University of Tehran Press

**Town & Country Planning**

Home Page: https://jtcp@ut.ac.ir

Online ISSN: 2423-6268

# Environmental and Social Impacts of Securing Water Resources from the Sea

**Nazanin Rahimi[1] | Alireza Bazargan[2*]**

1. School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Iran. Email: nazaninrahimi426@gmail.com
2. Corresponding Author, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Iran. Email: alireza.bazargan@ut.ac.ir

## ARTICLE INFO

**Article type:**
Research Article

**Article History:**
Received January 24, 2025
Revised February 22, 2025
Accepted March 01, 2025
Published online March 19, 2025

**Keywords:**
Desalination,
Energy consumption,
Environmental impacts,
Resource use,
Social impacts.

## ABSTRACT

The primary objective of this paper is to examine the environmental and social impacts of seawater desalination. Given the global water scarcity issue, desalination has gained strategic importance as a solution for providing potable water and irrigation in arid and water-scarce regions. The research methodology includes a review and analysis of existing data from previous studies, as well as the collection of information from reputable scientific sources. The findings indicate that the desalination process has positive social impacts, such as increased access to clean drinking water, a reduction in waterborne diseases, and improved quality of life in arid and coastal areas. This study also explores the environmental benefits of desalination, including the reduction of pressure on natural freshwater resources. However, negative environmental impacts are also present, such as the production of brine waste and the potential for marine water pollution. The study concludes that with proper management and the application of advanced technologies, the negative environmental impacts can be mitigated, allowing for the maximization of the social and environmental benefits of desalination. This research aims to provide a comprehensive and balanced perspective on the impacts of water desalination, highlighting its significance in improving social conditions and protecting the environment.

**Cite this article:** Rahimi, N., & Bazargan, A. (2024-25). Environmental and Social Impacts of Securing Water Resources from the Sea. *Town and Country Planning*. 16 (2), 419-439. http//doi.org/10.22059/jtcp.2025.388939.670491

© The Author(s). **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jtcp.2025.388939.670491

انتشارات دانشگاه تهران

# آمایش سرزمین

سایت نشریه: https://jtcp@ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۶۲۶۸-۲۴۲۳

# پیامدهای محیط‌زیستی و اجتماعی تأمین منابع آب سرزمینی از دریا

نازنین رحیمی[۱] | علی‌رضا بازارگان[۲*]

۱. گروه محیط زیست دانشکدهٔ محیط زیست، دانشکدهٔ فنی، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: nazaninrahimi426@gmail.com

۲. نویسندهٔ مسئول، گروه محیط زیست دانشکدهٔ محیط زیست، دانشکدهٔ فنی، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: alireza.bazargan@ut.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
پژوهشی

**تاریخ‌های مقاله:**
**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۳/۱۱/۰۵
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۱۲/۰۴
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۱۲/۱۱
**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

**کلیدواژه:**
انرژی مصرفی،
پساب شور،
أثیرات اجتماعی،
تأثیرات زیست‌محیطی،
کمبود منابع،
نمک‌زدایی.

**چکیده**

هدف اصلی این مقاله بررسی تأثیر نمک‌زدایی آب دریا بر محیط‌زیست و اجتماع است. با توجه به مشکل کمبود آب جهانی، نمک‌زدایی آب به عنوان راه‌حلی استراتژیک برای تأمین آب شرب و آبیاری در مناطق خشک و کم‌آب اهمیت یافته است. روش تحقیق شامل مرور و تحلیل داده‌های موجود از مطالعات پیشین و جمع‌آوری اطلاعات از منابع علمی معتبر بوده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد فرایند نمک‌زدایی تأثیرات مثبتی از جمله افزایش دسترسی به آب شرب تمیز، کاهش بیماری‌های ناشی از آب آلوده، و بهبود کیفیت زندگی در مناطق خشک و ساحلی بر اجتماع دارد. این تحقیق همچنین مزایای زیست‌محیطی این فرایند را مانند کاهش فشار بر منابع آب شیرین طبیعی بررسی کرده است. با این حال، اثر منفی زیست‌محیطی نیز وجود دارد که شامل تولید پساب شور و احتمال آلودگی آب‌های دریایی است. نتیجه‌گیری این مطالعه نشان می‌دهد با مدیریت صحیح و به‌کارگیری تکنولوژی‌های پیشرفته می‌توان اثر منفی زیست‌محیطی را کاهش داد و از مزایای اجتماعی و زیست‌محیطی نمک‌زدایی بهره‌مند شد. این مطالعه با هدف ارائهٔ دیدگاهی جامع و متعادل در مورد تأثیرات نمک‌زدایی آب انجام شده و اهمیت آن را در بهبود شرایط اجتماعی و حفاظت از محیط زیست برجسته می‌کند.

**استناد:** رحیمی، نازنین و بازارگان، علی‌رضا (۱۴۰۳). پیامدهای محیط‌زیستی و اجتماعی تأمین منابع آب سرزمینی از دریا. *آمایش سرزمین*، ۱۶ (۲) ۴۱۹-۴۳۹.
http//doi.org/10.22059/jtcp.2025.388939.670491

© نویسندگان. **ناشر:** مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/jtcp.2025.388939.670491

## مقدمه

آب منبع حیات و یکی از عوامل اساسی برای حفظ سلامت انسان و حیات در سطح جهان است. با افزایش جمعیت و توسعهٔ صنعتی، نیاز به منابع آب مناسب برای مصارف مختلف انسان به طور چشمگیری افزایش یافته است (Sharma et al., 2024). طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت و برنامهٔ نظارت مشترک یونیسف در سال ۲۰۱۹ حدود ۲,۲ میلیارد نفر در سراسر جهان به آب آشامیدنی سالم دسترسی نداشتند. کمبود آب یک نگرانی فزاینده در سراسر جهان است و متأسفانه هنوز افراد زیادی در جهان وجود دارند که آب آشامیدنی سالم مصرف نمی‌کنند (Khoury et al., 2011; Okafor et al., 2024).

اگرچه پیشرفت قابل توجهی در افزایش دسترسی به آب آشامیدنی سالم صورت گرفته است، در سطح جهان، از هر سه نفر یک نفر به آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارد، از هر پنج نفر دو نفر به یک مرکز اولیهٔ شست‌وشوی دست با آب و صابون دسترسی ندارند، و بیش از ۶۷۳ میلیون نفر به اجابت مزاج باز ادامه می‌دهند. حدود ۲ میلیارد نفر آبی را می‌نوشند که آثار آلودگی توسط مدفوع در بالادست آن موجود است. کمبود آب بیش از ۴۰ درصد از جمعیت جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و پیش‌بینی می‌شود این رقم افزایش یابد. بسیاری از کشورها به نمک‌زدایی به عنوان راه‌حلی برای برآوردن نیازهای آبی خود روی آورده‌اند. درحالی‌که نمک‌زدایی می‌تواند منبع قابل اعتمادی از آب شیرین باشد؛ اما عوارض جانبی مثبت و منفی بر جنبه‌های بهداشتی، زیست‌محیطی، و اجتماعی نیز دارد (Khoury et al., 2011; Wang et al., 2024).

هدف اصلی این مقاله بررسی عوارض جانبی و تأثیرات غیر مستقیم مثبت و منفی نمک‌زدایی آب بر محیط‌زیست و اجتماع است. در این مقاله تلاش می‌شود مزایا و معایب استفاده از فرایند نمک‌زدایی آب در جوانب مختلف مورد بررسی قرار گیرد. در نظر گرفتن این عوارض جانبی هنگام تصمیم‌گیری در مورد پروژه‌های نمک‌زدایی آب مهم است تا بتوان هر گونه تأثیر منفی را به حداقل رساند و از تأثیرات غیر مستقیم آن مطلع شد.

از طرفی، نمک‌زدایی آب می‌تواند اثر مثبت بر محیط‌زیست داشته باشد. با تصفیه و نمک‌زدایی آب، میزان آب قابل استفاده برای مصارف مختلف انسان افزایش می‌یابد. این امر می‌تواند بهبود قابل توجهی در تأمین آب شرب و آبیاری مناطق خشک و کم‌آب داشته باشد. با افزایش توانایی دسترسی به منابع آب، نیاز به استفاده از منابع آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. با ادامهٔ رشد جمعیت جهان، تقاضا برای آب شیرین به‌سرعت در حال افزایش است و نمک‌زدایی آب می‌تواند اثر زیست‌محیطی مثبت با کاهش فشار بر منابع آب شیرین داشته باشد و به حفاظت از آبخوان‌ها و منابع آب زیرزمینی و کاهش خشک‌سالی کمک کند (Almasoudi & Jamoussi, 2024; Tularam & Ilahee, 2007).

همچنین، نمک‌زدایی آب می‌تواند تأثیرات مثبت بر اجتماع داشته باشد. در مناطق کم‌آب و خشک، تأمین منابع آب مناسب می‌تواند تأثیر مستقیم بر توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی داشته باشد. تأمین آب شرب و آبیاری مناسب می‌تواند باعث افزایش سطح زندگی و بهبود کسب‌وکار جامعه شود و از استرس ناشی از کمبود آب جلوگیری کند (Santos et al., 2023; Tularam & Ilahee, 2007).

با این حال، نمک‌زدایی آب با عوارض جانبی و تأثیرات منفی نیز می‌تواند همراه باشد. یکی از عوارض منفی مهم نمک‌زدایی تخلیهٔ شورابه به دریا است که همان آب شور غلیظی است که پس از فرایند نمک‌زدایی باقی می‌ماند. در شرایط نامطلوب، تخلیهٔ شورابه امکان دارد با تغییر سطح شوری آب دریا و ایجاد مناطق خالی از اکسیژن باعث تغییرات شیمیایی و فیزیکی در آب شود و تخلیهٔ این پساب‌ها به منابع آب می‌تواند منجر به آلودگی منابع آب شود و به حیات دریایی و اکوسیستم آسیب برساند (Almasoudi & Jamoussi, 2024; Hosseini et al., 2021; Panagopoulos & Haralambous, 2020).

یکی دیگر از تأثیرات منفی فرایند نمک‌زدایی آب در محیط‌زیست این است که برخی از فرایندهای نمک‌زدایی آب برای کار به مقادیر زیادی انرژی نیاز دارند و باعث مصرف زیاد آن می‌شوند (Almasoudi & Bassam, 2024). این انرژی ممکن است از منابع فسیلی و آلاینده تولید شود که می‌تواند منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی و آلودگی هوا شود. جهت کاهش رد پای کربن تعدادی از محققان استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشید و بادی را برای تأمین انرژی

فرایند نمک‌زدایی پیشنهاد کرده‌اند (Cabrera et al., 2024; Mohammed et al., 2024; Nurjanah et al., 2024). بنابراین، استفادهٔ بهینه از انرژی در فرآیند نمک‌زدایی آب بسیار حائز اهمیت است (Tularam & Ilahee, 2007).

