

1271P-NWWCE

بررسی اثرات اقتصادی فرایند نمک‌زدایی در نقاط مختلف دنیا

سینا سلیمی^۱، محمدحسین صراف زاده^{۲*}، ندا فخری^۱، حسام شجاعی^۱، حمیدرضا رشیدی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های

فنی، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۳- پژوهشگر پسادکتر مهندسی محیط زیست، کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس

دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

sarrafzdh@ut.ac.ir

خلاصه

امروزه کمبود آب از مهم‌ترین بحران‌های دنیا بشمار می‌رود. رشد جمعیت، نیاز به امنیت غذایی، تغییرات اقلیمی و نیازهای کشاورزی جوامع بین‌المللی را مجاب به جستجو برای منابع جایگزین آب کرده است. با توجه به وجود منابع عظیم آب شور در کره زمین، نمک‌زدایی آب روشی کارآمد برای غلبه بر این مهم به حساب می‌آید. فرایندهای نمک‌زدایی به دو دسته کلی فرایندهای گرمایی و فرایندهای غشایی تقسیم می‌شود. اسمز معکوس به عنوان یک روش غشایی از کارآمدترین روش‌ها است. از سوی دیگر زیربنای روش‌های گرمایی تبخیر و تقطیر است که در صورت وجود انرژی گرمایی ارزان قیمت از مزیت‌های عملیاتی خوبی برخوردار می‌باشد. در این مقاله به بررسی اثرات فرایند نمک‌زدایی از منظر اقتصاد و انرژی در روش‌های مختلف و متداول این فرایند پرداخته و نمونه واحدهای نمک‌زدایی در قاره‌های مختلف از این حیث مورد بحث قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: نمک‌زدایی، اثرات اقتصادی و انرژی، بحران آب، نمک‌زدایی در قاره‌های مختلف

۱. مقدمه

کمبود آب یکی از مهم‌ترین بحران‌ها در دنیا بشمار می‌رود. اساساً آب لازمه زندگی انسان، حیوانات، گیاهان و جزئی اصلی در استفاده‌های صنعتی و کشاورزی می‌باشد. آمارها حاکی از آن است که حدود ۹۷ درصد آب موجود در کره زمین را آب‌های شور دربرمی‌گیرند و در این میان تنها ۰.۵ درصد آب شیرین و قابل شرب در دسترس می‌باشد (1). با در نظر گرفتن رشد ۳۰ درصدی جمعیت در ۳۵ سال آینده، وضعیت کمبود آب بیش از پیش نگران کننده و چالش برانگیز خواهد شد (2). لذا رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی و به طبع آن تأثیرات بر کشاورزی و استفاده بیش از حد از منابع آبی، جوامع بین‌الملل را مجاب به جستجو برای منابع جایگزین و مدیریت منابع آبی کرده است. از این رو حتی آن دسته کشورهایی که در حال حاضر با کمبود آب مواجه نیستند نیز در خطر رویارویی با این بحران در آینده قرار دارند. هم اکنون برای مقابله با این خطر جهانی، بازیافت و تصفیه آب در کانون توجه دانشمندان و محققان قرار دارد. تصفیه آب به طور کلی شامل روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌باشد که مصرف انرژی به نسبت بالایی دارند (1). با توجه به وجود منابع عظیم آب شور در کره زمین، نمک‌زدایی آب روشی کارآمد برای غلبه بر این مهم به حساب می‌آید.

نمک‌زدایی فرایندی است که در آن نمک و دیگر املاح معدنی و آلودگی‌ها را از آب حذف می‌شود و قابلیت تنظیم کمیت و کیفیت آب را به تناسب نیاز فراهم می‌کند تا بدین ترتیب آب شور تصفیه شده برای مصارف شهری و کشاورزی یا صنعتی قابل استفاده باشد. تا چندی پیش این فرایند

محدود به کشورهای کم آب اما نفت خیز مانند کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا بود اما امروزه این روش به کالایی برای رفع نیاز رو به رشد جوامع تبدیل شده است (3).

