

## ضرورت استفاده از منابع آب غیرمتعارف (دریای مازنداران، خلیج فارس و دریای عمان)؛ اما نه به هر قیمتی

عزیز عابسی، استادیار مهندسی عمران - محیط زیست، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران \*  
Oabessi@nit.ac.ir \*

### چکیده

ایران به جهت قرارگیری در پهنه خشک و نیمه خشک زمین از منظر دسترسی به منابع آب همواره با محدودیتهایی مواجه بوده است. پیش‌بینی می‌شود که روند جهانی گرمایش زمین، وضعیت خشکسالی در کشور را طی ۵۰ سال آینده تا حدی بحرانی نماید که بسیاری از مناطق مرکزی کشور کاملاً خشک و خالی از امکان توسعه و حیات گردند. در حال حاضر پهنه‌های آبی شمال و جنوب کشور به عنوان منابعی بی‌انتهای، برای تامین کمبود آب شیرین مورد نیاز کشور مورد توجه خاص قرار گرفته‌اند. طرح‌های بلند پروازانه نمک زدایی و انتقال آب دریای خزر به استان سمنان و انتقال آب خلیج فارس و دریای عمان به شیراز تا مشهد نمونه‌های از آن است. در این مقاله با ارائه مستندات توانایی محدود این پیکره‌های آبی جهت برداشت آب از آنها و ملاحظات زیست محیطی به عنوان اصلی‌ترین محدودیت در توسعه آب شیرین کن‌های ساحلی مورد بحث و بررسی قرار گرفته و پیشنهادهای ارائه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: خلیج فارس، آب شیرین کن، خشکسالی، گرمایش زمین.

### ۱- مقدمه

صنعتی شدن و توسعه شهری، رشد جمعیت و کشاورزی در کنار خشکسالی فزاینده و کاهش نزولات جوی در بسیاری از حوزه‌های آبریز کشور، بهره‌برداری بیش از ظرفیت، از منابع محدود آب شیرین موجود در کشور را به دنبال داشته است. احداث سد‌های بیشمار، عملاً باعث خشک شدن بستر رودخانه‌ها شده و روند درازمدت خشکی دریاچه‌ها و باتلاق‌های پایین دست این رودخانه‌ها را به دنبال داشته است. در سالهای اخیر تولید و استحصال آب از سایر منابع موجود اعم از تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی، استفاده از آبهای ژرف و نمک‌زدایی آب‌های شور به طور خاص مورد توجه قرار گرفته است. در حال حاضر به نظر می‌رسد استفاده از آب شیرین کن‌های دریایی به عنوان راه حلی پایدار برای رفع نیازهای روبه‌رشد کشور بسیار مورد توجه مسئولان امر می‌باشد. آب شیرین کن‌ها، در ازای مصرف بالای انرژی، تولید سر و صدا زیاد و انواع گازهای آلاینده، به عنوان محصول اصلی، آب شیرین، و به عنوان محصول ثانویه، مقادیر متناهی از پساب‌های گرم و شور تولید می‌کنند که در انتهای فرایند به دریا بازگردانیده می‌شود. خلیج فارس در جنوب کشور از سالیان دور جهت نمک زدایی آب دریا و استحصال آب شیرین برای تامین نیاز جزایر آن به آب شرب، مورد توجه بوده است. توسعه شهری سواحل ایران و نیز سواحل سایر کشورهای حاشیه خلیج فارس در سالهای اخیر، عملاً پیرامون این دریا را به یکی از بزرگترین مراکز شیرین‌سازی آب دریا در دنیا تبدیل

