Journal of Water and Soil Science
Vol. 30, No. 3, 2026, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111

Hydro-Economic Assessment of Managed Aquifer Recharge Using Treated Wastewater: A Case Study of the Qotbabad Plain

Amirali Bahadori[1] and Siamak Bodaghpour[2*]

(Received: August 3-2026; Revised: September 14-2026; Accepted: September 21-2026)

1. Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, Khajeh Nasir al-Din Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
2. Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Khajeh Nasir al-Din Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
* Correspondence: E-mail: bodaghpour@kntu.ac.ir

Abstract

Managed Aquifer Recharge (MAR) using treated wastewater is a viable strategy for water-resource sustainability in arid regions; however, the simultaneous assessment of its hydrogeological and economic aspects remains challenging. The objective of this study was to hydro-economically evaluate the implementation of an MAR project in the Qotb-Abad Plain by integrating numerical modeling and cost-benefit analysis (CBA). The quantitative and qualitative responses of the aquifer were simulated using the MODFLOW and MT3DMS models to estimate changes in groundwater levels, nitrate concentrations, and total dissolved solids (TDS). Economic benefits, including pumping energy savings, the value of stored water, and improvements in water quality, were evaluated alongside capital and operational costs under lower- and upper-bound scenarios. Subsequently, economic indicators, including net present value (NPV), benefit-cost ratio (BCR), internal rate of return (IRR), and payback period, were calculated. The results indicated that implementing MAR with an annual treated wastewater volume of 1.898 million m³ resulted in an approximately 4.5 m rise in groundwater level, accompanied by reductions in TDS from 1859 to 1752 mg/L and in nitrate concentration from 22.2 to 15.4 mg/L by the end of the five-year simulation period. Under the upper-bound scenario, the NPV, BCR, and payback period were 43.7 billion Rials, 1.36, and 3.23 years, respectively. In contrast, the lower-bound scenario was not economically justified, as its BCR was less than 1. Overall, integrating numerical modeling with cost-benefit analysis provides a comprehensive framework for supporting groundwater-management decision-making.

Keywords: Arid and semi-arid aquifers, Wastewater reuse, Numerical groundwater modeling, Cost-benefit analysis, Economic water valuation, Sustainable water resource management

How to cite this article: Bahadori, A. and S. Bodaghpour. 2026. Hydro-Economic Assessment of Managed Aquifer Recharge Using Treated Wastewater: A Case Study of the Qotbabad Plain. *J. Water and Soil Sci.* 30(3): 179-192. DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111

Copyright © 2026 Bahadori and Bodaghpour. Published by Isfahan University of Technology.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]

نشریه علوم آب و خاک
سال سی‌ام/ شماره سوم / پاییز ۱۴۰۵/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۷۹ تا ۱۹۲
DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111

ارزیابی هیدرو – اقتصادی تغذیه مدیریت‌شده آبخوان با فاضلاب تصفیه‌شده: مطالعه موردی دشت قطب‌آباد

امیرعلی بهادری[۱] و سیامک بوداقپور*[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۵/۱۲ ؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۶/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۶/۳۰)

۱. گروه منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
۲. گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: bodaghpour@kntu.ac.ir

چکیده

تغذیه مدیریت‌شده آبخوان (MAR) با فاضلاب تصفیه‌شده، راهکاری برای پایداری منابع آب در مناطق خشک است؛ اما ارزیابی هم‌زمان جنبه‌های هیدروژئولوژیکی و اقتصادی آن چالش‌برانگیز است. هدف این پژوهش، ارزیابی هیدرو – اقتصادی اجرای طرح MAR در دشت قطب‌آباد با تلفیق مدل‌سازی عددی و تحلیل هزینه – فایده بود. بدین منظور، رفتار کمی و کیفی آبخوان با مدل‌های MODFLOW و MT3DMS شبیه‌سازی و تغییرات تراز آب، غلظت نیترات و TDS برآورد شد. منافع اقتصادی شامل صرفه‌جویی در انرژی پمپاژ، ارزش آب ذخیره‌شده و بهبود کیفیت آب، در قالب دو سناریوی کران پایین و بالا در کنار هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری ارزیابی شد. سپس شاخص‌های NPV، BCR، IRR و دوره بازگشت سرمایه محاسبه شدند. نتایج نشان داد اجرای MAR با پساب سالانه ۱/۸۹۸ میلیون مترمکعب، موجب افزایش ۴/۵ متری سطح آب و کاهش غلظت TDS از ۱۸۵۹ به ۱۷۵۲ و نیترات از ۲۲/۲ به ۱۵/۴ میلی‌گرم بر لیتر در پایان دوره پنج‌ساله شد. در سناریوی کران بالا، مقدار NPV، BCR و دوره بازگشت سرمایه به‌ترتیب ۴۳/۷ میلیارد ریال، ۱/۳۶ و ۳/۲۳ سال به‌دست آمد، اما سناریوی کران پایین به دلیل BCR کمتر از ۱ فاقد توجیه اقتصادی بود. در مجموع، تلفیق مدل‌سازی عددی و تحلیل هزینه – فایده چارچوبی منسجم برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آبخوان‌های خشک و نیمه‌خشک، بازاستفاده از پساب، مدل‌سازی عددی آب زیرزمینی، تحلیل هزینه – فایده، ارزش‌گذاری اقتصادی آب، مدیریت پایدار منابع آب

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۴ ©.
این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط به استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است: (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]

مقدمه

کمبود روزافزون منابع آب شیرین در مناطق خشک و نیمه‌خشک، همراه با افزایش تقاضای آب، توسعه فعالیت‌های انسانی و تشدید فشار بر منابع آب زیرزمینی، مدیریت پایدار منابع آب را با چالش‌های جدی مواجه کرده است. در بسیاری از مناطق، کاهش تغذیه طبیعی آبخوان‌ها، برداشت بیش از ظرفیت تجدیدپذیری و افزایش عدم‌قطعیت‌های اقلیمی، ضرورت بهره‌گیری از منابع آب غیرمتعارف و راهکارهای مدیریتی نوین را افزایش داده است. در این میان، بازچرخانی فاضلاب و تغذیه مدیریت‌شده آبخوان (Managed Aquifer Recharge) به‌عنوان راهکارهایی برای افزایش قابلیت اطمینان تأمین آب، ذخیره‌سازی آب مازاد و کاهش وابستگی به نوسانات اقلیمی مورد توجه قرار گرفته‌اند (۵ و ۸). استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در سامانه‌های MAR علاوه بر افزایش ذخیره آب زیرزمینی، می‌تواند به کاهش فشار بر منابع آب متعارف و ایجاد ارتباط میان مدیریت فاضلاب و مدیریت منابع آب کمک کند؛ با این حال، موفقیت این رویکرد به ارزیابی هم‌زمان جنبه‌های فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی آن وابسته است.

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی با هدف بررسی قابلیت اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی آبخوان، مکان‌یابی مناسب، شبیه‌سازی رفتار آبخوان و ارزیابی اثرات کمی و کیفی این سامانه‌ها انجام شده است. مطالعات MAR در ایران بیشتر بر ابعاد هیدروژئولوژیکی متمرکز بوده و ارزیابی اقتصادی آنها به هزینه‌های سرمایه‌ای محدود است (۱، ۲، ۲۱ و ۲۴). مکان‌یابی حوضه‌های مناسب تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در دشت یزد – اردکان انجام و بر اهمیت تلفیق ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی، شرایط منطقه‌ای و معیارهای محیطی در انتخاب محل اجرای طرح‌های تغذیه تأکید شد (۲۰). همچنین از مدل‌های MODFLOW و MT3DMS برای بررسی تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت گرمسار استفاده شد و قابلیت مدل‌سازی عددی در ارزیابی پیامدهای اجرای سناریوهای مدیریتی بر وضعیت آبخوان نشان داده شد (۱۱). این مطالعات نشان می‌دهد که مدل‌های عددی می‌توانند ابزار مؤثری برای پیش‌بینی پاسخ آبخوان و بررسی اثرات احتمالی اجرای طرح‌های مدیریتی منابع آب باشند.

