

مدل سازی آب شیرین کن تقطیرچند مرحله ای با فشرده سازی بخار

افشین خامدی^۱، هادی کارگر شریف آباد^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

*Semenan, صندوق پستی ۳۵۱۴۵-۱۷۹، h.kargar@semnaniau.ac.ir

چکیده

با توجه به نیاز روز افزون انسان به آب آشامیدنی و وجود محدودیت در منابع قابل دسترس آب آشامیدنی، تصفیه آب با روشی مقرون به صرفه و بهینه از نظر اقتصادی و مصرف انرژی بسیار اهمیت دارد. در تمام فرآیندها برای تصفیه آب و تهیه آب خالص باید انرژی صرف شود، از آنجا که منابع قابل دسترس انرژی نیز محدود می باشد محققان همیشه در تلاش برای شناسایی بهترین روش برای تصفیه آب از نظر هزینه مصرف انرژی هستند، آنها همچنین برای به حداقل رساندن هزینه آب آشامیدنی از تحلیل های ترمودینامیک استفاده می کنند. در این مقاله در میان انواع روش های تصفیه چند مرحله ای نوع با خوراک موازی و با تخلیه کننده بخار مورد تحلیل ترمودینامیک و انرژی قرار گرفته است. و برای به حداقل رساندن هزینه تصفیه آب، با استفاده از روابط ترمودینامیکی و ترمودینامیکی در حالت های با اجکتور بخار و بدون آن در تعداد مراحل مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار می گیرد و در نهایت مشاهده می شود که در روش تصفیه چند مرحله ای وجود تخلیه کننده بخار تا بیش از ۶۰٪ هزینه ها را کاهش و راندمان سیستم را نیز افزایش خواهد داد و حتی اگر درجه حرارت آب نمک در مرحله اول ۷۰-۸۰ درجه سلسیوس نیز باشد آب تصفیه خواهد شد.

کلیدواژگان

آب شیرین کن، تصفیه چند مرحله ای، تخلیه کننده بخار، تحلیل انرژی، ترمودینامیک

Thermo economic analyses of multi effect desalination with ejector

Afshin Khamedi¹, Hadi Kargarsharifabad^{1*}

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

*P.O.B. 35145-179, Semnan, Iran, h.kargar@semnaniau.ac.ir

Abstract

Due to the ever-increasing human need for drinking water and limitation of available drinking water resources, we always need to use salty waters of the seas and oceans for converting into purified drinking water. In the article, a variety of water treatment processes is reviewed and applied. In all the processes, energy must be used for the preparation of purified water. Since the resources for available energy are also limited, the researchers always attempt to identify the best method for water purification in terms of cost, energy consumption and the other items. Also, with thermo-economic analysis, they cause the cost of drinking water is minimized. Among a variety of Multi Effect Desalination methods, Multi Effect Desalination with Parallel Feed along with Steam Ejector is analyzed thermo-economically. Moreover, the conditions are investigated in that we can have less cost for purified water. Finally, we will observe that in Multi Effect Desalination methods, Steam Ejector reduces the cost up to 60%. In Multi Effect Desalination refineries, even if the temperature of salt water in the first stage is 70°-80°, Steam Ejector will cause to produce most purified water.

Keywords

Desalination, Multi Effect, Steam Ejector, Energy analyses, thermoeconomic

عبارتند از: ظرفیت و نوع تاسیسات، محل احداث تاسیسات، منابع تامین آب تصفیه شده، نیروی کار، انرژی، منابع مالی و دفع آب تصفیه نشده. هزینه تصفیه آب در سال ۲۰۰۵ در اسرائیل ۵۳/۰ دلار آمریکا برای هر متر مکعب، در سال ۲۰۰۶ در سنگاپور ۴۹/۰ دلار آمریکا برای هر متر مکعب و در کالیفرنیا در سال ۲۰۰۸ هزینه تصفیه آب ۴۶/۰ دلار برای هر متر مکعب می باشد [۳]. به همین منظور تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده که برای نمونه میتوان به موارد زیر اشاره کرد.

