تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دهم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۳
Volume 10, No. 3, Winter 2015 (IR-WRR)
۱۰۴-۱۱۲

یادداشت فنی

مدیریت شورآبه‌های ناشی از نمک‌زدایی آب دریا از منظر محیط زیست

محمد امین علایی شهمیرزادی[۱] و سید سعید حسینی[۲*]

چکیده

امروزه به دلیل افزایش مصرف آب آشامیدنی و همچنین کاهش منابع آن در سطح دنیا، نمک زدایی از آب دریا به عنوان روشی مهم به منظور تامین آب آشامیدنی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. این موضوع با توجه به قرار گرفتن کشور ما در منطقه ای از جهان که با بحران کمبود منابع آب روبروست، بسیارحائز اهمیت می‌باشد. با توجه به روند رو به توسعه استفاده از فرایندهای نمک‌زدایی آب دریا به عنوان منبع تامین آب آشامیدنی، تخلیه شورآبه‌های ناشی از این فرآیندها می‌تواند اثرات فیزیکی (دما، شوری)، شیمیایی و اکولوژیکی بر محیط زیست محیط دریافت کننده را در پی داشته باشد. لذا ضرورت شناخت دقیق تر و بهتر نسبت به آثار و جنبه‌های مختلف فرآیندهای نمک‌زدایی و همچنین شورآبه‌های حاصل از آن به صورت محصول جانبی غیر قابل انکار می‌باشد. مطالعه پیش‌رو به ارائه و بررسی اثرات شورآبه‌ها بر پارامترهای مختلف آب دریافت کننده پرداخته و برخی از راه حل‌های عملی به منظور به حداقل رساندن آن‌ها را ارائه می‌نماید. راهکارهایی نظیر استفاده از آب خنک کننده نیروگاهها، ترکیب شورآبه با فاضلاب شهری، نمک‌زدایی از آب‌های زیر زمینی و انتخاب محل و روش مناسب به منظور تخلیه شورآبه‌ها از جمله پیشنهادهای مؤثر مطرح شده به‌شمار می‌روند.

کلمات کلیدی: نمک زدایی، شورآبه، محیط زیست، آب دریا، مدیریت فناوری.

تاریخ دریافت مقاله: ۶ اردیبهشت ۱۳۹۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۶ دی ۱۳۹۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس.
۲- استادیار مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس.
*- نویسنده مسئول

Technical Note

Environmental Aspects of Brine Management in Seawater Desalination

M.A.A. Shahmirzadi [1] and S.S. Hosseini [2]*

Abstract

Seawater desalination is recently considered as an important source for providing drinking water largely due to the increased water consumption as well as depletion of available and accessible water resources. This is especially important in case of Iran which is located in an arid region facing the challenges of water resources shortage. Due to the progressive development of seawater desalination processes, the discharge of brine can potentially bring about physical, chemical, and ecological effects on the environment of receiving water resources. Therefore, the necessity of more accurate and better understanding of such effects and different aspects of desalination processes as well as the brine as the by-product is undeniable. The focus in the present paper is investigation on the effects of brine discharge on the quality of various parameters in the receiving water and providing solutions for minimizing the side-effects. Techniques such as use of cooling water in power plants, combination of brine with municipal sewage, groundwater desalination, and proper selection of sites and discharge procedures are among the practical proposed strategies.

Keywords: Desalination, Brine, Environment, Seawater, Technology Management.

Received: April 26, 2014
Accepted: January 6, 2015

1- MSc Student, Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Assistant Professor, Chemical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: saeid.hosseini@modares.ac.ir.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

به منظور مواجهه با چالش‌های کمبود و زوال منابع آب طبیعی، نمک‌زدایی آب دریا به عنوان روشی جایگزین برای تأمین آب آشامیدنی مطرح گردیده است که هم از نقطه نظر مقدار و هم کیفیت قابل قبول و اطمینان می‌باشد، مخصوصاً اگر منابع متداول آب آشامیدنی موجود نبوده یا به دلیل اثرات مخرب محیط زیستی قابل استخراج نباشند((Lin et al, 2013). این مقدار در مجموع ظرفیت تولیدی برابر با ۲۴/۵ میلیون متر مکعب در روز را ایجاد کرده است. دو فناوری عمده تصفیه به منظور بازیافت آب از آب دریا، تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای[۱] و اسمز معکوس[۲] مبتنی بر غشا می‌باشند ((Mezher et al, 2011)).

نمک‌زدایی از آب دریا به منظور تهیه آب آشامیدنی در کشورهای خلیج فارس سال‌هاست که مورد توجه قرار گرفته است به گونه‌ای که بزرگترین واحدهای نمک‌زدایی آب دریا در کشورهای این منطقه واقع شده است و در کشور ایران نیز این فناوری در سال‌های اخیر با سرعت بیشتری در حال گسترش می‌باشد (شکل ۱). با توجه به این مهم که تأمین آب آشامیدنی از آب دریا موضوعی اجتناب ناپذیر و رو به رشدی می‌باشد، توجه هر چه بیشتر نهادهای مرتبط با محیط زیست و پژوهشگران امری ضروری می‌نماید. در وهله اول باید مشکلات ناشی از این فناوری را شناسایی شود وسپس راه‌حل‌هایی به منظور کاهش و رفع این مشکلات یافته شود.

