir

^۳ گروه عمران، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: akbarpour@birjand.ac.ir

چکیده

تغذیه مصنوعی می تواند نقش مهمی در تقویت و پایداری آب زیرزمینی داشته باشد. انتخاب روش مناسب برای تغذیه مصنوعی با توجه به شرایط، حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر ابعاد ترانسه بر میزان ظرفیت نفوذ در محیط غیراشباع پرداخته شد. بدین منظور یک مدل فیزیکی ساخته شد. ابتدا آب با دبی ۲/۲ لیتر در دقیقه از لوله تراوا وارد ترانسه به عمق ۱۰ سانتی متر، عرض ۸ سانتی متر و طول ۸۰ سانتی متر شد. سپس عمق ترانسه ثابت در نظر گرفته شد و عرض ترانسه ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شد. در ادامه عرض ترانسه ثابت در نظر گرفته شد و عمق ترانسه ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شد. در همه مراحل ذکر شده دبی خروجی از مدل اندازه گیری شد. نتایج نشان داد تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییرات عمق ترانسه نسبت به تغییرات عرض ترانسه، میزان بیشتری است. همچنین نتایج نشان داد روند تغییرات حجم ترانسه و سطح نفوذ ترانسه نسبت به روند تغییرات دبی خروجی از مدل بیشتر است. روند تغییرات حجم ترانسه نسبت روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییر عمق ترانسه و روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییر عرض ترانسه به ترتیب ۷ و ۲۵ برابر محاسبه شد. روند تغییرات سطح نفوذ ترانسه به ازای تغییر عمق ترانسه نسبت روند تغییرات دبی خروجی از مدل ۵ برابر است. همچنین روند تغییرات سطح نفوذ ترانسه به ازای تغییر عرض ترانسه نسبت روند تغییرات دبی خروجی از مدل ۷ برابر بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه مصنوعی، جریان خروجی، عرض ترانسه، عمق ترانسه، لوله تراوا

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۱ خرداد ۱۴۰۳ اصلاح: ۱۶ مرداد ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۷ شهریور ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ دی ۱۴۰۳

استناد: حسن پور، م، خزیمه نژاد، ح، و اکبرپور، ا. (۱۴۰۳). بررسی آزمایشگاهی رابطه بین ابعاد ترانسه و ظرفیت نفوذ در محیط غیر اشباع، فناوری های پیشرفته در

بهره وری آب، (۴) ۱۸-۱. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10800.1129>



مقدمه

استفاده از منابع آب به دلیل نیازهای بشر و از طرفی برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به علت در دسترس بودن آن رو به افزایش است. این مسئله باعث مشکلاتی از جمله کاهش سطح آب زیرزمینی، کاهش کیفیت آب، تداخل آب شور و شیرین، فرونشست زمین و به دنبال آن موجب از بین رفتن آبخوان شده است. لذا جهت کم کردن اثرات عوارضی که بیان شد که همان حفظ کمیت و کیفیت آب زیرزمینی است طرح‌های تغذیه مصنوعی اجرا می‌گردد. مشکلات تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در مناطق کویری حادث است و دلایل آن از قبیل کم بودن نزولات جوی و به دنبال آن منابع آب محدودتر جهت استفاده در طرح‌های تغذیه مصنوعی است. از طرفی اجرای روش‌های تغذیه سطحی در مناطق کویری مشکلات عدیده‌ای را به وجود آورده است. از جمله این مشکلات، آورد رسوب بالا در ایجاد سیلاب‌های احتمالی به علت پوشش ضعیف گیاهی است که خود باعث گرفتگی منافذ خاک شده و به دنبال آن سبب کاهش عمر طرح اجراشده تغذیه مصنوعی می‌گردد. از طرفی تبخیر بالا در این مناطق خود یکی از موارد هدررفت همین منابع آبی است. لذا در این پژوهش ضمن ارائه روشی از تغذیه مصنوعی که متناسب با شرایط مناطق کویری است، به دنبال بررسی عملکرد روش تغذیه مصنوعی ارائه شده نیز است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نیاز فوری و فزاینده انسان به منابع آبی در سراسر جهان، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پژوهش در مورد روش‌های جدید برای ذخیره و استفاده مجدد از آب‌های زیرزمینی و سطحی را بیش‌ازپیش مورد توجه قرار داده است (کریم^۱، ۲۰۱۸). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، منابع آب سطحی به‌طور کلی کم و بسیار غیرقابل‌اعتماد هستند، بنابراین آب زیرزمینی منبع اصلی آب در این مناطق است (اسکلون و همکاران^۲، ۲۰۰۶). در مناطق خشک و نیمه خشک، آب آسیب پذیرترین منبع در برابر تغییرات اقلیمی است. در واقع، تکنیک‌های مختلفی مانند تغذیه مصنوعی برای احیای سفره‌های آب زیرزمینی و اطمینان از پایداری آبخوان به کار گرفته می‌شود (مولای الحسن و همکاران^۳، ۲۰۱۹). چندین کشور که به این یافته حساس هستند، قبلاً تکنیک‌های پیشرفته‌ای مانند تغذیه مصنوعی را برای افزایش پتانسیل آب‌های زیرزمینی اتخاذ کرده‌اند. این تکنیک از منابع غیرمتعارفی استفاده می‌کند که به مدیریت بهینه آب کمک می‌کند: آب سیلابی (المنصوری و المزواری^۴، ۲۰۱۵)، فاضلاب تصفیه شده، آب نمک زدایی شده دریا را می‌توان به عنوان منابع آب در نظر گرفت و آبخوان را دوباره شارژ کرده و سطح آب را بالا برد (دیتی و برسیلون^۵، ۲۰۰۹، روگون^۶، ۲۰۰۰، و پاین^۷، ۲۰۰۵). گرفتگی یکی از محدودیت‌های این تکنیک است که شامل فرآیندهای فیزیکی پیچیده شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی است (تیان و همکاران^۸، ۲۰۱۶). تغذیه مصنوعی در مناطق عمده کشور مراکش برای افزایش پتانسیل سفره‌های زیرزمینی در معرض کاهش بیش از حد اعمال می‌شود (سببار^۹، ۲۰۱۳). مدیریت تغذیه مصنوعی آبخوان (MAR) یک راه حل نوآورانه بالقوه برای رسیدگی به مسائل مربوط به منابع آب زیرزمینی ارائه می‌دهد و آب سطحی اضافی را قادر می‌سازد تا در زیر زمین برای برداشت بعدی ذخیره شود. با توجه به خواص هیدروژئولوژیکی مطلوب آن، آبخوان شن و ماسه پلیوسن (Crag) در سافولک انگلستان، برای یک طرح نمایشی MAR، با هدف تامین آب اضافی برای آبیاری تابستانی انتخاب شد (هیسکوک و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۴). بسته به نوع منبع آب، تغذیه مصنوعی با روش‌های سطحی (حوضچه‌ها، شیارها و بندها) یا در زیرزمین (چاه‌های جذبی، زهکش‌های شعاعی و غیره) انجام می‌شود. معمولاً روش‌های سطحی گران‌تر هستند (فورمن^{۱۱}، ۲۰۱۴). شبیه‌سازی جریان در محیط متخلخل، کاربردهای متعدد و متنوعی در طراحی سدهای پاره‌سنگی، فیلترهای شنی، بهره‌برداری مؤثر از منابع آب زیرزمینی و غیره دارد. ظرف

