مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هفدهم ، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۶۳۱ تا ۶۵۰

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله مرور ساختار یافته

بررسی اثرات تخلیه شورابه آب شیرین کن‌های ساحلی به دریا و بهینه‌سازی آن با استفاده از مدل‌سازی: مطالعه مروری نظام‌مند

غلامرضا شقاقی[۱]، امیر حسین جاوید[۱،*]، سارا الهیاری بیک[۲]، علی ماشینچیان مرادی[۳]

۱- گروه مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی انرژی و صنعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳- گروه علوم دریایی و شیلات، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

واژگان کلیدی: تخلیه شورابه، آب شیرین کن ساحلی، مدل سازی عددی، طراحی خروجی، استانداردهای تخلیه

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
a.javid@srbiau.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: تخلیه شورابه آب شیرین کن‌های دریایی به دریا می‌تواند عوارض جبران ناپذیری به محیط زیست داشته باشد. هدف این مطالعه شناسایی اثرات تخلیه شورابه به دریا، بررسی روش‌های مدل‌سازی برای بهینه‌سازی تخلیه شورابه به دریا و همچنین طراحی مناسب خروجی آن برای تامین استانداردها، کاهش اثرات محیط زیستی و هزینه‌ها است.

روش بررسی: بررسی اثرات شورابه بر دریا، مدل‌سازی انتشار آن، طراحی خروجی و استانداردهای تخلیه بر مبنای مرور مقالات و منابع در پایگاه داده Google Scholar، Academia، Scopus، Civilica و Irandoc با استفاده از کلید واژه‌هایی مانند Brine/Seawater concentrate discharge، Numerical modeling، Discharge standards و Outlet design انجام گردید. از ۱۳۲ مقاله بررسی شده ۴۵ مقاله سازگار با اهداف مطالعه بود.

یافته‌ها: اثرات تخلیه آب شیرین کن‌ها به دریا در محل تخلیه و فواصل دورتر قابل مشاهده است. مدل‌سازی عددی برای پیش‌بینی غلظت آلاینده در فواصل مختلف از محل تخلیه و تعیین محل تخلیه با رعایت استانداردها و کاهش هزینه‌ها به کار می‌رود. طراحی و استفاده از دیفیوزر با چندین نازل با زاویه ۶۰ درجه منجر به بیشترین رقیق‌سازی در نقطه تخلیه می‌شود

نتیجه‌گیری: استفاده از آب شیرین کن‌ها برای مقابله با اثرات تغییرات اقلیمی ضرورت دارد. مدل‌سازی و طراحی مناسب خروجی آب شیرین کن نقش مهمی در کاهش اثرات نامطلوب، تامین استانداردهای محیط زیستی و بهینه‌سازی هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری دارد و نیاز به مطالعات بیشتری در این زمینه در کشور است.

Please cite this article as: Shaghaghi Gh, Javid AH, Allahyaribeik S, Mashinchian Moradi A. Effects investigation of seawater concentrate discharge into the sea and discharge modification by modeling: systematic review. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;17(3):631-50.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

مقدمه

رشد جمعیت در بیشتر کشورها با رشد کشاورزی، صنعت و شهرنشینی همراه است. برای تامین آن ضروری است طرح‌های صرفه‌جویی در مصرف، جستجو برای منابع آب، بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب و نمک‌زدایی منابع آب شور دریاها و منابع آب سطحی و زیرمینی لب شور با استفاده از فناوری‌های نمک زدایی توسعه یابد. با توجه به مطالعه Razeghi و همکار فناوری‌هایی رایج عبارتند از: نمک‌زدایی با استفاده از روش‌های اسمز معکوس، نانو فیلتر، الکترودیالیز و نمک‌زدایی با استفاده از انرژی حرارتی مانند تقطیر چند مرحله‌ای Distillation (Multi effect)، تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای (Multi Stage Flush)، تراکم بخار آب (Vapor Compression) و تقطیر خورشیدی برای مقیاس‌های کوچک (Solar Distillation). شورابه تاسیسات آب شیرین‌کن حاوی نمک‌های حذف شده از آب شور، مواد شیمیایی اضافه شده در طی فرآیندها و محصولات جانبی خوردگی است. تخلیه شورابه‌ها در محیط زیست بخش مهمی از مطالعات امکان‌سنجی و راهبری تاسیسات آب شیرین‌کن است (۱). Lattemann و همکار دریافتند که هزینه تخلیه شورابه ممکن است بر توجیه اقتصادی پروژه‌های آب شیرین کن تاثیر بگذارد. اثرهای محیط زیستی تخلیه شورابه آب شیرین کن به دریا بستگی به عوامل مختلفی مانند روش تخلیه، دبی و سرعت آن، توپوگرافی بستر، موج، جریان‌های دریایی، مورفولوژی ساحل، وضعیت بیولوژیکی محیط دریا، غلظت املاح آب و همچنین نحوه تخلیه دارد. کشورهایی در خاورمیانه (کشورهای حاشیه خلیج فارس) با توجه به منابع محدود آب شرب و در دسترس بودن انرژی ارزان قیمت، اقدام به نمک‌زدایی در مقیاس بزرگ نموده و به آن وابسته‌اند (۲). Safrai و همکار دریافتند که نیاز فوری به آب در بسیاری از نقاط جهان از جمله ایران مسئله محیط زیست دریایی را در اولویت ثانویه قرار داده است. اثرات شورابه در فواصل حدود بیش از ۱۰ m، صدها متر و یا در موارد شدید چندین کیلومتر از سازه خروجی پساب قابل مشاهده است. با افزایش فاصله از محل تخلیه پساب، غلظت شوری کاهش می‌یابد. پساب آب شور اغلب چگال تر از آب دریاهاست، بنابراین تمایل بیشتری به گسترش در بستر دریا دارد و موجودات اعماق دریا بیشتر در معرض تخلیه پساب آب شور هستند (۳).

Lattemann و همکار همچنین تخمین زدند که در خلیج فارس روزانه بین ۱۱ تا ۲۰ میلیون متر مکعب آب شیرین شده و شورابه تولید می‌شود. در سنتز شیمیایی پساب ۲۱ آب شیرین‌کن در دریای سرخ تخمین زده شده است که ۲۷۰۸ kg کلر، ۳۶ kg مس و ۹۴۷۸ kg مواد ضد رسوب از فعالیت این آب شیرین‌کن‌ها به صورت روزانه به دریای سرخ وارد می‌شود. میزان مس در پساب ۲۸ آب شیرین‌کن منطقه، بیش از معیارهای کیفیت آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا است (۲). Xevgenosa و همکاران به این نتیجه رسیدند که علاوه بر تاثیر آب شیرین‌کن‌ها در گرمایش زمین به دلیل مصرف انرژی، شورابه آنها نیز بر اکوسیستم دریایی اثر سوء داشته و لازم است راهکارهای مناسبی برای کاهش مصرف انرژی و تخلیه کمتر شورابه بکار رود (۴). نتیجه مطالعه Purnama و همکار بر برخی از مدل‌ها نشان داد که بیشترین اثرات شوری در محل‌سازه خروجی در هنگام جزر و مد رخ می‌دهد (۵).

Missimer و همکار دریافتند که اثرات محیط زیستی شورابه سامانه های اسمز معکوس با طراحی مناسب بر پایه ارزیابی اثرات محیط زیستی قبل از طراحی و بهره‌برداری به صورت قابل قبولی به حداقل می‌رسد (۶).

Shao و همکاران مشاهده نمودند که مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی میزان انتشار توده آب شور در آب پذیرنده و در بهینه‌سازی طراحی محل‌سازه تخلیه استفاده شده است. مدل‌ها نشان می‌دهد که در مناطق دارای جریان، تمایل به

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

حمل آب توده‌های شور در امتداد ساحل وجود دارد (۷). Roberts و همکاران نشان دادند نحوه طراحی دیفیوزر بر رعایت الزامات محیط زیستی در نقطه تخلیه تاثیر دارد (۸). Shrivastava و همکار مشاهده نمودند که رقیق‌سازی شورابه و اختلاط مناسب قبل از تخلیه می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای هزینه‌های تخلیه را کاهش دهد و در مناطق با شیب کم استفاده از دیفیوزر با چندین خروجی جت، از یک خروجی جت مناسب‌تر است (۹).