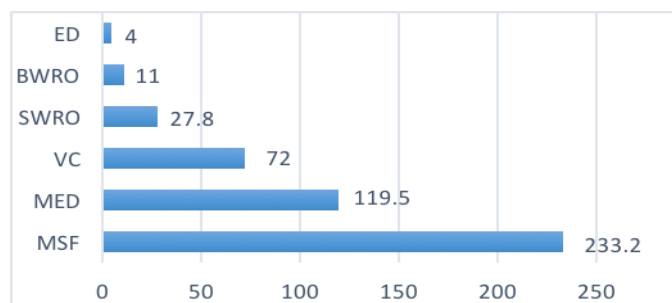
۱.۱ تکنولوژی های نمک زدایی

انتخاب تکنولوژی مناسب به عوامل گوناگونی مانند کیفیت آب، مساحت واحد عملیاتی، ظرفیت و هزینه های اکتشاف بستگی دارد (3). فرایندهای نمک زدایی عموماً به دودسته کلی فرایندهای گرمایی و غشایی تقسیم می شود. تبخیر و تقطیر مبنای تکنولوژی های گرماگیر هستند و در صورت وجود انرژی گرمایی ارزان قیمت از مزیت های عملیاتی برخوردار هستند (3,4) اسمز معکوس (RO)، تقطیر چندمرحله ای انبساط ناگهانی (MSF) و تقطیر چندمرحله ای لوله های افقی (MED) از کارآمدترین روش های استفاده شده در بسیاری از واحدهای نمک زدایی کشورهای مختلف می باشد. علاوه بر روش های فوق روش هایی همچون تراکم بخار (VC)، نانوفیلتراسیون و میکرو فیلتراسیون نیز وجود دارد که به صورت محدود استفاده می شوند (1). همچنین از روش های ترکیبی یا هیبرید که از چندین واحد نمک زدایی با تکنولوژی های مختلف که به صورت موازی یا سری با هم ترکیب شده اند نیز می توان استفاده کرد تا کارایی واحد افزایش یابد. در بیشتر مواقع غالباً دو تکنولوژی RO با MED/MSF در سیستم هیبرید دخیل هستند.

۲. بررسی میزان انرژی مصرفی

فرایندهای نمک زدایی همان طور که در قسمت قبلی اشاره شد نیازمند انرژی عملیاتی هستند. در فرایندهای حرارتی این انرژی به صورت انرژی حرارتی و در فرایندهای غشایی به طور مثال اسمز معکوس، این انرژی به شکل انرژی الکتریکی مورد نیاز است (7). حداقل انرژی تئوری مورد نیاز برای نمک زدایی از آب دریا حدود ۳ کیلوژول به ازای تولید هر لیتر آب شیرین است. اما همانند بقیه فرایندهای شیمیایی و فیزیکی، این فرایند نمی تواند در حالت ایده آل کار کند. علاوه بر این در طراحی این فرآیند هرچه به بازده ایده آل نزدیک تر شویم اندازه تجهیزات بزرگتر شده و هزینه سرمایه گذاری ثابت اولیه افزایش می یابد و از طرفی هزینه انرژی مصرفی کمتر می شود. بنابراین باید طراحی در یک نقطه بهینه هزینه مورد نیاز برای تولید آب صورت گیرد. بنابراین انرژی مصرفی واقعی در روش های مختلف نمک زدایی، از میزان حداقل انرژی تئوری بیشتر است (6).

میانگین مصرف انرژی مورد نیاز در فرایندهای متداول نمک زدایی در شکل ۱ آمده است (7). به طور کلی، روش MSF بیشترین مصرف انرژی را داراست. پس از آن به ترتیب روش های MED و VC هستند. واضح است که مقدار انرژی مصرفی اسمز معکوس کمتر است اما این روش به انرژی الکتریکی نیاز دارد که از انرژی حرارتی بدست می آید در حالی که روش MSF مستقیماً با انرژی حرارتی کار می کند. با توجه به این شکل انرژی مصرفی برای فرایندهای حرارتی تقریباً مستقل از غلظت نمک در آب خوراک است اما در روش های غشایی این مقدار وابسته به غلظت نمک در خوراک ورودی است.