^۱ Karim

^۲ Scanlon et al

^۳ Moulay Lhassan et al

^۴ El Mansouri and El Mezouary

^۵ Detay and Bersillon

^۶ Rognon

^۷ Pyne

^۸ Tian et al

^۹ Sebbar

^{۱۰} Hiscock et al

^{۱۱} Foreman

صدها سال گذشته، تلاش‌های متعددی به‌منظور شبیه‌سازی جریان در محیط متخلخل با بهره‌گیری از قوانین داری و غیر داری صورت پذیرفته است (افضلی و همکاران، ۱۳۸۸). در تحلیل آب‌های زیرزمینی اغلب فرض می‌شود که نفوذپذیری افقی بزرگ‌تر از نفوذپذیری قائم می‌باشد (به‌خصوص برای رس‌ها). میزان ناهمسانی نفوذپذیری را با پارامتر بدون بعد Γ_k نشان می‌دهند که برابر است با میزان نفوذپذیری افقی به میزان نفوذپذیری قائم ($\Gamma_k = k_H/k_V$). مقادیر زیادی از میزان Γ_k برای رس‌ها و سنگ‌ها در دسترس می‌باشد؛ در مقابل نتایج معتبر اندکی برای مصالح غیر چسبنده وجود دارد زیرا دستگاه‌های اندازه‌گیری نفوذپذیری برای مصالح دانه‌ای اندک می‌باشند (باگارلو و همکاران^۱، ۲۰۰۹). برای طراحی یک روش مناسب تغذیه مصنوعی نیاز به اطلاعات کافی از نحوه توزیع جریان آب در خاک و همچنین نیازمند حصول اطلاعات مربوط به الگوی توزیع آب در خاک می‌باشد. این نوع اطلاعات در انتخاب شدت جریان ورودی به خاک و به حداکثر رساندن میزان نفوذ تأثیرگذار است. نفوذپذیری خاک به دو عامل کلی بستگی دارد، یک عامل مشخصات خود خاک شامل فضای خالی خاک، زبری سطح ذرات جامد، درجه اشباع و عامل دیگر مشخصات سیالی (آب) است که از آن عبور می‌کند (پیشرو و همکاران، ۱۳۹۶).

موکرچی^۲ (۲۰۱۶) در پژوهشی با عنوان مروری بر تغذیه آب زیرزمینی در هند بیان می‌دارد هدف اصلی تغذیه آب زیرزمینی حفظ و یا تقویت منابع آب زیرزمینی است که شامل حفاظت یا کنترل آب‌های سیلاب، کنترل نفوذ آب‌های شور، ذخیره آب برای کاهش هزینه‌های پمپاژ و لوله‌کشی، تنظیم موقتی آب‌های زیرزمینی و بهبود کیفیت آبخوان با مخلوط کردن با آب‌های زیرزمینی است. در چنین مناطقی نیاز به تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با روش‌هایی مانند پخش آب، شارژ مجدد از طریق چاله‌ها، چاه‌ها و موارد دیگر وجود دارد. انتخاب یک روش خاص بستگی به شرایط توپوگرافی، زمین‌شناسی، کمیت و کیفیت آب موجود برای تغذیه مجدد، وجود فناوری، قابلیت اقتصادی و پذیرش اجتماعی این‌گونه طرح‌ها دارد.

آبلان و همکاران^۳ (۲۰۱۷) به موضوع تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، مروری بر دانش متداول روش‌های تغذیه مصنوعی پرداخته‌اند. این مطالعه به جنبه‌های هیدرولیک و هیدروژئولوژیکی مرتبط با روش‌های تغذیه مصنوعی، با انجام یک تحلیل جامع از مقالات موجود منتشرشده در دهه‌های گذشته، در مورد تعریف خود روش تغذیه، منابع آب موجود برای توسعه آن، اهداف این فن، مراحل مکانیسم هیدرونیامیکی، سیستم‌های مختلفی که معرفی شده (سیستم‌های سطحی و زیرزمینی) و موضوعات مربوط به آن (گرفتگی، آلودگی‌های قبرستانی و غیره) پرداخته است. روش‌های اصلی تغذیه مصنوعی در دو گروه عمده تقسیم‌بندی می‌شوند. ۱- روش‌های سطحی یا سیستم‌های نفوذ که در آن آب به‌وسیله یک سطح تماس بزرگ با زمین به لایه‌های خاک وارد می‌شود ۲- روش‌های عمیق زیرزمینی یا سیستم‌های تزریق که با آن آب معمولاً به‌وسیله چاه‌ها یا سوراخ‌ها و چاه‌های زهکشی شعاعی به آبخوان تزریق می‌شود.

بکویت و همکاران^۴ (۲۰۰۳) در پژوهشی با عنوان ناهمسانگردی و ناهمگنی مربوط به عمق هدایت هیدرولیکی در یک باتلاق (اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی) بیان نمودند در خاک‌های ناهمسانگرد، هدایت هیدرولیکی اشباع عمودی (k_v) حجم معینی از خاک، با هدایت هیدرولیکی اشباع افقی (k_h) همان حجم خاک متفاوت است.

پیشرو و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی آزمایشگاهی شاخص‌های مکانیک خاک بر نفوذپذیری ناهمسانگردی مصالح درشت‌دانه غیریکنواخت، با تأکید بر دانه‌بندی، فاکتور شکل و تراکم پرداختند. نتایج نشان داد با افزایش تخلخل ضرایب نفوذپذیری در هر دو حالت افقی و قائم افزایش یافته است و نفوذپذیری نیز در جهت افقی اغلب بیشتر از نفوذپذیری در جهت قائم است.