Sanja و همکاران دریافتند که در صورت بهره‌برداری از آب شیرین‌کن‌های دریایی با فناوری‌های ادغام یافته، می‌توانند نیازهای روبه افزایش جوامع در خصوص آب، انرژی، مواد معدنی و غذا را به ویژه در مناطق با منابع محدود تامین کنند. با نمک زدایی، آب شیرین برای آشامیدن و فعالیت‌های کشاورزی تامین می‌شود؛ همچنین بازیافت انرژی از شورابه به عنوان انرژی تجدید پذیر در کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌تواند موثر باشند، از طرف دیگر می‌توان نمک و سایر مواد معدنی را از شورابه استخراج کرد (۱۰). با توجه به نیاز به توسعه آب شیرین‌کن‌ها در کشور برای مقابله با اثرات تغییر اقلیمی و کمبود منابع آب شیرین، هدف این مطالعه بررسی منابع متعدد و معتبر برای بهینه‌سازی تخلیه شورابه به دریا در راستای کاهش اثرات محیط زیستی، هزینه‌ها و دستیابی به اهداف توسعه پایدار است.

مواد و روش‌ها

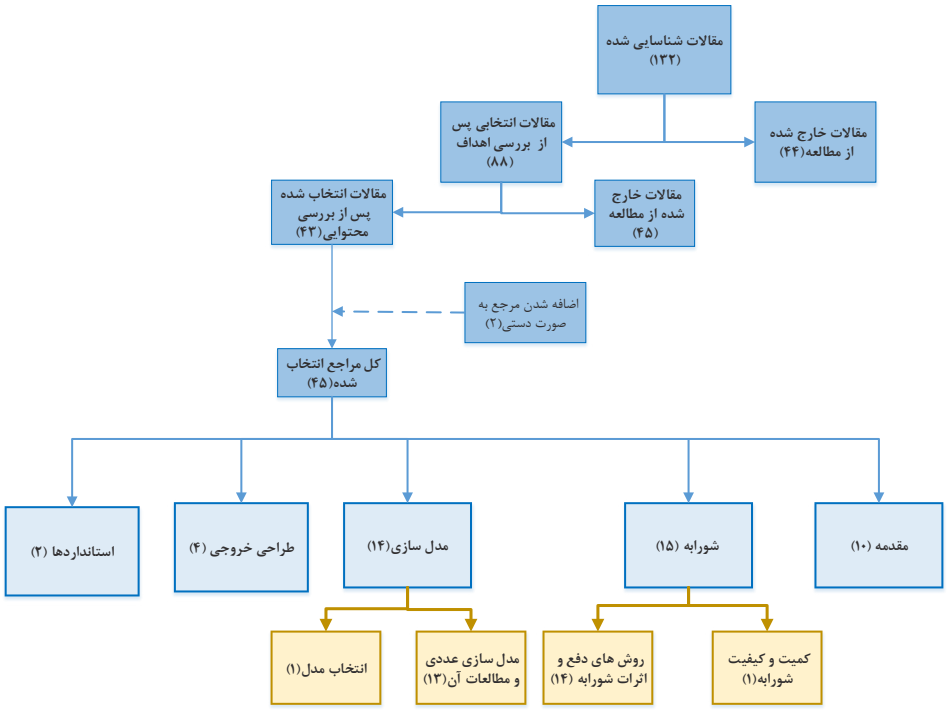
این مطالعه مروری نظام‌مند در سال ۲۰۲۳ بر اساس مرور مطالعات انجام شده برای تخلیه شورابه آب شیرین‌کن‌های ساحلی به دریا انجام شد. در این مطالعه مقالات و مراجع معتبر انتشار یافته در پایگاه داده‌های GoogleScholar، Academia، Scopus و Irandoc مورد بررسی قرار گرفت. کلید واژه‌های بکار رفته برای جستجو عبارت بودند از: Brine/Seawater concentrate Discharge، Desalination plant، Numerical modeling، Discahrge standards و Outlet design با عملگرهای بولی مانند and و or. معیارهای ورود به مطالعه شامل مرتبط بودن با موارد ذیل هستند: ۱- اثرات شورابه به محیط دریایی، ۲- مدل‌سازی انتشار شورابه در دریا، ۳- طراحی خروجی پساب آب شیرین‌کن به دریا، ۴- استانداردهای تخلیه شورابه به دریا.

در این مطالعه از روش meta-analyses(PRISMA items for systenmatic reviews and preferred reporting برای طراحی مطالعه و انتخاب آنها استفاده گردید. عنوان و چکیده مقالات شناسایی شده توسط نویسندگان از نظر سازگاری با اهداف این مطالعه مرور نظام‌مند مورد بررسی قرار گرفتند. برای استخراج داده‌ها ابتدا مراجع مورد بررسی در چهار دسته تقسیم‌بندی شد و مقالات مرتبط با این چهار دسته با مطالعه چکیده، استخراج گردید. سپس اطلاعات مورد نیاز در هر مرجع با توجه به هدف مطالعه که نحوه مدیریت شورابه آب شیرین‌کن‌های ساحلی بود، با حذف موارد مشترک و غیر مرتبط، برای استفاده در این مقاله استخراج گردید.

یافته‌ها

شکل ۱ نمودار انتخاب مطالعات براساس الگوی PRISMA را نشان می‌دهد. پس از مطالعه و حذف موارد تکراری در پایگاه‌های علمی مختلف ۱۳۲ مقاله باقی ماند. در این مرحله، چکیده و عنوان مقالات مورد بررسی قرار گرفته و مطالعاتی که با اهداف این مطالعه سازگاری نداشتند، کنار گذاشته شد (تعداد مقاله‌های باقیمانده ۸۸). سپس با بررسی دقیق محتوایی، مقالاتی که با اهداف انتخابی همخوانی کامل داشتند، انتخاب شدند. البته دو مرجع مرتبط با موضوع نیز به صورت دستی به مطالعه اضافه شد.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]



شکل ۱- نمودار انتخاب مطالعات براساس روش PRISMA

با توجه به نمودار ۴۵ مستند باقی مانده در پنج دسته تقسیم‌بندی شده‌اند. لازم به ذکر است ۴ مرجع در بیش از یک قسمت و ۱۰ مرجع در بخش مقدمه استفاده شده است و بنابراین ۳۵ مرجع در بخش یافته‌ها به صورت ذیل مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

بحث

مطالعات مربوط به اثرات تخلیه شورابه آب شیرین کن‌ها به دریا

_ کمیت و کیفیت شورابه تولیدی

Mickly و همکار درصد بازیافت آب دریا در آب شیرین‌کن‌های اسمز معکوس را حدود ۶۰-۳۰ درصد اعلام نمودند، لذا ۴۰ تا ۷۰ درصد آب خام تبدیل به شورابه می‌شود و غلظت املاح آن ۱/۵ تا ۲/۵ برابر آب خام خواهد بود. علاوه بر این املاح، عناصر و ترکیب‌های موجود در آب خام به همان نسبت در شورابه تغلیظ‌تر می‌شوند. دبی شورابه توسط معادله ۱ محاسبه می‌شود (۱۱).

$$Q_c = Q_p*((1-R)/R) \quad (1)$$

R درصد بازیافت، Qc و Qp به ترتیب دبی شورابه تولیدی و دبی آب نمک‌زدایی شده (محصول) هستند.

Razeghi دریافت، هر پروژه‌ای با توجه به شرایط بهره‌برداری و ویژگی‌های محل استقرار، دارای اثرهای محیط زیستی متفاوتی است. اثرهای محیط زیستی تاسیسات غشایی کمتر از تاسیسات حرارتی است زیرا در تاسیسات حرارتی غلظت عناصر فلزی ناشی از خوردگی و همچنین کلر قابل ملاحظه است. تخلیه فاضلاب ناشی از شستشوی غشاءها هم نیاز به توجه دارد (۱). Mickly و همکار نشان دادند مشکلات شوری به ویژه برای تاسیسات آب شیرین‌کن اسمز معکوس به دلیل نسبت

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

احیاء بیشتر آنها یک عامل بحرانی است.

میزان کل مواد جامد محلول (Total Dissolved Solids) در شورابه (TDSc) که نشان دهنده میزان شوری آب است، تابعی از میزان کل مواد جامد محلول در آب دریا (TDSs)، آب نمک‌زدایی شده (TDSp) و میزان بازیافت آب (R) است و از طریق معادله ۲ محاسبه می‌شود (۱۱):

$$TDSc = TDSs * [1 - (1 - R)] - R * (TDSp)/(1 - R) \quad (۲)$$

_ روش های دفع شورابه

Blinger و همکار (۱۲) روش‌های معمول دفع شورابه آب شیرین‌کن و مزایا و معایب هر یک از روش‌های فوق را در جدول ۱ نشان داده‌اند.

