انتقال آب دریای مازندران به حوزه آبریز کویر مرکزی
امکان سنجی شیرین سازی آب در مقصد

دکتر عزیز عابسی-عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
هیات علمی پژوهشی سابق در موسسه فناوری جرجیا امریکا (دانشگاه جرجیاتک)

۱- مقدمه

در سالهای اخیر به دلیل میل شدید به توسعه و توسعه صنعتی و کشاورزی، تقاضا برای دسترسی به آب شیرین نسبت به سده قبل رشد چشمگیری داشته است. با توجه به روند جهانی گرمایش زمین و تغییر اقلیم، پیش‌بینی می‌شود که پیامد این موضوع برای کشور ایران، کاهش میزان بارش، افزایش دما و افزایش محسوس تبخیر از منابع آب سطحی موجود باشد. با ادامه رویکرد عرضه-محور در سیاستگذاری و مدیریت کلان آب در کشور و برآورد جمیعت یکصد میلیونی ایران طی دهه آینده، کاهش سرانه آب و ایجاد تنش‌های آب در سطح کشور، امری اجتناب‌ناپذیر است.

با توسعه تکنولوژی در سده حاضر، تولید آب شیرین از منابع آب شور به روش‌های مختلف حرارتی (تبخیر و میعان آب از طریق تکنولوژی MSF[1], MED[2]) و اسمزی (Osmosis) با مصرف بالای انرژی، ممکن شده است. توسعه و بهبود فرایندهای نمک زدایی به روش اسمز معکوس (RO[3]) در سالهای اخیر باعث رشد جهشی این صنعت در سطح دنیا شده است. این روش مبتنی براستفاده از فشار هیدرواستاتیک (۶۰ الی۷۰ بار) برای غلبه بر فشار اسمزی جهت عبور آب از غشای نیمه تراوایی است که به صورت مصنوعی ساخته می‌شود. سیستم‌های RO در مقایسه با روشهای قدیمی (حرارتی) ۵ الی ۱۰ برابر انرژی کمتری مصرف کرده، سطح کمتری را اشغال نموده و آلایندگی کمتری ایجاد خواهند کرد.

به طور مشترک، همه روش‌های نمک‌زدایی مذکور، در کنار تولید آب شیرین، پساب‌های بسیار شور و در برخی موارد گرم را به عنوان محصول ثانویه تولید می‌کنند. در سیستم‌های MSF و MED این پساب ۳۰ الی۵۰ درصد شورتر از آب ورودی بوده و ۱۰ الی ۱۵ درجه گرم‌تر می‌باشد. در سیستم‌های RO این پساب اما تقریبا هم‌دما با آب ورودی بوده و تنها شورتر از آن می‌باشد (۵۰ الی۱۰۰ درصد شورتر از آب ورودی). پساب تولیدی همچنین آلوده به انواع آلاینده‌ها است که به دلیل اضافه نمودن افزودنی‌های مختلف جهت شست‌وشوی شیمیایی سطوح، ضدعفونی‌سازی محیط و جلوگیری از رسوب‌گذاری، ایجاد کف، خوردگی سطوح و همچنین حذف ارگانیسم‌های شناور و مواد آلی وارد پساب تولیدی شده‌اند.

به جهت تقاضای روزافزون به آب شیرین ، نیاز این تأسیسات به منبع آب جدید با کیفیت نسبتاً ثابت و امکان دفع ایمن پساب‌های تولیدی در محیط دریا، به طور معمول تأسیسات نمک‌زدایی در دنیا در سواحل و در مجاورت دریاها و اقیانوس‌ها

[1] Multi-Effect Distillation
[2] Multi-Stage Flash Distillation
[3] Reverse Osmosis