مقاله حاضر روشی نوین برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در مناطق کویری ارائه می‌دهد که با هدف غلبه بر چالش‌های روش‌های معمول و ارتقای کارایی و پایداری آنها طراحی شده است. این روش با استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده به عنوان منبع آب، مشکل کمبود منابع آب محدود این مناطق را جبران نماید. همچنین به افزایش کیفیت آبخوان در قسمت‌هایی که کیفیت آن بسیار کاهش یافته است به صورت متمرکز در آن منطقه کمک نماید. همچنین با اجرای زیرزمینی و بهینه‌سازی ابعاد ترانشه، راندمان تغذیه افزایش می‌یابد. آزمایش‌های انجام‌شده در مدل‌های آزمایشگاهی نشان‌دهنده کارایی و پتانسیل بالای این روش است. با این حال، انجام مطالعات میدانی و بررسی دقیق‌تر پارامترهای موثر بر عملکرد آن در شرایط

^۱ Bagarello et al

^۲ Mukherjee

^۳ Abellán et al

^۴ Beckwith et al

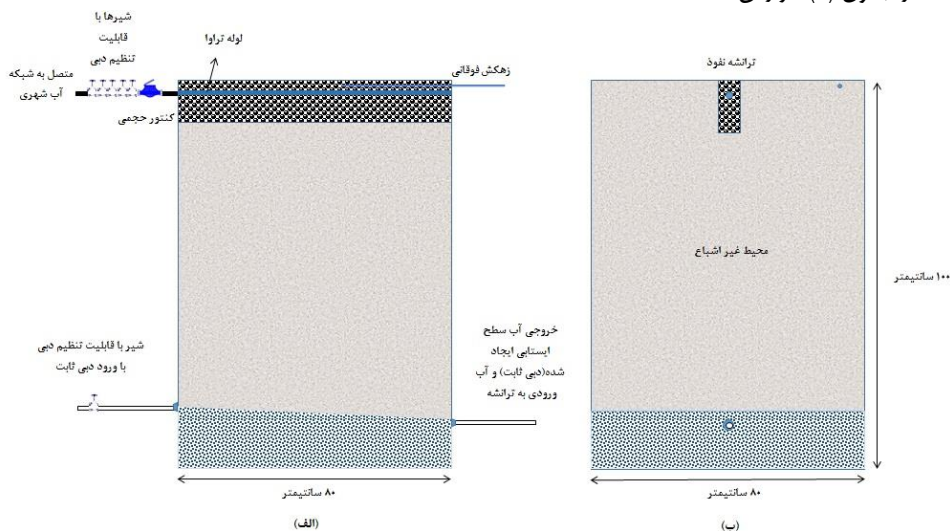
واقعی ضروری است. در مجموع، این روش می‌تواند راه‌حلی امیدوارکننده برای مدیریت پایدار منابع آب محدود در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار آید.

روش پژوهش

برای رسیدن به اهداف پژوهش حاضر یک مدل فیزیکی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه بیرجند ساخته شد. مدل ارائه شده الگو گرفته از قنات و لوله‌های زهکشی است. این روش، مکانیزمی عکس قنات دارد به طوری که در قنات آب موجود در لایه‌های خاک از ارتفاع بالاتر به گالری قنات زهکش می‌شود، در صورتیکه در این روش از طریق لوله تراوا، آب، وارد لایه‌های خاک زیر ناحیه لوله شده و تغذیه مصنوعی صورت می‌پذیرد. در آزمایش‌های انجام شده دبی ورودی برای هر یک از بافت‌های مورد استفاده در آزمایشات اولیه تعیین شد. عرض ترانشه نفوذ و ارتفاع لوله سرریز تا کف ترانشه (عمق ترانشه)، متغیر و سایر عوامل ثابت در نظر گرفته شد.

مدل آزمایشگاهی

برای این منظور مدل با استفاده از شیشه ۱۰ میلی‌متر و در ابعاد $100 \times 80 \times 80$ سانتیمتر ساخته شد که در شکل (۱) نشان داده شده است. ابتدا خاک به صورت لایه‌های ۵ سانتی متری در محفظه مدل قرار گرفت. ماسه شسته متوسط خوب دانه‌بندی شده با D_{50} برابر با 0.74 میلی‌متر به عنوان محیط غیر اشباع مجزا در مدل، مورد استفاده قرار گرفت. سایر خصوصیات دانه بندی خاک مورد استفاده در جدول (۱) گزارش شده است.



شکل ۱. شماتیک ساده از مدل آزمایشگاهی: (الف) نمای از سمت راست، (ب) نمای از جلو

جدول ۱. نتایج آزمایش‌های خاک مورد استفاده در

مدل		
نام پارامتر	مقدار	واحد
D10	۰/۱	میلی‌متر
D30	۰/۳۷	میلی‌متر
D60	۰/۹	میلی‌متر
Cu	۹	ضریب یکنواختی
Cc	۱/۵۲	ضریب انحنای

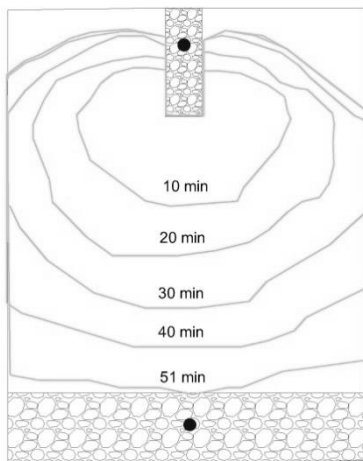
در مرحله بعد ترانشه اولیه با عرض ۸ سانتیمتر، عمق ۱۰ سانتیمتر و طول ۸۰ سانتیمتر در محیط متخلخل ایجاد و توسط مصالح با نفوذپذیری بالا (دانه‌بندی ۶ الی ۱۲ میلی‌متر) تا عمق مناسب پر شد. لوله تراوا نیز در ترانشه نصب گردید. یک زهکش نیز در بالای ترانشه جهت خارج نمودن آب اضافه نصب شد. فاصله کف ترانشه تا سطح ایستابی ۶۱ سانتی‌متر است. آب از شبکه آب

شهری با دبی ۲/۲ لیتر در دقیقه وارد لوله‌ای شد که تعداد ۶ روزنه با قطر ۲ میلی‌متر با فواصل ۱۵ سانتی‌متر بر روی آن ایجاد شده است (لوله تراوا). دبی‌سنجی توسط ۵ شیر سری که قبلاً با استفاده از روش حجمی کالیبره شده بود؛ انجام می‌شد. همچنین علاوه بر دبی‌سنجی به‌وسیله شیرهای کالیبره شده، حجم آب عبوری با استفاده از کنتور اندازه‌گیری می‌شد.

نحوه انجام آزمایش

در آزمایش‌ها عبور جریان آب از طریق لوله تراوا و ترانشه با دبی ۲/۲ لیتر در دقیقه (مقدار دبی ورودی با توجه به نتایج بدست آمده از انجام آزمایش‌های اولیه حاصل شده است) به محیط متخلخل انجام پذیرفت. در آزمایش‌های انجام شده عمق و عرض ترانشه متغیر بوده و سایر عوامل ثابت در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی آزمایشگاهی تأثیر خصوصیات هندسی ترانشه بر میزان ظرفیت نفوذ در محیط غیراشباع است؛ لذا در مرحله اول آب با دبی ۲/۲ لیتر در دقیقه وارد ترانشه به عمق ۱۰ سانتی‌متر، عرض ۸ سانتی‌متر و طول ۸۰ سانتی‌متر (طول ترانشه در تمامی آزمایش‌ها ثابت بوده است) شده و حجم آب خروجی از مدل اندازه‌گیری شد. در مرحله بعدی با ثابت در نظر گرفتن عمق ترانشه، عرض ترانشه ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شد و حجم آب خروجی از مدل برای عرض‌های مختلف اندازه‌گیری شد. همچنین با ثابت در نظر گرفتن عرض ترانشه، عمق ترانشه با نسبت‌های مذکور تغییر نمود.

