



مدیریت آب و آبیاری (نشریه علمی)

دوره ۱۰ ■ شماره ۳ ■ زمستان ۱۳۹۹

صفحه‌های ۳۷۹-۳۶۵

DOI: 10.22059/jwim.2021.308487.814

مقاله پژوهشی:

ارائه رویکرد ترکیبی SWARA-COPRAS به منظور رتبه‌بندی گزینه‌های مدیریتی کاهش نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی

مینا نصیری^۱، حمید کاردان مقدم^۲، مهدی حمیدی^{۳*}

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

۲. استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران، ایران.

۳. استادیار، گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۳۱

چکیده

یکی از مسائل و مشکلات در آبخوان‌های ساحلی نفوذ آب از طرف دریا به آبخوان است. لذا شناخت جامع و مدیریت منابع آب زیرزمینی در این گونه آبخوان‌ها جهت توسعه پایدار بسیار حائز اهمیت است. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف ارائه چارچوبی جهت رتبه‌بندی گزینه‌های مدیریتی و انتخاب گزینه برتر برای کنترل نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی تجن تهیه شده است. در ابتدا معیارهای در نظر گرفته شده شامل معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی با استفاده از روش SWARA وزن‌دهی و اهمیت آن‌ها مشخص شد. نتایج روش نشان SWARA داد که معیار زیست‌محیطی با وزن ۰/۲۸ اهمیت بیش‌تری نسبت به سایر معیارها دارد. در ادامه از روش COPRAS برای رتبه‌بندی و انتخاب گزینه برتر مدیریتی استفاده شد. براساس نتایج حاصل از روش COPRAS، گزینه‌های کاهش پنج درصدی پمپاژ، کاهش ۱۰ درصدی پمپاژ و تغذیه مصنوعی در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند. جهت ارزیابی اثر گزینه برتر بر نحوه حرکت شوری با استفاده از مدل SEAWAT، ابتدا تغییرات تراز آب زیرزمینی و غلظت شوری به ترتیب با مدل‌های MODFLOW و MT3DMS شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از اجرای سناریوی برتر با استفاده از مدل SEAWAT نشان‌دهنده کاهش حرکت گوه شوری بود.

کلیدواژه‌ها: پیش‌روی آب شور، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل‌سازی آب زیرزمینی، SWARA-COPRAS.

A hybrid approach with SWARA and COPRAS methods in ranking management strategies to control seawater intrusion in coastal aquifers

Mina Nasiri¹, Hamid Kardan Moghaddam², Mehdi Hamidi^{3*}

1. Former M.Sc. Student in Water and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

2. Research Assistant Professor, Department of Water resources research, Water research institute, Ministry of energy, Tehran, Iran

3. Assistant Professor, Department of Water and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

Received: August 21, 2020

Accepted: December 08, 2020

Abstract

One of the problems in coastal aquifers is seawater intrusion into fresh-water aquifers. Therefore, comprehensive knowledge and management of groundwater resources in such aquifers is very important for sustainable development. In this regard, the present study has been prepared with the aim of providing a framework for ranking management alternatives and selecting the best alternative for controlling the seawater intrusion in the Tajan coastal aquifer. Initially, the considered criteria including technical, economic, social and environmental criteria were weighted using SWARA method and their importance was determined. The results of SWARA method showed that the environmental criterion with a weight of 0.28 is more important than other criteria. Then, The COPRAS method was used to rank and select the top management alternatives. Based on the results of the COPRAS method, the alternatives of 5% reduction in pumping, 10% reduction in pumping and artificial recharge were ranked first to third. To evaluate the effect of the best alternative on salinity movement using SEAWAT model, first groundwater level changes and salinity concentration were simulated with MODFLOW and MT3DMS models, respectively. The results of the implementation of the best alternative using the SEAWAT model showed a decrease in salinity wedge movement.

Keywords: Groundwater modeling, MCDM, Seawater intrusion, SWARA-COPRAS.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی حدود پنج درصد از کل منابع آب سطح زمین را تشکیل می‌دهد که این موضوع با توجه به وجود تنها سه درصد آب شیرین در جهان بسیار حائز اهمیت است (Jalut *et al.*, 2018). وابستگی به منابع آب زیرزمینی با توجه به رشد و توسعه‌های انجام‌گرفته، همواره با چالش‌هایی از قبیل افت آبخوان، تهاجم آب شور، مشکلات کیفیت آب، فرونشست و غیره همراه بوده است (Jafari & Eftekhari, 2013). چالش در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، افت سطح آب زیرزمینی است که در اثر بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان انجام می‌گیرد (Vengadesan & Lakshmanan, 2019). این موضوع در آبخوان‌های ساحلی علاوه بر مشکلات کمی، باعث تغییر گرادیان هیدرولیکی و تهاجم آب شور از طرف دریا نیز می‌شود. نفوذ آب شور موجب برهم‌خوردن تعادل طبیعی بین مرز آب شور و شیرین و حرکت گوه آب شور به سمت آبخوان ساحلی می‌شود (Hamidi & Sabbagh-Yazdi, 2008). توسعه پیش‌روی آب شور به سه عامل نرخ تغذیه آبخوان که وابسته به شرایط اقلیمی و جغرافیایی است، نفوذپذیری سیستم هیدروژئولوژیکی و نرخ برداشت از آب زیرزمینی بستگی دارد (Kardan *et al.*, 2017a). موضوع کیفیت آب در نوار ساحلی نقش مهمی بر اکوسیستم منطقه به‌ویژه تالاب‌های ساحلی (White & Kaplan, 2017)، سلامت جامعه (Shammi *et al.*, 2019)، بهره‌وری کشاورزی و شرایط اقتصادی-اجتماعی (Tully *et al.*, 2019) یک جامعه دارد. تهاجم آب شور و مدیریت این موضوع از دیدگاه بهره‌برداری بسیار حائز اهمیت بوده و راه‌کارهای متعدد در جهت کنترل و احیای نوار ساحلی انجام گرفته است. Luyun *et al.* (2009) در پژوهش خود به بررسی حذف گوه آب شور از طریق سد زیرزمینی پرداختند. Abd-

Elhamid & Javadi (2011) در پژوهش خود روش ADR (شامل استخراج آب شور و تغذیه به آبخوان پس از نمک‌زدایی) را به‌عنوان ابزاری مناسب جهت کنترل نفوذ آب شور ارائه دادند. رویکردی مشابه به‌منظور کنترل نفوذ آب شور شامل ترکیبی از استخراج آب شور نزدیک خط ساحلی، نمک‌زدایی آب استخراج‌شده جهت مصارف خانگی و تغذیه آبخوان از طریق تزریق پساب تصفیه‌شده، در پژوهش Javadi *et al.* (2015) پیشنهاد شده است. در پژوهش Abdoulhalik *et al.* (2017) روش جدید مانع فیزیکی مختلط را که شامل دیوار آب‌بند و سد نیمه‌نفوذپذیر است، به‌منظور کاهش طول پیش‌روی شوری آب دریا موردبررسی قرار گرفت. در مطالعه Han (2003) کاهش بهره‌برداری از آب زیرزمینی و تغذیه مصنوعی برای کنترل تهاجم آب شور پیشنهاد شد. Nasiri *et al.* (2020a) نیز به بررسی اثر احداث سد گلورد بر نحوه حرکت گوه شوری در آبخوان ساری-نکا پرداختند. بررسی راه‌کارهای مختلف ارائه‌شده در خصوص تهاجم آب شور نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری در این حوزه با توجه به تنوع راه‌کارها و هزینه‌های آن بسیار حساس بوده و نیاز به تدوین یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)¹ با لحاظ کلیه عوامل مؤثر است. در مدل تصمیم‌گیری، چندین معیار به‌صورت هم‌زمان بر پایه نظر متخصصان موردبررسی قرار گرفته و گزینه‌های مختلف با توجه به معیارها سنجیده می‌شوند. بر این اساس، هدف این پژوهش تدوین یک مدل تصمیم‌گیری به‌منظور انتخاب گزینه مطلوب‌تر جهت کاهش تهاجم آب شور از طرف دریا در آبخوان ساحلی است. مطالعات انجام‌گرفته در داخل کشور به شبیه‌سازی‌های میزان تهاجم آب شور و تدوین راه‌کارهای علاج‌بخشی پرداخته‌اند و کم‌تر به ارائه یک مدل تصمیم‌گیری با رویکرد ارزیابی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جهت احیای نوار ساحلی بوده است.