جدول ۱- مقایسه روش های دفع شورابه تاسیسات آب شیرین کن (۱۲)

روش دفع	مزایا	معایب
تخلیه به آب سطحی	امکان استفاده برای حجم های زیاد رقیق سازی کم هزینه ترین امکان رقیق سازی و اختلاط با پساب نیروگاه	ظرفیت محدود محیط پذیرنده و امکان اثرات سوء محیط زیستی رقیق سازی تابعی از شرایط هیدرودینامیکی محل تخلیه نیاز به دانش کافی و پایش آب پذیرنده
شبکه فاضلاب	رقیق سازی از طریق جریان فاضلاب استفاده از زیرساخت موجود تصفیه مناسب	ظرفیت محدود بسته به تاسیسات فاضلاب لزوم دستیابی به استانداردهای کیفیت پساب دفع نهایی غالبا به آب های سطحی
تزریق به چاه عمیق	نداشتن اثرات تخلیه به آب سطحی گزینه مناسب برای تاسیسات کوچک	افزایش هزینه در تاسیسات بزرگ بستگی به ساختار آبخوان و ایزوله بودن آن خطر آلودگی آب زیرزمینی
حوضچه های تبخیر	نداشتن اثرات تخلیه به آب سطحی امکان بهره برداری از نمک به صورت تجاری فناوری و مدیریت ساده	ظرفیت به شدت محدود نیاز به زمین زیاد خطر آلودگی خاک و آب زیرزمینی نیاز به دفع نمک غیرقابل استفاده
استفاده مجدد از شورابه	نداشتن اثرات تخلیه به آب سطحی منبع آب جایگزین برای آبیاری گونه های مقاوم	برای پساب های با دبی کم امکان اثرات سوء شیمیایی و آلاینده ها بر روی گیاهان خطر آلودگی خاک و آب زیرزمینی نیاز به سیستم ذخیره و توزیع
عدم تخلیه پساب (Zero Liquid Discharge)	نداشتن مواد زائد مایع بازیابی نمک و مواد معدنی	عدم امکان استفاده از آن در مقیاس صنعتی باقیمانده مواد جامد نیاز به انرژی زیاد گران

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

تخلیه شورابه به دریا از نظر محل تخلیه، به تخلیه سطحی (Onshore) و تخلیه در عمق دریا (Offshore) تقسیم می‌شوند. تخلیه سطحی کم هزینه‌ترین روش تخلیه به آب‌های سطحی است ولی بایستی مراقب اثرات محیط زیستی آن بود زیرا امکان اختلاط کم است و در دید مستقیم قرار دارد. انتخاب محل مناسب برای تخلیه شورابه و آبگیری، یکی از مهمترین مراحل در طراحی آب‌شیرین‌کن است که می‌تواند باعث عملکرد مناسب آب شیرین‌کن شده و اثرات منفی آن را کاهش دهد. انتخاب نقاط تخلیه بهینه پیچیده بوده و عوامل متعددی در انتخاب نقاط تخلیه شورابه و همچنین آبگیر دخالت دارند که مهمترین آنها عبارتند از: شرایط محیط زیستی آب پذیرنده، دسترسی به آب/ تغییرات جزر و مدی، اطلاعات عمق سنجی، نحوه انتشار شورابه، هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری. Banihashemi و همکاران مشاهده نمودند که ۳۰ درصد از نوار ساحلی مازندران مناسب برای استقرار آب شیرین‌کن‌ها است و مدیریت شورابه آنها از طریق جانمایی، طراحی مناسب و استفاده از روش‌های نوین مدیریت پساب مورد تاکید قرار گرفته است (۱۳).

_اثرات تخلیه شورابه آب شیرین‌کن‌ها به دریا

۱۳ مقاله مرتبط با اثرات تخلیه شورابه آب شیرین‌کن‌ها به دریا بررسی شد که در جدول ۲ عنوان، سال انتشار و خلاصه نتایج این مطالعات ارائه شده است.

جدول ۲- مطالعات صورت گرفته در مورد اثرات تخلیه شورابه به دریا

ردیف	عنوان مطالعه	سال انتشار	خلاصه نتایج	منبع
۱	اثرات پساب واحدهای آب شیرین کن تخلیه شده به محیط زیست دریایی شمال خلیج فارس بر بازماندگی و تعادل یونی خرچنگ شناگر آبی	۲۰۲۲	تخلیه شورابه آب شیرین کن ها باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیک در موجودات آبزی می‌شود.	(۱٤)
۲	تاثیر پساب دستگاه های آب شیرین کن جزیره کیش بر ماکروبنتوزهای محدوده تحت اثر پساب	۲۰۱۲	اثر خروجی پساب آب شیرین کن بر ماکروبنتوزهای محدوده تحت اثر آن در جزیره کیش نشان داد کمترین تنوع و تراکم ماکروبنتوزها در ایستگاه اول بود که با دور شدن از خروجی، به تدریج افزایش می یابد.	(۱۵)
۳	اثرات پساب آب شیرین کن بر خانواده پرتاران	۲۰۲۰	پساب آب شیرین کن‌ها با افزایش دما و شوری تاثیرات نامطلوبی روی تنوع گونه های پرتاران گذاشته اند.	(۱٦)
٤	اثرات تغییرات شوری و دمای ناشی از آب نمک تخلیه شده از کارخانه آب شیرین کن بر روی جمعیت پرتاران در خلیج فارس	۲۰۱٤	پرتاران به شورابه حساسیت دارند زیرا فراوانی و شاخص های اکولوژیک در ایستگاه های کنترل و دورتر از آن نسبت به ایستگاه‌های نزدیکتر بیشتر بوده است.	(۱۷)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

ادامه جدول ۲- مطالعات صورت گرفته در مورد اثرات تخلیه شورابه به دریا

ردیف	عنوان مطالعه	سال انتشار	خلاصه نتایج	منبع
۵	ارزیابی اثرات سمی شورابه بزرگترین آب شیرین کن	۲۰۲۲	شورابه مخلوط شده با آب نیروگاه باعث توقف رشد باکتری‌های منتشر کننده نور به علت کلرزنی شورابه می شود (کلر آزاد باقیمانده ۰/۰٤ mg/L) ولی بر روتیفرها و لاروها سمیتی ندارد.	(۱۸)
٦	تعیین خسارت آلودگی ناشی از پساب آب شیرین کن های منطقه ویژه پارس جنوبی	۲۰۱۷	غلظت کل مواد جامد محلول، سولفات و سدیم شورابه در دو فصل مورد مطالعه بالاتر از حد مجاز استاندارد برای تخلیه به دریا است.	(۱۹)
۷	بررسی بهینه ترین روش برای تخلیه پساب شور: مطالعه موردی یک کارخانه آب شیرین کن در عسلویه	۲۰۲۱	تخلیه شورابه به صورت سطحی باعث افزایش ۱٦ درصدی غلظت نمک سیال محیط در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه می‌شود که در صورت استفاده از تخلیه‌کننده چند مجرایی بازاویه تخلیه ٦۰ درجه و با شمار ۱۰ خروجی در عمق ۳/۸ متری، غلظت نمک سیال در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه تنها به میزان ۰/۸ درصد افزایش می‌یابد.	(۲۰)
۸	مدل سازی آلودگی حرارتی در مناطق ساحلی و ارزیابی محیط زیست	۲۰۰۵	آلودگی حرارتی ناشی از نیروگاه بندرعباس در فاصله ۲۰۰ m دور از محل تخلیه پساب، ۳ درجه بیشتر از محدوده مجاز سازمان حفاظت از محیط زیست ایران است.	(۲۱)
۹	اثرات محیط زیستی شیرین سازی و تصفیه شورابه – چالش ها و اقدام‌های مقابله ای	۲۰۲۲	وابسته بودن بیش از ۳۰۰ میلیون نفر در جهان به آب شیرین‌کن ها و اثرات سوء بر محیط زیست در مرحله ساخت و بهره برداری و تخلیه شورابه همراه با مواد شیمیایی بکار رفته برای تصفیه	(۲۲)
۱۰	ارزیابی پارامترهای محیط زیستی آب شیرین کن ها در عربستان سعودی	۲۰۲۲	بالاترین میزان شوری ثبت شده برای آب شیرین کن های عربستان سعودی ٦۷/۲ و پایین ترین آن ۳٦/۸ قسمت در هزار بوده است	(۲۳)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