احداث می‌شوند. در این حالت با احداث انواع آبگیرهای زیر سطحی[۴] و باز[۵] (آبگیرهای عمقی[۶] و سطحی[۷]) آب از دریا برداشت شده به سمت تأسیسات آب شیرین‌کن هدایت می‌شود. در این روش برای آب شور دریا، بسته به نوع فرایند نمک‌زدایی، مشخصات آب و نوع تأسیسات به کار رفته، ۳۰ الی۴۰ درصد از آب ورودی به آب شیرین تبدیل شده و ۶۰ الی ۷۰ درصد باقی مانده، که اکنون شورتر شده و آلوده به انواع آلاینده ها است، از طریق تخلیه‌کننده‌های دریایی[۸] یا دیفیوزرهای عمقی[۹] تحت استانداردهای سخت‌گیرانه در فاصله کافی از ساحل تخلیه می‌شوند. این تخلیه به نحوی باید صورت گیرد که حداکثر اختلاط و حداقل پیامدهای نامطلوب زیست محیطی را به دنبال داشته باشد.

تأسیسات کوچک‌تر نمک‌زدایی داخل خشکی که عمدتاً از منابع سطحی یا آب‌های زیرزمینی لب‌شور جهت تولید آب شیرین استفاده می‌کنند، به دلیل ابعاد کوچک‌تر، حجم بسیار کمتر پساب شور تولیدی و همچنین دوری از دریا معمولاً پساب شور تولیدی را در تأسیسات داخل خشکی از طریق تخلیه در چاه‌های عمیق، تخلیه در منابع سطحی، دفع در استخرهای تبخیری و ... در محیط‌زیست دفع می‌کنند. علاوه‌بر موارد فوق، استفاده از فرایندهایی با تخلیه صفر، که مبتنی بر بازچرخانی چند باره آب شور برای تولید آب شیرین تا حداکثر میزان ممکن و در نهایت تولید نمک در استخرهای تبخیری است به جهت مصرف انرژی بالا و عواقب زیست‌محیطی آن، اقتصادی نبوده و توصیه نمی‌گردند. از این دست تأسیسات نمونه‌های معدودی در آمریکا، آن هم در ابعاد بسیار کوچک موجود می باشد.

۲- شیرین سازی آب دریای مازندران در مقصد

دریای مازندران با شوری حدود ppt ۱۳ (در قسمت‌های جنوبی) در دسته آب‌های لب شور Brackish دسته‌بندی می‌شود. دریافت بیش از ۷ مترمکعب در ثانیه از آب دریا و پمپاژ آن از تراز ۲۶- دریا تا ارتفاع ۲۳۱۲+ از سطح دریا در دهانه تونل چشمه روزبه و بعد انتقال ثقلی آن به شهر سمنان به عملیات لوله‌گذاری به طول حداقل ۲۵۰ کیلومتر نیاز خواهد داشت. برای نمک‌زدایی در مقصد، به منظور دستیابی به حداکثر راندمان در بازیابی آب شیرین از آب انتقالی، استفاده از تأسیسات نمک‌زدایی آب لب‌شور با روش اسمز معکوس (BWRO[۱۰]) پیش‌بینی می‌شود. فشار مورد نیاز برای آب‌های لب شور ۱۰ الی ۱۵ بار (متناسب با شوری آب) و حداکثر راندمان بازیابی قابل دستیابی در حدود ۶۰ الی ۶۵ درصد خواهد بود. این به معناست که در این تأسیسات در کنار تولید آب شیرین، ۳۵ الی ۴۰ درصد از آب ورودی به عنوان محصول ثانویه، به آب شوری با غلظت ppt ۳۵ تبدیل می‌گردد که این تبدیل، با مصرف انرژی در حدود ۱ الی ۲ kw/m^3 انجام می‌گیرد. به طور کلی، در تأسیسات نمک‌زدایی مجاورِ دریا، پساب شوری تولیدی به دریا بازگردانیده می‌شود. بازگرداندن پساب شوری تولید شده به دریا به این دلیل است که تولید آب شیرین از آن به جهت نیاز بیشتر به انرژی به هیچ وجه اقتصادی و به صرفه نمی‌باشد.