در زمینه استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای تغذیه آبخوان نیز، مطالعات اخیر بر ضرورت بررسی هم‌زمان افزایش ذخیره آب و تغییرات کیفیت آب تأکید کرده‌اند. اثرات کمی و کیفی پساب تصفیه‌خانه با هدف تغذیه آبخوان و برنامه‌ریزی منابع و مصارف در دشت دامنه‌داران بررسی شد و اهمیت توجه به پیامدهای کیفی در کنار مزایای کمی اجرای این طرح‌ها نشان داده شد (۴). همچنین، اثر متقابل کیفیت آب آبیاری و کاربرد فاضلاب شهری تصفیه‌شده بررسی شد و بر ضرورت مدیریت کیفیت منابع آب بازچرخانی‌شده در سامانه‌های بهره‌برداری تأکید شد (۷).

با وجود توسعه مطالعات هیدروژئولوژیکی، ارزیابی اقتصادی پروژه‌های MAR همچنان یکی از چالش‌های مهم در فرآیند تصمیم‌گیری است. اگرچه روش‌های ارزیابی اقتصادی پروژه‌های آب در کشور توسعه یافته‌اند، اما کاربرد آنها بر پایه خروجی مدل‌های عددی آبخوان در پروژه‌های MAR سابقه محدودی دارد (۱۶).

مقایسه اقتصادی گزینه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از پساب تصفیه‌شده در آبخوان یزد – اردکان انجام شد و اهمیت لحاظ کردن مؤلفه‌های اقتصادی در انتخاب گزینه مناسب را نشان داده شد (۳). همچنین مطالعات اقتصادی مرتبط با منابع آب نشان داده‌اند که مؤلفه‌هایی مانند ارزش اقتصادی آب، هزینه‌های انرژی پمپاژ و منافع حاصل از بهبود شرایط منابع آب می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در ارزیابی اقتصادی طرح‌های مدیریتی داشته باشند. علاوه بر این، منافع اقتصادی ناشی از بهبود تراز آبخوان مانند کاهش هزینه پمپاژ (۲۳) و ارزش آب کشاورزی (۱۵) به‌صورت مجزا ارزیابی شده‌اند. در حوزه ارزش‌گذاری زیست‌محیطی بازچرخانی پساب نیز تمرکز غالب بر مصرف مستقیم بوده است تا تغذیه آبخوان (۶). با وجود تأکید مطالعات بین‌المللی و داخلی بر لزوم ارزیابی جامع

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]

طرح‌های بازاستفاده با استفاده از شاخص‌های مالی مانند ارزش خالص فعلی (Net Present Value, NPV) و نرخ بازده داخلی (Internal Rate of Return, IRR) (۲۲)، تلفیق نظام‌مند نتایج مدل‌سازی کمی و کیفی آبخوان با شاخص‌های اقتصادی در ارزیابی پروژه‌های MAR، به‌ویژه در شرایط استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده، همچنان محدود است. ازاین‌رو، توسعه چارچوب‌هایی که بتوانند ارتباط میان عملکرد هیدروژئولوژیکی آبخوان و پیامدهای اقتصادی اجرای طرح را برقرار کنند، می‌تواند به تصمیم‌گیری دقیق‌تر در مدیریت منابع آب کمک کند.

بر این اساس، هدف این پژوهش توسعه و به‌کارگیری یک چارچوب تحلیل هزینه – فایده برای ارزیابی تغذیه مدیریت‌شده آبخوان با استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در دشت قطب‌آباد است. در این چارچوب، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری سامانه با خروجی‌های مدل‌سازی کمی و کیفی آبخوان شامل تغییرات سطح آب زیرزمینی، غلظت نیترات و کل جامدات محلول (TDS) تلفیق شده و شاخص‌های اقتصادی شامل ارزش خالص فعلی (NPV)، نسبت منفعت به هزینه (BCR) و نرخ بازده داخلی (IRR) محاسبه می‌شوند. همچنین، حساسیت نتایج نسبت به نرخ تنزیل و سناریوهای مختلف ارزش‌گذاری منافع اقتصادی بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

۱. منطقه مورد مطالعه و داده‌های مکانی

منطقه مورد مطالعه این پژوهش، دشت قطب‌آباد واقع در شهرستان جهرم، استان فارس در جنوب ایران است. شهرستان جهرم با مساحتی حدود ۵۴۳۶ کیلومتر مربع در بخش جنوبی استان فارس قرار دارد. دشت قطب‌آباد بین طول جغرافیایی ″۵۳°۱۲′۱۴ تا ″۳۶′۴۳°۵۳ شرقی و عرض جغرافیایی ″۲۸°۳۵′۰۹ تا ″۴۶′۵۳°۲۸ شمالی واقع شده است. مساحت محدوده مطالعاتی قطب‌آباد حدود ۶۲۵ کیلومتر مربع بوده و آبخوان آبرفتی این دشت مساحتی در حدود ۶۰/۵ کیلومتر مربع را شامل می‌شود (۱۸).

این منطقه دارای اقلیم خشک تا نیمه‌خشک بوده و منابع آب زیرزمینی، نقش اصلی را در تأمین نیازهای آبی بخش کشاورزی و سایر مصارف منطقه ایفا می‌کنند. کاهش سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر و افزایش فشار بر منابع آب متعارف، ضرورت بررسی راهکارهای افزایش تغذیه آبخوان و استفاده از منابع آب غیرمتعارف را در این منطقه افزایش داده است.

تصفیه‌خانه فاضلاب شهر جهرم در مجاورت محدوده آبخوان قرار داشته و پساب تصفیه‌شده تولیدی آن به‌عنوان منبع آب مورد بررسی برای اجرای سامانه تغذیه مدیریت‌شده آبخوان در این پژوهش در نظر گرفته شده است. مشخصات مکانی دشت قطب‌آباد، محدوده آبخوان و موقعیت تصفیه‌خانه فاضلاب جهرم در شکل ۱ ارائه شده است.

