Amirkabir Journal of Mechanical Engineering

Amirkabir J. Mech. Eng., 55(9) (2023) 219-222
DOI: 10.22060/mej.2024.22288.7595

Economic evaluation of fixed and floating desalination plants on the shores of Makran

H. Amiri*, M. H. Karim

Department of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran

ABSTRACT: Water plays an important role in human life and is one of the first human needs for survival. Therefore, due to population growth and industrialization and therefore the lack of water resources in the world especially in Iran, its supply needs special attention. Currently, 97.5% of the water resources on the planet cannot be used. The main purpose of this study is the economic study of the use of fixed and floating freshwater in Makran beaches. One of the most important methods in this field is the desalination and desalination processes of seawater. Given that for government projects, only the final price or in other words the cost price is considered, the method of levelized cost of production over the useful life has been chosen. According to the information of the Electricity and Energy Master Planning Office of the Ministry of Energy, the results show that the desalination of seawater in the form of building a factory (fixed desalination plant) is more economical compared to the floating desalination plant, in such a way that the levelized cost of production in fixed desalination technology is 2000 and in floating desalination technology is 9700 rials per cubic meter. Also, sensitivity analysis tests based on the discount rate, production capacity coefficient, and escalation rate of fuel cost show that on one hand, floating desalination technology is more sensitive to the above variables than fixed desalination, and on the other hand, the change of this variable has no effect on changing the economic priority. The results show that seawater desalination in the form of a factory (fixed desalination) is economical compared to floating desalination.

Review History:

Received: Mar. 23, 2023
Revised: Dec. 09, 2023
Accepted: Dec. 10, 2023
Available Online: Jan. 16, 2024

Keywords:

Seawater Desalination
economic analysis
final price
Makran beaches

1- Introduction

The growth of the population and the increase in the standard of living and the growth of urbanization along with the expansion of the industrial and technological aspects of life in the world have caused the optimal use of water and water bodies in the world to move with better reflection and planning.

The lack of access to fresh water sources and the growing demand has intensified the need to use more non-conventional water sources, especially in countries facing water crises, so that today about 60% of the volume of desalinated water in the world is in the Persian Gulf is concentrated.

Many solutions have been proposed to deal with this problem, that desalination of seawater is considered as a potential opportunity to supply fresh water, which, of course, requires economic justification.

The number, size, and efficiency of desalination units in the world are growing rapidly with the aim of compensating for the water shortage, and only in the meantime, cost reduction in desalination processes is considered as the main challenge facing this industry.

In Iran, considering the hot and dry climate, the issue of the water crisis is of double importance compared to other countries. It is expected that the volume of desalinated water in this region will increase to 9 billion cubic meters by 2030 [1].

The purpose of this study is to investigate the economic use of fixed and floating water desalination plants on the Makran coast based on reverse osmosis method. Reverse osmosis is generally the most economical process for producing fresh water from seawater. It is also a more appropriate method in terms of initial investment and energy and technology consumption [2].

2- Methodology

There are various methods for the economic evaluation of projects, including the present value method, annual value, return on investment, internal rate of return, annual uniform method, and levelized cost of production.

In the levelized cost of production (LCOP) method, costs are converted into a uniform annual payment. In other words, the cost is equal to the fixed amount of income per product unit

*Corresponding author's email: h.amiri@khu.ac.ir

Table 1. Information about fixed and floating desalination plants [5]

Variables	floating desalination plants	fixed desalination plants
Capital Cost	1.9	0.4
Depreciation Rate	5	4
Plant Cost	170140	50300
Construction Life	1	3
Discount Rate	14	14
Plant Life	20	25
Hours Per Year	7008	7884
Capacity Factor	70	85
O&M Cost	6100	6070
Total Of O&M Cost	1.4	1.03
Escalation Rate Of O&M Cost	2	2
Fuel Cost	24700	1010
Total of Fuel Cost	5.7	0.1
Escalation Rate of Fuel Cost	5	5
Personnel costs	2600	2530
Total of Personnel costs	0.5	0.4
Escalation Rate of Personnel costs	5	5
Escalation Rate of Exchange Rate	7	7
Levelized Cost of Production	9700	2000

sale, which can cover all project expenses during the service life. levelized cost is a method based on the calculation of the present value of investment costs and production exploitation during the life of the project, in which the production of one liter of fresh water is calculated by dividing the present value of the total costs incurred to produce produced freshwater [3].

$$LCOP = C_K + \left[\sum_{t=0}^{PL} \frac{C_{O\&M} \times (1+e_{O\&M})^t}{(1+r)^t} + \sum_{t=0}^{PL} \frac{C_{Fuel} \times (1+e_{Fuel})^t}{(1+r)^t} + \sum_{t=0}^{PL} \frac{C_P \times (1+e_P)^t}{(1+r)^t}\right] \times \frac{r(1+r)^{PL}}{(1+r)^{PL}-1}$$

$$C_K = \frac{DR \times TPC(1+r)^{CL}}{HY}$$

According to the above relations, the costs are discounted to the current year's cost to calculate the present value of the project. Multiplying the present value of maintenance and repair cost variables, fuel cost and personnel cost with their factor $\frac{r(1+r)^{PL}}{(1+r)^{PL}-1}$ turns it into a levelized annual cost [4].

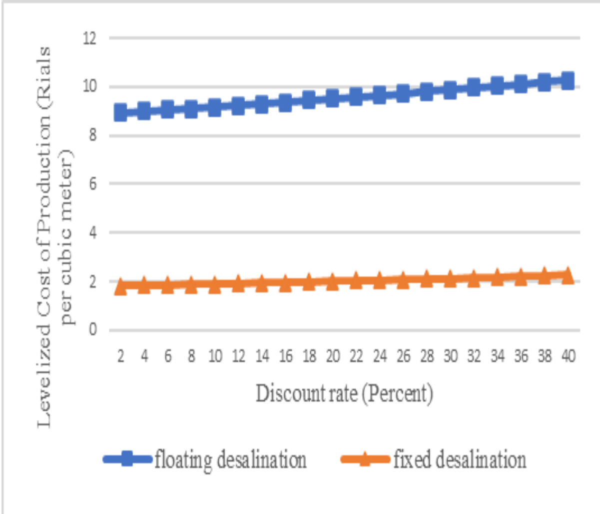


Fig. 1. Sensitivity of levelized cost of production under discount rate

According to Table 1, based on the information of the Electricity and Energy Planning Office of the Ministry of Energy, the levelized cost of production of producing two fixed and floating water desalination technologies has been calculated as 2000 and 9700 Rials per cubic meter, respectively. It should be noted that the calculation of the levelized cost of production of two fixed and floating water desalination technologies has been calculated with a nominal currency of 28500 Tomans.

3- Discussion and Results

In Figures 1, 2, 3, and 4, sensitivity analysis is performed based on the discount rate, production capacity coefficient, escalation rate of fuel cost, and escalation rate of exchange rate. As can be seen in Figure 4, the increase in the discount rate causes an increase in the uniform cost of production. As it can be seen, regarding fixed desalination technology, with the increase of interest rate in a period of 20 years, the changes in the levelized cost of production have increased from 1.8 Rials per cubic meter in the first period to 2.26 Rials per cubic meter.

With the increase in production capacity, the levelized cost of production in fixed technology has decreased from 3.57 Rials per cubic meter to 2.55 Rials per cubic meter.

With the increase in the escalation rate of fuel cost, the uniform cost of production in fixed technology has increased from 3.55 to 7.67 and in floating technology from 9.5 to 17.52 rials per cubic meter.

With the increase in the escalation rate of the exchange

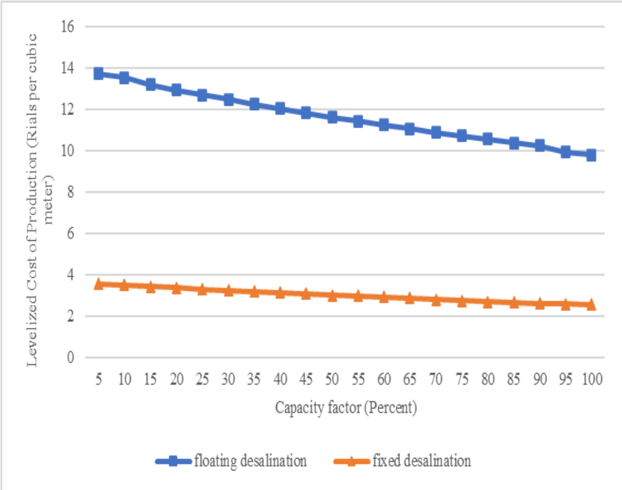


Fig. 2. Sensitivity of levelized cost of production under production capacity factor

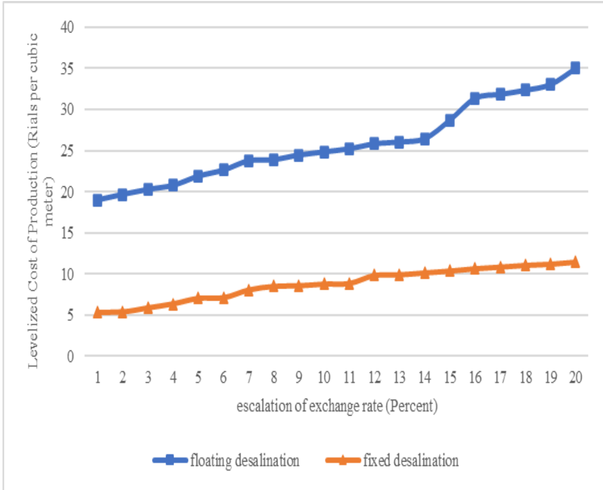


Fig. 4. Sensitivity of levelized cost of production to escalation of exchange rate

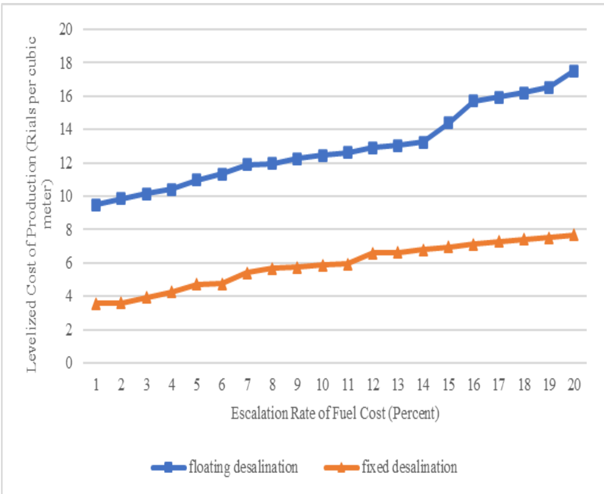


Fig. 3. Sensitivity of levelized cost of production to escalation rate of fuel cost

rate, the uniform cost of production in fixed technology has increased from 19 to 35.4 and in floating technology from 5.325 to 11.505 rials per cubic meter.

4- Conclusions

With the investigations, it was concluded that water desalination in the form of fixed facilities or the construction of a factory in the target area (coasts of Makran) than water desalination in the form of floating facilities or the ship dedicated to desalination. Water is economically beneficial.

Therefore, according to the rich resources that our country has in the field of water areas (both in the northern region of the country and the southern region), such potential can be used for the desalination of seawater, and by establishing several factories in the north and south, the country can be The category of water crisis was kept safe, especially in the not so distant future and by creating warehouses in the whole country as water bases, desalinated drinkable water can be stored in those warehouses and as a result, drinking water can be provided in every province or every country. The area is divided according to an optimal pattern for the consumption of the society.