---

[4] Subsurface Intake
[5] Open Intake
[6] Deep Intake
[7] Surface Intake
[8] Marine Outfall
[9] Submerged multiport diffusers
[10] Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO)

در فلات مرکزی ایران، به جهت آنکه امکان دفع مناسب آب شور تولیدی ممکن نمی‌باشد، استفاده مجدد از این آب در یک فرایند نمک‌زدایی ثانویه مطرح شده است. در این حالت، استفاده از مرتبه دوم از تأسیسات نمک‌زدایی آب (SWRO[11]) پیشنهاد گردیده است. در این حالت آب خروجی از سیستم BWRO به عنوان آب ورودی به سیستم SWRO وارد آن شده تا آب شیرین مازادی تولید گردد. برای شوری ppt ۳۵ آب ورودی، فشار کار پمپ‌ها در این حالت در حدود ۶۰ الی ۷۰ بار بوده (برای مرتبه اول شیرین‌سازی این فشار ۱۰ الی ۱۵ بار بوده) و حداکثر راندمان قابل دستیابی ۳۵ الی ۴۰ درصد است. به این ترتیب از ۴۰ ٪ آب باقیمانده از مرحله قبل، ۳۵ الی ۴۰ درصد آب شیرین تولید و مجدداً ۶۰ درصد آب بسیار شور، این بار با شوری در حدود ppt ۶۰ تولید خواهد شد. این بدان معنی است که از کل آب انتقالی به کویر مرکزی، طی دو فرایند نمک‌زدایی سری، در نهایت حدود ۷۵ ٪ آب شیرین تولید شده و ۲۵ ٪ مابقی، آب بسیار شور با غلظت ppt ۶۰ خواهد بود که دیگر نمک زدایی بیشتر آن به روش‌های معمول امکان‌پذیر نمی‌باشد. به جهت شوری بیشتر آب ورودی، میزان انرژی مورد نیاز در فاز دوم شیرین‌سازی آب در حدود ۲ الی ۴ kw/m^3 (دوبرابر فاز اول) خواهد بود. بر این اساس، پیش‌بینی می‌شود که حجم پساب بسیار شور تولیدی (با غلظت ppt ۶۰) در انتهای پروژه در حدود ۲۵ درصد از کل آب انتقالی باشد. با توجه به اقلیم خشک و گرم کویری منطقه ادعا شده است که می‌توان در شرایط کنترل شده و با استفاده از استخرهای تبخیری عظیم، آب را تبخیر و نمک آن را استحصال کرد.

در خصوص این ادعا، ذکر این نکته ضروری است که غلظت املاح در آب لب‌شور دریاچه خزر با آب دریاهای آزاد و اقیانوس‌ها متفاوت می‌باشد. همانگونه که در جداول ۱ و ۲ مشخص شده است غلظت ترکیبات کلراید و سدیم در آب دریای خزر کمتر و غلظت سولفات، منیزیم و پتاسیم در آن بیشتر است. با توجه به محتوی بیشتر ترکیبات سولفاتی، منیزیم و پتاسیم امکان استحصال این املاح برای استفاده در فعالیت‌های صنعتی اعم از صنایع شیشه، دباغی، مواد پاک کننده، کاغذ و پارچه مطرح شده است. اما میزان کمی تولید مواد به این روش در مقایسه با استخراج آنها از خلیج قره بغاز (ترکمنستان)، بسیار کمتر بوده و بسیار پرهزینه است که این مسأله، استفاده اقتصادی از آن را زیر سوال می برد.

جدول ۱- غلظت ترکیبات در آب شور اقیانوس‌های دنیا با شوری ۳۴,۲۳

ماده	علامت شمیایی	درصد وزنی	گرم در کیلوگرم آب دریا
کلراید	Cl^-	۵۵/۰۷	۱۸/۹۸
سدیم	Na^+	۳۰/۶۲	۱۰/۵۵۶
سولفات	So^{4-}	۷/۷۲	۲/۶۴۹
منیزیم	Mg^{2+}	۳/۶۸	۱/۲۷۲
کلسیم	Ca^{2+}	۱/۱۷	۰/۴
پتاسیم	K^+	۱/۱	۰/۳۸
کل		۹۹/۳۶	۳۴/۲۳۷

[11] Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)