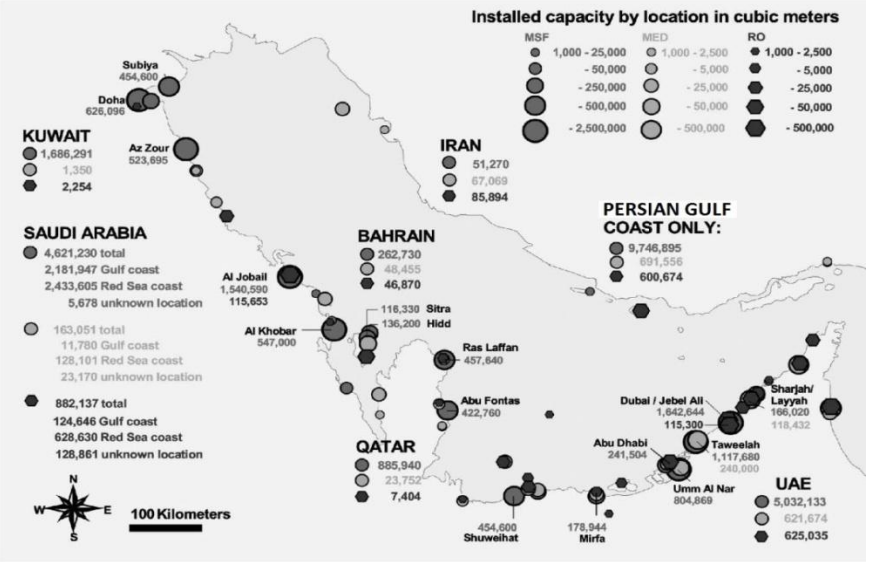
تاثیرات بالقوه نمک‌زدایی بر روی محیط زیست یکی از مهم‌ترین مباحث مرتبط با این فناوریها می‌باشد. در میان مضرات تاثیرگذار محیط زیستی که برای فناوری نمک‌زدایی از آب دریا قابل تصور است، اثرات ناشی از تخلیه شورآبه حاصل از این فناوری به محیط زیست اطراف، بیشترین توجه را به خود جلب کرده است. خواص فیزیکی- شیمیایی جریان تخلیه شده تأثیر قابل ملاحظه‌ای را بر روی محیط زیست بر جای می‌گذارد که این امر نیز عمدتاً به نوع فناوری‌های به کار گرفته شده در فناوری‌های نمک زدایی و پیش تصفیه بستگی خواهد داشت (Lattemann , Höpner 2008; Sadhwani et al. 2005). جریان تخلیه شده از واحدهای نمک‌زدایی قابل دسته بندی به خواص فیزیکی (مانند دما و شوری)، افزودنی‌های مورد استفاده به منظور تمیز کردن، کنترل گرفتگی و کف‌زایی، منعقدکننده‌ها به منظور حذف جامدات معلق و آلاینده‌های ناشی از خوردگی (مانند فلزات سنگین) می‌باشد. همچنین در مطالعات صورت گرفته، بر تأثیرات اکولوژیکی ناشی از نمک‌زدایی از آب دریا که با ارزیابی و نظارت بر آب و ویژگی‌های رسوبی و طبیعت اکولوژیکی محیط زیست دریایی انجام می‌پذیرد، نیز تأکید می‌گردد. (Greenlee et al.(2010); Edzwald & Haarhoff (2011))

۲- فناوری‌های نمک‌زدایی

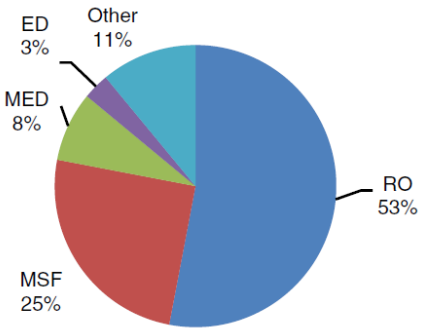
فناوری‌های نمک‌زدایی تجاری به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند: فناوری‌های حرارتی (تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای و تقطیر چندمرحله‌ای[۳]) و جداسازی غشایی ((Karagiannis & Soldatos (2008)). همچنین واحدهایی نیز وجود دارند که از تلفیق دو روش ذکر شده بهره می‌برند. فرآیندهایی نظیر الکترودیالیز[۴] نیز بویژه در مورد آب‌های با شوری کم در سال‌های اخیر کاربرد یافته‌اند. فناوری‌های دیگری نظیر اسمز مستقیم[۵]، تقطیر غشایی[۶]، یون‌زدایی توانی[۷]، هیدرات گازی، انجماد، رطوبت‌زنی و رطوبت‌زدایی و تقطیر خورشیدی نیز همچنان در مراحل تحقیق و توسعه می‌باشند ((Ali et al. (2011)).

تبخیر ناگهانی چند مرحله ای و تقطیر چند مرحله‌ای مهم‌ترین فناوری‌های حرارتی تجاری به منظور نمک‌زدایی می‌باشند. فناوری‌های حرارتی سهم عمده بازار نمک‌زدایی به خصوص در منطقه خاورمیانه را به دلیل قیمت پایین انرژی به خود اختصاص داده است. این فرآیندها در واقع الهام گرفته از سیکل تبخیر و میعان در طبیعت هستند که محصول خروجی آنها آبی با غلظت بسیار پایین نمک می‌باشد. از مشکلات فناوری‌های حرارتی تشکیل رسوباتی نظیر کلسیم کربنات/سولفات و منیزیم هیدروکسید می‌باشد که TBT[۸] را محدود می‌کند ((Cooley et al. (2006)).

تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای آب خالصی با جوشش و سپس میعان آب شور تولید می‌کند. در تبخیر ناگهانی چند مرحله ای، خوراک آب شور در ابتدا از میان مجموعه ای از لوله‌ها عبور می‌کند تا آب را قبل از ورود به گرم کننده، پیش گرم سازد. آب شور سپس در گرم کننده با استفاده از انواع متفاوت انرژی حرارتی گرم می‌شود. آب گرم شده سپس به سمت مخازنی هدایت می‌شود که فشار آن پایین تر از فشار گرم کننده می‌باشد. فشار پایین موجب جوشش ناگهانی (فلش) آب شور می‌شود و در نتیجه بخار ایجاد شده بر روی لوله‌های آب شور ورودی میعان شده و جمع آوری می‌گردد. آب شور ایجاد شده به مراحل بعدی که دارای فشار عملیاتی پایین‌تری می‌باشد، هدایت می‌گردد و این فرآیند تا سرد شدن آب شور و تخلیه آن به محیط ادامه می‌یابد ((Cooley et al, 2006). در مقابل تقطیر چند مرحله‌ای در مجموعه‌ای از محفظه‌ها انجام می‌پذیرد و اساس آن بر مبنای تبخیر و میعان در فشار محیط کاهش یافته



شکل ۱- ظرفیت شیرین سازی آب دریا در کشورهای حوزه خلیج فارس (Lattemann & Höpner, 2008)



شکل۲- ظرفیت جهانی نمک زدایی بر حسب نوع فرآیند((Mezher et al, 2011)

می‌باشد. واحدهای تقطیر چند مرحله‌ای از نظر جزئیات طراحی فرآیند متنوع هستند. معمولا آب خوراک بعد از پیشگرم شدن در کندانسور پایانی در نسبت‌های برابر به محفظه‌ها تزریق می‌شوند.

آب بر روی سطح تبخیر کننده (لوله‌ها) بعد از گرم شدن تا نقطه جوش اسپری می‌گردد. سطح تبخیر کننده‌های محفظه اول به وسیله بخار تولیدی حاصل از توربین بخار یا بویلر گرم می‌گردد. بخار حاصل از تبخیر آب خوراک مرحله اول به منظور گرم کردن سطح تبخیر کننده مرحله دوم مورد استفاده قرار گرفته و این روند تا مرحله آخر ادامه می‌یابد. بخار تولیدی در مرحله آخر به همراه بخارات میعان شده مراحل قبل به عنوان آب خالص ارائه می‌شود. میزان مواد جامد محلول در شورآبه خروجی و دمای آن مشابه تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای می‌باشد (Cooley et al, 2006); Buros & Association (2000). از سوی دیگر اسمز معکوس گونه‌ای از فیلتراسیون است که در آن غشا مانعی شبه تراوا و آب دوست است که در اثر اعمال فشاری بالاتر از فشار اسمزی، آب را از خود عبور داده اما به نمک‌ها اجازه عبور نمی‌دهد و معمولاً میزان بازگرداندن نمک‌ها در آن بالاتر از ۹۰٪ می‌باشد. در اثر این فرآیند، شورآبه‌ای غلیظ ایجاد شده که به محیط تخلیه می‌گردد (Buros & Association (2000).

۳- خواص شورآبه

آب با شوری زیاد (یا کنسانتره یا شورآبه) وآب تصفیه شده، محصولات واحدهای نمک‌زدایی هستند. شورآبه جریانی غلیظ است که غلظت TDS[۹] در آن بیش از ۳۶۰۰۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد. تخلیه شورابه، محیط زیست و زیست بوم اقیانوس‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. میزان خطرات و اثرات ناشی از شورآبه عمدتاً به دما، TDS و چگالی آن بستگی دارد. عموماً هرچه دمای شورآبه به دمای محیط نزدیکتر، دانسیته آن کمتر و TDS آن کمتر باشد، تاثیرات ناشی از آن کمتر خواهد بود. اگر چگالی شورآبه بالا باشد، به سمت قعر دریا فرو رفته و زندگی موجودات کف دریا را دچار مخاطره خواهد کرد اما اگر چگالی آن کمتر باشد، روی سطح شناور شده و آسیب آن کمتر خواهد بود. نرخ بازیابی، که به صورت نسبت آب تولیدی به آب خوراک تعریف می‌شود، نیز بر مقدار TDS مؤثر است، هرچه نرخ بازیابی بیشتر باشد، مقدار TDS در شورآبه بیشتر خواهد بود. البته شورآبه منحصراً شامل نمک‌ها نیست، از طرف دیگر شامل مواد شیمیایی مورد استفاده به منظور پیش تصفیه و پساتصفیه نیز می‌باشد (Younos (2005). برخی از این مواد شیمیایی سمی بوده در حالی که

برخی دیگر سمیت بسیار کمی دارند. در جدول ۱ برخی از این مواد و دلیل مصرفشان آورده شده است.

جدول ۱- مواد شیمیایی مورد استفاده در پیش تصفیه و پسا تصفیه واحد نمک‌زدایی

(Sadhwani et al, (2005); Younos, 2005)

پیش تصفیه		پسا تصفیه	
ماده شیمیایی	نقش	ماده شیمیایی	نقش
$NaOCl$	جلوگیری از رشد بیولوژیکی	آنزیم	تجزیه باکتری‌ها
$FeCl_3/AlCl_3$	لخته سازی و حذف مواد معلق از آب	مواد پاک کننده، مواد فعال سطحی و کاستیک	معلق سازی ذرات ریز و حل کردن مواد آلی
H_2SO_4/HCl	تنظیم pH	اسیدهای زیستی	کشتن باکتری‌ها
$NaHSO_3$	خنثی سازی کلرین در آب خوراک	کی لیت ساز	حذف مواد رسوب کننده
بازدارنده‌های گرفتگی	جلوگیری از تشکیل رسوبات	اسیدها	حل کردن مواد معدنی

شورآبه حاصل از فرآیندهای غشایی (اسمز معکوس و الکترودیالیز) اثرات نامطلوب بیشتری نسبت به شورآبه فرآیندهای حرارتی دارد. یکی از دلایل این است که شورآبه حاصل از فرآیندهای حرارتی با جریان آب سرد مخلوط شده تا غلظت نمک در آن قبل از تخلیه کاهش یابد در حالی در فرآیندهای غشایی این مورد مطرح نیست (Lattemann & Höpner, 2008)). برخی از خواص متفاوت شورآبه حاصل از فرآیندهای مختلف در جدول ۲ آمده است.