مواد و روش‌ها

روش پژوهش

در این پژوهش با توجه به تأثیرپذیری و نقش عوامل مختلف در انتخاب یک راه‌کار برای کنترل تهاجم آب شور از طرف دریا از روش تصمیم‌گیری SWARA^۲ که مبتنی بر دانش و تجربیات متخصصان است، برای تعیین اهمیت و وزن‌دهی به معیارها استفاده شده است. در ادامه، روش COPRAS^۳ به منظور اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف با استفاده از وزن معیارها به کار رفته است و در نهایت اثر اعمال سناریوی برتر بر نحوه حرکت شوری بررسی شده است.

تهاجم آب شور

تغییرات تراز آب زیرزمینی در اثر برداشت از منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در نوار ساحلی علاوه بر افت سطح آب، باعث کاهش گرادیان هیدرولیکی و تداوم این موضوع سبب معکوس شدن جریان و تهاجم آب شور از طرف دریا می‌شود (Kardan Moghaddam et al., 2017b). تهاجم این پدیده به شکل گوه است و فصل مشترک آب شور- شیرین را نشان می‌دهد. معادلات حاکم بر نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی با توجه به تأثیرپذیری از عوامل مختلف در چهار بخش تشریح می‌شود (Kourakos & Mantoglou, 2006):

الف) معادله تعادل جرم برای آب:

$$\frac{\partial (n\rho)}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho q) + \bar{\rho} q_s \quad (1)$$

که در آن ρ تغییرات چگالی سیال، q بردار تخلیه ویژه، $\bar{\rho}$ چگالی آب ورودی از منبع تغذیه یا آب خروجی از منبع تخلیه، q_s نرخ حجمی در واحد حجم آبخوان، n تخلخل آبخوان و t زمان هستند.

ب) معادله انتقال شوری:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla \cdot (D \cdot \nabla C) - \nabla \cdot (vC) - \frac{q_s}{n} C_s \quad (2)$$

که در آن D تانسور پراکندگی هیدرودینامیکی، v بردار سرعت سیال و C_s غلظت شوری آب از منبع تغذیه یا تخلیه هستند.

ج) قانون دارسی برای جریان آب زیرزمینی با چگالی متغیر:

$$q_z = -\frac{k_z}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g \right), q_y = -\frac{k_y}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y}, q_x = -\frac{k_x}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3)$$

که در آن p فشار سیال، q_x, q_y, q_z مولفه‌های تخلیه ویژه، μ ویسکوزیته دینامیکی، k_x, k_y, k_z نفوذپذیری در سه جهت x, y, z و g شتاب ثابت است.

د) معادله تبدیل چگالی سیال به غلظت:

$$\rho = \rho_0 (1 + \beta_c c) \quad (4)$$

که در آن ρ_0 چگالی آب شیرین و β_c یک عدد ثابت $c \in [0, 1]$ و $\beta_c = 1/\rho_0 \cdot \partial \rho / \partial c$ غلظت شوری نرمال شده هستند.

یکی از کدهای جدید و مرسوم جهت محاسبات و شبیه‌سازی کد SEAWAT است که بر پایه روش تفاضل محدود برای شبیه‌سازی حرکت آب زیرزمینی و انتقال املاح به کار رفته است. این مدل نیاز به نسخه مکمل MODFLOW و MT3DMS دارد که برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و حرکت املاح در سطح آبخوان به کار گرفته می‌شود.

تدوین مدل علاج‌بخشی

تعریف شاخص‌های ارزیابی

با توجه به تأثیر و نقش عوامل مختلف بر انتخاب یک یا چند راه‌کار برای علاج‌بخشی تهاجم آب شور از طرف دریا، می‌باید معیارهای مختلف و سناریوهای علاج‌بخشی شناخته شوند. با توجه به رویکرد توسعه پایدار و مفهوم ارائه‌شده از آن، چهار معیار فنی (C_1)، اقتصادی (C_2)، اجتماعی (C_3) و محیط‌زیست (C_4) جهت ارزیابی سناریوهای علاج‌بخشی معرفی می‌شوند. میزان بهبود کمی

اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست به صورت مقادیر بین صفر تا یک به صورت کمی در شرایط اعمال راه کارهای علاج بخشی محاسبه می شود. این چهار شاخص برای هر راه کار علاج بخشی محاسبه و به عنوان اجزای ورودی به مدل تصمیم گیری چندمعیاره در نظر گرفته می شوند.

تعریف راه کارهای علاج بخشی

تدوین راه کارهایی که بتوان در کنترل تهاجم آب شور با توجه به معیارهای معرفی شده مؤثر باشند بسیار حائز اهمیت است. چندین استراتژی برای جلوگیری یا کنترل نفوذ آب دریا توسط Todd (1959)، Van Dam (1999)، Essink (2001) و Javadi *et al.* (2015) پیشنهاد شده است. خلاصه ای از این استراتژی ها شامل موارد زیر است.

- کاهش یا مدیریت الگوی استخراج از آب زیرزمینی؛
- تغذیه مصنوعی از طریق حوضچه های پخش سطحی یا چاه های تزریق؛
- ایجاد خط افت موازی با ساحل از طریق حفر چاه و پمپاژ در آن ها؛
- استخراج آب شور در مجاورت ساحل؛
- ساخت موانع زیرزمینی مصنوعی و احیای زمین می باشد. هدف از این روش ها کاهش میزان بالآمدگی مخروطی شکل آب شور و حفظ تراز آب زیرزمینی با شیب هیدرولیکی به سمت دریا و در نتیجه جلوگیری از کاهش هجوم آب شور به سمت آبخوان ساحلی و چاه های پمپاژ است. در این پژوهش، روش های کاهش پمپاژ، تغذیه مصنوعی، سد زیرزمینی جهت کاهش پیش روی آب شور مورد استفاده قرار گرفته است. انتخاب این روش ها با توجه به موقعیت آبخوان و امکان اجرای آن در نظر گرفته شده است. راه کار احیای زمین براساس کاربری اراضی منطقه و نبودن اراضی بدون مالکیت و راه کار استخراج آب شور در مجاورت دریا به دلیل بالابودن بعد اقتصادی و مشکلات زیست محیطی در آبخوان منطقه مورد مطالعه حذف شد.