جدول ۲- غلظت ترکیبات در خزر جنوبی با شوری ۱۳,۱

ماده	گرم در کیلو آب دریا	درصد وزنی
کلراید	۵,۴۶	۴۱
سدیم	۳,۲۵	۲۴
سولفات	۳,۰۶	۲۳
منیزیم	۰,۷۵	۵,۷
پتاسیم	۰,۳۶	۲,۷

براساس مطالب فوق، طی دو فرایند سری از نمک‌زدایی، امکان استحصال حداکثر آب شیرین (تا ۷۵ درصد) از آب لب‌شور انتقالی، قابل پیش‌بینی است با این تفاوت که به ازای واحد حجم آب شیرین تولیدی، نمک زدایی در سری دوم ۲ تا ۳ برابر گران‌تر از آبی است که در سری اول تولید می‌شود. علاوه‌بر مقادیر یاد شده، آب دریا بخصوص آب دریاچه مازندران، به جهت مشخصات خاص خود، پیش از ورود به فرایند نمک‌زدایی، نیاز جدی به پیش تصفیه با کمک سیستم‌های میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون دارد. فرایند تصفیه مقدماتی و شستشوی معکوس غشاها خود حدود ۵ درصد از کل آب انتقال یافته را مصرف کرده و هدر خواهد داد. از سوی دیگر، استفاده از مواد شیمیایی در بازه‌های زمانی هفتگی یا ماهانه برای شستشو معکوس و احیا غشاها، استفاده ثانویه از این آب را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. بر این اساس، دفع زیست‌محیطی پساب تولیدی از شستشوی معکوس نیز خود نیازمند به تدابیر ویژه‌ای است. آب دریاچه مازندران به جهت آلودگی به انواع آفت‌کش‌ها، آزبست و فلزات سنگین و ... آب با کیفیت مناسب نیست. اگرچه تقریباً همه این آلاینده‌ها در فرایند تصفیه آب حذف خواهند شد و آب شیرین تولیدی عاری از آلودگی خواهد بود، اما تمرکز آنها در نمک و فاضلاب تولیدی باعث ورود انواع آلاینده‌ها به منطقه شده و در دراز مدت به مشکلی بزرگ در مقصد تبدیل خواهد شد.

۳- شیرین‌سازی در مقصد: آیا نمونه مشابه وجود دارد؟

بررسی تأسیسات نمک‌زدایی در سطح دنیا به وضوع بیانگر تمرکز تأسیسات بزرگ نمک‌زدایی در کنار سواحل دنیا است. اگرچه استفاده از این تأسیسات در داخل سرزمین، در ابعاد کوچک جهت نمک‌زدایی منابع آب شور سطحی و زیرزمینی منطقه برای مصارف شرب تاکنون گزارش شده است، اما استفاده از تأسیسات بزرگ در مناطق داخلی به جهت ملاحظات زیست‌محیطی اساساً معمول نمی‌باشد. صنایع بزرگ نمک‌زدایی آب دریا با استفاده از آب‌گیرهای دریایی، آب را از اعماق مناسب دریافت و بعد از نمک‌زدایی، پساب شور تولیدی با کمک تخلیه‌کننده‌های دریایی یا دیفیوزرها، در داخل دریا تخلیه می‌کنند. نمونه‌های بسیار زیادی از تأسیسات ساحلی در ابعاد متوسط تا بسیار بزرگ در استرالیا، کالیفرنیا، عربستان سعودی، امارت، قطر و عمان در حال فعالیت می‌باشند. در این تأسیسات آب در مجاورت دریا شیرین شده و آب شور تولیدی به شهرهای مجاور و مناطق مصرف انتقال می‌یابد. در این تأسیسات سعی شده است تا با طراحی درست و با رعایت استانداردهای زیست محیطی حاکم بر تخلیه، پساب‌های شور تولیدی با حداقل خسارت در محیط دریا دفع گردند. با این وجود هر از گاهی گزارش‌هایی از خسارات زیست محیطی آب شیرین‌کن‌های ساحلی در نقاط مختلف مطرح می‌گردد.

