Journal of Water and Wastewater, Vol. 33, No. 5, pp: 142-150

Economic Comparison of Groundwater Artificial Recharge Options Using Treated Wastewater (Yazd-Ardakan Aquifer)

H. R. Bana Bafroei[1], S. Alimohammadi[2]

1. Former Gratuated Student, Dept. of Civil Engineering, College of Water and Enviromental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Assoc. Prof. Dept. of Water Resources Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
(Corresponding Author) saeed.alimohammadi@gmail.com

(Received June 21, 2022 Accepted Sep. 4, 2022)

To cite this article:
Bana Bafroei, H. R., Alimohammadi, S. 2023."Economic comparison of groundwater artificial recharge options using treated wastewater (Yazd-Ardakan aquifer)" Journal of Water and Wastewater, 33(5), 142-150. Doi: 10.22093/wwj.2022.346177.3267. (In Persian)

Abstract

The purpose of this study is to quantitatively investigate the effects of artificial recharge of treated wastewater of Meybod and Ardakan cities with infiltrations and injection wells and comparing the economics of the two alternatives. In this study, the simulation of the groundwater flow in aquifer for a one-year period of 2002-2003 was carried out using the MODFLOW model and three locations were selected for artificial recharge. The annual volume of treated wastewater to recharge was estimated at 13.2 million cubic meters and the average level increase within a radius of three kilometers from the artificial feeding site was about 0.8 meters. The price of each cubic meter of water extracted from artificial feeding, excluding the costs of transfer and treatment of wastewater by the infiltration basin method in feeding places No. 1, 2 and 3, is equal to 342.2, 417.4 and 9.381 rials and with the injection well method it was obtained as 506.2, 515.2 and 495.7 rials, respectively. The cost of transporting each cubic meter of water to places 1, 2 and 3 (which are 13200, 11000 and 9000 meters from the treatment plant, respectively) was equal to 3580, 2958 and 2418 rials, respectively. Therefore, choosing the right place is one of the most important points in the design of such systems.

Keywords: Artificial Recharge, Treated Wastwater, Groundwater Model MODFLOW, Recharge Well, Recharge Basin.

۱۴۳ dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.347603.3267

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۳، شماره ۵، صفحه: ۱۵۰-۱۴۲

مقایسه اقتصادی گزینه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از پساب تصفیه شده (آبخوان دشت یزد-اردکان)

حمیدرضا بنا بفرویی[۱]، سعید علیمحمدی[۲]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
saeed.alimohammadi@gmail.com (نویسنده مسئول)

(دریافت ۱۴۰۱/۳/۳۱ پذیرش ۱۴۰۱/۶/۱۳)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
بنا بفرویی، ح. ر.، علیمحمدی، س.، ۱۴۰۱، "مقایسه اقتصادی گزینه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از پساب تصفیه شده (آبخوان دشت یزد-اردکان)" مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۵)، ۱۵۰-۱۴۲. **Doi: 10.22093/wwj.2022.347603.3267**

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی کمّی تأثیرات تغذیه مصنوعی با روش‌های حوضچه نفوذ و چاه تزریق با استفاده از پساب تصفیه شده شهرهای میبد و اردکان و مقایسه اقتصادی دو گزینه بود. در این پژوهش، شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان یزد-اردکان برای دوره یک ساله (۱۳۸۱ تا ۱۳۸۲) با استفاده از مدل MODFLOW انجام و سه محل به‌منظور تغذیه مصنوعی انتخاب شد. حجم سالانه پساب تصفیه شده به میزان ۱۳/۲ میلیون مترمکعب برآورد شد و میانگین افزایش میانگین تراز در شعاع ۳ کیلومتری از محل تغذیه مصنوعی حدود ۰/۸ متر به‌دست آمد. قیمت هر مترمکعب آب استحصال شده از تغذیه مصنوعی بدون احتساب هزینه‌های انتقال و تصفیه پساب با روش حوضچه نفوذ در محل‌های تغذیه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب برابر با ۳۴۲/۲، ۴۱۷/۴ و ۳۸۱/۹ ریال و با روش چاه تزریق به‌ترتیب برابر با ۵۰۶/۲، ۵۱۵/۲ و ۴۹۵/۷ ریال به‌دست آمد. هزینه انتقال هر مترمکعب آب به محل‌های ۱، ۲ و ۳ (که فاصله آنها از محل تصفیه‌خانه به‌ترتیب ۱۳۲۰۰، ۱۱۰۰۰ و ۹۰۰۰ متر بود) به‌ترتیب برابر با ۳۵۸۰ و ۲۹۵۸ و ۲۴۱۸ ریال حاصل شد. بنابراین انتخاب محل مناسب از مهم‌ترین نکات در طراحی این‌گونه سیستم‌ها است.