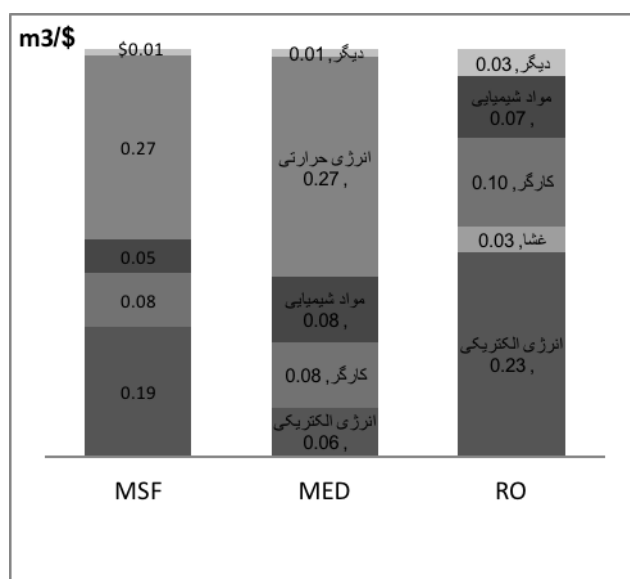
شکل ۱- انرژی مصرفی برای نمک زدایی (kJ/Lit fresh water) (7)

۳. تحلیل اقتصادی

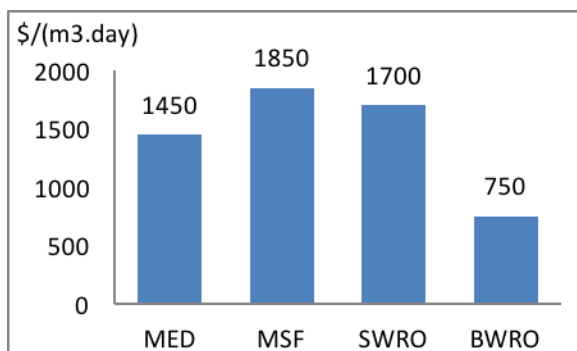
در سال ۱۸۵۰ میلادی تحقیقات اولیه در زمینه نمک‌زدایی شکل گرفت. مهم‌ترین چالش پیش رو در آن زمان تنها یافتن روشی برای تولید آب شیرین بدون توجه به مباحث انرژی و اقتصادی بود. با بالغ شدن فرایندهای نمک‌زدایی و تجاری شدن آنها، تلاش‌ها برای کاهش هزینه‌های زیاد تولید آب بدین روش‌ها شکل گرفت (۸). برای این که بتوانیم نمک‌زدایی را با هزینه کمتری انجام دهیم در ابتدا باید عوامل تاثیر گذار بر هزینه فرآیند نمک‌زدایی را بشناسیم. به طور کلی هزینه‌های سرمایه گذاری شامل هزینه سرمایه گذاری ثابت اولیه و عملیاتی می‌شود.

شکل ۲ میزان تاثیر عوامل مختلف موثر در هزینه عملیاتی نمک‌زدایی برای روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در هر سه روش MED، MSF و RO بیشترین هزینه عملیاتی مربوط به تأمین انرژی مورد نیاز فرایند می‌باشد. دیگر هزینه‌ها شامل تأمین مواد شیمیایی، دستمزد کارگران و غیره می‌شود. لذا از آنجایی که در روش MSF مقدار انرژی مصرفی بیشتر از روش‌های دیگر است، منطقی است که بیشترین مجموع هزینه‌های عملیاتی مربوط به این روش باشد. مجموع هزینه‌های عملیاتی در روش‌های MED، MSF و RO به ترتیب برابر $0.6 \text{ m}^3/\$$ ، $0.5 \text{ m}^3/\$$ و $0.46 \text{ m}^3/\$$ می‌باشد (۹). با فرض ظرفیت تولید یک واحد نمک‌زدایی برابر با $1 \text{ m}^3/\text{day}$ ، تفاوت هزینه عملیاتی روش RO و MSF برابر $140 \text{ K\$/day}$ خواهد شد که باعث صرفه جویی ۵۰ میلیون دلاری در سال خواهد شد.