References

[1] M. Asadi, N.A.S. Abdul Manafi jahromi, Examining the executive framework of desalination and exploitation of sea water, 18871, Islamic Council Research Center, 2023. (In Persian)

[2] A. Ebrahimi, M. Ghanbarian, A. Moridi, Investigation of the structure and technical characteristics of common methods in desalination facilities, in: Iran Water and Wastewater Engineering and Science Congress, University of Tehran, Tehran, 2015. (In Persian)

[3] S. Reichelstein, A. Rohlfing-Bastian, Levelized product cost: Concept and decision relevance, The Accounting Review, 90(4) (2015) 1653-1682.

[4] U. Eia, Levelized cost and levelized avoided cost of new generation resources in the annual energy outlook 2016, Washington DC, USA, 2016.

[5] M.o. Energy, Planning the structure of electric energy supply and setting up the required information base, 2011. (In Persian)

HOW TO CITE THIS ARTICLE
H. Amiri, M. H. Karim, Economic evaluation of fixed and floating desalination plants on the shores of Makran, Amirkabir J. Mech Eng., 55(9) (2023) 219-222.

DOI: 10.22060/mej.2024.22288.7595

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۵، شماره ۹، سال ۱۴۰۲، صفحات ۱۰۴۵ تا ۱۰۶۲
DOI: 10.22060/mej.2024.22288.7595

ارزیابی اقتصادی آب شیرین‌کن‌های ثابت و شناور در سواحل مکران

حسین امیری* و محمد حسین کریم

دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۳
بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹
ارائه آنلاین: ۱۴۰۲/۱۰/۲۶

کلمات کلیدی:
آب شیرین‌کن
تحلیل اقتصادی
قیمت تمام شده
سواحل مکران
اسمز معکوس

خلاصه: هدف اصلی این مطالعه بررسی اقتصادی به کارگیری آب شیرین‌کن‌های ثابت و شناور در سواحل مکران است. با توجه به اینکه روش اسمز معکوس از عملکرد بهتری برخوردار است و اثرات زیست‌محیطی به مراتب پایین‌تری نسبت به سایر روش‌ها دارد، در این مطالعه مبنای بررسی اقتصادی آب شیرین‌کن‌ها بر اساس روش اسمز معکوس است. همچنین با توجه به این که برای پروژه‌های دولتی تنها قیمت نهایی یا به عبارتی دیگر قیمت تمام شده مد نظر است، روش ارزش یکنواخت هزینه‌ها در طول عمر مفید انتخاب شده است. بر اساس اطلاعات دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو، نتایج نشان می‌دهد که شیرین‌سازی آب دریا در قالب احداث یک کارخانه (آب شیرین‌کن ثابت) در مقایسه با آب شیرین‌کن شناور دارای صرفه اقتصادی است، به گونه‌ای که هزینه یکنواخت تولید در فناوری آب شیرین‌کن ثابت ۲۰۰۰ و در فناوری آب شیرین‌کن شناور ۹۷۰۰ ریال بر مترمکعب محاسبه شده است. همچنین آزمون‌های تحلیل حساسیت بر اساس نرخ تنزیل، ضریب ظرفیت تولید و نوسانات هزینه سوخت نشان می‌دهد از یک طرف فناوری آب شیرین‌کن شناور نسبت به آب شیرین‌کن ثابت تحت حساسیت بیشتری نسبت به متغیرهای فوق است و از طرف دیگر تغییرات این متغیر اثری بر تغییر اولویت اقتصادی ندارد.

۱- مقدمه

آب از اولین نیازهای بشر برای ادامه حیات است. احتیاج به آب همگام با پیشرفت‌ها، روز به روز بیشتر و گسترده‌تر شده است. با این حال هم اکنون آب به عنوان یک نیاز اولیه برای بسیاری از مردم به آسانی در دسترس نیست و این مسئله باعث گردیده است که آب به عنوان یک مقوله حساس و کاملاً تعیین کننده و همچنین استراتژیک در تمام دنیا به ویژه در آینده تبدیل گردد.

رشد جمعیت و بالا رفتن سطح زندگی و رشد شهرنشینی همراه با گسترش ابعاد صنعتی و تکنولوژیکی زندگی در جهان سبب شده است تا استفاده بهینه از آب و حوزه‌های آبی موجود در جهان با تأمل و برنامه‌ریزی بهتری حرکت کند. همین عامل باعث شده است که در دنیا به ضرورت وجود آب قابل شرب به عنوان یک ماده استراتژیک پی برده شود و کشورهای پیشرفته با مدیریتی بهینه به دنبال حفظ آن به عنوان وسیله‌ای برای اعمال قدرت در آینده‌ای نه چندان دور باشند. در ایران هم با توجه به اقلیم گرم و خشک، موضوع بحران آب نسبت به سایر کشورها از اهمیت دوچندانی برخوردار است. در حال حاضر حدود ۶۰ درصد از ظرفیت آب شیرین‌کن‌های دنیا در خلیج فارس فعال بوده و پیش‌بینی می‌شود حجم آب شیرین شده در این منطقه تا سال ۲۰۳۰ به ۹ میلیارد مترمکعب افزایش یابد [۱].

بشر از دیرباز به دنبال روش‌هایی بوده است که بتواند از این منابع عظیم، آب قابل شرب تامین نماید. از روش‌های بسیار مهم در این زمینه می‌توان به فرآیندهای شیرین‌سازی و نمک‌زدایی آب دریاها اشاره نمود. فرآیندهای شیرین‌سازی آب دریا از نظر فنی و اقتصادی به‌ویژه در پنجاه سال اخیر بسیار پیشرفت کرده است. این پیشرفت‌ها به گونه‌ای بوده است که هم اکنون در بسیاری از نقاط جهان به‌ویژه در منطقه خاورمیانه به‌طور گسترده‌ای از روش‌های شیرین‌سازی آب دریا استفاده می‌شود. از طرفی حیات یک پروژه منوط به بخش اقتصادی آن پروژه است. زمانی می‌توان یک پروژه را اجرا نمود که از منظر اقتصادی دارای صرفه باشد. در راه‌اندازی تأسیسات نمک‌زدایی، با افزایش ابعاد واحدها، هزینه نهایی تولید کاهش یافته، با وجود این نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر خواهد بود. لذا با توجه به شرایط مناطق مختلف و میزان نیاز به آب شیرین‌شده، همچنین سرمایه در دسترس، انتخاب

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: h.amiri@khu.ac.ir

بهینه‌ای در خصوص میزان تولید باید صورت گیرد [۱].

ارزیابی اقتصادی پروژه‌های سرمایه‌گذاری و انتخاب با صرفه‌ترین پروژه، با اهمیت‌ترین نوع تصمیم‌گیری در هر سازمانی محسوب می‌شود. تصمیم‌گیری منطقی برای سرمایه‌گذاران در پروژه‌ها، مسئولیتی مهم و حیاتی است که حاصل آن بقاء طولانی‌مدت سازمان همراه با سودآوری و رشد تولیدات و خدمات در کشور است. در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌هایی نظیر ایجاد واحدهای تولیدی و خدماتی جدید، توسعه ظرفیت‌های تولیدی، گسترش واحدهای صنعتی، جایگزینی ماشین‌آلات و تجهیزات، تغییر خطوط تولیدی، مکانیزه نمودن امور خدماتی و تولیدی و یا دیگر پروژه‌هایی که در شرایط فعلی و یا در آینده ضروری به نظر می‌رسد، مراحل ارزیابی و تحلیل اقتصادی را باید با دقت انجام داد و اقتصادی‌ترین پروژه را انتخاب کرد. در هر پروژه سرمایه‌گذاری عناصر مهمی مانند مقدار سرمایه‌گذاری اولیه، درآمدها و هزینه‌های سالیانه در طول عمر مفید، ارزش اسقاطی دارایی‌های پروژه در پایان عمر مفید هر دارایی باید به دقت پیش‌بینی و تعیین گردد. روش‌های مختلفی به منظور ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش ارزش فعلی، روش یکنواخت سالیانه، روش دوره بازگشت سرمایه، روش ارزش آینده، روش نرخ بازگشت سرمایه و روش نسبت منافع به مخارج اشاره کرد.

هدف از این مطالعه بررسی اقتصادی به کارگیری آب شیرین کن‌های ثابت و شناور در سواحل مکران بر مبنای روش اسمز معکوس است. روش اسمز معکوس عموماً، برای تهیه آب شیرین از آب دریا اقتصادی‌ترین فرآیند است. همچنین به لحاظ سرمایه‌گذاری اولیه و مصرف انرژی و تکنولوژی روش مناسب‌تری است [۲]. بر همین اساس به منظور ارزیابی اقتصادی از روش یکنواخت سالیانه استفاده شده است. در ادامه در بخش دوم الگوسازی نظری و تجربی، در بخش سوم نتایج و بحث و در بخش چهارم نتیجه‌گیری آورده شده است.

۲- الگو سازی نظری و تجربی

آب یکی از منابع طبیعی است که به میزان فراوان، حدود ۷۵٪ از سطح کره زمین را پوشش داده است، اما فقط ۳٪ از کل این منابع قابل شرب است. حدود ۲۵٪ از جمعیت جهان به آبی که دارای کیفیت و کمیت رضایت‌بخش باشد، دسترسی ندارد و بیشتر از ۸۰ کشور با مشکلات شدید آب روبرو هستند. انتظار می‌رود خشکسالی و کویرزایی جهانی، مساله کمبود آب را تشدید نماید. حتی کشورهایی که در حال حاضر با مشکل کمبود آب مواجه نیستند، هم در آینده با مشکل کمبود آب سالم مواجه خواهند شد، به طوری که تا سال ۲۰۲۵ حدود دو سوم از جمعیت جهان کمبود آب را تجربه خواهند کرد [۳]. طبق تحقیقات و مطالعات صورت گرفته علت اصلی ایجاد بحران آب شامل رشد روز افزون جمعیت، بهره‌گیری نامناسب از آب برای فعالیت‌های کشاورزی، عدم مدیریت مناسب با دیدگاهی بلندمدت از گذشته برای رفع نیازهای امروز جامعه و همچنین میل فراوان به توسعه روز افزون در داخل کشوری که از منظر اقلیمی در طبقه گرم و خشک قرار می‌گیرد، است [۴].

مسأله بحران آب در خاورمیانه به دلیل قرار گرفتن منطقه‌ی ژئوپلیتیکی خلیج فارس در این محدوده جغرافیایی شدیدتر است، به گونه‌ای که نقش مهم منابع آبی در این منطقه بیش از پیش دارای اهمیت است. اغلب کشورهای خاورمیانه از نظر آب شیرین بسیار فقیر هستند. کشورهای خاورمیانه در سال ۱۹۷۰ میلادی نیاز راهبردی به آب (در زمینه‌های مصارف خانگی، صنعتی و غیره) پیدا کردند. جدی بودن بحران آب در خاورمیانه، به گونه‌ای است که در ۲۰ سال آینده بسیاری از کشورهای این منطقه قادر نخواهند بود آب مورد نیاز کشاورزی، صنعتی، آشامیدنی و دیگر مصارف خود را تأمین کنند. امروزه بیش از ۲۶ کشور در جهان کمبود آب دارند که از این تعداد ۹ کشور در خاورمیانه قرار دارند. در جدول ۱ وضعیت میزان آب موجود در کشورهای حاشیه خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفته است.

هزینه آب تولید شده وابسته به کیفیت آب ورودی، نوع فن‌آوری، ظرفیت کارخانه، تأمین مصرف انرژی و... است که ممکن است منجر به افزایش هزینه‌های نمک‌زدایی و در نتیجه بعضاً غیراقتصادی شدن روش گردد. ویژگی‌های محل احداث کارخانه، هزینه انتقال آب از منبع به محل تصفیه‌خانه، نحوه توزیع آب تصفیه شده و دفع پسماند تولید شده، متفاوت بوده و این عوامل در انتخاب روش‌های مذکور و مقایسه آن‌ها با یکدیگر بسیار تأثیرگذار است. در یک تقسیم‌بندی کلی، دستگاه‌های آب شیرین کن به ۲ گروه اصلی تقسیم می‌شوند: آب شیرین کن‌هایی که با فرآیندهای حرارتی کار می‌کنند و آب شیرین کن‌هایی که با فرآیندهای غشایی کار می‌کنند.