ادامه جدول ۲- مطالعات صورت گرفته در مورد اثرات تخلیه شورابه به دریا

ردیف	عنوان مطالعه	سال انتشار	خلاصه نتایج	منبع
۱۱	اثرات شورابه بر محیط دریایی و نحوه کاهش آن	۲۰۱۹	اثرات آب شیرین کن ها بر محیط زیست به دلیل مصرف انرژی، استفاده از زمین و آب دریا و به ویژه دفع شورابه است که می‌تواند با افزایش اختلاط و رقیق سازی کاهش یابد	(۲٤)
۱۲	اثرات نمک زدایی در فرآیند هیدرودینامیکی خلیج فارس	۲۰۱۸	حداکثر ٤/۲۱ mg/L و ٤/۳۲ °C افزایش به ترتیب در شوری و دما در مناطق مجاور تاسیسات به دلیل تخلیه پساب از شش آب شیرین کن در خلیج فارس اتفاق می افتد.افزایش شوری به دلیل تبخیر به ویژه از تابستان تا پاییز همچنین اثرات تغییر اقلیمی و کاهش منابع آب ورودی به دریا، تشدید می گردد. این افزایش شوری اثرات سوء بر رشد ماهی ها و سایر موجودات زنده حساس دارد. ارزیابی اثرات محیط زیستی تخلیه آب شیرین کن ها و تغییر اقلیمی از نیازهای مهم مطالعاتی در این منطقه است	(۲۵)
۱۳	برنامه ریزی محیط زیست، پیش بینی و مدیریت تخلیه شورابه آب شیرین کن ها	۲۰۱۰	میزان تخلیه کلر از آب شیرین کن های تقطیر ناگهانی چند مرحله ای ۲۲/۲ تن در روز و از آب شیرین کن های تقطیر چند مرحله ای ۱/۵ تن در روز در خلیج فارس برآورد شده است. میزان تخلیه مواد ضد رسوب در خلیج فارس به ترتیب ۵۹/۱ و ۵/۸ تن در سال از آب شیرین کن های تقطیر ناگهانی چند مرحله ای و اسمز معکوس برآورد شده است. میزان بازیافت آب نیز به ترتیب ۱۰ و ۳۳/۳ درصد تخمین زده شده است. میزان تخلیه مس از آب شیرین کن های تقطیر ناگهانی چند مرحله ای ناشی از خوردگی تاسیسات نیز ۲۹٦ kg/day برآورد	(۱۲)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

نتایج مطالعات نشان می‌دهد که تخلیه شورابه آب شیرین‌کن‌ها به دریا بر روی موجودات زنده دریا، اکوسیستم دریا و تنوع زیستی اثراتی منفی دارد. این اثرات در نزدیک محل تخلیه تا فواصل دورتر از آن قابل مشاهده است و بیشترین اثرات در نقطه تخلیه است. آلاینده‌های مربوط به پساب آب شیرین‌کن‌ها علاوه بر شوری، یا افزایش دما (آب شیرین‌کن‌های حرارتی) شامل انواع مواد شیمیایی هستند که می‌توانند اثرات سوء بر موجودات زنده دریایی، ماهی‌گیری و جوامع محلی داشته و تهدیدی برای اهداف توسعه پایدار باشند.

مدل‌سازی انتشار شورابه

_ مدل‌سازی عددی انتشار شورابه در دریا

مطالعه Sadaghi و همکاران نشان داد که انتخاب مسیر مناسب برای آبگیر و محل تخلیه شورابه اثر مهمی در کارایی کل سامانه آب شیرین‌کن دارد (۲۶).

Zhao و همکاران دریافتند مدل‌های کیفیت آب برای پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های مختلف در فواصل مختلف از محل انتشار کاربرد دارند. مدل‌های مختلف می‌توانند غلظت آلاینده‌ها را در فواصل نزدیک (Near-Field)، متوسط(Intermediate-Field) و دور از محل (Far-Field) انتشار شبیه‌سازی کنند. مدل‌های عددی برای حل معادله های انتشار و حرکت بیشتر در محل دور از محل تخلیه مناسب هستند زیرا که با در نظر گرفتن دوره‌های زمانی طولانی و شرایط هیدرودینامیکی می‌توانند محاسبات را در مقیاس‌های بزرگ و پیچیده انجام دهند. هنگامی که پساب به دریا تخلیه می‌شود، دو رویکرد وجود دارد. اولین رویکرد در محل تخلیه است که نیروی حرکت پساب در این محل بیشتر از جریان‌های دریایی است. دومین رویکرد در محل دور از محل تخلیه است و زمانی آغاز می‌شود که نیروی حرکتی اولیه پساب در محل تخلیه تاثیر خود را از دست داده است. در این حالت جریان‌های دریایی و امواج بیشترین اهمیت را در انتشار آلودگی دارند. مدل سازی به بهبود و ارتقاء تجزیه و تحلیل نتایج تخلیه پساب در آب شیرین‌کن‌ها کمک می‌کند و بهره‌برداران، مشاوران و تنظیم کنندگان مقررات را تشویق به استفاده از آن می‌نماید. نتایج استفاده از مدل‌سازی نشان می‌دهد که آب شیرین‌کن‌های پاک تر امکان پذیر است (۲۷). Malcangio و همکار دریافتند این مدل‌ها، معادله‌های بقای جرم و اندازه حرکت را در سه بعد می‌توانند حل کنند و در آن براساس رابطه یونسکو (Unesco) چگالی تابعی از شوری و دمای محل است. معادله‌های انتقال برای دما و شوری به ترتیب به صورت معادلات ۳ و ۴ هستند (۲۸):

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial uT}{\partial x}+\frac{\partial vT}{\partial y}+\frac{\partial wT}{\partial z}=F_T+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_v\frac{\partial T}{\partial z}\right)+\hat{H}+T_sS \qquad (۳)$$

$$\frac{\partial s}{\partial t}+\frac{\partial us}{\partial x}+\frac{\partial vs}{\partial y}+\frac{\partial ws}{\partial z}=F_s+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_v\frac{\partial s}{\partial z}\right)+s_sS \qquad (۴)$$

در این معادلات u، v و w به ترتیب سرعت در جهت‌های x، y و z بر حسب m/s و t زمان برحسب ثانیه هست، اند. T دمای محیطی بر حسب °C، S شوری محیطی به صورت g/L، D_v ضریب انتشار آشفتگی عمودی، D_h ضریب انتشار افقی، $\hat{H}$ دمای منبعی که تبادل حرارت با اتمسفر دارد، T_s و S_s دما و شوری منبع و F_i ترم های افقی پخش هستند که با معادله ۵ محاسبه می‌شوند (۲۸):

$$(F_T,F_s)=\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(D_h\frac{\partial}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(D_h\frac{\partial}{\partial y}\right)\right](T,S) \qquad (۵)$$

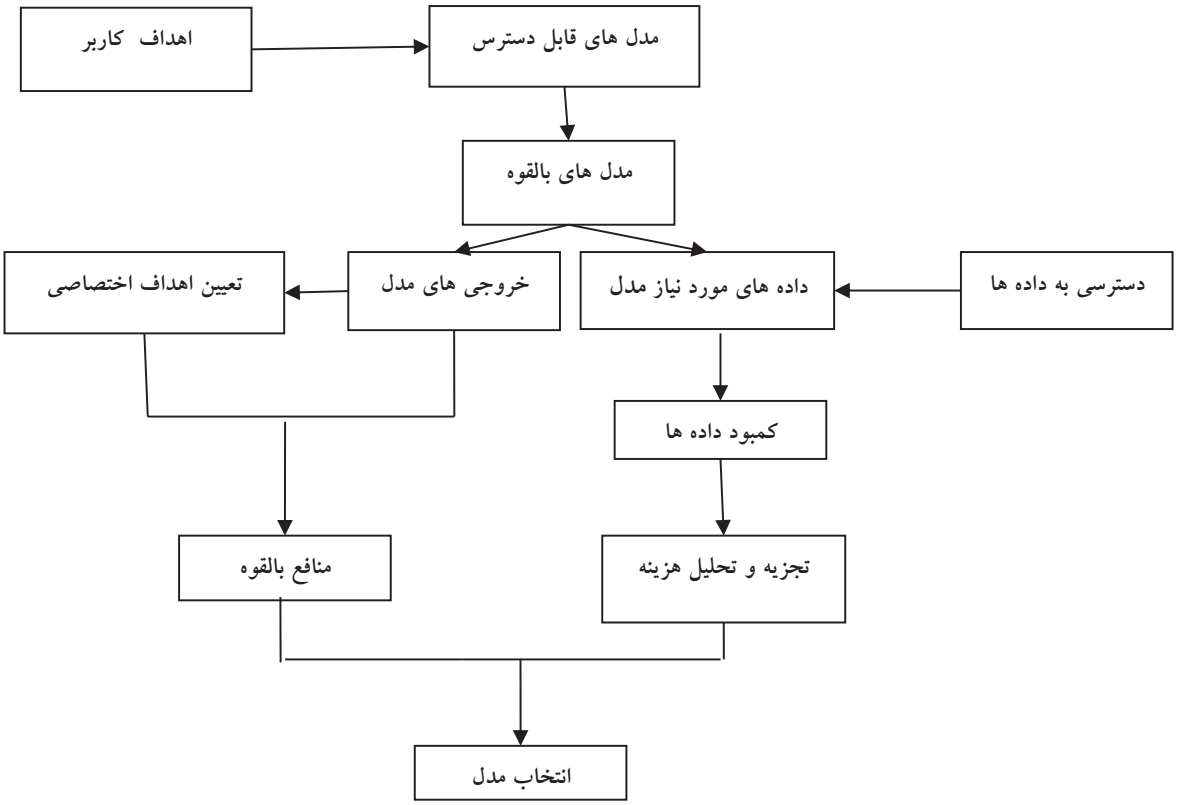
موسسه DHI با ادغام معادلات انتقال برای دما و شوری بر اساس عمق، معادلات انتقال را به معادلات دو بعدی تبدیل کرد (۲۹).