علاوه بر این، فرایند نمک‌زدایی آب دارای تأثیرات منفی از منظر اجتماعی نیز هست. ساخت کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن می‌تواند آثار اجتماعی منفی مانند مهاجرت افراد بومی و ایجاد اختلال در معیشت سنتی داشته باشد و باعث ایجاد احساس امنیت کاذب و تداوم بخشیدن به الگوهای ناپایدار مصرف آب شود. همچنین، تنش اجتماعی به دلیل هزینه‌های بالای فرایند نمک‌زدایی آب امکان بروز دارد. نیز در صورتی که بودجهٔ شهر به میزان کافی در نظر گرفته نشود اختلاف بر سر تخصیص آب بین گروه‌های مختلف یکی دیگر از آثار اجتماعی منفی فرایند نمک‌زدایی آب دریاست (Tsalidis et al., 2023). از دیگر عوارض اجتماعی منفی فرایند نمک‌زدایی آب این است که استفاده از زمین‌های ساحلی برای ساخت کارخانه‌های نمک‌زدایی باعث تغییر کاربری این مناطق از گردشگری و تفریحی به صنعتی می‌شود. این تغییر کاربری می‌تواند به تخریب زیستگاه‌های طبیعی و فرهنگی ساحل منجر شود و به اکوسیستم‌های دریایی آسیب برساند. همچنین، این فعالیت‌ها می‌توانند به کاهش کیفیت چشم‌انداز ساحلی و کاهش فعالیت‌های ماهیگیری به دلیل آسیب به حیات دریایی منجر شوند که در نهایت بر معیشت جوامع محلی تأثیر منفی می‌گذارد (Pérez et al., 2020; Tularam & Ilahee, 2007).

بنابراین، هنگام برنامه‌ریزی و اجرای چنین پروژه‌هایی ضروری است اثر بالقوهٔ نمک‌زدایی را از منظرهای مختلف به‌دقت در نظر گرفت. این امر مستلزم یک ارزیابی جامع از هزینه‌ها و مزایای نمک‌زدایی است.

## اهداف و سؤالات پژوهش

۱. عوارض جانبی و تأثیرات غیر مستقیم مثبت و منفی نمک‌زدایی آب بر محیط زیست چیست؟
۲. عوارض جانبی و تأثیرات غیر مستقیم مثبت و منفی نمک‌زدایی آب بر جامعه چیست؟

## پیشینهٔ نظری و تجربی پژوهش

نمک‌زدایی آب دریا به عنوان یک راهکار برای تأمین آب در مناطق خشک و کم‌آب مورد توجه قرار گرفته است. این فرایند با کاهش وابستگی به منابع آب زیرزمینی و سطحی نقش مهمی در مدیریت منابع آبی ایفا می‌کند. با این حال، تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی آن چالش‌هایی را به همراه دارد. مطالعات نشان می‌دهند یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های زیست‌محیطی تأثیر پساب شور بر اکوسیستم‌های دریایی است که می‌تواند منجر به تغییر در شوری آب و کاهش اکسیژن محلول شود. همچنین، مصرف بالای انرژی در برخی فناوری‌های نمک‌زدایی نگرانی‌هایی در خصوص انتشار گازهای گلخانه‌ای ایجاد کرده است.

از دیدگاه اجتماعی، تأمین آب شرب از طریق نمک‌زدایی می‌تواند بهبود شرایط زندگی، افزایش سطح بهداشت عمومی، و کاهش بیماری‌های ناشی از آب آلوده را به دنبال داشته باشد. در برخی کشورها، این فناوری موجب توسعهٔ اقتصادی و صنعتی شده است. با این حال، هزینه‌های بالای نمک‌زدایی و تأثیر آن بر عدالت اجتماعی در دسترسی به منابع آب موضوعی است که باید مورد توجه قرار گیرد. تجربیات جهانی نشان می‌دهند موفقیت پروژه‌های نمک‌زدایی به مدیریت صحیح شورابه، استفاده از فناوری‌های پایدار، و تأمین مالی مناسب بستگی دارد.

## روش تحقیق

این پژوهش با هدف بررسی تأثیرات محیط‌زیستی و اجتماعی نمک‌زدایی آب دریا انجام شده است. در این راستا، از مرور سیستماتیک مطالعات علمی و تحلیل داده‌های موجود استفاده شده است. معیارهای انتخاب منابع شامل دامنهٔ زمانی (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴)، نوع منبع (مقالات علمی معتبر و گزارش‌های سازمان‌های بین‌المللی)، و حوزهٔ پژوهشی (مطالعات مرتبط با پیامدهای محیط‌زیستی و اجتماعی نمک‌زدایی) بوده است.

پایگاه‌های داده مورد استفاده شامل ScienceDirect، PubMed، Google Scholar، Web of Science، و Scopus بود و جست‌وجو با استفاده از کلمات کلیدی مرتبط انجام شد. برای تحلیل داده‌ها از روش‌های ترکیبی شامل بررسی کیفی و کمی

استفاده شد. داده‌های کمی شامل میزان شورابهٔ تولیدی، تأثیرات بر تنوع زیستی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، و هزینه‌های اجتماعی بررسی شدند. داده‌های کیفی نیز از طریق تحلیل محتوای مطالعات موردی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

### تحلیل داده‌ها

داده‌ها با استفاده از روش‌های تحلیلی- توصیفی بررسی و تفسیر شدند. این تحلیل‌ها با هدف شناسایی الگوها و روابط موجود در داده‌ها انجام شد. داده‌های کمی با استفاده از آمار توصیفی و تحلیل همبستگی مورد بررسی قرار گرفتند و یافته‌های کیفی از طریق تحلیل محتوای مطالعات موردی و روش مقایسه‌ای ارزیابی شدند.

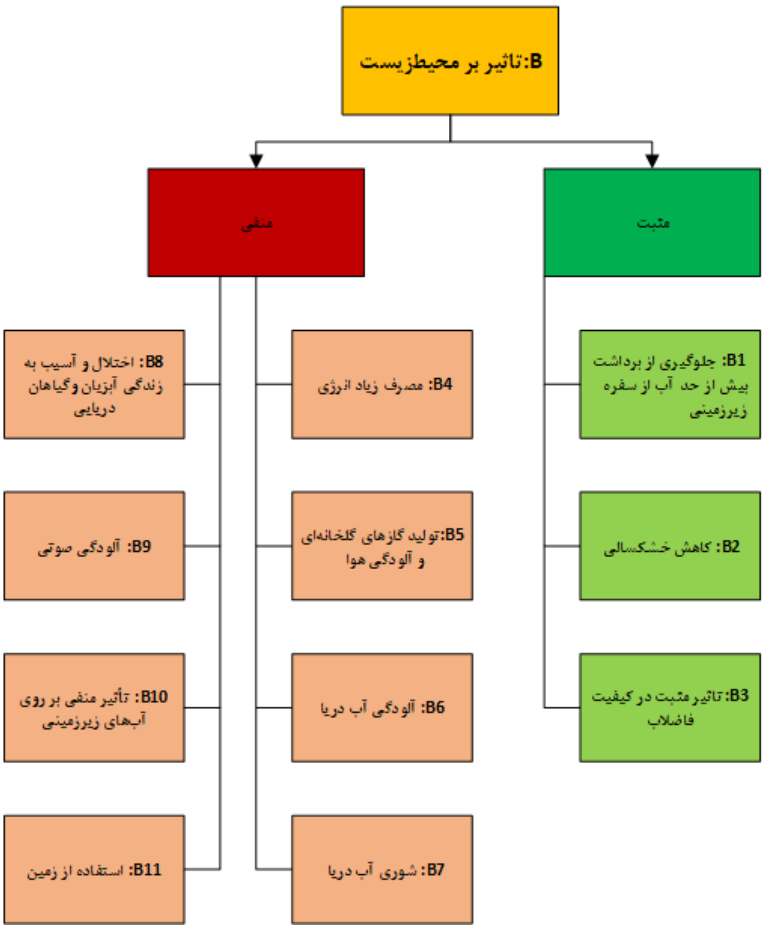
### تدوین گزارش نهایی

در این مرحله، نتایج تحقیق به صورت جامع و سازمان‌یافته در قالب گزارش نهایی تدوین شد. همهٔ بخش‌های مقاله با مطالعات مشابه مقایسه شدند تا میزان تطابق و اختلاف آن‌ها مشخص شود.

## یافته‌های پژوهش

### تأثیر بر محیط زیست

نمک‌زدایی آب دریا شامل تأثیرات گسترده‌ای بر محیط زیست می‌شود. شکل ۱ تأثیرات مختلف، اعم از مثبت و منفی، فرایند نمک‌زدایی آب دریا بر محیط زیست را به طور جامع نشان می‌دهد. هدف از این نمودار ارائهٔ دیدگاهی جامع از مزایا و چالش‌های زیست‌محیطی نمک‌زدایی آب دریا است.




**شکل ۱. تأثیرات نمک‌زدایی آب دریا بر محیط‌زیست**

## تأثیرات مثبت بر محیط زیست

### B1. جلوگیری از برداشت بیش از حد آب از سفرهٔ زیرزمین

امروزه بیشتر آب آشامیدنی جهان از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود. افزایش تقاضا برای آب آشامیدنی منجر به استفادهٔ بیش از حد از این منابع و کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینی در بسیاری از مناطق شده است. رشد جمعیت، به‌ویژه در مناطق ساحلی، باعث کاهش سطح آب زیرزمینی به دلیل پمپاژ بیش از حد می‌شود (Scanlon et al., 2023; Tularam & Ilahee, 2007). در برخی مناطق، نمک‌زدایی آب دریا می‌تواند به کاهش اتکا به آب‌های زیرزمینی کمک کند، که این امر به حفظ منابع آب شیرین و پایداری آن‌ها در بلندمدت کمک می‌کند (Niazi et al., 2024).

### B2. کاهش خشک‌سالی

تحقیقات نشان می‌دهد با پیشرفت فناوری و کاهش هزینه‌ها نمک‌زدایی آب دریا به گزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه تبدیل شده است که به کاهش خشک‌سالی کمک می‌کند. این فرایند منبع مستقلی از آب شیرین فراهم می‌آورد که وابسته به چرخهٔ طبیعی هیدرولوژیکی نیست (Gude, 2016, 2017). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تا سال ۲۰۵۰ تعداد افرادی که از آب نمک‌زدایی‌شده استفاده می‌کنند، به‌ویژه در کشورهای ساحلی با کمبود آب، به طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت(Gao et al., 2017).

### B3.تأثیر مثبت بر کیفیت فاضلاب

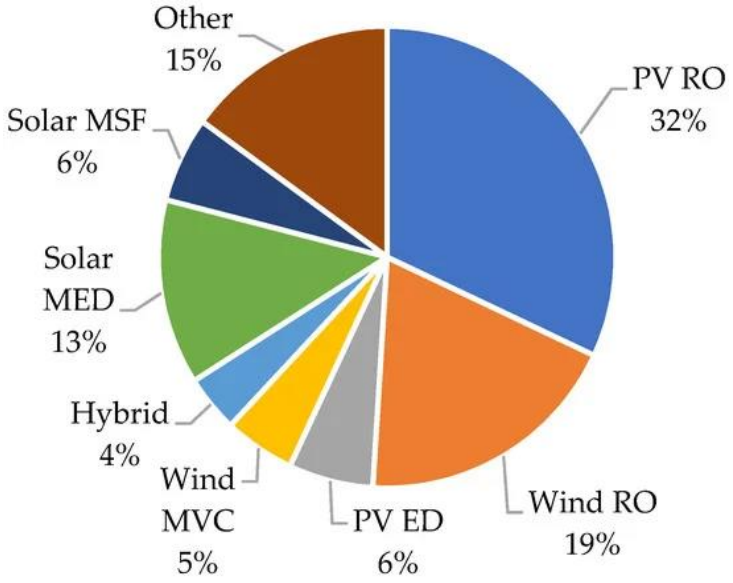
آب نمک‌زدایی‌شده معمولاً دارای مواد معدنی کم است. بنابراین، قبل از اینکه به شبکهٔ توزیع آب وارد شود به معدنی‌سازی مجدد نیاز دارد تا از خوردگی لوله‌ها و دیگر زیرساخت‌ها جلوگیری شود. معدنی‌سازی به طور خاص به افزودن کلسیم و تنظیم pH آب می‌پردازد تا تعادل حاصل شود. این فرایند به حفظ کیفیت آب کمک می‌کند و مانع از آسیب به زیرساخت‌های آب‌رسانی می‌شود (Nelson & Luca, 2021). این عمل نه‌تنها کیفیت آب را حفظ می‌کند بلکه به بهبود کیفیت فاضلاب نیز کمک می‌کند. زیرا فاضلاب ناشی از مصرف این آب دارای خصوصیات شیمیایی پایدارتر و خورندگی کمتر خواهد بود.