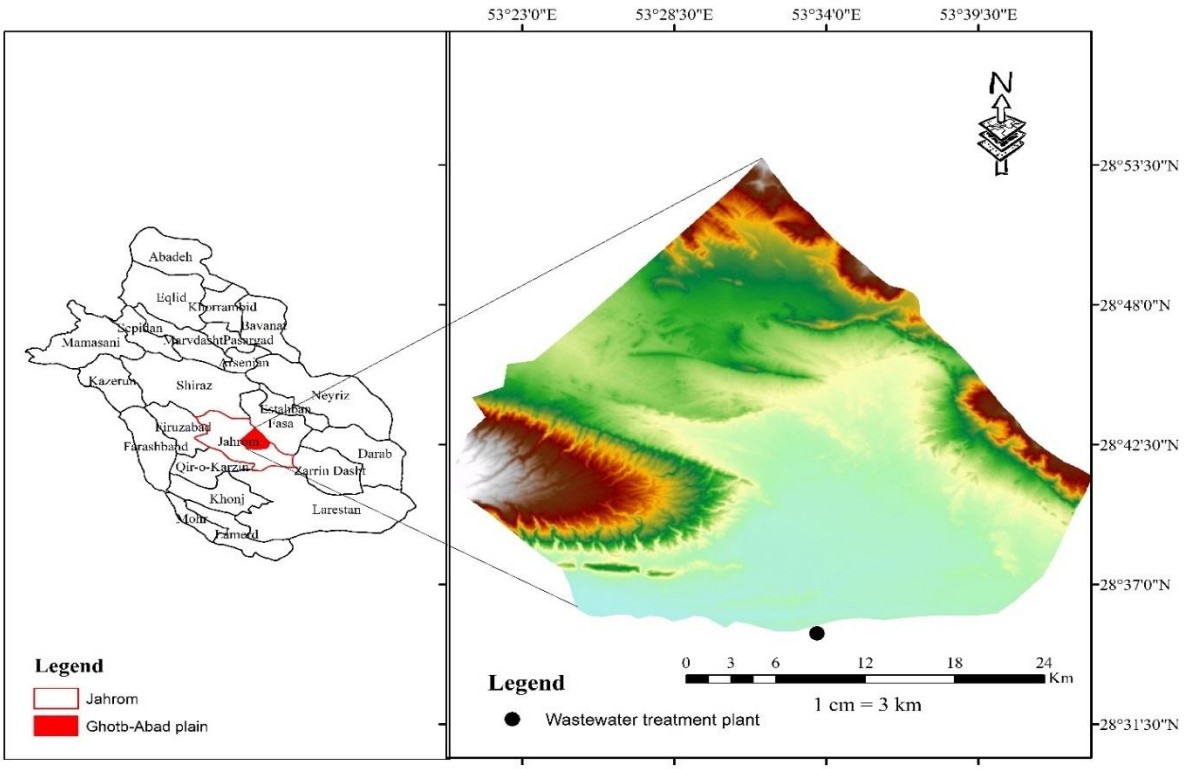
۲. طراحی پژوهش و چارچوب تحلیل هیدرو – اقتصادی

پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و با هدف ارزیابی هیدرو – اقتصادی اجرای سامانه تغذیه مدیریت‌شده آبخوان با استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده، از ترکیب مدل‌سازی عددی آبخوان و تحلیل هزینه – فایده استفاده می‌کند. چارچوب کلی پژوهش شامل سه بخش اصلی است: (۱) ارزیابی پاسخ هیدروژئولوژیکی آبخوان تحت سناریوی اجرای MAR، (۲) تبدیل نتایج مدل‌سازی به مؤلفه‌های اقتصادی و (۳) ارزیابی توجیه‌پذیری مالی پروژه.

در مرحله نخست، رفتار کمی و کیفی آبخوان با استفاده از مدل‌های عددی MODFLOW و MT3DMS شبیه‌سازی شد. خروجی‌های مدل شامل تغییرات سطح آب زیرزمینی، غلظت کل جامدات محلول (TDS) و غلظت نیترات بود. انتخاب این شاخص‌ها بر اساس نقش آنها در ارزیابی هم‌زمان تغییرات کمی و کیفی آبخوان انجام شد؛ به‌طوری که تغییرات سطح آب زیرزمینی به‌عنوان شاخص اصلی پاسخ هیدرودینامیکی آبخوان، مبنای برآورد افزایش ذخیره آب و صرفه‌جویی در هزینه پمپاژ قرار گرفت. همچنین TDS به‌عنوان شاخص عمومی کیفیت آب و نماینده تغییرات املاح محلول، و نیترات به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم مرتبط با ورود آلاینده‌های انسانی و استفاده

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت قطب‌آباد، محدوده آبخوان و تصفیه‌خانه فاضلاب جهرم

Figure 1. Geographical location of the Qotb Abad Plain, the aquifer area, and the Jahrom wastewater treatment plant

از منابع آب بازچرخانی‌شده، برای بررسی پیامدهای کیفی اجرای MAR انتخاب شدند.

در مرحله دوم، خروجی‌های مدل عددی پس از تبدیل به شاخص‌های اقتصادی، در تحلیل هزینه–فایده پروژه مورد استفاده قرار گرفتند. در این چارچوب، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری سامانه با منافع اقتصادی حاصل از اجرای طرح مقایسه شد. منافع اقتصادی شامل صرفه‌جویی در هزینه انرژی پمپاژ، افزایش ارزش اقتصادی آب ذخیره‌شده در آبخوان و منافع ناشی از بهبود کیفیت آب زیرزمینی در نظر گرفته شد.

منافع مرتبط با بهبود کیفیت آب بر اساس تغییرات شبیه‌سازی‌شده TDS و نیترات و با استفاده از دامنه ارزش‌های اقتصادی استخراج‌شده از مطالعات پیشین، در قالب دو سناریوی کران پایین و کران بالا برآورد شد. در نهایت، جریان نقدی سالانه پروژه تشکیل و شاخص‌های اقتصادی شامل ارزش خالص فعلی (NPV)، نسبت منفعت به هزینه (BCR)، نرخ بازده داخلی (IRR) و دوره بازگشت سرمایه محاسبه شد. همچنین، حساسیت نتایج اقتصادی نسبت به پارامترهای مؤثر و سناریوهای مختلف ارزش‌گذاری منافع بررسی گردید.

۳. داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش در دو گروه داده‌های هیدروژئولوژیکی و داده‌های اقتصادی طبقه‌بندی شدند.

داده‌های هیدروژئولوژیکی شامل تغییرات سطح آب زیرزمینی، غلظت کل جامدات محلول (TDS) و غلظت نیترات بود که از نتایج مدل‌های عددی واسنجی‌شده MODFLOW و MT3DMS استخراج شد. این خروجی‌ها برای دوره‌های زمانی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]

یک، سه و پنج ساله پس از اجرای سناریوی تغذیه مدیریت‌شده آبخوان تهیه شدند و به‌عنوان مبنای برآورد تغییرات کمی و کیفی آبخوان در تحلیل اقتصادی مورد استفاده قرار گرفتند. استفاده از خروجی مدل عددی امکان ارتباط میان پاسخ هیدروژئولوژیکی آبخوان و ارزیابی اقتصادی پروژه را فراهم کرد.

داده‌های اقتصادی شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سامانه MAR و پارامترهای مورد نیاز برای ارزش‌گذاری منافع اقتصادی پروژه بود. هزینه‌های سرمایه‌گذاری بر اساس مشخصات فنی سامانه، برآوردهای اجرایی و فهرست‌بهای پایه سازمان برنامه و بودجه استخراج شد. هزینه‌های بهره‌برداری نیز شامل هزینه‌های مرتبط با بهره‌برداری از چاه تزریق، انتقال پساب، نگهداری تجهیزات و عملیات شست‌وشوی دوره‌ای چاه در نظر گرفته شد. همچنین، پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه منافع اقتصادی شامل ارزش آب ذخیره‌شده، صرفه‌جویی انرژی پمپاژ و ارزش بهبود کیفیت آب از مطالعات و منابع اقتصادی مرتبط استخراج شدند.