واژه‌های کلیدی: تغذیه مصنوعی، پساب تصفیه شده، مدل آب زیرزمینی MODFLOW، حوضچه تغذیه، چاه تغذیه

۱- مقدمه

تغذیه مصنوعی راهکاری مؤثر برای بازیابی منابع آب زیرزمینی تحت تنش در مدیریت منابع آب است (Dillon et al., 2019). اجرای سناریو تغذیه مصنوعی در دشت ورامین، سالانه سبب افزایش ۴/۴۱ متر (Dehghani et al., 2020) و در دشت شهریار با اعمال هم‌زمان بهره‌برداری بهینه از منابع آبی و سیستم تغذیه مصنوعی، منجر به افزایش ۱۰/۴۱ متر سطح آب زیرزمینی شده است (Salehi Shafa et al., 2022). تغذیه مصنوعی در شهر ال‌پاسو با هدف حفظ سفره آب زیرزمینی منطقه و ذخیره‌سازی

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.347603.3267

پساب تصفیه شده، در طول ۱۸ سال منجر به ذخیره‌سازی ۷۴/۷ میلیون مترمکعب پساب شد (Sheng, 2005).

محمودی و همکاران با استفاده از منطق بولی، فرایند وزن‌دهی و تحلیل سلسله مراتبی[1] استاندارد به شناسایی محل مناسب برای تغذیه مصنوعی با استفاده از پساب تصفیه شده شهر آریانا واقع در کشور تونس پرداختند که در نهایت بهترین مکان با روش ELCTRE lll انتخاب شد (Mahmoudi et al., 2021).

خاک با هدایت هیدرولیکی بالا باعث افزایش نرخ نفوذ و در پی آن کاهش مقدار تبخیر از سطح حوضچه‌های نفوذ می‌شود (Morsy et al., 2018). در منطقه شهری توسان در ایالات متحده، طرح‌های تغذیه مصنوعی علاوه بر کاهش هزینه پمپاژ آب زیرزمینی، از فرونشست زمین و خسارات ناشی از آن نیز جلوگیری به عمل آورد (Al-Sabbry et al., 2002). تغذیه مصنوعی در دره لاس‌وگاس علاوه بر مزایای گفته شده، از کف‌شکنی و آسیب به چاه‌ها بر اثر کاهش سطح آب زیرزمینی جلوگیری و سالانه صرفه‌جویی ۷۰۰ دلار را برای هریک از ذی‌نفعان به ارمغان آورد، همچنین قیمت هر مترمکعب آب تغذیه شده به آبخوان ۰/۰۲۲ دلار برآورد شد (Donovan et al., 2002). هزینه هر مترمکعب آب تغذیه شده در اردن برابر ۰/۱۵ (De Laat and Nonner, 2012) و در کالیفرنیا برابر ۰/۳۳ دلار (Perrone and Rohde, 2016) به‌دست آمد که بیانگر تغییرات وسیع هزینه‌های این‌گونه طرح‌ها است.

عقلمند و عباسی، کد MODFLOW و Arc GIS را با استفاده از نرم‌افزار GMS تلفیق کردند و ابزار قدرتمندی برای مدل‌سازی مطلوب آبخوان دشت بیرجند گسترش دادند (Aghlmand and Abbasi, 2019). شبیه‌سازی و اعمال تغذیه مصنوعی با روش پخش سیلاب در دشت آب باریک بم با استفاده از مدل MODFLOW به‌مدت ۳ سال، افزایش بیلان به مقدار ۱۲/۶ میلیون مترمکعب در سال را نشان داد (Katibeh and Hafezi, 2004). اعمال تغذیه مصنوعی با استفاده از مدل MODFLOW در دشت سلماس، منجر به افزایش بیلان به میزان ۲/۶ میلیون مترمکعب (Shekari Tappe et al., 2021) و در دشت لور باعث افزایش ۱/۶ میلیون مترمکعبی منابع آب زیرزمینی شد (Chitsazan et al., 2018).

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تغذیه مصنوعی

در مدل‌سازی کمّی با تعریف خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان و با استفاده از حل معادلات حاکم بر جریان، تغییرات آب زیرزمینی در منطقه موردنظر نسبت به زمان مدل‌سازی می‌شود. GMS یک پیش‌پردازنده و پس‌پردازشگر است که کد MODFLOW و چندین کد دیگر مرتبط با جریان و انتقال آلاینده‌ها در آب زیرزمینی را پشتیبانی می‌کند.

