

# محاسبه هزینه‌های فرایندهای غشائی در صنعت نمکزدائی از آب و مقایسه آن با فرایندهای مشابه در ایران و جهان

سید سیاوش مدائنی<sup>\*</sup>، معصوم معصومی، وحید کاظمی

کرمانشاه، دانشگاه رازی، دانشکده فنی، بخش مهندسی شیمی

پیام‌نگار: smadaeni@yahoo.com

## چکیده

در این مقاله هزینه‌های فرایند غشایی اسمز معکوس در ایران جهت تصفیه آبهای سطحی و آب دریا با هم مقایسه شده‌اند. همچنین، هزینه‌های فناوری غشائی اسمز معکوس و فناوری حرارتی تقطیر کننده‌های چند اثر (MED)<sup>۱</sup> در ایران با همدیگر مقایسه شده‌اند. پارامترهای مقایسه بر اساس قیمت‌ها در ایران ارائه شده‌اند. هزینه‌های فرایند غشائی با روش وربن و ووترز<sup>۲</sup> و هزینه‌های فرایند تقطیری با روش هیشام اتونی<sup>۳</sup> محاسبه شده‌اند. در این مقاله همچنین مقایسه‌ای بین هزینه‌های فرایند غشائی در ایران و کشورهای اروپایی صورت گرفته است.

بر اساس محاسبات صورت گرفته با استفاده از غشاء هزینه تصفیه آب دریا بیشتر از آبهای سطحی بدست آمد، همچنین هزینه‌های عملیاتی، ثابت و در نتیجه هزینه‌های کل برای فناوری غشائی کمتر از هزینه‌های فناوری تقطیری است. هزینه‌های ثابت در ایران گرانتر از کشورهای اروپایی اما هزینه‌های عملیاتی در ایران کمتر از کشورهای اروپایی است.

**کلمات کلیدی:** اسمز معکوس، تقطیر، هزینه‌های جاری، هزینه‌های ثابت

## ۱- مقدمه

سطحی، لزوم استفاده از منابع غیر قابل شرب احساس نمی‌شد، اما امروزه با کاهش این منابع و افزایش جمعیت جهان لزوم یافتن روشهایی جهت تصفیه و نمکزدایی آبها احساس می‌شود. تا سال ۱۹۸۵ استفاده چندانی از نمکزدائی آب نمی‌شد اما بعد از سال ۱۹۹۲ با رشد بالایی از تولید و استفاده از این سیستمها مواجه هستیم، به طوری که در فاصله سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ افزایش ۴۰ میلیون گالن در روز در میزان ظرفیت طراحی شده حاصل گردید [۱]. فناوری‌هایی که برای نمکزدایی استفاده می‌شوند، شامل فناوری‌های غشایی و فناوری‌های گرمایی می‌باشند.

نمکزدائی<sup>۴</sup> فرایندی برای رفع نمکهای موجود در آبهای سطحی و یا آبهای شور مزه به منظور مناسب‌سازی آنها برای مصارف صنعتی، آزمایشگاهی و خانگی است. از این روش به طور گسترده و جهانی و به ویژه در جاهایی که کمبود آب وجود دارد مثل خاورمیانه استفاده می‌شود. در دهه‌های قبل به علت وجود منابع آبی زیر زمینی و

1. Multi Effect Distillation
2. Verberne and Wouters
3. Hisham Ettouney
4. Desalination

## ۲- فناوری‌های نمکزدائی از آب

### ۱-۲ فناوری‌های نمکزدائی گرمایی

در فناوری‌های نمکزدائی گرمایی از فرایندهای تقطیر برای جداسازی نمک از آب شور استفاده می‌شود. سه روش اصلی گرمایشی وجود دارد که عبارتند از: MSF<sup>۱</sup> و MED<sup>۲</sup> و VC<sup>۳</sup>. در این تحقیق روش گرمایی که مورد ارزیابی قرار گرفته است روش MED است. در این فرایند، عمل تبخیر با استفاده از جوشاندن انجام می‌شود. کندانس کردن و تبخیر همراه با کاهش تدریجی فشار در ظرفهای مختلف صورت می‌گیرد که توسط محفظه‌ی خلاء بوجود می‌آید. آب ورودی به صورت اسپری به تبادلگرهای گرمایی پاشیده می‌شود. محصول، جریان بخار خواهد بود و محلول نمکی وارد مرحله‌ی بعد می‌شود [۲].

