

مقاله پژوهشی

بررسی اقتصادی نمک‌زدایی و انتقال آب دریا (مطالعه موردی: صنایع معدنی جنوب شرق کشور)

مجتبی برزگر دوین^{۱*} و محمدرضا نظری^۲

چکیده

امروزه، تأمین آب به روش شیرین‌سازی آب دریا، گزینه امیدبخشی برای جبران کمبود منابع آب است؛ با این حال، بهره‌برداری از این منابع به‌علت هزینه‌های زیاد، از دیدگاه اقتصادی و مالی، چالش‌برانگیز است؛ بنابراین، هزینه فرصت عرضه آب به این روش با منافع حاصل از آن باید به‌دقت بررسی شود. در این پژوهش، با استفاده از تحلیل هزینه به فایده، به‌عنوان یک ابزار پیش‌تنبان تصمیم‌گیری، منافع خالص اقتصادی و مالی طرح شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس، که برای تأمین آب مورد نیاز صنایع معدنی جنوب شرق ایران در حال اجراست، بررسی شد. به این منظور، منافع ناخالص عرضه آب توسط پروژه براساس ارزش تولید نهایی آن (ارزش اقتصادی) در صنایع مصرف‌کننده، برآورد و در مقابل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری هر دو جزء طرح، یعنی شیرین‌سازی و انتقال آب ارزیابی شد. نتایج حاصل از مقدار ارزش حال خالص طرح نشان داد منافع حاصل از تأمین آب برای صنایع معدنی جنوب شرق کشور با شیرین‌سازی و انتقال آب از خلیج فارس، علاوه بر اینکه کلیه هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری و هزینه فرصت پول را جبران می‌کند، در طول دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری، در مجموع، ۵۹۱۲۷/۲ میلیارد ریال به رفاه اقتصادی جامعه می‌افزاید. گفتنی است، نرخ بازده داخلی طرح، ۲۲/۳ درصد به دست آمد که به‌طور معنی‌داری، از نرخ تنزیل پایه (۰/۰۷) بزرگ‌تر است؛ بنابراین، اجرای طرح شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس برای تأمین آب لازم برای صنایع معدنی کشور، توجیه اقتصادی دارد. منافع اقتصادی ناشی از عرضه آب به‌صورت شیرین‌سازی آب دریا برای تأمین نیاز صنایع معدنی، هزینه‌های زیاد شیرین‌سازی و انتقال آب را پوشش می‌دهد و اجرای آن را از دیدگاه اقتصاد ملی توجیه‌پذیر می‌کند. پایداری مالی طرح نیز نشان‌دهنده وجود انگیزه‌های مالی کافی برای ورود بخش خصوصی به طرح‌های سرمایه‌گذاری طرح‌های شیرین‌سازی و انتقال آب دریا با کاربری صنعتی و معدنی است.

واژه‌های کلیدی: ایران، تحلیل منفعت به هزینه، شیرین‌سازی آب دریا، صنایع معدنی.

ارجاع: برزگر دوین م. و نظری م. ر. ۱۴۰۰. بررسی اقتصادی نمک‌زدایی و انتقال آب دریا (مطالعه موردی: صنایع معدنی جنوب شرق کشور). مجله پژوهش آب ایران. ۴۲: ۱۰۱-۱۱۵.

۱- مری گروه کشاورزی (اقتصاد کشاورزی)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲- استادیار پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

* نویسنده مسئول: M_barzegar@pnu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۱

مقدمه

تقاضا برای آب به‌علت رشد جمعیت و افزایش فعالیت‌های اقتصادی، روزبه‌روز در حال افزایش است. تغییر اقلیم به‌عنوان تهدیدی بالقوه و اثرگذار بر هر دو طرف عرضه و تقاضای آب، موجب برهم خوردن تعادل بین منابع و مصارف آب، به‌ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان شده است (آبازا و همکاران، ۲۰۱۲). نتیجه این روند، افزایش روزافزون شکاف عرضه و تقاضای آب، افزایش تعارض‌های اجتماعی و ناپایداری اکوسیستم‌های آبی و محیط زیست است. برنامه‌ریزان منابع آب در بسیاری از نقاط جهان به این درک مشترک رسیده‌اند که منابع آب متعارف، دیگر به‌تنهایی، شکاف بین عرضه و تقاضا را پر نمی‌کند و باید بر برنامه‌ریزی منابع آب، تکیه کرد که در آن، گزینه‌های مختلفی از توسعه منابع آب وجود داشته باشد. در این میان، استفاده از منابع آب نامتعارف به‌عنوان گزینه‌ای نویدبخش برای تخفیف فشارهای کمی و کیفی بر منابع آب رایج در سطح جهانی، اهمیت ویژه‌ای دارد (برنات و همکاران، ۲۰۱۰). منابع آب نامتعارف، به‌طور عمده شامل آب دریا، آب لب‌شور و پساب حاصل از مصارف شرب، صنعت و کشاورزی است که در این میان، شیرین‌سازی آب دریا، اهمیت ویژه‌ای دارد (برنات و همکاران، ۲۰۱۰). علت این امر ممکن است فراوانی و ارزانی منبع و تأثیرناپذیری از تغییر اقلیم آب دریا (نیلن، ۲۰۱۱) باشد. منبع اولیه بیشتر از ۶۲ درصد از کل آب تولیدشده به روش نمک‌زدایی در دنیا، آب دریاهاست و سهم هر یک از منابع آب لب‌شور^۱ و سایر منابع، حدود ۱۹ درصد است (GWI, Desaldata, (IDA, 2008)). تولید جهانی آب با شیرین‌سازی (شامل آب دریا و آب لب‌شور)- که در سال ۲۰۰۶، حدود ۴۸ میلیون مترمکعب در روز بود- در سال ۲۰۰۸ به حدود ۶۵ میلیون مترمکعب در روز رسیده است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تقاضا برای شیرین‌سازی آب دریا تا سال ۲۰۱۶ به‌عنوان گزینه‌ای مطمئن برای حمایت و پشتیبانی از توسعه اقتصادی و ثبات و پایداری اجتماعی در مناطق خشک و ساحلی جهان نسبت به سال ۲۰۰۹، حدود سه برابر می‌شود و بازار جهانی آن به ۳۰ میلیارد دلار می‌رسد (نیلن، ۲۰۱۱). بخش عمده‌ای از ارزش این بازارها متعلق به کشورهایی است که یا در مناطق خشک و نیمه‌خشک

جهان قرار گرفته‌اند (کشورهای حوزه خلیج فارس و استرالیا) یا به‌علت رشد جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی با کمپایی منابع آب (برای مثال، امریکا و چین) روبرو هستند (نیلن، ۲۰۱۱).

در ایران، محدودیت آب در دسترس و توزیع غیریکنواخت آن در کشور، تأمین آب لازم در بسیاری از مناطق کشور را مشکل کرده است و روزبه‌روز بر ابعاد چالش‌های مدیریت منابع آب کشور افزوده می‌شود (حسینی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین، بروز خشکسالی‌های پیاپی در سال‌های اخیر، دسترسی به آب را با بحران شدیدتری روبرو کرده است. امروزه، تأمین آب در دسترس و مطمئن برای مصارف مختلف، یکی از چالش‌های مهم دولت است. پیش‌بینی می‌شود با توجه به روند افزایش جمعیت، برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب و وقوع پدیده تغییر اقلیم، مقدار سرانه موجودی منابع آب ایران از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال به ۱۳۰۰ مترمکعب در سال ۱۴۰۰ برسد که این موضوع به معنای ورود کشور به مرحله تنش آبی است (وزارت نیرو، ۱۳۹۲). پیرو این محدودیت‌ها، به‌تازگی جهت‌گیری‌های دولت درباره مدیریت منابع آب کشور به بهره‌برداری کاراتر و موزون از منابع آب و بهره‌گیری از سایر روش‌های استحصال آب (بازچرخانی پساب، شیرین‌سازی آب دریا و...) متمایل شده است. در سیاست‌های کلی نظام در بخش آب و برنامه‌های چهارم و پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران بر استفاده از آب‌های غیرمتعارف و ارتقای دانش و فنون استحصال و بهره‌برداری از آن تأکید شده است.

یکی از منابع آب نامتعارف قابل دسترس کشور، که تاکنون به آن توجه لازم نشده است، منابع آب شور خلیج فارس و دریای عمان است. در حال حاضر در ایران، نمک‌زدایی از این منابع شور در سطح محدودی به‌صورت عمده برای مصارف آب شرب شهری به میزان کمتر از ۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال در دست بهره‌برداری است. سیر تحولات اقتصادی- فناوری، مانند افزایش هزینه‌های تأمین آب از منابع متعارف داخلی، افزایش بهره‌وری مصرف آب در مصارف صنعتی از طریق توسعه فناوری و توسعه و بهبود روش‌های نمک‌زدایی، استفاده از این منابع آب را در سطح بسیار گسترده‌تری، امکان‌پذیر و بلکه ضروری کرده است.