برای ایجاد تأسیسات تغذیه مصنوعی باید شرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی موجود در محل کنترل شود (Patel and Shah, 2008).

چاه تزریق و حوضچه نفوذ از متداول‌ترین روش‌های تغذیه مصنوعی هستند. رابطه بین نفوذپذیری افقی لایه آبدار و سرعت (متوسط) نفوذ به شرح معادله ۱ است (Bize et al., 1972)

$$\log V = 0.746 \log K - 1.25 \qquad (۱)$$

که در آن

K هدایت هیدرولیکی (m/s) و V سرعت نفوذ (m/day) است.

همچنین معادله ۲ به منظور برآورد اولیه بده چاه تزریق پیشنهاد شده است

$$\mathrm{Log(QSI)} = 0.461 \log(\mathrm{KDP\pi}) - 0.346 \qquad (۲)$$

که در آن

QSI بده متوسط مخصوص تزریق ($m^3/s/m$)، K نفوذپذیری افقی لایه آبدار (m/s)، K قطر لوله‌های مشبک داخلی چاه (m) و P عمق فرورفتگی چاه در لایه آبدار به (m) است. این معادله از نتایج مربوطه به ۱۸۰ چاه در ۴۰ ایستگاه مختلف به‌دست آمده است (Bize et al., 1972).

یکی از مباحث مهمی که برای انتقال پساب تصفیه شده باید مورد توجه قرار گیرد محاسبه افت فشار یا افت بار (هد) در لوله‌ها است. افت بار متشکل از افت اصطکاکی و افت موضعی است. برای محاسبه افت اصطکاکی می‌توان از رابطه دارسی- ویسباخ استفاده کرد.

[1] Analytic Hierarchy Process (AHP)

چنانچه تراز یا ارتفاع زمین در مبدا H_1 و در مقصد H_2 باشد، هد موردنیاز برای انتقال آب عبارت است از

$$h = H_2 - H_1 + h_f + \sum h_e \quad (۳)$$

که در آن

$\sum he$ مجموع افت‌های موضعی از مبدأ تا مقصد و h_f افت ناشی از اصطکاک (m) است.

در این پژوهش، با استفاده از فهارس بها سال ۱۴۰۰ برآورد قیمت تمام شده اجرا و بهره‌برداری از دو گزینه (حوضچه تغذیه و چاه تغذیه) انجام شد.

۲-۲- منطقه مورد مطالعه

دشت یزد- اردکان با مساحت ۱۱۶۳۰ کیلومترمربع یکی از زیرحوضه‌های، حوضه آبریز کویر سیاه‌کوه- ریگ‌زرین است که در فلات مرکزی ایران و در بخش مرکزی استان یزد قرار دارد. شکل ۱ محدوده دشت یزد-اردکان، آبخوان دشت و محدوده مدل‌سازی را نشان می‌دهد. در این محدوده هیچ رودخانه دائمی وجود ندارد. میانگین بارندگی شهرهای میبد و اردکان ۶۵ میلی‌متر در سال و میانگین تبخیر از سطح آب آزاد در آنها ۲۴۰۰ میلی‌متر در سال برآورد شده است (Energy, 2012).

با در نظر گرفتن نرخ رشد جمعیت، برای میبد ۱۱۵/۰۰۰ نفر و برای اردکان ۱۱۱/۰۰۰ نفر و در مجموع ۲۲۶/۰۰۰ نفر جمعیت تخمین زده شد. با در نظر گرفتن مصرف سرانه ۲۰۰ لیتر در شبانه‌روز و احتساب ۸۰ درصد از این مقدار به‌عنوان فاضلاب خام تولید شده، حجم فاضلاب تولیدی در دو شهر برابر ۱۳/۲ میلیون مترمکعب در سال محاسبه شد. با فرض کارایی تغذیه مصنوعی برابر با ۰/۹، مقدار آب قابل‌استحصال برای تغذیه مصنوعی برابر با ۱۱/۹ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد.