## تأثیرات منفی بر محیط‌زیست

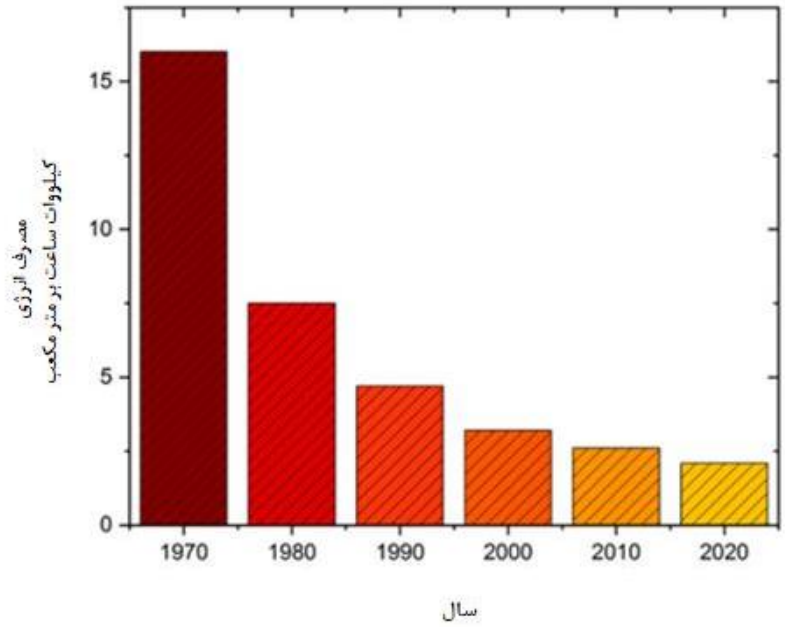
### B4. مصرف زیاد انرژی

فرایندهای نمک‌زدایی آب دریا به انرژی زیادی نیاز دارند که اکثر آن‌ها برای فرایند نمک‌زدایی و بقیهٔ آن‌ها برای مواردی مانند سرمایش/ گرمایش، حمل و نقل، و تخلیهٔ شورابه مصرف می‌شود (Soliman et al., 2021; triki, 2023). فرایندهای نمک‌زدایی به دو دستهٔ حرارتی (با مصرف انرژی بالاتر) و غشایی (با مصرف انرژی پایین‌تر) تقسیم می‌شوند. پیشرفت‌ها در فناوری‌های غشایی مصرف انرژی را بیش از این کاهش خواهد داد (Abdelkareem et al., 2018; Lesimple et al., 2020). گرچه این امر فراگیر نیست، بعضی از پژوهشگران استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کنار فرایندهای نمک‌زدایی را پیشنهاد کرده‌اند که شکل ۲ توزیع انرژی‌های تجدیدپذیر در کنار فناوری نمک‌زدایی را نشان می‌دهد (Chauhan et al., 2021; Do Thi et al., 2021).

مصرف انرژی در هر فناوری متفاوت است. مثلاً در روش الکترودیالیز ایجاد تأثیر الکتریکی بین الکترودها به انرژی زیاد نیاز دارد (Einav et al., 2003) . از آغاز نمک‌زدایی صنعتی، مصرف انرژی یکی از مشکلات اصلی بوده است. در دههٔ ۱۹۷۰ مصرف انرژی در فرایند اسمز معکوس ۱۶ کیلووات ساعت بر مترمکعب بود؛ درحالی‌که این مقدار در سال ۲۰۲۰ به حدود ۲ کیلووات ساعت به ازای هر مترمکعب آب شیرین در آزمایشگاه کاهش یافت ((Panagopoulos & Haralambous, 2020)) که در شکل ۳ نشان داده شده است. این کاهش مصرف انرژی در سال‌های اخیر به دلیل بهبود فناوری‌ها، به‌ویژه در روش‌های غشایی، است. با توجه به شرایط واقعی صنعتی (که از شرایط آزمایشگاهی فاصله دارد) مصرف انرژی در حال حاضر حدود ۴ کیلووات‌ـ ساعت به ازای تولید هر مترمکعب آب شیرین از دریاست (Einav et al., 2003).




**شکل ۲. تکنیک‌های نمک‌زدایی تغذیه‌شده توسط منابع انرژی تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۷ (برگرفته از Do Thi et al., 2021)**




**شکل ۳. کاهش مصرف انرژی اسمز معکوس. میله ها حداقل مصرف انرژی گزارش شده اسمز معکوس را در هر دوره زمانی نشان می‌دهند. برگرفته از مقاله (Panagopoulos & Haralambous, 2020)**

### B5: تولید گازهای گلخانه ای و آلودگی هوا:

نمک‌زدایی آب دریا معمولاً از سوخت‌های فسیلی برای تأمین انرژی استفاده می‌کند که باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها می‌شود (Hosseini et al., 2021; Panagopoulos & Haralambous, 2020; Roberts et al., 2010). همچنین، مانند هر فعالیت صنعتی دیگر، فعالیت‌های ساختمانی در پروژه‌های نمک‌زدایی ممکن است باعث تولید گرد و غبار و آلاینده‌های هوا شود (Liu et al., 2013; Panagopoulos & Haralambous, 2020). با وجود این، این نوع آلودگی مختص به فعالیت‌های ساختمانی در پروژه‌های نمک‌زدایی نیست و به طور عمومی در تمام پروژه‌های ساخت‌وساز رخ می‌دهد.

### B6. آلودگی آب دریا

کارخانه‌های نمک‌زدایی برای ضدعفونی آب و جلوگیری از مشکلات بیولوژیک از مواد شیمیایی مانند کلر استفاده می‌کنند که در صورت مدیریت نادرست ممکن است به آسیب به آبزیان منجر شوند (Soliman et al., 2021). همچنین، فلزات سنگین و مواد شیمیایی باقی‌مانده در شورابهٔ تخلیه‌شده می‌توانند تأثیرات مضری بر گونه‌های دریایی و آلودگی محیط زیست داشته باشند (Kassouar et al., 2024). این فلزات معمولاً در فناوری‌های حرارتی مشاهده می‌شوند. زیرا دمای بالا باعث خوردگی تجهیزات فلزی مانند آلیاژهای مس و نیکل می‌شود. در مقابل، فناوری‌های مبتنی بر غشای نوین از مواد غیرفلزی (مانند پلیمرها) استفاده می‌کنند، که آلودگی به فلزات سنگین را در آن‌ها کاهش می‌دهد (Hosseini et al., 2021). علاوه بر این، تخلیهٔ فیلتربک‌واش به دریا می‌تواند ذرات معلق و آلودگی‌های جامد را افزایش دهد و نفوذ نور به آب را کاهش دهد. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، این امر می‌تواند منجر به تغییر رنگ منطقهٔ تخلیه به رنگ قهوه‌ای قرمز شود، به‌ویژه زمانی که نمک‌های فریک به‌عنوان منعقدکننده استفاده شوند (Lattemann & El-Habr, 2009).

**شکل ۴. تخلیهٔ دوره‌ای آب فیلتربک‌واش از کارخانهٔ نمک‌زدایی آشکلون در فلسطین اشغالی (برگرفته از Lattemann & El-Habr, 2009)**

### B7. شوری آب دریا

شوری بالای شورابه، که تا ۲ برابر بیشتر از شوری آب دریاست، می‌تواند آسیب به اکوسیستم دریایی وارد کند (Hosseini et al., 2021; Panagopoulos & Haralambous, 2020). در صورت عدم رقیق‌سازی و پراکندگی مناسب (Omerspahic et al., 2022; Sirota et al., 2024) آب نمک غلیظ به دلیل وزن مخصوص بالای خود معمولاً به کف دریا فرومی‌رود و مانع از اختلاط مناسب با آب می‌شود (Einav et al., 2003). جدول ۱ خلاصه‌ای از تحقیقات در مورد تأثیر افزایش شوری و دما در نتیجهٔ تخلیهٔ شورابه به دریا را نشان می‌دهد (Hosseini et al., 2021). مدیریت صحیح این کنسانتره‌ها و استفاده از فناوری‌های کم‌تأثیرتر برای کاهش اثر منفی آن‌ها بر محیط زیست ضروری است (Tu et al., 2024).

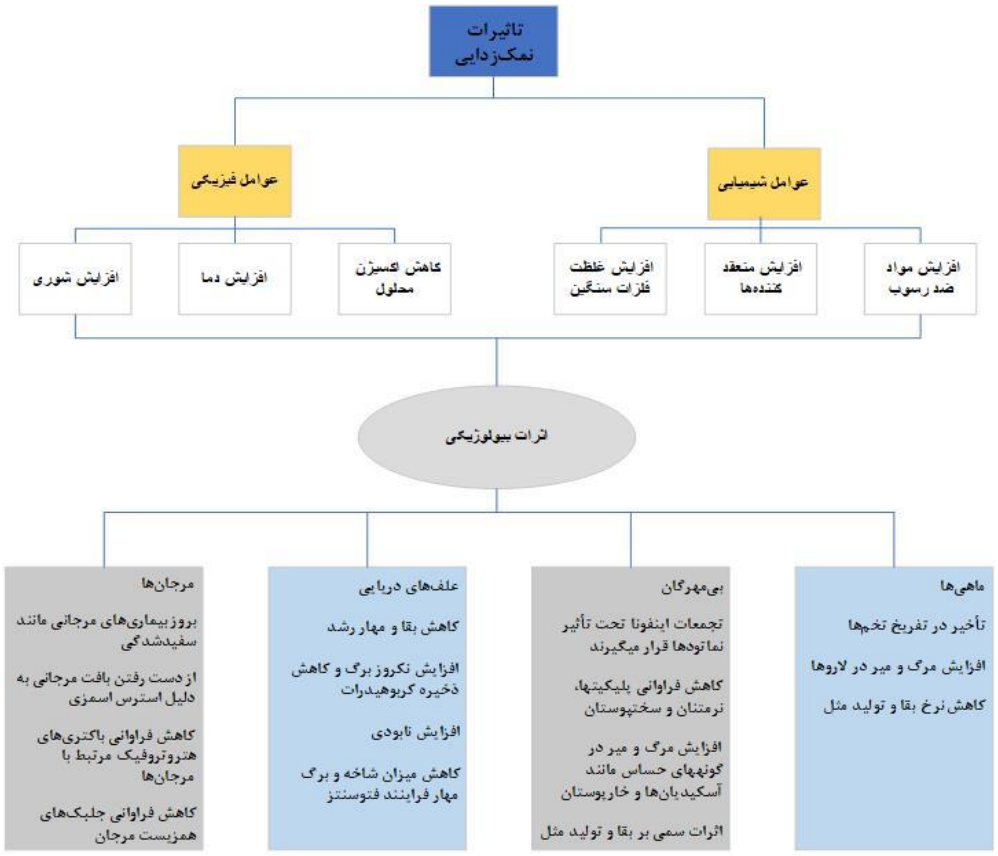
به منظور کاهش این آثار، استفاده از فناوری‌هایی چون تخلیهٔ صفر مایع (ZLD)، که املاح درون شورابه را به حالت جامد از آن جدا می‌کند، در سال‌های اخیر مورد تحقیق قرار گرفته است. همچنین، بازچرخانی پساب در فرایندهای صنعتی امکان استفادهٔ مجدد از آب شور را فراهم می‌آورد و اثر زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. روش‌های دیگر همچون پراکندگی کنترل‌شده و تزریق پساب به زمین می‌توانند به پیشگیری از تجمع آب شور و کاهش آسیب‌های اکولوژیکی کمک کنند (Pramanik et al., 2017).