صورت، هزینه‌های انتقال آب ممکن است آنقدر زیاد باشد که اجرای طرح را ناممکن کند. پرسشی که مطرح می‌شود این است که آیا منافع اقتصادی و مالی حاصل از این طرح به اندازه‌ای است که افزون بر هزینه‌های شیرین‌سازی، هزینه‌های مالی و اقتصادی احداث و بهره‌برداری و نگهداری از خطوط انتقال آب را نیز پوشش دهد؟ پاسخ به این پرسش، نیازمند انجام‌دادن تحلیل جامعی از هزینه‌ها و منافع حاصل از طرح است؛ به گونه‌ای که همه اجزای هزینه اعم از شیرین‌سازی و انتقال آب به محل‌های مصرف را دربرگیرد. در چارچوب مطالعه حاضر، پژوهش‌های زیادی در داخل و خارج انجام نشده است؛ اما در مطالعاتی، آثار اقتصادی شیرین‌سازی آب بررسی شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

عبدالمجیدی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای، شیرین‌سازی آب دریای خزر را به روش اسمز معکوس بررسی اقتصادی کردند. براساس نتایج این مطالعه، قیمت تمام‌شده تولید یک مترمکعب آب شیرین، ۰/۷۷ دلار برآورد شد.

صادقی و همکاران (۱۳۹۵)، شیرین‌کردن آب خلیج فارس را با استفاده از انرژی‌های نو و فسیلی مقایسه اقتصادی کردند. نتایج نشان داد استفاده از سوخت‌های فسیلی در مقایسه با انرژی خورشیدی، برای فرایند آب‌شیرین‌کن، اقتصادی نیست. کیونگ زو واکسلی لئو (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای، آثار اقتصادی شیرین‌سازی آب دریا را در چین با استفاده از فناوری داده- ستاده بررسی کردند که براساس نتایج این مطالعه، شیرین‌سازی آب دریا، سرمایه‌گذاری بزرگی با نرخ فزاینده ۲/۴۹ است و ضریب کشش تقاضای قیمتی آن، ۱/۱۴ است.

معرفی طرح مورد مطالعه

طرح مورد بررسی در این پژوهش در بخش جنوب شرقی کشور واقع شده است. کمبود منابع آب در این منطقه، بیشتر از سایر مناطق ایران است. نتایج مطالعات منابع آب منطقه نشان می‌دهد در حال حاضر، برداشت از منابع آب سطحی در استان‌های واقع در این محدوده به حداکثر مقدار خود رسیده و تقریباً همه آبخوان‌های منطقه با بیلان منفی، به صورت ممنوعه و ممنوعه بحرانی درآمده است؛ با این حال، این منطقه، بخش مهمی از ذخایر غنی معدنی کشور مانند معادن سنگ آهن و مس را در خود

شیرین‌سازی آب دریا با توجه به فناوری‌های موجود برای تصفیه به‌عنوان گزینه‌ای دارای امکان فنی برای غلبه بر کمیابی منابع آب مطرح است؛ ولی با وجود روند کاهش هزینه‌های آن (ادهام، ۲۰۰۷؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۰۹)، هنوز هزینه تأمین آب به این روش نسبت به منابع آب رایج، بسیار بیشتر است. در حالی که متوسط هزینه عرضه آب متعارف در سطح جهانی، حدود ۰/۲ دلار بر مترمکعب است، هزینه شیرین‌سازی آب دریا در دامنه بین ۰/۵ تا ۰/۸ دلار بر مترمکعب، متغیر است (آبازا، ۲۰۱۲). این امر، راه‌اندازی و بهره‌برداری پایدار از آب‌شیرین‌کن‌ها، به‌ویژه در کشورهای دارای محدودیت‌های مالی و بودجه‌ای را با چالش‌های اقتصادی روبرو می‌کند؛ بنابراین، باید هزینه فرصت عرضه آب به روش شیرین‌سازی آب دریا با منافع حاصل از آن، به‌دقت بررسی شود.

بر این اساس، هدف این پژوهش، امکان‌سنجی اقتصادی و مالی طرح شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس به‌عنوان نمونه‌ای موردی است که هم‌اکنون در سواحل شمالی خلیج فارس در حال اجراست. آب شیرین‌شده حاصل از این طرح، نیاز آبی صنایع معدنی جنوب شرق ایران را تأمین می‌کند که در فاصله‌ای تقریباً طولانی (۳۵۰ تا ۷۵۰ کیلومتر) از سواحل خلیج فارس قرار گرفته است.

پیشینه پژوهش

در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده، جنبه‌های اقتصادی شیرین‌سازی آب دریا فقط با محاسبه هزینه‌های اقتصادی (سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری) و مقایسه هزینه فناوری‌های مختلف شیرین‌سازی (کاراگیانیس و سولداتوس، ۲۰۰۸؛ ریدی و غفور، ۲۰۰۷؛ برنات و همکاران، ۲۰۱۰؛ فریتزمن و همکاران، ۲۰۰۷) یا هزینه‌های زیست‌محیطی (لاترمن و هوپنر، ۲۰۰۸؛ ایدیر، ۲۰۰۹، بلانک و همکاران، ۲۰۰۷؛ نیسان و بنزارتی، ۲۰۰۸) بررسی شده است. تا جایی که بررسی‌های این پژوهش نشان می‌دهد، کمتر مطالعه‌ای وجود دارد که در آن به کمی‌سازی منافع حاصل از شیرین‌سازی آب دریا برای جامعه یا گروهی از بهره‌برداران و مقایسه آن با هزینه‌های شیرین‌سازی آب و هزینه انتقال آن توجه شده باشد. آب‌شیرین‌کن‌ها معمولاً در سواحل احداث می‌شود؛ در حالی که نقاط مصرف آب ممکن است در فواصل بسیار دورتر از محل شیرین‌سازی واقع شده باشد؛ در این

توسعه آسیا^۱، ۱۹۹۹). اگر منافع اقتصادی طرح، بیشتر از هزینه‌های آن باشد، یعنی ارزش مصرف ایجادشده برای جامعه در اثر اجرای طرح، بیشتر از ارزش منابعی است که از سمت سایر کاربردها برای این طرح قربانی شده است. تحلیل اقتصادی طرح معمولاً با محاسبه معیارهایی، از جمله ارزش حال خالص (NPV)، نسبت منفعت به هزینه (BCR) و نرخ بازده داخلی (IRR) انجام می‌شود. به‌طور کلی، ارزیابی اقتصادی یک طرح، شامل دو مرحله اساسی ۱- شناسایی و ارزش‌گذاری منافع و هزینه‌های اقتصادی طرح و ۲- محاسبه جریان تنزیلی منافع و هزینه‌های اقتصادی اجرای طرح و محاسبه شاخص‌های نرخ بازده داخلی اقتصادی (EIRR)^۲، نسبت فایده‌ها به هزینه‌های اقتصادی (B/C)^۳ و ارزش حال خالص منافع اقتصادی (ENPV)^۴ است. روش‌شناسی هر یک از مراحل مذکور برای ارزیابی اقتصادی طرح شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس به صنایع جنوب شرق ایران در ادامه آمده است.

شناسایی و کمی‌سازی منافع و هزینه‌های طرح شیرین‌سازی و انتقال آب منافع طرح

طرح شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس، طرح مولد مستقیمی^۵ است که سالانه، ۱۱۰ میلیون مترمکعب آب را در سواحل شمالی خلیج فارس شیرین می‌کند و برای تأمین نیاز آبی طرح‌های توسعه صنایع معدنی جنوب شرق ایران انتقال می‌دهد؛ بنابراین، تولید طرح فزاینده^۶ است؛ زیرا عرضه آب را برای تأمین نیازهای جدید توسعه می‌دهد. قیمت سایه‌ای تولیدات فزاینده بر مبنای قیمت تقاضا یا تمایل به پرداخت برای استفاده‌کنندگان تعیین می‌شود (بانک توسعه آسیا، ۱۹۹۹). آب در فرایند تولید صنایع معدنی به‌عنوان نهاده واسطه‌ای استفاده می‌شود و تقاضا و ارزش اقتصادی آن از تقاضا برای کالای نهایی و تابع تولید مشتق می‌شود؛ به بیان دیگر، ارزش اقتصادی (تمایل به پرداخت) هر مترمکعب آب برابر با ارزش تولید