۴- اثر شوری

در تحقیقات منتشر شده، تمرکز اکثر مقالات بر روی شدت و مقدار اثر توده‌های[۱۰] شور و پارامترهای مؤثر واحدهای نمک‌زدایی بر روی شوری آب‌های دریافت‌کننده بوده است (جدول ۵). دامنه‌ی اثر مشاهده شده از توده‌های شوری در بسیاری موارد بیش از ۱۰ متر، تا صدها متر و یا در بعضی موارد، چندین کیلومتر از ریزشگاه‌های واحدهای نمک‌زدایی، گسترش یافته‌اند. تفاوت مشاهده شده در دامنه‌ی اثر، به نظر می‌رسد که متناسب با ظرفیت متفاوت واحدهای نمک‌زدایی، نوع طراحی پخش کننده، هیدرولوژی محیط و نحوه نمونه گیری در مطالعات صورت پذیرفته باشد. با این وجود، در اکثر موارد، شدت این توده‌ها به نظر می‌رسد که به سرعت کم شده و معمولاً بیشتر از ۲ ppt از شوری محیط زمینه آن هم در محدوده ۲۰ متری از خروجی‌های این واحدها نمی‌شود. توده‌هایی که تا بیش از ۱۰۰ها متر گسترش می‌یابند، تمایل دارند تا اندکی، شوری بیشتری نسبت به سطح شوری محیط زمینه داشته باشند؛ که معمولاً در اکثر موارد کمتر از ppt۰/۵ است. این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که اکثر این مطالعات به واحدهای نمک‌زدایی که شورآبه آنها در محیط‌های کم عمق با سطح انرژی پایین واقع در دریای مدیترانه تخلیه می‌شوند، مرتبط است. از آنجا که شورآبه‌های تخلیه شده غالباً چگال‌تر از آب‌های دریایی با شوری طبیعی هستند، تمایل به گسترش در بستر دریا نسبت به سطح آن دارند. این موضوع از اهمیت بیولوژیکی برخوردار بوده و به طور بالقوه منجر به در خطر قرار گرفتن موجودات اعماق دریا نسبت به سایر موجودات دریایی و پلانکتونی، می‌شود (Gacia et al, 2007; Purnama et al, 2005).

جدول۲- خواص شورآبه در فرآیندهای نمک‌زدایی متفاوت

(Younos (2005)

خاصیت	نوع فرآیند		
	اسمز معکوس (آب لب شور)	اسمز معکوس (آب دریا)	MSF/MED (آب دریا)
نرخ بازیابی	٪۸۵-٪۶۰	٪۵۰-٪۳۰	٪۵۰-٪۱۵
دما	دمای محیط	دمای محیط	۱۵-۱۰ درجه بالاتر از محیط
غلظت نهایی (ppt)	۶/۷-۲/۵	۲/۰-۱/۲۵	<۱/۱۵

مدل‌های ریاضی به منظور پیش‌بینی مقدار و شدت توده‌های شور تخلیه شده در آب دریافت‌کننده و همچنین بهینه‌سازی طراحی ریزشگاه‌ها به کار گرفته می‌شوند. در حوزه جریان‌های غالب، این مدل‌ها پیشنهاد می‌دهند که جریان‌ها تمایل بیشتری به حرکت در امتداد ساحل در مقابل حرکت دور از ساحل دارند. در نتیجه حاشیه ساحلی بیشتر در معرض مضرات شورآبه‌های حاصل از واحدهای نمک زدایی واقع هستند. برخی مدل‌ها پیشنهاد می‌کنند که جزر و مد ممکن است شوری اطراف محل‌های تخلیه را تحت تاثیر قرار دهد به خصوص زمانی که به سمت ساحل حرکت می‌کند. شدت اثر شورآبه بر سیستم دریافت کننده تابع دو متغیر زمان و مکان می‌باشد (Shao & Law, 2009). در جدول ۳ خلاصه‌ای از پژوهش‌هایی که در آن‌ها به تأثیر شورآبه‌ها بر شوری آب دریافت‌کننده در خلیج فارس پرداخته شده است، آورده شده است.

۵- اثر دمایی

در طی فرآیند نمک‌زدایی، دمای شورآبه‌ی حاصل شده، دمای محیط دریافت کننده را افزایش می‌دهد. برخی از محققین این تئوری را مطرح کرده‌اند که افزایش دمای آب دریافت کننده ممکن است نقش مهمی در اثرات اکولوژیکی مشاهده شده ناشی از واحدهای آب نمک‌زدا، ایفا کرده باشد. تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای و اشکال دیگر

جدول ۳- وسعت و شدت توده‌های شورآبه‌ها در آب‌های دریافت‌کننده اطراف خروجی تخلیه واحدهای نمک‌زدایی در خلیج‌فارس