**جدول ۱. اثر افزایش شوری و دما در نتیجهٔ تخلیهٔ آب نمک (برگرفته از (Hosseini et al., 2021)**

| علت | مدت و مکان مطالعه | تکنیک نمک‌زدایی | پارامتر/ موجودات تحت تأثیر | نتیجه | منابع |
|---|---|---|---|---|---|
| افزایش شوری، ۶۸ PSU(واحد شوری آب دریا) تخلیه‌شده | از ژوئن ۲۰۰۳ تا آگوست ۲۰۰۴، نزدیکی کارخانهٔ آب‌شیرین‌کن اسمزمعکوس (RO) در آلیکانته، اسپانیا | اسمز معکوس | علف‌های دریایی Posidonia oceanica | کاهش رشد برگ‌ها، افزایش نکروز و مرگ‌ومیر | Fernández-Torquemada & Sánchez-Lizaso, (2005) |
| افزایش شوری، ۳۷، ۳۹، ۴۱، ۴۳، PSU | آزمایشگاه شبیه‌سازی برای ۴۷ روز، شبیه‌سازی شرایط طبیعی مدیترانه زمانی که در معرض تخلیهٔ نمک قرار می‌گیرد. | - | علف‌های‌دریایی Cymodocea nodosa | تضعیف نرخ فتوسنتزی | Sandoval-Gil et al., 2012) |
| افزایش شوری، ۴۰ و PSU ۴۶ | ژوئن ۲۰۱۵ تا دسامبر ۲۰۱۵، نزدیکی کارخانهٔ آب‌شیرین‌کن هادرا، فلسطین اشغالی | اسمز معکوس | باکتری‌های بستر | کاهش ۶۰ درصد در فراوانی گونه‌های باکتریایی | Frank et al., 2017) |
| افزایش شوری، ۵۵٫۶ و ppt ۵۴٫۷ تخلیه‌شده | نزدیکی کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن مرسا حمرا و شلاتین، مصر | اسمز معکوس | صخره‌های مرجانی | سفیدشدگی و مرگ مرجان‌ها | (Nasr et al., 2019) |
| افزایش شوری به میزان ۱۰ درصد و مواد ضد رسوب | ژوئن ۲۰۱۶، شمال خلیج عقبه، فلسطین اشغالی | اسمز معکوس | مرجان‌های Stylophora pistillata, Acropora tenuis, Pocillopora verrucosa | سفیدشدگی جزئی مرجان‌ها؛ کاهش در فراوانی باکتری‌ها و جلبک‌های هم‌زیست | Petersen et al., 2018) |
| افزایش دما ۵–۶ درجهٔ سلسیوس بالاتر از محیط | ژوئن ۲۰۱۶ تا آوریل ۲۰۱۷، اشکلون، فلسطین اشغالی | اسمز معکوس | روزن‌داران کفزی | کاهش در فراوانی و غنای گونه‌های روزن‌داران بستر | Kenigsberg et al., 2020) |
| افزایش شوری، ۴۳٫۴۵ PSU۰٫۴۰ ± | آگوست ۲۰۱۵، کارخانهٔ بوسفر واقع در خلیج اوران | اسمز معکوس | نرم‌تنان Patella rustica | افزایش فعالیت آنزیم‌های دفاعی، آنتی‌اکسیدان، و همچنین آسیب‌های مولکولی به بافت | Benaissa et al., 2017) |

### B8. آسیب به زندگی آبزیان و گیاهان دریایی

تخلیهٔ آب نمک با شوری بالا به دریا می‌تواند باعث کاهش تنوع زیستی و تخریب زیستگاه‌های دریایی شود. این تغییرات به‌ویژه بر میکروارگانیسم‌های دریایی، مانند پلانکتون‌ها، اثر منفی می‌گذارد و توانایی آن‌ها در تنظیم اسمزی را مختل می‌کند. همچنین، افزایش دما و شوری می‌تواند سمیت فلزات را افزایش دهد و سلامت موجودات دریایی را تهدید کند. کاهش اکسیژن محلول نیز می‌تواند به مرگ‌ومیر گونه‌های مختلف مانند ماهی‌ها و صدف‌ها منجر شود. این فرایند همچنین می‌تواند بر فتوسنتز میکروارگانیسم‌ها و رشد علف‌های دریایی اثر منفی بگذارد (Chang et al., 2024; Hosseini et al., 2021). همچنین، همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده، تخلیهٔ آب نمک توسط کارخانه‌های نمک‌زدایی در خلیج فارس می‌تواند بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی تأثیر بگذارد و باعث آسیب به گونه‌های ساکن در اطراف کارخانه‌ها شود (Sharifinia et al., 2019).




**شکل ۵. تأثیرات بالقوهٔ آب‌شیرین‌کن‌ها بر اکوسیستم خلیج‌فارس (DO، اکسیژن محلول) (برگرفته از (Sharifinia et al., 2019)**

### B9. آلودگی صوتی

نمک‌زدایی آب دریا می‌تواند آلودگی صوتی ایجاد کند. صدای ناشی از ساخت‌وساز و استفاده از تجهیزات سنگین در مرحلهٔ ساخت، به‌ویژه در مناطق مسکونی و طبیعی، آزاردهنده است، هرچند موقتی و مشابه دیگر پروژه‌های ساختمانی است. پس از راه‌اندازی کارخانه، پمپ‌ها و موتورها تولید سروصدا می‌کنند که در مناطق آرام ممکن است مشکل‌ساز باشد (Laspidou et al., 2010). دستگاه‌های نمک‌زدایی نیاز به پمپ‌ها و توربین‌های فشار بالا دارند که صدای زیادی تولید می‌کنند. بنابراین باید در مکان‌های دور از مناطق مسکونی یا با استفاده از فناوری‌های کاهش نویز نصب شوند (Einav et al., 2003). همچنین، آلودگی صوتی می‌تواند بر حیات دریایی تأثیر بگذارد (Nasrollahi et al., 2023)؛ گرچه صنعت نمک‌زدایی آلودگی صوتی به صورت ویژه یا خاص ندارد.

### B10. تأثیر منفی بر آب‌های زیرزمینی

نمک‌زدایی می‌تواند بر آب‌های زیرزمینی تأثیر بگذارد، به‌ویژه زمانی که لوله‌های حمل آب دریا یا آب شور در مجاورت منابع آب زیرزمینی قرار گیرند. نشت یا تراوش آب شور می‌تواند به تغییر سطح ایستابی و کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی منجر شود. برای جلوگیری از این مشکلات، استفاده از روش‌های مؤثر آب‌بندی و نصب آشکارسازهای نشت که قادر به توقف فوری پمپاژ باشند مؤثر است. همچنین، انتخاب مکان‌های مناسب برای نصب لوله‌ها که کمترین آسیب را به منابع آب زیرزمینی وارد کند اهمیت زیادی دارد (Einav et al., 2003).

### B11. استفاده از زمین

ارزش زیست‌محیطی استفاده از زمین برای پروژه‌های نمک‌زدایی به عواملی مانند تراکم جمعیت و سطح آگاهی محلی بستگی دارد. مناطقی با اهمیت زیست‌محیطی بالا، مانند سواحل مرجانی استرلیا، ممکن است نیاز به حفاظت بیشتری داشته باشند. پروژه‌های نمک‌زدایی که ۲۵۰ هزار مترمکعب آب شیرین در شبانه‌روز تولید می‌کنند معمولاً حدود ۲۵ هکتار زمین نیاز دارند ( Einav et al.,

2003). یکی از راه‌های کاهش استفاده از زمین‌های ساحلی احداث تأسیسات در داخل خاک و استفاده از لوله‌ها برای انتقال آب دریا است، هرچند این روش با خطر آلودگی سفره‌های زیرزمینی ناشی از نشت آب نمک همراه است. ساخت تأسیسات در نزدیکی زیرساخت‌های موجود می‌تواند آثار محیطی را به حداقل برساند (Einav et al., 2003; Pagliero et al., 2024).

## بررسی تأثیرات بلندمدت نمک‌زدایی بر محیط زیست و اقلیم

فرایندهای نمک‌زدایی، به‌ویژه در مقیاس‌های بزرگ، ممکن است تأثیرات بلندمدت قابل توجهی بر محیط‌زیست و جوامع انسانی داشته باشند که نیازمند تحلیل‌های دقیق و جامع‌تری هستند. یکی از آثار مهم بلندمدت این فرایندها تغییرات اقلیمی ناشی از مصرف انرژی است. استفادهٔ گسترده از انرژی به‌ویژه زمانی که این انرژی از منابع فسیلی تأمین می‌شود می‌تواند منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه تشدید تغییرات اقلیمی در بلندمدت شود. علاوه بر این، پساب‌های شور حاصل از فرایندهای نمک‌زدایی و تجمع آن‌ها در محیط‌های آبی می‌تواند منجر به افزایش شوری و تغییرات در اکوسیستم‌های دریایی شود. این تغییرات شامل کاهش تنوع زیستی و اختلال در چرخه‌های طبیعی اکوسیستم‌هاست که تبعات گسترده‌ای برای امنیت آبی و پایداری محیط زیستی ایجاد می‌کند (Fallatah et al., 2021; Medeazza & Moreau, 2007).

برای تحلیل این تأثیرات درازمدت، استفاده از مدل‌های آینده‌نگرانه[1] به عنوان ابزار مؤثر برای پیش‌بینی نتایج بلندمدت فرایندهای نمک‌زدایی ضروری است. این مدل‌ها قادرند تأثیرات بلندمدت مصرف انرژی، تغییرات اقلیمی، و تغییرات اکوسیستمی ناشی از آن‌ها را شبیه‌سازی کنند و به‌ویژه در طراحی استراتژی‌های پایدار و مدیریت بهینهٔ آثار منفی این فرآیندها در آینده راه‌حل‌های مبتنی بر داده‌های علمی و مدل‌سازی پیشرفته ارائه دهند (Mannan et al., 2019).

## تأثیر بر اجتماع

نمک‌زدایی آب دریا تأثیرات قابل توجهی بر اجتماع دارد. شکل ۶ تأثیرات مختلف، از جمله تأثیرات مثبت و منفی، را نشان می‌دهد. این نمودار به طور کامل نشان می‌دهد چگونه فرایند نمک‌زدایی می‌تواند به طور هم‌زمان به بهبود وضعیت اجتماعی و ایجاد چالش‌های جدید منجر شود.