### ۲-۲ فناوری‌های غشایی

در این فناوری، جداسازی نمکهای آب با استفاده از نیروی محرکه فشاری صورت می‌گیرد. با عبور دادن آب شور از غشاء، نمک آب گرفته می‌شود. این فناوری، در مقایسه با فناوری‌های گرمایی، جوانتر است. فناوری غشائی در این صنعت، برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ (با استفاده از الکترودیالیز) و بعداً در سال ۱۹۷۰ (با استفاده از روش اسمز معکوس) مورد استفاده قرار گرفت [۲]. دو روش عمده‌ی غشایی به کار رفته برای نمکزدائی، الکترودیالیز و اسمز معکوس می‌باشند. در این تحقیق روش غشائی اسمز معکوس مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## ۳- روش محاسبه هزینه‌ها

### ۱-۳ محاسبه هزینه‌ها در فرایندهای غشائی

از روش وربن و ووترز<sup>۴</sup> جهت محاسبه هزینه‌های فرایندهای غشائی استفاده شده است. در این روش، هزینه کل به صورت مجموعه‌ای از پارامترهای هزینه‌ای نوشته می‌شود [۳].

$$C_{total} = C_{capital} + C_{maint} + C_{energy} + C_{chem} + C_{manpow} + C_{deprec} + C_{instal} + C_{q.c.} + C_{other} \quad (1)$$

در این رابطه:

$C_{capital}$ : هزینه ثابت به ازای هر متر مکعب محصول

$C_{maint}$ : هزینه تعمیرات و لوازم یدکی

$C_{energy}$ : هزینه تأمین انرژی

$C_{chem}$ : هزینه مواد شیمیایی

$C_{manpow}$ : هزینه نیروی انسانی

$C_{deprec}$ : هزینه استهلاک

$C_{instal}$ : هزینه عملیات نصب

$C_{q.c.}$ : هزینه کنترل کیفی

$C_{other}$ : هزینه‌های دیگر مانند هزینه‌های پیش‌بینی نشده

در رابطه ۱ هزینه‌های ثابت با واحد دلار و هزینه‌های عملیاتی با واحد دلار بر متر مکعب محصول، بیان شده‌اند. برای جمع کردن دو هزینه ثابت و عملیاتی، باید واحدهای دو کمیت، مشابه باشند و لذا هزینه‌های ثابت بر حجم محصول بدست آمده در طول عمر دستگاه (غشاء) تقسیم گردیده است.

۱-۳-۱ هزینه‌های ثابت<sup>۵</sup>: هزینه لازم برای سرمایه‌گذاری و خرید دستگاهها و سایر خریدها و شامل موارد مختلفی به صورت زیر می‌باشد:

$$C_{capital} = C_{civil} + C_{mechanical} + C_{electrotechnical} + C_{memb} \quad (2)$$

در این رابطه:

$C_{civil}$ : هزینه‌های ساختمانی

$C_{mechanical}$ : هزینه‌های مکانیکی

$C_{electrotechnical}$ : هزینه‌های الکتریکی

$C_{memb}$ : هزینه خرید غشاء

۱-۳-۲ هزینه‌های ساختمانی<sup>۶</sup>: هزینه سرمایه‌گذاری داخلی مثل سرمایه جهت زمین، محوطه لازم و... با دوره استهلاک ۳۰ ساله است [۳].

$$C_{civil} = 862Q_f + 1239n \quad (3)$$

در این روابط:

$Q_f$ : شدت جریان خوراک

$n$ : تعداد مدولها

5. Capital Cost  
6. Civil Investment

1. Multi Stage Flash  
2. Multi Effect Distillation  
3. Vapor Compression  
4. Verberne & Wouters

$$C_{\text{maint}} = 0.02C_{\text{capital}} \quad (8)$$

۳-۱-۸ هزینه مواد شیمیایی<sup>۶</sup>: مربوط به کل مواد شیمیایی به کار رفته در فرایند است که برحسب مواد شیمیایی به کار رفته در آزمایش‌ها و تمیز کاریها و رفع گرفتگی‌ها محاسبه می‌شود. این هزینه در واحدهای غشایی که در حالت بهینه کار می‌کنند اکثراً عددی بین ۰.۲۵ و ۰.۳۵ دلار به ازای هر متر مکعب خوراک است. در حقیقت این هزینه تابعی از میزان شدت جریان خوراک است [۳].