جای داده است که بهره‌برداری و توسعه آن، نیازمند وجود حجم زیاد آب است. معادن سنگ آهن گل‌گهر سیرجان با حجمی حدود ۱۰۲۰ میلیون تن (بزرگ‌ترین معدن سنگ آهن خاورمیانه) و معادن مس سرچشمه (از عظیم‌ترین معادن مس در منطقه) نمونه‌هایی از این معادن است. در این منطقه، افزون بر معادن در دست بهره‌برداری، طرح‌های توسعه‌ای عظیم معادن و صنایع فرآوری معدنی (تولید و فرآوری سنگ آهن، کنسانتره، گندله و فولادسازی) در حال انجام‌شدن است. توسعه و بهره‌برداری از این طرح‌ها نیازمند تأمین سالانه بیشتر از ۳۰۰ میلیون مترمکعب آب است که تأمین آن به‌لحاظ کمی و کیفی از بضاعت منابع آب منطقه، خارج است. بر این اساس، در اقدامی مشترک، شرکت‌های معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان، شرکت ملی مس ایران و شرکت صنعتی معدنی چادرمولو، تأمین آب مورد نیاز تأسیسات در حال بهره‌برداری و طرح‌های توسعه‌ای خود را با اجرای طرح نمک‌زدایی، انتقال و توزیع حدود ۱۱۰ میلیون مترمکعب آب در سال از منابع آب خلیج فارس در دستور کار قرار داده‌اند. این شرکت‌ها برای این منظور، «شرکت تأمین و انتقال آب خلیج فارس» را تأسیس کرده‌اند تا این طرح بزرگ ملی را مدیریت و راهبری کند. با توجه به نیاز سالانه به بیشتر از ۳۰۰ میلیون مترمکعب آب برای برنامه‌های توسعه‌ای صنایع مذکور، در فاز اول این طرح، تأمین و انتقال سالانه حدود ۱۱۰ میلیون مترمکعب آب در دستور کار قرار می‌گیرد و بدین ترتیب، واحدهای نمک‌زدایی و سامانه انتقال و پمپاژ آب به صنایع معدنی هدف براساس این ظرفیت، طراحی و ساخته می‌شود. آب لازم پس از آبیگری از آب شور خلیج فارس در ساحل غربی شهر بندرعباس و شیرین‌سازی آن، در مسیری به طول حدود ۷۵۰ کیلومتر به محل‌های مصرف منتقل می‌شود.

روش‌شناسی پژوهش

تحلیل اقتصادی مبتنی بر نظریه رفاه به‌عنوان چارچوبی برای تصمیم‌گیری در انتخاب و اجرای طرح‌های سرمایه‌گذاری به‌طور گسترده پذیرفته شده است (بیرول و همکاران، ۲۰۰۶). در ارزیابی اقتصادی، اثر کلی طرح بر بهبود رفاه اقتصادی کل جامعه با برآورد و مقایسه منافع جمعی طرح در طول زمان اندازه‌گیری می‌شود (بانک

1- Asian development bank

2- Economic Internal Rat of Return (EIRR)

3- Economic Benefits-Cost Ratio

4- Economic Net Present Value (ENPV)

5- Directly productive

6- Incremental

$$\begin{aligned}
 Y_{it} &= \alpha_0 + \sum_{k=1}^n \beta_k X_{kit} \\
 &+ \sum_{k=1}^n \delta_{kk} X_{kit}^2 \\
 &+ \sum_{k=1}^n \sum_{k=1}^n \gamma_{kk} X_{kit} X_{itk} \\
 &+ \sum_{i=1}^I Q_i P_i + e_{it}
 \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن، اندیس‌های i ، t و k به ترتیب، نشان‌دهنده مقاطع (استان‌ها)، زمان و متغیر مستقل است. Y_{it} ارزش ناخالص تولید فعالیت صنعت استان i ام در سال t ، X_{kit} نشان‌دهنده متغیر مستقل (نهاد تولید) k ام در زمان t در استان i ام ($k = L, E, M, K, W$)، D_i متغیر موهومی (اثرات ثابت) مربوط به استان i ام، $a_0, b_k, d_{kk}, g_{kk}, j_i$ متغیرهای نامعلوم الگوست که باید تخمین زده شود و v_{it} جملات اخلاقی است که به‌طور مستقل از یکدیگر توزیع شده است. مادامی که فرض عدم همبستگی جمله اخلاقی با متغیرهای مستقل الگو ($Cov(x_{kit}, e_{it}) = 0$) برقرار باشد، تخمین متغیرهای الگو را به روش حداقل مربعات معمولی متغیرهای موهومی 2 (LSDV) به‌طور نارایب می‌توان برآورد کرد. پس از برآورد ضرایب تابع تولید برای هر یک صنایع، ارزش نهایی آب در تولید صنعت با مشتق‌گیری از آن نسبت به نهاده آب ($\frac{\partial Y_{it}}{\partial W_{it}}$) به دست می‌آید. ارزش تولید نهایی آب ارزیابی‌شده در متوسط مقادیر نهاده‌های تولید، ارزش تولیدی (ارزش اقتصادی) را نشان می‌دهد که به‌ازای هر مترمکعب عرضه بیشتر آب در آن صنعت ایجاد می‌شود. کل منافع ناخالص سالانه حاصل از طرح شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس، از حاصل ضرب متوسط وزنی ارزش تولید نهایی آب در صنایع مصرف‌کننده آب در کل مقدار آب انتقال‌یافته توسط طرح به صنایع مد نظر است.

هزینه‌های طرح

به‌طور کلی، این طرح، ۲ جزء اصلی دارد: ۱- سامانه آبیگری از خلیج فارس و واحد نمک‌زدایی (با ظرفیت ۳۴۵

نهایی) 1 (VMP) است که به‌ازای هر واحد مصرف اضافی آن حاصل می‌شود (هارو و همکاران، ۲۰۰۹). ساختار تقاضا و ارزش اقتصادی آب در بخش صنعت به‌علت وجود برخی ویژگی‌ها درباره آب مصرفی در این بخش (کیفیت آب مصرفی، تصفیه، بازیافت آب) کمتر بررسی شده است؛ با این حال، در برخی مطالعات با روش‌های مختلف اقتصادسنجی تابع تولید (وانگ و لال، ۱۹۹۹؛ نهمان و دیلانگ، ۲۰۱۳)، تابع هزینه مقید (هالوورسن و اسمیت، ۱۹۸۴ و ۱۹۸۶؛ رنرتی، ۱۹۸۸، ۱۹۹۲؛ داپونت و رنرتی، ۲۰۰۱؛ فرس و رینوواد، ۲۰۰۳؛ رنرتی و داپونت، ۲۰۰۴). الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی (گیبونز، ۱۹۸۶) یا با محاسبه نسبت ارزش تولید به مقدار آب intake (مؤدی، ۱۹۹۷)، ارزش اقتصادی آب را در بخش صنعت برآورد کرده‌اند.

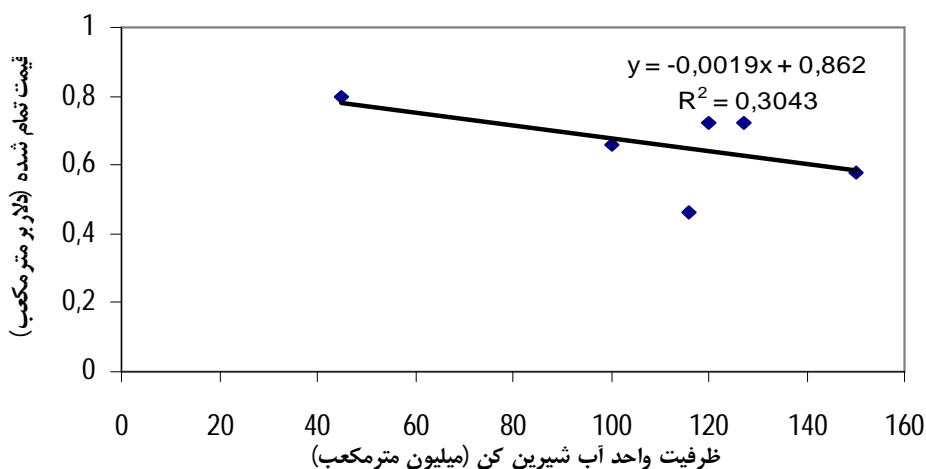
در این پژوهش، ارزش اقتصادی آب در صنایع معدنی به روش تولید نهایی برآورد شده است که وانگ و لال (۱۹۹۹، ۲۰۰۲) و نهمان و دیلانگ (۲۰۱۳) آن را توسعه دادند؛ برای این منظور، طبقاتی از فعالیت‌های صنعتی (بر مبنای سیستم طبقه‌بندی فعالیت‌های اقتصادی) مشخص شد که بیشترین همخوانی را با فعالیت‌های مد نظر در طرح‌های توسعه صنایع معدنی مصرف‌کننده آب تولیدی طرح داشت؛ بر این اساس، دو گروه از صنایع اساسی آهن و فولاد و محصولات اساسی مس، به ترتیب با کدهای ISIC ۲۷۱۰ و ۲۷۲۱ انتخاب و تابع تولید آنها برآورد شده است. داده‌های مورد استفاده برای برآورد تابع تولید، شامل مقدار مصرف نهاده‌های تولید نیروی کار (L)، انرژی (E)، مواد اولیه (M)، سرمایه (K)، آب مصرفی (W) و ارزش ناخالص تولید (Y) است. مرکز آمار ایران (۱۳۹۲)، هر ساله داده‌های مربوط به میزان مصرف نهاده‌ها و ارزش ناخالص تولید کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر را در سطح جمعی شده (استانی) برحسب کدهای ISIC منتشر می‌کند. با توجه به طول دوره زمانی کوتاه داده‌ها، از روش اقتصادسنجی داده‌های پانل استفاده شده است که در آن، استان‌ها به‌عنوان مقاطع در نظر گرفته شده‌اند. تابع تولید درجه دوم برای هر یک از دو گروه فعالیت‌های صنعتی آهن و فولاد و محصولات اساسی مس به‌صورت ذیل تصریح شده است:

2- Least square dummy variables

1- Value Marginal Product (VMP)

استفاده (به‌عنوان خوراک)، کیفیت آب تولیدشده، ظرفیت شیرین‌سازی واحد، موقعیت مکانی و جغرافیایی، نوع و میزان مصرف انرژی و دسترسی به انرژی (بلنک و همکاران، ۲۰۰۷ و ردی و غفور، ۲۰۰۷) است. با چشم‌پوشی از تفاوت‌های اندک در برخی از این عوامل (برای مثال، کیفیت آب خام، نوع، میزان مصرف انرژی، دسترسی به انرژی) بین طرح مورد مطالعه با سایر طرح‌های اجراشده در منطقه خلیج فارس، هزینه نمک‌زدایی آب دریا در منطقه خلیج فارس به‌عنوان تابعی از ظرفیت واحد نمک‌زدایی به‌صورت شکل ۲ برآورد شده است.

میلیون لیتر در روز) و ۲- سامانه انتقال آب از خروجی واحد نمک‌زدایی تا نقاط مصرف؛ بنابراین، هزینه هر مترمکعب آب در هر یک از محل‌های مصرف (صنایع معدنی) برابر با مجموع هزینه متوسط شیرین‌سازی و هزینه انتقال آب است. با توجه به اینکه طراحی فنی سامانه آبگیری و تأسیسات نمک‌زدایی طرح تاکنون تمام نشده است، برآورد اجزای هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری آن امکان‌پذیر نبود؛ بنابراین، متوسط هزینه نمک‌زدایی برای این طرح براساس هزینه تمام‌شده شیرین‌سازی آب در طرح‌های مشابه اجراشده در منطقه خلیج فارس برآورد شده است. هزینه نمک‌زدایی، تابعی از عوامل مختلف، از جمله ویژگی آب خام مورد



نمودار ۲- رابطه قیمت تمام‌شده تولید آب شیرین از آب دریا و ظرفیت واحد آب شیرین‌کن

لوله، شیرآلات و اتصالات، عملیات اجرایی خط انتقال و تأسیسات وابسته، عملیات ساختمانی و ابنیه ایستگاه‌های پمپاژ و مخزن‌ها، تأمین تجهیزات، پمپ‌ها و موتورها و سایر تجهیزات مکانیکی و برق، عملیات کارهای مکانیکی و برقی و نصب و آزمایش و راه‌اندازی ایستگاه‌های پمپاژ، تأمین تجهیزات و عملیات اجرای خطوط انتقال برق و احداث پست‌های فشار قوی و هزینه استملاک اراضی است. کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری طرح، حدود ۲۶۰۳۵ میلیارد برآورد شده است (جدول ۱) که براساس زمان‌بندی برنامه اجرایی طرح در دوره ۴ ساله ساخت طرح (۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶) هزینه می‌شود.

براساس این رابطه، با توجه به ظرفیت سالانه ۱۱۰ میلیون مترمکعبی آب در طرح شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس، هزینه متوسط هر مترمکعب شیرین‌سازی آب در محل واحد نمک‌زدایی، حدود ۰/۵۲ دلار پیش‌بینی شده است. با احتساب نرخ ارز سابه‌ای (دلار آمریکا به ریال ایران) معادل ۳۰۰۰۰ ریال در سال ۱۳۹۲، قیمت هر مترمکعب آب شیرین‌شده آماده تحویل به خط انتقال، حدود ۱۸۷۲۰ ریال برآورد شده است.

هزینه‌های سرمایه‌گذاری خط انتقال

هزینه‌های سرمایه‌گذاری مورد نیاز خط انتقال آب از محل واحد نمک‌زدایی تا نقاط مصرف، شامل هزینه‌های عملیات بازگشایی مسیر خط انتقال و جاده سرویس، تهیه و تأمین

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری خط انتقال

این بخش شامل هزینه‌هایی است که هر ساله در طول دوره بهره‌برداری از طرح برای راهبری، بهره‌برداری و نگهداری از خط انتقال، ایستگاه‌های پمپاژ و حفاظت از تأسیسات انجام می‌شود. هزینه‌های جاری به سه بخش عمده هزینه‌های انرژی مصرفی (بهره‌برداری)، هزینه‌های راهبری و نگهداری و خرید و تعویض قطعات تقسیم می‌شود. در ایران، انرژی برق مصرفی فعالیت‌های صنعتی را به‌طور عمده، دولت و با قیمت‌های یارانه‌ای، که بسیار کمتر از هزینه تمام‌شده آن است، عرضه می‌کند. برق مصرفی در طرح خط انتقال آب خلیج فارس، نهاده‌ای غیرفزاینده است؛ بنابراین، قیمت اقتصادی برق براساس

قیمت عرضه (هزینه تولید) آن در محاسبات وارد شده است. در قانون برنامه چهارم توسعه اقتصادی ایران، هزینه اقتصادی تولید هر کیلووات ساعت برق در سال ۱۳۸۸، حدود ۸۳۲ ریال بود که با تعدیل و بهنگام‌سازی آن با شاخص قیمت آب، برق و مسکن (بانک مرکزی ایران، ۱۳۹۲)، قیمت اقتصادی برق برای سال ۱۳۹۲، حدود ۱۴۰۰ ریال بر کیلووات ساعت برآورد شده است. قیمت اقتصادی نیروی کار براساس قیمت عرضه آن تعیین می‌شود (بانک توسعه آسیا، ۱۹۹۹). برای نیروی کار ماهر، که معمولاً عرضه آنها در کشورهای در حال توسعه کم است، قیمت بازاری آن، متناظر با قیمت اقتصادی آن است؛ همانگونه که در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات طرح و هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری آن

	کل خط انتقال	فاز ۳	فاز ۲	فاز ۱
طول خط انتقال (کیلومتر)	۷۵۵	۳۴۰	۱۳۵	۲۸۰
تعداد ایستگاه پمپاژ	۱۳	۲	۴	۷
مقدار آب انتقالی در سال (MCM)	-	۴۰	۷۰	۱۱۰
برق مصرفی در سال (گیگاوات ساعت)	۱۴۷۵	۱۰۰	۳۷۵	۱۰۰۰
خرید لوله و تجهیزات طرح	۱۸۵۱۴	۳۹۰۰	۴۳۰۰	۱۰۳۱۴
عملیات اجرایی	۶۲۹۷	۱۶۰۰	۱۵۰۰	۳۱۹۷
هزینه‌های سرمایه‌گذاری (میلیارد ریال)	۴۱۶	۱۱۵	۱۱۵	۱۸۶
خدمات فنی و مهندسی	۱۱۴	۵۱	۲۰	۴۳
استملاک اراضی	۲۵۳۴۱	۵۶۶۶	۵۹۳۵	۱۳۷۴۰
جمع هزینه‌های سرمایه‌گذاری	۲۰۶۵	۱۴۰	۵۲۵	۱۴۰۰
هزینه انرژی	۲۱۵	۴۰	۶۵	۱۱۰
هزینه نیروی انسانی راهبری و نگهداری	۴۰	۱۰	۱۰	۲۰
هزینه بهره‌برداری و نگهداری (میلیارد ریال)	۲۳۲۰	۱۹۰	۶۰۰	۱۵۳۰
هزینه خرید و تعویض قطعات				
جمع هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری				

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سالانه خط انتقال در مجموع، حدود ۲۳۲۰ میلیارد ریال است که سهم عمده آن (۸۹ درصد) مربوط به انرژی است.