آب زیرزمینی در آبخوان تحت اعمال استراتژی های مختلف به عنوان معیار فنی تعریف گردید. این معیار براساس میزان بهبود تراز آب زیرزمینی در آبخوان نسبت به شرایط بدون اعمال استراتژی در نظر گرفته می شود. این معیار به صورت نسبت بین دو مقدار تعریف و برای هر استراتژی به صورت کمی محاسبه می شود. این شاخص براساس نتایج استخراجی از مدل عددی MODFLOW به دست می آید. نتایج این شاخص با نرمال سازی مقدار بین صفر تا یک دارد که هرچه میزان علاج بخشی تحت اعمال راه کارها بیشتر باشد، مقدار شاخص فنی به یک نزدیک تر خواهد بود. هزینه پیاده سازی و اجرای هر استراتژی به عنوان معیار اقتصادی تعریف می شود. نسبت بین هزینه هر استراتژی به حداکثر هزینه اجرای استراتژی به عنوان شاخص کمی اقتصادی تعریف شد. مقدار این شاخص نیز بین مقدار صفر به مفهوم کم ترین میزان هزینه و یک به مفهوم حداکثر هزینه اقتصادی به دست می آید. میزان مقبولیت و رضایت مندی اجتماعی از پیاده سازی استراتژی ها به عنوان معیار اجتماعی تعیین شد. این معیار براساس تکمیل پرسش نامه در منطقه بین کشاورزان (ذی نفعان) و کارشناسان (ذی مدخلان) و امتیازدهی بین یک تا ۱۰۰ به عنوان شاخص رضایت مندی اجتماعی به صورت کمی تعریف شد. در نهایت این شاخص به صورت درصد رضایت مندی اجتماعی بین مقدار صفر به مفهوم عدم رضایت و یک به مفهوم حداکثر رضایت مندی اجتماعی برای مدل تصمیم گیری در نظر گرفته می شود. میزان کاهش یا تعدیل تهاجم آب شور از طرف دریا به آبخوان و بهبود وضعیت محیط زیست آبخوان به عنوان معیار محیط زیست تعریف می شود. این معیار براساس نتایج مدل SEAWAT در دو حالت با اعمال استراتژی و بدون اعمال تعیین و به صورت کمی محاسبه می شود. بر این اساس، چهار شاخص فنی،

(A₁)، کاهش ۱۰ درصدی پمپاژ (A₂)، کاهش ۱۵ درصدی پمپاژ (A₃)، سد زیرزمینی (A₄) و تغذیه مصنوعی (A₅) در نظر گرفته می‌شود.

مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره

ارزیابی هم‌زمان چندین معیار و سنجیدن گزینه‌های مختلف بر طبق معیارها جهت رسیدن به یک هدف خاص، فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره نامیده می‌شود. در روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، یک ماتریس ارزیابی X با m گزینه و n معیار موجود است. امتیاز گزینه i ام با توجه به معیار j ام را با X_{ij} نمایش می‌دهند. اهمیت هر معیار نیز به‌وسیله بردار یک‌بعدی وزن‌ها W که شامل n وزن است نشان داده می‌شود و A_m نیز گزینه‌ها هستند (García-Cascales & Lamata, 2012).

روش SWARA

روش SWARA توسط Keršulienė et al. (2010) توسعه یافت. این روش که جهت تعیین وزن معیارها به‌کار می‌رود، نقش مهمی را در یک فرایند تصمیم‌گیری ایفا می‌کند. در روش SWARA معیارها با توجه به نظرات متخصصان رتبه‌بندی می‌شوند. مهم‌ترین معیار در رتبه یک و کم‌اهمیت‌ترین آن‌ها در رتبه آخر قرار خواهد گرفت. درنهایت، معیارها با توجه مقادیر متوسط اهمیت نسبی، وزن‌دهی و اولویت‌بندی می‌شوند (Zavadskas et al., 2018). فرایند وزن‌دهی به معیارها با روش SWARA به شرح زیر است (Ghenai et al., 2020):

- گام اول: مرتب‌سازی معیارها به صورت نزولی براساس نظر متخصصان؛
- گام دوم: تعیین اهمیت نسبی هر معیار نسبت به معیار بالاتر از خود (S_j)؛
- گام سوم: محاسبه مقدار اهمیت نسبی هر معیار (k_j)؛

الف) کاهش پمپاژ: یکی از مقرون‌به‌صرفه‌ترین روش‌های حفظ تعادل آب زیرزمینی و کنترل مشکل پدیده پیش‌روی آب شور، کاهش برداشت از آب زیرزمینی است (Bruington, 1972). امکان کاهش پمپاژ در برخی نواحی به‌علت افزایش تقاضای آب میسر نیست، مگر آن‌که منابع دیگر برای تأمین آب مصرفی موردنیاز مورد استفاده قرار گیرد (Naderi, 2010).

ب) تغذیه مصنوعی: تغذیه مصنوعی یکی از روش‌های متداول به‌منظور کنترل هجوم آب شور دریا است. اگرچه هدف اصلی آن کاهش جریان سیلاب‌ها، ذخیره آب در آبخوان‌ها، افزایش تراز آب زیرزمینی و کاهش پمپاژ بیش از حد از آب زیرزمینی است (Lahr, 1982). باید توجه داشت که اگر میزان پمپاژ از آب زیرزمینی مدیریت نشود، امکان به‌صرفه‌نبودن ساخت و بهره‌برداری تأسیسات تغذیه مصنوعی از دیدگاه اقتصادی وجود دارد (Naderi, 2010).

ج) سد زیرزمینی: هر ساختاری که با ایجاد مانعی در برابر جریان زیرزمینی، آب را در زیر سطح زمین ذخیره نماید، به‌عنوان سد زیرزمینی شناخته می‌شود. هدف اصلی از ایجاد سد زیرزمینی، جلوگیری از تهاجم آب شور به طرف آب شیرین آبخوان و یا افزایش تراز آب زیرزمینی است. از اهداف دیگر این سدها، پایین‌آوردن سطح آب زیرزمینی در پایین‌دست، کنترل سیلاب، افزایش کیفیت آب زیرزمینی و جلوگیری از فرسایش خاک منطقه می‌باشد (Lashkarian Nabipay & Davoudi, 2008). ساخت این سدها می‌تواند جهت تأمین آب در دوره‌های خشکسالی مؤثر باشد. با این حال نشت آب، تأمین‌نکردن حجم آب موردانتظار یا پایین‌بودن کیفیت آب از جنبه‌های منفی این روش است (Telmer & Best, 2004).

براین اساس، استراتژی‌های در نظر گرفته‌شده در این پژوهش شامل پنج سناریوی کاهش پنج درصدی پمپاژ

گام دوم: نرمال سازی ماتریس تصمیم (r_{ij}) طبق رابطه (۹)؛

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (9)$$

که در آن x_{ij} مقدار گزینه i ام به ازای معیار j ام است.

گام سوم: تشکیل ماتریس نرمال وزن دار (y_{ij}) براساس رابطه (۱۰)؛

$$d_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

که در آن w_j وزن معیار j ام محاسبه شده توسط روش

وزن دهی SWARA و r_{ij} مقادیر ماتریس تصمیم نرمال هستند.

گام چهارم: محاسبه مقدار معیارهای مثبت (s_{i+}) و معیارهای منفی (s_{i-}) براساس روابط (۱۱) و (۱۲)؛ معیار مثبت، معیاری است که با افزایش مقدار آن، میزان مطلوبیت آن افزایش می یابد و معیار منفی، معیاری است که با کاهش مقدار آن، میزان مطلوبیت آن افزایش می یابد.

$$S_{i+} = \sum_{j=1}^n d_{ij}, j=1, 2, \dots, k \quad (11)$$

$$S_{i-} = \sum_{j=k+1}^n d_{ij}, j=k+1, k+2, \dots, n \quad (12)$$

گام پنجم: محاسبه اهمیت نسبی گزینه ها طبق فرمول (۱۳)؛

$$Q_i = S_{i+} + \frac{\sum_{i=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (13)$$

گام ششم: تعیین شاخص عملکرد گزینه ها براساس فرمول (۱۴)؛ درجه اهمیت گزینه ها بین صفر تا ۱۰۰ درصد متغیر است. گزینه ای که بهترین وضعیت را با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده دارد، بالاترین درجه اهمیت را دارد.

$$N_i = \frac{Q_i}{Q_{\max}} \times 100 \quad (14)$$

که در آن Q_i اهمیت نسبی هر گزینه و Q_{\max}

$$k_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ s_j+1 & j > 1 \end{cases} \quad (5)$$

گام چهارم: تعیین وزن محاسبه شده مجدد (q_i)؛

در این گام وزن مهم ترین معیار (معیار با رتبه اول) یک در نظر گرفته می شود.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (6)$$

گام پنجم: تعیین وزن نهایی معیارها (w_j)؛

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q'_k} \quad (7)$$

که در آن w_j وزن معیار j ام و n تعداد معیارها است.