میشلز [۴] تعدادی از ویژگی های برجسته برای فرایند تقطیر چند مرحله ای را در حالی که با انتقال حرارت فشرده ترکیب شده بود گزارش داد. میننچ و همکاران [۵] یک مدل ساده برای سیستم تقطیر چند مرحله ای با فشرده سازی بخار ارائه داده اند. مدل ارائه شده در دمای کم و به

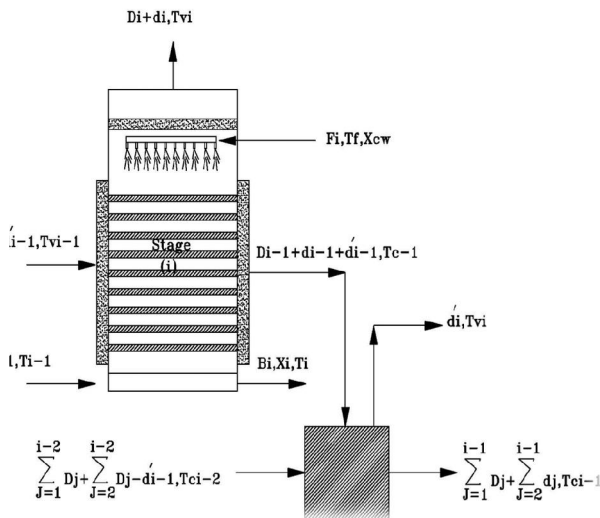
۱- مقدمه

منابع آب قابل شرب تقریباً ۱/۴۲ درصد آب های کره زمین را تشکیل داده است. این مقدار با توجه به رشد روز افزون جمعیت انسان ها نمیتواند جوابگوی نیاز بشر باشد. به همین دلیل ما نیاز داریم که مقداری از آب مورد نیاز انسان ها را از طریق تصفیه آب های غیر قابل شرب بدست بیاوریم. تصفیه و نمک زدایی آب، فرایندی است که در آن مقدار زیادی از نمک و دیگر مواد ناخالصی آب شور گرفته می شود. نمک زدایی در مقیاس بزرگ معمولاً به انرژی زیاد و تخصص بالایی نیاز دارد که باعث می شود آب تهیه شده از نمک زدایی و تصفیه آب شور گرانتر از آب بدست آمده از منابع آب زیرزمینی و رودخانه ها باشد [۱، ۲]. برای اینکه بتوان جوابگوی نیاز جامعه به آب آشامیدنی بود، کشورها همواره تلاش می کنند تا هزینه تصفیه آب شیرین را تا حد امکان کاهش دهند. از نظر اقتصادی، عواملی که تعیین کننده هزینه آب شیرین کن می باشند

1. Michels

2. Minnich

3. Multi effect desalination



شکل ۱ حجم کنترل ورودی و خروجی در مرحله

- بالانس کلی جرم وانرژی

معادله (۱) مربوط به بالانس کلی جرم ورودی و خروجی در مرحله i می باشد [۱۲].

$$F_i + B_{i-1} = D_i + B_i \quad (1)$$

که F دبی جرمی آب تغذیه و B دبی جرمی آب شور تخلیه و D دبی جرمی آب تصفیه شده با واحد kg/s می باشند. و اندیس های i و $i-1$ به ترتیب مربوط به شماره مرحله و مرحله قبل می باشد. معادله (۲) مربوط به بالانس انرژی برای مرحله i می باشد [۱۳].

$$D_{i-1}L_{i-1} + d_{i-1}L_{i-1} + d'_{i-1}L'_{i-1} = F_i C_p (T_i - T_f) + D_i L_i \quad (2)$$

که در آن L گرمای نهان و C_p حرارت مخصوص در فشار ثابت و T_i دمای جوش آب نمک در هر مرحله و T_f دمای آب تغذیه و d و d' به ترتیب بخار تولید شده توسط انبساط ناگهانی در مرحله و در محفظه فلش می باشد.