در ارتباط با انتقال آب شور دریا به داخل سرزمین، تنها می‌توان به پیشنهاد پروژه خط لوله انتقال آب از دریای سرخ به دریای مرده (Red-Dead Sea Pipeline project) اشاره کرد. در این پروژه پیشنهادی، قرار است خط لوله‌ای به طول ۱۸۰ کیلومتر، آب شور دریای سرخ (Salinity= ۳۶-۴۱ ppt) را به صورت ثقلی به دریای مرده با تراز ۴۲۳- منتقل نماید. در این پیشنهادیه قرار است آب در مقصد با کمک تکنولوژی SWRO تصفیه و پساب شور تولیدی جهت احیای دریای مرده (Salinity>400 ppt) مورد استفاده قرار گیرد. پساب تولیدی، شوری بسیار کمتری از آب دریای مرده داشته و می‌تواند آب بسیار شور دریای سرخ را ترقیق و در احیای دریای مرده مورد استفاده قرار گیرد. این پروژه علی‌رغم طول کمتر خط لوله انتقال و امکان انتقال ثقلی و همچنین پیش‌بینی مصرف پساب شوری تولیدی، به جهت ملاحظات زیست‌محیطی، هزینه بسیار بالا و مناقشات اجتماعی-سیاسی آن هنوز توسط بانک جهانی و کارشناسان مورد تأئید نهایی قرار نگرفته است. نتایج ارزیابی‌ها همچنین نشان داده است که افزایش ارتفاع چند سانتیمتری آب دریای مرده در برابر تبخیر بیش از یک متری آن در سال نخواهد توانست نقش مهمی در احیای دریای سرخ ایفا کند.

نگارنده به جهت عضویت در یکی از کارگروه‌های تخصصی IAHR/IWA و مشارکت در نگارش دومین ویرایش از گزارش ۱۰ ساله IWA با عنوان Global Trends & Challenges in Water Science, Research and Management و همچنین نگارش فصلی از کتاب Sustainable Desalination Handbook، سوالی با این مضمون در ارتباط با ملاحظات فنی و زیست محیطی نمک‌زدایی آب شور در مقصد، از اعضای این کارگروه که شامل برجسته‌ترین متخصصان امر در سطح دنیا می باشند، مطرح نموده است. پاسخ قابل تأمل متخصصان بین‌المللی، نگرانی جدی نسبت به عواقب زیست‌محیطی و اجتماعی آن و تردید به اقتصادی و حتی عملیاتی بودن پمپاژ این حجم بالا از آب با ارتفاع ۲۳۰۰ متری و نمک زدایی آن در کویر بوده است.

۴- ملاحظات فنی، اقتصادی-اجتماعی و زیست محیطی

➢ ملاحظات فنی

روند توسعه سریع تکنولوژی نمک‌زدایی طی ۲-۳ دهه گذشته هزینه این فعالیت را به شدت کاهش داده و آنرا برای اهداف شرب و صنعتی در کشورهای خشک و بی‌آب، به عنوان یک گزاره مطرح کرده است. به نظر می رسد طی دهه آینده با روند توسعه تکنیک‌های نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس، هزینه این فعالیت تا میزان زیادی کاهش یابد. اما نکته مهم در این خصوص آنست که در بهره‌گیری از این روش، متأسفانه کشور ما ایران کامل وابسته بود و عمده تجهیزات مورد نیاز اعم از پمپ‌های فشار قوی، غشاها و ... وارداتی می‌باشند. برای طراحی این تأسیسات و همچنین تأسیسات آبگیری و تخلیه پساب تولیدی در دریا، دانش فنی مهندسان و شرکت‌های داخلی محدود و بسیار سطحی می‌باشد. با توجه به گستردگی تحریم‌های آمریکا بویژه تحریم‌های کاتسا، طراحی، بهره‌برداری و نگهداری این تأسیسات با چالش‌ها و مشکلات بسیار زیادی مواجه خواهد شد.