در روش‌های حرارتی از گرم کردن آب جهت تولید بخار استفاده می‌گردد. در فرآیندهای غشایی با استفاده از نیروی ویژه فشاری، ناخالصی‌های آب جدا می‌شوند. یکی از مهمترین مسائل مرتبط با این تکنولوژی‌ها، هزینه‌های آن است که در بعضی مواقع آن را به یک روش ناکارآمد تبدیل می‌کند. هزینه‌های این فرآیندها شامل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه راه‌اندازی و نیز هزینه نگهداری سیستم در طول عمر مفید دستگاه است.

جدول ۱. وضعیت میزان آب در کشورهای حاشیه خلیج فارس [۵]

Table 1. Water level situation in Persian Gulf countries [5]

کشور	مساحت کشور (کیلومترمربع)	زمین‌های مزروعی و زیرکشت (هکتار)	نسبت زمین‌های مزروعی به مساحت کشور	میانگین بارندگی به میلی متر در سال	منابع آب زیرزمینی سالانه	آب‌های سطحی	کل منابع آب تجدیدپذیر واقعی (میلیارد مترمکعب)	کل منابع آب تجدیدپذیر واقعی (مترمکعب سرانه در سال)
ایران	۱۶۴۸۱۹۵	۱۶۳۲۶۰۰۰	۹/۹	۲۲۸	۴۹/۳۰	۹۷/۳	۱۳۷/۵۱	۱۹۵۵
بحرین	۶۴۹	۶۰۰۰	۸/۴	۸۳	۰	۰/۰۰۴	۰/۱۲	۱۸۱
عراق	۴۳۸۳۱۷	۵۵۴۰۰۰۰	۱۲/۶	۲۱۶	۱/۲۰	۳۴	۷۵/۴۲	۳۲۸۷
کویت	۱۷۸۱۸	۱۰۰۰۰	۰/۵	۱۲۱	۰	۰	۰/۰۲	۱۰
قطر	۱۱۰۰۰	۲۱۰۰۰	۱/۹	۷۴	۰/۵	۰/۰۰۱	۰/۰۵	۹۴
عربستان	۲۱۴۹۶۹۰	۳۷۸۵۰۰۰	۰/۱۷	۵۹	۲/۲۰	۲/۲۰	۲/۴۰	۱۱۸
عمان	۳۰۹۵۰۰	۸۰۰۰۰	۰/۲۵	۱۲۵	۰/۹۶	۰/۹۳	۹/۹	۳۸۸

فرآیند تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای[۱] و چگالش چند مرحله‌ای[۲] فرآیندهای اصلی و پرکاربرد گروه اول و اسمز معکوس[۳] فرآیند اصلی گروه دوم هستند. البته گروه سومی نیز وجود دارد و زمانی است که یک دستگاه آب شیرین‌کن با ترکیبی از هر دو نوع فرآیند یعنی هم حرارتی و هم غشایی فعالیت کند که با عنوان فرآیند ترکیبی[۴] شناخته می‌شود و کاربرد کمتری نسبت به دو فرآیند اصلی دارد. تکنولوژی حرارتی علاوه بر فرآیند تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای و چگالش چند مرحله‌ای دارای فرآیندهای دیگری مانند روش تراکم بخار[۵] نیز است که دارای کاربرد کمتری است و در مقیاس‌های کوچک کاربرد دارند. الکترودیالیز[۶] نیز به عنوان یک فرآیند غشایی شناخته شده در مقیاس‌های کوچک و جهت تصفیه آب‌هایی با غلظت کم نمک به کار گرفته می‌شود. در ضمن تعدادی از فرآیندها نیز وجود دارند که با عنوان فرآیندهای حمایتی شناخته می‌شوند و بیشتر در مرحله پیش تصفیه کاربرد دارند و به طور مستقیم جهت نمک‌زدایی از آب شور به کار گرفته نمی‌شوند که از آن جمله می‌توان به اولترافیلتراسیون[۷]، نانوفیلتراسیون[۸] و یونیک فیلتراسیون[۹] اشاره کرد.

روش اسمز معکوس به عنوان یکی از رایج‌ترین روش‌های موجود در دنیا به ویژه در ایران مطرح است. روش اسمز معکوس به مصرف انرژی الکتریکی وابسته است، اما به نسبت انرژی کمتری مصرف می‌کند. هر چند روش اسمز معکوس هزینه انرژی کمتری دارد، اما با مشکلاتی ناشی از رسوب‌گیری غشاها و کاهش عمر آنها مواجه است [۱]. در جدول ۲ حدود تقریبی انرژی مورد نیاز برای تکنولوژی‌های مختلف نمک‌زدایی نشان داده شده است.

برای شیرین‌سازی آب دریا از طریق روش اسمز معکوس، مقایسه کیفی پارامترهای شیمیایی، فیزیکی و میکروبی آب خروجی در مطالعات انجام شده در شهرهای نام برده از قبیل: قم، کاشان، قشم، با استانداردهای ملی و بین المللی مشخص گردید که این فرآیند قابلیت بالایی را در تهیه آب آشامیدنی سالم دارا است؛ به طوری که در آب خروجی دستگاه با فرآیند اسمز معکوس، اکثر پارامترهای کیفی بررسی شده نسبت به آب ورودی، حدود ۹۹ درصد کاهش یافته بودند و مقادیر خروجی در حد استاندارد بود.

فن‌آوری‌های نمک‌زدایی در سال‌های اخیر رشد و توسعه چشم‌گیری

1 Multi-stage flash distillation (MSF)
2 Multiple-effect distillation (MED)
3 Reverse Osmosis (RO)
4 Hybrids
5 Vapor Compression (VC)
6 Electro dialysis
7 Ultrafiltration
8 Nano filtration
9 Unique filtration

جدول۲. حدود تقریبی انرژی مورد نیاز برای تکنولوژی‌های مختلف نمک‌زدایی [٦]

Table 2. Approximate limits of energy required for different desalination technologies [6]

فرآیند نمک‌زدایی	میزان انرژی مورد نیاز (Kwh/m^3)
تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	۵۸-۱۰
چگالش چند مرحله‌ای	۵۸-۶
اسمز معکوس	۶-۲

جدول۳. ظرفیت آب نمک‌زدایی شده در ایران (درصد) [۱]

Table 3. Capacity of desalinated water in Iran (percentage) [1]

روش	ظرفیت (درصد)
اسمز معکوس	۵۶
تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	۳
چگالش چند مرحله‌ای	۴۱

داشته‌اند و هم اکنون، نمک‌زدایی از آب شور دریاها به عنوان یک روش مهم جهانی برای تأمین مصارف آب جوامع بزرگ و صنایع در آینده مطرح شده است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که ظرفیت آب نمک‌زدایی شده در روش اسمز معکوس بیشتر از روش فرآیند تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای و چگالش چند مرحله‌ای است. کشورهایی که در دنیا در فرآیند نمک‌زدایی آب پیشرو هستند عبارتند از: عربستان سعودی (۱۷/۴٪)، ایالات متحده (۱۶/۲٪)، امارات متحده عربی (۱۴/۷٪)، اسپانیا (۶/۴٪) و کویت (۵/۸٪) [۷]. در ایران روش‌هایی مانند اسمز معکوس، تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای و چگالش چند مرحله‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد که در جدول ۳ ظرفیت آب نمک‌زدایی شده در ایران نشان داده شده است.

به طور کلی یک فرآیند شیرین‌سازی آب دریا را می‌توان به دو جزء تقسیم کرد. یکی جریان آب شیرین با ذرات نمک حل نشده کم و دیگری جریان آب شور. آب شیرین‌کن‌ها به عنوان فرآیندهای هزینه‌بر مطرح بوده و بازده اگزرژی بسیار پایینی دارند. از بین موارد بسیاری که در حوزه شیرین‌سازی آب دریا در صنعت دنیا موجود است، پنج فناوری عمده به منظور زدودن نمک و دیگر مواد جامد غیرقابل حل از آب وجود دارد که عبارتند از تقطیر، اسمز معکوس، الکترودیالیز، تبادل یونی و نمک‌زدایی انجمادی.

تقطیر و انجماد شامل خارج ساختن آب خالص به صورت بخار آب و یا یخ، از آب شور است. در فناوری اسمز معکوس و چگالش چند مرحله‌ای یک غشا بسیار ظریف باعث جداسازی نمک‌ها و املاح سبک‌تر و مطلوب‌تر در طی عبور آب از یک محفظه شیمیایی است. بعضی از فناوری‌های آب شیرین‌کن علاوه بر جداسازی و خارج سازی نمک‌ها و دیگر مواد جامد غیرقابل حل در آب، مواد معلق، مواد آلی، بعضی از باکتری‌ها و ویروس‌ها را نیز از آب خارج می‌سازد. این فناوری‌ها به منظور استفاده در مقیاس‌های بالا پیشرفت کرده و تکامل یافته‌اند و حجم بسیار بالایی از آب را تصفیه می‌نمایند، ولی بعضی از آنها در حجم‌های بسیار پایین و در حد مصارف خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اکثر راه‌های معمول نمک‌زدایی آب، شامل فرآیندهای جوشش و تبخیر است. در یک دستگاه تقطیر، آب می‌تواند به جوش آید و بخار تولید نماید که از چگالش این بخار آب خالص تولید می‌گردد. بعضی از دستگاه‌های تقطیر

را می‌توان به هم متصل نمود و دستگاهی با کارایی بالا ایجاد کرد. فرآیند تبخیر مولکول‌های آب می‌تواند به وسیله گرم کردن آب شور تا دمای جوش آن و یا کم کردن فشار بخار بالای آب شور سرعت بیشتری یابد. به منظور بالا بردن کارایی فرآیند تقطیر، گرمای ایجاد شده از مرحله چگالش را برای پیش گرم کردن آب تغذیه مورد استفاده قرار می‌دهند و یا برای دوباره گم کردن آب شور تبخیر نشده استفاده می‌کنند.

فرآیند تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای این روزها مهمترین نقش را در تقطیر آب دریا دارد، ولی اخیراً فرآیند چگالش چند مرحله‌ای به جای نوع لوله‌های غوطه‌ور به همراه کمپرسور حرارتی یا مکانیکی بخار، پیشرفت چشمگیری یافته است و باعث کاهش تشکیل رسوب و بهبود عملکرد ترمودینامیکی شده است.

فرآیند اسمز معکوس یکی از فرآیندهای غشایی جهت نمک‌زدایی از آب است که در این فرآیند با استفاده از غشاهای مخصوص و از جنس‌های متفاوت و با اعمال فشار مصنوعی بر روی آب شور از طریق پمپ سبب می‌شود که جهت حرکت آب در دو طرف غشا بر خلاف مسیر اسمز طبیعی باشد. در اسمز طبیعی جهت حرکت آب از محیط رقیق به غلیظ است، در صورتی که در اسمز معکوس از محیط غلیظ به سمت محیط رقیق است. نتیجه نهایی این فرآیند این است که آب و املاح از همدیگر جدا می‌شوند.

تمامی موادی که به عنوان غشاء عمل می‌نماید دارای ویژگی عبوری مواد مختلف به طور انتخابی هستند. فرآیند غشایی دارای مزایای متنوعی مانند صرفه‌جویی در مصرف انرژی به دلیل عدم تغییر فاز، کاهش فضای مورد نیاز به علت کم حجم بودن مداول‌های غشایی و سریع‌تر بودن فرآیند به دلیل نازک بودن غشاء و بالا بودن سرعت انتقال جرم در آن، توانایی انجام در دمای پایین که مزیت بالایی برای محلول‌های حساس به گرماست، پایین بودن هزینه سرمایه‌گذاری در مقایسه با سایر روش‌ها در سطح جهانی و سهولت در گسترش دادن سیستم است.