$$C_{\text{chemical}} = 0.023Q_f \quad (9)$$

۳-۱-۹ هزینه نیروی انسانی<sup>۷</sup>: هزینه نیروی انسانی به کار گرفته شده در طول فرایند به صورت حقوق میانگین کارکنان یعنی ۱۵ دلار در روز (۸ ساعت کاری در روز) در نظر گرفته می‌شود [۳].

۳-۱-۱۰ هزینه کنترل کیفی<sup>۸</sup>: هزینه کنترل کیفی محصول و آزمایشگاههاست که دو درصد  $C_{\text{capital}}$  (هزینه ثابت) در نظر گرفته می‌شود [۳].

$$C_{\text{q.c.}} = 0.02C_{\text{capital}} \quad (10)$$

۳-۱-۱۱ هزینه عملیات نصب<sup>۹</sup>: هزینه نصب تجهیزات که در صنایع غشایی دو درصد  $C_{\text{capital}}$  (هزینه ثابت) در نظر گرفته می‌شود [۳].

$$C_{\text{instalation}} = 0.02C_{\text{capital}} \quad (11)$$

۳-۱-۱۲ هزینه استهلاک<sup>۱۰</sup>: هزینه استهلاک تجهیزات و ساختمانهای مورد استفاده که به ازای طول عمر آنها محاسبه می‌شود. در رابطه (۱۲) طول عمر ساختمانها ۳۰ سال در نظر گرفته شده است. طول عمر تجهیزات فنی مهندسی و مکانیکی و الکتریکی ۱۵ سال و برای غشاء ۵ سال در نظر گرفته می‌شود [۳].

۳-۱-۳ هزینه‌های مکانیکی<sup>۱</sup>: هزینه‌های لازم برای پمپ‌ها و لوله کشی و فیلترها و... با دوره استهلاک ۱۵ ساله است [۳].

$$C_{\text{mechanical}} = 3608Q_f + 908n \quad (4)$$

۳-۱-۴ هزینه‌های الکتریکی<sup>۲</sup>: مثل هزینه‌هایی برای لوازم الکتریکی و لوازم جهت مهندسی کنترل و سایر اجزای الکتریکی است [۳].

$$C_{\text{electrotechnical}} = 1.4 * 10^6 + 54PQ_f \quad (5)$$

۳-۱-۵ سرمایه گذاری برای غشاء<sup>۳</sup>: شامل هزینه برای خرید غشاءها، مدول‌های غشایی و ظروف تحت فشار است [۳].

$$C_{\text{memb}} = 1000n \quad (6)$$

۳-۱-۶ هزینه انرژی<sup>۴</sup>: بخش عمده انرژی الکتریکی به مصرف پمپ‌ها می‌رسد. بنابراین به علت ناچیز بودن مصرف انرژی برق توسط دیگر وسایل و تجهیزات از محاسبه هزینه آنها صرف نظر می‌شود [۳].

$$C_{\text{energy}} = \left[ \frac{\Delta P_k (\text{kPa}) * Q_f (\text{m}^3 / \text{s})}{\eta} + \frac{\Delta P_k * Q_R}{\eta} \right] * \left( \frac{\text{electricity rate} (\$/\text{kwh})}{1000} \right) \quad (7)$$

در این روابط:

$Q_R$ : دبی پس ماند

$\eta$ : بازدهی پمپ‌ها

$\Delta P_k$ : اختلاف فشار پمپ k ام. در صورتی که از چند پمپ استفاده شود، هزینه هر کدام محاسبه و در نهایت با همدیگر جمع می‌شوند.

Electricity rate: قیمت برق بازای هر کیلووات ساعت

۳-۱-۷ هزینه لوازم یدکی و تعمیرات<sup>۵</sup>: هزینه تعمیرات به مقدار دو درصد  $C_{\text{capital}}$  (هزینه ثابت) فرض می‌شود که شامل هزینه تعمیرات و هزینه لوازم یدکی برای دستگاههای بکار رفته در فرایند است [۳].