روش COPRAS

روش COPRAS توسط Zavadskas & Kaklauskas (1996) برای تعیین اولویت و درجه مؤثر بودن گزینه ها توسعه یافت. این روش به مقایسه گزینه ها و اولویت بندی آنها تحت معیارهای متضاد با در نظر گرفتن وزن معیارها می پردازد. کوپراس قادر است هم زمان از معیارهای مثبت و منفی برای ارزیابی گزینه ها استفاده کند و تأثیر معیارهای مثبت و منفی بر ارزیابی نتایج، به صورت جداگانه در نظر گرفته می شود (Faraji Sabokbar et al., 2014).

مراحل رتبه بندی گزینه ها با استفاده از روش COPRAS به شرح زیر است:

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم برای m گزینه و n معیار؛

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

۱۱۷۶/۴ میلی‌متر و ۱۶/۵۱ سانتی‌گراد می‌باشد (Nasiri *et al.*, 2020b). در شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی نشان داده شده است.

بیش‌ترین درجه اهمیت است که یک گزینه به خود اختصاص داده است.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تجن یکی از مناطق شمالی کشور بین طول‌های جغرافیایی ۴۳° ۵۲' تا ۳۵° ۵۶' شرقی و ۵۲° ۳۵' تا ۳۶° ۵۲' شمالی قرار دارد. مساحت این محدوده ۵۸۵۰ کیلومتر مربع است که از این سطح ۹۷۲ کیلومتر مربع را دشت و مابقی از ارتفاعات تشکیل شده است. تراز سطح آب زیرزمینی در آبخوان ساری از ۳۵+ متر در جنوب شهر ساری تا ۲۰- متر در مجاورت ساحل متغیر است. جهت جریان آب زیرزمینی در این دشت از جنوب به شمال می‌باشد. مقادیر متوسط سالانه بارندگی، تبخیر و دما در طی دوره آماری ۴۵ ساله (۹۰-۱۳۴۵) به ترتیب برابر ۶۶۴ میلی‌متر،

مدل عددی آب زیرزمینی

مدل GMS نرم‌افزاری کارآمد جهت شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان آب زیرزمینی در شرایط ماندگار و غیرماندگار در آبخوان‌های همگن و یا غیرهمگن است. GMS رابط گرافیکی برای ده نوع مدل جریان و انتقال آلودگی است و به حل معادلات حاکم با روش‌های تقاضل محدود و اجزای محدود می‌پردازد. در این مطالعه، جریان آب زیرزمینی و انتقال آلودگی در آبخوان تجن با سه بسته نرم‌افزاری MODFLOW، MT3DMS و SEAWAT در محیط GMS مدل‌سازی شده است.

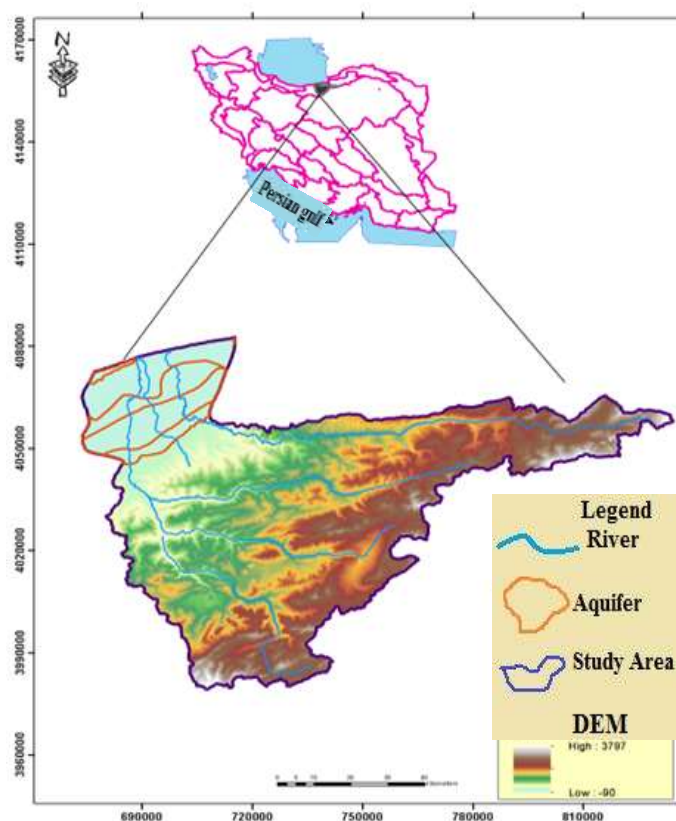


Figure 1. Study area

شبیه‌سازی عددی آبخوان

در پژوهش حاضر از مدل MODFLOW برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی با شبکه‌بندی 500×500 متر در آبخوان در سطح استفاده شد. تراز ارتفاعی سنگ بستر و سطح بالای آبخوان از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) استخراج و به مدل اعمال شد. مدل‌سازی در شرایط ماندگار در مهرماه ۱۳۸۹ صورت گرفت. پس از انتخاب گام زمانی اول جهت شبیه‌سازی، چهار سال به صورت ماهانه جهت شبیه‌سازی در حالت غیرماندگار جریان (مهرماه ۱۳۸۹ تا شهریورماه ۱۳۹۳) استفاده شد. مقادیر تراز آب زیرزمینی مهرماه سال ۱۳۸۹ به‌عنوان تراز اولیه آبخوان استفاده شد. اطلاعات تراز آب ۱۴ چاه مشاهده‌ای به‌عنوان نقاط شاهد در شبیه‌سازی اعمال گردید. براساس نتایج آزمایش پمپاژ متوسط هدایت هیدرولیکی برابر ۱۰ متر بر روز و متوسط آبدهی ویژه برابر چهار درصد تعیین و به‌صورت پهنه‌های اولیه در سطح آبخوان اعمال گردید. بخش‌های شمالی آبخوان که منتهی به دریا است به‌عنوان مرز خروجی آبخوان و بخش‌های جنوبی آبخوان که از مخروط‌افکنه‌های البرز سرچشمه می‌گیرند به‌عنوان مرز ورودی آبخوان معرفی شد. براساس بیلان منابع آب منطقه، تغذیه آبخوان شامل نفوذ از بارش، تغذیه ناشی از جریان‌های سطحی و سیلابی رودخانه‌های واقع در آبخوان تجن شامل سیاهرود، نکارود و تجن و تخلیه ناشی از زه‌کشی رودخانه‌ها و برداشت از چاه‌های بهره‌برداری براساس نتایج آماربرداری به مدل اعمال شد.

شبکه‌بندی، وضعیت هندسی و طول مدت شبیه‌سازی در مدل MT3DMS همانند مدل MODFLOW است با این تفاوت که در مدل MT3DMS گام‌های زمانی شش‌ماهه در نظر گرفته شد. مقادیر غلظت اولیه با استفاده از درون‌یابی مقادیر غلظت TDS خوانده‌شده در ۱۹ چاه های مشاهده‌ای کیفی در آغاز شبیه‌سازی (مهرماه ۸۹) به

مدل اعمال شده است. در مرز شمالی آبخوان و در مجاورت دریای خزر غلظت معین ۳۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر براساس نتایج آزمایش‌های کیفی انجام‌شده اعمال گردید. در مدل، مقدار تخمینی اولیه پراکندگی طولی برابر ۵۰ متر و مقادیر نسبت‌های پراکندگی جانبی افقی به پراکندگی طولی و پراکندگی جانبی عمودی به پراکندگی طولی به ترتیب $0/1$ و $0/01$ و ضریب انتشار ملکولی برابر 10^{-9} اعمال گردید. جهت اطمینان از عملکرد مدل‌های MODFLOW و MT3DMS، صحت‌سنجی در بازه زمانی یک‌ساله از مهرماه ۱۳۹۳ تا شهریورماه ۱۳۹۴ صورت گرفت.