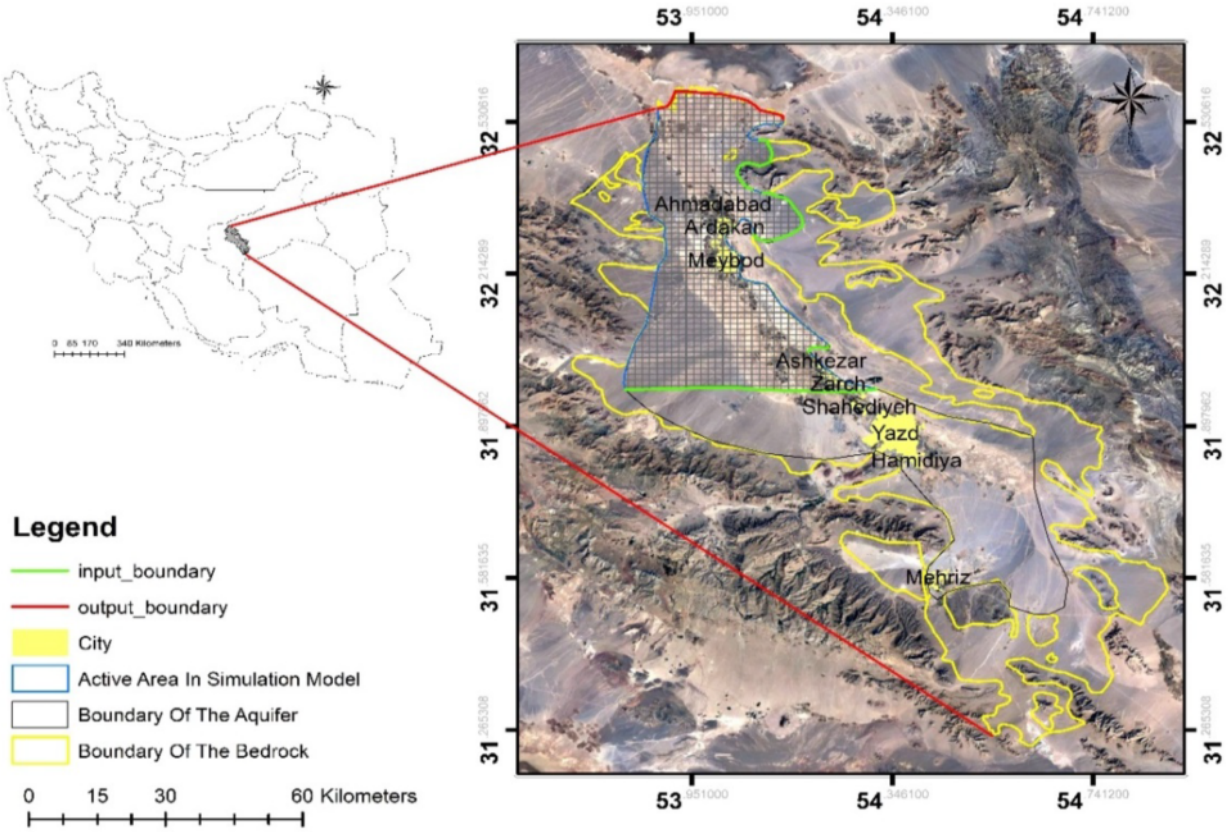

Fig. 1. Yazd-Ardakan plate and study area

شکل ۵- دشت یزد- اردکان و محدوده مورد مطالعه

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.347603.3267

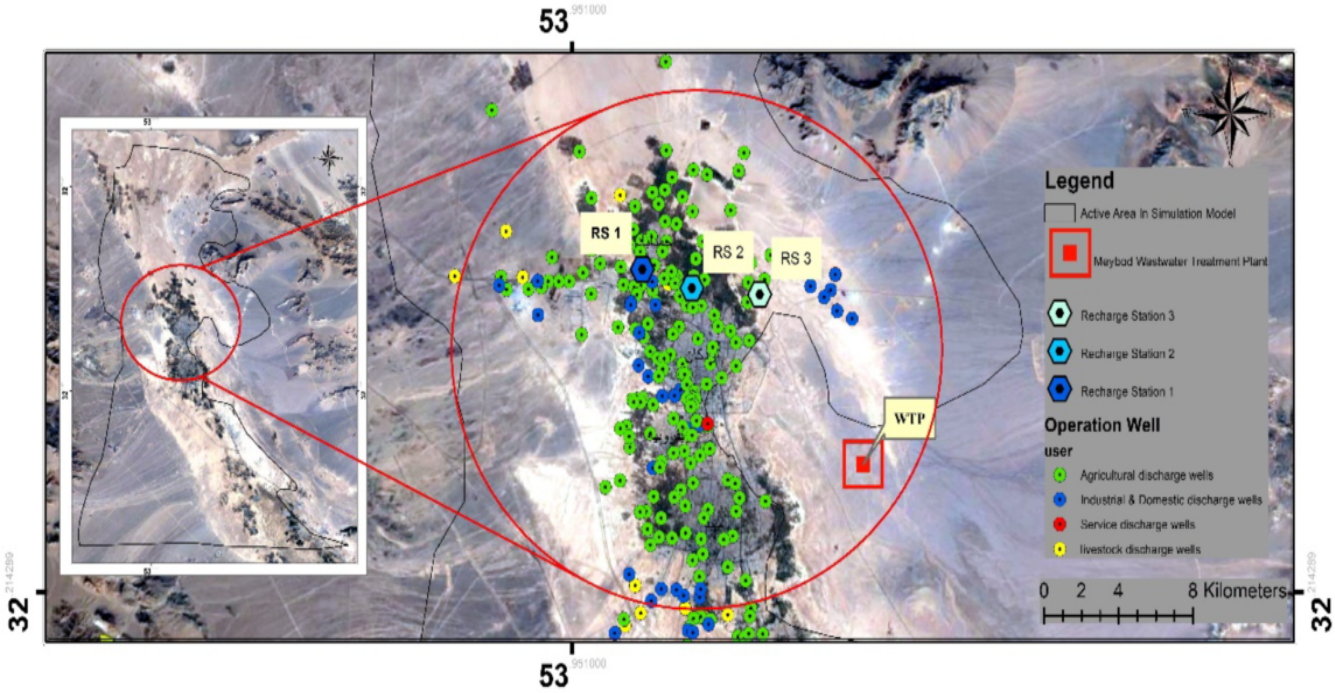

Fig. 2. Proposed artificial recharge sites

شکل ۲- محل‌های تغذیه مصنوعی پیشنهاد شده

در این پژوهش فرض شد که فاضلاب دو شهر میبد و اردکان در تصفیه‌خانه میبد طبق استاندارد پالایش می‌شود و کیفیت پساب تصفیه شده برای تغذیه مصنوعی و مصارف کشاورزی مناسب است. ارتفاع زمین در محل تصفیه‌خانه برابر با ۱۰۵۵ متر از سطح دریا است. همان طور که در شکل ۲ مشخص است، جانمایی مکان تغذیه مصنوعی با در نظر گرفتن موقعیت چاه‌های بهره‌برداری، فاصله، قابلیت انتقال آبخوان و ارتفاع مکان تغذیه انجام شد که به‌ترتیب در فاصله ۱۳/۲، ۱۱ و ۹ کیلومتری از محل تصفیه‌خانه میبد واقع شدند و ارتفاع در آنها به‌ترتیب ۱۰۱۹، ۱۰۲۹ و ۱۰۲۴ متر از سطح دریا است.

۳- نتایج

با توجه به اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای استان یزد، در محدوده مدل‌سازی، ۴۰۵ حلقه چاه بهره‌برداری و همچنین ۴۲ حلقه چاه مشاهده‌ای وجود دارد که از آنها برای کنترل سطح آب محاسبه شده توسط مدل استفاده شد. پس از ساخت مدل مفهومی، مدل