غشاها دارای عمر زیادی هستند. عمر مفید غشاهای اولترافیلتراسیون بیش از دو سال و عمر مفید غشاهای اسمز معکوس بیش از پنج سال گزارش شده‌اند. از مزایای سیستم اسمز معکوس می‌توان به مواردی از قبیل اینکه در مقایسه با فرآیند تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای به انرژی کمتری نیاز دارد، در واحدهای کوچک اولویت دارد، به آب ورودی کمتری نیاز دارد، بو و مزه، شوری و یون‌های فلزی را از بین می‌برد، به سرمایه‌گذاری کمتری برای نصب نیاز دارد، عملکرد آن آسان و راه‌اندازی آن سریع است، ظرفیت تولید آن بالا و طراحی آن ساده و رایج است، تعمیرات و سرویس آن نیاز به خاموشی کل سیستم ندارد. از معایب این سیستم می‌توان به مواردی مانند: نیاز به فرآیند پیش تصفیه، نیاز به دو یا سه مرحله تصفیه برای رسیدن به کیفیت مطلوب، نیاز داشتن به مواد شیمیایی و جایگزین غشاها که هزینه بالایی دارد (هزینه بالادست) اشاره نمود [۸]. در ادامه به برخی از مهمترین مطالعات انجام شده در این زمینه پرداخته می‌شود.

نوردل [۹] یک نمونه کوچک آزمایشگاهی، در کشور سوئد برای آبیاری گلخانه ساخت. این سیستم براساس اختلاف دمای شب و روز کار می‌کرد. در طول روز، دمای هوای مرطوب از زیر زمین بالاتر است، در نتیجه به وسیله‌ی انتقال حرارت، زیرزمین گرم شده و هوای مرطوب خنک و چگالیده می‌شود، اما در طول شب هوای گلخانه سردتر از زیرزمین است؛ زیرا زیرزمین به وسیله‌ی هوای مرطوب در طول روز گرم شده است. در نتیجه در شب با به گردش درآوردن هوای سرد محیط در زیرزمین، باعث سرمایش آن شده و بدین ترتیب خاک برای انجام سرمایش زیر زمینی هوا در روز بعد آماده می‌گردد. این سیستم بعد از سال ۱۹۸۷ میلادی نیز با موفقیت کار کرد.

گاستافسون و همکاران [۱۰] مطالعه تئوریکی را بر روی سیستم‌های تولید آب چگالشی خوراکی انجام دادند و آب تولیدی را در انتهای لوله جمع‌آوری کردند. با مدل‌سازی عددی معادلات انتقال حرارت در نرم افزار متلب مقدار ۱/۸ کیلوگرم/ متر/ روز آب تولیدی با استفاده از حل عددی به دست آوردند. ال ناشار [۱۱] با در نظر گرفتن ملاحظات، طراحی بهینه سیستم های تولید هم زمان برق و آب را از جنبه ترمودینامیکی و اقتصادی ارائه نمود.

ال سایی [۱۲] چرخه هم زمان تولید توان دومنظوره توربین گاز و توربین بخار با واحدهای آب شیرین کن واقع در منطقه شرم الشیخ با ظرفیت های مگاوات ۵۰۰ و ۲۵ میلیون گالن امپریال در هر روز را مطالعه فنی اقتصادی نمودند.

یونس و تولو [۱۳] بررسی مروری بر فناوری‌های نمک‌زدایی متعارف از قبیل تقطیر، اسمز معکوس و تبادل یون را انجام دادند. آنها همچنین تعدادی از فناوری‌های نمک‌زدایی دیگر که در آن زمان در مرحله تحقیق و توسعه قرار داشتند را معرفی نموده و پتانسیل مناسب روش هیدرات گازی در شیرین‌سازی آب دریا را متذکر شدند.

لیسبونا و همکاران [۱۴] یک سیستم هیبریدی که در آن پیل سوختی با یک سیستم آب شیرین کن چگالش ناگهانی و اسمز معکوس تجمیع شده بود را مورد بررسی قرار دادند. پیل سوختی الکتریسیته مورد نیاز سیستم اسمز معکوس را فراهم می‌کرد و گاز خروجی از آن برای پیش گرم کردن آب تغذیه اسمز معکوس و چگالش ناگهانی بازیابی می‌شد. نتایج برای دو نوع

پیل سوختی اکسید جامد و کربنات مذاب مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج راندمان سیستم ۹۵ درصد پیل سوختی اکسید جامد و برای سیستم کربنات مذاب ۷۸ درصد را نشان داد.

لیندبولوم و نوردل [۱۵] برای رطوبت زنی هوا در مصارف کشاورزی از دستگاه تقطیر کن خورشیدی استفاده کردند. در مصارف کشاورزی معادلات انتقال جرم و حرارت و در مصارف خوراکی فقط معادلات انتقال حرارت، برای به دست آوردن مقدار آب تولیدی در مدل‌سازی عددی مورد توجه قرار گرفت. با حل عددی برای مصارف کشاورزی ۳/۱ کیلوگرم/ متر/ روز به دست آوردند. در این مطالعه نمونه آزمایشگاهی برای مصارف کشاورزی و خوراکی نیز ساخته شد.

کمالی و همکاران [۱۶] در بررسی آب شیرین کن چگالش چندمرحله‌ای با کمپرسور بخار حرارتی برای بهینه‌سازی به منظور دستیابی به حداکثر نرخ خروجی قابل دستیابی و کاهش توان مصرفی یک کد کامپیوتری نوشتند و از آن برای یک نمونه با ظرفیت روزانه تولید آب شیرین ۱۵۰۰ مترمکعب استفاده کرده‌اند.

کمالی و محبی‌نیا [۱۷] برای بهینه سازی واحد آب شیرین کن چگالش چندمرحله ای با کمپرسور بخار حرارتی در جزیره قشم بر اساس طراحی تبخیرکن، ترموکمپرسور، اجکتور و نهایتاً شبیه‌سازی کل چرخه آب شیرین کن مدل و الگوریتم‌هایی را ارائه کرده‌اند.

گمار و همکاران [۱۸] یک تحلیل ترمواقتصادی برای انواع مختلف آب شیرین کن در شرایط اقلیمی عسلویه انجام داده‌اند.

مختاری و همکاران [۱۹] با استفاده از سیستم اسمز معکوس به تولید آب شیرین برای شهر میارکلا در شمال ایران پرداخته‌اند. در این کار برای پاسخ آب شیرین پس از یک دوره‌ی ۲۰ ساله برای ۱۲۰۰۰ نفر به ۴۰۰۰ مترمکعب آب در روز نیاز است که با توجه به آنالیز انرژی، اگزرژی، اقتصادی و اثرات زیست محیطی به طراحی نیروگاه و مزرعه‌ی خورشیدی پرداخته است.

رضایی و همکاران [۲۰] به ارزیابی اقتصادی نیروگاه آب شیرین‌کن با فرآیند چگالش چند مرحله‌ای جزیره قشم با استفاده از منابع مختلف انرژی از جمله سوخت‌های فسیلی و نیروگاه هسته‌ای پرداختند. ارزیابی اقتصادی این پروژه با برنامه ارزیابی اقتصادی نمک‌زدایی[۱] انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد مجموع هزینه‌های آب سالانه و مجموع هزینه‌های سالانه ترکیبی نیروگاه آب شیرین‌کن سیکل ترکیبی[۲]، راکتور آب تحت فشار[۳] و راکتور ماژول سنگ‌ریزه‌ای [۴] به ترتیب تقریباً ۱/۷۸، ۱/۴۹ و ۰/۷۷ دلار/ مترمکعب و ۹۴/۷۴، ۴۹/۲۳ و ۴۹/۱ میلیون دلار است.

جونز و همکاران [۲۱] به بررسی وضعیت آب شیرین‌کن بر اساس یک چشم‌انداز جهانی پرداختند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که ۱۵۹۰۶ کارخانه آب شیرین‌کن وجود دارد که حدود ۹۵ میلیون متر مکعب در روز آب شیرین برای استفاده انسانی تولید می‌کنند که ۴۸ درصد آن در منطقه خاورمیانه و شمال افریقا تولید می‌شوند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تولید آب نمک حدود ۱۴۲ میلیون متر مکعب در روز است که تقریباً ۵۰ درصد نسبت به قبل افزایش نشان می‌دهد. تولید آب نمک در عربستان سعودی، امارات، کویت و قطر ۵۵ درصد از کل سهم جهانی را تشکیل می‌دهد. به منظور محدود کردن اثرات منفی زیست محیطی و کاهش هزینه‌های اقتصادی دفع، در نتیجه توسعه بیشتر تأسیسات نمک‌زدایی برای حفاظت از منابع آب برای نسل‌های فعلی و آینده بایستی استراتژی‌های مدیریت آب شیرین‌کن بهبود پیدا کند.

ابوزید و همکاران [۲۲] به بررسی کارایی سرمایه‌گذاری فناوری آب شیرین‌کن‌های سکوهای شناور در مصر پرداختند. هدف این مطالعه مقایسه اقتصادی بین سکوهای شناور و ثابت بر روی زمین و تعیین میزان ترجیح یکی بر دیگری به‌منظور اتخاذ تصمیم مناسب برای سرمایه‌گذاری است. نتایج نشان می‌دهد دوره بازگشت سرمایه در مورد سکوی شناور و ثابت ۵ سال و ۵ ماه و ۵ سال و ۸ ماه به ترتیب است. سایر شاخص‌های ارزیابی اقتصادی نیز از سکوی شناور حمایت می‌کند.

احداب و لینهارد [۲۳] به بررسی اجزای کلیدی تأسیسات نمک‌زدایی آب‌های زیرزمینی شور که از فرآیندهای اسمز معکوس یا الکترودیالیز[۵] استفاده می‌کنند، پرداختند. از آنجائیکه منطقه جغرافیایی یک ملاحظه مهم به منظور نمک‌زدایی است، بایستی روندهای منطقه‌ای و ملی در ظرفیت نمک‌زدایی مورد بررسی قرار گیرد.

نایر و گوده [۲۴] یک بررسی مختصر و مقایسه‌ای از تکنولوژی‌های آب شیرین‌کن و کاربردهای آن ارایه کردند. جنبه‌های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی سیستم‌های آب شیرین‌کن مورد بحث قرار گرفته است. همچنین آینده آب شیرین‌کن‌ها در آینده اجتماع و خانوار بررسی شده است.

نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که تاکنون عمده فعالیت‌های ایران جهت رفع مشکل کم‌آبی، معطوف به انتقال آب میان حوزه‌ها، احداث سد و آب انباره‌ها و اصلاح روش‌های آبیاری در بخش کشاورزی و اصلاح الگوی مصرف بوده است. علی‌رغم پتانسیل مناسب جهت شیرین‌سازی آب دریاها

1 Desalination Economic Evaluation Program (DEEP)
2 Combined Cycle (CC)
3 Pressurized Water Reactor (PWR)
4 Pebble-Bed Modular Reactor (PMMR)
5 Electrodialysis (ED)

در کشور، توجه کمتری به این مقوله به عنوان یکی از روش‌های ممکن جهت رفع مشکل کم آبی شده است. جهت رفع نیاز آب شیرین از طریق شیرین‌سازی آب‌های شور در حجم بالا لازم است طراحی، ساخت و احداث آب شیرین کن‌های با ظرفیت بالا در کشور به‌کارگیری شود تا بتوان با سرعت مناسب در آینده نزدیک احداث و بهره‌برداری نمود. بر همین اساس در این مطالعه به ارزیابی اقتصادی به کارگیری آب شیرین‌کن‌های ثابت و شناور در سواحل مکران بر مبنای روش اسمز معکوس پرداخته شده است. در خصوص وضعیت صنعت شیرین‌سازی آب دریا در ایران می‌توان گفت واحدهای نمک‌زدایی در ایران عمدتاً وابسته به انرژی الکتریکی هستند، اما روش اسمز معکوس به نسبت سایر روش‌ها انرژی کمتری را مصرف می‌کند. همچنین به منظور ارزیابی اقتصادی به کارگیری آب شیرین‌کن‌ها از روش ارزیابی یکنواخت سالیانه استفاده شده است.