### تأثیرات مثبت در جامعه

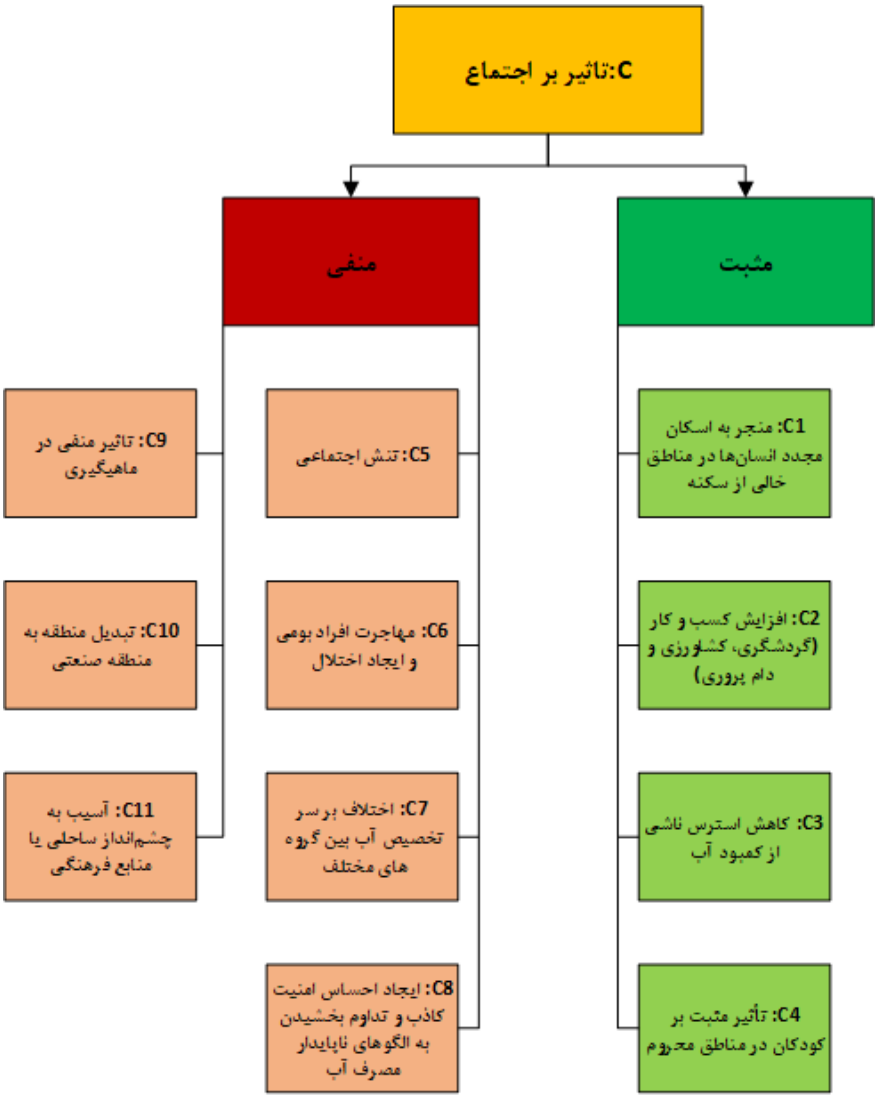
### C1. اسکان مجدد انسان‌ها در مناطق خالی از سکنه

تصفیهٔ آب دریا می‌تواند به توسعهٔ مناطق کم‌جمعیت کمک کند. با فراهم کردن منابع آب پایدار، امکان کشاورزی و جذب سکونتگاه‌ها و کسب‌وکارها فراهم می‌شود که باعث بهبود شرایط زندگی و افزایش جذابیت این مناطق برای مهاجرت داخلی و خارجی می‌شود (Gao et al., 2017; Liu et al., 2013).

### C2. افزایش کسب‌وکار

تصفیهٔ آب دریا می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر اقتصاد مناطق مختلف داشته باشد. با بهبود دسترسی به آب فرصت‌های شغلی افزایش می‌یابد و کسب‌وکارهای محلی رشد می‌کنند (Mishra, 2023)؛ به‌ویژه صنایع مرتبط با دریا مانند گردشگری و صیادی از این توسعه بهره‌مند می‌شوند و سرمایه‌گذاری در منطقه تقویت می‌شود (El-Hady B. Kashyout et al., 2021; Gao et al., 2017). در نهایت، تصفیهٔ آب دریا به بهبود زیرساخت‌ها، ایجاد فرصت‌های شغلی، و جذب سرمایه‌گذاری کمک می‌کند و می‌تواند تأثیر اقتصادی مثبت و پذیرش اجتماعی را به همراه داشته باشد (Liu et al., 2013; Ram et al., 2022). این فرایند همچنین صنایعی را که به آب نیاز دارند تقویت و فرصت‌های شغلی جدید ایجاد می‌کند (Ayaz et al., 2022; El-Hady B. Kashyout et al., 2021). بهبود دسترسی به آب تصفیه‌شده می‌تواند به تقویت اقتصاد منطقه‌ای و رشد توریسم کمک کند و در نهایت باعث توسعهٔ پایدار و بهبود کیفیت زندگی در این مناطق شود (Al-Obaidi et al., 2022; Ayaz et al., 2022).

1. scenario-based modeling




**شکل ۶. تأثیرات نمک‌زدایی آب بر جامعه**

### C3. امنیت آبی و کاهش استرس ناشی از کمبود آب

تصفیهٔ آب دریا می‌تواند به طور مؤثر در کاهش استرس ناشی از کمبود آب کمک کند (Dhakal et al., 2022; He et al., 2021). این فرایند با فراهم آوردن دسترسی به آب باکیفیت برای شرب به عنوان راهی جایگزین برای کاهش چالش‌های کمبود آب عمل می‌کند و از این طریق به پایداری اقتصادی و اجتماعی کمک می‌کند (Aende et al., 2020; Tzanakakis et al., 2020). در نتیجه، این روش می‌تواند تأثیرات مثبتی بر محیط زیست و سلامت عمومی داشته باشد (Mishra et al., 2021).

### C4. تأثیر مثبت بر کودکان در مناطق محروم

تأسیسات آب‌شیرین‌کن در مناطق کم‌آب می‌توانند تأثیرات مثبتی بر کودکان داشته باشند. در این مناطق، کودکان معمولاً مجبور به حمل آب از مسافت‌های طولانی هستند که انرژی و زمان زیادی می‌طلبد. با دسترسی به آب از طریق لوله‌کشی، فرصت‌های تحصیلی و تفریحی کودکان افزایش می‌یابد و توسعهٔ مهارت‌های شخصی و تحصیلی آن‌ها تسهیل می‌شود (Roser, 2019; Shakhshir, 2021).

در نوار غزه، به دلیل ظلم نیروهای اشغالگر، کودکان از کمبود آب سالم رنج می‌برند که تأثیرات منفی بر زندگی آن‌ها دارد. فراهم آوردن آب آشامیدنی سالم برای آن‌ها زمان بیشتری برای بازی و مطالعه ایجاد می‌کند و به شکوفایی پتانسیل کودکان کمک می‌کند (Roser, 2019; Shorrab et al., 2024).

**تأثیرات منفی در جامعه**

### C5. ایجاد تنش اجتماعی

هزینه‌های بالای نمک‌زدایی آب دریا می‌تواند در جوامع کم‌درآمد موجب تنش‌های اجتماعی شود. این تنش‌ها اغلب به دلیل نابرابری در دسترسی به آب پاک و توزیع ناعادلانهٔ منابع ایجاد می‌شود. هزینه‌های زیاد برای خانوارها و کسب‌وکارهای کوچک فشار زیادی به همراه دارد (Figueroa et al., 2024; Ibrahim et al., 2021).

محدودیت‌های مصرف آب در برخی کشورها، به‌ویژه در بخش کشاورزی و دامپروری، می‌تواند به اعتراضات منجر شود (Salameh et al., 2021). اگرچه تصفیهٔ آب دریا ممکن است موجب تنش‌های اجتماعی شود، راه‌حل‌هایی برای مدیریت این مشکلات وجود دارد(Patel et al., 2024) .

### C6. مهاجرت افراد بومی و ایجاد اختلال

نمک‌زدایی آب دریا می‌تواند اثر منفی بر جوامع بومی داشته باشد و منجر به اختلالات اجتماعی و مهاجرت شود ( O'Neill & Williams, 2023; Wang & Huo, 2022). از جنبهٔ اقتصادی، تأسیسات نمک‌زدایی نیاز به سرمایه‌گذاری بالا و هزینه‌های نگهداری زیاد دارند که می‌تواند هزینه‌های آب را افزایش دهد و فشار اقتصادی بر جوامع بومی وارد کند. در نتیجه، ممکن است باعث کاهش سرمایه‌گذاری در سایر بخش‌ها مثل بهداشت و آموزش شود ( O'Neill & Williams, 2023; Wang & Huo, 2022). از نظر اجتماعی، احداث این تأسیسات نیاز به زمین‌های وسیعی دارد که ممکن است به جابه‌جایی اجباری ساکنان و از دست دادن خانه‌ها و منابع معیشتی منجر شود. این جابه‌جایی‌ها می‌تواند باعث مشکلاتی مانند تراکم جمعیت و تنش‌های اجتماعی در مناطق جدید شود (Al-Dousari et al., 2012). برای کاهش این آثار منفی، ضروری است که برنامه‌ریزی‌های جامع و مشاوره با جوامع بومی انجام شود و ارزیابی‌های دقیق صورت گیرد.

### C7. اختلاف بر سر تخصیص آب بین گروه‌های مختلف

مطالعات نشان داده‌اند که چگونه تغییرات در توزیع منابع آب می‌توانند منجر به تنش‌های اجتماعی شوند ( Guemouria et al., 2023). در مناطقی که با کمبود شدید آب روبه‌رو هستند، نابرابری در دسترسی به آب می‌تواند منجر به اختلافات عمده بین گروه‌های مختلف جامعه شود که ممکن است به تنش‌های اجتماعی و حتی درگیری منتهی شود (Zhou et al., 2023). علاوه بر این، هزینه‌های بالای مربوط به تصفیهٔ آب دریا می‌تواند این تنش‌ها را تشدید کند. زیرا همهٔ افراد توانایی مالی برای پرداخت این هزینه‌ها را ندارند (Dolgin, 2023).

### C8. ایجاد احساس امنیت کاذب و تداوم بخشیدن به الگوهای ناپایدار مصرف آب

فناوری نمک‌زدایی آب دریا ممکن است با فراهم کردن دسترسی به مقادیر زیاد آب شیرین احساس امنیت کاذب در جوامع ایجاد کند، طوری که مردم فکر کنند منابع آب نامحدود است. این نگرش می‌تواند منجر به مصرف بی‌رویهٔ آب شود؛ درحالی‌که منابع طبیعی آب همچنان محدود هستند. اگرچه نمک‌زدایی می‌تواند به عنوان راه‌حلی برای بحران‌های آبی مطرح شود، باید توجه ویژه‌ای به تعادل و پایداری در استفاده از این فناوری شود تا از تداوم الگوهای ناپایدار مصرف آب جلوگیری شود (Swyngedouw, 2013; Vega, 2024).