جهت بررسی چگونگی حرکت جبهه رطوبتی از ابتدا تا انتها از چگونگی گسترش جبهه رطوبتی فیلمبرداری شد. همچنین همزمان با انجام آزمایش هر ۵ دقیقه انتهای جبهه رطوبتی بر روی دیواره مدل ترسیم شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Plot Digitizer و AutoCAD خطوط مذکور پیاده‌سازی شده تا امکان تحلیل چگونگی حرکت جبهه رطوبتی فراهم گردد که در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است.



شکل ۲. ترسیم خطوط جبهه رطوبتی در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه بر روی دیواره مدل با عرض ترانشه ۸ سانتی‌متر و عمق ترانشه ۱۰ سانتی‌متر

شکل ۳. نحوه حرکت جبهه رطوبتی در مدل با دبی با عرض ترانشه ۸ سانتی‌متر و عمق ترانشه ۱۰ سانتی‌متر

پس از رسیدن آب به سطح ایستایی در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه به مدت ۶۰ دقیقه (زمان ثابتی که مدت آن با توجه به رسیدن به دبی اوج خروجی از مدل و آزمایش‌های اولیه برای کمترین دبی به‌دست آمده است) حجم آب خروجی برای کلیه دبی‌های ورودی مدل، اندازه‌گیری شد. در ادامه پس از اتمام زمان ۶۰ دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه دیگر، میزان حجم آب خروجی از مدل اندازه‌گیری شد. سپس جریان ورودی قطع و به مدت ۱۲۰ دقیقه دیگر دبی خروجی از مدل در بازه‌های ۵ دقیقه اندازه‌گیری شد. سپس حجم آب ورودی به مخزن (V_{in}) و حجم آب خروجی بدون محاسبه دبی پایه (V_{out}) اندازه‌گیری شد. معادله (۱) بیانگر این متغیر است.

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \quad (1)$$

V_1 حجم آب ورودی برای شبیه‌سازی سطح ایستایی، V_2 حجم آب خروجی از مدل که شامل حجم آب ورودی برای شبیه‌سازی سطح ایستایی نیز می‌شود، است.

یافته‌ها

پس از انجام آزمایش در هر مرحله و اندازه‌گیری پارامترهای موردنظر، اطلاعات کسب‌شده در جدول (۲) آورده شده است.

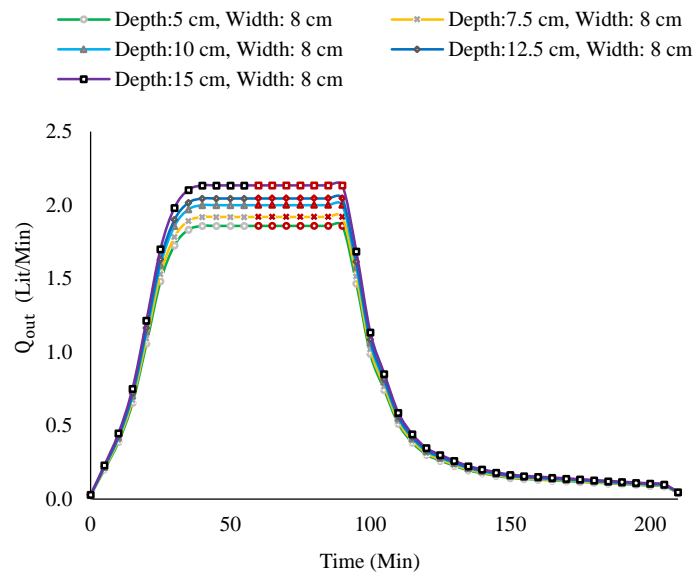
جدول ۲. اطلاعات کسب شده از آزمایشات

ردیف (۱)	عرض ترانشه (سانتی‌متر) (۲)	عمق ترانشه (سانتی‌متر) (۳)	حجم ترانشه (سانتی‌متر مکعب) (۴)	نسبت عمق به عرض ترانشه (۵)	سطح نفوذ (سانتی‌متر مربع) (۶)	حداکثر جریان خروجی از مدل بدون جریان پایه در طول دوره آزمایش (لیتر در دقیقه) (۷)	حداکثر دبی خروجی از سرریز مدل (لیتر در دقیقه) (۸)	حجم آب خروجی از مدل فیزیکی در مدت ۵ دقیقه (لیتر) (۹)
۱	۸	۱۰	۶۴۰۰	۱/۲۵	۲۲۴۰	۲/۰۰	۰/۱۸	۱۰/۰۰
۲	۸	۵	۳۲۰۰	۰/۶۳	۱۴۴۰	۱/۸۶	۰/۳۱	۹/۳۰
۳	۸	۷/۵	۴۸۰۰	۰/۹۴	۱۸۴۰	۱/۹۲	۰/۲۶	۹/۵۸
۴	۸	۱۲/۵	۸۰۰۰	۱/۵۶	۲۶۴۰	۲/۰۵	۰/۱۲	۱۰/۲۳
۵	۸	۱۵	۹۶۰۰	۱/۸۸	۳۰۴۰	۲/۱۴	۰/۰۵	۱۰/۶۸
۶	۴	۱۰	۳۲۰۰	۲/۵۰	۱۹۲۰	۱/۹۵	۰/۲۳	۹/۷۷
۷	۶	۱۰	۴۸۰۰	۱/۶۷	۲۰۸۰	۱/۹۸	۰/۲	۹/۹۰
۸	۱۰	۱۰	۸۰۰۰	۱/۰۰	۲۴۰۰	۲/۰۱	۰/۱۶	۱۰/۰۷
۹	۱۲	۱۰	۹۶۰۰	۰/۸۳	۲۵۶۰	۲/۰۳	۰/۱۳	۱۰/۱۴