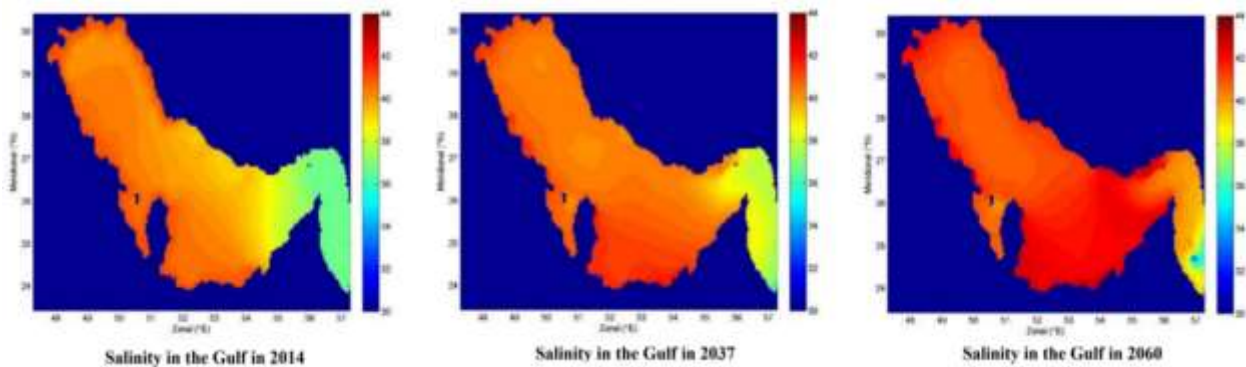
کرده است. دریای عمان نیز در سالهای گذشته از این روند شتاب‌زای توسعه آب شیرین‌کنهای ساحلی در امان نبوده؛ چنانچه هم در سواحل ایرانی این دریا و هم در سواحل کشور عمان در سالهای اخیر تاسیسات بزرگ نمک‌زدایی آب دریا احداث گردیده است. دریای مازندران در شمال کشور نیز طی سالیان اخیر به طور خاص به عنوان یک منبع بی‌انتهای آب شیرین مورد توجه قرار گرفته و بارها سخن از شیرین‌سازی و انتقال آب آن به کویر مرکزی رفته است. در این نوشتار گریزی انتقادی به روندهای موجود زده و پتانسیلهای در دسترس مورد بررسی و کنکاش قرار می‌گیرد.

#### ۲- پتانسیل استحصال آب از دریا

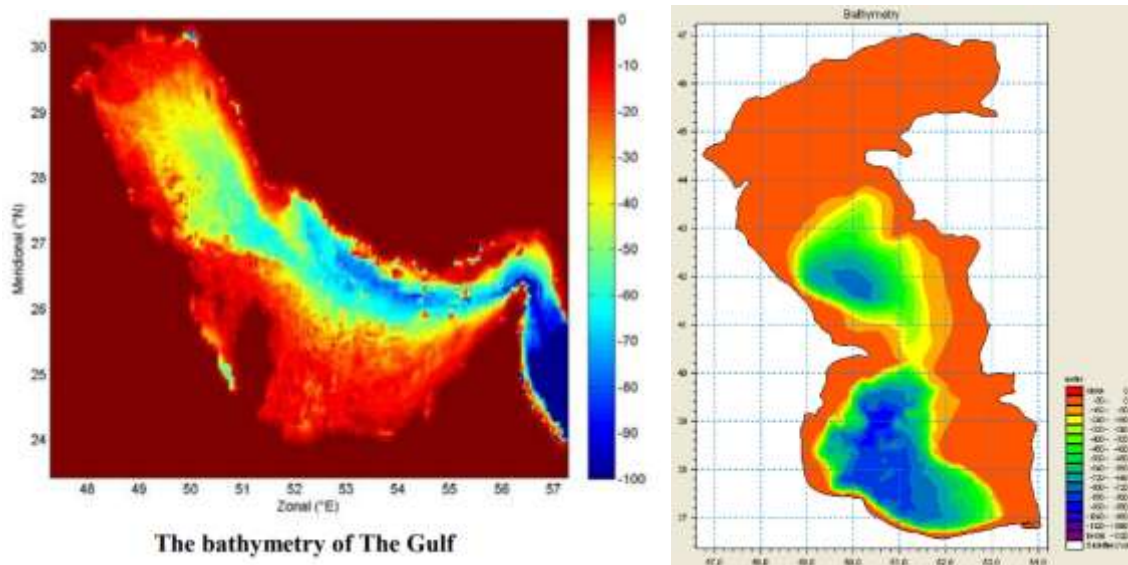
دریا عمان به عنوان یک دریای آزاد حاشیه‌ای به جهت اتصال به اقیانوس هند و تبادلات هیدرولیکی بالا عملاً محدودیتی از نظر دسترسی به آب نداشته و به صورت پایدار و در دراز مدت به عنوان یک منبع به انتها، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در آب شیرین‌کنهای ساحلی بسته به فرایند نمک‌زدایی، پساب تولیدی علاوه بر دما و شوری بالا، ممکن است حاوی طیف وسیعی از مواد افزوده شده، انواع فلزات سنگین، هیدروکربنها و اسیدها و بازها، کلرین و غیره نیز باشد. افزایش شوری، حرارت و کدورت به عنوان اصلی‌ترین آلاینده‌های پساب خروجی، با ورود به آب‌های ساحلی بر اثر تخلیه این پسابها به دریا، می‌تواند برای آبریان ساکن بسیار خطرناک و آسیب‌رسان باشند؛ به طوری که به واسطه حداقل تخطی از میزان تحمل موجودات پذیرنده، عملاً شرایط زیست برای آبریان ساکن غیرقابل تحمل شده و فرایندهای طبیعی محیط مختل می‌گردد. این موضوع خود اختلالات پیوسته‌ای در شبکه غذایی منطقه ایجاد و تخریب دراز مدت اکوسیستم آن را به دنبال خواهد داشت. از اینرو، روند توسعه جاری در تکنولوژیهای تصفیه و نمک‌زدایی آب دریا که هزینه شیرین‌سازی آب دریا را نسبت به قبل بسیار پایین‌تر آورده، در آینده‌ای نه چندان دور، به نظر می‌رسد تنها یک محدودیت پیش رو داشته باشد و آن اثرات مخرب زیست‌محیطی این فعالیت باشد. این موضوع در خلیج فارس به جهت نیمه محصور بودن آن بسیار گسترده تر بوده و پیش‌بینی می‌شود افزایش شوری زمینه‌ای این دریا را در دراز مدت به دنبال داشته باشد. در این زمینه این سوال اساسی وجود دارد که در پیکره‌های آبی محصور و نیمه محصور چون دریای مازندران و خلیج فارس، آیا با برداشت آب شیرین و تخلیه پسابهای شور، شورتر خواهند شد؟