عددی MODFLOW تهیه شد. سلول‌های شبکه مدل مربعی و به مساحت ۱ کیلومترمربع لحاظ شدند. برای تخمین تغذیه از سطح و هدایت هیدرولیکی از داده‌های مشاهداتی مهرماه سال ۱۳۸۱ به‌عنوان مبنا و هدف واسنجی استفاده شد. در مرحله بعد، واسنجی جریان ناپایدار برای سال آبی ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۲ انجام شد.

با فرض کارکرد سیستم انتقال در ۳۰۰ روز از سال، به‌طور میانگین، روزانه دبی ۳۹۵۹۵/۲ مترمکعب آب به حوضچه منتقل می‌شود. با در نظر گرفتن حجم ورودی به حوضچه نفوذ، مقدار سرعت نفوذ آب از سطح حوضچه که از معادله ۲ به‌دست آمده است و با لحاظ ارتفاع تبخیر، مطابق جدول ۱ مساحت لازم برای حوضچه نفوذ در سه محل تعیین شد. ارتفاع دیواره‌ی حوضچه با لحاظ ضریب اطمینان برابر ۱ متر در نظر گرفته شد.

با مشخص بودن مقدار هدایت هیدرولیکی در محل تغذیه و در نظر گرفتن قطر چاه تزریق برابر ۱ متر، با معادله ۳ اقدام به تخمین پارامتر مجهول یعنی عمق فرورفتگی چاه در لایه آبدار شده که در جدول ۲ نشان داده شده است.

دو عدد پمپ به‌منظور کاستن فشار و افزایش عمر آنها، در نظر گرفته شد. توان کل پمپ تزریق ۴۰۰ کیلووات به‌دست آمد که با کارکرد پمپ به مدت ۱۸ ساعت در روز و ۳۰۰ روز در سال میزان برق مصرفی برابر ۲۱۶۰۰۰۰ کیلووات ساعت محاسبه شد.