مهم‌ترین هدف از شبیه‌سازی انتقال آلودگی با استفاده از مدل SEAWAT، اعمال تغییرات چگالی برای انتقال املاح و تهاجم آب شور با استفاده از خروجی نتایج مدل‌های MODFLOW و MT3DMS است. گسسته‌سازی منطقه موردنظر در مدل SEAWAT شامل شبکه‌های تفاضل محدود با ابعاد 250×250 متر، شامل ۸۰۸ سلول فعال و در پنج لایه عمقی است. ضخامت آبخوان به‌دلیل وضوح در نمایش ۲۵۰ متر در نظر گرفته شده است. مرز جنوبی آبخوان که جریان آب زیرزمینی به سمت تخلیه به دریا وارد آن می‌گردد و مرز شمالی آبخوان که منطبق بر دریای خزر می‌باشد (خروجی آبخوان) به‌عنوان مرز با شدت جریان وابسته به بار هیدرولیکی در نظر گرفته شده‌اند. مدل مفهومی SEAWAT روی پلان در شکل (۲) و پارامترهای اعمالی به مدل در جدول (۱) ارائه شده است.

نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی عددی

واسنجی مدل جریان با تغییر مکرر پارامترهای غیرقطعی اعمال‌شده بر مدل از قبیل هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه

ارائه رویکرد ترکیبی SWARA-COPRAS به منظور رتبه‌بندی گزینه‌های مدیریتی کاهش نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی

جنوبی آبخوان تجن بیش‌ترین مقادیر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه را داراست. شکل (۳) و شکل (۴-a)، مقایسه تراز آب‌زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی را به‌ترتیب در مدل ماندگار و غیرماندگار نشان می‌دهد.

تا زمانی که میزان خطای مدل به سطح قابل‌قبولی از دقت برسد، صورت پذیرفت. در انتهای واسنجی تغییرات ضرایب هدایت‌هیدرولیکی و آبدهی ویژه به‌ترتیب بین ۵/۳ و ۲۱/۶ متر در روز و ۳/۲ و ۵/۹ درصد برآورد شده است. بخش‌های

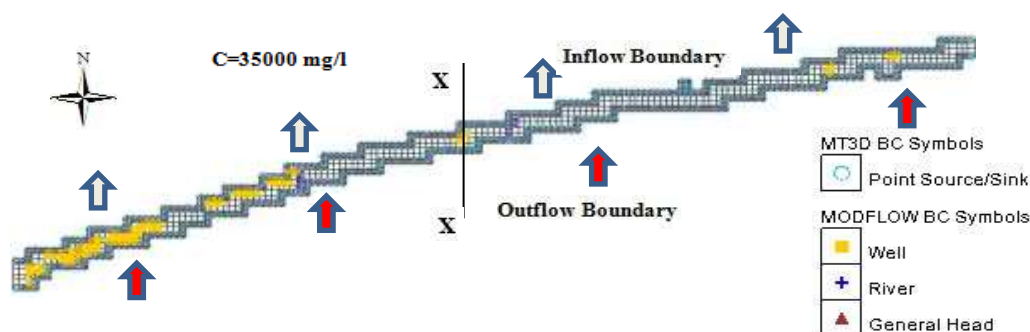


Figure 2. SEAWAT conceptual model

Table 1. The parameters used in the SEAWAT model

Parameter	Value	
D_m	Coefficient of water molecular diffusion [m^2/s]	10^{-9}
ϵ	Effective porosity [dimensionless]	0.25
g	Gravitational acceleration [m/s^2]	9.81
ρ	Density of seawater [kg/m^3]	1025
ρ	Density of freshwater [kg/m^3]	1000
μ	Fluid viscosity [$kg/(m.s)$]	0.001
TRPT	The ratio of the horizontal transverse dispersivity to the longitudinal dispersivity	0.1
TRPV	The ratio of the vertical transverse dispersivity to the longitudinal dispersivity	0.01
α_L	Longitudinal dispersivity [m]	50
$\partial\rho/\partial C$	Change of fluid density with concentration [kg/m^3]	700
C	Concentration of source	35000

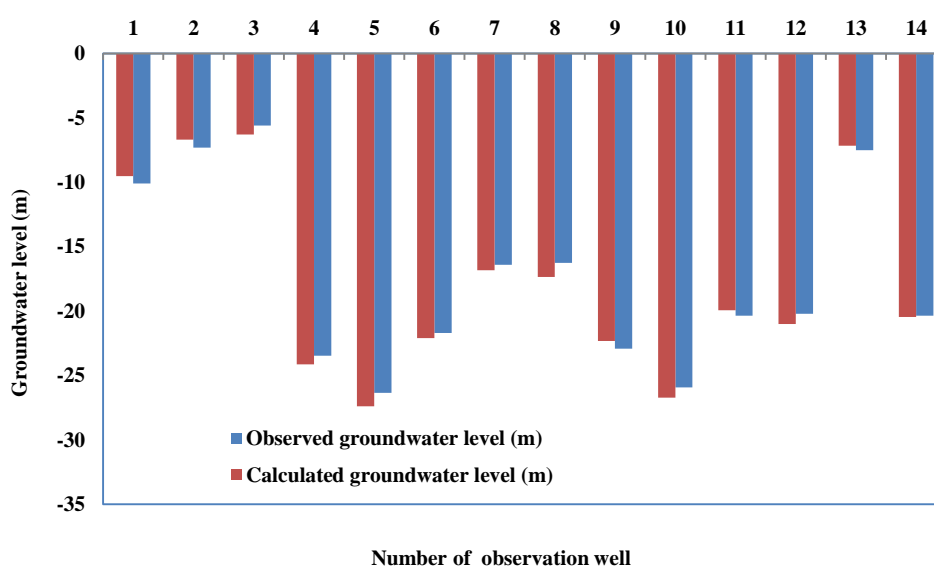


Figure 3. Calculated versus observed groundwater levels in the steady state calibration MODFLOW model

پذیرفت. صحت‌سنجی مدل کیفی جهت تأیید مدل در بازه زمانی مهرماه ۱۳۹۳ تا شهریورماه ۱۳۹۴ شامل دو دوره تنش شش‌ماهه صورت گرفته است. همبستگی بین غلظت‌های شبیه‌سازی‌شده در محل چاه‌های مشاهده‌ای و غلظت اندازه‌گیری‌شده صحرائی در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی در شکل (۵) ارائه شده است. با توجه به مقادیر ضریب تبیین مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی همبستگی قابل‌قبولی دارند.

میانگین مطلق خطا در مدل غیرماندگار و مرحله صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۷۴ و ۶۶ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. همچنین میانگین مجذور خطا در مدل غیرماندگار و مرحله صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۱۰۰ و ۸۹ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شده است.

نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل کمی جهت اطمینان از عملکرد مدل ساخته‌شده در شکل (۴-b) ارائه شده است، که بیانگر برازش خوب بین مقادیر محاسباتی و مشاهده‌ای است.