مقایسه هزینه سرمایه گذاری ثابت روش‌های فوق در شکل ۳ نمایش داده شده است (۸). همانطور که مشاهده می‌شود هزینه سرمایه گذاری ثابت اولیه روش MSF بیشتر از دو روش دیگر است. همچنین با توجه به غلظت آب لب شور در مقایسه با آب دریا تفاوت هزینه سرمایه گذاری اولیه ثابت روش اسمز معکوس توجه می‌شود.



شکل ۲ - عوامل تاثیر گذار بر هزینه عملیاتی فرآیند نمک‌زدایی (۹)



شکل ۳- هزینه سرمایه گذاری ثابت (8)

۴. بررسی نمک‌زدایی در قاره‌های آسیا، اروپا و آمریکا

با توجه به قرار گرفتن روش‌های نمک‌زدایی در کانون توجه کشورهای مختلف دنیا و تعداد قابل توجه واحدهای نمک‌زدایی در اقصای نقاط جهان، در این بخش به بررسی اجمالی واحدهای مختلف نمک‌زدایی در قاره‌های آسیا، اروپا و آمریکا و همچنین ذکر کردن نکاتی پیرامون تعداد واحد ها، روش‌های مورد استفاده، ظرفیت تولیدی و مسائل اقتصادی مرتبط به آنها می‌پردازیم.

۱.۴ نمک‌زدایی در قاره آسیا

مهم‌ترین بخش قاره آسیا در مطالعه‌ی نمک‌زدایی آب را می‌توان خاورمیانه دانست. خاورمیانه به عنوان یکی از خشک‌ترین نواحی کره زمین با متوسط بارش 200-500 mm در سال در مقایسه با متوسط جهانی که 720mm در سال است (10)، با مشکلات جدی آبی مواجه است. رشد جمعیت و مدیریت ناصحیح منابع آبی هم از دیگر مواردی است که موجب تشدید کمبود آب در این ناحیه می‌شود. از این رو بزرگترین واحدهای نمک‌زدایی جهان در منطقه خلیج فارس واقع شده اند. در جدول 1 به اختصار برخی از بزرگترین واحدهای اجرا شده در منطقه خاورمیانه نمایش داده شده است (11).

ظرفیت آب شیرین تولیدی از این ناحیه حدود $12.1 \text{ Mm}^3/\text{day}$ است که معادل ۴۵٪ از آب شیرین تولید در کل جهان است. اصلی‌ترین تولیدکنندگان آب شیرین در این ناحیه عبارتند از: عربستان سعودی با ظرفیتی معادل ۲۵٪ از کل آب شیرین تولیدی در جهان، که ۱۱٪ در ساحل خلیج فارس و ۱۲٪ در ساحل دریای سرخ واقع شده است (۲٪ هم در مناطق دیگر کشور)، به دنبال آن امارات متحده عربی با ۲۳٪، و کویت با ۶٪. در این منطقه به جهت وجود صنایع بزرگ که بخار و الکتریسیته را با بهای کم تولید می‌کنند، ۸۱٪ از واحدهای نمک‌زدایی از فرایند MSF استفاده می‌کنند و ۱۳٪ از MED و بخش کمی از آنها حدوداً ۶٪ از فرایند RO استفاده می‌کنند (12).

عربستان سعودی بیشترین ظرفیت نصب شده واحدهای نمک‌زدایی را دارد. علی‌رغم اینکه هزینه نمک‌زدایی از آب لب شور^۱ کمتر از آب دریا است اما در بیشتر واحدهای این کشور از آب دریا به عنوان خوراک ورودی استفاده می‌کنند (13). از پروژه‌های نمک‌زدایی اجرا شده در عربستان می‌توان به الشقیق اشاره کرد که در سال ۱۹۸۹ با بودجه‌ای بالغ بر ۱.۹ میلیارد دلار افتتاح گردید. این واحد قابلیت تولید $212,000 \text{ m}^3$ آب شرب در روز را دارد که نیاز آبی شهرهای واقع در بخش جنوبی عربستان را تأمین می‌کند. این واحد توسط شرکت آب و برق الشقیق در سال ۲۰۰۷ کلید خورد. تکنولوژی به کار رفته در آن MSF می‌باشد و روزانه 62 مگاوات انرژی الکتریکی مصرف می‌کند. در جدول ۱ تعدادی از بزرگترین واحدهای نمک‌زدایی خاورمیانه آورده شده است (14).