مقدار و شدت توده‌ها	محل اصلی	مکان	میزان شوری شورآبه (ppt)	تخلیه (ML/d)	ظرفیت (ML/d)	مرجع
به سطح زمینه در فاصله حدود ۱۰۰ متر از خروجی باز می‌گردد	رسوبات نرم	مسقط، عمان	۳۷/۳	گزارش نشده	۹۲/۴	Abdul-Wahab (2007)
به نظر می‌رسد به سطح زمینه در ۹۸۰ متری از خروجی باز می‌گردد	رسوبات نرم	مسقط، عمان	۴۰/۱۱	گزارش نشده	۱۹۱	Abdul-Wahab (2007)
شوری آب دریافت کننده به ۵۱ ppt می‌رسد، نسبت به مناطق مرجع که ۴۵ ppt است، توده حداقل در ۱۶۰ متری تخلیه گسترش یافته است. دما نیزتحت تاثیر قرار گرفته است، تخلیه در ۱۵-۱۰ درجه سلسیوس بالاتر از محیط، آب دریافت کننده تا ۷ درجه سلسیوس بالای محیط قرار دارد.	رسوبات نرم	جزیره سیترا، بحرین	۵۰	۲۸۸	۱۰۶	Altayaran & Madany (1992)

از تقطیر حرارتی بیشترین تأثیر را دمای آب از خود نشان داده و میتوانند شورآبه را ۱۵-۱۰ درجه سانتی‌گراد گرمتر نسبت به آب اقیانوس آزاد کنند. فرآیند اسمز معکوس که به طور فزاینده‌ای در حال گسترش است تغییرات دمایی ناچیزی را منجر می‌شود زیرا شورآبه حاصل از آن در دمای محیط قرار دارد (Lattemann & Höpner, 2008) . برای مثال مدل‌سازی و مطالعات نظارتی در استرالیای غربی نشان داده است که تخلیه شورآبه‌ها موجب افزایش دمای ۰/۵-۰/۱ درجه سانتی‌گرادی آب دریافت‌کننده در محدوده ۷ کیلومترمربعی محیط تخلیه شده است. مطالعات دیگر نشان می‌دهد که حداقل تاثیر حرارتی در مجاورت محل‌های تخلیه، افزایش ۱۵ درجه سانتی‌گرادی آب دریافت‌کننده می‌باشد. نوعاً به نظر می‌رسد که اثرات دمایی به واحدهای تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای وابسته است و عموماً به سرعت پراکنده می‌شود تا جایی که به دمای آب محیط دریافت کننده در فاصله چند ۱۰ متری از ریزشگاه‌ها کاهش یابد. مانند اثر شوری، توزیع و میزان اثرات دمایی متأثر از مکان تخلیه واحدهای شیرین‌سازی است (Elhassadi 2008).

۶- آلاینده‌ها

نقش واحدهای نمک‌زدایی به عنوان منابع آلاینده‌های سمی‌به خوبی تصدیق شده است. در ترکیبی از اطلاعات تخلیه مواد شیمیایی از ۲۱ واحد در دریای سرخ، تخمین زده می‌شود که ۲۷۰۸ کیلوگرم کلر، ۳۶ کیلوگرم مس و ۹۴۷۸ کیلوگرم مواد ضد گرفتگی و رسوب، روزانه به تنهایی از طریق فعالیتهای نمک‌زدایی در دریای سرخ رها می‌گردد (Hoepner & Lattemann, 2003). به طور مشابه، بررسی کیفیت آب اطراف یک واحد نمک‌زدایی آب بین سالهای ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ در فلوریدای آمریکا نشان داد که روزانه ۴۵ کیلوگرم مس در اثر فعالیت این واحد به محیط زیست آن منطقه تخلیه می‌شود و غلظت مس در آب دریافت‌کننده ۱۰-۵ بار بیش از آستانه سمیت برای گونه‌های زیستی بوده است. آب و رسوبات اطراف خروجی واحدها ممکن است شامل غلظت بالایی از فلزات، هیدروکربن‌ها و مواد ضد رسوب و گرفتگی که مورد استفاده برای تمیز کردن غشاهای اسمز معکوس و کاهش رسوبهای لوله‌کشی است، باشد. تخلیه شورآبه‌ها با مقدار بالای فلزات، موجب اختلال در جوامع بیولوژیکی و تجمع فلزات در جلبک‌ها، صدف‌ها و رسوبات در اطراف ریزشگاه‌های واحد نمک‌زدایی می‌گردد Paquin et al, (2000) . برخی از آلاینده‌ها از قبیل مواد ضدرسوب و فلزات ممکن است از زیرساختهای واحدها به شورآبه در طول فرایند نمک‌زدایی وارد شده باشند، با این وجود میزان اثر این پارامتر نسبت به سایر اثرات کمتر به نظر می‌رسد. جدول ۴ به آلاینده‌هایی که همراه با شورآبه‌های ناشی از نمک‌زدایی در خلیج فارس رها شده است، اشاره کرده است.

جدول ۴- خلاصه‌ای از آلاینده‌های از شورآبه‌های نمک‌زدایی در اکوسیستم‌های دریایی خلیج فارس

خلاصه یافته‌ها	گونه‌ها/ جوامع	مکان/ناحیه	مرجع
غلظت‌های هیدروکربن‌ها در آبهای اطراف ورودی‌ها و خروجی‌های واحدها مقایسه شد. غلظت‌های بالایی از بسیاری از آنالیتها در سراسر خروجی‌های واحدها یافت شد.	نمونه‌های آب دریا	کویت	Saeed et al. (1999)
غلظت Cd، Cu، Hg، Ni،P و Zn در رسوبات در فاصله ۱۰۰ تا ۲۵۰ متری از ریزشگاه‌ها افزایش یافت، غلظت‌ها بیرون از محدوده ۳ کیلومتری ریزشگاه‌ها کاهش یافت.	رسوبات	رأس تناجیب، عربستان سعودی	Sadiq (2002)