جدول ۱- مشخصات حوضچه‌های نفوذ

Table 1. Specifications of infiltration basins

Basin	k(m/Day)	v(m/Day)	Area(m^2)	h(m)
1	29.35	12.6	2591.4	0.66
2	18.04	8.7	3724.1	0.65
3	20.37	9.6	3402.6	0.64

جدول ۲- مشخصات چاه‌های تزریق

Table 2. Specifications of injection wells

Injection well	k(m/Day)	P(m)	Height of vadose-zone (m)	H(m)
1	29.35	45	33	78
2	18.04	52	37	89
3	20.37	50	33	83

به‌منظور انتقال پساب، لوله فولادی با اتصال جوشی به قطر ۲۴ اینچ (۰/۶۱ متر) در نظر گرفته شد. اختلاف هد تصفیه‌خانه تا ایستگاه تغذیه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۱۸/۴، ۱۴/۴ و ۱۱/۲ متر و توان پمپ لازم برای انتقال آب نیز با توجه به افت کل و مقدار دبی انتقالی به‌ترتیب برابر با ۱۳۸، ۱۰۸ و ۱۰۴ کیلووات محاسبه شد.

۳-۱- اثرات تغذیه مصنوعی و برآورد هزینه

میزان بالا آمدگی سطح آب در محدوده ۵ کیلومتری از سلول تغذیه در شهریورماه برای ایستگاه تغذیه مصنوعی ۲ به‌عنوان نمونه در شکل ۳ قابل‌مشاهده است. مقدار متوسط افزایش تراز سطح آب زیرزمینی در شعاع ۳ کیلومتری از سلول محل تغذیه بعد از ۱ سال تغذیه مصنوعی به‌روش‌های حوضچه نفوذ و چاه تزریق عدد مشابهی بود (به‌دلیل میزان اندک تلفات تبخیر) که در ایستگاه‌های تغذیه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب برابر با ۰/۸۲، ۰/۸۰ و ۰/۷۸ سانتی‌متر بود.

در این پژوهش فرض شد که احداث طرح‌های تغذیه مصنوعی طی ۱ سال به اتمام می‌رسد. در جدول ۳ معادل سالانه هزینه‌های سرمایه‌گذاری آمده است.

با داشتن عمق متوسط سطح آب زیرزمینی بعد از تغذیه مصنوعی، ساعات کارکرد پمپ (۸۷۶۰ ساعت) و بهای واحد برق

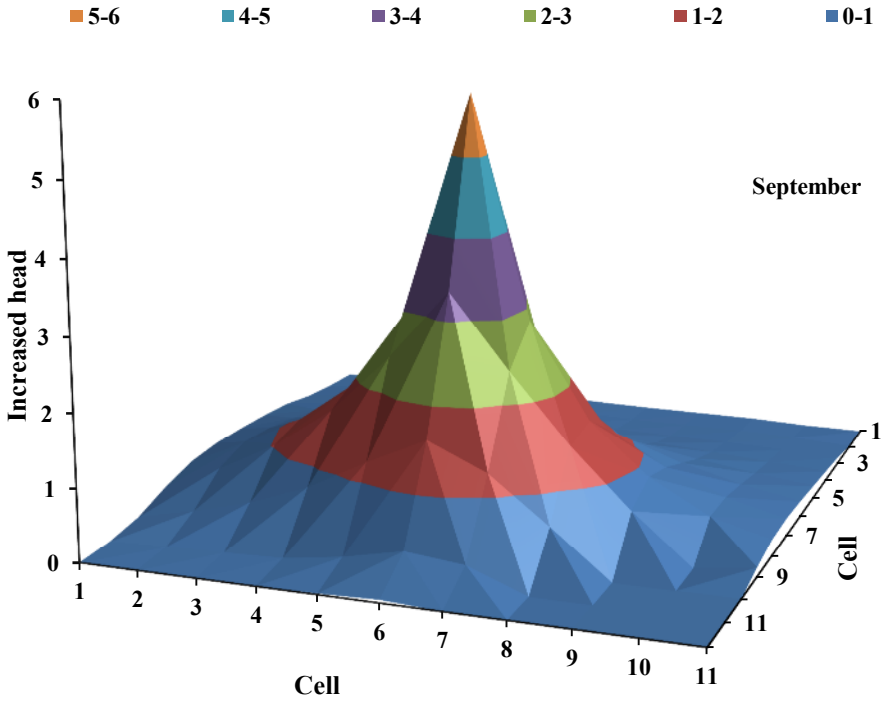

Fig. 3. Diagram of increasing groundwater head in recharge station number 2 by infiltration basin method in September (m)