¹ Brackish

جدول ۱ - برخی از بزرگترین واحدهای اجرا شده در منطقه خاورمیانه (14)

محل	واحدهای در اجرا	واحدهای قراردادی	ظرفیت (m ³ /day)	ظرفیت قراردادی (m ³ /day)	جمعیت
امارات متحده عربی	492	497	9,358,492	10,109,057	9,205,651
عربستان سعودی	2,664	2,688	13,080,497	14,791,660	28,290,000
قطر	139	141	1,832,762	1,997,218	2,035,106
عمان	184	187	1,094,740	1,350,832	3,869,873
کویت	88	89	3,023,369	3,477,969	3,250,500
بحرین	165	165	1,113,001	1,113,001	1,318,000

از سوی دیگر کویت به عنوان کشوری خشک با متوسط بارش سالانه 110 mm در سال، ۹۰٪ از نیاز آبی خود را از واحدهای نمکزدایی تأمین می کند. در حال حاضر ۶ واحد نمکزدایی با ظرفیت معادل روزانه 1.65 Mm³ در کویت وجود دارد که 1.47 Mm³/day به واسطه MSF و حدود 0.17 Mm³/day به کمک تکنولوژی RO تولید می شود. برای کاهش مصرف سوخت واحدهای نمکزدایی در این کشور در ترکیب با واحدهای تولید بخار در صنایع ساخته شده اند. ضمن اینکه شورآب^۲ خروجی از واحدهای نمکزدایی را با آب سرد بازگردانده شده از کندانسورها مخلوط می کنند تا میزان شوری و دمای آب خروجی را تعدیل کنند (15).

۲.۴ نمکزدایی در اروپا

کشورهای قاره اروپا در دو دهه گذشته با کاهش کیفیت و هم کمیت آب رو به رو شده اند. این وضعیت در جنوب اروپا و حاشیه دریای مدیترانه به دلیل اقلیم آب و هوایی نیمه خشک و همچنین رواج صنعت کشاورزی بر پایه روش های سنتی آبی و گردشگری و خیم تر است. برای مثال در جزایر مایورکا، اسپانیا، مصرف آب به دلیل رواج کشاورزی و گردشگری قابل توجه است اما منابع آبی موجود در این جزیره محدود است (16).

جدول ۲- برخی از واحدهای نمکزدایی در اروپا (20)

نام	سال ساخت	ظرفیت (m ³ /day)
لاس پالماس	۲۰۰۴	۷۸۰۰۰
کاربونراس	۲۰۰۲	۱۲۳۰۰۰
ماربلا	۱۹۹۶	۵۵۰۰۰
لزاروته	۲۰۰۰	۲۰۰۰۰
کارتاجنا	۲۰۰۶	۱۴۰۰۰۰

کمبود آب بر جنبه های مختلف رشد اقتصادی اثرگذار خواهد بود اما این معضل تأثیر به سزایی بر روی صنعت گردشگری خواهد داشت. برای نمونه در لنزاروته بین سال های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۲ تعداد گردشگران از ۱۰۰۰۰ نفر به ۱.۹ میلیون نفر رسیده است. این رشد در تعداد گردشگر قطعاً بدون افزایش تأمین آب شیرین از ۴۵۰۰۰۰ متر مکعب در سال به ۱۷۲۱۰۰۰۰ متر مکعب در سال، در طول همین سال ها امکان پذیر نبود (16). تضمین ادامه این صنعت در آینده نیز وابسته به تأمین بیشتر منابع آبی است. بنابراین بیشترین واحدهای نمکزدایی در سواحل مدیترانه احداث شده و از فناوری اسمز معکوس برای نمکزدایی آب دریا استفاده می کنند. دلیل این امر قیمت بالای انرژی فسیلی در اروپا است که باعث مقرون به صرفه شدن روش های غشایی نسبت به روش های حرارتی می شود.