➢ ملاحظات اقتصادی-اجتماعی

با توجه به هزینه بسیار بالای سرمایه‌گذاری (CAPEX) و بهره برداری (OPEX) از خطوط انتقال آب و تأسیسات شیرین‌سازی به وضوح هزینه‌های مشروح برای انتقال آب شور به مقصد و شیرین‌سازی آن در نقطه هدف، منطقی و اقتصادی نمی‌باشد. به طور کلی، از نظر اقتصادی تنها نمک‌زدایی آب در کنار منبع و انتقال آب شیرین تولیدی به مجاورت آن معنی‌دار خواهد بود. انتقال آب شور به مقصد، به دلیل آنکه از لحاظ فنی، نمک‌زدایی ۱۰۰ درصد آن به روش‌های معمول اساسا امکان پذیر نبوده و هزینه پمپاژ آب به ارتفاع ۲۳۰۰ متری بالاخص برای آب شور با چگالی بالا سرسام‌آور است؛ بسیار دور از منطق اقتصادی و مهندسی است. علاوه‌بر این، مشکلات خوردگی خطوط لوله و نشت‌های محتمل در مسیر خط انتقال، ریسک‌های اقتصادی آنرا در کنار نگرانی‌های زیست‌محیطی به شدت افزایش می‌دهد.

در خصوص منطقه مبدأ یعنی استان مازندران، باید به این نکته اشاره کرد که ساختار اقتصادی استان مازندران کشاورزی از نوع آب‌بر متکی بوده و مشکلات ناشی از کمبود آب در این استان بالاخص در سال گذشته، باعث به زیر کشت نرفتن بخش بزرگی از زمین‌های استان شده است. لذا هر گونه انتقال آب از این استان به سایر استان‌ها می‌تواند با پیامدهای جدی اجتماعی مواجه گردد. لذا ملاحظات اجتماعی چنین پروژه‌ای خود دریچه‌ای دیگر به عواقب وسیع آن می‌گشاید که باید در مطالعات اجتماعی طرح به طور جامع به آن پرداخته شود.

➢ ملاحظات زیست محیطی

در نتیجه لوله‌گذاری و ساخت ایستگاه‌های متعدد پمپاژ، ایجاد جاده دسترسی و عبور ماشین آلات سنگین که ناگزیر بخشی از آن از قدیمی‌ترین و مهمترین رویش‌گاه‌های جنگل هیرکانی عبور می‌کند، این پهنه جنگلی به شدت حساس، آسیب دیده و چند تکه خواهد شد. آسیب پذیری که بازسازی آن شاید هرگز امکان پذیر نباشد. از منظر زمین‌شناسی رشته کوه البرز به شدت فعال بوده و وقوع زلزله، نشست زمین و هرگونه اشتباه مهندسی که نشت آب را سبب شود، باعث ورود آب شور و از بین رفتن این زمین‌های با ارزش خواهد شد. فرایند نمک‌زدایی باعث تولید آب بسیار شور در احجام بالا خواهد شد که دفع زیست‌محیطی آن در استخرهای تبخیری، با تولید احجام بالای نمک همراه خواهد بود. تنها بخشی از این نمک دارای ارزش اقتصادی برای مصارف صنعتی بوده و درصد بالایی از آن بی مصرف خواهد ماند. آب و رسوبات دریای خزر به حدی به فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها و سایر آلاینده‌ها آلوده است که استفاده خوراکی از بسیاری از ماهی‌های آن، اساسا منع شده است. تجمع این آلاینده‌ها در نمک تولیدی، استفاده از آن را تحت تأثیر جدی قرار خواهد، که این خود نیاز به مطالعات تخصصی بیشتر دارد. علاوه‌بر موارد فوق، بخشی از آب انتقالی (حدود ۵ درصد) به جهت مصرف در تصفیه اولیه، شستشوی معکوس و شست‌وشوی شیمیایی غشاها، در نهایت باید دور ریخته شود که مدیریت زیست‌محیطی آن نیز نیازمند تمهیدات خاص است. بر این اساس، جدای از تخریب در مبدأ (به جهت آبگیری از دریا، تخریب جنگل براثر لوله‌گذاری و تأسیسات پمپاژ و ...)، عمده تأثیرات منفی در دراز مدت متوجه مقصد خواهد بود. بر این اساس، این پیشنهاد از منظر مهندسی و اقتصادی به هیچ وجه منطقی به نظر نمی‌رسد.