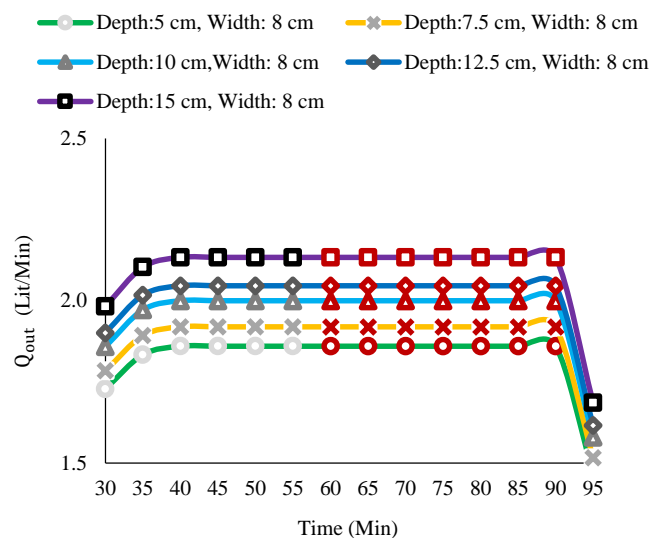
در ردیف اول (۲) مشخصات ترانشه اولیه آورده شده است. به ازای ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شدن عمق ترانشه نسبت به عمق اولیه ترانشه در عرض ترانشه ثابت ۸ سانتی‌متر (ردیف ۲ الی ۵) و همچنین به ازای ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شدن عرض ترانشه نسبت به عرض اولیه ترانشه در عمق ترانشه ثابت ۱۰ سانتی‌متر (ردیف ۶ الی ۹)، حجم‌های ترانشه محاسبه شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود حجم‌های محاسبه شده با اعمال نسبت‌های یکسان در مورد عمق و عرض با یکدیگر برابر است (ستون ۴ جدول (۲)). به‌عنوان مثال حجم محاسباتی ترانشه در ردیف ۲ و ۶ به ترتیب به ازای ۰/۵ برابر شدن عمق ترانشه با عرض ثابت ترانشه و همچنین ۰/۵ برابر شدن عرض ترانشه با عمق ثابت ترانشه ۳۲۰۰ سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

در شکل (۴) نمودارهای دبی خروجی از مدل فیزیکی (Q_{out}) با دبی ورودی (Q_{in}) ۲/۲ لیتر در دقیقه آمده در عمق‌های مختلف ترانشه ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ و با عرض ترانشه ثابت ۸ سانتی‌متر آمده است. شاخه صعودی نمودارهای هر کدام از عمق‌های تعیین شده از لحظه خروج آب از مدل تا زمانی است که $Q_{out\ max}$ اتفاق می‌افتد. سپس در قله نمودار تا اتمام زمان ۶۰ دقیقه، $Q_{out\ max}$ ادامه داشته و بعد از آن به مدت ۳۰ دقیقه $Q_{out\ max}$ اندازه‌گیری شد (قسمت قرمز رنگ نمودار). بخش نزولی نمودار،

Q_{out} پس از توقف Q_{in} را نشان می‌دهد که با گذشت زمان کاهش یافته است. برای مشخص شدن بیشتر اختلاف Q_{out} به ازای عمق‌های مختلف به صورت محدودتر قسمت بیشینه نمودارها آورده شده است که در شکل (۵) نشان داده شده است.



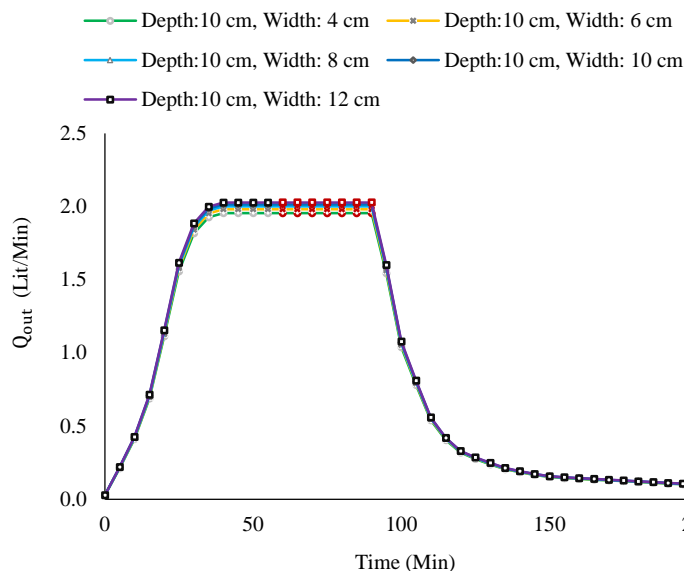
شکل ۴. نمودار Q_{out} با دبی ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه با عرض ترانشه ثابت ۸ سانتی‌متر و عمق‌های مختلف ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ سانتی‌متر



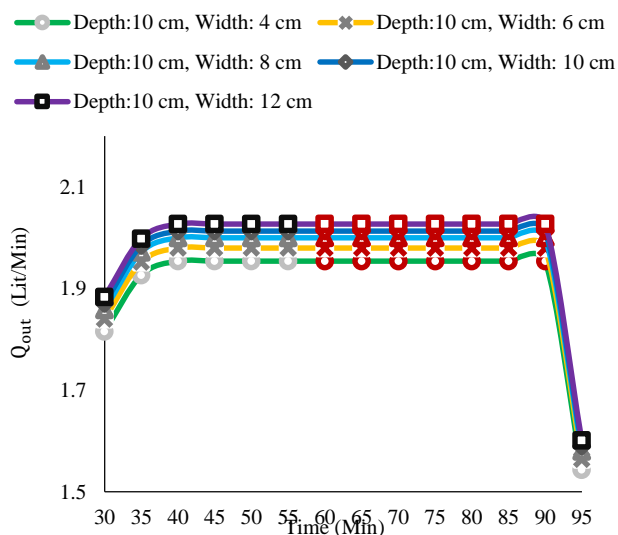
شکل ۵. نمودارهای Q_{out} در قسمت بیشینه آن‌ها با دبی ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه با عرض ترانشه ثابت ۸ سانتی‌متر و عمق‌های مختلف ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ و ۱۵ سانتی‌متر

همچنین در شکل (۶) نمودارهای Q_{out} با دبی ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه در عرض‌های مختلف ترانشه ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ سانتی‌متر و با عمق ترانشه ثابت ۱۰ سانتی‌متر نشان داده شده است. همانند قسمت قبل نمودارهای Q_{out} به ازای عرض‌های

مختلف ترسیم گردید. برای مشخص شدن بیشتر اختلاف Q_{out} به ازای عرض‌های مختلف به صورت محدودتر قسمت بیشینه نمودارها ارائه شده است که در شکل (۷) نشان داده شده است.