۴. برآورد هزینه‌های پروژه

هزینه‌های پروژه در دو گروه هزینه‌های سرمایه‌ای (CAPEX) و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری (OPEX) محاسبه شدند. هزینه‌های سرمایه‌ای شامل آماده‌سازی محل اجرا، تجهیز و برچیدن کارگاه، حفاری و تجهیز چاه تزریق، اجرای خط انتقال فاضلاب تصفیه‌شده، نصب تجهیزات و عملیات اجرایی مرتبط بود. هزینه‌های بهره‌برداری نیز شامل راهبری سامانه، مصرف انرژی، تعمیر و نگهداری تجهیزات، شست‌وشوی دوره‌ای چاه تزریق و سایر هزینه‌های جاری سالیانه در نظر گرفته شد.

با توجه به شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه، آبخوان دشت قطب‌آباد از نوع آبخوان آبرفتی آزاد (Unconfined Alluvial Aquifer) است که عمدتاً تحت تأثیر برداشت‌های کشاورزی و محدودیت تغذیه طبیعی قرار دارد. در این پژوهش، انتخاب روش چاه تزریقی نه به دلیل تحت‌فشار بودن آبخوان، بلکه بر اساس نتایج فرآیند مکانیابی چندمعیاره، محدودیت‌های فضایی، شرایط زمین‌شناسی و امکان‌پذیری اجرایی انتقال فاضلاب تصفیه‌شده انجام شد. همچنین، بر اساس نتایج تحلیل مکانیابی، محدوده مناسب تزریق در بخش جنوبی آبخوان تعیین و گزینه چاه تزریقی برای اجرای سامانه MAR انتخاب گردید.

به‌منظور افزایش شفافیت محاسبات، اجزای اصلی هزینه‌های سرمایه‌ای و بهره‌برداری در جدول ۱ ارائه شده است.

هزینه سرمایه‌ای کل پروژه از مجموع هزینه‌های اولیه اجرای سامانه و هزینه بهره‌برداری سالیانه از مجموع هزینه‌های جاری بهره‌برداری و نگهداری به‌دست آمد. این هزینه‌ها مبنای تشکیل جریان نقدی پروژه و محاسبه شاخص‌های اقتصادی قرار گرفتند.

۵. برآورد منافع اقتصادی

منافع اقتصادی پروژه بر اساس پیامدهای مستقیم اجرای سامانه تغذیه مدیریت‌شده آبخوان بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی برآورد شد. در این پژوهش، تنها منافعی در تحلیل اقتصادی لحاظ شدند که امکان ارزش‌گذاری پولی آن‌ها بر اساس داده‌های موجود و مطالعات معتبر فراهم بود. بر این اساس، دو مؤلفه شامل صرفه‌جویی در هزینه انرژی پمپاژ و ارزش اقتصادی آب ذخیره‌شده در آبخوان به‌عنوان منافع پولی پروژه در نظر گرفته شدند. علاوه بر این، منافع بالقوه ناشی از بهبود کیفیت آب زیرزمینی که از کاهش غلظت TDS و نیترات حاصل می‌شود، با استفاده از دامنه ارزش‌های اقتصادی گزارش‌شده در مطالعات پیشین و در قالب دو سناریوی کران پایین و کران بالا برآورد شد و همراه با سایر منافع مستقیم در محاسبه جریان نقدی پروژه وارد شد.

۵.۱. صرفه‌جویی در هزینه انرژی پمپاژ

افزایش تراز هیدرولیکی آب زیرزمینی در اثر اجرای سامانه تغذیه مدیریت‌شده آبخوان، موجب کاهش ارتفاع پمپاژ مورد نیاز چاه‌های بهره‌برداری و در نتیجه کاهش مصرف انرژی الکتریکی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]

جدول ۱. اجزای هزینه‌های سرمایه‌ای و بهره‌برداری سامانه تغذیه مدیریت‌شده آبخوان

Table 1. Capital and Operation and Maintenance Cost Components of the Managed Aquifer Recharge System

Cost Category	Main Items	Cost Type
Site Preparation	Site preparation, mobilization and demobilization	Capital Cost (CAPEX)
Injection Well Construction and Equipment	Drilling, equipment installation, and well completion	Capital Cost (CAPEX)
Treated Wastewater Transmission Pipeline	Pipeline installation, fittings, valves and protective coating	Capital Cost (CAPEX)
Operation and Maintenance	repairs, periodic well flushing and equipment ،System operation maintenance	Annual Cost (OPEX)

می‌شود. برآورد انرژی مورد نیاز پمپاژ بر مبنای رابطه متداول انرژی هیدرولیکی انجام شد که در مطالعات مرتبط با ارزیابی اقتصادی چاه‌های کشاورزی و سامانه‌های پمپاژ نیز استفاده شده است (۱۳). در این مطالعه، میزان صرفه‌جویی انرژی بر اساس تغییرات تراز آب زیرزمینی نسبت به شرایط پایه و حجم سالانه آب پمپاژشده محاسبه شد.

میزان صرفه‌جویی سالیانه انرژی از معادله ۱ محاسبه شد.

$$\Delta E = \frac{\rho g Q \Delta H}{3.6\times10^{6}\eta} \qquad (۱)$$

که در آن:

ΔE: صرفه‌جویی سالیانه انرژی (کیلووات‌ساعت)، ρ: چگالی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، g: شتاب گرانش (متر بر مجذور ثانیه)، Q: حجم سالیانه آب پمپاژشده (مترمکعب)، ΔH:: کاهش ارتفاع پمپاژ مورد نیاز ناشی از افزایش تراز آب زیرزمینی نسبت به شرایط پایه (متر)،و η: راندمان کل سامانه پمپاژ است.

منفعت اقتصادی حاصل از کاهش مصرف انرژی از معادله ۲ محاسبه شد.

$$B_1 = \Delta E \times T_e \qquad (۲)$$

که در آن، B_1: منفعت ناشی از صرفه‌جویی در هزینه انرژی (ریال در سال) و T_e: تعرفه برق مصرفی بخش کشاورزی (ریال بر کیلووات‌ساعت) است.

۵.۲. ارزش اقتصادی آب ذخیره‌شده

اجرای سناریوی تغذیه مدیریت‌شده آبخوان در مدل عددی موجب افزایش ذخیره آب زیرزمینی و بهبود شرایط بهره‌برداری از منابع آبخوان می‌شود. در این پژوهش، حجم آب ذخیره‌شده بر اساس نتایج شبیه‌سازی عددی آبخوان با استفاده از مدل واسنجی‌شده MODFLOW و مقایسه شرایط آبخوان در سناریوی اجرای MAR با شرایط پایه تعیین شد. بنابراین، برآورد اثر تغذیه بر تراز و ذخیره آبخوان بر مبنای نتایج مدل‌سازی انجام شده و از داده‌های پایش پس از اجرا استفاده نشده است؛ زیرا سامانه مورد مطالعه در مرحله ارزیابی و امکان‌سنجی قرار دارد.

ارزش اقتصادی این آب با استفاده از روش ارزش‌گذاری باقیمانده و بر اساس قیمت سایه‌ای آب کشاورزی برآورد شد؛ رویکردی که در مطالعات ارزش‌گذاری اقتصادی آب در طرح‌های تغذیه مصنوعی و مدیریت منابع آب نیز به‌کار گرفته شده است (۹).

منفعت ناشی از افزایش ذخیره آب از معادله ۳ به دست آمد.

$$B_2 = V_r \times P_w \qquad (۳)$$

که در آن، B_2: منفعت ناشی از افزایش ذخیره آب (ریال)، Vr: حجم سالیانه آب ذخیره‌شده قابل بهره‌برداری حاصل از نتایج مدل‌سازی آبخوان (مترمکعب) و Pw: قیمت سایه‌ای هر مترمکعب آب کشاورزی (ریال بر مترمکعب) است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]

با توجه به تفاوت مقادیر گزارش‌شده برای قیمت سایه‌ای آب در مطالعات مختلف، این پارامتر در قالب دامنه‌ای از مقادیر معتبر در تحلیل حساسیت بررسی شد.