خلیج فارس با وسعت تقریبی ۲۵۱۰۰۰ کیلومتر مربع و حجم ۸۶۰۰ کیلومتر مکعب پهنه‌ای نیمه محصور بوده که تنها از طریق تنگه هرمز با آبهای آزاد در ارتباط بوده و از این طریق سالانه چیزی در حدود ۷۲۵۰ کیلومتر مکعب آب دریافت درحالی‌که ۶۶۲۰ کیلومتر مکعب آب هم به دریا عمان تخلیه می‌کند. میزان نزولات جوی بر روی این دریا ۰,۲۲۶ متر در سال و تبخیر از روی آن چیزی در حدود ۱,۴۴ متر در سال برآورد شده است. این در حالیست که جریان ورودی از رودخانه‌ها به این دریا در حدود ۰,۴۶ متر در سال تخمین زده شده است که طی سالهای اخیر همواره روندی رو به کاهش هم داشته است. با توجه با استحصال هر چه بیشتر منابع آب شیرین ورودی به این دریا و کمتر شدن دبی رودخانه‌ها و نیز برآوردهایی که از جهت افزایش درجه حرارت و میزان تبخیر ناشی از گرمایش جهانی زمین در محدوده این دریا زده شده است، یان و همکاران (۲۰۱۷) اقدام به مدلسازی دراز مدت تغییرات شوری در خلیج فارس در یک افق ۵۰ ساله نموده‌اند. ایشان با استفاده از مدل

عمومی چرخش آب دریا موسوم به  $MITgcm^1$  توسعه داده شده توسط دانشگاه MIT، با در نظر گرفتن ابعاد بسیار عظیم آب شیرین کنهای ساحلی موجود و برنامه های آتی استحصال، بالاخص در سواحل جنوبی خلیج، اقدام به مدل سازی شوری آب دریا طی ۵۰ سال آینده نموده‌اند. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌گردد پیش بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۷ میزان شوری زمینه‌ای خلیج فارس تا حدی خطرناک برای اکوسیستمهای این دریا افزایش یابد. این افزایش در سال ۲۰۶۰ تا میزانی بحرانی، فراتر از توان بسیاری از زیست‌مندان حساس این پیکره آبی اعم از آب سنگهای مرجانی افزایش خواهد یافت. این خود به خوبی بیانگر محدودیتهای موجود در استحصال آب شیرین و بهره برداری از آب خلیج فارس به عنوان یک دریا داخلی می‌باشد.