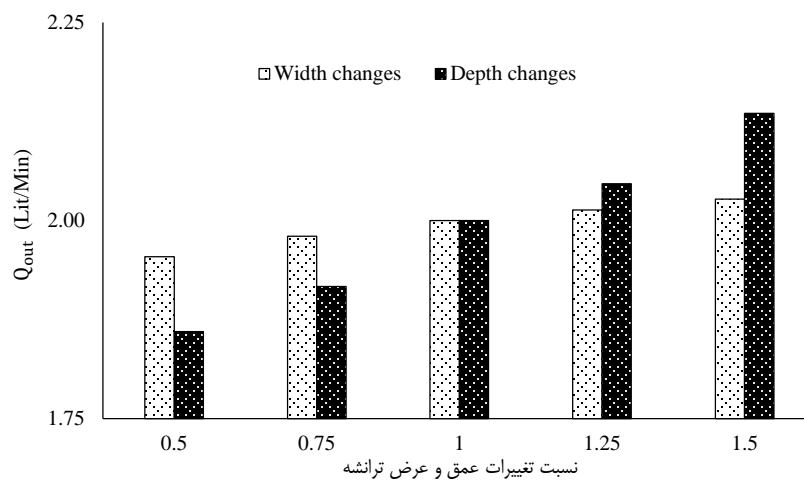
شکل ۶. نمودارهای Q_{out} با دبی ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه با عمق ترانشه ثابت ۱۰ سانتی‌متر و عرض‌های مختلف ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ سانتی‌متر



شکل ۷. نمودارهای Q_{out} در قسمت بیشینه آن‌ها با دبی ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه با عمق ترانشه ثابت ۱۰ سانتی‌متر و عرض‌های مختلف ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ سانتی‌متر

در شکل های (۵) و (۷) مشاهده می گردد با توجه به اینکه حجم ترانشه در دو حالت یکسان بوده است اما دامنه تغییرات Q_{out} با تغییر اندازه عمق نسبت به تغییر اندازه عرض ترانشه بیشتر شده است.

همانطور که در شکل (۸) مشاهده می شود، میزان Q_{out} به طور مستقیم تحت تأثیر تغییرات عمق و عرض ترانشه قرار دارد. در شکل مشاهده می شود در حجم های برابر در حالت هایی که نسبت عمق به عرض بیشتر است مقدار Q_{out} بیشتر است. در نسبت تغییرات ۰/۵ و ۰/۷۵ ابعاد ترانشه، زمانی که عمق ثابت (عمق ۱۰ سانتیمتر) و عرض ترانشه به ترتیب ۴ و ۶ سانتیمتر در نظر گرفته شده است، Q_{out} میزان بیشتری را نشان می دهد تا زمانی که در همان حجم ترانشه عرض ثابت (عرض ۸ سانتیمتر)، عمق ترانشه ۵ و ۷/۵ سانتیمتر در نظر گرفته گرفته شده است. به همین ترتیب در نسبت تغییرات ۱/۲۵ و ۱/۵ ابعاد ترانشه، زمانی که عرض ثابت (عرض ۸ سانتیمتر) و عمق ترانشه به ترتیب ۱۰ و ۱۲/۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است، Q_{out} میزان بیشتری را نشان می دهد تا زمانی که در همان حجم ترانشه عمق ثابت (عمق ۱۰ سانتیمتر)، عرض ترانشه ۱۰ و ۱۲ سانتیمتر در نظر گرفته گرفته شده است.



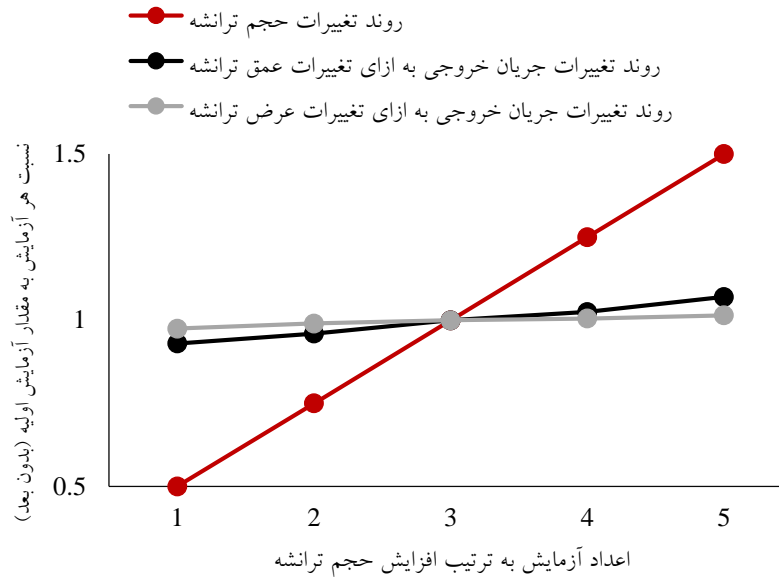
شکل ۸. Q_{out} به ازای تغییرات عمق و عرض ترانشه

در جدول (۳) برای تحلیل دقیق تر داده ها، اعداد مربوط به حداکثر دبی خروجی از ترانشه ها و حجم و سطح نفوذ ترانشه ها، بدون بعد گردید.

جدول ۳. بدون بعد کردن حداکثر دبی خروجی از ترانشه‌ها و حجم و سطح نفوذ ترانشه‌ها

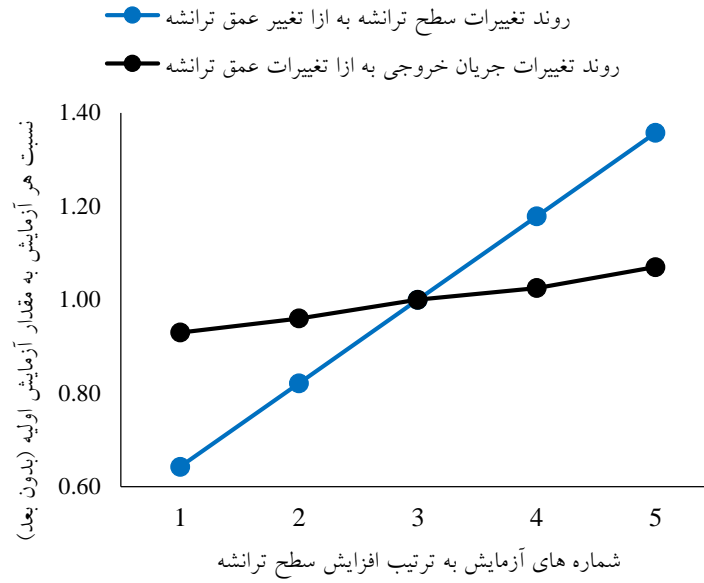
شماره آزمایش (۱)	حجم ترانشه (سانتی مترمکعب) (۲)	نسبت حجم ترانشه به ترانشه اولیه (۳)	حداکثر جریان خروجی (لیتر در دقیقه) (۴)	نسبت حداکثر جریان خروجی از ابعاد مختلف ترانشه به حداکثر خروجی از ترانشه اولیه (۵)	سطح نفوذ به از ابعاد مختلف در عرض ترانشه ثابت (سانتی مترمربع) (۶)	نسبت ستون ۶ به سطح نفوذ ترانشه اولیه (۷)	سطح نفوذ به از ابعاد مختلف در عمق ترانشه ثابت (سانتی مترمربع) (۸)	نسبت ستون ۸ به سطح نفوذ ترانشه اولیه (۹)
۱	۳۲۰۰	۰/۵۰	۱/۸۶	۰/۹۳	۱۴۴۰	۰/۶۴	۱۹۲۰	۰/۸۶
۲	۴۸۰۰	۰/۷۵	۱/۹۲	۰/۹۶	۱۸۴۰	۰/۸۲	۲۰۸۰	۰/۹۳
۳	۶۴۰۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۲۲۴۰	۱/۰۰	۲۲۴۰	۱/۰۰
۴	۸۰۰۰	۱/۲۵	۲/۰۵	۱/۰۳	۲۶۴۰	۱/۱۸	۲۴۰۰	۱/۰۷
۵	۹۶۰۰	۱/۵۰	۲/۱۴	۱/۰۷	۳۰۴۰	۱/۳۶	۲۵۶۰	۱/۱۴