۲-۲- معادلات انرژی:

معادله (۳) مربوط به اتلافات انرژی در اجکتور بخار می باشد

$$I_{ej} = M_m [(h_{Mm} - h_s) - T_0 (S_{Mm} - S_s)] - D_r [(h_s - h_{gn}) - T_0 (S_s - S_{gn})] \quad (3)$$

که در آن M_m دبی جرمی بخار محرک، h انتالپی، S انترپوی، T_0 دمای آب خروجی از کندانسور، D_r مکش بخار از آخرین مرحله و اندیس

صورت تغذیه موازی عمل می کند ال-دسووکی [۶] و ال-دسووکی و همکاران [۷] در تحقیقات خود، یک مدل ریاضی برای تصفیه خانه چند مرحله ای نوشتند. نافی^۲ و مابروک [۸] روابط ترمودینامیکی و اقتصادی حاکم بر تصفیه خانه تقطیر چند مرحله ای با تخلیه کننده مکانیکی بخار را تحلیل کردند. فیورینی^۳ و اسکویبا^۴ [۹] تصفیه خانه های تقطیری با تبخیر ناگهانی را از نظر ترمودینامیکی بررسی کردند و از نظر اکونومیک برای تعداد مختلف مراحل مقایسه کردند. عبدالناصر و همکاران [۱۰] انواع تصفیه خانه های تقطیر با انبساط ناگهانی، تقطیر مرحله ای با تخلیه کننده حرارتی بخار، تقطیر مرحله ای با تخلیه کننده مکانیکی بخار و روش اوسمز معکوس را بررسی کردند. وانگ^۵ و لیور^۶ [۱۱] یک تصفیه خانه تقطیر مرحله ای با تخلیه کننده حرارتی بخار و استفاده از توربین گاز برای گرمایش بخار محرک ورودی به مرحله اول را بررسی کردند. هدف اصلی این مقاله که جنبه نوآوری دارد، مقایسه تصفیه خانه تقطیر چند مرحله ای در دو حالت وجود اجکتور خارج کننده بخار و در صورتی که از اجکتور استفاده نکنیم می باشد. برای این کار در چند نمونه تصفیه خانه با تعداد مختلف مراحل، دماها را بدست می آوریم و با توجه به روابط ترمودینامیکی و ترمو اکونومیکی در دو حالت گفته شده با کمک نرم افزار های Excel و DEEP هزینه آب تصفیه شده را بدست می آوریم و نتایج حاصل را مقایسه می کنیم.

۲- تئوری مسئله

ابتدا پیش فرض های زیر را که در اکثر روش های حل لحاظ شده اند در نظر می گیریم که عبارتند از کارکرد پایدار، سطح تبادل حرارت ثابت در هر میدل، اتلافات حرارت ناچیز به محیط اطراف و بدون نمک بودن محصولات تصفیه شده

۱-۲- حجم کنترل ورودی و خروجی در مرحله

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود آب تغذیه و آب تصفیه شده و آب نمک تولید شده از مرحله قبل ورودی های مربوط به اواپراتور مرحله i می باشد و آب تصفیه شده از مرحله قبل و همین طور مقدار بخار مکش شده به همراه مقداری آب کندانس شده خروجی های اواپراتور مرحله i می باشند و در محفظه فلش مرحله i نیز ورودی ها عبارتند از آب تصفیه شده خروجی از اواپراتور مرحله i و مجموع آب تصفیه شده از دو مرحله قبل و خروجی آن آب تصفیه شده مرحله i می باشد.

1. El-Dessouky
2. Nafey
3. Mabrouk
4. Fiorini
5. Fiorini & Sciubba
6. Wang
7. Lior

جدول ۱ روابط مربوط به هزینه دستگاه ها	
تجهیز	برآورد هزینه سرمایه گذاری اولیه بر حسب دلار آمریکا [۷]
کنندانسور و اواپراتور	$Z = 430 \times 0.582 \times UA \times \Delta P_t^{-0.01} \times \Delta P_s^{-0.1}$ $U, kW/m^2k; A, m^2; \Delta P, kPa$
پمپ	$1000 \times 32 \times 0.000435$ $\times (M_{water}^0)^{0.55} \Delta P^{0.55} \left(\frac{\eta}{1-\eta}\right)^{1.05}$ $M, kg/s; \Delta P, kPa$
مدل حرارتی	$1000 \times (12.86 + A^{0.8})$ A, m^2
کمپرسور	$7364 \times M_{vapor}^0 \times \left(\frac{P_0}{P_i}\right) \times \left(\frac{\eta_c}{1-\eta_c}\right)^{0.7}$ $M^0, kg/s; P_i, P_0, kPa; \eta_c, \text{compressor efficiency}$