۳- نتایج و بحث

ارزیابی اقتصادی پروژه‌های سرمایه‌گذاری و انتخاب با صرفه‌ترین پروژه، با اهمیت‌ترین نوع تصمیم‌گیری در هر سازمان محسوب می‌شود. تصمیم‌گیری منطقی برای سرمایه‌گذاران در پروژه‌ها، مسئولیتی مهم و حیاتی است که حاصل آن بقاء طولانی‌مدت سازمان همراه با سودآوری و رشد تولیدات و خدمات در کشور است. در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌هایی نظیر ایجاد واحدهای تولیدی و خدماتی جدید، توسعه ظرفیت‌های تولیدی، گسترش واحدهای صنعتی، جایگزینی ماشین آلات و تجهیزات، تغییر خطوط تولیدی، مکانیزه نمودن امور خدماتی و تولیدی و یا دیگر پروژه‌هایی که در شرایط فعلی و یا در آینده ضروری به نظر می‌رسد، مراحل ارزیابی و تحلیل اقتصادی را باید با دقت انجام داد و اقتصادی‌ترین پروژه را انتخاب کرد [۲۵]. روش‌های مختلفی برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها از جمله روش ارزش فعلی، ارزش سالیانه، نرخ بازگشت سرمایه، نرخ بازده داخلی، روش یکنواخت سالیانه و هزینه همتراز (یکنواخت) تولید وجود دارد که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

الف) روش ارزش فعلی خالص[1]

این شاخص از جمله شاخص‌های تنزیل طرح است و برای ارزیابی یک پروژه به روش ارزش حال خالص منافع آن ابتدا باید کلیه درآمدها و هزینه‌ها را به ارزش حال تبدیل کرده و از تفاضل درآمدها از هزینه‌ها ارزش حال خالص منافع را به دست آورد [۲۶]. اگر ارزش فعلی خالص کوچک‌تر از صفر باشد پروژه غیراقتصادی است، ولی اگر ارزش فعلی خالص مثبت باشد پروژه اقتصادی بوده و به این معنی است که ارزش فعلی هزینه‌ها کوچک‌تر از ارزش فعلی درآمدها است.

$$NPV(i,n)=\sum_{t=۰}^{n}\frac{R_t}{(۱+i)^t} \quad (۱)$$

در معادله (۱)، t دوره جریان نقدی، i نرخ بهره و R_t جریان نقدی خالص است.

ب) روش ارزش سالیانه[2]

تحلیل ارزش سالیانه، از چند منظر بر تحلیل ارزش حال[3] ارجحیت دارد. نخست این که، مقدار عددی ارزش سالیانه آسان‌تر از ارزش حال محاسبه می‌شود. دوم این که، اندازه این معیار (که معمولاً برحسب واحدهای پولی به ازای هر سال مثلاً دلار به ازای هر سال، بیان می‌شود) برای بیشتر افراد، قابل درک است. همچنین، مفروضات این روش، اساساً مشابه مفروضات روش ارزش حال است [۲۷].

روش ارزش سالیانه معمولاً در مقایسه گزینه‌ها، کاربرد دارد. منطق این روش این است که تمام جریانات نقدی یک گزینه، به یک مبلغ سالیانه یکنواخت معادل، در طول یک چرخه عمر تبدیل می‌شوند. از آنجا که مقدار ارزش سالیانه برحسب واحدهایی از قبیل دلار به ازای هر سال بیان می‌شود، این معیار به آسانی برای همه افراد، قابل درک است.

ج) روش نرخ بازگشت سرمایه

نرخ بازگشت سرمایه یا نرخ بازده داخلی[4]، نرخی است که به مانده پرداخت نشده از اصل مبلغ وام، پرداخت می‌شود. به تعبیری دیگر، نرخ بازده داخلی نرخی است که به مانده وصول نشده از یک مبلغ سرمایه‌گذاری تعلق می‌گیرد و مقدار آن به قدری است که آخرین مبلغ پرداختی یا دریافتی با احتساب بهره، مانده مورد نظر را دقیقاً صفر می‌کند [۲۸].

د) روش نرخ بازده داخلی

نرخی است که در آن ارزش کنونی خالص پروژه صفر باشد. به‌منظور محاسبه این نرخ معادله (۱) برابر با صفر قرار داده می‌شود. نرخ (عدد i) به‌دست‌آمده از حل این معادله در واقع، نرخ بازدهی داخلی پروژه محسوب می‌گردد.

1 Net Present Worth

2 Annual Worth

3 Present Worth

4 internal rate of return (IRR)

$$NPV(i,n)=\sum_{t=0}^{n}\frac{R_t}{(1+i)^t}=0 \rightarrow i=r \qquad (۲)$$

نرخ بازدهی به‌دست‌آمده با نرخ بازدهی مدنظر و رایج در جامعه مقایسه و سپس توجیه یا عدم توجیه اقتصادی مشخص می‌گردد.

ه) روش یکنواخت سالیانه

این روش همانند روش ارزش فعلی یک روش مهم در ارزیابی اقتصادی پروژه هاست. اهمیت این روش به دلیل سادگی در کاربرد و مقایسه اقتصادی دو یا چند پروژه بدون یکسان سازی عمر مفید پروژه‌ها است. در این روش کلیه درآمدها و هزینه‌های تشکیل دهنده فرآیند مالی، به مقدار یکنواخت سالیانه تبدیل می‌شوند. ارزش یکنواخت سالیانه خالص عبارت از:

(۳) درآمد یکنواخت سالیانه[2] = ارزش یکنواخت سالیانه خالص[3]

— هزینه یکنواخت سالیانه[1]

شرایط انتخاب پروژه شامل الف: انتخاب پروژه ($NAW \geq 0$) و ب: رد پروژه ($NAW < 0$) است.

حال با توجه به این که در این مطالعه هدف قیاس بین دو پروژه است و از طرفی یکی از شرایطی که در هر دو موضوع به صورت یکسان است، فروش آب شرب به میزان ۱۰ هزار مترمکعب در شبانه‌روز است (قیمت فروش هر مترمکعب آب شرب توسط بازار تعیین می‌گردد و یا حتی اگر شرط خرید تضمینی آن هم به صورت قطعی توسط دولت وضع گردد قسمت درآمد یکنواخت سالیانه در هر دو موضوع چه به صورت آب شیرین‌کن ثابت و یا به صورت شناور یکسان است). تنها تفاوتی که در این دو مورد باقی می‌ماند، به هزینه یکنواخت سالیانه برمی‌گردد، که هر چه قدر هزینه یکنواخت سالیانه هر کدام از این دو پروژه کمتر باشد در نتیجه ارزش یکنواخت سالیانه خالص بیشتر خواهد بود و در نهایت آن پروژه مورد قبول خواهد بود.

ی) هزینه همتراز (یکنواخت) تولید[1]

در روش هزینه یکنواخت تولید، رویکرد مشابه ارزش فعلی استفاده می‌شود. در این روش هزینه‌ها به پرداخت یکنواخت سالیانه تبدیل می‌شوند. به بیان دیگر هزینه همتراز میزان ثابت درآمد به ازای فروش یک واحد محصول است که می‌تواند تمام مخارج پروژه را در طول عمر خدماتی پوشش دهد. هزینه یکنواخت یا همتراز، روشی مبتنی بر محاسبه ارزش فعلی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری تولید در طول عمر پروژه است، که در آن تولید یک لیتر آب شیرین از تقسیم ارزش فعلی کل هزینه‌های انجام‌شده برای تولید آب شیرین تولیدی محاسبه می‌شود [۲۹]. معادله (۴) و (۵)، معادلات این شاخص را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} LCOP = {} & C_K + \Big[\sum_{t=0}^{PL}\frac{C_{O\&M}\times(1+e_{O\&M})^t}{(1+r)^t} \\ & + \sum_{t=0}^{PL}\frac{C_{Fuel}\times(1+e_{Fuel})^t}{(1+r)^t} + \sum_{t=0}^{PL}\frac{C_P\times(1+e_P)^t}{(1+r)^t}\Big] \\ & \times\frac{r(1+r)^{PL}}{(1+r)^{PL}-1} \end{aligned} \qquad (۴)$$

$$C_K=\frac{DR\times TPC(1+r)^{CL}}{HY} \qquad (۵)$$

طبق روابط فوق، هزینه‌ها به هزینه‌ی سال جاری تنزیل گردیده تا ارزش حال پروژه محاسبه شود. ضرب کردن ارزش حال متغیرهای هزینه‌ی نگهداری و تعمیرات ($C_{O\&M}$)، هزینه سوخت (C_{Fuel}) و هزینه پرسنلی (C_P) با فاکتور $\frac{r(1+r)^{PL}}{(1+r)^{PL}-1}$ آن‌ها را به هزینه یکنواخت سالیانه تبدیل می‌کند [۳۰].

همان‌گونه که در رابطه بالا دیده می‌شود هزینه یکنواخت تولید را می‌توان بر پایه مجموع هزینه‌ی سرمایه، تعمیرات و نگهداری، پرسنلی و هزینه سوخت مشخص کرد. از آنجا که هزینه یکنواخت تولید معیار اندازه‌گیری هزینه تولید آب شیرین در چرخه عمر کار سیستم اسمز معکوس است، لذا می‌بایست تمام هزینه‌ها را در محاسبه هزینه نهایی وارد کرد. جهت محاسبه این پارامترها به اطلاعاتی از قبیل پارامترهای عملیاتی سیستم، هزینه ساخت و اجرا، پارامترهای بازار و پارامترهای کلان اقتصاد نیاز است. در جدول ۴ پارامترهای معادله هزینه یکنواخت تولید به صورت ریالی و ارزی معرفی شده است.