شکل ۱- پیش بینی شوری آب خلیج فارس طی ۵۰ سال آینده



شکل ۲- نقشه عمق سنجی دریای مازندران و خلیج فارس (Yan et al. 2017)

<sup>1</sup> MIT General Circulation Model

جدول ۱- غلظت و درصد املاح در آبهای دریای مازندران و خلیج فارس

ترکیب	شوری آب خلیج فارس		شوری آب دریای مازندران	
	گرم در لیتر	درصد %	گرم در لیتر	درصد %
$Cl^-$	۱۸,۹۸	۵۵,۰۷	۵,۴۶	۴۱
$Na^+$	۱۰,۵۵	۳۰,۶۲	۳,۲۵	۲۴
$SO_4^{2-}$	۲,۶۴	۷,۷۲	۳,۰۶	۲۳
$Mg^{2+}$	۱,۲۷	۳,۶۸	۰,۷۵	۵,۷
$K^+$	۰,۳۸	۱,۱	۰,۳۶	۲,۷

مدلسازی مشابه برای دریای مازندران توسط نگارنده یافت نشده است. دریاچه کاسپین یا دریای مازندران با مساحتی در حدود ۳۷۱۰۰۰ کیلومتر مربع حدوداً ۱,۵ برابر خلیج فارس وسعت داشته و با حجم ۶۹۴۰۰ کیلومتر مکعب به جهت عمق بسیار بیشتر خود بالاخص در پهنه‌های جنوبی تا حدود ۸ برابر بیشتر از خلیج فارس حجم دارد. میزان بارش بر روی دریای مازندران چیزی در حدود ۱۳۰ کیلومتر مکعب در سال و میزان نفوذ به آبهای زیرمینی در حدود ۵ کیلومتر مکعب در سال برآورد شده است. میزان جریان خروجی از این دریاچه به خلیج قره‌بغاز که اساساً یک استخر تبخیری بزرگ در پهنه بیابانی ترکمنستان است، در حدود ۱۸ کیلومتر مکعب در سال برآورد شده است. تبخیر طبیعی از این دریا نیز بین ۳۵۰ تا ۳۷۵ کیلومتر مکعب در سال (۹۵ cm/yr) برآورد شده است. مجموعه داده‌های بالا با یک تخمین کلی نشان می‌دهد که برداشت چیزی در حدود ۱۰ متر مکعب بر ثانیه ( $0,32 \text{ km}^3/\text{yr}$ ) و یا حتی تا ۱۰۰ متر مکعب بر ثانیه ( $3,2 \text{ km}^3/\text{yr}$ ) در مقایسه با تبخیر طبیعی از سطح این دریا عملاً بسیار ناچیز بوده و نمی‌تواند تأثیرات مخرب کوتاه و میان مدتی بر روی دریا داشته باشد، اگرچه که به جهت بسته بودن این پیکره آبی میزان حجم آب قابل برداشت از آن محدودیت‌هایی دارد. نکته خاص مرتبط با دریای مازندران، شوری بسیار کمتر آن (حدود ۱۳-۱۴ ppt) در مقایسه با آبهای آزاد و هزینه پایین‌تر نمک‌زدایی از آن می‌باشد. جالب آنکه مطابق جدول ۱ نوع املاح این دریا نیز متفاوت از آبهای آزاد بوده و میزان بسیار بیشتری سولفات، منیزیم و پتاسیم دارد که ترکیباتی بسیار ارزشمند، گران قیمت و با کاربرد بالا در صنایع محسوب می‌گردند. همه اینها را باید در کنار این حقیقت در نظر داشت که محیط زیست دریای مازندران به جهت مجزا بودن از آبهای آزاد از نظر اکولوژیکی مشخصات خاص خود را داشته و بسیار حساس است. از اینرو هرگونه تصمیم‌گیری فنی در ارتباط با بهره‌برداری از منابع آب آنرا چالش‌زا بوده و این ضرورت مدلسازیهای دراز مدت، مشابه آنچه برای خلیج فارس انجام گرفته، را پیش از هر تصمیمی آشکار می‌سازد.