۵.۳. پیامدهای غیرپولی بهبود کیفیت آب

سناریوی استقرار سامانه تغذیه مدیریت‌شده آبخوان علاوه بر افزایش ذخیره آب، می‌تواند موجب کاهش غلظت TDS و نیترات و درنتیجه بهبود کیفیت آب زیرزمینی شود. این بهبود کیفیت می‌تواند در بلندمدت موجب کاهش ریسک محدودیت‌های کیفی آب، افزایش قابلیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و کاهش برخی هزینه‌های مدیریتی مرتبط شود (۱ و ۱۷). با این حال، به دلیل نبود تابع ارزش‌گذاری اقتصادی بومی برای تبدیل مستقیم تغییرات کیفیت آب به ارزش پولی در منطقه مطالعه، برآورد این مؤلفه با عدم قطعیت همراه است. ازاین‌رو، به‌منظور ارزیابی حساسیت نتایج اقتصادی نسبت به این عدم قطعیت، دو سناریوی کران پایین و کران بالا برای ارزش اقتصادی منافع ناشی از بهبود کیفیت آب تعریف شد. مقادیر این دو سناریو به‌منظور پوشش عدم قطعیت موجود در ارزش‌گذاری اقتصادی کیفیت آب تعریف شد و همراه با سایر منافع مستقیم در تشکیل جریان نقدی پنج‌ساله پروژه لحاظ شد.

نتایج

۱. پارامترهای ورودی تحلیل اقتصادی

تحلیل اقتصادی پروژه بر اساس خروجی‌های مدل‌های MODFLOW و MT3DMS و پارامترهای اقتصادی استخراج‌شده از مطالعات پیشین انجام شد. مطابق جدول ۲، حجم پساب تصفیه‌شده در دسترس سالانه برای سناریوی حداکثری تغذیه مدیریت‌شده آبخوان برابر با ۱٬۸۹۸٬۰۰۰ مترمکعب در نظر گرفته شد و افق تحلیل اقتصادی مطابق دوره شبیه‌سازی هیدروژئولوژیکی، پنج سال تعیین گردید. نرخ‌های تنزیل مورد استفاده برابر ۳، ۸، ۱۵ و ۲۵ درصد انتخاب شدند. محاسبه شاخص‌های ارزش فعلی خالص (NPV)، نسبت منفعت به هزینه (BCR) و نرخ بازده داخلی (IRR) انجام شد (۱۴). ارزش اقتصادی آب کشاورزی بر اساس دامنه قیمت‌های گزارش‌شده تعیین شد (۱۹). همچنین صرفه‌جویی انرژی ناشی از کاهش ارتفاع پمپاژ بر اساس روابط ارائه‌شده محاسبه گردید (۱۰ و ۱۲).

برآورد هزینه‌ها بر اساس فهرست‌بهای سال ۱۴۰۴ انجام شد. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه پروژه شامل هزینه زمین، تجهیز کارگاه، حفاری، لوله‌گذاری، اجرای خط انتقال و سایر هزینه‌های اجرایی برابر ۹۵٬۹۳۵٬۴۹۲٬۰۰۰ ریال برآورد شد. همچنین هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالانه شامل اپراتوری چاه، بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ و شست‌وشوی دوره‌ای چاه برابر ۵٬۷۴۰٬۰۶۰٬۰۰۰ ریال در سال محاسبه گردید.

۲. برآورد منافع مستقیم سالانه پروژه

برآورد منافع اقتصادی پروژه به منافع مستقیم شامل صرفه‌جویی انرژی پمپاژ، ارزش آب تغذیه‌شده و بهبود کیفیت آب زیرزمینی محدود شد؛ منافع غیرمستقیم، مانند کاهش خطر فرونشست و افزایش تاب‌آوری آبخوان، به‌دلیل نبود داده‌های اقتصادی معتبر لحاظ نشدند.

نتایج مدل در پایان سال‌های اول، سوم و پنجم به‌ترتیب افزایش ۴/۵، ۳/۰ و ۴/۵ متری سطح آب زیرزمینی و کاهش TDS از ۱۸۵۸/۶ به ۱۷۵۲ و نیترات از ۲۲/۲ به ۱۵/۴ میلی‌گرم بر لیتر را نشان داد. مقادیر سال‌های دوم و چهارم نیز با درون‌یابی خطی برآورد شدند.

صرفه‌جویی انرژی، با ۰/۲۳ تا ۰/۳۴ میلیارد ریال در سال، سهم اندکی از منافع داشت. ارزش اقتصادی آب تغذیه‌شده، مهم‌ترین مؤلفه منافع، در سناریوهای کران پایین و بالا به‌ترتیب ۱/۰۳ و ۲۸/۴۷ میلیارد ریال در سال بود. منفعت بهبود کیفیت آب نیز در سال پنجم به ۶/۳۱ و ۹/۳۵ میلیارد ریال رسید. درنتیجه، منافع مستقیم سالانه در هر دو سناریو افزایشی بود، اما سناریوی کران بالا منافع بسیار بیشتری نشان داد که بیانگر حساسیت توجیه‌پذیری اقتصادی طرح به ارزش‌گذاری منافع است (شکل ۲).

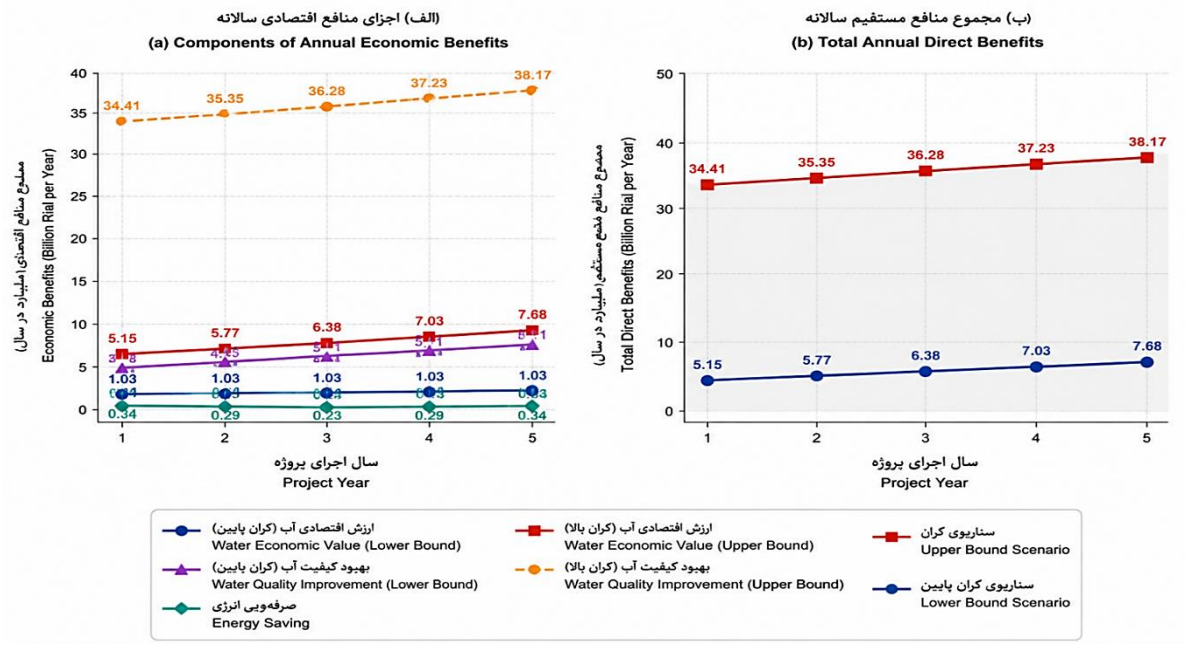
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]