مطابق جدول ۵ و ۶ بر اساس اطلاعات دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو، هزینه همتراز (یکنواخت) تولید دو فناوری آب شیرین‌کن

1 Levelized Cost of Production (LCOP)

جدول ۴. تعریف پارامترهای معادله هزینه یکنواخت تولید [۳۱]

Table 4. Define the parameters of levelized cost of production equation [31]

متغیرها	واحد اندازه‌گیری
هزینه سرمایه‌گذاری[۱]	تومان/مترمکعب
نرخ استهلاک[۲]	درصد
هزینه ساخت[۳]	تومان/مترمکعب
مدت زمان ساخت[۴]	سال
نرخ تنزیل[۵]	درصد
تعداد ساعات دسترسی در سال[۶]	ساعت
هزینه تعمیرات و نگهداری[۷]	تومان/مترمکعب
نوسانات هزینه تعمیرات و نگهداری[۸]	درصد
طول عمر[۹]	سال
هزینه سوخت[۱۰]	تومان/مترمکعب
نوسانات هزینه سوخت[۱۱]	درصد
هزینه پرسنلی[۱۲]	تومان/مترمکعب
نوسانات هزینه پرسنلی[۱۳]	%
نوسانات نرخ ارز[۱۴]	%
هزینه یکنواخت تولید	Toman/ m^3

[1] Capital Cost (C_K)
[2] Depreciation Rate (DR)
[3] Plant Cost (TPC)
[4] Construction Life (CL)
[5] Discount Rate (R)
[6] Hours Per Year (HY)
[7] O&M Cost ($C_{O\&M}$)
[8] Escalation Rate Of O&M Cost ($e_{O\&M}$)
[9] Plant Life (PL)
[10] Fuel Cost (C_{Fuel})
[11] Escalation Rate of Fuel Cost (e_{Fuel})
[12] Personnel costs (C_P)
[13] Escalation Rate of Personnel costs (e_P)
[14] Escalation of Exchange Rate (E_{EX})

جدول ۵. اطلاعات مربوط به آب شیرین کنهای ثابت و شناور [۳۱]

Table 5. Define the parameters of levelized cost of production equation [31]

متغیرها	آب شیرین‌کن ثابت	آب شیرین‌کن شناور
هزینه سرمایه‌گذاری	۰/۴	۱/۹
نرخ استهلاک	۴	۵
هزینه ساخت	۵۰۳۰۰	۱۷۰۱۴۰
مدت زمان ساخت	۳	۱
نرخ تنزیل	۱۴	۱۴
طول عمر	۲۵	۲۰
تعداد ساعات دسترسی در سال	۷۸۸۴	۷۰۰۸
ضریب ظرفیت	۸۵	۷۰
هزینه تعمیرات و نگهداری	۶۰۷۰	۶۱۰۰
کل هزینه تعمیرات و نگهداری	۱/۰۳	۱/۴
نوسانات هزینه تعمیرات و نگهداری	۲	۲
هزینه سوخت	۱۰۱۰	۲۴۷۰۰
کل هزینه سوخت	۰/۱	۵/۷
نوسانات هزینه سوخت	۵	۵
هزینه پرسنلی	۲۵۳۰	۲۶۰۰
کل هزینه پرسنلی	۰/۴	۰/۵
نوسانات هزینه پرسنلی	۵	۵
نوسانات نرخ ارز	۷	۷
هزینه یکنواخت تولید	۲۰۰۰	۹۷۰۰

نکته ۱: نرخ تنزیل با توجه به نرخ تورم تعدیل شده است.

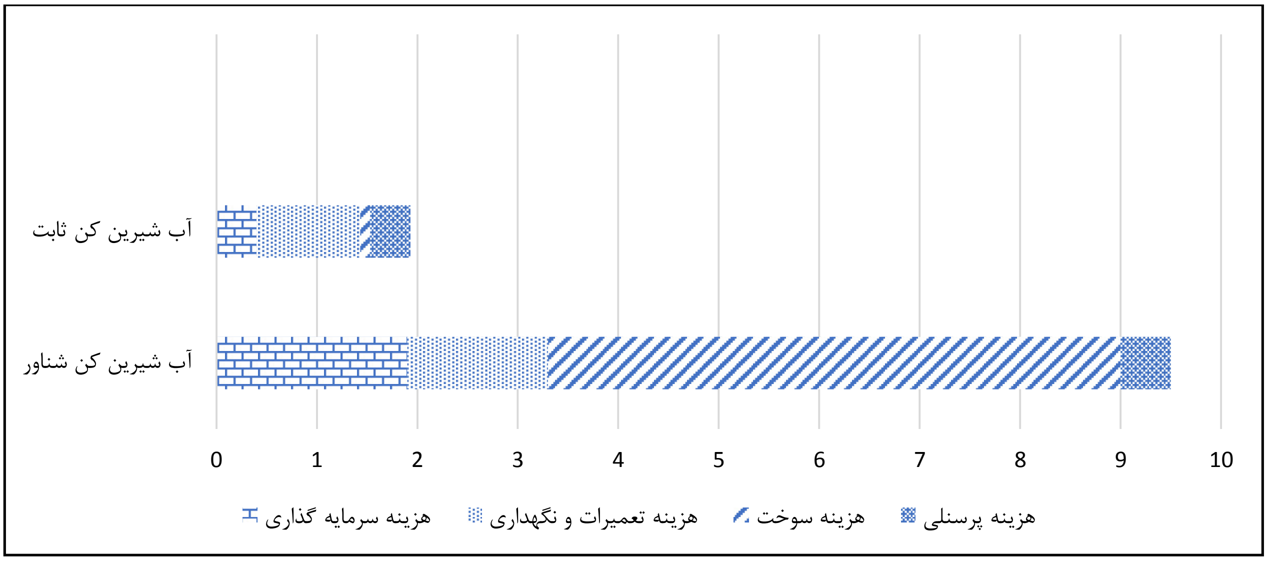
نکته ۲: هزینه سرمایه‌گذاری شامل هزینه انتقال به شناور نیز است.

ثابت و شناور به ترتیب ۲۰۰۰ و ۹۷۰۰ ریال بر مترمکعب محاسبه شده است. لازم به ذکر است محاسبه هزینه همتراز (یکنواخت) تولید دو فناوری آب شیرین‌کن ثابت و شناور با ارز نیمایی ۲۸۵۰۰ تومان محاسبه شده است.

تفکیک هزینه همتراز تولید یا همان هزینه تمام شده فروش دو فناوری آب شیرین‌کن ثابت و شناور در شکل ۱ قابل مشاهده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، هزینه تعمیرات و نگهداری و هزینه سوخت به ترتیب بیشترین سهم را از هزینه تمام شده فروش آب شیرین‌کن ثابت و شناور داشته‌اند. مهم‌ترین علت تفاوت هزینه تمام شده فروش این دو فناوری در نوع سوخت مصرفی است؛ بطوری‌که هزینه برق خریداری شده کارخانه آب شیرین‌کن ثابت نسبت به مازوت خریداری شده آب شیرین‌کن شناور کمتر است و فروش برق تحت سوبسیدهای بیشتری نسبت به مازوت از جانب دولت است.

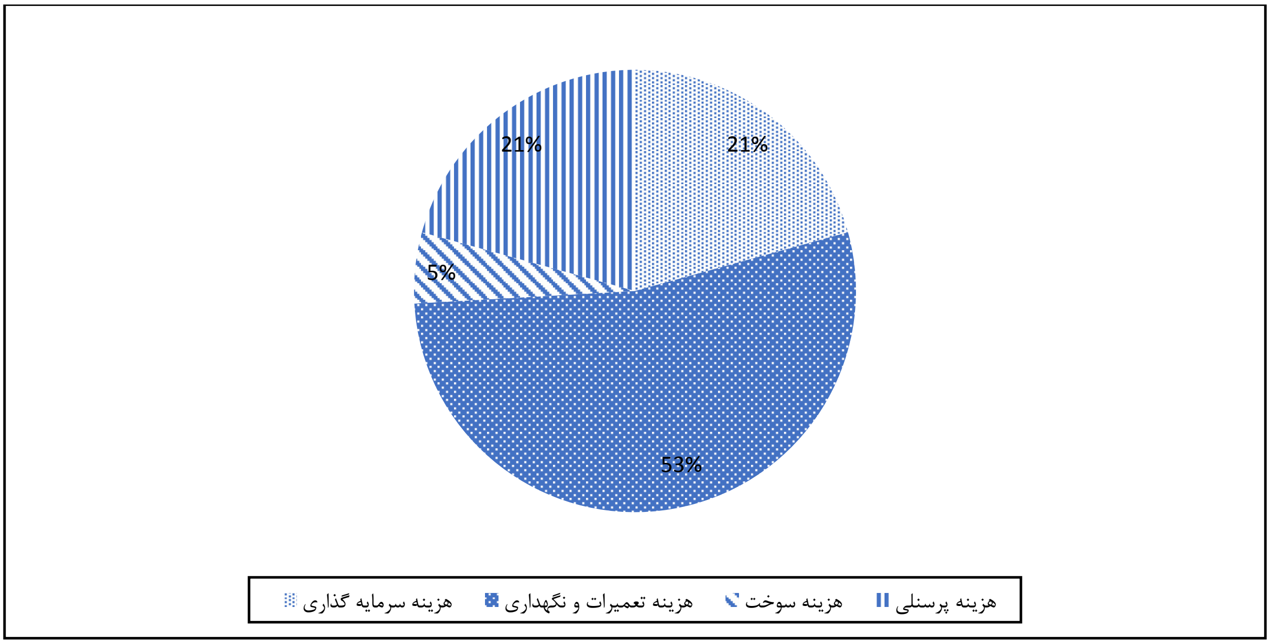
در شکل‌های ۲ و ۳ سهم هر یک از هزینه‌های تشکیل دهنده تولید آب شیرین‌کن نشان داده شده است. نیمی از هزینه تمام شده تولید آب شیرین از فناوری ثابت سهم هزینه تعمیرات و نگهداری است و ۶۰ درصد هزینه تمام شده تولید آب شیرین از فناوری شناور را هزینه سوخت تشکیل می‌دهد.

در ادامه در شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ تحلیل حساسیت بر اساس نرخ تنزیل، ضریب ظرفیت تولید، نوسانات هزینه سوخت و نوسانات نرخ ارز انجام شده است. همان‌گونه که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود افزایش نرخ تنزیل موجب افزایش هزینه یکنواخت تولید می‌شود. همانگونه که ملاحظه می‌شود در خصوص فناوری آب شیرین‌کن ثابت با افزایش نرخ بهره در یک دوره ۲۰ ساله، تغییرات هزینه یکنواخت تولید از ۱/۸ ریال بر متر مکعب در دوره اول



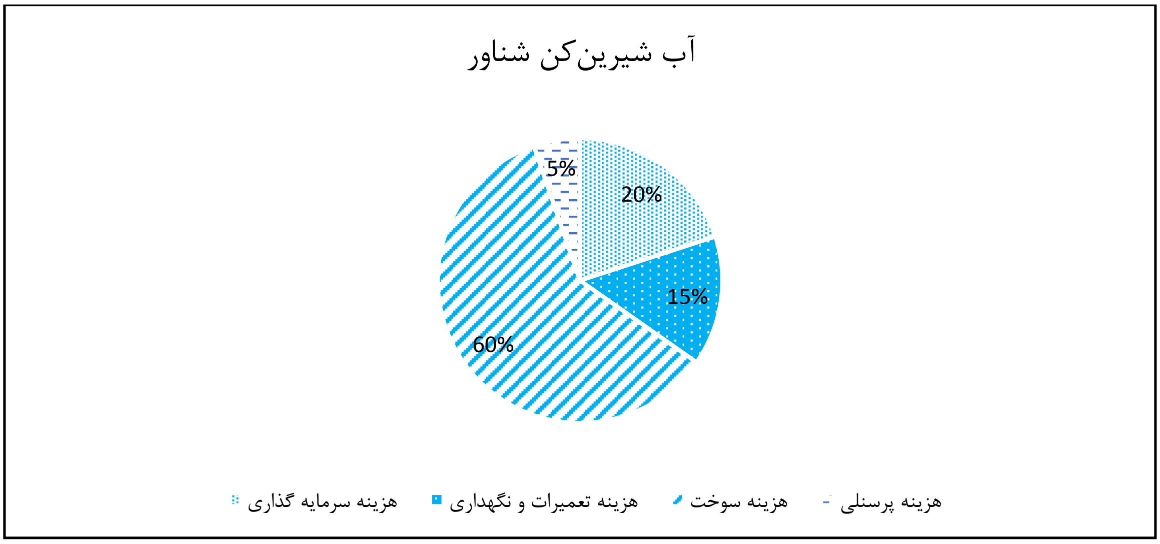
شکل ۱. مقایسه هزینه یکنواخت تولید به تفکیک اجزاء دو فناوری تولید آب شیرین ثابت و شناور

Fig. 1. Comparison of levelized cost of production by two fixed and floating seawater desalination production technologies