² Brine

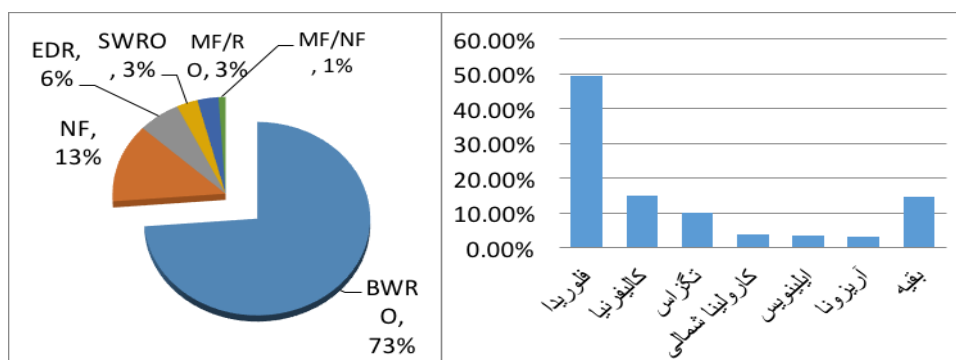
در قاره اروپا بیشترین و بزرگترین واحدهای نمک‌زدایی در اسپانیا واقع شده است. ۸۰ درصد از واحدهای نمک‌زدایی در اسپانیا در ۴ ناحیه - ی جزایر قناری (۳۳٪)، آندولس (۲۳٪)، موریسیا (۱۳٪) و والنسیا (۱۳٪) قرار دارد (18). یکی از دلایل افزایش استفاده از روش‌های نمک‌زدایی آب دریا برای تأمین آب در کشور اسپانیا تغییر سیاست‌های اقتصادی دولت اسپانیا در سال ۲۰۰۵ بود. قبل از این سال دولت اسپانیا به دنبال انتقال آب از اروپای مرکزی به جنوب این کشور بود اما پس از آن سیاست تأمین آب به استفاده از نمک‌زدایی آب دریا تغییر کرد به نحوی که تا سال ۲۰۰۹ شاهد رشد ۷۰ درصدی ظرفیت نمک‌زدایی در این کشور بودیم. در جدول ۲ برخی از واحدهای نمک‌زدایی اروپا نمایش داده شده است (17).

۳.۴ نمک‌زدایی در آمریکا

بی‌شک مهم‌ترین کشور پیشرو در زمینه نمک‌زدایی آب کشور آمریکا می‌باشد. در این بخش ابتدا به بررسی جامع نمک‌زدایی در آمریکا می‌پردازیم و در ادامه کشور شیلی را به دلیل خاص بودن نیازش به آب برای معادن مس و تاثیر آن بر اقتصاد به صورت مختصر بررسی می‌کنیم. خشکسالی‌های شمال غرب آمریکا در سال‌های اخیر شدید و کم سابقه بوده است. پیش‌بینی محققین در زمینه آب حاکی از آن است که شدت خشکسالی در سال‌های آتی همچنان قابل توجه و شدید خواهد بود (19). با توجه به روند پیش‌بینی شده برای وضعیت خشکسالی و کمبود آب علی‌الخصوص در سال‌های پیش رو، کشور آمریکا از سال ۱۹۷۰ شروع به تأسیس واحدهای نمک‌زدایی کرده و روندی با شیب نسبتاً تند را برای افزایش این واحدها در پیش گرفته است؛ به طوری که تا پایان سال ۲۰۱۰ تعداد واحدها به بیش از ۳۰۰ عدد رسیده است. سهم هر ایالت از تعداد کل واحدهای غشایی نمک‌زدایی آب نیز در شکل ۵ نمایش داده شده است. از بین واحدهای نمک‌زدایی آمریکا، تنها در یک واحد از روش گرمایی استفاده می‌کند که البته در این واحد نیز برای پیش تصفیه از روش اسمز معکوس استفاده شده است (20). بقیه واحدها از روش‌های غشایی استفاده می‌کنند که بیشترین سهم مربوط به روش اسمز معکوس می‌باشد. در این میان، بیشترین استفاده از این روش برای نمک‌زدایی آب شور (در مقایسه با آب دریا) است که دلیل آن محدودیت این روش در تصفیه آب با توجه به میزان نمک موجود در آب به شمار می‌رود. جزییات بیشتر در شکل ۴ نشان داده شده است.