جدول ۲. پارامترهای ورودی تحلیل اقتصادی

Table 2. Input Parameters of Economic Analysis

Parameter	Value	Unit
Initial investment (CAPEX)	95,935,492,000	Rial
Annual operation and maintenance cost (OPEX)	5,740,060,000	Rial/year
Annual available recharge volume	1,898,000	m^3/year
Economic analysis horizon	5	year
Discount rates	3, 8, 15, and 25	%



شکل ۲. روند تغییرات اجزای منافع اقتصادی سالانه و مجموع منافع مستقیم حاصل از سناریوی تغذیه مدیریت‌شده آبخوان طی دوره پنج‌ساله تحلیل؛ شامل (الف) مؤلفه‌های منافع اقتصادی و (ب) مجموع منافع سالانه در سناریوهای کران پایین و کران بالا.

Figure 2. Trends of annual economic benefit components and total direct benefits under the managed aquifer recharge scenario during the five-year analysis period; including (a) economic benefit components and (b) total annual benefits under lower- and upper-bound scenarios

همان‌گونه که در جدول ۳ دیده می‌شود، بیشترین سهم منافع اقتصادی پروژه مربوط به ارزش اقتصادی آب تغذیه‌شده است. در سناریوی کران پایین، مجموع منافع سالانه از ۵/۱۵ میلیارد ریال در سال اول به ۷/۶۸ میلیارد ریال در سال پنجم افزایش یافت، درحالی‌که در سناریوی کران بالا این مقدار از ۳۴/۴ به ۳۸/۱ میلیارد ریال رسید. سهم صرفه‌جویی انرژی در مقایسه با سایر مؤلفه‌ها محدود بوده و بین ۰/۲۳تا ۰/۳۴ میلیارد ریال در سال متغیر است. در مقابل، با بهبود تدریجی کیفیت آبخوان و کاهش غلظت TDS و نیترات، منافع اقتصادی ناشی از بهبود کیفیت آب روند افزایشی داشته و در پایان دوره مطالعه نسبت به سال نخست حدود ۶۷ درصد در هر دو سناریو افزایش یافته است. این نتایج نشان می‌دهد که در چارچوب فرضیات و روش ارزش‌گذاری به‌کاررفته در این پژوهش، بیشترین سهم منافع مستقیم اقتصادی پروژه مربوط به ارزش اقتصادی آب تغذیه‌شده و منافع ناشی از بهبود کیفیت آب زیرزمینی است؛ درحالی‌که صرفه‌جویی انرژی سهم نسبتاً محدودی در کل منافع اقتصادی پروژه دارد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]

جدول ۳. برآورد منافع مستقیم سالانه پروژه بر اساس خروجی مدل (میلیارد ریال)

Table 3. Estimated Annual Direct Project Benefits Based on Model Outputs (Billion Rial)

Year	Energy saving	Water economic value (Lower bound)	Water economic value (Upper bound)	Water quality improvement (Lower bound)	Water quality improvement (Upper bound)	Total benefits (Lower bound)	Total benefits (Upper bound)
1	0.34	1.03	28.47	3.78	5.60	5.15	34.41
2*	0.29	1.03	28.47	4.45	6.59	5.77	35.35
3	0.23	1.03	28.47	5.11	7.58	6.38	36.28
4*	0.29	1.03	28.47	5.71	8.46	7.03	37.23
5	1.03	1.03	28.47	6.31	9.35	7.68	38.17

×Values for years 2 and 4 were estimated using linear interpolation between model outputs for years 1، 3، and 5.

۳. شاخص‌های اقتصادی پروژه

شاخص‌های اقتصادی با استفاده از جریان نقدی حاصل از جدول ۳، سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های بهره‌برداری سالانه در افق پنج‌ساله محاسبه شدند. مطابق جدول ۴، نتایج نشان داد در سناریوی کران پایین، ارزش فعلی خالص در تمامی نرخ‌های تنزیل منفی بوده و نسبت منفعت به هزینه نیز در تمام حالات کمتر از یک باقی ماند؛ بنابراین پروژه در این سناریو فاقد توجیه اقتصادی است.

در مقابل، در سناریوی کران بالا، مقدار NPV در نرخ‌های تنزیل ۳، ۸ و ۱۵ درصد به‌ترتیب ۴۳/۷، ۲۵/۴ و ۵/۶ میلیارد ریال برآورد شد که بیانگر اقتصادی بودن پروژه در این نرخ‌های تنزیل است. با افزایش نرخ تنزیل به ۲۵ درصد، مقدار NPV به ۱۴/۹- میلیارد ریال کاهش یافت و نسبت منفعت به هزینه نیز به کمتر از یک رسید که نشان‌دهنده حساسیت نتایج به نرخ تنزیل است.

همچنین نرخ بازده داخلی در سناریوی کران بالا برابر ۱۷/۴ درصد محاسبه شد؛ درحالی‌که در سناریوی کران پایین به دلیل منفی بودن جریان نقدی تجمعی در طول دوره تحلیل، نرخ بازده داخلی قابل محاسبه نبود. بررسی جریان نقدی تجمعی نیز نشان داد که سرمایه‌گذاری اولیه در سناریوی کران بالا طی حدود ۳/۲۳ سال بازگشت داده می‌شود؛ درحالی‌که در سناریوی کران پایین، سرمایه اولیه در افق پنج‌ساله بازیابی نمی‌شود.

مطابق شکل ۳، با افزایش نرخ تنزیل، مقادیر NPV و BCR در هر دو سناریو روند کاهشی دارند. در سناریوی کران بالا، پروژه تا نرخ تنزیل ۱۵ درصد دارای NPV مثبت و نسبت منفعت به هزینه بزرگ‌تر از یک است؛ درحالی‌که در نرخ تنزیل ۲۵ درصد هر دو شاخص به کمتر از آستانه اقتصادی کاهش می‌یابند. در مقابل، در سناریوی کران پایین، مقادیر NPV در تمامی نرخ‌های تنزیل منفی و نسبت منفعت به هزینه نیز کمتر از یک باقی می‌ماند که بیانگر نبود توجیه اقتصادی پروژه در این سناریو است (شکل ۳).