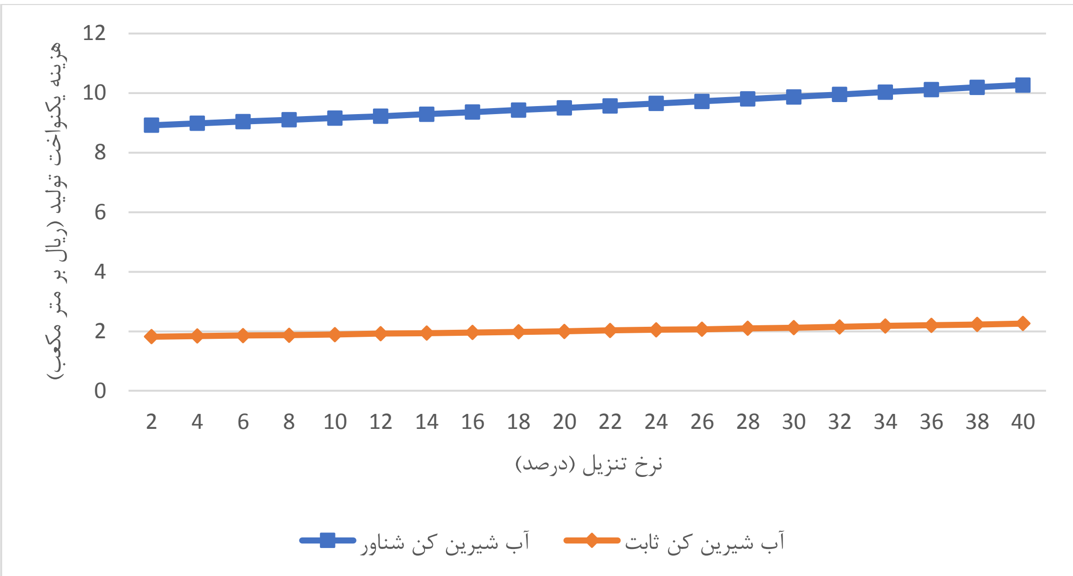
شکل ۲. سهم هر یک از هزینه ها از هزینه تمام شده تولید آب شیرین از فناوری ثابت

Fig. 2. The share of each cost from the total cost of seawater desalination production from fixed technology



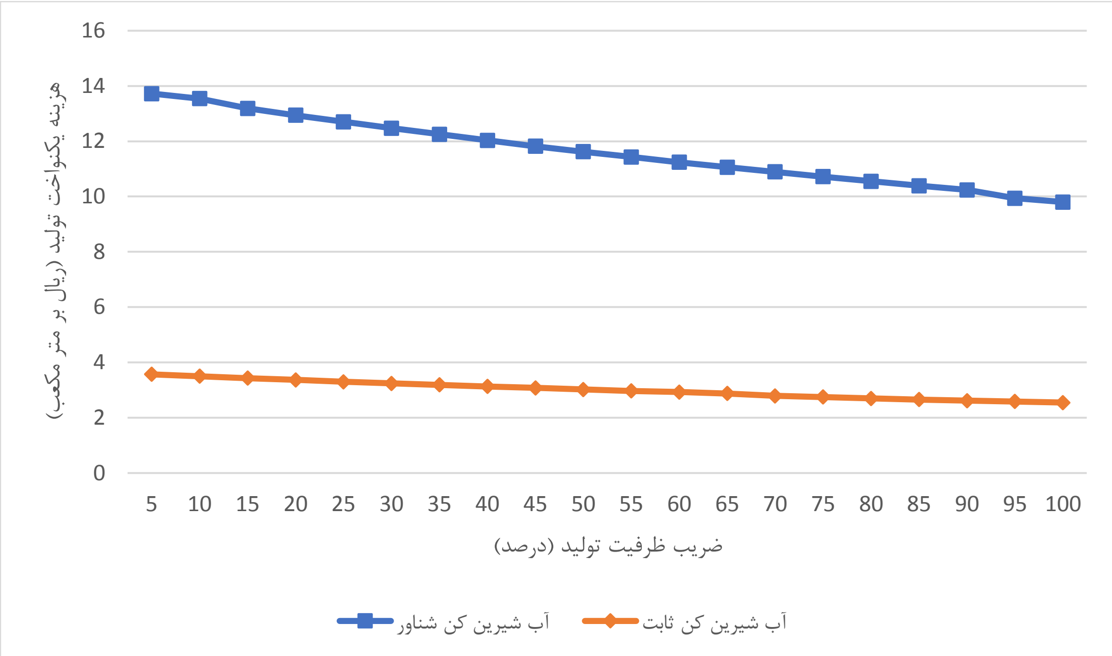
شکل ۳. سهم هر یک از هزینه ها از هزینه تمام شده تولید آب شیرین از فناوری شناور

Fig. 3. The share of each cost from the total cost of seawater desalination production from floating technology



شکل ۴. حساسیت هزینه یکنواخت تولید تحت نرخ تنزیل

Fig. 4. Sensitivity of levelized cost of production under discount rate



شکل ۵. حساسیت هزینه یکنواخت تولید تحت ضریب ظرفیت تولید

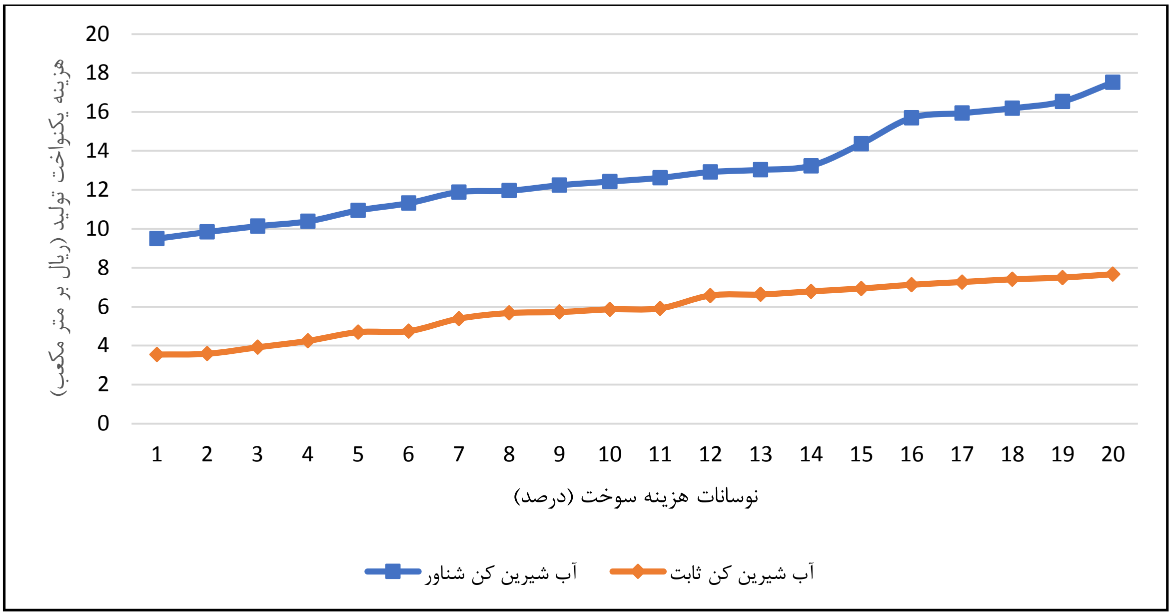
Fig. 5. Sensitivity of levelized cost of production under production capacity factor

به ۲/۲۶ ریال بر متر مکعب افزایش پیدا کرده است (تغییرات ۲۵/۵ درصدی). این عدد در خصوص فناوری شناور از ۸/۹۲ ریال بر متر مکعب به ۱۰/۲۷ ریال بر متر مکعب رسیده است (تغییرات ۱۵ درصدی). حساسیت هزینه یکنواخت فناوری آب شیرین‌کن ثابت بیشتر تحت حساسیت نرخ بهره است. لذا می‌توان گفت فناوری آب شیرین‌کن شناور با در نظر گرفتن ملاحظات نرخ تنزیل گزینه بهتری نسبت به فناوری آب شیرین‌کن ثابت است. همانطور که ملاحظه می‌شود تغییرات نرخ تنزیل در اولویت انتخاب طرح اقتصادی موثر نیست.

در شکل ۵ تحلیل حساسیت بر اساس ضریب ظرفیت تولید انجام شده است. ضریب ظرفیت تولید نسبت تولید انجام شده در بازه زمانی مشخص به تولید اسمی است. هر چه مقدار این فاکتور بیشتر باشد هزینه تمام شده تولید کاهش می‌یابد. فناوری آب شیرین‌کن شناور نسبت به آب شیرین‌کن ثابت تحت حساسیت بیشتری نسبت به فاکتور ضریب ظرفیت است، لیکن تغییرات ضریب ظرفیت دو فناوری موجود اثری بر تغییر اولویت اقتصادی نداشته است. همانگونه که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود با افزایش ظرفیت تولید، هزینه یکنواخت تولید در فناوری ثابت از ۳/۵۷ ریال بر متر مکعب به ۲/۵۵ ریال بر متر مکعب کاهش یافته است. این عدد در خصوص فناوری شناور از ۱۳/۷۲ به ۹/۸ ریال بر متر مکعب رسیده است.

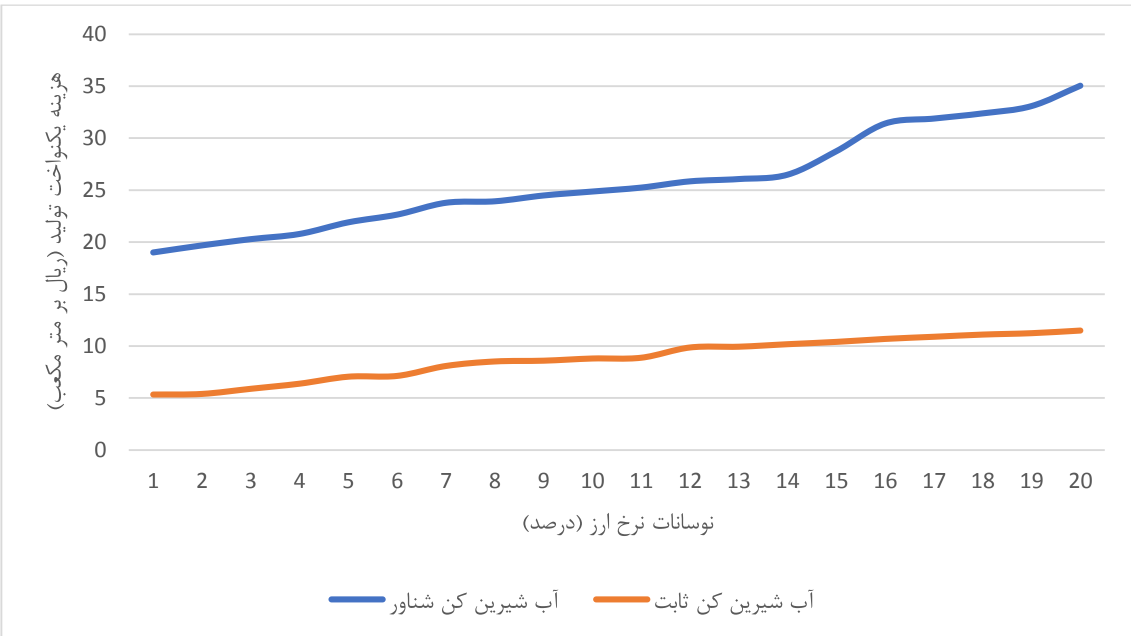
در شکل ۶ تحلیل حساسیت بر اساس نوسانات هزینه سوخت انجام شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است هر چه قدر نوسانات هزینه سوخت بیشتر شود، هزینه تمام شده تولید بیشتر می‌شود. با افزایش نوسانات هزینه سوخت، هزینه یکنواخت تولید در فناوری ثابت از ۳/۵۵ به ۷/۶۷ و در فناوری شناور از ۹/۵ به ۱۷/۵۲ ریال بر متر مکعب رسیده است. همانند شکل نرخ تنزیل و ضریب ظرفیت تولید، فناوری آب شیرین‌کن شناور نسبت به آب شیرین‌کن ثابت تحت حساسیت بیشتری نسبت به نوسانات هزینه سوخت است، لیکن تغییرات این متغیر اثری بر تغییر اولویت اقتصادی نداشته است.