در میان روش‌های مختلف تخلیه شورآب واحدها در آمریکا، تخلیه به آب‌های سطحی (۴۱٪)، تخلیه به سیستم فاضلاب (۳۱٪) و سپس تزریق به چاه عمیق (۱۷٪) به ترتیب بیشترین سهم استفاده را به خود اختصاص داده‌اند. (21) در مواردی که میزان گردش آب دریا برای تخلیه شورآب واحد مناسب نیست و امکان تجمع و انباشته شدن نمک وجود دارد، می‌توان شورآب را با آب دریا به منظور کاهش غلظت مخلوط کرد و سپس شورآب رقیق شده را تخلیه نمود که این روش در واحد نمک‌زدایی Tampa Bay در ایالت فلوریدا استفاده شده است (22).

از سوی دیگر کشور شیلی به عنوان یکی از کشورهای مهم و پیشرو در عرصه اقتصادی در منطقه آمریکای جنوبی معادن غنی از مس را دارا می‌باشد و بزرگترین صادرکننده آن در دنیا به شمار می‌رود. اجرای برنامه‌های زیست محیطی و مقابله با تغییرات آب و هوایی باعث شده تا شرکت‌های معدنی فعال در این منطقه روز به روز به سمت استفاده از آب شور اقیانوس برای تأمین نیازهای خود بروند. بی‌شک بهترین انتخاب برای تأمین آب مورد نیاز نمک‌زدایی آب اقیانوس آرام می‌باشد. با توجه به نیاز معادن به آب با املاح بسیار کم و امکان دستیابی به آب با میزان نمک بسیار کم (کمتر از 5ppm) با روش‌های گرمایی، در واحدهای این کشور از روش تراکم بخار (VC) استفاده می‌شود. واحدهای مربوطه ظرفیتی بین ۳۰۰ تا m^3/day می‌باشد (23).



شکل ۴ - روش‌های مختلف غشایی استفاده شده در آمریکا (۲۰) شکل ۵ سهم ایالت‌های آمریکا از واحدهای نمک‌زدایی (20)

۵. نتیجه گیری

در بین راه حل های موجود برای غلبه بر بحران آب شیرین در جهان، نمک زدایی روشی پایدار و توسعه یافته به حساب می آید که استفاده از آن در بسیاری از نقاط جهان رشد چشمگیری داشته است. این روند افزایشی ناشی از وجود منبع خوراک عظیم، کیفیت مناسب آب خروجی، قابلیت تنظیم کیفیت آب تصفیه شده و امکان ترکیب با دیگر واحدهای صنعتی مثل نیروگاه برق برای استفاده بهینه از انرژی هدر رفته است. البته این رشد چشمگیر با چالش های مصرف انرژی و هزینه بالا مواجه است که نیازمند چاره اندیشی برای ادامه روند رو به رشد است. با توجه به اینکه بیشترین هزینه عملیاتی واحدهای نمک زدایی ناشی از انرژی مصرفی می باشد و مصرف سوخت های فسیلی در روش های گرمایی با افزایش گازهای گلخانه ای همراه است، جایگزینی هر چه بیشتر این روش ها با روش های غشایی و ترکیبی در حال توسعه می باشد. با توجه به کمبود آب شیرین در ایران به عنوان کشوری خشک و کم بارش با دسترسی مناسب به منابع آب شور و انرژی لازم و کم هزینه، انتظار می رود نمک زدایی بیش از پیش در کانون توجه سیاستگذاران حوزه آب در عرصه های اقتصادی، انرژی و مدیریت استراتژیک قرار گیرد.