6. Chemical Cost
7. Manpower Cost
8. Quality Control Cost
9. Operation of Installation
10. Depreciation Cost

1. Mechanical Engineering
2. Electrotechnical Cost
3. Membrane Investment
4. Cost of Energy
5. Maintenance and Spares Cost

[۳]

$$a = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0.05(1+0.05)^{30}}{(1+0.05)^{30} - 1} = 0.065051y^{-1}$$

(۱۴)

هزینه‌های ثابت سالیانه از رابطه (۱۵) به دست می‌آید [۴].

$$A_1 = a * c_d \quad (15)$$

هزینه جریان گرمایشی سالیانه از رابطه (۱۶) به دست می‌آید [۴].

$$A_2 = (c_s * \lambda * f * \varepsilon * M_d * 365) / (1000 * PR) \quad (16)$$

هزینه برای مصرف توان الکتریکی سالیانه از رابطه (۱۷) به دست می‌آید [۴].

$$A_3 = c_e * w * f * \varepsilon * M_d * 365 \quad (17)$$

هزینه شیمیایی سالیانه از رابطه (۱۸) به دست می‌آید [۴].

$$A_4 = c_k * f * \varepsilon * M_d * 365 \quad (18)$$

هزینه کارگری سالیانه از رابطه (۱۹) به دست می‌آید [۴].

$$A_5 = c_1 * f * \varepsilon * M_d * 365 \quad (19)$$

هزینه تعمیراتی سالیانه از رابطه (۲۰) به دست می‌آید [۴].

$$A_6 = x * a * c_d \quad (20)$$

هزینه کل سالیانه با واحد \$/y از رابطه (۲۱) به دست می‌آید [۴].

$$A_t = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 \quad (21)$$

هزینه کل واحد تولید با واحد \$/m<sup>3</sup> از رابطه (۲۲) به دست می‌آید [۴].

$$A_s = A_t / (f * \varepsilon * M_d * 365) \quad (22)$$

$$C_{deprec} = \frac{C_{civil}}{30} + \left( \frac{C_{mech} + C_{electro}}{15} \right) + \frac{C_{memb}}{5} \quad (12)$$

در رابطه (۱۲) قیمت تجهیزات و غشاء مستهلک، صفر در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-۱۳ هزینه‌های پیش‌بینی نشده: مهندسان طراح در طی طراحی و احداث و بهره برداری از یک فرایند باید مبلغی را برای حوادث غیر مترقبه مانند سیل و زلزله و یا حوادث احتمالی دیگر در نظر بگیرند. هزینه‌های پیش‌بینی نشده احتمالی پروژه ۱۵ درصد C<sub>capital</sub> (هزینه ثابت) را به خود اختصاص می‌دهد [۳].

$$C_{predict} = 0.15C_{capital} \quad (13)$$

در این روش Q<sub>F</sub> و Q<sub>R</sub> با واحد m<sup>3</sup>/s و ΔP با واحد bar و هزینه‌ها بر حسب دلار هستند [۳].

### ۳-۲ محاسبه هزینه‌ها در فرایندهای گرمایشی

برای ارزیابی هزینه‌های فرایند تقطیری از روش هشام اتونی استفاده شده است.