شکل ۳- نمودار افزایش تراز آب زیرزمینی در ایستگاه ۲ با روش حوضچه نفوذ در شهریورماه (m)

dx.doi.org/10.22093/wwj.2022.347603.3267

جدول ۳- خلاصه هزینه‌های سرمایه‌گذاری طرح‌های تغذیه مصنوعی و معادل سالانه آنها (میلیارد ریال)

Table 3. Summary of investment costs of artificial recharging schemes and their annual equivalent (Milliard Rial)

Recharge station	Item	Well	Basin
1	Conveyance	400.92	400.92
	Construction	19.13	15.47
	Sum	420.05	416.39
	Annual	44.56	44.17
2	Conveyance	331.28	331.28
	Construction	20.35	21.87
	Sum	351.64	353.15
	Annual	37.30	37.46
3	Conveyance	270.80	270.80
	Construction	19.69	20.05
	Sum	290.49	290.85
	Annual	30.81	30.85

جدول ۴- محاسبه قیمت هر مترمکعب آب حاصل شده و هزینه صرفه‌جویی شده

Table 4. Calculate the price per cubic meter of water obtained and the cost saved

Recharge station	1		2		3	
Item	Well	Basin	Well	Basin	Well	Basin
Annual equivalent of investment costs	44.56	44.17	37.30	37.46	30.81	30.85
Operating and maintenance costs	3.30	1.74	3.22	1.90	3.16	1.77
Cost of Pumping water from the aquifer	0.68	0.68	0.74	0.74	0.64	0.64
Sum (Billion Rials)	48.54	46.59	41.26	40.10	34.61	33.26
Annually recharged water (Mm^3/year)	11.88	11.88	11.88	11.88	11.88	11.88
Price per of recharged water (Rial/m^3)	4,086.09	3,922.10	3,473.35	3,375.50	2,913.68	2,799.89
Price of recharged water, excluding transfer costs (Rial/m^3)	506.19	342.20	515.24	417.40	495.67	381.88
Average increase in water level (m)	0.82		0.80		0.78	
Power (Kw)	3.79		3.70		3.60	
Power saving (Kw.h)	33178.30		32369.08		31559.85	
Cost saved (Million Rial)	16.26		15.86		15.46	

(۴۹۰ ریال)، می‌توان هزینه پمپاژ آب تزریق شده از آبخوان در طی ۱ سال تغذیه مصنوعی (۱۱/۹ میلیون مترمکعب در سال) را محاسبه کرد. مطابق جدول ۴ نرخ هر مترمکعب آب حاصل از تغذیه مصنوعی محاسبه شد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تغذیه مصنوعی دشت یزد- اردکان با توجه به پیش‌بینی جمعیت میبد و اردکان در سال ۱۴۰۰ حجم سالانه پساب تصفیه شده برای تغذیه مصنوعی برابر ۱۱/۹ میلیون مترمکعب در سال به‌دست آمد. نتایج نشان داد که افزایش سطح آب به‌طور متوسط در شعاع ۳ کیلومتری از محل تغذیه مصنوعی در سه ایستگاه تغذیه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۰/۸۲، ۰/۸۰ و ۰/۷۸ متر حاصل شد. مساحت حوضچه نفوذ در ایستگاه‌های تغذیه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۲۵۹۱/۴، ۳۷۲۴/۱ و ۳۴۰۲/۶ مترمربع به‌دست آمد.

عمق چاه تزریق در سه ایستگاه تغذیه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۷۸، ۸۹ و ۸۳ متر محاسبه شد. هزینه معادل سالانه طرح تغذیه مصنوعی به روش حوضچه نفوذ در سه ایستگاه تغذیه به ترتیب برابر با ۴۶/۶، ۴۰/۱ و ۳۳/۳ میلیارد ریال و در روش چاه تزریق ۴۸/۵، ۴۱/۳ و ۳۴/۶ میلیارد ریال برآورد شد.

قیمت هر مترمکعب آب مازاد حاصل از تغذیه مصنوعی با روش‌های حوضچه نفوذ در ایستگاه‌های تغذیه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب برابر با ۳۹۲۲/۱، ۳۳۷۵/۵ و ۲۷۹۹/۹ ریال و با استفاده از چاه تزریق به‌ترتیب برابر با ۴۰۸۶/۱، ۳۴۷۳/۳ و ۲۹۱۳/۷ ریال بدون احتساب هزینه تصفیه پساب محاسبه شد. قیمت هر مترمکعب آب مازاد حاصل از تغذیه مصنوعی بدون احتساب هزینه‌های انتقال پساب تصفیه شده با روش حوضچه نفوذ در ایستگاه‌های تغذیه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب برابر با ۳۴۲/۲، ۴۱۷/۴ و ۳۸۱/۹ ریال و با روش چاه تزریق به‌ترتیب برابر با ۵۰۶/۲، ۵۱۵/۲ و ۴۹۵/۷ ریال محاسبه شد. همچنین با اجرای طرح تغذیه مصنوعی در ایستگاه‌های تغذیه ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب سالانه ۳۳۱۸۷/۳، ۳۲۳۶۹/۱ و ۳۱۵۹۹/۸ کیلووات ساعت برق و مبلغ ۱/۵۸ میلیون تومان به‌علت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و کاهش هزینه انرژی، حاصل شد.