چارچوب تحلیل هزینه منفعت

مقایسه منافع ناخالص با هزینه‌های طرح، معمولاً قلب یک تحلیل اقتصادی طرح را تشکیل می‌دهد. هدف از این مقایسه، پاسخ به این پرسش است که آیا اجرای طرح مد نظر با توجه به منافع و هزینه‌های شناسایی شده برای آن در مجموع، به افزایش رفاه جامعه منجر می‌شود یا خیر؛ به بیان دیگر، آیا منافع اقتصادی ناشی از اجرای طرح

شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس به قدری است که علاوه بر هزینه‌های شیرین‌سازی آب دریا، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری انتقال آب به صنایع معدنی واقع شده در فواصل دوردست نسبت به محل آب‌شیرین‌کن را پوشش دهد؟

ارزش حال خالص اقتصادی (ENPV)

تحلیل منفعت- هزینه استاندارد (CBA)، ارزش حال خالص (ENPV) جریان هزینه‌ها و منافع طرح را در طول زمان براساس رابطه اساسی ذیل محاسبه می‌کند (دولی و فارلی، ۲۰۰۴):

نتایج تجربی پژوهش ارزش اقتصادی آب

ارزش اقتصادی آب تولیدی طرح به روش برآورد تابع تولید برآورد شده است؛ برای این منظور، برای هر دو گروه از صنایع مصرف‌کننده آب (محصولات اساسی آهن و فولاد و محصولات اساسی مس) چهار فرم تابعی خطی، درجه دوم، کاب-داگلاس و ترانسلوگ برآورد و با استفاده از معیارهای رایج انتخاب مدل و آزمون‌های F و J ، فرم مناسب تابعی انتخاب شد. نتایج آزمون‌ها نشان داد تابع تولید درجه دوم برای هر دو صنعت آهن و فولاد، و مس، عملکرد بهتری نسبت به سایر توابع دارد. در جدول ۲، ضرایب تابع تولید برآورد شده برای این دو گروه از صنایع مصرف‌کننده آب تولیدی طرح گزارش شده است.

بالا بودن آماره R^2 برای هر دو الگو نشان داد متغیرهای توضیحی، تغییرات متغیر وابسته را به خوبی توضیح می‌دهد. همچنین، آماره دوربین-واتسون (DW) نشان داد اجزای اخلال الگوهای برآوردی، خودهمبستگی سریالی ندارد. ضرایب بیشتر متغیرها معنی‌دار بوده و نشانه‌ها مطابق نظریه است؛ بنابراین، کاربرد نتایج در تعیین ارزش اقتصادی آب قابل اعتماد است.

متغیر وابسته در این الگوها، به صورت ارزش تولید (به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳) تصریح شده است و با مشتق‌گیری مستقیم از آنها نسبت به نهاده آب، ارزش تولید نهایی آب (ارزش اقتصادی هر مترمکعب) براساس قیمت ثابت (سال پایه ۱۳۸۳) به دست می‌آید. برای تبدیل این ارزش به قیمت سال پایه مطالعات (سال ۱۳۹۲)، از شاخص قیمت محصولات اساسی فلزی استفاده شد. ارزش تولید نهایی آب، نشان‌دهنده ارزش تولیدی است که به ازای هر واحد مصرف اضافی آب حاصل می‌شود و بیشترین تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان را برای هر واحد (مترمکعب) از نهاده آب نشان می‌دهد. براساس نتایج توابع تولید (جدول ۲)، ارزش تولید نهایی (ارزش اقتصادی) هر مترمکعب آب برای گروه محصولات اساسی فولاد و آهن، معادل ۱۰۷/۳ هزار ریال و برای گروه محصولات اساسی مس، معادل ۱۳۵/۰۳ هزار ریال برآورد می‌شود.

$$ENPV = \sum_{t=0}^T (Benefits_t - Costs_t) \left(\frac{1}{1+r}\right)^t \quad (2)$$

که در آن، r نشان‌دهنده نرخ تنزیل بین زمانی و n نشان‌دهنده سال است. اگر برای یک طرح $ENPV \geq 0$ باشد، اجرای آن از دیدگاه اقتصادی، توجیه‌پذیر (Viable) است؛ در مقابل، منفی شدن ارزش حال خالص، فزونی هزینه‌ها را بر منافع طرح نشان می‌دهد و سرمایه‌گذاری بر آن رد می‌شود (ورلیچی و همکاران، ۲۰۱۲؛ میلی‌نوس-سناته و همکاران، ۲۰۱۰).

نسبت منفعت به هزینه اقتصادی (EBCR)

این معیار به صورت ارزش حال منافع طرح تقسیم بر ارزش حال هزینه‌های طرح تعریف می‌شود. اجرای طرح از دیدگاه اقتصادی، توجیه‌پذیر است؛ اگر $EBCR \geq 1$ باشد.

$$EBCR = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{Benefits_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{Costs_t}{(1+r)^t}} \quad (3)$$

نرخ بازده داخلی اقتصادی (EIRR)

نرخ بازده داخلی، نرخ است که در آن، ارزش حال کل منافع طرح با ارزش حال کل هزینه‌های طرح در طول زمان مساوی باشد (ورلیچی و همکاران، ۲۰۱۲). براساس این معیار، طرح مد نظر به لحاظ اقتصادی، توجیه‌پذیر است؛ چنانچه نرخ بازده داخلی اقتصادی آن از هزینه فرصت اقتصادی سرمایه در کشور بیشتر باشد ($EIRR \geq r$). روش‌های مختلفی برای برآورد هزینه فرصت سرمایه (نرخ تنزیل) در اقتصاد وجود دارد؛ با این حال، برآورد آن معمولاً کار آسانی نیست؛ بنابراین، در اینجا از نرخ تنزیل ۷ درصد به عنوان هزینه فرصت سرمایه برای محاسبه ارزش حال جریان منافع و هزینه‌های طرح استفاده شده است. این نرخ معمولاً به عنوان نرخ تنزیل پایه در ارزیابی اقتصادی طرح‌های توسعه منابع آب در ایران استفاده می‌شود.

جدول ۲- نتایج برآورد توابع تولید محصولات اساسی آهن و فولاد و مس

تابع تولید				شرح متغیر
محصولات اساسی مس		محصولات اساسی آهن و فولاد		
ضریب	آماره t	ضریب	آماره t	
۰/۸۵	۱۹/۸۶*	۲۴/۸۱*	۱۲۰/۱/۳	ماده خام اولیه
۴۳۸/۹۷	۲۲/۵۹*	-	-	آب مصرفی
-	-	۳/۵۴*	۸۰۷/۹۵	برق مصرفی
-	-	۳/۱۲*	۱۸۰۶/۸	سوخت مصرفی نوع ۱ (نفت سفید، گازوئیل)
۱/۱۴۷	۱۲/۱۵*	۱/۲۱	-۰/۲۰۱	توان دوم آب
۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۸	۵/۸۵*	۹/۳۷*	۰/۰۰۰۲۳	توان دوم مواد خام اولیه
-۰/۰۵۶	-۱۴/۷۳*	۳/۲۱*	۰/۰۰۰۶۹	توان دوم سوخت مصرفی نوع ۱
-	-	۹/۰۵*	۴/۵۱	توان دوم سوخت مصرفی نوع ۲
-	-	۵/۷۴*	۰/۰۰۲۱	توان دوم برق مصرفی
-۰/۰۰۱۴	-۳۷/۵۷*	۴/۹۷*	۰/۰۴۴	ماده اولیه X آب مصرفی
-	-	۹/۱۶*	-۰/۰۰۱۶	ماده اولیه X برق مصرفی
۰/۰۰۰۰۸۶	۱۰/۳*	۰/۸۲	۰/۰۰۰۱۲	ماده اولیه X سوخت مصرفی نوع ۱
۰/۰۰۰۰۷۶	۱۳/۵۷*	-۰/۰۴۰*	-۰/۰۷۱	ماده اولیه X سوخت مصرفی نوع ۲
-	-	۵/۶۴*	۱۶/۰۱	آب مصرفی X نیروی کار
-	-	-۵/۱۴*	-۰/۱۹۲	آب مصرفی X برق مصرفی
-	-	-۲/۸*	-۲/۸۵	آب مصرفی X سوخت نوع ۲
-	-	۷/۴۸*	۰/۲۲	نیروی کار X برق مصرفی
-	-	-۸/۲۰*	-۰/۹۹	نیروی کار X سوخت نوع ۱
-	-	-۴/۸۶*	-۱۶/۷	نیروی کار X سوخت نوع ۲
-	-	۴/۰۲*	۰/۰۰۱۳	برق مصرفی X سوخت نوع ۱
-۰/۰۴۹	-۲۳/۹۳*	۸/۱۶*	۰/۳۱	برق مصرفی X سوخت نوع ۲
۰/۰۵۶	۲۴/۲۸*	۵/۹۱*	-۰/۱۱	سوخت نوع ۱ X سوخت نوع ۲
۸۵۵۶۳	۳/۳۷**	۱۱/۱۶*	۱۹۵۱۸۰۰۰۰۰۰	متغیر مجازی d1
۷۰۲۹۹	۴/۲۱**	۲/۰۵**	۱۱۲۴۹۰۰۰۰	متغیر مجازی d2
-	-	۲/۳۷**	۱۵۲۲۲۰۰۰۰	متغیر مجازی d3
-	-	۵/۸۹*	۸۱۸۴۲۰۰۰۰	متغیر مجازی d4
۰/۹۷		۰/۹۹		ضریب تعیین رگرسیون (R ²)
۱/۷۷		۱/۹۸		آماره دوربین - واتسون

* و ** به ترتیب، نشان دهنده معنی داری متغیرها در سطح ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱۰ است.

کل منافع ناخالص اقتصادی سالانه طرح

منفعت ناخالص اقتصادی (سالانه) ناشی از تأمین آب برای هر یک از صنایع، برابر حاصل ضرب ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب در مقدار آبی است که سالانه از تولید طرح به آنها داده می‌شود. در جدول ۳، مقدار آب تخصیصی طرح به هر یک از صنایع و منفعت ناخالص اقتصادی سالانه آن گزارش شد.

کل منافع ناخالص سالانه طرح، که برابر حاصل جمع منافع ناخالص سالانه مصارف مختلف است، حدود ۱۲۶۳۴/۹ میلیارد ریال در سال برآورد شد. متوسط وزنی ارزش

اقتصادی هر مترمکعب آب شیرین‌سازی و منتقل شده توسط طرح، حدود ۱۱۷/۴ هزار ریال است.

هزینه‌های اقتصادی طرح برای نمک‌زدایی و انتقال آب

هزینه اقتصادی تأمین آب، معادل با هزینه واقعی منابعی است که در اثر اجرای طرح مصرف می‌شود. در این طرح، هزینه تمام‌شده هر مترمکعب آب در نقاط مصرف، حاصل جمع هزینه شیرین‌سازی هر مترمکعب آب (۱۸۷۲۰ ریال) با هزینه انتقال آن تا محل هر یک از این

عامل بازگشت سرمایه در مقدار هزینه‌های سرمایه‌گذاری به‌صورت ذیل به دست آمده است.

$$A = \frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \times A \quad (4)$$

در جدول ۴، نتایج برآورد هزینه اقتصادی شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس به صنایع معدنی مصرف‌کننده آب گزارش شد.

صنایع است. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری طرح، ماهیت سالانه دارد و در عوض، هزینه‌های سرمایه‌گذاری فقط در دوره ساخت طرح و برای یک‌بار در طول عمر آن انجام می‌شود؛ بنابراین، باید برای محاسبه کل هزینه سالانه طرح، معادل سالانه هزینه‌های سرمایه‌گذاری محاسبه و با هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری جمع شود. معادل سالانه هزینه‌های سرمایه‌گذاری از حاصل ضرب

جدول ۳- برآورد کل منافع اقتصادی ناخالص سالانه حاصل از طرح تأمین و انتقال آب خلیج فارس

ردیف	مصارف	میزان تخصیص آب (میلیون مترمکعب)	منافع ناخالص آب	
			به‌ازای هر مترمکعب (هزار ریال)	کل منافع سالانه (میلیارد ریال)
۱	شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر	۴۰	۱۰۷/۳	۴۲۹۲
۲	مجتمع مس سرچشمه	۳۰	۱۳۵/۰۳	۴۰۵۰/۹
۳	شرکت معدنی - صنعتی چادرمولو و فولادسازی یزد	۲۵	۱۰۷/۳	۲۶۸۲/۵
۴	سایر مصارف	۱۵	۱۰۷/۳	۱۶۰۹/۵
	متوسط/ جمع کل	۱۱۰	۱۱۷/۴	۱۲۶۳۴/۹

جدول ۴- هزینه اقتصادی شیرین‌سازی و انتقال آب به محل‌های مصرف

محل مصرف	طول خط انتقال (km)	مقدار آب انتقال‌یافته (mcm)	کل هزینه‌های سالانه انتقال آب (میلیارد ریال)	هزینه متوسط (مترمکعب/ریال)	
				حظ	ظ
صنایع معدنی گل‌گهر	۳۰۰	۱۱۰	۲۶۱۲	۲۳۷۴۵	۴۲۴۴۵
صنایع معدنی مس سرچشمه	۱۵۰	۷۰	۱۰۶۳	۳۸۹۳۲	۵۷۶۳۲
صنایع معدنی چادرمولو	۵۱۰	۴۰	۵۴۸	۵۲۶۲۶	۷۱۳۲۶
متوسط/کل	۹۶۰	۱۱۰	۴۲۲۳	۳۸۳۸۹	۵۷۰۸۹

ارزش خالص و سایر معیارهای اقتصادی طرح

منفعت یا آثار خالص طرح، منعکس‌کننده جمع تغییرات در درآمد خالص کل جامعه است که از تفاوت درآمد سالانه طرح با هزینه‌های سالانه آن در طول دوره اجرا و بهره‌برداری به دست می‌آید. دوره ساخت طرح شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس براساس برنامه زمان‌بندی اجرای طرح، ۴ سال پیش‌بینی شده است. در این دوره، تولید و درآمد ناخالص طرح، صفر بود؛ بنابراین،

منافع خالص آن، مقادیر منفی (برابر با هزینه‌های سرمایه‌گذاری) است. در سال ۱۳۹۷، دوره بهره‌برداری از طرح شروع می‌شود. درآمد خالص طرح در دوره بهره‌برداری براساس برآورد منافع ناخالص و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری طرح، سالانه حدود ۸۲۵۵/۷ میلیارد ریال به قیمت‌های ثابت سال ۱۳۹۲ برآورد شده است. جدول ۵، گردش نقدی اقتصادی طرح را نشان می‌دهد.

جدول ۵- منافع و هزینه‌های تنزیلی طرح و معیارهای ارزیابی اقتصادی آن

سال	منفعت (Benefits)	هزینه (Costs)	$(Benefits_t - costs_t)$ $(1+r)^t$
۱	۰	۵۲۸۵	-۵۲۸۵/۵
۲	۰	۱۰۳۸۵	-۹۶۸۶/۹
۳	۰	۸۰۱۸	-۷۰۱۲/۰
۴	۰	۱۶۶	-۱۳۶۰/۰
۵	۱۲۶۳۴/۹	۴۱۷۹	۵۲۹۸/۲
۶	۱۲۶۳۴/۹	۴۱۷۹	۵۸۸۶/۲
۷	۱۲۶۳۴/۹	۴۱۷۹	۵۵۰۱/۱
۸	۱۲۶۳۴/۹	۴۱۷۹	۵۱۴۲/۲
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
۱۹	۱۲۶۳۴/۹	۸۲۸۱	۱۲۸۸/۱
۲۰	۱۲۶۳۴/۹	۴۱۷۹	۲۲۸۲/۸
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
۳۴	۱۲۶۳۴/۹	۴۱۷۹	۸۸۵/۳
	۵۹۱۲۷/۲	<i>NPV</i>	
	۱/۸۶	<i>B/C</i>	

آب خلیج فارس برای تأمین آب مورد نیاز صنایع معدنی کشور، توجیه اقتصادی دارد. نرخ بازده داخلی اقتصادی و ارزش حال خالص اقتصادی گزارش شده در جدول ۵، با استفاده از ارزش‌های دارای بیشترین احتمال برای متغیرهای دخیل در جریان منافع و هزینه‌های طرح محاسبه شده است. پیش‌بینی ارزش‌های آتی، معمولاً دشوار است و همواره، مقداری نااطمینانی درباره نتایج طرح وجود دارد؛ بنابراین، آثار ارزش‌های مختلف متغیرهای اصلی بر معیارهای اقتصادی باید با استفاده از تکنیک تحلیل حساسیت بررسی شود. در اینجا، تحلیل حساسیت نتایج نسبت به دو متغیر نرخ تنزیل واقعی و هزینه شیرین‌سازی آب دریا انجام شد که عدم اطمینان بیشتری دارد. جدول ۶ نشان می‌دهد معیارهای اقتصادی طرح چگونه تحت سناریوهای مختلف از این دو متغیر نسبت به حالت پایه تغییر می‌کند.