۲-۵ روش حل معادلات

داده های جدول ۲ شماره دما ها و غلظت های آب ورودی و خروجی از تصفیه خانه می باشد [۱۴]:

جدول ۲ شرایط ورودی به تصفیه خانه		
شرایط	دما (°C)	غلظت (ppm)
دمای بخار ورودی به مرحله اول	۷۰	
دمای بیشینه آب نمک	۶۷	
دمای آب دریا ورودی به کنندانسور	۳۰	
دمای آب دریا خروجی از کنندانسور	۵ درجه کمتر از Tn	
غلظت نمک آب شور خروجی از آخرین مرحله		۷۰۰۰
غلظت نمک آب ورودی		۳۶۰۰۰
اختلاف دمای مراحل	۵,۱	

با توجه به داده های جدول ۲ و معادلات ترمودینامیکی فرآیند با استفاده از نرم افزار Excel معادلات را برای یک آب شیرین کن تقطیر ۶ مرحله ای در حالت های با اجکتور و بدون اجکتور محاسبه می کنیم. و همین طور با استفاده از معادلات انرژی و معادلات ترمو اکونومیک محاسبات مربوط به اتلافات انرژی و هزینه سرمایه گذاری تجهیزات آب شیرین کن تقطیر ۱۰ مرحله ای را در Excel انجام می دهیم.

۳- بررسی و تحلیل نتایج

۳-۱ بررسی نتایج حاصل از حل ترمودینامیک

پس از حل معادلات ترمودینامیک برای یک آب شیرین کن تقطیر ۶ مرحله ای مقدار دبی آب تصفیه شده D و بخار های تولید شده و همین طور مقدار دبی آب شور باقی مانده در هر مرحله در جدول شماره ۳ آمده است

های M_m و s و n به ترتیب دمای بخار محرک و دمای بخار ورودی به مرحله اول و دمای بخار مرحله آخر می باشد. معادله (۴) مربوط به اتلافات انرژی در مرحله اول می باشد:

$$I_{e1} = (M_m + D_r) \left[(h_s - h_{fs}) - T_0 (S_s - S_{fs}) \right] - D_1 L_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_{v1}} \right) - F_1 C [(T_1 - T_f) - T_0 \ln(T_1/T_f)] \quad (4)$$

که در آن T_v دمای بخار در مرحله و اندیس s مربوط به دمای بخار ورودی به مرحله اول. معادله (۵) مربوط به اتلافات انرژی در مرحله های بعدی می باشد:

$$I_{ei} = D_{i-1} L_{i-1} \left(1 - \frac{T_0}{T_{i-1}} \right) + B_{i-1} C \left[\Delta T - T_0 \ln \left(\frac{T_{i-1}}{T_i} \right) \right] - D_i L_i \left(1 - \frac{T_0}{T_i} \right) - F_i C [(T_i - T_f) - T_0 \ln(T_i/T_f)] \quad (5)$$

معادله (۶) مربوط به اتلافات انرژی در کنندانسور می باشد:

$$I_c = D_f L_n \left(1 - \frac{T_0}{T_n} \right) - M_c C [(T_f - T_c) - T_0 \ln(T_f/T_c)] \quad (6)$$

که در آن M_c دبی جرمی آب کنندانس می باشد.