در شکل ۷ تحلیل حساسیت بر اساس نوسانات نرخ ارز انجام شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است هر چه قدر نوسانات نرخ ارز بیشتر شود، هزینه تمام شده تولید بیشتر می‌شود. با افزایش نوسانات نرخ ارز، هزینه یکنواخت تولید در فناوری ثابت از ۱۹ به ۳۵/۴ و در فناوری شناور از ۵/۳۲۵ به ۱۱/۵۰۵ ریال بر متر مکعب رسیده است. همانگونه که در شکل مشخص است، هزینه تمام شده تولید به شدت از نوسانات نرخ ارز تأثیر می‌پذیرد و



شکل ۶. حساسیت هزینه یکنواخت تولید نسبت به نوسانات هزینه سوخت

Fig. 6. Sensitivity of levelized cost of production to escalation rate of fuel cost



شکل ۷. حساسیت هزینه یکنواخت تولید نسبت به نوسانات نرخ ارز

Fig. 7. Sensitivity of levelized cost of production to escalation of exchange rate

این تأثیرپذیری در فناوری آب شیرین‌کن‌های شناور بیشتر از فناوری آب شیرین‌کن ثابت است.

۴- نتیجه‌گیری

امروزه هدف اصلی مدیران و مهندسین کاهش هزینه‌ها است. هزینه‌های عملیاتی شامل هزینه‌های نیروی انسانی، مواد اولیه، انرژی و... بیشترین سهم را در قیمت تمام شده محصول دارند. مهندسین سعی می‌کنند نرخ بهره‌وری را به حداکثر برسانند، از ضایعات بکاهند، راندمان کاری را افزایش دهند و نهایتاً قیمت تمام شده محصول را کاهش و سود را افزایش دهند. بنابراین مدیران و مهندسین دائماً در حال تصمیم‌گیری هستند، تصمیم‌گیری می‌تواند تحت شرایط معین و معلوم یا شرایط احتمالی و نامعلوم باشد. کلیه تصمیم‌گیری‌ها براساس تعیین معیارهای مالی و اقتصادی و استفاده از تکنیک‌های کمی در اقتصاد مهندسی قابل اجرا است.

به طور کلی می‌توان گفت که با بهره‌گیری از «شعار پیش‌گیری به از درمان است» گام اول آن است که ابتدا بایستی نقایص و هدر رفت آب قابل شرب موجود در سراسر کشور به ویژه بخش‌هایی که از بارندگی کمتری برخوردارند، برطرف شود که از طریق بهینه‌سازی الگوی مصرف به ویژه در بخش کشاورزی (که بیشترین سهم مصرف آب شیرین را به خود اختصاص می‌دهد)، آگاه‌سازی مردم برای اصلاح الگوی موجود در مصرف آب توسط تمامی افراد جامعه به ویژه در قالب خانوار و همچنین فرهنگ‌سازی در کل جامعه برای ایجاد روحیه‌ی ملی برای مقابله با بد مصرفی آب قابل انجام است.

گام دوم با توجه به مطالعاتی که صورت گرفت در نهایت از بین انواع و اقسام روش‌های موجود که در شیرین‌سازی آب دریا مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش اسمز معکوس به عنوان رایج‌ترین و در نهایت کم هزینه‌ترین و ساده‌ترین راه از بین تمامی روش‌های موجودی که در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد انتخاب گردید.

همچنین در استفاده از روش‌های گوناگونی که در ارزیابی اقتصادی یک پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد، این نتیجه حاصل شد که از روش ارزش یکنواخت خالص سالیانه با توجه به بخش هزینه‌ها استفاده گردد که این روش در نهایت به دنبال انتخاب پروژه‌ای است که دارای هزینه یکنواخت تولید کمتری نیز باشد.

با توجه به آن که برای پروژه‌های دولتی تنها قیمت نهایی یا به عبارتی دیگر قیمت تمام شده مد نظر است، روش هزینه یکنواخت تولید که به ارزش یکنواخت هزینه‌ها در طول عمر مفید هر کدام از دو پروژه اشاره دارد، انتخاب گردید. در نهایت روش شیرین‌سازی آب دریا در قالب احداث یک کارخانه (آب شیرین‌کن ثابت) در قیاس پروژه آب شیرین‌کن شناور دارای صرفه اقتصادی است و انتخاب نهایی این مطالعه نیز است.

با بررسی‌هایی که صورت گرفت این نتیجه حاصل شد که آب شیرین‌کن در قالب تأسیسات ثابت یا همان احداث کارخانه در منطقه مورد نظر (سواحل مکران) از آب شیرین‌کن در قالب تأسیسات شناور و یا همان کشتی اختصاص داده شده به شیرین‌سازی آب به لحاظ اقتصادی دارای صرفه اقتصادی است.

بنابراین با توجه به منابع غنی که کشورمان در حوزه مناطق آبی دارا است (چه در منطقه شمالی کشور و چه در منطقه جنوبی) می‌توان از چنین پتانسیلی برای نمک‌زدایی آب دریاها استفاده نمود و با تأسیس چندین کارخانه در شمال و جنوب، می‌توان کشور را از مقوله بحران آب به ویژه در آینده‌ای نه چندان دور مصون نگه داشت و با ایجاد انبارهایی در کل کشور به عنوان پایگاه‌هایی آبی، آب‌های شیرین شده قابل شرب را در آن انبارها ذخیره نمود و در نتیجه می‌توان آب شرب را در هر استان یا هر منطقه تقسیم‌بندی شده بر اساس الگویی بهینه به مصرف جامعه رسانید.

منابع

[1] M. Asadi, N.A.S. Abdul Manafi jahromi, Examining the executive framework of desalination and exploitation of sea water, 18871, Islamic Council Research Center, 2023. (In Persian)

[2] A. Ebrahimi, M. Ghanbarian, A. Moridi, Investigation of the structure and technical characteristics of common methods in desalination facilities, in: Iran Water and Wastewater Engineering and Science Congress, University of Tehran, Tehran, 2015. (In Persian)

[3] I.C. Karagiannis, P.G. Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, Desalination, 223(1-3) (2008) 448-456.

[4] K. Madani, Water management in Iran: what is causing the looming crisis?, Journal of environmental studies sciences, 4 (2014) 315-328.

[5] H. Rouhani, Iran’s national security and economic system, 4th ed., Strategic Research Center, Tehran, 2011. (In Persian)

[6] S.A. Mirbagheri, K. Dehghan, M. Aalam, economic

Iran, Desalination, 222(1-3) (2008) 639-645.

[17] R. Kamali, A. Abbassi, S.S. Vanini, M.S. Avval, Thermodynamic design and parametric study of MED-TVC, Desalination, 222(1-3) (2008) 596-604.

[18] Z. Gomar, H. Heidary, M. Davoudi, Techno-economics study to select optimum desalination plant for asalouyeh combined cycle power plant in iran, World Academy of Science, Engineering Technology, 51. (2011)

[19] H. Mokhtari, H. Ahmadisedigh, I. Ebrahimi, Comparative 4E analysis for solar desalinated water production by utilizing organic fluid and water, Desalination, 377 (2016) 108-122.

[20] A. Rezaei, A. Naserbeagi, G. Alahyarizadeh, M. Aghaie, Economic evaluation of Qeshm island MED-desalination plant coupling with different energy sources including fossils and nuclear power plants, Desalination, 422 (2017) 101-112.

[21] E. Jones, M. Qadir, M.T. van Vliet, V. Smakhtin, S.-m. Kang, The state of desalination and brine production: A global outlook, Science of the Total Environment, 657 (2019) 1343-1356.

[22] D.E. Abozaid, M.O. Abdelaziz, M.E. Ali, H.A. Shawky, E. Oterkus, Investment efficiency of floating platforms desalination technology in Egypt, Desalination Water Treatment, (In press). (2020)

[23] Y.D. Ahdab, J.H. Lienhard, Chapter 41 - Desalination of brackish groundwater to improve water quality and water supply, in: A. Mukherjee, B.R. Scanlon, A. Aureli, S. Langan, H. Guo, A.A. McKenzie (Eds.) Global Groundwater, Elsevier, 2021, pp. 559-575.

[24] A.V. Nair, V.G. Gude, Desalination and sustainability, in: Water and Climate Change, Elsevier, 2022, pp. 197-213.

[25] M. Oskounejad, Engineering Economy: Economic Evaluation of industrial projects, 46th ed., Amirkabir University of Technology Publication, Tehran, 2017. (In Persian)

[26] D.G. Newnan, T.G. Eschenbach, J.P. Lavelle, Engineering economic analysis, Oxford University Press, 2004.

analysis of different methods of desalination of salty waters and salty lips based on the amount of energy consumed, in: Iran Water and Wastewater Engineering and Science Congress, University of Tehran, Tehran, 2015. (In Persian)

[7] A. Gholami, M.H. Jahangir, An overview of the process of sea water desalination by gas hydrate method, in: The first regional conference on the sea, development, and water resources of the coastal areas of the Persian Gulf, 2014. (In Persian)

[8] K. Hajatpour, I. Moslehi, Investigating the importance of using membrane pre-treatment in sea water treatment plants with reverse osmosis method, in: National conference on optimal water use in industry, challenges and solutions, Isfahan, 2014. (In Persian)

[9] D.E. Nordell, Forced duty cycling of air conditioning units for load management, IEEE transactions on power systems, 2(4) (1987) 1110-1116.

[10] M. Gustafsson, A. Biel, T. Garling, Outcome-desirability bias in resource management problems, Thinking reasoning, 5(4) (1999) 327-337.

[11] A.M. El-Nashar, Cogeneration for power and desalination—state of the art review, Desalination, 134(1-3) (2001) 7-28.

[12] M.A. El Saie, Y.M.A. El Saie, H. El Gabry, Techno-economic study for combined cycle power generation with desalination plants at Sharm El Sheikh, Desalination, 153(1-3) (2003) 191-198.

[13] T. Younos, K.E. Tulou, Overview of desalination techniques, Journal of Contemporary Water Research Education, 132(1) (2005) 3-10.

[14] P. Lisbona, J. Uche, L. Serra, High-temperature fuel cells for fresh water production, Desalination, 182(1-3) (2005) 471-482.

[15] J. Lindblom, B. Nordell, Underground condensation of humid air for drinking water production and subsurface irrigation, Desalination, 203(1-3) (2007) 417-434.

[16] R. Kamali, S. Mohebinia, Experience of design and optimization of multi-effects desalination systems in

[27] S.M. Mousavi, M.B. Ghanbarabadi, N.B. Moghadam, The competitiveness of wind power compared to existing methods of electricity generation in Iran, Energy policy, 42 (2012) 651-656.

[28] G.H. Gessinger, Materials and innovative product development: using common sense, Butterworth-Heinemann, 2009.

[29] S. Reichelstein, A. Rohlfing-Bastian, Levelized product cost: Concept and decision relevance, The Accounting Review, 90(4) (2015) 1653-1682.

[30] U. Eia, Levelized cost and levelized avoided cost of new generation resources in the annual energy outlook 2016, Washington DC, USA, 2016.

[31] M.o. Energy, Planning the structure of electric energy supply and setting up the required information base, 2011. (In Persian)

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

H. Amiri, M. H. Karim, Economic evaluation of fixed and floating desalination plants on the shores of Makran, Amirkabir J. Mech Eng., 55(9) (2023) 1045-1062.

DOI: 10.22060/mej.2024.22288.7595

این صفحه عمداً خالی است