_ انتخاب مدل

Tuo و همکاران دریافتند، مدل‌های مختلفی با کاربردهای متفاوت برای شبیه‌سازی تخلیه شورابه به دریا وجود دارند که مهمترین آنها عبارتند از: کرمیکس (Cornell mixing zone expert system)، ویزجت (Visjet)، دلفت سه وجهی (Delft3D)، مایک (Mike).

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

برخی مدل‌ها تجربی بوده و برای پیش‌بینی رقیق‌سازی شورابه در محل تخلیه کاربرد دارند و برخی نیز برای پیش بینی انتشار شورابه در محل دور از محل تخلیه به کار می‌روند. روابط برخی مدل‌ها به صورت دو بعدی و برخی سه بعدی است. مدل‌های جت برای مدل‌سازی در نزدیک محل تخلیه استفاده می‌شوند. شکل ۲ دیاگرام نحوه انتخاب مدل را نشان می‌دهد (۳۰).



شکل ۲- دیاگرام انتخاب مدل

انتخاب مدل دو بعدی یا سه بعدی بستگی به تعداد متغیرهای استفاده شده دارد. به عنوان مثال در آب‌های کم عمق با جریان‌های جزر و مد و باد برای اختلاط آب، جهت شبیه‌سازی انتشار شوری و دما از مدل‌های دو بعدی استفاده می‌شود. در محیط لایه‌بندی شده به دلیل چگالی یا به دلیل اکولوژیکی (گونه‌های مختلف) استفاده از مدل سه بعدی مناسب‌تر است.

_ مطالعات مربوط به مدل‌سازی تخلیه شورابه به دریا

۱۰ مقاله مرتبط با مدل‌سازی تخلیه شورابه به دریا مورد بررسی قرار گرفت که در جدول ۳ ارائه شده است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

جدول ۳- مطالعات صورت گرفته در مورد مدل‌سازی تخلیه شورابه به دریا

ردیف	عنوان مطالعه	سال انتشار	خلاصه نتایج	منبع
۱	مدل سازی عددی دفع شورابه آب شیرین کن دریایی مرکزی غزه	۲۰۱٦	نتایج مدل سازی نشان داد، استفاده از نقاط تخلیه چند گانه (۲٤ خروجی) کمترین اثرات محیط زیستی در دریا را دارد.	(۳۱)
۲	مدل سازی شورابه خروجی آب شیرین کن ها در مرحله برنامه ریزی	۲۰۱۰	انتخاب محل تخلیه آب شیرین کن به دریا با مدل سه بعدی کمترین اثرات محیط زیستی را خواهد داشت.	(۲۸)
۳	بررسی اثرات محیط زیستی انتشار شوری و حرارت با استفاده مدل سازی هیدرودینامیکی در آب شیرین کن یانبو	۲۰۲۲	محل تخلیه فعلی شورابه (دور از ساحل) و محل های دورتر از آن باعث رقیق سازی و انتشار سریع شورابه می شود و تغییرات فصلی نقش مهمی در میزان انتشار و اختلاط دارد.	(۳۲)
٤	شبیه سازی تخلیه شورابه تاسیسات بارکا با استفاده از مدل کرمیکس	۲۰۱۱	مدل سازی برای دو سناریو تخلیه مستقیم شورابه آب شیرین کن به دریا و تخلیه شورابه پس از اختلاط با پساب نیروگاه نشان داد، در سناریو دوم شورابه بجای بالا آمدن به سطح آب تمایل به رفتن زیر آب و بستر دریا داشت و استانداردهای کیفیت آب در شعاع ۱۵۰ متری خروجی پساب براساس استاندارد کشور عمان در هر دو سناریو تامین می شد ولی در سناریو دوم نیاز به تحقیقات و پایش اثرات در زیر دریا و بستر دریا است.	(۳۳)
٥	اندازه گیری دبی و پارامترهای فیزیکی آب دریا و مدل سازی عددی شورابه خروجی آب شیرین کن جزیره کیش	۲۰۲۱	پساب به موازات خط ساحلی تحت اثر جریان های کشندی پخش می شوند و فاصله ۸۰۰ m از خط ساحلی(عمق ۳ m) بهترین مکان برای تخلیه پساب است. همچنین زاویه ٤٥ درجه بین لوله پساب و بستر با ٥ خروجی بهترین نحوه تخلیه است.	(۳٤)
٦	مدل سازی پخش آلودگی ایجاد شده به وسیله خروجی آب شیرین کن در دریا	۲۰۱۲	عمق مناسب تخلیه در جهت تامین استانداردهای محیط زیستی در محدوده پروژه، در صورت استفاده از دیفیوزر در عمق ۳ m و در صورت عدم استفاده از دیفیوزر در عمق ۷ m خواهد بود.	(۳٥)
۷	مطالعه عددی انتشار پساب آب شیرین‌کن کنارک با نرم افزار Cormix	۲۰۲۲	افزایش دبی پساب منجر به افزایش گستردگی شوری در آب دریا می شود و پخش شورابه در دریا را می توان با سرعت جریان جزر و مد مدیریت کرد تا تاثیر کمتری بر محیط دریا داشته باشد.	(۳٦)
۸	مدل سازی پخش آلودگی خروجی آب شیرین کن بندرعباس	۲۰۱۳	نحوه پخش آلودگی به خوبی با الگوی جریان حاکم بر منطقه توافق دارد، بطوری که در موقعیت شرقی، پخش شوری به سمت غرب و ساحل شمالی جزیره قشم و در موقعیت غربی، عمده پخش در طول کانال قشم و تنگه خوران رخ می دهد.	(۳۷)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

ادامه جدول ۳- مطالعات صورت گرفته در مورد مدل سازی تخلیه شورابه به دریا

ردیف	عنوان مطالعه	سال انتشار	خلاصه نتایج	منبع
۹	مدل سازی پخش شورابه خروجی در شرایط جزر و مدی	۲۰۰۹	جریان جزر و مد در خروجی آب شیرین کن جزیره کیش، نشان داد که پساب نه فقط به سمت پایین دست خروجی حرکت می کند، بلکه به دلیل نوسانات جریان به سمت بالادست نقطه خروجی هم جریان می یابد.	(۳۸)
۱۰	اعتبار بخشی مدل کرمیکس در شبیه سازی تخلیه شورابه با تک مجرا در دریا	۲۰۲۱	با استفاده از مدل سازی عددی توسط نرم افزار کرمیکس دریافتند که در تخلیه تک مجرایی به صورت جت، نحوه انتشار و رقیق سازی نسبت به تغییرات سرعت تخلیه حساس تر از قطر نازل است.	(۳۹)