مطابق شکل ۴، روند جریان نقدی تجمعی در سناریوی کران پایین طی دوره پنج‌ساله همچنان منفی باقی می‌ماند و سرمایه‌گذاری اولیه بازیابی نمی‌شود. در مقابل، در سناریوی کران بالا، جریان نقدی تجمعی به‌تدریج افزایش یافته و در حدود سال ۳/۲۳ از نقطه سربه‌سر عبور می‌کند؛ به‌گونه‌ای که در پایان دوره تحلیل، مقدار جریان نقدی تجمعی به حدود ۵۶/۸ میلیارد ریال می‌رسد. این نتایج بیانگر آن است که توجیه اقتصادی پروژه به ارزش اقتصادی آب و سطح منافع حاصل از اجرای تغذیه مصنوعی وابستگی قابل‌توجهی دارد (شکل ۴).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

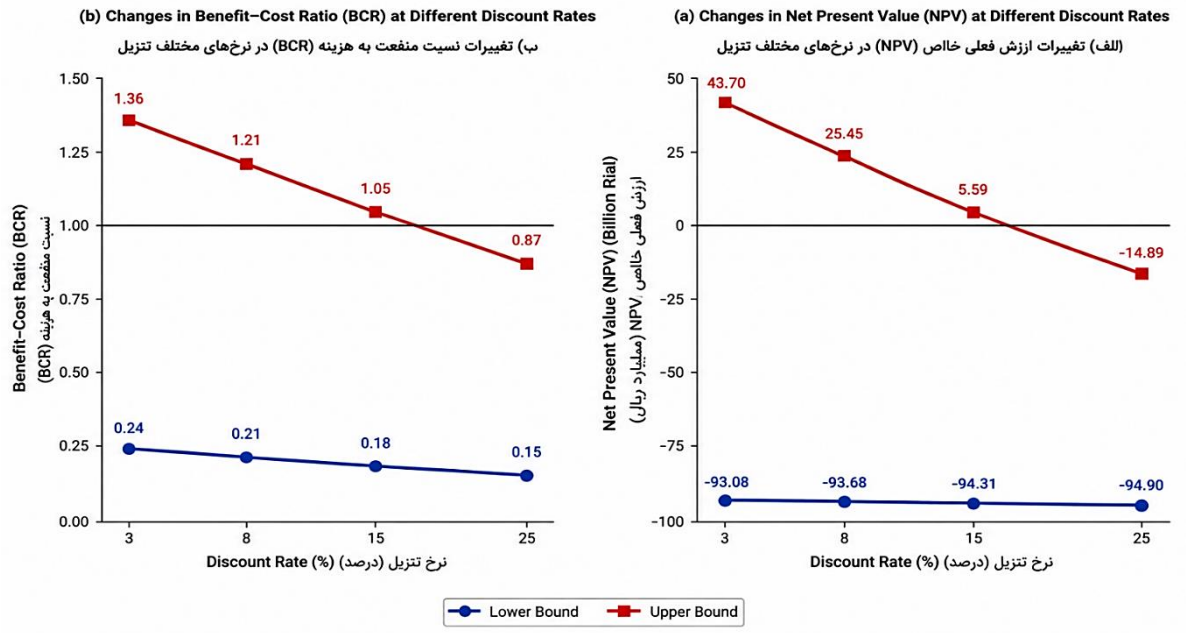
[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]

جدول ۴. شاخص‌های اقتصادی پروژه

Table 4. Economic Indicators of the Project

Scenario	Discount rate (%)	NPV (Billion Rial)	BCR	IRR (%)	Payback period (year)	Economic status
Lower bound	3	-93.1	0.24	—	>5	Non-economic
Lower bound	8	-93.7	0.21	—	>5	Non-economic
Lower bound	15	-94.3	0.18	—	>5	Non-economic
Lower bound	25	-94.9	0.15	—	>5	Non-economic
Upper bound	3	43.7	1.36	17.4	3.23	Economic
Upper bound	8	25.4	1.21	17.4	3.23	Economic
Upper bound	15	5.6	1.05	17.4	3.23	Economic
Upper bound	25	-14.9	0.87	17.4	3.23	Non-economic

IRR was not calculated for the lower-bound scenario because the cumulative cash flow remained negative during the analysis period.



شکل ۳. تغییرات ارزش فعلی خالص (NPV) (الف) و نسبت منفعت به هزینه (BCR) (ب) در سناریوهای کران پایین و کران بالا تحت نرخ‌های مختلف تنزیل

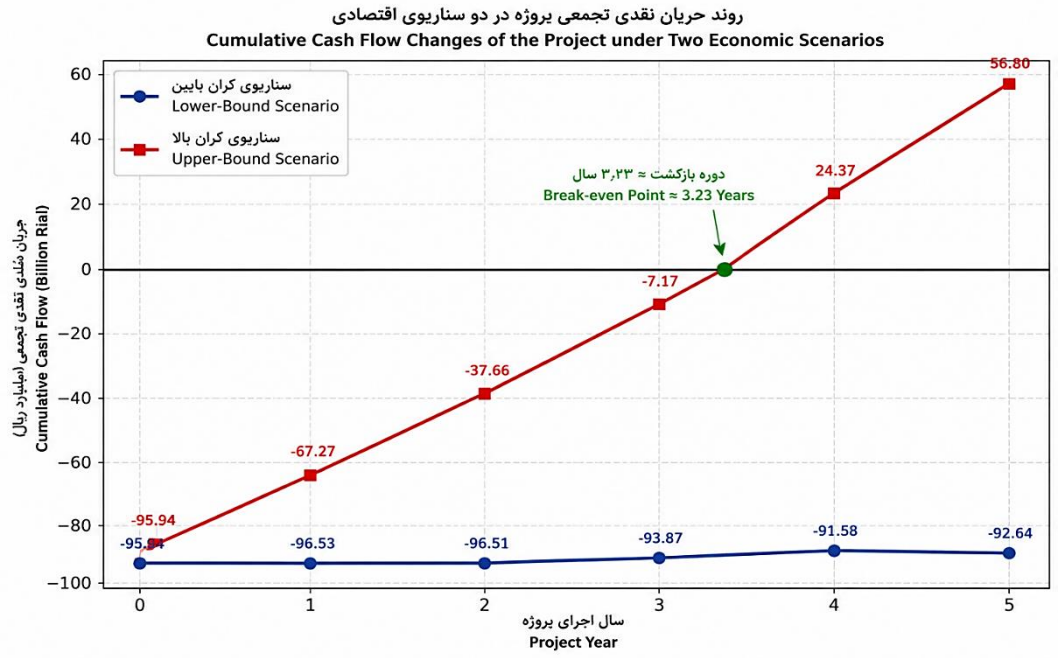
Figure 3. Changes in Net Present Value (NPV) (a) and Benefit–Cost Ratio (BCR) (b) under Lower-Bound and Upper-Bound Scenarios at Different Discount Rates

بحث

نتایج شبیه‌سازی در دشت قطب‌آباد نشان داد که تغذیه مدیریت‌شده آبخوان با پساب، علاوه بر جبران افت تراز آب، به بهبود نسبی کیفیت (کاهش TDS و نیترات) منجر می‌شود. این یافته‌ها ضمن همسویی با مطالعات پیشین، بر ظرفیت پذیرش هیدروژئولوژیکی آبخوان تأکید دارند؛ اگرچه تعمیم‌پذیری آن به سایر مناطق مستلزم بررسی ویژگی‌های محلی آبخوان و کیفیت پساب است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]



شکل ۴. روند تغییرات جریان نقدی تجمعی پروژه در سناریوهای کران پایین و کران بالا طی افق پنج‌ساله تحلیل اقتصادی

Figure 4. Cumulative Cash Flow Changes of the Project under Lower-Bound and Upper-Bound Scenarios during the Five-Year Economic Analysis Horizon