۷- اثرات اکولوژیکی

آنچه از مطالعات صورت گرفته در زمینه اثرات تخلیه شورآبه به محیط زیست به‌دست می‌آید این است که قرارگرفتن در معرض تخلیه شورآبه‌ی ناشی از نمک‌زدایی منجر به اثرات زیست‌محیطی قابل تشخیص در زیستگاه گیاهان دریایی[11]، و جوامع فیتوپلانکتون‌ها، بی‌مهرگان و ماهی‌ها در مناطق اطراف آن خروجی‌ها می‌شود. همچنین افزایش قابل توجهی در فساد برگ‌ها و کاهش ذخیره کربوهیدرات در بافت برگ در مراتع Posidonia OCEANICA یافت شده است، که این مشاهدات را به قرار گرفتن در معرض شورآبه و افزایش در دسترس بودن مواد مغذی، نسبت می‌دهند. این اثرات در گیاهان دریایی می‌تواند با افزایش تنها ۲-۱ ppt در شوری محیط آبی که این گیاهان در آن قرار دارند، بروز نماید. تخلیه شورآبه می‌تواند ساختار و تنوع در جوامع مربوط به جانوران دریایی را نیز دستخوش تغییر قرار دهد Gacia et al, (2007) Sánchez-Lizaso et al, (2008) . همانطور که برای شوری، تنوع در اثرات زیست محیطی مشاهده شده است، دراین مطالعات نیز احتمالاً ترکیبی از شدتهای مختلف و تناوبهای قرار گرفتن در توده‌های شور، دمای آب، محیط زیستی که در آن منتشر میشوند (عواملی مانند هیدرولوژی، دما)، موجودات ساکن محیط زیست و خود مطالعات (یعنی مقدار نمونه‌برداری، طرحهای نمونه‌گیری مناسب، وغیره)، مؤثر خواهد بود (Sánchez-Lizaso et al, 2008) .

۸- روش‌های تخلیه شورآبه

معمول ترین راه مدیریت و مواجهه با شورآبه دفع آن به محیط می‌باشد. شش روش به منظور دفع شورآبه‌ها وجود دارد که عبارتند از: سطح (هم سطح و هم غوطه ور)، ترکیب با سیستم فاضلاب (ابتدا و انتهای سیستم تصفیه فاضلاب)، کاربرد روی زمین، تزریق چاه عمیق، حوضچه‌های تبخیر و تخلیه مایع صفر[12]. انتخاب روش تخلیه به هشت فاکتور بستگی دارد که شامل حجم شورآبه، کیفیت ترکیبات، موقعیت جغرافیایی نقطه تخلیه شورآبه، در دسترس بودن سایت دریافت‌کننده، مجاز بودن گزینه‌ها، پذیرش عمومی، هزینه‌های ثابت و عملیاتی و امکان گسترش یافتن (Younos 2005). توصیفی مختصر از هر روش و همچنین مزایا و معایب و نگرانی‌های محیط زیستی مربوط به هر روش در جدول ۵ ارائه شده است.

۹- راهکارهای حداقل کردن اثرات محیط زیستی تخلیه شورآبه‌ها

یکی از روش‌هایی که به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی بالقوه ناشی از شورآبه، رقیق کردن آن با آب خنک‌کننده نیروگاه است. در بسیاری از موارد این واحدها در یک مکان قرار داده می‌شوند و مدل‌سازی نشان می‌دهد این روش تا حد زیادی میزان و بزرگی توده‌های شورآبه در آب دریافت‌کننده را محدود می‌کند (Einav & Lokiec 2003) .به طور مشابه، شورآبه ممکن است با آب دریا و یا فاضلاب‌های شهری رقیق شود تا شوری قبل از تخلیه کاهش یابد (Baalousha 2006) . به علاوه تمرکز زیادی در مطالعات سالهای اخیر بر روی توسعه مواد ضد رسوب مؤثر بدون تأثیرات بیولوژیکی شده است که می‌تواند منجر به تولید شورآبه‌های با سمیت کمتر گردد. همچنین پیشنهاد شده است که نمک‌زدایی از آبهای زیرزمینی یک جایگزین سازگار با محیط‌زیست نسبت به نمک‌زدایی آب دریا است، اگرچه دسترسی منابع آب زیرزمینی مناسب به احتمال زیادی که عامل محدودکننده در بسیاری از مناطق خواهد بود. با استفاده از این روش هزینه‌های مربوط به انرژی کاهش می‌یابد و تخلیه شورآبه با شوری کمتر از نمکزدایی آب دریا تولید می‌شود (Muñoz & Fernández-Alba, 2008) . همچنین اجماع روشن در میان بسیاری از مقالات این است که شاید انتخاب محل تخلیه، اولین فاکتور در تعیین مقدار تاثیرات اکولوژیکی واحدهای نمک‌زدایی باشد. سواحل متلاطم پیش‌بینی می‌شود که کمتر تحت تاثیر شورآبه‌های زیان بار واحدهای نمک‌زدایی نسبت به سیستم‌های کم انرژی قرار گیرند (Lattemann & Höpner, 2008) .

روشهای مدل‌سازی نیز برای بهبود طراحی تخلیه به طوری که اثرات شوری به حداقل برسد، استفاده شده است. مدل‌ها نشان می‌دهند که بدترین طراحی تخلیه، از منظر رقت شورآبه، یک طراحی جزر و مدی و دیگری تخلیه سطحی می‌باشد که توده‌هایی از آب شور تولید می‌نمایند که تمایل به گسترش بیشتری داشته و با سرعت کمتری رقیق می‌شوند (Alameddine & El-Fadel. 2007) . به طور مشابه، دریاهای نیمه بسته، مانندخلیج فارس، دریای سرخ، با توجه به تجربه Flushing محدود این محیطها، بیشتر مستعد شوری بیش از حد مجاز در اطراف ریزشگاه‌ها هستند (Purnama et al. 2005). میزان فضای متأثر از توده‌های شورآبه و فرسایش ساحلی ناشی از ریزشگاهها را میتوان با ایجاد تخلیه‌های دور از ساحل به حداقل رساند. به صورت تاریخی پیشنهاد می‌گردد که تخلیه زیر سطحی جتی از شورآبه در زاویه در حدود ۶۰ درجه نسبت به کف دریا، آزاد می‌کند و این به عنوان استاندارد طراحی تخلیه شورآبه‌ها در نظر گرفته می‌شود. با این وجود، مدل‌های اخیر تخلیه با عمق کمتر و در زاویه ۴۵-۳۰ درجه پیشنهاد کرده‌اند زیرا ممکن است اختلاط شورآبه‌ها با محیط را بهبود بخشد (Roberts et al. 2010)