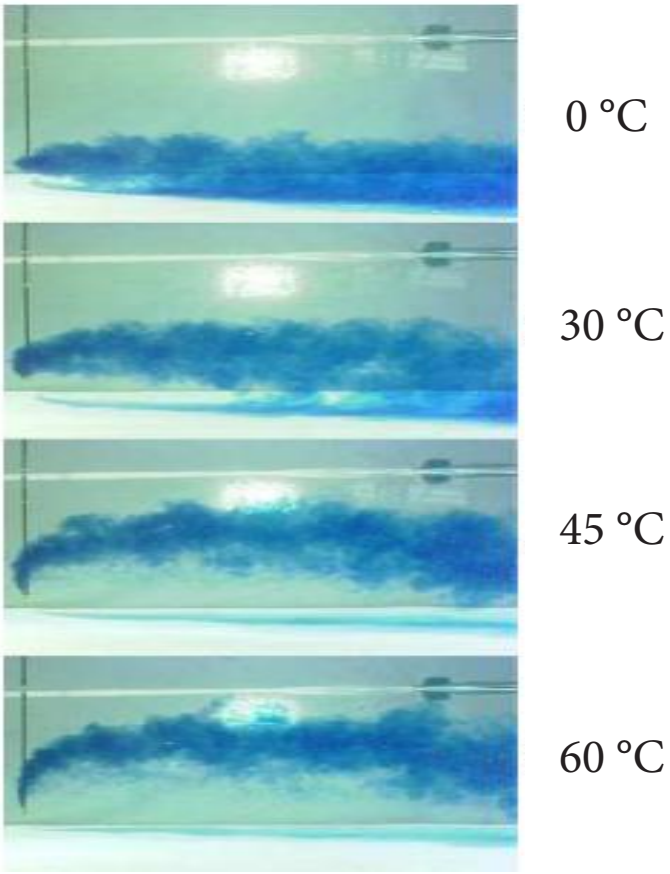
نتـــایج مطالعات مربـــوط به مدل‌ســـازی نشـــان می‌دهد که مدل‌سازی می‌تواند در پیش‌بینی نحوه انتشار و پخش آلودگی در شرایط مختلف و با جریان‌های جزر و مدی مورد استفاده قرار گیرد و این موضوع در انتخاب محل تخلیه و یا آبگیری در مرحله طراحی آب شیرین‌کن و یا در مرحله بهره‌برداری برای اصلاح نقطه تخلیه یا آبگیری در جهت کاهش اثرات محیط زیستی و تامین استانداردها بسیار اهمیت دارد. همچنین نشان می‌دهد که تخلیه چند مجرایی به صورت جت در کاهش اثرات محیط زیستی و رعایت استانداردها موثرتر است.

طراحی خروجی شورابه به دریا

Ardalan و همکاران دریافتند که تعیین عمق مناسب آب و سرعت جریان در خروجی جت در مناطق نزدیک ساحل، اختلاط قابل توجهی ایجاد می‌نماید (۴۰). مطالعه ماهواره‌ای Amokrane و همکار بر روی پخش سطحی شورابه یک آب شیرین‌کن اسمز معکوس در الجزایر نشان داد شرایط محیطی بر پخش سطحی شورابه در مناطق کم عمق و رقیق‌سازی تاثیر دارد و نیاز به طراحی خروجی شورابه آب شیرین‌کن با استفاده از سیستم‌های مدرن وجود دارد (۴۱). مطالعه Pistocchi و همکاران نشان داد علیرغم اثرات محیط زیستی ناشی از تخلیه شورابه و مصرف انرژی، همچنین گران قیمت بودن، آب شیرین کن‌ها می‌توانند برای تطابق (Adaptation) با تغییرات اقلیمی یک گزینه مناسب باشند و در صورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تولید انرژی از شورابه در کاهش انتشار (Mitigation) گازهای گلخانه‌ای هم نقش داشته و نقش مهمی در توسعه کشورها داشته باشند. همچنین با طراحی مناسب خروجی آب شیرین‌کن می‌توان اثرات محیط زیستی را به حداقل رساند و به بازچرخش آب در طبیعت کمک کرد (۴۲). Blinger و همکار دریافتند برای رقیق‌سازی شورابه در دریا نیاز به تخلیه در عمق مناسب است. فاصله و شیب کف تا محل تخلیه می‌تواند در هزینه‌های طراحی تاثیرگذار باشد، همچنین هزینه‌های پمپاژ و بهره‌برداری نیز در برآورد هزینه منظور می‌شود. برای طراحی خروجی شورابه علاوه بر دستیابی به رقیق‌سازی مناسب و استاندارد تخلیه به دریا، لازم است هزینه‌ها به حداقل برسد. به طور معمول تخلیه شورابه با سرعت زیاد به صورت جت به منظور اختلاط سریع با آب دریا و کاهش غلظت آلاینده انجام می‌گردد. نقطه تخلیه در نزدیکی کف دریا قرار داشته و ارتفاع و مسیر طی شده توسط شورابه افزایش یافته و باعث افزایش شناوری آن می‌شود. این موضوع باعث کاهش غلظت و همچنین افزایش زمان رسیدن آن به کف دریا می‌شود. اگر عمق آب به اندازه

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

کافی زیاد باشد، شورابه خروجی با سطح آب برخورد نمی‌کند. در مناطق کم عمق شورابه خروجی در کل ستون ارتفاع آب در مسافت طولانی اختلاط پیدا می‌کند. این وضعیت به نام اختلاط عمودی نام‌گذاری شده است. در آب‌های عمیق در زاویه ۶۰ درجه بیشترین رقیق‌سازی انجام می‌شود. زاویه ۳۰ درجه برای مناطق کم عمق مناسب است. شکل ۳ تاثیر نحوه طراحی خروجی شورابه بر میزان رقیق‌سازی را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل بیشترین مسیر طی شده شورابه قبل از تماس با بستر، هنگامی است که خروجی با زاویه ۶۰ درجه طراحی گردد.



شکل ۳- تاثیر طراحی خروجی شورابه بر میزان رقیق سازی (۱۲)

مطالعه Roberts و همکاران نشان داد که دیفیوزرها یک سری خروجی موازی مستغرق به صورت جت هستند. در آب‌های کم عمق خروجی هر دیفیوزر با همدیگر بر هم کنش پیدا می‌کنند و اختلاط بیشتر ایجاد می‌شود. فاصله بین هر خروجی جت با جت دیگر برابر با عمق آب است. بهینه‌سازی طراحی خروجی شورابه نیازمند شناسایی هزینه‌های آن، میزان رقیق‌سازی مورد نیاز، همچنین گزینه‌های موجود برای طراحی است. میزان رقیق‌سازی مورد نیاز براساس مقررات و استانداردهای هر کشور مشخص می‌شود. میزان مورد نیاز رقیق‌سازی از معادله ۶ محاسبه می‌شود:

$$S = (C_b - C_0)/C_i \qquad (۶)$$

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

در این معادله S میزان رقیق‌سازی مورد نیاز است، C_b میزان شوری شورابه، C_0 میزان شوری محیط پذیرنده (دریا) و C_i میزان حداکثر افزایش شوری مجاز است. در آب‌های کم عمق طول دیفیوزر برای رقیق‌سازی مطلوب بیشتر خواهد شد و برای جلوگیری از برخورد توده شورابه با سطح آب زاویه تخلیه کمتر خواهد شد. هر چقدر طول دیفیوزر بیشتر باشد، اندازه منطقه اختلاط شورابه (Brine Mixing Zone) بیشتر خواهد شد. در صورتی که خروجی‌های دیفیوزر به صورت خطی در دو طرف باشند، اندازه منطقه اختلاط شورابه و طول دیفیوزر کمتر خواهد شد (۸). مطالعات آزمایشگاهی Hosseini و همکاران نشان داده است که دیفیوزرهایی که به صورت غیر یکنواخت طراحی می‌شوند، میزان رقیق‌سازی را ۲۵-۲۲ درصد افزایش می‌دهند (۴۳).