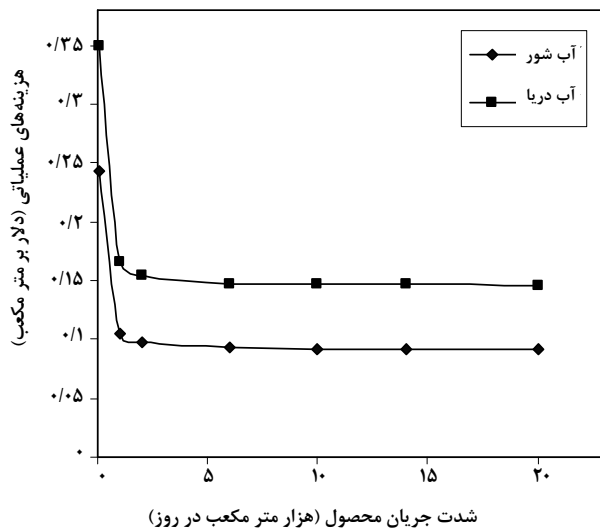
M<sub>d</sub> ظرفیت تولید (تقطیر) و N طول عمر دستگاه است که ۳۰ سال در نظر گرفته می‌شود. C<sub>e</sub> هزینه مصرف انرژی الکتریکی است که در ایران ۰/۰۵ \$/kwh در نظر گرفته می‌شود. C<sub>s</sub> هزینه گرمایشی جریان بخار است که در حدود ۱/۵ \$/MkJ در نظر گرفته می‌شود. نسبت کارایی (PR)، که برابر (M<sub>d</sub>/M<sub>m</sub>) است، کیلوگرم محصول بر هر کیلو گرم جریان بخار در نظر گرفته می‌شود. گرمای نهان یا λ، برای جریان بخار در ۷۰ درجه سانتی گراد، ۲۳۳۳/۹ کیلوژول بر کیلوگرم است. هزینه ویژه نیروی انسانی عملیاتی یا C<sub>1</sub> برابر ۰/۱ \$/m<sup>3</sup> در نظر گرفته می‌شود [۴]. شدت سرمایه گذاری i، مساوی ۵ درصد است. در دسترس پذیری دستگاه یا f، مساوی ۰/۹ است. بازدهی تولید یا ε، مساوی ۹۰ درصد در نظر گرفته می‌شود [۵]. مصرف ویژه توان الکتریکی یا w، برابر ۳ kWh/m<sup>3</sup> در نظر گرفته می‌شود [۵]. هزینه ویژه شیمیایی یا C<sub>k</sub>، مساوی ۰/۰۲۵ \$/m<sup>3</sup> در نظر گرفته می‌شود.

فاکتور سرمایه گذاری با واحد y<sup>-1</sup> از رابطه (۱۴) به دست می‌آید

1. Project Contingency

## ۴- ارزیابی و مقایسه

می‌شوند. باید مقایسه‌ای بین فناوری غشائی و فناوری‌های متداول صورت گرفته و تعیین شود که کدام فناوری مقرون به صرفه تر است. همچنین مقایسه ای بین هزینه‌های این فناوری در ایران و خارج از کشور صورت گیرد و تعیین شود که این فناوری در ایران یا در خارج از ایران ارزاتر تمام می‌شود.

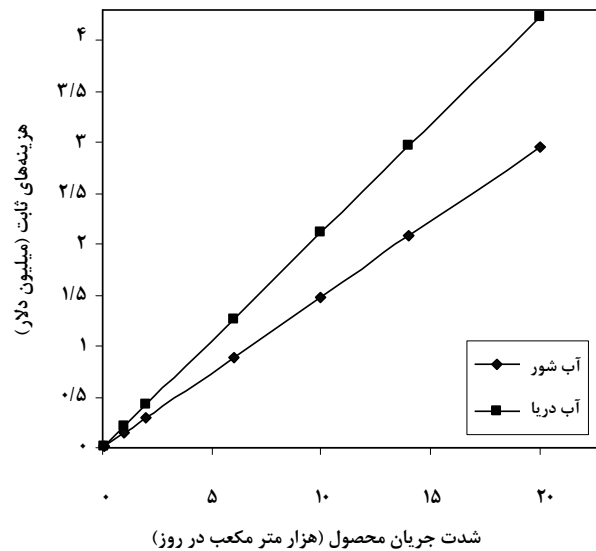


شکل ۲- هزینه عملیاتی در نمکزدایی آب شور و آب دریا با استفاده از غشاء در ایران

در مقایسه هزینه‌های فناوری غشائی در ایران و اروپا، ابتدا هزینه‌های ثابت مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نتایج ارزیابی‌ها بصورت شکل (۳) می‌باشد. میزان اختلاف فشار لازم برای نمکزدایی آب شور ۱۷ تا ۲۷bar است. میزان شار در هنگام نمکزدایی آب شور مزه در حدود  $20 \text{ l/m}^2\text{h}$  است. غشاءهای مورد استفاده با طول عمر مفید دو سال در نظر گرفته شده اند.