### C9. تأثیر منفی در ماهیگیری

پساب ناشی از فرایند نمک‌زدایی آب دریا، که شامل نمک و مواد شیمیایی است، می‌تواند کیفیت آب دریا را تحت تأثیر قرار دهد. این آسیب‌ها می‌توانند به کاهش جمعیت ماهی‌ها و در نتیجه کاهش میزان ماهیگیری در منطقه منجر شوند. علاوه بر این، تخریب زیست‌بوم‌های دریایی که ماهی‌ها برای تغذیه و تولیدمثل به آن‌ها وابسته‌اند می‌تواند فرایندهای طبیعی مانند مهاجرت و تولیدمثل را مختل کند و تأثیرات منفی بلندمدت بر صنعت ماهیگیری داشته باشد (Omerspahic et al., 2022).

مطالعات نشان داده‌اند تخلیهٔ حرارتی ناشی از کارخانه‌های نمک‌زدایی نیز می‌تواند افزایش دما در آب‌های اطراف ایجاد کند. این افزایش دما بر رفتار طبیعی و فرایندهای حیاتی ماهی‌ها، مانند تولیدمثل، تأثیر منفی می‌گذارد. تغییرات دما می‌تواند باعث شود ماهی‌ها نتوانند در مناطق معمول خود تولیدمثل کنند یا به مناطق مناسب‌تر مهاجرت کنند، که به کاهش دسترسی ماهیگیران به این گونه‌ها می‌انجامد (Ige, 2024; Roberts et al., 2010). در نتیجه، فعالیت‌های ماهیگیری می‌تواند به دلیل راه‌اندازی کارخانه‌های نمک‌زدایی کاهش یابد و این امر ممکن است به افزایش نرخ بی‌کاری در جامعهٔ ماهیگیران منجر شود، که خود نشان‌دهندهٔ واکنش منفی اجتماعی به این تحولات است (Liu et al., 2013).

### C10. تبدیل منطقه به منطقهٔ صنعتی

مناطق ساحلی منابع و فضاهای متعددی را برای تأمین نیازهای انسانی فراهم می‌آورند و استفادهٔ چندگانه از این مناطق، نه‌تنها یک واقعیت، بلکه روندی جهانی است (Liu et al., 2013). احداث کارخانه‌های نمک‌زدایی در این مناطق می‌تواند به تغییر کاربری زمین‌ها منجر شود. مناطقی که قبلاً برای گردشگری و تفریح استفاده می‌شدند به نواحی صنعتی تبدیل می‌شوند (Einav et al., 2003).

با وجود اینکه برخی افراد معتقدند مسائل کاربری زمین و برنامه‌ریزی شهری نباید در ارزیابی آثار محیط‌زیست (EIA) گنجانده شوند(Partidário, 2024) ، نگرانی‌هایی در مورد استفاده از زمین‌های ساحلی برای تأسیسات نمک‌زدایی وجود دارد. این استفاده می‌تواند به محدود شدن کاربری‌های دیگر مانند ماهیگیری، گردشگری، تفریح، کشاورزی، یا حمل‌ونقل منجر شود. بنابراین، ارزیابی تأثیرات محیط‌زیستی باید به تأثیرات کارخانه‌ها بر کاربری‌های اراضی در مناطق اطراف نیز توجه داشته باشد تا از بروز تضاد با منافع دیگر جلوگیری شود (Liu et al., 2013).

### C11. آسیب به چشم‌انداز ساحلی یا منابع فرهنگی

پروژه‌های توسعه‌ای گسترده می‌توانند تأثیرات منفی بر چشم‌اندازهای ساحلی و دارایی‌های فرهنگی- منطقه‌ای داشته باشند (Santos, 2024). این تأثیرات شامل آسیب به مکان‌های باستان‌شناسی و تخریب نشانه‌های فرهنگی محلی مانند آداب و رسوم و معماری است. چنین تغییراتی می‌توانند به از بین رفتن بخش‌هایی از میراث فرهنگی منجر شوند که بخشی از هویت جامعهٔ محلی هستند. بنابراین، هر پروژهٔ توسعه‌ای باید با ارزیابی‌های دقیق از نظر تأثیرات فرهنگی و زیست‌محیطی انجام شود تا از حفظ این منابع ارزشمند اطمینان حاصل شود (Liu et al., 2013).

## تحلیل اقتصادی

نمک‌زدایی آب دریا به عنوان یک راهکار استراتژیک برای مقابله با بحران آب نیازمند بررسی جامع هزینه- فایده است. این فرایند به دلیل سرمایه‌گذاری اولیهٔ بالا، هزینه‌های عملیاتی قابل توجه، و تأثیرات اقتصادی بر بخش‌های مختلف جامعه چالش‌های متعددی به همراه دارد.

### هزینه‌های سرمایه‌گذاری، عملیاتی، و زیست‌محیطی

سرمایه‌گذاری اولیه در تأسیسات نمک‌زدایی شامل هزینه‌های زیرساختی، خرید تجهیزات پیشرفته، و اجرا است. بسته به نوع فناوری مورد استفاده، این هزینه‌ها می‌توانند متفاوت باشند. فناوری‌هایی مانند اسمز معکوس نسبت به روش‌های حرارتی معمولاً هزینهٔ پایین‌تری دارند (Mohammadi et al., 2020). همچنین، هزینه‌های عملیاتی بخش عمده‌ای از هزینه‌های کلی نمک‌زدایی را تشکیل می‌دهند. مصرف بالای انرژی، استفاده از مواد شیمیایی برای پیش‌تصفیه، و نگهداری تأسیسات از جمله مهم‌ترین هزینه‌های عملیاتی هستند. یکی از چالش‌های اصلی این بخش وابستگی شدید بسیاری از تأسیسات نمک‌زدایی به سوخت‌های فسیلی است که می‌تواند هزینه‌ها را در برابر نوسانات قیمت انرژی افزایش دهد (Mohammadi et al., 2020). از

نظر هزینه‌های زیست‌محیطی، تخلیهٔ پساب شور به دریا و افزایش شوری آب می‌تواند بر اکوسیستم‌های دریایی تأثیر منفی بگذارد و منجر به جریمه و هزینه‌ای دیگر شود (Kesieme et al., 2013).

## تحلیل هزینه‌ـ فایده

از نظر هزینه‌ـ فایده، مزایای نمک‌زدایی شامل افزایش امنیت آبی، کاهش وابستگی به منابع آب شیرین طبیعی، و حمایت از توسعهٔ اقتصادی در مناطق خشک است. با این حال، هزینهٔ بالای تولید هر مترمکعب آب شیرین چالشی جدی محسوب می‌شود. در بسیاری از کشورها، قیمت نهایی آب نمک‌زدایی‌شده بالاتر از توان پرداخت خانوارهای کم‌درآمد است که می‌تواند منجر به نابرابری در دسترسی به منابع آب شود.

## راهکارهای کاهش هزینه‌های اقتصادی

برای کاهش هزینه‌های اقتصادی نمک‌زدایی، توسعهٔ فناوری‌های کم‌مصرف و افزایش بهره‌وری انرژی ضروری است. افزایش کارایی شبکه‌های توزیع آب و کاهش تلفات در سیستم‌های توزیع می‌تواند به بهینه‌سازی مصرف کمک کند (Kesieme et al., 2013).

## مدل‌های تأمین مالی پایدار

مدل‌های تأمین مالی پایدار نیز نقش کلیدی در کاهش فشار اقتصادی نمک‌زدایی دارند. مشارکت‌های دولتی‌ـ خصوصی (PPP) می‌توانند به تأمین منابع مالی پروژه‌های نمک‌زدایی کمک و هزینه‌های اجرایی را بهینه‌سازی کنند. سیاست‌های یارانه‌ای هدفمند نیز می‌توانند به کاهش هزینه‌های آب برای مصرف‌کنندگان آسیب‌پذیر کمک کنند (Kumar Singh et al., 2024).

در مجموع، نمک‌زدایی می‌تواند یک راهکار پایدار برای تأمین آب باشد. اما هزینه‌های اقتصادی آن باید با دقت مدیریت شود. بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، استفاده از منابع انرژی پایدار، و اجرای مدل‌های مالی بهینه می‌توانند تأثیرات اقتصادی این فرایند را کاهش و بهره‌وری آن را افزایش دهند.

## بررسی تفاوت‌های منطقه‌ای

نمک‌زدایی آب دریا در مناطق مختلف جهان تأثیرات متفاوتی دارد که به عواملی مانند شرایط اقلیمی، ویژگی‌های اکوسیستمی، و ساختارهای اجتماعی‌ـ اقتصادی بستگی دارد. در مناطقی که گردش آب کم است و دمای بالا و نرخ تبخیر زیاد است تخلیهٔ پساب شور منجر به افزایش شوری و کاهش اکسیژن محلول می‌شود و اکوسیستم‌های دریایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مقابل، مناطقی مانند مدیترانه، به دلیل تبادل آبی با اقیانوس، تأثیرات موضعی کمتری تجربه می‌کنند؛ هرچند توسعهٔ گردشگری و جمعیت بالا مدیریت پساب را دشوار کرده است. در سواحل اقیانوس اطلس و استرالیا، به دلیل حجم بالای آب و جریان‌های قوی، پراکندگی پساب سریع‌تر انجام می‌شود و اثر محیط‌زیستی کاهش می‌یابد. اما هزینه‌های انرژی بالا همچنان چالش اصلی این مناطق است (Chebli et al., 2023; Elsaid et al., 2020).

از نظر اجتماعی و اقتصادی، کشورهای خاورمیانه به دلیل بحران آب به نمک‌زدایی وابسته هستند. اما هزینه‌های بالای آن فشار اقتصادی زیادی بر دولت‌ها و خانوارها تحمیل می‌کند. در کشورهای اروپایی، قوانین سختگیرانهٔ زیست‌محیطی و فناوری‌های پیشرفته باعث کاهش اثر منفی شده است. اما همچنان چالش‌های مربوط به هزینه‌های عملیاتی پابرجاست. در جنوب شرق آسیا کشورهایی مانند سنگاپور بهره‌وری نمک‌زدایی را افزایش داده‌اند (Chebli et al., 2023).

## فناوری‌های نوین در نمک‌زدایی

علاوه بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، توجه به فناوری‌های نوظهور مانند نمک‌زدایی مبتنی بر مواد دوبعدی، مانند گرافن، و روش‌های زیستی می‌تواند تحولات مثبتی در آینده ایجاد کند. فناوری‌های مبتنی بر گرافن، با ویژگی‌های خاص خود، از جمله نفوذپذیری بالا و انتخاب‌پذیری مؤثر در حذف یون‌ها، پتانسیل کاهش چشمگیر مصرف انرژی و بهبود عملکرد سیستم‌های نمک‌زدایی را دارند. از سوی دیگر، روش‌های زیستی که از فرایندهای طبیعی برای تصفیهٔ آب استفاده می‌کنند با کاهش

وابستگی به مواد شیمیایی و انرژی‌های فسیلی می‌توانند آثار منفی زیست‌محیطی را کاهش دهند (Homaeigohar & Elbahri, 2017).

## نتیجه

نمک‌زدایی آب دریا به عنوان یک راهکار برای تأمین آب در مناطق با کمبود منابع آب تأثیرات گسترده و مهمی بر محیط‌زیست و جامعه دارد. این فناوری با فراهم کردن آب شیرین و پاک به بهبود شرایط زیست‌محیطی و اجتماعی کمک می‌کند. از جمله مزایای اصلی نمک‌زدایی آب دریا می‌توان به کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی اشاره کرد. این فرایند با تأمین منابع آب جایگزین از استخراج بی‌رویهٔ منابع آب زیرزمینی جلوگیری و به پایداری این منابع کمک می‌کند. همچنین، حذف آلودگی‌ها و عوامل بیماری‌زا به کاهش شیوع بیماری‌های مرتبط با آب آلوده منجر می‌شود و سلامت جامعه را بهبود می‌بخشد.