استانداردهای تخلیه شورابه آب شیرین کن‌ها

تخلیه منابع نقطه‌ای به وسیله تعیین استانداردهای محیط زیستی کنترل می‌شود. بیشتر استانداردها، استانداردهای خروجی (Effluent Standards) بوده و حد مجاز انتشار آلاینده را تعیین می‌کنند. نوع دیگر استاندارد، استانداردهای محیطی (Ambient Standards) است که استاندارد کیفیت محیط یا آب را تعیین می‌کند. هدف استاندارد نوع اول کنترل میزان آلاینده از طریق تصفیه و فرآیندهای بازچرخانی است و نوع دوم با هدف عدم تغییر کیفیت آب با در نظر گرفتن عواملی مانند اختلاط، نحوه تخلیه و محل آن تعیین شده است. استانداردهای نوع اول برای پایش و کنترل آسان‌تر هستند زیرا فقط نقطه خروجی پساب پایش می‌شود ولی برای حفاظت از کیفیت آب از نظر اکولوژیکی کافی نیستند؛ چرا که ممکن است یک پساب خروجی با دبی بالا یا چندین خروجی وارد یک محیط آبی کوچک شده و بار آلودگی افزایش یابد. پایش استاندارد نوع دوم به دلیل پیچیدگی تعیین محل و زمان پایش سخت‌تر بوده و نیاز به پیش‌بینی و مدل‌سازی دارد. اتحادیه اروپا، بانک جهانی و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا نیز از هر دو راهکار برای تعیین استانداردها استفاده نموده‌اند. ES با هدف محافظت از اثرات حاد بر ارگانیسم‌ها است و AS با هدف پیشگیری از اثرات مزمن در طولانی مدت است. این نسبت نشان دهنده میزان رقیق‌سازی لازم از طریق فرآیندهای مختلف نظیر اختلاط است و برای تعیین میزان کاهش و کنترل آلودگی آب به کار می‌رود (۱۲). در کشور ما از هر دو راهکار تدوین استانداردهای خروجی و محیطی استفاده شده است. جدول ۴ استاندارد کشورها و مناطق مختلف برای تخلیه شورابه به دریا نشان می‌دهد.

جدول ۴- استاندارد تخلیه شورابه به دریا در کشورهای مختلف (۱۲)

کشور/منطقه	محدوده شوری	نقطه تطابق با استاندارد
سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا	کمتراز ٤ ppt	-
غرب استرالیا	کمتر از ۵ درصد افزایش یا ppt ۱ (یک قسمت در هزار)	-
استرالیا، سیدنی	افزایش کمتر از ppt ۱	۵۰-۷۵
ساحل گلد استرالیا	افزایش کمتر از ppt ۲	۱۲۰ متری
اکیناوا ژاپن	افزایش کمتر از ppt ۱	منطقه اختلاط
ابوظبی	افزایش کمتر یا مساوی ppt ۵	منطقه اختلاط
عمان	افزایش کمتر یا مساوی ppt ۲	۳۰۰ متری
ایران	افزایش کمتر یا مساوی ppt ٤	۲۰۰ متری

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

بر اساس استاندارد ایران، تخلیه پساب به مناطق حفاظت شده دریایی و گردشگری دریایی ممنوع و تراز بالای لوله تخلیه شورابه آب شیرین کن‌هایی که میانگین حجم تخلیه آنها بیش از m^3/day ۱۰۰۰۰ است، باید حداقل یک متر پایین‌تر از حداقل تراز سالانه سطح آب در حالت مه کشند (Spring tide) در دریای عمان و خلیج فارس یا پایین‌ترین تراز ثبت شده سالانه سطح آب در دریای خزر باشد (۴۴). برای بررسی تاثیر تخلیه پساب بر کیفیت آب دریا و رعایت استاندارد محیطی آب دریا (۴۵) نیاز به مطالعات شبیه‌سازی کیفیت آب دریا در اثر تخلیه شورابه و مدل‌سازی است.

نتیجه‌گیری

با توجه به اثرات تغییر اقلیمی بر کمیت و کیفیت منابع آب و نقش آب شیرین کن‌های دریایی به ویژه با روش اسمز معکوس در توسعه پایدار در کشور و تامین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف (کشاورزی، صنعتی و آب شرب) در حال حاضر و آینده، نیاز است اثرات محیط زیستی آن به حداقل برسد. تا ۷۰ درصد آب ورودی به آب شیرین کن‌ها تبدیل به شورابه می‌شود که حاوی عناصر تغلیظ شده آب دریا و مواد استفاده شده در تصفیه آب است. تخلیه شورابه آب شیرین‌کن به دریا به صورت عمقی و سطحی از روش‌های متداول و رایج دفع شورابه آب شیرین کن‌ها است. اثرات تخلیه آب شیرین کن‌ها به دریا در محل تخلیه و فواصل دورتر از آن قابل مشاهده است و بر زیست بوم دریا تاثیر دارد و می‌تواند زندگی موجودات دریایی را تهدید کند. مدل‌سازی عددی برای پیش بینی غلظت آلاینده‌ها در فواصل مختلف از محل تخلیه، رعایت استانداردهای خروجی، محیطی و تعیین محل تخلیه و آبگیری با در نظر گرفتن حداقل هزینه‌های اقتصادی و محیط زیستی به کار می‌رود. این مدل‌ها می‌توانند معادله‌های بقای جرم و اندازه حرکت را در سه یا دو بعد بسته به تعداد متغیرها حل کنند. در انتخاب مدل عوامل متعددی از قبیل اهداف مدل‌سازی و دسترسی به اطلاعات و مدل‌ها تاثیرگذار هستند. طراحی و استفاده از دیفیوزر با چندین نازل با زاویه ۶۰ درجه منجر به بیشترین رقیق‌سازی در نقطه تخلیه می‌شود و اثرات محیط زیستی کاهش می‌یابد. با توجه به استاندارد ملی سازمان حفاظت محیط زیست، در آب شیرین کن‌های با ظرفیت بیش از m^3/day ۱۰۰۰۰ تخلیه عمقی باید صورت گیرد و افزایش شوری در محدوده ۲۰۰ متری نباید بیش از ppt ۴ باشد. تحقیقات نشان داده است، تامین انرژی از شورابه و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند نور خورشید برای تامین انرژی آب شیرین‌کن‌ها نیز می‌تواند در کاهش اثرات محیط زیستی و سازگاری با تغییرات اقلیمی موثر باشند که نیاز به مطالعات بیشتری در این زمینه می‌باشد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه دکترا با عنوان "بهینه‌سازی تخلیه شورابه آب شیرین کن‌های دریایی با استفاده از مدل‌سازی عددی" در مقطع دکترای تخصصی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

References

1. Razeghi N, Mansouri R. Desalination from Sea and Brakish Water. Iran: Narvan Ara company; 2012 (in Persian).
2. Lattemann S, Höpner T. Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. Desalination. 2008;220(1-3):1-15.
3. Safrai I, Zask A. Reverse osmosis desalination plants—marine environmentalist regulator point of view. Desalination. 2008;220(1-3):72-84.
4. Xevgenos D, Marcou M, Louca V, Avramidi E, Ioannou G, Argyrou M, et al. Aspects of environmental impacts of seawater desalination: Cyprus as a case study. Desalination and Water Treatment. 2021.
5. Purnama A, Al Barwani H. Spreading of brine waste discharges into the Gulf of Oman. Desalination. 2006;195(1-3):26-31.
6. Missimer TM, Maliva RG. Environmental issues in seawater reverse osmosis desalination: Intakes and outfalls. Desalination. 2018 (434):198-215.
7. Shao D, Law AW, Li H. Brine discharges into shallow coastal waters with mean and oscillatory tidal currents. Journal of Hydro-environment Research. 2008;2(2):91-97.
8. Roberts PJ, Taplin J, Zigas E, editors. Design of seawater desalination brine diffusers. 38th IAHR World Congress; 2019.
9. Shrivastava I, Adams EE. Desalination Brine Management: Effect on Outfall Design. Pathways and Challenges for Efficient Desalination. London: IntechOpen; 2018.
10. Sajna M, Elmakki T, Schipper K, Ihm S, Yoo Y, Park B, et al. Integrated seawater hub: A nexus of sustainable water, energy, and resource generation. Desalination. 2023:117065.
11. Mickley M, Voutchkov N. Database of permitting practices for seawater concentrate disposal. IWA Publishing, 2016 178040848X.
12. Bleninger T, Jirka G, Lattemann S. Environmental planning, prediction and management of brine discharges from desalination plants. Middle East Desalination Research Center (MEDRC): Muscat, Sultanate of Oman. 2010;5.
13. Banihashemi SM, Solaimani K, Yousefi Kebria D. Investigation of desalination plant construction based on environmental potential in the southern coasts of the Caspian Sea. Irrigation and Water Engineering. 2021;12(2):430-48 (in Persian).
14. Gheshlaghi P, Kamrani E, Naji A, Daliri M. Impacts of the seawater desalination plants' discharges on survival and ionic balance of blue swimmer crab, Portunus segnis (Forskal, 1775), in the northern Persian gulf. Iranian Journal of Health and Environment. 2022:245-60 (in Persian).
15. Mihandoost M FM, editor The effect of wastewater discharge from Kish Island desalination plants on the macrobenthos of the area under the effect of wastewater. The 10th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures; 2012 (in Persian).