در شکل (۳) هزینه‌های ثابت در ایران و در کشورهای اروپائی مقایسه شده‌اند. برای به دست آوردن هزینه‌های ثابت، قیمت هر مدول غشائی در ایران، بیشتر از قیمت آن در اروپا در نظر گرفته شده که شامل هزینه‌های حمل غشاء به ایران، هزینه‌های گمرکی و مالیات می‌باشد. بنابراین در رابطه (۶) به جای ضریب ۱۰۰۰ برای هر مدول غشائی (با احتساب هزینه‌های ایران)، ضریب ۱۱۰۰ قرار داده شده است. بقیه روابط نیز بصورت مضاربی از هزینه ثابت بدست می‌آیند.

در صنعت نمکزدایی با استفاده از تکنولوژی غشائی اسمز معکوس، آبهای سطحی شور مزه و آب دریا دو نوع خوراک مورد استفاده هستند. در صورت بکار بردن هر کدام از این آبها به عنوان آب خوراک، هزینه‌های متفاوتی حاصل می‌شود. نتیجه مقایسه هزینه‌های ثابت این دو نوع آب خوراک بر اساس ظرفیت دستگاه در شکل (۱) ارائه شده است. در این ارزیابیها کاهش ۷۰ درصدی کل جامدات نامحلول (TDS)<sup>۱</sup> مدنظر بوده است. میزان اختلاف فشار لازم برای نمکزدایی آب شور ۱۷ تا ۲۷bar است. شار در فرایند نمکزدایی آب شور مزه  $20 \text{ l/m}^2\text{h}$  و طول عمر مفید غشاءهای مورد استفاده دو سال در نظر گرفته شده اند.



شکل ۱- هزینه ثابت در نمکزدایی آب شور و آب دریا با استفاده از غشاء در ایران

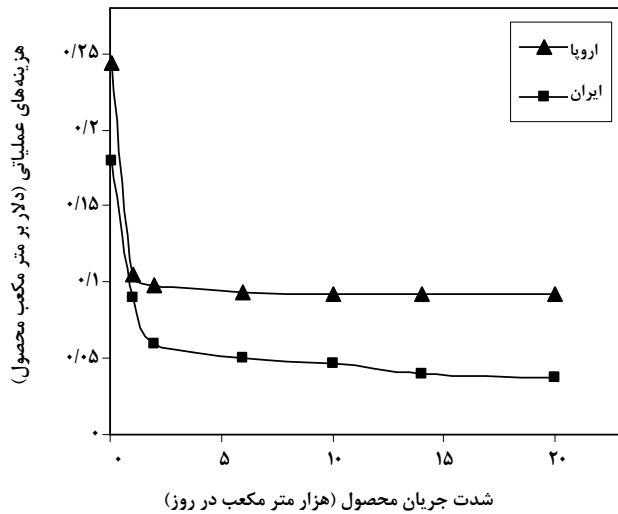
به علت بالا بودن میزان شور بودن آب دریا در مقایسه با آب سطحی، هزینه‌های ثابت بیشتری مورد نیاز است. هزینه‌های عملیاتی برای این دو نوع خوراک، در شکل (۲) ارائه شده است.

هزینه‌های عملیاتی برای آبهای شور مزه در سطح پایین تری در مقایسه با هزینه‌های عملیاتی آب دریا قرار دارند، که این هم در نتیجه شور بودن بیشتر آب دریاست.

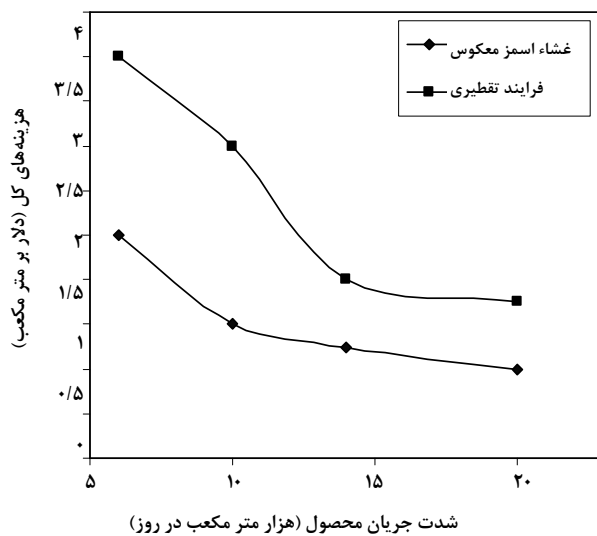
طراحان و سرمایه گذاران در ارزیابی هزینه‌ها با دو نوع مقایسه مواجه