۱۰- نتیجه‌گیری

بررسی اثرات نمک‌زدایی از آب دریا و تخلیه شورآبه‌های فرآیندهای نمک‌زدایی، بر محیط دریایی دریافت کننده بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تخلیه شورآبه‌ها می‌تواند باعث افزایش شوری در اطراف ریزشگاه‌ها شود؛ هر چند به نظر می‌رسد با فاصله گرفتن از ریزشگاه‌ها اثرات شوری کم شود و در بستر دریا گسترده می‌شود. دمای شورآبه‌ها می‌تواند منجر به افزایش دمای آب دریافت‌کننده شود. هرچند فرآیند اسمز معکوس می‌تواند منجر به توده‌های دمایی شود اما به نظر می‌رسد فرآیندهای تقطیر دمایی مانند MSF عامل اصلی ایجاد اثرات دمایی هستند.

همچنین می‌تواند باعث ورود آلاینده‌های مختلفی از جمله فلزات سنگین، هیدروکربن‌ها و مواد ضد رسوب به آب دریافت کننده شود که در رسوبات دریا و بدن ماهی‌ها و جانداران دریایی تجمع می‌یابند. اثرات اکولوژیکی ناشی از شورآبه‌ها می‌تواند شامل آسیب به گیاهان دریایی، پلانکتون‌ها، بی مهرگان، ماهی‌ها، سخت پوستان دریایی و خارپوستان شود. برای به حداقل رساندن این اثرات می‌توان شورآبه‌ها را با آب خنک‌کننده نیروگاه‌ها یا فاضلاب‌های شهری رقیق کرد. همچنین نمک‌زدایی از آب‌های زیرزمینی به عنوان یک جایگزین سازگار با محیط زیست مطرح شده است. انتخاب محل تخلیه عامل اصلی در میزان اثرات ناشی از شورآبه‌ها است و با انتخاب محل مناسب می‌توان این اثرات را کاهش داد.

جدول ۵- روش‌های تخلیه، توصیف، مزایا و معایب Younos (2005)

روش تخلیه	توصیف روش	مزایا	معایب
سطح	آب سطح: تخلیه شورآبه بر روی سطح آب تازه، جریان‌ها، اقیانوس‌ها و غیره غوطه ور: تخلیه شورآبه زیر آب با استفاده از لوله‌های کشیده شده در اقیانوس‌ها	– حجم بالایی را در خود جای می‌دهد – قیمت پایین – به کمک محیط اطراف رقیق می‌شود و امکان رقت بیشتر از طریق مخلوط شدن با آب تخلیه شده نیروگاه وجود دارد.	– میزان رقت به شرایط هیدرو دینامیک محلی بستگی دارد – نظارت، دانش و برنامه ریزی مناسبی برای آب دریافت کننده نیاز است. – آلودگی حرارتی، کاهش اکسیژن محلول در آب دریافت کننده، انباشت آب، سمیت، افزایش pH، آسیب به موجودات زنده
ترکیب با سیستم فاضلاب	تخلیه در ابتدا و یا انتهای فرآیند تصفیه پساب	–کاهش BOD جریان خروجی واحد تصفیه – رقیق شدن شورآبه – استفاده از زیرساخت‌های موجود	– از رشد باکتری‌ها جلوگیری می‌کند. – به دلیل افزایش شوری و TDS جریان پساب خروجی امکان استفاده برای آبیاری تحت تاثیر قرار می‌گیرد.
کاربرد روی زمین	تخلیه شورآبه با استفاده از آبیاری پاششی و نفوذ در حوضچه‌ها و گودال‌ها	– استفاده به منظور آبیاری گونه‌های گیاهی متحمل شوری – بدون تأثیر بر روی دریاها	–به سطح وسیعی از زمین نیاز است. –برای جریان‌های تخلیه کوچک مناسب است. –زندگی گیاهی موجود را تحت تاثیر قرار می‌دهد. –موجب افزایش شوری آب‌های زیرزمینی و خاک می‌گردد. –به سیستم ذخیره و پخش نیاز است.
تزریق چاه عمیق	تزریق شورآبه در سفره‌های آب غیر قابل شرب	– مناسب برای گیاهان داخلی با حجم کم از آب شور – بدون تأثیر بر روی دریاها	–برای سیستم‌های با حجم بالا مناسب است. –به سفره‌های آبی که به صورت ساختاری جدا باشد نیازمند است. –موجب افزایش شوری آب‌های زیرزمینی می‌شود.
حوضچه‌های تبخیر	حوضچه‌هایی که شورآبه در آن ریخته شده و آب آن بخار می‌شود و نمک در درون استخر تجمع می‌یابد	– مناسب برای گیاهان داخلی با حجم کم از آب شور – امکان استخراج تجاری نمک – بدون تأثیر بر روی دریاها – نیاز کم به تکنولوژی و مدیریت پیشرفته	– گزینه گران قیمتی است. – ریسک آلودگی آب‌های زیر زمینی و خاک. –نیازمند آب و هوای خشک با نرخ تبخیر بالا. –سطح وسیعی از زمین نیاز است. –نیازمند نظارت منظم می‌باشد.
تخلیه مایع صفر	روشی برای جامد ساختن شورآبه و قرار دادن آن در محل دفن زباله	–بازیابی نمک و مواد معدنی –بدون تاثیر بر روی دریاها	– هزینه بالا مصرف انرژی زیاد –تولید رسوب زائد جامد خشک

۵- تشکر و قدردانی

نسخه خلاصه‌ای از این مقاله در پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران ارائه شده است.