در عین حال، این فرایند با چالش‌هایی مانند تولید شورابه و مصرف بالای انرژی همراه است. اگرچه پیشرفت‌های فناوری توانسته‌اند برخی از این چالش‌ها را کاهش دهند، مدیریت صحیح این فرایندها همچنان ضروری است.

در این راستا، مطالعات جامع زیست‌محیطی پیش از احداث کارخانه‌ها، برنامه‌ریزی دقیق برای کاهش مصرف انرژی، و تدوین راهبردهایی برای مشارکت جوامع محلی در اجرای پروژه‌ها پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این، آموزش و آگاهی‌بخشی در زمینهٔ الگوهای مصرف پایدار آب و ارائهٔ مشوق‌های مالی برای حمایت از پروژه‌های پایدار می‌تواند به بهبود کارایی و کاهش آثار منفی این فناوری کمک کند. اجرای این اقدامات می‌تواند تأثیرات مثبت اجتماعی و زیست‌محیطی فرایند نمک‌زدایی را تقویت و توسعهٔ پایدار را تسهیل کند.

## اختصارات

RO: اسمز معکوس، MSF: تقطیر فلش چندمرحله‌ای، MED: تقطیر چنداثره، ED: الکترودیالیز، PV: فتوولتائیک

## References


Abdelkareem, M. A., El Haj Assad, M., Sayed, E. T., & Soudan, B. (2018). Recent progress in the use of renewable energy sources to power water desalination plants. *Desalination*, *435*, 97-113. https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.11.018

Aende, A., Gardy, J & ,.Hassanpour, A. (2020). Seawater Desalination: A Review of Forward Osmosis Technique, Its Challenges, and Future Prospects. *Processes*, *8*(8), 901. https://www.mdpi.com/2227-9717/8/8/901

Al-Dousari, A., Al-Ghadban, A. N., & Sturchio, N. C. (2012). Marine environmental impacts of power-desalination plants in Kuwait. *Aquatic ecosystem health & management*, *15*(sup1), 50-55. https://doi.org/10.1080/14634988.2012.667336

Al-Obaidi, M. A., Zubo, R. H. A., Rashid, F. L., Dakkama, H. J., Abd-Alhameed, R., & Mujtaba, I. M. (2022). Evaluation of Solar Energy Powered Seawater Desalination Processes: A Review. *Energies*, *15*(18), 6562. https://www.mdpi.com/1996-1073/15/18/6562

Almasoudi, S., & Jamoussi, B. (2024). Desalination technologies and their environmental impacts: A review. *Sustainable Chemistry One World*, *1*, 100002. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scowo.2024.100002

Almasoudi, S. M., & Bassam, J. (2024). Desalination technologies and their environmental impacts: A review. *Sustainable Chemistry One World*, *1*, 100002. https://doi.org/10.1016/j.scowo.2024.100002

Ayaz, M., Namazi, M. A., Din, M. A. u., Ershath, M. I. M., Mansour, A., & Aggoune, e.-H. M. (2022). Sustainable seawater desalination: Current status, environmental implications and future expectations. *Desalination*, *540*, 116022. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116022

Benaissa, M., Rouane-Hacene, O., Boutiba, Z., Guibbolini-Sabatier, M. E., & Faverney, C. R. (2017). Ecotoxicological impact assessment of the brine discharges from a desalination plant in the marine waters of the Algerian west coast, using a multibiomarker approach in a limpet, Patella rustica. *Environ Sci Pollut Res Int*, *24*(31), 24521-24532. https://doi.org/10.1007/s11356-017-0081-4

Cabrera, P., Carta, J .A., Matos, C., Rosales-Asensio, E., & Lund, H. (2024). Reduced desalination carbon footprint on islands with weak electricity grids. The case of Gran Canaria. *Applied Energy*, *358*, 122564. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122564

Chang, Y. S., Munro, C. J., Fortunato, L., AlAli, A., Marciulescu, C., Harvey, S. L., Vrouwenvelder, J., Arafat, H., & Dumée, L. F. (2024). Macrofouling remediation strategies for water intakes of desalination and other industrial plants–A review. *Desalination*, *590*, 117987 .https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117987

Chauhan, V. K., Shukla, S. K., Tirkey, J. V., & Singh Rathore, P. K. (2021). A comprehensive review of direct solar desalination techniques and its advancements. *Journal of Cleaner Production*, *284*, 124719. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124719

Chebli, H., Fornarelli, F., & Bellantuono, N. (2023). Comparison of Desalination Technologies and Assessment of Their Sustainability. *Journal of Physics: Conference Series*, *2648*, 012021. https//:doi.org/10.1088/1742-6596/2648/1/012021

Dhakal, N., Salinas-Rodriguez, S. G., Hamdani, J., Abushaban, A., Sawalha, H., Schippers, J. C., & Kennedy, M. D. (2022). Is Desalination a Solution to Freshwater Scarcity in Developing Countries? *Membranes*, *12* ,(٤) .٣٨١https://www.mdpi.com/2077-0375/12/4/381

Do Thi, H. T., Pasztor, T., Fozer, D., Manenti, F., & Toth, A. J. (2021). Comparison of Desalination Technologies Using Renewable Energy Sources with Life Cycle, PESTLE, and Multi-Criteria Decision Analyses .*Water*, *13*(21), 3023. https://www.mdpi.com/2073-4441/13/21/3023

Dolgin, E. (2023). Water and warfare: the battle to control a precious resource. *Nature*. https://doi.org/10.1038/d41586-023-03883-w

Einav, R., Harussi, K., & Perry, D. (2003). The footprint of the desalination processes on the environment. *Desalination*, *152*(1-3), 141-154. https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)01057-3

El-Hady B. Kashyout, A., Hassan, A., Hassan, G., El-Banna Fath, H., El-Wahab Kassem, A., Elshimy, H., RanjanVepa, & Shaheed ,M. H. (2021). Hybrid renewable energy/hybrid desalination potentials for remote areas: selected cases studied in Egypt [10.1039/D1RA00989C]. *RSC Advances*, *11*(22), 13201-13219. https://doi.org/10.1039/D1RA00989C

Elsaid, K., Kamil, M., Sayed, E., Abdelkareem, M., Wilberforce Awotwe, T., & Olabi, A. G. (2020). Environmental impact of desalination technologies: A review. *Science of The Total Environment*, *748*, 141528. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141528

Fallatah, M. M., Kavil, Y. N., Shanas, P .R., Al-Farawati, R., Shaban, Y. A., Orif, M. I., Schmidt, M., Ghandourah, M. A., & Albarakati, A. (2021). Environmental impact assessment of desalination plants through observations and modeling over Central Red Sea-Yanbu and Rabig. *Arabian Journal of Geosciences*, *14*(5), 403. https://doi.org/10.1007/s12517-021-06729-9

Fernández-Torquemada, Y., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2005). Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *320*(1), 57-63. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.12.019

Figueroa, C., Brannstrom, C., Seghezzo, L., Lee, K., & Jepson, W. (2024). Social perspectives on the sustainability challenges within the desalination sector: a Q-method study. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, *20*(1), 2400761. https://doi.org/10.1080/15487733.2024.2400761

Frank, H., Rahav, E., & Bar-Zeev, E. (2017). Short-term effects of SWRO desalination brine on benthic heterotrophic microbial communities. *Desalination*, *417*, 52-59. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.04.031

Gao, L., Yoshikawa, S., Iseri, Y., Fujimori, S., & Kanae, S. (2017). An Economic Assessment of the Global Potential for Seawater Desalination to 2 .۰۵۰*Water*, *9*(10), 763. https://www.mdpi.com/2073-4441/9/10/763

Gude, V. G. (2016). Desalination and sustainability–an appraisal and current perspective. *Water research*, *89*, 87-106. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.012

Gude, V. G. (2017). Desalination and water reuse to address global water scarcity. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, *16*(4), 591-609. https://doi.org/ 10.1007/s11157-017-9449-7

Guemouria, A., Chehbouni, A., Belaqziz, S., Epule Epule, T., Ait Brahim, Y., El Khalki, E. M., Dhiba, D., & Bouchaou, L. (2023). System dynamics approach for water resources management: A case study from the Souss-Massa Basin. *Water*, *15*(8), 1506. https://doi.org/10.3390/w15081506

He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, *12*(1), 4667. https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3

Homaeigohar, S., & Elbahri, M. (2017). Graphene membranes for water desalination. *NPG Asia Materials*, *9*(8), e427-e427. https://doi.org/10.1038/am.2017.135

Hosseini, H., Saadaoui, I., Moheimani, N., Al Saidi, M., Al Jamali, F., Al Jabri, H., & Hamadou, R. B. (2021). Marine health of the Arabian Gulf: Drivers of pollution and assessment approaches focusing on desalination activities. *Marine Pollution Bulletin*, *164*, 112085. https://doi.org//10.1016/j.marpolbul.2021.112085

Ibrahim, Y., Ismail, R. A., Ogungbenro, A., Pankratz, T., Banat, F., & Arafat, H. A. (2021). The sociopolitical factors impacting the adoption and proliferation of desalination: A critical review. *Desalination*, *498*, 114798. https://doi.org//10.1016/j.desal.2020.114798

Ige, O. (2024). *Assessing the ecological impacts of desalination on marine coastal habitats following the European Union-Marine Strategy Framework Directive; good environmental status-a review*

Kassouar, S., Attab, K., DERGAL, N., & Abi-Ayad, S. (2024). CONSEQUENCES OF BRINE DISCHARGES FROM SEAWATER DESALINATION ON THE MARINE ECOSYSTEM, CASE STUDY OF THE KAHRAMA STATION IN THE NORTH WEST OF ALGERIA. *Applied Ecology & Environmental Research*, *22*. (2)

Kenigsberg, C., Abramovich, S., & Hyams-Kaphzan, O. (2020). The effect of long-term brine discharge from desalination plants on benthic foraminifera. *PLoS One*, *15*(1), e0227589.https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227589

Kesieme, U., Milne, N., Aral, H., Cheng, C., & Duke, M. (2013). Economic analysis of desalination technologies in the context of carbon pricing, and opportunities for membrane distillation. *Desalination*, *323* ,11 . https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.03.033

Khoury, M. J., Bowen, M. S., Burke, W., Coates, R. J., Dowling, N. F., Evans, J. P., Reyes, M., & St Pierre, J. (2011). Current priorities for public health practice in addressing the role of human genomics in improving population health. *Am J Prev Med*, *40*(4), 486-493. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2010.12.009

Kumar Singh, V., Kumar, D., & Tripathi, R. J. (2024). Multi objective optimization of novel phase change material-based desalination system using genetic algorithms. *Journal of Energy Storage*, *103 Part B*, 114388. https://doi.org/10.1016/j.est.2024.114388

Laspidou, C., Hadjibiros, K., & Gialis, S. (2010). Minimizing the Environmental Impact of Sea Brine Disposal by Coupling Desalination Plants with Solar Saltworks: A Case Study for Greece. *Water*, *2*(1), 75-84. https://www.mdpi.com/2073-4441/2/1/75

Lattemann, S., & El-Habr, H. (2009). UNEP resource and guidance manual for environmental impact assessment of desalination projects. *Desalination and Water Treatment - DESALIN WATER TREAT*, *3*, 217-228. https://doi.org/10.5004/dwt.2009.463

Lesimple, A., Ahmed, F. E., & Hilal, N. (2020). Remineralization of desalinated water: Methods and environmental impact. *Desalination*, *496*, 114692. https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114692

Liu, T.-K., Sheu, H.-Y., & Tseng, C.-N. (2013). Environmental impact assessment of seawater desalination plant under the framework of integrated coastal management. *Desalination*, *326*, 10-18. https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.07.003.