میانگین مطلق خطا در مدل ماندگار، مدل غیرماندگار و مرحله صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۰/۷۵۱، ۰/۵۵۳ و ۰/۷۷۲ متر به‌دست آمد. همچنین میانگین مجذور خطا در مدل ماندگار، غیرماندگار و مرحله صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۰/۶۲۱، ۰/۹۲۲ و ۰/۹۵۸ متر برآورد شد. نتایج به‌دست‌آمده در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی، درستی و مقبولیت مدل را به‌عنوان یک ابزار مدیریتی برای بررسی گزینه‌های مختلف نشان می‌دهد. فرایند واسنجی در مدل کیفی با تغییر پارامترهای مؤثر بر فرایند پخش صورت

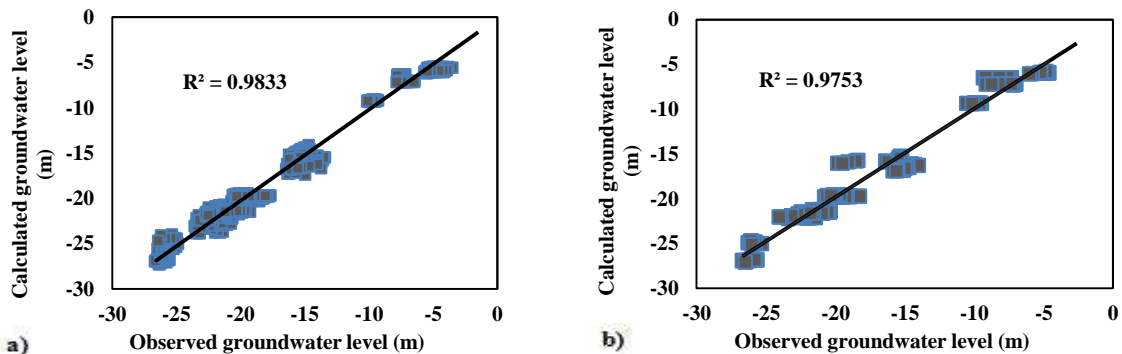


Figure 4. Calculated versus observed groundwater levels a) in the unsteady state calibration MODFLOW model b) in the validation MODFLOW model

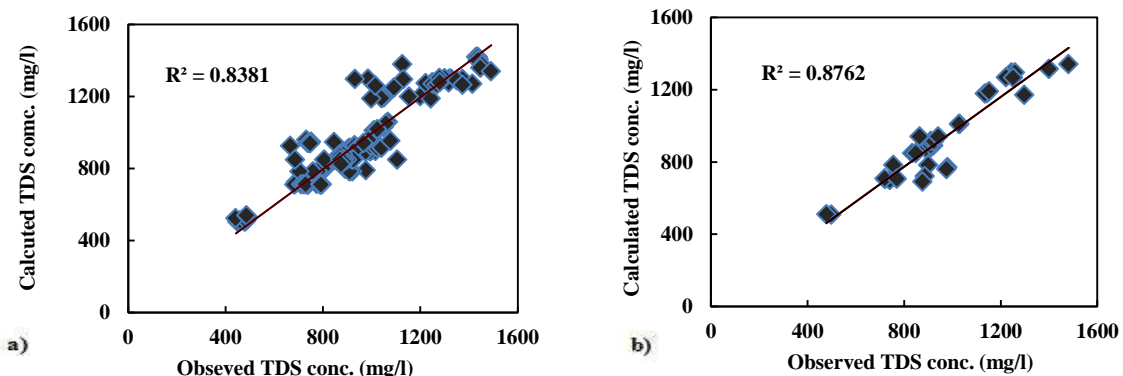


Figure 5. Calculated versus observed TDS concentration a) in the calibration MT3DMS model b) in the validation MT3DMS model

تدوین مدل تصمیم‌گیری

رتبه‌بندی معیارها با روش SWARA

با استفاده از روش SWARA، در گام اول لازم است رتبه‌بندی معیارها با توجه به اهمیت آن‌ها با در نظر گرفتن نظرات بهره‌برداران (۲ نفر) و کارشناسان (۳ نفر) انجام شود. در این پژوهش، پنج پرسش‌نامه به منظور رتبه‌بندی معیارها با توجه به اهمیت آن‌ها مشارکت داشتند. به منظور تعیین رتبه‌دهی مناسب، نتایج اعمال راه‌کارهای مختلف بر وضعیت چهار معیار تعیین و در اختیار تکمیل‌کنندگان پرسش‌نامه قرار گرفت. براساس این نتایج و هدف پژوهش وزن‌دهی انجام گرفت. پس از رتبه‌بندی انجام‌شده، در گام دوم متخصصان باید اهمیت معیار C_j را نسبت به معیار C_{j+1} تعیین کنند. در گام‌های بعدی با اعمال روابط (۵)، (۶) و (۷) به ترتیب ضرایب K_j و q_j و وزن معیارها محاسبه می‌شوند. نتایج روش SWARA در جدول (۲) نشان می‌دهد که با توجه به نظر متخصصان، معیار زیست‌محیطی با وزن 0.28 با ارزش‌ترین معیار در بین سایر معیارها انتخاب شده است. وزن هر معیار میزان اهمیت آن معیار را نشان می‌دهد. همچنین معیارهای اقتصادی و اجتماعی به ترتیب با وزن 0.23 و 0.25 در رتبه‌های بعدی قرار دارند. معیار فنی با وزن 0.22 کم‌اهمیت‌ترین معیار شناخته شده است.

وزن‌دهی معیارها با روش COPRAS

پس از تعیین وزن معیارها، با استفاده از روش COPRAS

گزینه‌های کاهش تهاجم شوری شامل کاهش پنج درصدی پمپاژ (A_1)، کاهش ۱۰ درصدی پمپاژ (A_2)، کاهش ۱۵ درصدی پمپاژ (A_3)، سد زیرزمینی (A_4) و تغذیه مصنوعی (A_5) اولویت‌بندی شدند. برای این منظور ابتدا ماتریس تصمیم اولیه مطابق جدول (۳) ساخته شد. سپس ماتریس تصمیم طبق روابط (۹) و (۱۰)، نرمالیزه و وزن‌دار شده‌اند و نتایج در جدول (۴) نشان داده شده است. در این پژوهش معیار اقتصادی به‌عنوان معیار منفی و سایر معیارها به‌عنوان معیار مثبت در نظر گرفته شده‌اند. معیار منفی معیاری است که با کاهش آن مطلوبیت بیش‌تری حاصل می‌شود.

در گام‌های بعدی، پس از محاسبه مقادیر معیارهای مثبت (S_{i+}) و منفی (S_{i-}) برای هر گزینه، مقدار اهمیت نسبی (Q_i) و شاخص عملکرد (N_i) هر گزینه به دست آمد. شاخص عملکرد هر گزینه با توجه به رتبه آن گزینه متغیر است. هرچه مقدار Q_i و N_i برای یک گزینه بیش‌تر باشد، آن گزینه در رتبه‌های بالاتری قرار خواهد گرفت. براساس نتایج جدول (۵)، گزینه A_1 بیش‌ترین مقدار اهمیت نسبی را نسبت به سایر گزینه‌ها دارد، بنابراین در رتبه اول قرار می‌گیرد. گزینه A_1 که شامل کاهش پنج درصدی پمپاژ آب است به‌عنوان اولویت برتر انتخاب شده است. این گزینه با توجه به وضعیت آبخوان منطقه مورد مطالعه با توجه به جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فنی نسبت به سایر گزینه‌ها در اولویت قرار داشته است. گزینه‌های کاهش ۱۰ درصدی پمپاژ (A_2) و تغذیه مصنوعی (A_5) به ترتیب رتبه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص دادند.