1. Total Dissolved Solids

روش غشائی دارد. در شکل (۵) هزینه‌های کلی دو فناوری با هم مقایسه شده‌اند. این نمودار برای آب خوراک شور مزه رسم شده است.

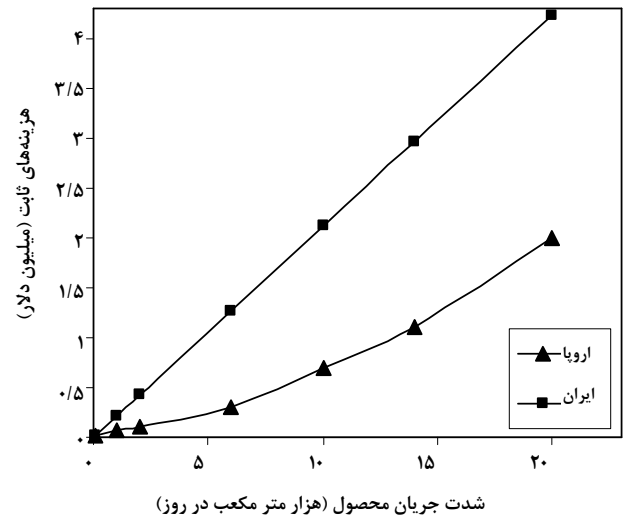


شکل ۳- مقایسه هزینه‌های ثابت فرایندهای غشائی در ایران و اروپا



شکل ۴- مقایسه هزینه‌های عملیاتی فرایندهای غشائی در ایران و اروپا

این مقایسه روشن می‌کند که هزینه‌های کلی تولید در فرایندهای غشائی تا حد قابل توجهی کمتر از فرایند تقطیری است. لازم به ذکر است که اختلاف دو هزینه در ظرفیت‌های پایین‌تر، بیشتر است.



شکل ۳- مقایسه هزینه‌های ثابت فرایندهای غشائی در ایران و اروپا

همانطور که ملاحظه می‌شود هزینه‌های سرمایه گذاری در این صنعت در ایران گرانتر از کشورهای اروپایی است. به علت وارداتی بودن تجهیزات غشایی و تعرفه‌های گمرکی، هزینه لازم برای سرمایه گذاری در ایران گرانتر از کشورهای اروپایی تمام می‌شود. مشخص است که هزینه انتقال تجهیزات به ایران نیز تأثیر مستقیمی بر روی هزینه‌ها دارد. اگر امکان ساخت این تجهیزات در داخل وجود داشته باشد، کاهش قابل توجهی در هزینه‌های سرمایه گذاری ایجاد می‌شود.

علاوه بر هزینه‌های ثابت، هزینه‌های عملیاتی نیز نقش مهمی در مقایسه دارند. بر اساس داده‌هایی که برای محاسبه هزینه‌های پس از بهره برداری در خارج استفاده شده، هزینه‌های عملیاتی در ایران محاسبه شده اند. نتایج ارزیابی‌ها بصورت شکل (۴) می‌باشد.

مشاهده می‌شود که بر خلاف هزینه‌های ثابت، هزینه‌های عملیاتی در ایران کمتر از هزینه‌های مربوطه در اروپا است. این امر به علت ارزان بودن هزینه‌های مربوط به نیروی انسانی و کمتر بودن هزینه‌های مربوط به تأمین انرژی (که سهم عمده ای از هزینه‌های کل را به خود اختصاص می‌دهد) می‌باشد. هزینه‌های این نمودارها در طی ۲۰ سال کاری دستگاهها مورد ارزیابی قرار گرفته اند.