Mannan, M., Alhaj, M., Mabrouk, A. N., & Al-Ghamdi, S. G. (2019). Examining the life-cycle environmental impacts of desalination: A case study in the State of Qatar. *Desalination*, *452*, 238-246. https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.11.017

Medeazza, G., & Moreau, V. (2007). Modelling of water-energy systems. The case of desalination. *Energy*, *32*, 1024-1031. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.10.006

Mishra, B. K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., & Gautam, A. (2021). Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions. *Water*, *13*(4), 490. https://doi.org/ 10.3390/w13040490

Mishra, R. K. (2023). Fresh water availability and its global challenge. *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*, *4*(3), 1-78 .https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.0208

Mohammadi, F., Sahraei-Ardakani, M., Alabdullah, Y., & Heydt, G. (2020). Cost-Benefit Analysis of Desalination: A Power Market Opportunity. *Electric Power Components and Systems*, *48*(11), 1091-1101. https://doi.org/10.1080/15325008.2020.1829188

Mohammed, A., Alsagheer, F., Ghaithan, A., & Mazher, K. (2024). An optimization of hybrid renewable energy system for seawater desalination in Saudi Arabia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *22*(6),1-18 .https://doi.org/10.1007/s13762-024-05904-1

Nasr, H., Yousef, M., & Madkour, H. (2019). Impacts of Discharge of Desalination Plants on Marine Environment at the Southern Part of the Egyptian Red Sea Coast (Case Study). *International Journal of Ecotoxicology and Ecobiology*, *4*, 81-85. https://doi.org/10.11648/j.ijee.20190403.12

Nasrollahi, M., Motevali, A., Banakar, A., & Montazeri, M. (2023). Comparison of environmental impact on various desalination technologies. *Desalination*, *547*, 116253. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116253

Nelson, N., & Luca, A. (2021). Remineralization and Stabilization of Desalinated Water. In (pp. 17). https://doi.org/10.5772/intechopen.99458

Niazi, H., Wild, T. B., Turner, S. W., Graham, N. T ,.Hejazi, M., Msangi, S., Kim, S., Lamontagne, J. R., & Zhao, M. (2024). Global peak water limit of future groundwater withdrawals. *Nature Sustainability*(7), 1-10. https://doi.org/10.1038/s41893-024-01306-w

Nurjanah, I., Chang, T.-T., You, S.-J., Huang, C-.Y., & Sean, W.-Y. (2024). Reverse osmosis integrated with renewable energy as sustainable technology: A review. *Desalination*, *581*, 117590. https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117590

O'Neill, B. F., & Williams, J. (2023). Developments in desalination need a social sciences perspective. *Nature Water*, *1*(12), 994-995. https://doi.org/10.1038/s44221-023-00161-x

Okafor, C. O., Ude, U. I., Okoh, F. N., & Eromonsele, B. O. (2024). Safe Drinking Water: The Need and Challenges in Developing Countries. In *Water Quality-New Perspectives* (pp. 30). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.100357

Omerspahic, M., Al-Jabri, H., Siddiqui, S. A., & Saadaoui, I. (2022). Characteristics of Desalination Brine and Its Impacts on Marine Chemistry and Health, With Emphasis on the Persian/Arabian Gulf: A Review [Review]. *Frontiers in Marine Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.845113

Pagliero, L., McIntyre, N., Aitken, D., Bolz, P., Jamett, N., Pérez-Murillo, G., Rivero, F., Herrera-León, S., Ordens, C. M ,.Campos, L., García, G., & Cisternas, L. A. (2024). Sustainable integration of desalinated seawater into regional water supply networks using a participatory modelling framework. *Environmental Science & Policy*, *155*, 103714. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103714

Panagopoulos, A., & Haralambous, K.-J. (2020). Environmental impacts of desalination and brine treatment-Challenges and mitigation measures. *Marine Pollution Bulletin*, *161*, 111773. https://doi.org//10.1016/j.marpolbul.2020.111773

Partidário, M. R. (2024). *Perspectives on strategic environmental assessment* (Vol. 1). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003578932

Patel, S. K., Lee, B., Westerhoff, P., & Elimelech, M. (2024). The potential of electrodialysis as a cost-effective alternative to reverse osmosis for brackish water desalination. *Water research*, *250*, 121009. https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121009

Pérez, D. M. G., Martín, J. M. M., Martínez, J. M. G., & Sáez-Fernández, F. J. (2020). An Analysis of the Cost of Water Supply Linked to the Tourism Industry. An Application to the Case of the Island of Ibiza in Spain. *Water*, *12*(7), 2006. https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/2006

Petersen, K. L., Paytan, A., Rahav, E., Levy, O., Silverman, J., Barzel, O., Potts, D & ,.Bar-Zeev, E. (2018). Impact of brine and antiscalants on reef-building corals in the Gulf of Aqaba – Potential effects from desalination plants. *Water research*, *144*, 183-191. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.009

Pramanik, B. K ,.Shu, L., & Jegatheesan, V. (2017). A review of the management and treatment of brine solutions [10.1039/C6EW00339G]. *Environmental Science: Water Research & Technology*, *3*(4), 625-658. https://doi.org/10.1039/C6EW00339G

Ram, M., Osorio-Aravena, J. C ,.Aghahosseini, A., Bogdanov, D., & Breyer, C. (2022). Job creation during a climate compliant global energy transition across the power, heat, transport, and desalination sectors by 2050. *Energy*, *238*, 121690. https://doi.org/ 10.1016/j.energy.2021.121690

Roberts, D. A., Johnston, E. L., & Knott, N. A. (2010). Impacts of desalination plant discharges on the marine environment: A critical review of published studies. *Water research*, *44*(18), 5117-5128. https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.06.030

Roser, H .R. a. F. S. a. M. (2019). owid-clean-water. *Our World in Data*

Salameh, M. T. B., Alraggad, M., & Harahsheh, S. T. (2021). The water crisis and the conflict in the Middle East. *Sustainable Water Resources Management*, *7*(7), 1-14. https://doi.org/10.1007/s40899-021-00549-1

Sandoval-Gil, J. M., Marín-Guirao, L., & Ruiz, J. M. (2012). The effect of salinity increase on the photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrass Cymodocea nodosa. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, *115*, 260-271. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.09.008

Santos, E. (2024). Innovative solutions for coastal and offshore infrastructure in seawater mining: Enhancing efficiency and environmental performance. *Desalination*, *67*(3), 117282. https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117282.

Santos, E., Carvalho, M., & Martins, S. (2023). Sustainable Water Management: Understanding the Socioeconomic and Cultural Dimensions. *Sustainability*, *15*(17), 13074. https://www.mdpi.com/2071-1050/15/17/13074

Scanlon, B. R., Fakhreddine, S ,.Rateb, A., de Graaf, I., Famiglietti, J., Gleeson, T., Grafton, R. Q., Jobbagy, E., Kebede, S., & Kolusu, S. R. (2023). Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. *Nature Reviews Earth & Environment*, *4*(2), 87-101. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00378-6

Shakhshir, G. (2021). *Water Stress and Early Childhood Development in Palestine: Making the Link, and Implications for Policy and Practice* London School of Hygiene & Tropical Medicine .[

Sharifinia, M., Afshari Bahmanbeigloo, Z., Smith, W. O., Jr., Yap, C. K., & Keshavarzifard, M. (2019). Prevention is better than cure: Persian Gulf biodiversity vulnerability to the impacts of desalination plants. *Glob Chang Biol*, *25*(12), 4022-4033. https://doi.org/10.1111/gcb.14808

Sharma, K., Rajan, S., & Nayak, S. K. (2024). Water pollution: Primary sources and associated human health hazards with special emphasis on rural areas. In *Water Resources Management for Rural Development* (Vol. 978-0-443-18778-0, pp. 3-14). Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-443-18778-0.00014-3

Shorrab, A., Nassef, M., Subhi, A., Giwa, B., & Buheji, M. (2024). Health in the Crossfire-Analysing and Mitigating the Multifaceted Health Risks of the 2023 War on Gaza. *Public Health Research*, *14*(1), 1-11 . https://doi.org/10.5923/j.phr.20241401.01

Sirota, R., Winters, G., Levy, O., Marques, J., Paytan, A., Silverman, J., Sisma-Ventura, G., Rahav, E., Antler, G., & Bar-Zeev, E. (2024). Impacts of Desalination Brine Discharge on Benthic Ecosystems. *Environmental Science & Technology*, *58*(13), 5631-5645. https://doi.org/10.1021/acs.est.3c07748

Soliman, M. N., Guen, F. Z., Ahmed, S. A., Saleem, H., Khalil, M. J., & Zaidi, S. J. (2021). Energy consumption and environmental impact assessment of desalination plants and brine disposal strategies. *Process Safety and Environmental Protection*, *147*, 589-608. https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.02.003

Swyngedouw, E. (2013). Into the sea: desalination as hydro-social fix in Spain. *Annals of the Association of American Geographers*, *103*(2), 261-270. https://doi.org/10.1080/00045608.2013.754688

triki, z. (2023). A Critical Analysis of the Environmental Impacts of Desalination. *Iris Publishers*, *1*(2), 2023. https://doi.org/10.33552/OJEES.2023.01.000507

Tsalidis, G. A ,.Xevgenos, D., Ktori, R., Krishnan, A., & Posada, J. A. (2023). Social life cycle assessment of a desalination and resource recovery plant on a remote island: Analysis of generic and site-specific perspectives. *Sustainable Production and Consumption*, *37* ,412-423 . https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.03.011

Tu, W. H., Zhao, Y., Chan, W. P., & Lisak, G. (2024). Reclaimed seawater discharge–desalination brine treatment and resource recovery system. *Water research*, *251*, 121096. https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121096

Tularam, G. A., & Ilahee, M. (2007). Environmental concerns of desalinating seawater using reverse osmosis. *Journal of Environmental monitoring*, *9*(8), 805-813. https://doi.org/10.1039/b704413f

Tzanakakis, V. A., Paranychianakis, N. V., & Angelakis, A. N. (2020). Water Supply and Water Scarcity. *Water*, *12*(9), 2347. https://www.mdpi.com/2073-4441/12/9/2347

Vega, E. (2024). The Abyss of Abundance: Consumer Overconsumption and the Road to Environmental Collapse. *2*(1), 200 .

Wang, J., & Huo, E) .2022 .(Opportunities and Challenges of Seawater Desalination Technology [Opinion]. *Frontiers in Energy Research*, *10*(1), 15. https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.960537

Wang, M., Bodirsky, B. L., Rijneveld, R., Beier, F., Bak, M. P., Batool, M., Droppers ,B., Popp, A., van Vliet, M. T., & Strokal, M. (2024). A triple increase in global river basins with water scarcity due to future pollution. *Nature Communications*, *15*(1), 880. https://doi.org/10.1038/s41467-024-44947-3

Zhou, Y., Lu, N., Hu, H., & Fu, B) .2023 .(Water resource security assessment and prediction in a changing natural and social environment: Case study of the Yanhe Watershed, China. *Ecological Indicators*, *154*(1), 110594. https://doi.org/ 10.1016/j.ecolind.2023.110594