با فرض اینکه نرخ تنزیل واقعی، برابر با ۰/۰۷ و دوره بهره‌برداری از طرح، معادل ۳۰ سال باشد، ارزش حال خالص طرح شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس برای صنایع معدنی، برابر با ۵۹۱۲۷/۲ میلیارد ریال و نرخ بازده داخلی و نسبت منفعت به هزینه طرح، به ترتیب برابر با ۱/۸۶ و ۲۲/۳۴ درصد است. مقدار ارزش حال خالص طرح نشان داد منافع حاصل از تأمین آب برای صنایع معدنی جنوب شرق کشور با شیرین‌سازی و انتقال آب از خلیج فارس، علاوه بر اینکه کلیه هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری و هزینه فرصت پول را جبران می‌کند، در طول دوره ۳۰ ساله بهره‌برداری در مجموع، ۵۹۱۲۷/۲ میلیارد ریال به رفاه اقتصادی جامعه می‌افزاید. نرخ بازده داخلی طرح، ۲۲/۳ درصد به دست آمد که به‌طور معنی‌داری از نرخ تنزیل پایه (۰/۰۷) بزرگ‌تر است؛ بنابراین، اجرای طرح شیرین‌سازی و انتقال

جدول ۶- نتایج تحلیل حساسیت طرح نسبت به تغییر در هزینه شیرین‌سازی آب دریا و نرخ تنزیل واقعی

معیارهای اقتصادی			سناریو	متغیر
نرخ بازده داخلی	نسبت منفعت به هزینه	ارزش حال خالص		
	۱/۸۶	۵۹۱۲۷/۲	حالت- پایه (۷٪)	
	۱/۶۵	۳۵۱۷۵/۳	۱۰٪	
	۱/۵۲	۲۴۷۰۱/۲	۱۲٪	نرخ تنزیل
۲۲/۳٪	۱/۳۴	۱۳۸۶۲/۳	۱۵٪	
	۱/۱۰	۳۱۷۸/۸	۲۰٪	
۲۲/۳٪	۱/۸۶	۵۹۱۲۷/۲	حالت- پایه (۱۸۷۰۰ ریال در مترمکعب)	
۲۱/۹٪	۱/۸۰	۵۷۰۴۱/۳	+۱۰٪	هزینه نمک‌زدایی
۲۱/۵٪	۱/۷۵	۵۴۹۵۵/۵	+۲۰٪	(درصد تغییر)
۲۱/۰٪	۱/۷۰	۵۲۸۶۹/۶	۳۰٪	
۲۰/۱٪	۱/۶۱	۴۸۶۹۷/۹	۵۰٪	

اقتصادی، کارا باشد. ناپایداری مالی طرح به تحقق نیافتن منافع اقتصادی آن منجر می‌شود (بانک توسعه آسیا، ۱۹۹۹). در واقع، باید در تحلیل اقتصادی جامع به این پرسش‌ها پاسخ داده شود که آیا هزینه‌های مالی طرح از منتفع‌شوندگان آن پوشش داده می‌شود و آیا برای مشارکت‌کنندگان در اجرای طرح، انگیزه مالی وجود دارد. آزمون پایه برای ارزیابی پایداری مالی طرح این است که آیا نرخ بازده مالی طرح برای مشارکت‌کنندگان، بیشتر از هزینه فرصت سرمایه مشارکت‌کنندگان است. طرح شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس را بخش خصوصی اجرا می‌کند که ۱۵ درصد سرمایه مورد نیاز سرمایه‌گذاری از محل آورده سرمایه‌گذار و ۸۵ درصد به روش BOO تأمین مالی شده است. براساس توافق سرمایه‌گذار خصوصی و صنایع متقاضی آب، قیمت (مالی) فروش هر مترمکعب آب شیرین‌سازی شده در محل صنایع براساس هزینه تمام‌شده (مالی) هر دو جزء شیرین‌سازی و انتقال هر مترمکعب آب به همراه ۳۰ درصد حاشیه سود تعیین می‌شود. بر این اساس، درآمد مالی طرح از مجموع حاصل ضرب قیمت فروش هر مترمکعب آب در مقدار آب تخصیص یافته به صنایع مختلف محاسبه شده است. روش محاسبه هزینه تمام‌شده مالی هر مترمکعب آب، مشابه هزینه اقتصادی تأمین آب است؛ با این تفاوت که در اینجا برای برآورد هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری طرح به جای استفاده از قیمت‌های اقتصادی نهاده‌های استفاده

ملاحظه می‌شود، با افزایش نرخ تنزیل و افزایش هزینه‌های شیرین‌سازی آب دریا، ارزش حال خالص و نسبت منفعت به هزینه کاهش می‌یابد؛ اما همچنان اجرای طرح، توجیه پذیر است. چنانچه هزینه‌های شیرین‌سازی آب دریا ۱۰ درصد نسبت به حالت پایه (۱۸۷۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب) افزایش یابد، نرخ بازده داخلی طرح فقط با ۰/۴ درصد کاهش از ۲۲/۳ درصد به ۲۱/۹ درصد می‌رسد. حتی تحت سناریوی ۵۰ درصدی افزایش در هزینه نمک‌زدایی آب دریا، اجرای طرح، توجیه مناسب اقتصادی دارد.

پایداری مالی

امکان‌پذیری اقتصادی طرح به پایداری آثار آن وابسته است؛ بنابراین، ارزیابی اقتصادی طرح باید دربردارنده تحلیلی از پایداری مالی طرح از دیدگاه ذی‌نفعان نیز باشد. تحلیل مالی طرح به لحاظ فرم، مشابه تحلیل اقتصادی است؛ هر دو منافع سرمایه‌گذاری را ارزیابی می‌کند. با وجود این، مفهوم سود مالی، مشابه سود اقتصادی نیست. همانگونه که گفته شد، در تحلیل اقتصادی، آثار طرح بر اقتصاد ملی یا رفاه جامعه اندازه‌گیری می‌شود؛ در حالی که در تحلیل مالی، سود طرح برای نهاد بهره‌بردار یا مشارکت‌کنندگان طرح تخمین زده می‌شود (بانک توسعه آسیا، ۱۹۹۹). برای اینکه طرحی به لحاظ اقتصادی، Viable باشد، باید به لحاظ مالی، پایدار و از دیدگاه

برآورد هزینه تمام‌شده اقتصادی هر مترمکعب آب نیز آمده است. در جدول ۷، هزینه و درآمد سرمایه‌گذار و معیارهای مالی طرح نشان داده شده است.

شده در طرح (مثل برق) از قیمت‌های بازاری آنها استفاده شد. همچنین، برخلاف تحلیل اقتصادی در اینجا، هزینه‌های تأمین مالی سرمایه (نرخ بهره سرمایه) در

جدول ۷- معیارهای پایداری مالی طرح نمک‌زدایی و انتقال آب خلیج فارس

Items	Unit	
۴۲۰۴۱	(ریال بر مترمکعب)	متوسط هزینه مالی شیرین‌سازی و انتقال آب در کل طرح
۵۴۶۵۳	(ریال بر مترمکعب)	متوسط قیمت فروش آب به صنایع
۶۰۱۲	میلیارد ریال	کل درآمد سالانه سرمایه‌گذار از فروش آب
۳۳/۲	درصد	نرخ بازده مالی آورده سرمایه‌گذار EIRR
۸۴۸۲۰	میلیارد ریال	ارزش حال خالص برای آورده سرمایه‌گذار ENPV
۳۰/۹	درصد	نرخ بازده مالی طرح FIRR
۹۱۰۰۰	میلیارد ریال	کل ارزش حال خالص مالی طرح FNPV
۶ سال پس از شروع بهره‌برداری	سال	دوره بازگشت سرمایه PP

است در فواصل بسیار دور از محل نمک‌زدایی واقع شده باشد. در این صورت، ممکن است هزینه‌های انتقال آب بسیار زیاد باشد؛ به‌گونه‌ای که تصمیم‌گیری درباره گزینه شیرین‌سازی را با تردید مواجه کند. نتایج مطالعه نشان داد منافع اقتصادی ناشی از تأمین آب برای صنایع معدنی، علاوه بر پوشش هزینه‌های کامل اقتصادی شیرین‌سازی و هزینه زیاد انتقال آب (به فاصله ۹۶۰ کیلومتر)، مازاد خالص اقتصادی نیز برای جامعه ایجاد می‌کند. نتایج تحلیل مالی نیز نشان‌دهنده پایداری مالی طرح و وجود انگیزه مالی کافی برای مشارکت بخش خصوصی در سرمایه‌گذاری و تأمین مالی طرح‌های شیرین‌سازی آب دریاست؛ بر این اساس، شیرین‌سازی آب دریا می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای امکان‌پذیر به‌لحاظ فنی، توجیه‌پذیر از لحاظ اقتصادی و پایدار به‌لحاظ مالی برای جبران کمبود منابع آب (حداقل برای مصارف صنعتی و معدنی) حتی در مناطق خشک واقع‌شده در فواصل دوردست نسبت به سواحل دریاها، مد نظر سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان مدیریت منابع آب و سرمایه‌گذاران بخش خصوصی قرار گیرد؛ امری که در کشورهای جنوب خلیج فارس به آن توجه شده است. ترکیب این طرح با استفاده از انرژی‌های پاک، مانند انرژی خورشیدی به جای انرژی فسیلی برای شیرین‌سازی آب، علاوه بر کاهش صدمات زیست‌محیطی، نیاز آبی کشور را نیز تأمین می‌کند؛ با این حال، یادآوری می‌شود در این پژوهش، خسارت ناشی از آثار زیست‌محیطی (آب، هوا، خاک) - که ممکن است در اثر