در شکل (۹) روند تغییرات حجم ترانشه با روند تغییرات جریان خروجی از مدل به از ابعاد تغییرات عمق ترانشه و همچنین تغییرات عرض ترانشه بررسی شده است. نتایج نشان داده است که شیب تغییرات حجم ترانشه نسبت به شیب تغییرات جریان خروجی متناسب نبوده و مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. شیب تغییرات حجم ترانشه ۲۰ درصد بوده در حالی شیب تغییرات جریان خروجی به از ابعاد تغییرات عمق ترانشه ۲/۸ درصد است و شیب تغییرات جریان خروجی به از ابعاد تغییرات عرض ترانشه ۰/۸ درصد است. این موضوع نشان دهنده این است که تغییرات عمق نسبت به تغییرات عرض ترانشه در افزایش مقدار نفوذ موثرتر است.

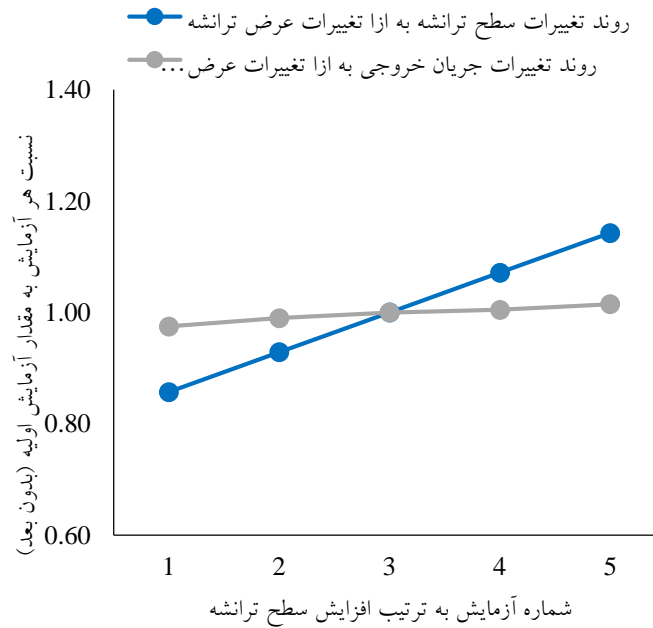


شکل ۹. بررسی روند تغییرات حجم ترانسه و روند تغییرات جریان خروجی به ازای تغییرات عمق و عرض ترانسه

همچنین تأثیرات سطح نفوذ بر میزان دبی خروجی از مخزن مورد بررسی قرار گرفت. بررسی ها نشان می دهد روند تغییرات سطح ترانسه با شیب بیشتری نسبت به روند تغییرات دبی خروجی از مدل تغییر می نماید. شیب روند تغییرات سطح ترانسه به ازای تغییر عمق ترانسه ۱۴/۲۹ درصد محاسبه شد در حالیکه شیب روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییر عمق ترانسه ۲/۸ درصد است. همچنین شیب روند تغییرات سطح ترانسه به ازای تغییر عرض ترانسه ۵/۷ درصد محاسبه شد در حالیکه شیب روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییرات عرض ترانسه ۰/۸ درصد است که در شکل های (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۰. بررسی روند تغییرات سطح نفوذ ترانشه و روند تغییرات جریان خروجی به ازای تغییرات عمق ترانشه



شکل ۱۱. بررسی روند تغییرات سطح نفوذ ترانشه و روند تغییرات جریان خروجی به ازای تغییرات عرض ترانشه

عملکرد مدل با عرض ترانشه ثابت و عمق ترانشه متغیر و همچنین عملکرد مدل با عمق ترانشه ثابت و عرض ترانشه متغیر با جریان ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه در مدت ۳۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت که به ترتیب در جداول (۴) و (۵) نتایج آنها ارائه شده است. جهت بررسی میزان عملکرد، نسبت V_{in} به V_{out} محاسبه شده است.

جدول ۴. عملکرد مدل با عرض ترانشه ثابت و عمق ترانشه متغیر با جریان ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه در مدت ۳۰ دقیقه

ردیف	عرض ترانشه (سانتی متر)	عمق ترانشه (سانتی متر)	(V_{out}) (لیتر)	(V_{in}) (لیتر)	عملکرد (درصد)
۱	۸	۵	۵۵/۸	۶۶	۸۴/۵۴
۲	۸	۷/۵	۵۷/۵۱	۶۶	۸۷/۱۳
۳	۸	۱۰	۶۰	۶۶	۹۰/۹۱
۴	۸	۱۲/۵	۶۱/۳۹	۶۶	۹۳/۰۲
۵	۸	۱۵	۶۴/۰۶	۶۶	۹۷/۰۶

جدول ۵. عملکرد مدل با عمق ترانشه ثابت و عرض ترانشه متغیر با جریان ورودی ۲/۲ لیتر در دقیقه در مدت ۳۰ دقیقه

ردیف	عرض ترانشه (سانتی متر)	عمق ترانشه (سانتی متر)	(V_{out}) (لیتر)	(V_{in}) (لیتر)	عملکرد (درصد)
۱	۴	۱۰	۵۸/۶۳	۶۶	۸۸/۸۴
۲	۶	۱۰	۵۹/۴۱	۶۶	۹۰/۰۱
۳	۸	۱۰	۶۰	۶۶	۹۰/۹۱
۴	۱۰	۱۰	۶۰/۴۰	۶۶	۹۱/۵۲
۵	۱۲	۱۰	۶۰/۸۱	۶۶	۹۲/۱۴

بحث

تغذیه مصنوعی می تواند نقش مهمی در تقویت و پایداری آب زیرزمینی داشته باشد. انتخاب روش مناسب برای تغذیه مصنوعی با توجه به شرایط، حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر ابعاد ترانشه بر میزان ظرفیت نفوذ در محیط غیراشباع پرداخته شد. بدین منظور یک مدل فیزیکی ساخته شد. ابتدا آب با دبی ۲/۲ لیتر در دقیقه از لوله تراوا وارد ترانشه به عمق ۱۰ سانتی متر، عرض ۸ سانتی متر و طول ۸۰ سانتی متر شد. سپس عمق ترانشه ثابت در نظر گرفته شد و عرض ترانشه ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شد. در ادامه عرض ترانشه ثابت در نظر گرفته شد و عمق ترانشه ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۲۵ و ۱/۵ برابر شد. در همه مراحل ذکر شده دبی خروجی از مدل اندازه گیری شد.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد در شرایطی که عرض ترانشه ثابت و عمق آن متغیر در نظر گرفته شد در مقایسه با یعنی شرایطی که عمق ترانشه ثابت و عرض آن متغیر در نظر گرفته شده بود؛ تغییرات جریان خروجی از مدل، میزان بیشتری است. به عنوان نمونه در حالتی که عرض ترانشه ثابت در نظر گرفته شد، به ازای ۱/۵ برابر شدن عمق ترانشه حجم آب خروجی ۷ درصد افزایش یافت در صورتیکه در همان حجم ترانشه و در حالتی که عمق ترانشه ثابت در نظر گرفته شد، به ازای ۱/۵ برابر شدن عرض ترانشه حجم آب خروجی ۱/۳ درصد افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد روند تغییرات حجم ترانشه و سطح نفوذ ترانشه نسبت به روند تغییرات دبی خروجی از مدل بیشتر است. روند تغییرات حجم ترانشه نسبت به روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییر عمق ترانشه و روند تغییرات دبی خروجی از مدل به ازای تغییر عرض ترانشه به ترتیب ۷ و ۲۵ برابر