### ۳- ضرورت توسعه آب شیرین کن‌ها

در بسیاری از مناطق خاورمیانه منابع طبیعی آب شیرین اعم از آب‌های زیرزمینی، چشمه‌ها و رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، دیگر جواب‌گوی نیازهای فزاینده شهرها و مردم به آب شرب نیست. درگذر تاریخ این موضوع باعث تحمیل محدودیت‌های زیادی

بر توسعه اقتصادی، اجتماعی و شهری در مناطق ساحلی خشک و نیمه‌خشک این منطقه از جهان شده‌است. رشد فناوری‌های نمک‌زدایی آب دریا از سال‌های ابتدایی دهه ۱۹۶۰، استحصال اقتصادی آب شیرین از دریا در احجام بزرگ را ممکن ساخته است. این فناوری راهکاری موثر برای دستیابی به یک منبع بی‌انتهای آب شیرین بوده و عملاً رشد و توسعه شهری در کشورهای ساحلی خلیج فارس را طی سالهای اخیر ممکن ساخته است. علیرغم آنکه هزینه تولید آب به این روش بسیار بیشتر از سایر منابع است، در بسیاری از مناطق خشک ساحلی دنیا، عملاً این روش تنها روش ممکن برای تولید و استحصال آب شیرین محسوب می‌گردد. انجمن بین‌المللی آب شیرین‌کن‌ها (IDA<sup>۲</sup>) در سال ۲۰۰۵ گزارش نموده‌است که ۷۶ درصد از تاسیسات نمک‌زدایی آب دریا در مناطق بسیار خشک و کم‌آب حاشیه خلیج فارس، دریای سرخ و مدیترانه تمرکز داشته است و پیش‌بینی کرده روند توسعه فعالیت‌های نمک‌زدایی طی سال‌های آینده به سمت سواحل استرالیا، جنوب آسیا و کالیفرنیا در ایالات متحده آمریکا متمایل گردد (IDA 2005).

فناوری‌های متداول نمک‌زدایی آب دریا که در مقیاس‌های بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرند، روش تقطیر چندگانه (MED<sup>۳</sup>)، روش تقطیر چند مرحله‌ای (MSF<sup>۴</sup>) و روش اسمز معکوس (RO) می‌باشند. روش MED و MSF مبتنی بر حرارت‌دهی و تبخیر آب شور دریا در شرایط خاص و متراکم سازی بخارات به صورت مایع و روش اسمز معکوس مبتنی بر عبور آب شور دریا از غشای نیمه تراوا، بر خلاف جریان طبیعی آن و تولید آب شیرین می‌باشد. هر یک از این روش‌ها از منظر فنی، مصرف انرژی و پیامدهای زیست‌محیطی و سایر موارد، نسبت به هم مزیتها و معایبی دارند. در این میان اما روش اسمز معکوس، که تنها در سال‌های اخیر به واسطه استفاده از فناوری‌های نوین به صورت اقتصادی و در ابعاد صنعتی ممکن شده است، به دلیل مصرف پایین انرژی و فضا و سرمایه‌گذاری کمتر مورد نیاز، نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت پیدا کرده‌است و پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آتی عمده ظرفیت تاسیسات در حال ساخت را به خود اختصاص دهد.

با توجه به روند جهانی گرمایش زمین و خشکسالی مزمنی که پیش‌بینی می‌شود ایران و کشورهای مشابه را دربرگیرد، مسئولان سازمان محیط زیست هم‌صدا با دانشمندان داخلی و خارجی، احتمال خشکی کامل بسیاری از استانهای مرکزی کشور طی ۵۰ سال آینده را مطرح کرده‌اند. به نظر می‌رسد از نظر اهداف استراتژیک و امنیت ملی، در بسیاری از مناطق جنوبی و جزایر کشور، استفاده از منابع آب شور دریا جهت تامین نیازهای فزاینده کشور به آب شرب گریز ناپذیر باشد. نظر به آنکه دانش مدیریت منابع آب و اکولوژی، انتقال آب بین حوزه‌ای در ابعاد بزرگ را نامطلوب می‌شمارد، تفکر خام انتقال آب از دریای خزر به سمنان را به طور قطع می‌توان کارشناسی نشده و خیالی دانست. در این شرایط پیش‌بینی مهاجرت‌های اقلیمی به مناطق شمالی و جنوبی کشور، کما اینکه در مهاجرت زابلی‌ها به استان گلستان بیشتر مشاهده شده است، محتمل می‌باشد. تحت این شرایط استفاده از آب دریای مازندران به عنوان منبع آب شرب برای رفع نیازهای استراتژیک کشور بالاخص در نواحی شمال شرق کشور و استانهای گلستان و خراسان شمالی، که به طور پتانسیل می‌توانند میزان جمعیت زیادی از این مهاجرین باشد، گریز ناپذیر بوده و در حد تحمل هیدرولوژیک و اکولوژیک این دریا از نظر زیست‌محیطی هم خسارات زانخواهد بود.