Table 2. Final results of SWARA method in calculating the weights of the criteria

Criteria	Comparative importance of average value (S_j)	Coefficient ($k_j = s_j + 1$)	Recalculated weight	
			$q_j = \frac{q_{j-1}}{k_j}$	$w_j = \frac{q_j}{\sum q_j}$
C_4 Environmental criterion	-	1	1	0.28
C_2 Economic	0.098	1.098	0.91	0.25
C_3 Social	0.076	1.076	0.84	0.23
C_1 Technical	0.062	1.062	0.79	0.22
		Sum	3.55	1

ارزیابی سناریوی منتخب

پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های MODFLOW و MT3DMS، با استفاده از مدل SEAWAT رفتار سیستم تا شهریورماه ۱۴۰۰ بدون اعمال سناریو و با اعمال سناریوی برتر (کاهش پنج درصدی پمپاژ) پیش‌بینی شده است. در این پژوهش خط هم‌غلظت ۵۰ درصد شوری (TDS=17500 mg/l) با توجه به مطالعات *Hussain et al.* (2015) و *Oz et al.* (2015) به‌عنوان مرز مشترک آب شور و شیرین در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از اجرای مدل در شکل‌های (۶)، (۷) و (۸) ارائه شده است که بیانگر پس‌روی ۶۰ متری حرکت گوه آب شور با اعمال پنج درصد کاهش در بهره‌برداری از آب زیرزمینی نسبت به انتهای پیش‌بینی مدل با حفظ روند فعلی است.

Table 3. Initial decision matrix

Criteria	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Min/Max	Max	Min	Max	Max
Weights	0.22	0.25	0.23	0.28
A ₁	3	2	3	7
A ₂	6	4	2	9
A ₃	7	6	1	10
A ₄	2	6	9	5
A ₅	4	7	9	3
Sum	22	25	24	34

Table 4. Weighted normalized matrix

Criteria	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Min/Max	Max	Min	Max	Max
A ₁	0.03	0.02	0.028	0.074
A ₂	0.06	0.04	0.019	0.082
A ₃	0.07	0.06	0.009	0.041
A ₄	0.02	0.06	0.086	0.024
A ₅	0.04	0.07	0.086	0.041

Table 5. Final results and ranking

Alternative	S ₊	S _i	Q	N (%)	Ranking
A ₁	0.13	0.02	0.23	100	1
A ₂	0.16	0.04	0.21	90.49	2
A ₃	0.12	0.06	0.15	65.9	5
A ₄	0.13	0.06	0.16	70.24	4
A ₅	0.16	0.07	0.19	83.7	3

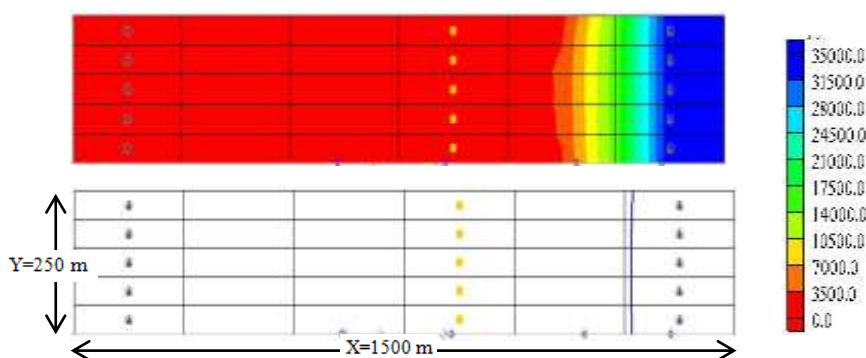


Figure 6. Seawater concentration profile in a vertical cross-section after 1 year

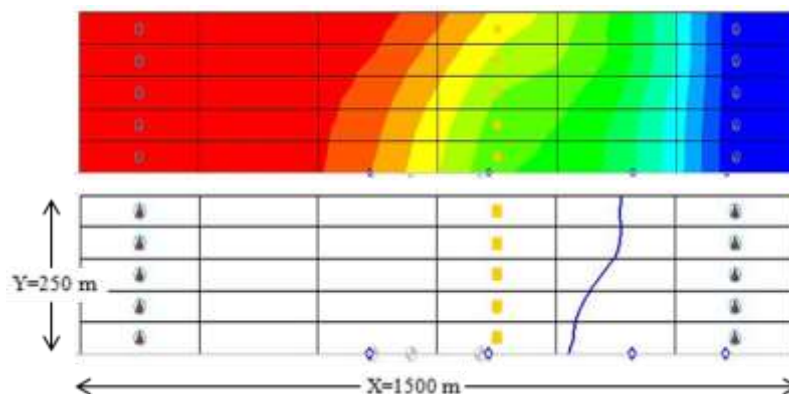


Figure 7. Seawater concentration profile in a vertical cross-section after 5 years

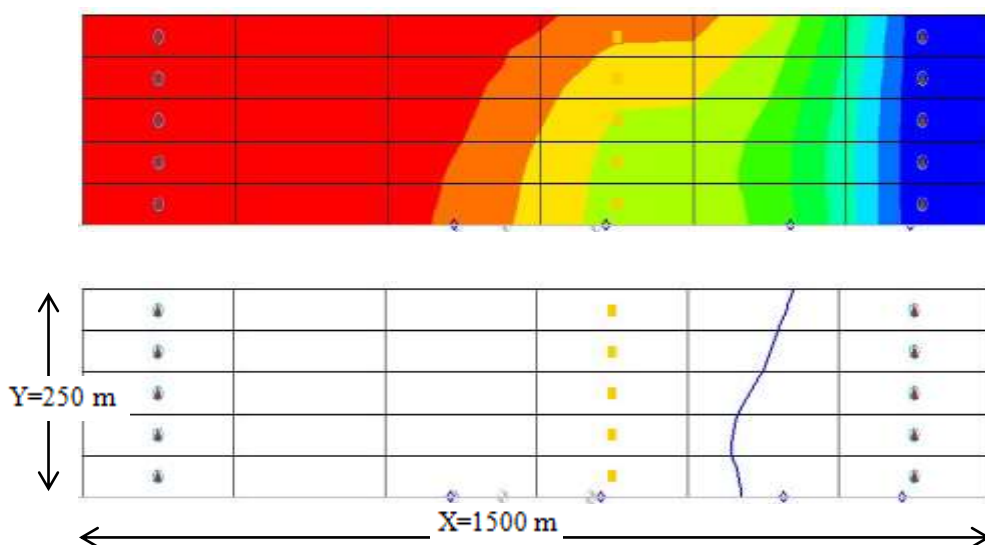


Figure 8. Tajan aquifer response to the 5% decrease in the pumping after 5 years

نتیجه‌گیری

تغییرات در هیدرولوژی نواحی ساحلی، امکان نابودی کیفیت آب زیرزمینی را از طریق حرکت جانبی آب دریا به سمت ساحل که پدیده تهاجم آب شور نامیده می‌شود، فراهم می‌سازد. حفاظت و مدیریت منابع آب زیرزمینی به‌عنوان منبع اصلی تأمین آب شیرین در این مناطق و با توجه به محدودیت منابع آب در برابر تهاجم آب شور، امری ضروری است. در مطالعات پیشین به‌منظور انتخاب یک راه‌کار با هدف کاهش تهاجم آب شور، مجموعه‌ای از معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری شامل عوامل فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جهت تحلیل و ارزیابی مناسب لحاظ نشده بود. بررسی راه‌کارها با در نظرگرفتن معیارهای مؤثر، یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره است که جهت تعیین گزینه مطلوب از میان چندین گزینه به‌کار می‌رود. در این پژوهش، مدیریت آبخوان ساحلی تجن و اولویت‌بندی استراتژی‌های مدیریتی جهت جلوگیری از نابودی کیفیت آب زیرزمینی و نفوذ آب شور با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره موردتوجه قرار گرفته است. در همین راستا در مرحله