۲-۴ معادلات ترمو اکونومیک

معادله (۷) بالانس هزینه هابرای کل سیستم در حالت پایدار می باشد [۱۱]:

$$C_{P,tot}^0 = C_{F,tot}^0 + Z_{tot}^{Cl} + Z_{tot}^{OM} \quad (7)$$

که در آن $C_{F,tot}^0$ هزینه های مربوط به اتلافات انرژی و Z_{tot}^{Cl} هزینه های مربوط به سرمایه گذاری اولیه تجهیزات و Z_{tot}^{OM} هزینه های مربوط به نگهداری و تعمیرات می باشد. که هزینه های مربوط به اتلافات انرژی از رابطه زیر بدست می آید. نرخ هزینه مربوط به ژ امین جریان ماده C_{j0} به صورت حاصلضرب نرخ انرژی جریان E_{j0} در هزینه متوسط به ازای واحد انرژی زبجان می گردد.

$$C_j^0 = c_j E_j^0 \quad (8)$$

و واحد c_j برابر است با $\$/Gj$. مقدار نرخ اتلافات انرژی معمولاً بین ۳ تا ۴ دلار به ازای هر گیگاژول در نظر گرفته می شود [۵] که ما در این پروژه این مقدار را ۳,۵ در نظر می گیریم.

جدول شماره ۱ روابط هزینه های سرمایه گذاری اولیه مربوط به تجهیزات آب شیرین کن چند مرحله ای می باشد.

بر طبق قانون دوم ترمودینامیک در هر فرایند واقعی، آنتروپی تولید شده متناسب با از دست رفتن انرژی و نابودی آن در طی فرایند می باشد. بنابراین تعریف، انرژی حداکثر کار مفیدی است که از مقدار مشخصی از انرژی موجود یا از جریانی از مواد، حاصل می شود. در تحلیل انرژی، هدف اساسی تعیین محل و مقدار تولید بازگشت ناپذیری ها در طی فرایندهای مختلف سیکل ترمودینامیکی و عوامل موثر بر تولید این بازگشت ناپذیری می باشد. همانطور که در جدول مشاهده می شود بیشترین اتلافات انرژی مربوط به کندانسور می باشد. مقادیر جدول شماره ۵ مربوط به هزینه سرمایه گذاری آب شیرین کن ۱۰ مرحله ای می باشد که با استفاده از روابط موجود در جدول شماره ۱ بدست آمده اند.

بخش	هزینه تجهیزات (\$/m ³)
مرحله ۱	۵۱۹۱۴/۳۵
مرحله ۲	۳۴۷۸۶۷/۳
مرحله ۳	۳۴۲۴۳۹/۵
مرحله ۴	۳۳۷۹۲۷/۹
مرحله ۵	۳۳۴۲۲۰
مرحله ۶	۳۳۱۳۱۱
مرحله ۷	۳۲۹۱۹۳/۴
مرحله ۸	۳۲۷۸۵۷/۳
مرحله ۹	۳۲۷۲۸۹/۸
مرحله ۱۰	۳۲۷۴۷۵/۸
خارج کننده بخار	۳۱۹۰۸۸
کندانسور	۸۵۰۴۲۳۵

همانطور که در جدول فوق مشاهده می شود بیشترین هزینه سرمایه گزار تجهیزات مربوط به کندانسور می باشد و هزینه تجهیزات مربوط به اجکتور به نسبت کمتر می باشد.

با ضرب کردن مقادیر اتلاف انرژی در هزینه اتلاف انرژی و مقادیر هزینه تجهیزات در ضریب بازیاب، مقادیر C و Z بدست می آید که با جمع این دو مقدار هزینه تولید آب شیرین بدست می آید.

۳-۳ تحلیل وجود اجکتور و تعداد مراحل تقطیر در دبی آب تصفیه شده: تاثیر اجکتور بخار روی دمای تقطیر می باشد، که با کاهش فشار داخل مراحل، دمای تقطیر پایین آمده و تصفیه خانه در دماهای پایینتر کار خواهد کرد. اگر از اجکتور بخار استفاده نکنیم، فشار داخل مراحل برابر با فشار اتمسفر خواهد بود و دمای تقطیر به دمای تقطیر آب در فشار محیط می رسد. تصفیه خانه های تقطیر مرحله ای بدون استفاده از اجکتور بخار به این دلیل که دمای داخل مراحل بالا می باشد، به آنها تصفیه خانه های تقطیر مرحله ای دما بالا نیز گفته می شود. در جدول ۶ مقادیر دبی بخار آب تولید شده در مراحل برای تصفیه خانه های چهار، پنج و شش مرحله ای آمده است.