۵- قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای یزد به‌دلیل در دسترس قرار دادن اطلاعات و داده‌های موردنیاز مربوط به آبخوان دشت یزد- اردکان و کلیه عزیزانی که ما را در روند این پژوهش یاری کردند قدردانی می‌شود.

References

Aghlmand, R. & Abbasi, A. 2019. Application of modflow with boundary conditions analyses based on limited available observations: a case study of Birjand Plain in East Iran. *Water,* 11(9)**,** 1904.

Al-Sabbry, M. M., Harris, D. & Fox, R. 2002. An economic assessment of groundwater recharge in the Tucson Basin 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association,* 38**,** 119-131.

Bize, J., Bourguet, L. & Lemoine, J. 1972. *Artificial Recharge of Groundwater Basin,* Grand Public Pub., Paris, France. (In French)

Chitsazan, M., Nozarpour, L. & Movahedian, A. 2018. Impact of artificial recharge on groundwater recharge estimated by groundwater modeling (case study: Jarmeh flood spreading, Iran). *Sustainable Water Resources Management,* 4**,** 79-89.

De Laat, P. J. M. & Nonner, J. C. 2012. Artificial recharge with surface water; a pilot project in Wadi Madoneh, Jordan. *Environmental Earth Sciences,* 65**,** 1251-1263.

Dehghani, B., Farahani, M. & Aminnejad, B. 2020. Evaluation of artificial recharge and flood spreading scenarios for integrated surface and groundwater resources management using weap model case study (Varamin Plain). *Iran-Water Resources Research,* 15(4)**,** 242-258. (In Persian)

Dillon, P., Stuyfzand, P., Grischek, T., Lluria, M., Pyne, R. D. G., Jain, R. C., et al. 2019. Sixty years of global progress in managed aquifer recharge. *Hydrogeology Journal,* 27**,** 1-30.

Donovan, D. J., Katzer, T., Brothers, K., Cole, E. & Johnson, M. 2002. Cost-benefit analysis of artificial recharge in Las Vegas Valley, Nevada. *Journal of Water Resources Planning and Management,* 128**,** 356-365.

Energy, M. O. 2012. *Studies on Updating the Comprehensive Water Plan of the Siah Kuh-Rig Zarrin Catchment, Case Study of Yazd-Ardekan*. Tehran, Iran.

Katibeh, H. & Hafezi, S. 2004. Application of modflow in groundwater management and evaluation of artificial recharge project of Ab-barik Aquifer (Bam). *Jouranl of Water and Wastewater*, 15(2)**,** 45-58. (In Persian)

Mahmoudi, M., Aydi, A. & Ibrahim, H. 2021. Site selection for artificial recharge with treated wastewater with the integration of multi-criteria evaluation and Electre III. *Environmental Science and Pollution Research,* 28**,** 46748-46763.

Morsy, K. M., Morsy, A. M. & Hassan, A. E. 2018. Groundwater sustainability: opportunity out of threat. *Groundwater for Sustainable Development,* 7**,** 277-285.

Patel, A. S. & Shah, D. L. 2008. *Water Management: Conservation, Harvesting and Artificial Recharge*, New Age International (P) Limited, Publishers, India.

Perrone, D. & Rohde, M. M. 2016. Benefits and economic costs of managed aquifer recharge in California. *San Francisco Estuary and Watershed Science,* 14(2), Article 4.

Salehi Shafa, N., Babazadeh, H., Aghayari F. & Saremi, A. 2022. Multi-objective planning for optimal utilization of surface and groundwater resources and artificial recharge system. *Echo Hydrology,* 9(1)**,** 77-95. (In Persian)

Shekari Tappe, R., Parvishi, A. & Ghanbarzadeh, L. M. 2021. Modeling and evaluation of flood spreading in aquifer using modflow code (case study: Salmas Plain aquifer). *Iran-Water Resources Research,* 17(3)**,** 360-377. (In Persian)

Sheng, Z. 2005. An aquifer storage and recovery system with reclaimed wastewater to preserve native groundwater resources in El Paso, Texas. *Journal of Environmental Management*, 75**,** 367-377.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License