در بخش اقتصادی، ارزش‌گذاری آب ذخیره‌شده سهم اصلی منافع را تشکیل می‌دهد؛ درحالی‌که نقش صرفه‌جویی انرژی پمپاژ به دلیل محدودیت نوسانات تراز آب ناچیز است. تحلیل شاخص‌های NPV، BCR و IRR نشان داد که توجیه‌پذیری طرح به‌شدت به مفروضات ارزش‌گذاری منافع وابسته است؛ به‌طوری که تفاوت معناداری میان سناریوهای کران بالا و پایین دیده شد. درنهایت، این پژوهش ضرورت اتخاذ رویکردهای یکپارچه هیدرو – اقتصادی را برای ارزیابی واقع‌بینانه و تصمیم‌گیری بهینه در پروژه‌های بازچرخانی آب اثبات می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با تلفیق شبیه‌سازی عددی جریان و انتقال آلودگی با ارزیابی اقتصادی، امکان استفاده از پساب تصفیه‌شده برای تغذیه مدیریت‌شده آبخوان در دشت قطب‌آباد را بررسی کرد. نتایج نشان داد که در شرایط مطالعه، اجرای تغذیه مصنوعی موجب بهبود وضعیت کمی آبخوان و کاهش غلظت شاخص‌های منتخب کیفیت آب شد. همچنین، ارزیابی اقتصادی بیانگر آن بود که توجیه‌پذیری اقتصادی پروژه به نحوه ارزش‌گذاری منافع حاصل از اجرای طرح و مفروضات اقتصادی وابسته است و نتایج می‌تواند در سناریوهای مختلف اقتصادی متفاوت باشد. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از پساب تصفیه‌شده، در صورت انطباق با شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه و مدیریت مناسب سامانه، می‌تواند به‌عنوان یکی از گزینه‌های قابل بررسی در مدیریت منابع آب زیرزمینی مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح باشد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]

References منابع مورد استفاده

1. Amiri, V. and N. Sohrabi. 2026. Using Numerical Modeling to Evaluate the Potential of Groundwater Pollution Resulting from Artificial Recharge with Treated Wastewater. *Journal of Natural Environmental Hazards* 15(47): 73-90.
2. Amirkian, H. 2022. Providing a model for improving the potential for appropriate exploitation of groundwater resources using artificial recharge (Case study: Makran coast). *Quarterly Journal of Defense Readiness and Technology* 5(1): 121-48.
3. Bana Bafroei, H. and S. Alimohammadi. 2022. Economic comparison of groundwater artificial recharge options using treated wastewater (Yazd-Ardakan Aquifer). *Journal of Water and Wastewater* 33(5): 142-50. (in Farsi)
4. Barahimi, M., A. Sehhat, H. Kavand and S. Parvizi. 2024 .Investigating the quantitative and qualitative effects of the effluent treatment plant on aquifer recharge and resources and uses planning (Case study: Damaneh Daran Plain in Isfahan Province). *Journal of Water and Soil Science* 28(3): 131–46. (In Farsi)
5. Bassi, N., S. Gupta and K. Chaturvedi. Towards circularity in used water management in India: mainstreaming reuse for its economic and market potential. *Sustainability Nexus Forum* 32:7.
6. Bidhendi, G., H. Garivani, N. Mehrdadi and M. J. Amiri. 2026. Establish a comprehensive framework for assessing the environmental and economic impacts of municipal wastewater reuse by integrating carbon footprint, energy footprint, toxicity, and economic evaluation. *Journal of Society and the Environment* 3(8): 126-54.
7. Choopan, Y. and H. Arianpour. 2024. Investigating the interaction effect of irrigation water quality and type of irrigation system on the soil physical and chemical properties under the conditions of using treated municipal wastewater. *Journal of Water and Soil Science* 28(2): 135–45. (in Farsi)
8. Ekpe, G. K. and A. A. Klis. 2023. Spillover Effects in Irrigated Agriculture from the Groundwater Commons: GK Ekpe, AA Klis. *Environmental and Resource Economics* 86(3): 469-507.
9. Fathi, F. and M. Zibaei. 2020. Optimal crop pattern management in firozabad plain according to water and soil sustainability by applying fuzzy mathematical programming. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 30(3): 331-45.
10. Gholami, Z ,.H. Ebrahimian and H. Noory. 2017. Determining economic depth of agricultural well in sprinkler irrigated farms in Qazvin plain. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering* (JISE) 39(3): 135-146. (in Farsi)
11. Golestani, M., S. F. Mousavi and H. Karami. 2025. Modeling the Quantitative and Qualitative Changes in Groundwater of Garmsar Plain Using the MODFLOW Model. *Journal of Water and Soil Science* 29(3): 73-95. (in Farsi)
12. Hasan-Sagha, M. 2019. Estimation of the discharge of wells electro-pump through energy consumption and pumping head parameters (Case study: South Khorasan Province ,Iran). *Iranian Journal of Energy* 22(1): 109-26. (in Farsi)
13. Hossain, M. S., M. M. Chowdhury, B. K. Das, M. R. Islam, M. G. Kibria and S. Banik. 2024. A sustainable energy approach for pumping and irrigation in the Barind Region of Bangladesh. *Clean Technologies and Environmental Policy* 26(7): 2151-80.
14. Karamouz, M., S. A. Mojahedi and A. Ahmadi. 2007. Economic assessment in development of operating policies for inter-basin water transfer. *Iran-Water Resources Research* 3(2): 10–25. (in Farsi)
15. Karimi, M., L. Sharifi and M. Torkaman. 2021. Economic Evaluation of Agricultural Sector in Fars Province as a Result of Climate Change. *Geography and Environmental Planning* 32(1): 119-36.
16. Keykha, M., A. S. Shahraki and M. H. Tabar. 2023. Economic-environmental analysis of water resources development plans in drought condition in Sistan region with IWRM approach. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering* 53(1): 247-265.
17. Logar, I., R. Brouwer, M. Maurer and C. Ort. 2014. Cost-benefit analysis of the Swiss national policy on reducing micropollutants in treated wastewater. *Environmental Science and Technology* 48(21): 12500-8.
18. Mardaneh, M. and H. Amini Jahromi. 2011. Forecasting the groundwater level of the Qotbabad Jahrom Plain for optimal utilization of water resources. *In:* the National Conference on Agricultural Management, Islamic Azad University, Jahrom Branch, Jahrom, Iran. (in Farsi)
19. Nourani, L., N. Mousavi and A. Shirvanian. 2022. Economic Impact Assessment of Agricultural Water Market Formation in Irrigation Network of Ramjerd Plain in Iran. *Agricultural Economics and Development* 29(4): 177-204. (in Farsi)
20. Peykanpour Fard, R., F. Farasat, S. Hasheminejad and S. Fakheran. 2026. Locating artificial groundwater recharge basins (Case study: Yazd-Ardakan Basin). *Journal of Water and Soil Science* 30(2): 93–106. (in Farsi)
21. Ramak, Z. and N. Zeidalinejad. 2021. A Review on the Artificial Recharge of the Aquifers as a Process against Groundwater Stresses. *Journal of Rainwater Catchment Systems* 9(2): 35-56. (in Farsi)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]

22. Tahamipour Zarandi, M. 2024. Technical-Economic Feasibility Studies for Establishing a Botanical Garden in the Sorkheh Hesar Forest Park in Tehran. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics* 4(8): 137-68. (in Farsi)
23. Yousef Gomrokchi, A. 2025. An insight into the technical and promotional aspects of utilizing solar energy in agricultural water pumping stations. *Water Conservation and Efficiency* 6(11): 33-41. (in Farsi)
24. Zeinali Hasanvand, M., H. KardanMoghadam and M. Shabani. 2026. Technical and economical feasibility study of water injection method to the shallow aquifers using the well-based ASR method-a case study of one of the Iranian water aquifers. *Journal of Petroleum Research* e1569. (in Farsi)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: 10.47176/jwss.30.3.75111]