۶. مراجع

- [1] Khawaji, Akili D., Ibrahim K. Kutubkhanah, and Jong-Mihn Wie. "Advances in seawater desalination technologies." *Desalination* 221.1 (2008): 47-69.
- [2] Lutz, Wolfgang, Warren Sanderson, and Sergei Scherbov. "Doubling of world population unlikely." *Nature* 387.6635 (1997): 803-805.
- [3] Shatat, Mahmoud, Mark Worall, and Saffa Riffat. "Opportunities for solar water desalination worldwide: review." *Sustainable cities and society* 9 (2013): 67-80.
- [4] Al-Karaghoul, Ali, David Renne, and Lawrence L. Kazmerski. "Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13.9 (2009): 2397-2407.
- [5] Reddy, K. V., and N. Ghaffour. "Overview of the cost of desalinated water and costing methodologies." *Desalination* 205.1 (2007): 340-353.
- [6] K.S. Spiegler and Y.M. El-Sayed, *A Desalination Primer*, Balaban Desalination Publications, Santa Maria Imbaro, Italy (1994)
- [7] Miller, James E. "Review of water resources and desalination technologies." *Sandia national labs unlimited release report SAND-2003-0800* (2003).
- [8] Ghaffour, Noreddine, Thomas M. Missimer, and Gary L. Amy. "Technical review and evaluation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability." *Desalination* 309 (2013): 197-207.
- [9] Al Hashemi, Rahma, et al. "A review of desalination trends in Gulf Cooperation Council Countries." *Int. Interdiscip. J. Sci. Res* 1 (2014): 72-96.
- [10] <http://www.indexmundi.com/facts/indicators/ag.lnd.prcp.mm/map/middle-east>
- [11] Al Hashemi, Rahma, et al. "A review of desalination trends in Gulf Cooperation Council Countries." *Int. Interdiscip. J. Sci. Res* 1 (2014): 72-96.
- [12] Bashitlshaaer, Raed, Kenneth M. Persson, and Mohammad Aljaradin. "Estimated future salinity in the Arabian Gulf, the Mediterranean Sea and the Red Sea consequences of brine discharge from desalination." *International Journal of Academic Research* 3.1 (2011): 133-140.
- [13] Al-Alshaikh, Abdullah. "Seawater Desalination in Saudi Arabia: An Overview." *Europe* 10 (2012): 10-6.
- [14] Alharbi, O. A., et al. "Desalination impacts on the coastal environment: Ash Shuqayq, Saudi Arabia." *Science of the Total Environment* 421 (2012): 163-172.
- [15] Hamoda, Mohamed F. "Desalination and water resource management in Kuwait." *Desalination* 138.1 (2001): 385-393.



- [16] J. Del Castillo, Desalination costs at the Spanish Mediterranean Coast, The Bahia de Palma, Mallorca Case, International Conference on Desalination Costing, Limassol, 2004.
- [17] C. Fritzmann, J. Löwenberg, T. Wintgens, T. Melin, "State-of-the-art of reverse osmosis desalination", *Desalination* 216 (2007) 1–76
- [18] Manero, Ana. "Comparative water management practices in California and Spain." (2008).
- [19] Cook, Benjamin I., Toby R. Ault, and Jason E. Smerdon. "Unprecedented 21st century drought risk in the American Southwest and Central Plains." *Science Advances* 1.1 (2015): e1400082.
- [20] Mickley, Mike. "US municipal desalination plants: number, types, locations, sizes, and concentrate management practices." *IDA Journal of Desalination and Water Reuse* 4.1 (2012): 44-51.
- [21] Drew, Richard. "Desalination in Florida: Technology, Implementation, and Environmental Issues." (2010).
- [22] Bauer, Diana. *Analysis of Domestic and International Desalination to Outline the Decision Making Landscape for Implementation and Operation of Desalination Plants in the United States*. Diss. Worcester Polytechnic Institute, 2015.
- [23] http://www.ide-tech.com/blog/b_case_study/chile-projects/