است. روند تغییرات سطح نفوذ ترانشه به ازای تغییر عمق ترانشه نسبت روند تغییرات دبی خروجی از مدل ۵ برابر محاسبه شد. همچنین روند تغییرات سطح نفوذ ترانشه به ازای تغییر عرض ترانشه نسبت روند تغییرات دبی خروجی از مدل ۷ برابر بدست آمد.

منابع

افضلی، سیدحسین،، عابدینی، محمدجواد، و منجمی، پرویز. (۱۳۸۸). شبیه‌سازی جریان آب در محیط متخلخل با سطح آزاد با بهره‌گیری از مدل شبکه‌ ترکیبی ۱- آنالیز شبکه ترکیبی. *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، ۵(۲)، ۶۲-۷۰. https://www.iwrr.ir/article_15760.html

پیشرو، فاطمه، بختیاری، مرتضی، و شهینی کرمزاده، نیما. (۱۳۹۶). بررسی آزمایشگاهی شاخص های مکانیک خاک بر نفوذپذیری ناهمسانگرد مصالح درشت دانه غیریکنواخت: با تأکید بر دانه بندی، فاکتور شکل و تراکم. *نشریه زمین شناسی کاربردی پیشرفته*، ۷(۲)، ۵۷-۶۴. https://aag.scu.ac.ir/article_13230.html

References

- Abellán, A., Albaladejo-García, J.A., & Prats-Rico, D. (2017). Artificial groundwater recharge. Review of the current knowledge of the technique. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 30(1), 85-96. <http://hdl.handle.net/10045/67439>
- Afzali, S. H., Abedini, M. J., & Manjomi, P. (2010). Simulation of free surface flow in porous media using a hybrid network model: Part 1- Hybrid network analysis. *Iranian Journal of Water Resources Research*, 5(2), 70-62. https://www.iwrr.ir/article_15760.html [In Persian]
- Bagarello, V., Sferlazza, S., & Sgroi, A. (2009). Testing laboratory methods to determine the anisotropy of saturated hydraulic conductivity in a sandy-loam soil. *Geoderma*, 154(1), 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.09.012>
- Beckwith, C., Baird, A., & Heathwaite, A.L. (2003). Anisotropy and depth-related heterogeneity of hydraulic conductivity in a bog peat. I: Laboratory measurements. *Hydrological Processes*, 17(1), 89-101. <https://doi.org/10.1002/hyp.1116>
- Detay, M., & L Bersillon, J. (2009). La réalimentation artificielle des nappes profondes: Faisabilité et conséquences. *La Houille Blanche, Revue Internationale De l'eau*, 82(4), 57-61. <https://doi.org/10.1051/lhb/1996040>
- El Mansouri, B., El Mezouary L. (2015). Enhancement of groundwater potential by aquifer artificial recharge techniques: An adaptation to climate change. *Proceedings of the Inter-National Association of Hydrological Sciences*, 366, 155-156. <https://doi.org/10.5194/piahs-366-155-2015>
- Foreman, T.L., (2014). Managed Aquifer Recharge (MAR) and Design and Construction of Hydraulic Barriers against Seawater Intrusion: The California Case. *Boletín Geológico y Minero*, 125 (2), 133-142. <http://revistas.igme.es>
- Hiscock, K.M., Balashova, N., Cooper, R.J., Bradford, P., Patrick, J., & Hullis, M. (2024). Developing managed aquifer recharge (MAR) to augment irrigation water resources in the sand and gravel (Crag) aquifer of coastal Suffolk, UK. *Journal of Environmental Management*, 35, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119639>
- Karim, I., (2018). Artificial Recharge of Groundwater by Injection Wells (Case Study). *Int. J. Sci. Eng. Technol*, 6(1), 6193-6196. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119639>
- Moulay Lhassan, S., ELBouabid, M., & Badr, B. (2019). Improvement of groundwater resources potential by artificial recharge technique: A case study of Charf El Akab aquifer in the Tangier region, Morocco. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 7(3), 224-236. <https://doi.org/10.19637/j.cnki.2305-7068.2019.03.003> shu

- Mukherjee, D., (2016). A Review on Artificial Groundwater Recharge in India. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 3(1), 57-62. <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V3I1P108>
- NAN Tian, Sh. J., & CUI Y. (2016). Column test-based features analysis of clogging in artificial recharge of groundwater in Beijing. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 4(2), 88-95. <https://doi.org/10.26599/JGSE.2016.9280011>
- Pishro, F., Bakhtiari, M., & Shahni Karamzadeh, N. (2017). Laboratory investigation of the effects of soil mechanical properties on the anisotropic permeability of coarse-grained non-uniform materials: with emphasis on gradation, shape factor, and density. *Advanced Applied Geology Journal*, 7(2), 64-57. https://aag.scu.ac.ir/article_13230.html [In Persian]
- Pyne, R D G. (2005). Aquifer storage and recovery: A guide to groundwater recharge through wells Edition. <https://search.worldcat.org/title/aquifer-storage-recovery-a-guide-to-groundwater-recharge-through-wells/oclc/69223255>
- Rognon, P. (2000). Comment développer la recharge artificielle des nappes en régions sèches. *Sécheresse*, 11(4), 289-296. <http://geoprodig.cnrs.fr/items/show/53639>
- Scanlon, B., Keese, K., Flint, A., Flint, L., Gaye, C., Edmunds, W., & Simmers, I. (2006). Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrol. Process*, 20(15), 3335–3370. <https://doi.org/10.1002/hyp.6335>
- Sebbar, A. (2013). Etude de la variabilité et de l'évolution de la pluviométrie au Maroc (1935-2005): Réactualisation de la carte des précipitations. Thèse national, Université Hassan II Mohammedia-Casablanca, Maroc. https://scholar.google.se/citations?view_op=view_citation&hl=th&user=2Q5ckukAAAAJ&citation_for_view=2Q5ckukAAAAJ:zYLM7Y9cAGgC