همانگونه که ملاحظه می‌شود، معیارهای مالی طرح، نشان‌دهنده سودآوری بسیار مناسب اجرای طرح از دیدگاه سرمایه‌گذار بخش خصوصی است. براساس محاسبات انجام‌شده، نرخ بازده مالی طرح، ۳۰/۹ درصد و نرخ بازده مالی آورده سرمایه‌گذار، ۳۳/۲ درصد برآورد شده است که هر دو به‌طور قابل توجهی از هزینه فرصت سرمایه (نرخ بهره تسهیلات، ۱۹ درصد برای وام ریالی و ۷/۷ درصد وام ارزی) بالاتر است؛ بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت اجرای طرح شیرین‌سازی و انتقال آب دریا برای کاربرد در مصارف صنعتی - معدنی، علاوه بر اینکه به‌لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر است، با وجود کسری مالی در سال‌های ابتدایی بهره‌برداری طرح در طول عمر خود به‌لحاظ مالی نیز پایدار است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، توجیه اقتصادی و امکان‌سنجی طرح نمک‌زدایی و انتقال آب دریا ارزیابی شد. نکته مورد تأکید در این پژوهش این است که برخلاف بیشتر مطالعات اقتصادی انجام‌شده، گزینه تأمین آب به روش شیرین‌سازی آب دریا علاوه بر هزینه شیرین‌سازی، با در نظر گرفتن هر دو وجه آن، یعنی هزینه شیرین‌سازی و هزینه انتقال آب به‌عنوان یک طرح کل، تحلیل اقتصادی و مالی شده است. این نکته مهم است؛ زیرا در بسیاری از مواقع، آب شیرین‌شده در محل طرح استفاده نمی‌شود؛ بلکه باید برای مصرف به نواحی منتقل شود که ممکن

- development resource center, Asian development bank.
9. Adham S. 2007. Desalination. Proc. Membrane Specialty Conf. II, Australian Water Association, Paper 12. Online at: <http://www.awa.as.au>.
 10. Aedyr. 2009. Official notes of desalination course. Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDyR). Madrid, Spain. Online at: <http://www.Aedyr.com>
 11. Bernat X. Gibert O. Guiu R. Tobella J. and Campos C. 2010. The economics of desalination for various uses. Water technology center. Barcelona. Spain. Online at: <http://www.ceraqua.com>.
 12. Blank J.E. Tusel G.F. and Nisan S. 2007. The real cost of desalted water and how to reduce it further. Desalination. 205: 298-311.
 13. Dupont D.P. and Renzetti S. 2001. The Role of Water in Manufacturing, Environmental and Resources Economics. 18: 411-432.
 14. Fritzmann C. Löwenberg J. Wintgens T. and Melin T. 2007. State-of-the-art of reverse osmosis desalination. Desalination. 216: 1-76.
 15. Haro D. Solera A. Pedro M. and Andreu J. 2009. Optimal Management of the Jucar River and Turia River Basins under Uncertain Drought Conditions. Journal of Procedia Engineering. 89: 1260-1267.
 16. H. Farley D. and Farley J. 2004. Ecological economics: principles and applications, Handbook. Washington DC: Island Press. 484 p.
 17. Hoang M. Bolto B. Haskard C. Barron O. Gray S. and Leslie G. 2009. Desalination in Australia. CSIRO Materials Science and Engineering, Water for a Healthy Country Flagship Report series ISSN: 1835-095X. 2009. online at: <http://hdl.handle.net/102.100.100/112839?index=1>
 18. International Desalination Association and Global Water Intelligence Release New Data in 30th Worldwide Desalting Inventory .2008. data online at: <http://www.idadesal.org>. Zou Q.Liu X. 2016. Economic effects analysis of seawater desalination in China with input-output technology. Journal of Desalination. 380: 18-28.
 19. Karagiannis I. C. and Soldatos P. G. 2008. Water desalination cost literature: review and assessment. Desalination. 223: 448-456.
 20. Lattemann S. and Höpner T. 2008. Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. Desalination. 220: 1-15.

اجرای طرح‌های نمک‌زدایی در دریا، ساحل و حتی در طول مسیر انتقال آب ایجاد شود- با توجه به پیچیدگی‌های موجود درباره هر دو جنبه کمی‌سازی و ارزش‌گذاری این تأثیرها، در محاسبات ارزیابی اقتصادی و مالی لحاظ نشده است. این امر می‌تواند موضوع پژوهشی جدید قرار گیرد.

سیاس‌گذاری

این مقاله، از گزارش ارزیابی امکان‌سنجی اقتصادی و مالی طرح شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس به صنایع جنوب شرق ایران استخراج شده است که نویسندگان با حمایت مالی شرکت تأمین و انتقال آب خلیج فارس انجام داده‌اند. بدین‌وسیله از مدیریت آن شرکت تشکر می‌کنیم.

منابع

۱. بانک مرکزی ایران. ۱۳۹۲. گزارش‌های آماری.
۲. حسینی س. ع. ۱۳۹۶. چالش‌های پایداری در مدیریت منابع آب ایران. فصلنامه علوم اجتماعی. ۷۷: ۳۶۲-۴۰۲.
۳. سایت وزارت نیرو. ۱۳۹۲. گزارش‌های مختلف وزارت نیرو.
۴. صادقی ز. حری ح. ر. و صفی نتاج م. ۱۳۹۵. مقایسه اقتصادی شیرین‌کردن آب خلیج فارس با استفاده از انرژی‌های نو و فسیلی. فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی. ۱(۲): ۱۴۳-۱۷۱.
۵. عبدالمجیدی ح. حسام م. هزارجریبی ا. و دهقانی ا.ا. ۱۳۹۰. ارزیابی اقتصادی شیرین‌سازی آب دریای خزر به روش اسمز معکوس. مجموعه مقالات کنفرانس ملی بهره‌برداری از آب دریا، کرمان. زمان برگزاری همایش و تعداد صفحات مقاله؟
۶. مرکز آمار ایران. ۱۳۹۲. گزارش‌های آماری. ۲۳۵-۲۵۲.
7. Abazza H. Khodagui H. Damianidis S. and Konstantianos V. 2012. Economic considerations for supplying water through desalination in south Mediterranean countries. Sustainable Water Integrated Management- Support Mechanism (SWIM-SM), Project funded by the European Union.
8. Adb. 1999. Guidelines for the economic analysis of projects. Economics and

21. Molinos-Senante M. Hernández-Sancho F. and Sala-Garrido R. 2010. Economic feasibility study for wastewater treatment: A cost-benefit analysis. *Science of the Total Environment*. 408: 4396-4402.
22. Nellen A. 2011. Desalination: A Viable Answer to Deal with Water Crises? Strategic analysis paper. Independent Strategic Analysis Australia's Global Interests. Online at: <http://www.futuredirections.org.au>.
23. Nisan S. and Benzarti N. 2008. A comprehensive economic evaluation of integrated desalination systems using fossil fuelled and nuclear energies and including their environmental costs. *Desalination*. 229: 125-146.
24. Reddy K. V. and Ghaffour N. 2007. Overview of the cost of desalinated water and costing methodologies. *Desalination*. 205: 340-353.
25. Renzetti S. 1988. An Econometric Study of Industrial Water Demands in British Columbia, Canada. *Water Resources Research*. 24: 1569-1573.
26. Renzetti S. 1992. Estimating the structure of industrial water demands: The case of Canadian manufacturing. *Land Economics*. 68(4): 396-404.
27. Renzetti S. and Dupont D. 2004. The performance of municipal water utilities: Evidence on the role of ownership. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*. 67(20-22):1861-1878.
28. Verlicchi P. Al Aukidy M. Galletti A. Zambello E. Zanni G. and Masotti L. 2012. A project of reuse of reclaimed wastewater in the Po Valley, Italy: Polishing sequence and cost benefit analysis, *Journal of Hydrology*. 432-433: 127-136.
29. Wang H. and Lall S. 1999. Valuing water for Chinese Industries: A marginal productivity Assessment. Development Research Group the World Bank. Online at: <https://doi.org/10.1596/1813-9450-2236>.
30. Birol E. Karousakis K. and Koundouri P. 2006. Using economic valuation techniques to inform water resources management: A survey and critical appraisal of available techniques and an application. *Science of the Total Environment*. 365: 105-122.
31. Duly, Herman, E. and Farley J. 2004. *Ecological economics: principles and applications*, Handbook. Island Press, Washington, DC.