پی‌نوشت‌ها

1-Multi-stage flash (MSF)
2-Reverse osmosis(RO)
3-Multi stage distillation (MSD)
4-Electro dialysis (ED)
5-Forward osmosis (FO)
6-Membrane distillation (MD)
7-Capacitance deionization (CDI)
8-Top brine temperature
9-Total dissolved solid
10-Plumes
11-Seagrass
12- Zero liquid discharge

۶- مراجع

Abdul-Wahab SA (2007) Characterization of water discharges from two thermal power/desalination plants in Oman. Environmental Engineering Science 24(3):321–337.

Alameddine I , El-Fadel M (2007) Brine discharge from desalination plants: a modeling approach to an optimized outfall design. Desalination 214(1):241–260.

Ali MT, Fath HES , Armstrong PR (2011) A comprehensive techno-economical review of indirect solar desalination. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(8):4187–4199.

Al-Mutaz IS (1991) Environmental impact of seawater desalination plants. Environmental Monitoring and Assessment 16(1):75–84.

Altayaran AM, Madany IM (1992) Impact of a desalination plant on the physical and chemical properties of seawater, Bahrain. Water Research 26(4):435–441.

Baalousha H (2006) Desalination status in the Gaza Strip and its environmental impact. Desalination 196(1):1–12.

Bashitialshaaer RAI, Persson KM , Aljaradin M (2011) Estimated future salinity in the Arabian Gulf, the mediterranean sea and the red seaconsequences of brine discharge from desalination. International Journal of Academic Research 3(1).

Buros OK , Association ID (2000) The ABCs of desalting, International Desalination Association Topsfield.

Cooley H, Gleick PH & Wolff G (2006) Desalination: with a Grain of Salt, Pacific Institute, Oakland, California.

Edzwald JK , Haarhoff J (2011) Seawater pretreatment for reverse osmosis: Chemistry, contaminants, and coagulation. Water research 45(17):5428–5440.

Einav R , Lokiec F (2003) Environmental aspects of a desalination plant in Ashkelon. Desalination 156(1):79–85.

Elhassadi A (2008) Pollution of water resources from industrial effluents: a case study—Benghazi, Libya. Desalination 222(1):286–293.

Gacia E (2007) Impact of the brine from a desalination plant on a shallow seagrass (Posidonia oceanica) meadow. Estuarine, Coastal and Shelf Science 72(4):579–590.

Greenlee LF (2010) Effect of antiscalants on precipitation of an RO concentrate: metals precipitated and particle characteristics for several water compositions. Water Research 44(8):2672–2684.

Hashim A , Hajjaj M (2005) Impact of desalination plants fluid effluents on the integrity of seawater, with the Arabian Gulf in perspective. Desalination 182(1):373–393.

Hoepner T , Lattemann S (2003) Chemical impacts from seawater desalination plants—a case study of the northern Red Sea. Desalination 152(1):133–140.

Jeppesen T(2009) Metal recovery from reverse osmosis concentrate. Journal of Cleaner Production 17(7):703–707.

Karagiannis IC , Soldatos PG (2008) Water desalination cost literature: review and assessment. Desalination 223(1):448–456.

Lattemann S , Höpner T (2008). Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. Desalination 220(1):1–15.

Lin YC (2013) Potential impacts of discharges from seawater reverse osmosis on Taiwan marine environment. Desalination 322:84–93.

Mezher T (2011) Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies. Desalination 266(1):263–273.

Muñoz I, Fernández-Alba AR (2008) Reducing the environmental impacts of reverse osmosis desalination by using brackish groundwater resources. Water research 42(3):801–811.

Paquin PR (2000) Revisiting the aquatic impacts of copper discharged by water-cooled copper alloy condensers used by power and desalination plants. Environmental Science & Policy 3:165–174.

coastal areas of Kuwait. Environment International, 25(5):553–562.

Sánchez-Lizaso JL (2008) Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants. Desalination 221(1):602–607.

Shao D , Law AWK (2009) Salinity build-up due to brine discharges into shallow coastal waters. Modern Physics Letters B 23(03):541–544.

Tularam GA , Ilahee M (2007) Environmental concerns of desalinating seawater using reverse osmosis. Journal of Environmental Monitoring 9(8):805–813.

Younos T (2005) Environmental issues of desalination. Journal of Contemporary Water Research & Education 132(1):11–18.

Purnama A, Al-Barwani HH, Smith R (2005) Calculating the environmental cost of seawater desalination in the Arabian marginal seas. Desalination 185(1):79–86.

Roberts DA, Johnston EL, Knott NA (2010) Impacts of desalination plant discharges on the marine environment: A critical review of published studies. Water Research 44(18):5117–5128.

Sadhwani JJ, Veza JM, Santana C (2005) Case studies on environmental impact of seawater desalination. Desalination 185(1):1–8.

Sadiq M (2002) Metal contamination in sediments from a desalination plant effluent outfall area. Science of the total environment 287(1):37–44.

Saeed T, Khordagui H, Al-Hashash H (1999). Contribution of power and desalination plants to the levels of volatile liquid hydrocarbons in the nearby