مرحله بعدی ارزیابی، مقایسه بین هزینه‌های فناوری غشائی با فناوری‌های متداول است. فناوری مورد بحث در این مقاله فناوری حرارتی-تقطیری MED است. علاوه بر مزایایی که روش غشائی نسبت به فناوری MED دارد، بررسیهای اقتصادی نیز نشان از برتری کامل

## ۵- نتیجه گیری

## مراجع

- [1] Nicot J. Ph., Walden S., Greenlee L., A Desalination Database for Texas, prepared for: Texas Water Development Board, Bureau of Economic Geology, (2005). ([http://www.beg.utexas.edu/environqlty/desalination/Final%20Report\\_R1\\_1.pdf](http://www.beg.utexas.edu/environqlty/desalination/Final%20Report_R1_1.pdf))
- [2] A Guidebook, "Introduction of Nuclear Desalination", International Atomic Energy Agency, Vienna, (2000). [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS400\\_scr.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS400_scr.pdf)
- [3] Nora'aini A., Wahab Mohammad A., Ahmad A.L., "Use of Nanofiltration Predictive Model for Membrane Selection and System Cost Assessment", Separation and Purification Technology, 41, 29-37., (2005).
- [4] Kamarudin S.K., Daud W.R.W., Som A.M., Takriff M.S., Mohammad A.W., "Technical design and economic evaluation of a PEM fuel cell system", Journal of Power Sources, 157, 641-649, (2006).
- [۵] بر اساس داده‌های واحد پتروشیمی فجر، بصورت شفاهی (۱۳۸۶).
- [6] Department of Natural Resources and Mines, Desalination In Queensland, Final Report, (2003). ([http://www.nrw.qld.gov.au/compliance/wic/pdf/reports/urban\\_wateruse/desalinationqldpart.pdf](http://www.nrw.qld.gov.au/compliance/wic/pdf/reports/urban_wateruse/desalinationqldpart.pdf))

در مقایسه هزینه‌های نمکزدائی از آب در ایران و اروپا روشن شد که هزینه‌های ثابت در ایران بالاتر است. کمتر بودن هزینه‌های عملیاتی در ایران، در مقایسه با اروپا نیز نمی‌تواند اثر این افزایش هزینه‌ها را خنثی کند و در مجموع، اثر هزینه‌های عملیاتی روی هزینه‌های کل، تنها باعث کمتر شدن این اختلاف می‌شود. باید توجه شود که اگر امکان ساخت غشاء در داخل کشور بوجود آید تا حد زیادی می‌توان در میزان هزینه‌ها صرفه جویی کرد و با این کار هزینه‌های سرمایه‌گذاری و در نهایت هزینه‌های کلی فرایند در ایران ارزانتر از اروپا تمام می‌شود. در مقایسه هزینه‌های نمکزدائی بین فناوری غشائی و فناوری تقطیری، هزینه‌های سرمایه‌گذاری (رابطه (۱۵)) در فناوری غشائی کمتر از فناوری تقطیری است. از طرف دیگر هزینه‌های بعد از بهره‌برداری (روابط (۱۶) تا (۲۰)) در غشاءها نیز کمتر از صنایع تقطیری می‌باشد [۶]. در نهایت مجموع این دو هزینه در صنایع غشائی کمتر از صنایع گرمایشی است.

در ایران دسترسی به انرژی، راحت‌تر است و نیروی انسانی ارزانتری وجود دارد بنابراین هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری از اهمیت بالاتری در مقایسه با هزینه‌های عملیاتی برخوردار خواهد بود. نکته بسیار مهم دیگر، کاهش روزافزون قیمت‌های غشاءها و هزینه‌های آن در جهان است. این امر مرهون نتیجه پیشرفت روش‌های ساخت غشاءهای مناسبتر است. این، در حالی است که تغییرات چندانی در هزینه‌ها و قیمت‌های سایر فناوری‌های مشابه دیده نمی‌شود، حتی در برخی موارد، آنها گرانتر هم می‌شوند. به طوری که مرجع cost index نیز اشاره به کاهش سالیانه قیمت‌های غشائی دارد و این، در حالی است که همین مرجع به افزایش قیمت‌های سایر فناوریها اشاره می‌کند. این امر تنها محدود به صنایع نمکزدائی نیست بلکه در اکثر صنایعی که فناوری غشائی در آن کاربرد دارد، صدق می‌کند.