<sup>2</sup> International Desalination Association

<sup>3</sup> Multi-Effect Distillation

<sup>4</sup> Multi-Stage Flash Distillation

#### ۴- جمع بندی

اراضی ساحلی به‌عنوان مناطقی حساس دریایی، نواحی‌ای بسیار با ارزشی از نظر صیادی، تفریحی، گردشگری و توسعه شهری محسوب می‌گردند. آب شیرین‌کن‌های ساحلی که عمدتاً در این مناطق و در نزدیکی مراکز جمعیتی و صنایع بزرگ احداث می‌گردند، با وجود اثرات بسیار مثبت در توسعه اقتصادی-اجتماعی منطقه، مجموعه‌ای از آثار نامطلوب زیست‌محیطی برای محیط‌زیست مجاور خود به همراه خواهند داشت. مصرف بسیار بالای انرژی (حداقل  $3 \text{ kWh/m}^3$  در انواعی از سیستم‌های اسمز معکوس تا  $25.5 \text{ kWh/m}^3$  برای سیستم‌های MSF)، آلودگی صوتی در حدود  $90 \text{ dB(A)}$  بر اثر کارکرد پمپ‌های فشارقوی، سیستم‌های بازیابی انرژی و توربین‌ها، آلودگی هوا و تولید آلاینده‌های  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,... به دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی ( $0.202 \text{ kgCO}_2/\text{KWh}$  به ازای مصرف گاز و  $0.266 \text{ kgCO}_2/\text{KWh}$  برای سوخت دیزل)، تغییر کاربری اراضی با ارزش ساحلی (اختصاص سطحی در حدود  $10000 \text{ m}^2$  برای تاسیساتی با تولید  $5000$  تا  $10000 \frac{\text{m}^3}{\text{day}}$  در سیستم‌های اسمز معکوس)، از بین رفتن ارگانسیم‌های کوچک در مجاری ورودی حین آبگیری و نیز تولید و تخلیه پساب‌هایی شور و گرم حاوی انواع مواد افزوده شده و آلاینده‌های محیطی از مهم‌ترین آثار نامطلوب زیست‌محیطی احداث و بهره‌برداری از آب شیرین‌کن‌های ساحلی محسوب می‌گردد. نظر به تولید حجم بسیار بالا از پساب‌های تولیدی در آب شیرین‌کن‌های ساحلی و نوع آلاینده‌های موجود در آن، عملاً چاره‌ای جز تخلیه مستقیم پساب‌های تولیدی در محیط دریا وجود ندارد. با توجه به مجموعه موارد یاد شده، ضرورت بررسی و تحقیق بر روی توان منابع آب جایگزین کشور و به‌طور خاص دریای مازندران و خلیج فارس در تامین نیازهای آبی کشور به آب شیرین، در بدترین سناریوهای پیش‌بینی شده مورد تاکید قرار می‌گیرد. این کار می‌تواند با تدوین طرح‌های آمایشی و از طریق ایجاد نظام‌های استاندارد برای ارزیابی زیست‌محیطی آب شیرین‌کن‌های ساحلی و انجام اقدامات کاهش دهنده خسارتهای زیست‌محیطی انجام گیرد.

#### ۴- مراجع

1. Lattemann, S., Hoepner T., (2008) "Environmental impact and impact assessment of seawater desalination", *Desalination*, 220, 1-15.
2. Bleninger, T., Jirka, G.H, (2008), "Modelling and environmentally sound management of brine discharges from desalination plants", *Desalination* 221, 585-597.
3. The International Desalination Association (IDA), <http://idadesal.org/>