اول، باتوجه به نظرات متخصصان، چهار معیار تأثیرگذار در تصمیم‌گیری شامل معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی رتبه‌بندی شدند. نتایج حاصل از روش SWARA نشان داد که معیار زیست‌محیطی بااهمیت‌ترین معیار و نتایج روش COPRAS نشان داد که گزینه مدیریتی (A_1) کاهش پنج درصدی پمپاژ از آب زیرزمینی در رتبه اول و سناریوی منتخب برگزیده شد. در نهایت مدل جریان آب زیرزمینی و انتقال شوری در آبخوان ساحلی تجن در محیط نرم‌افزار GMS تهیه شد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل جریان و انتقال برای سال‌های ۹۴-۱۳۸۹ و دقت قابل‌قبول مدل‌های تهیه‌شده، مدل SEAWAT جهت شبیه‌سازی جریان و انتقال شوری تحت تأثیر تغییرات چگالی و بررسی پاسخ گزینه برتر حاصل از نتایج رویکرد ترکیبی SWARA-COPRAS ساخته شد. نتایج مدل SEAWAT حاکی از کاهش ۶۰ متری نفوذ شوری در آبخوان ساحلی تجن بود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

پی‌نوشت‌ها

- diyala river basin in eastern Iraq. *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 79-86.
13. Javadi, A., Hussain, M., Sherif, M., & Farmani, R. (2015). Multi-objective optimization of different management scenarios to control seawater intrusion in coastal aquifers. *Water Resources Management*, 29(6), 1843-1857.
 14. Kardan moghaddam, H., Banihabib, M. & Javadi, S. (2017a). Assessment of artificial recharge on aquifer restoring using sustainability index. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 4(4), 1241-1253. (In Persian).
 15. Kardan moghaddam, H., Jafari, F. & Javadi, S. (2017b). Vulnerability evaluation of a coastal aquifer via GALDIT model and comparison with DRASTIC index using quality parameters. *Hydrological Sciences Journal*, 62(1), 137-146.
 16. Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258.
 17. Kourakos, G., & Mantoglou, A. (2006). Pumping optimization of coastal aquifers using 3-d density models and approximations with neural networks. In: *Proceedings of XVI International Conference on Computational Methods in Water Resources*, 18-22 June, Copenhagen, Denmark, 1-8.
 18. Lahr, J. H. (1982). Artificial ground-water recharge: A solution to many us water-supply problems. *Groundwater*, 20(3), 262-266.
 19. Lashkarian Nabipay, S., & Davoudi, M. H. (2008). Groundwater dams a way to optimize the management of groundwater resources in watersheds. In: *Proceeding of 4th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran*, 19-20 February, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, Karaj, Iran. (In Persian).
 20. Luyun Jr, R., Momii, K., & Nakagawa, K. (2009). Laboratory-scale saltwater behavior due to subsurface cutoff wall. *Journal of Hydrology*, 377(3-4), 227-236.
 21. Naderi, M. H. (2010). Evaluation of seawater intrusion control methods in coastal/desert. In: *Proceeding of 1st National Conference Coastal Lands, on Water Resources Management*, 8 December, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. (In Persian).

1. Multi Criteria Decision Making
2. Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis
3. Complex Proportional Assessment

منابع

1. Abd-Elhamid, H. F., & Javadi, A. A. (2011). A cost-effective method to control seawater intrusion in coastal aquifers. *Water Resources Management*, 25(11), 2755-2780.
2. Abdoulhalik, A., Ahmed, A., & Hamill, G. A. (2017). A new physical barrier system for seawater intrusion control. *Journal of Hydrology*, 549, 416-427.
3. Bruington, A. E. (1972). Saltwater intrusion into aquifers 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 8(1), 150-160.
4. Essink, G.H.O. (2001). Improving fresh groundwater supply- problems and solutions. *Ocean & Coastal Management*, 44(5-6), 429-449.
5. Faraji Sabokbar, H., Rezvani, M., Behnam Morshedi, H., & Roustaa, H. (2014). Spatial classifying of tourism routes in Fars province on tourism services and facilities. *Human Geography Research*, 46(3), 561-586. (In Persian).
6. García-Cascales, M. S., & Lamata, M. T. (2012). On rank reversal and TOPSIS method. *Mathematical and Computer Modelling*, 56(5-6), 123-132.
7. Ghenai, C., Albawab, M., & Bettayeb, M. (2020). Sustainability indicators for renewable energy systems using multi-criteria decision-making model and extended SWARA/ARAS hybrid method. *Renewable Energy*, 146, 580-597.
8. Hamidi, M., & Sabbagh-Yazdi, S. R. (2008). Modeling of 2D density-dependent flow and transport in porous media using finite volume method. *Computers & fluids*, 37(8), 1047-1055.
9. Han, Z. (2003). Groundwater resources protection and aquifer recovery in China. *Environmental Geology*, 44(1), 106-111.
10. Hussain, M. S., Javadi, A. A., & Sherif, M. M. (2015). Three dimensional simulation of seawater intrusion in a regional coastal aquifer in UAE. *Procedia Engineering*, 119, 1153-1160.
11. Jafari, F., & Eftekhari, M. (2013). Assessment of urmia lake water interactions and saltwater intrusion to surrounding aquifers. *Water and Irrigation Management*, 3(1), 29-47. (In Persian).
12. Jalut, Q. H., Abbas, N. L., & Mohammad, A. T. (2018). Management of groundwater resources in the al-mansourieh zone in the

22. Nasiri, M., Hamidi, M., Kardan moghaddam, H. (2020a). Evaluating the effect of supplying drinking water and agriculture water of Sari-Neka aquifer on the salinity movement with the utilization of Gelvard dam, *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 9(2), 71-88. (In Persian).
23. Nasiri, M., Hamidi, M., & Kardan moghaddam, H. (2020b). Simulation of seawater intrusion in coastal aquifers (case study: the southern shores of the Caspian sea). *Journal of Water and Soil*, 34(2), 269-286. (In Persian).
24. Oz, I., Shalev, E., Yechieli, Y., & Gvirtzman, H. (2015). Saltwater circulation patterns within the freshwater-saltwater interface in coastal aquifers: Laboratory experiments and numerical modeling. *Journal of Hydrology*, 530, 734-741.
25. Shammi, M., Rahman, M., Bondad, S. E., & Bodrud-Doza, M. (2019). Impacts of salinity intrusion in community health: a review of experiences on drinking water sodium from coastal areas of Bangladesh. In *Healthcare*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 7(1), 50.
26. Telmer, K., & Best, M. (2004). Underground dams: a practical solution for the water needs of small communities in semi-arid regions. *Scientific Communication, TERRÆ*, 1(1), 63-65.
27. Todd, D. K. (1959). *Ground water hydrology*. New York, John Wiley & Sons.
28. Tully, K., Gedan, K., Epanchin-Niell, R., Strong, A., Bernhardt, E. S., BenDor, T., & Weston, N. B. (2019). The invisible flood: The chemistry, ecology, and social implications of coastal saltwater intrusion. *BioScience*, 69(5), 368-378.
29. Van Dam, J. C. (1999). Exploitation, restoration and management. *Seawater intrusion in coastal Aquifers Concepts, Methods and Practices*. Dordrecht, Springer.
30. Vengadesan, M., & Lakshmanan, E. (2019). Management of coastal groundwater resources. *Coastal Management*. Academic Press. 383-397.
31. White, E., & Kaplan, D. (2017). Restore or retreat saltwater intrusion and water management in coastal wetlands. *Ecosystem Health and Sustainability*, 3(1), e01258.
32. Zavadskas, E. K., & Kaklauskas, A. (1996). Determination of an efficient contractor byusing the new method of multicriteria assessment. In: Langford, D. A.; Retic, A. (Eds.), In: *Proceeding of International symposium for the organisation and management of construction. Shaping theory and practice. Managing the construction project and managing risk, CIB W 65*, London, 2, 94-104.
33. Zavadskas, E. K., Stević, Ž., Tanackov, I., & Prentkovskis, O. (2018). A novel multicriteria approach-rough step-wise weight assessment ratio analysis method (R-SWARA) and its application in logistics. *Studies in Informatics and Control*, 27(1), 97-106.