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

16. Gafari S, Nabavi SMB, Doustshenas B, Sakhaei N, Ranjbar S. Study of diversity and distribution of Polychaetes (Annelida: Polychaeta) in Qeshm Island and the effect of desalination plant effluent on them. Experimental Animal Biology. 2020;9(2):97-106 (in Persian).

17. Miri M, Nabavi S, Doustshenas B, Safahieh A, Loghmani M. Effect of Salinity and Temprature Canges from Brine Discharged of Desalination Plant on Polychaeta assemblage in The Chabahar Bay. Journal of Marine science and Technolgy. 2014 (13(3)).

18. Saeed MO, Ershath MM, Barnawi AM. Assessing the toxic effects of brine discharge from the world's largest desalination plant, Gulf Coast of Saudi Arabia. Membrane Science International. 2022;1(1):3–11-3–11.

19. Movahed E, Abedi Z. Determination of water pollution damage caused by desalinators in the South Pars special zone (case study: Noor Vijeh disalinator). Journal of Water and Sustainable Development. 2017;3(2):1-8 (in Persian).

20. Khorsandi B. Investigating the best method for saline wastewater discharge: A case study of one of Assaluyeh desalination plants. Journal of Hydraulics. 2021;16(3):1-15 (in Persian).

21. Abbaspour M, Javid A, Moghimi P, Kayhan K. Modeling of thermal pollution in coastal area and its economical and environmental assessment. International Journal of Environmental Science & Technology. 2005;2:13-26.

22. Panagopoulos A, Haralambous KJ. Environmental impacts of desalination and brine treatment-Challenges and mitigation measures. Marine Pollution Bulletin. 2020;161:111773.

23. Aljohani NS, Kavil YN, Al Farawati RK, Aljohani NH, Orif MI, Ghandourah MA, et al. The assessment of environmental parameter along the desalination plants in the Kingdom of Saudi Arabia. Open Chemistry. 2023;21(1):20220274.

24. Fernández Torquemada Y, Carratalá A, Lizaso JLS. Impact of brine on the marine environment and how it can be reduced. Desalination and water treatment. 2019;167:27-37.

25. Lee W, Kaihatu JM. Effects of desalination on hydrodynamic process in Persian Gulf. Coastal Engineering Proceedings. 2018 (36):3-3.

26. Sadaghi SM, Fakher A, Toorang Z, Shafieefar A. Pipeline route selection effects on seawater intakes efficiency (case study: Bandar Abbas Sako desalination plant). Journal of Coastal and Marine Engineering. 2018;1(1):19-24.

27. Zhao L, Chen Z, Lee K. Modelling the dispersion of wastewater discharges from offshore outfalls: a review. Environmental Reviews. 2011;19(NA):107-20.

28. Malcangio D, Petrillo A. Modeling of brine outfall at the planning stage of desalination plants. Desalination. 2010;254(1-3):114-25.

29. Danish Hydraulic Institute. Mike21&Mike3 flow model FM, Hydrodynamic and transport module 2017.

30. Tuo Y, Chiogna G, Disse M. A multi-criteria model selection protocol for practical applications to nutrient transport at the catchment scale. Water.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

2015;7(6):2851-80.

31. Abualtayef M, Al Najjar H, Mogheir Y, Seif AK. Numerical modeling of brine disposal from Gaza central seawater desalination plant. Arabian Journal of Geosciences. 2016;9:1-18.

32. Aljohani NS, Kavil YN, Shanas PR, Al Farawati RK, Shabbaj II, Aljohani NH, et al. Environmental impacts of thermal and brine dispersion using hydrodynamic modelling for Yanbu desalination plant, on the Eastern Coast of the Red Sea. Sustainability. 2022;14(8):4389.

33. Purnama A, Al Barwani H, Bleninger T, Doneker R. CORMIX simulations of brine discharges from Barka plants, Oman. Desalination and Water Treatment. 2011;32(1-3):329-38.

34. Yari S, Hosseini S, Farjami H. Field measurement of flow and physical parameters of sea water and numerical modeling of super saline desalination effluent on the southeast coast of Kish Island. Journal of Oceanography. 2021;11(41):11-24 (in Persian).

35. Mohmmadi S, Bakhtiari A, Vafai F, editor Modeling the spread of pollution caused by the effluent of desalination plants in the sea. The 10th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures; 2012; Tehran. https://civilica.com/doc/184335.(in Persian).

36. Azizi Z, Rezapour M, Azhdary Moghaddam M. Numerical Study of Effluent Distribution from Konarak Desalination Plant Using Cormix. Journal Of Marine Engineering. 2022;18(36):1-13.

37. Baloochi S MM, Farmanara M. Modeling the spread of pollution caused by Bandar Abbas desalination plant effluent [dissertation]. Sciences Faculty of Hormozghan University; 2013 (in Persian).

38. Vaselali A, Vaselali M. Modeling brine waste discharges spreading under tidal currents. Journal of Applied Sciences. 2009 (9(19)):3454-68.

39. Mahdieh Najafabadi M, Mohammadnezhad BA, Karimi A. Validation of CORMIX model in simulation of single port brine discharge into seawater. Journal of Hydraulics. 2021;16(4):93-108 (in Persian).

40. Ardalan H NA, Babai M, Faghihi SH. Numerical simulation of desalination brine distribution and existing challenges, case study: Seko desalination brine distribution system. 20th Iranian Hydraulic Conference 2022 (in Persian).

41. Amokranea M, Salmic A. Surface spreading of the brine discharge from the seawater reverse osmosis plants: Hamma Water Desalination plant in Algeria. Desalination and Water Treatment. 2021;222:81-91.

42. Pistocchi A, Bleninger T, Breyer C, Caldera U, Dorati C, Ganora D, et al. Can seawater desalination be a win-win fix to our water cycle? Water Research. 2020;182:115906.

43. Hosseini SS, Taherian M, Mohammadian A, Ferrari S, Roberts PJ. Mixing behavior of multiport diffusers with non-uniform port orientation. Desalination. 2023;567:116962.

44. Department of environment Domawe. Discharge Standard to Iran Seas (Persian golf, Oman sea, Caspian sea). In: editor.^editors. ed.: 2021. p (in Persian).

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

45. Department of environment Domawe. Water Quality Standard of Iran Seas (Persian golf and Oman sea). In: editor.^editors. ed.: 2021. p (in Persian).

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
Systematic Review Article

Effects investigation of seawater concentrate discharge into the sea and discharge modification by modeling: systematic review

Gholamreza Shaghaghi[1], Amir Hossein Javid[1,*], Sara Allahyaribeik[2], Ali Mashinchian Moradi[3]

1- Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Department of Energy and Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3- Department of Fisheries and Marine Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 18 June 2024
Revised: 07 September 2024
Accepted: 11 September 2024
Published: 11 December 2024

Keywords: Seawater concentrate discharge, Coastal desalination plant, Numerical modeling, Outlet design, Discharge standards

ABSTRACT

Background and Objective: The discharge of seawater concentrate from desalination plants into the sea causes irreparable effects on the environment. The purpose of this study is to identify the effects of this discharge, model methods for optimizing it, and design an effective outlet that minimizes environmental impacts and costs.

Materials and Methods: This study discusses impacts of seawater concentrate discharged into the sea, numerical modeling of diffusion, and outlet design based on discharge standards.A review of articles and sources from databases such as Google Scholar, Academia, Scopus, Civilica and Irandak was conducted using keywords such as “brine discharge”, “numerical modeling”, and “outlet design.” Out of 132 reviewed articles, 45 articles were consistent with the objectives of the study.

Results: The effects of seawater discharge can be observed in the discharge area and at greater distances. Numerical modeling is employed to predict pollutant concentrations at various distances and to determine the optimal discharge point while considering established standards. The design of the diffuser and the use of multiple nozzles at an angle of 60 degrees result in the greatest dilution at the discharge point.

Conclusion: The use of desalination systems necessitates addressing the effects of climate change. Appropriate modeling and design of the outlet are essential for complying with environmental standards and optimizing costs. Further research in this field is needed.

***Corresponding Author:**
a.javid@srbiau.ac.ir

Please cite this article as: Shaghaghi Gh, Javid AH, Allahyaribeik S, Mashinchian Moradi A. Effects investigation of seawater concentrate discharge into the sea and discharge modification by modeling: systematic review. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;17(3):631-50.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2025-01-13]