برای حل معادلات در حالتی که اجکتور بخار نداریم، در روابط از دمای تقطیر در فشار اتمسفر استفاده می کنیم و همچنین در مرحله اول از بخار محرک مستقیماً برای ورود به مرحله استفاده می کنیم. در حالتی که

جدول ۳ بخار آب تصفیه تولیدی در مراحل

شماره مرحله	D	d
۱	۰/۱۹۲۳۰	۰
۲	۰/۱۸۳۸	۰/۰۰۰۵۳۵
۳	۰/۱۷۸۰	۰/۱۰۵۵
۴	۰/۱۷۴۲	۰/۰۰۱۵۳۹
۵	۰/۱۷۲۴	۰/۰۰۱۹۶۷
۶	۰/۱۷۲۵	۰/۰۰۲۳۰۷

همانطور که در جدول فوق مشاهده می شود مقدار بخار آب تولید شده توسط تبخیر شدن آب پاشش شده بر روی لوله های داخل مراحل (D) با جلو رفتن در مراحل و دور شدن از مرحله اول، کاهش می یابد که این کاهش به دلیل کم شدن اختلاف دمای آب تغذیه و دمای بخار آب داخل لوله های مرحله می باشد. در مرحله اول به این دلیل که بیشترین اختلاف دما بین آب تغذیه و بخار داخل لوله ها را داریم، بیشترین مقدار تولید بخار را خواهیم داشت. با توجه به جدول مقدار بخار آب تولید شده توسط تبخیر ناگهانی داخل مرحله (d) با جلو رفتن در مرحله ها افزایش می یابد. این افزایش به علت افزایش مقدار آب نمک وارد شده به مرحله می باشد. در مرحله اول آب تغذیه روی لوله ها پاشش می شود که مقداری از آن به بخار تبدیل شده و مابقی آن به پایین محفظه ریخته می شود و از طریق لوله به مرحله دوم وارد می شود که هنگام ورود به علت اختلاف فشاری که مرحله دوم با مرحله اول دارد، مقداری از آن توسط انبساط ناگهانی بخار می شود

۳-۲ بررسی نتایج حاصل از حل اکونومیک

با استفاده از روابط مربوطه هزینه اتلافات انرژی و هزینه سرمایه گذاری تجهیزات برای آب شیرین کن با ۱۰ مرحله تقطیر در جداول زیر آورده شده است مقادیر جدول شماره ۴ مربوط به اتلافات انرژی در یک آب شیرین کن تقطیر ۱۰ مرحله ای میباشد

جدول ۴ اتلافات انرژی تصفیه خانه با ۱۰ مرحله (D=200000 m³/day)

بخش	اتلافات انرژی (kj/s)
مرحله ۱	۲۱۴۸۰/۸
مرحله ۲	۵۴۵۵/۳۰۶
مرحله ۳	۵۷۷۷/۳۱۷
مرحله ۴	۶۲۴۹/۶۷۲
مرحله ۵	۶۷۴۲/۹۲۴
مرحله ۶	۷۲۵۷/۶۳۸
مرحله ۷	۷۷۹۴/۳۴۶
مرحله ۸	۸۳۵۲/۶۱۶
مرحله ۹	۸۹۳۶/۰۲
مرحله ۱۰	۹۵۴۲/۱۶۱
خارج کننده بخار	۲۹۳۷۰/۲۱
کندانسور	۱۷۴۰۶۳/۳

تحلیل انرژی، بر پایه قانون اول و دوم ترمودینامیک، از اوایل قرن گذشته مورد توجه واقع شده و از سال ۱۹۳۰ میلادی، این تحلیل بسط و توسعه بیشتری نموده است. با شروع بحران انرژی در دهه ۷۰ میلادی، تحلیل انرژی در راس تحقیقات ترمودینامیکی سه دهه اخیر قرار گرفت.

اجکتور بخار نداشته باشیم ، هزینه ای برای اجکتور و اتلافات انرژی در آن نخواهیم داشت. ولی مقدار بخار حاصل شده به علت کاهش اختلاف دما کاهش می یابد.

جدول شماره ۶ مقادیر دبی بخار آب تولید شده در هر مرحله می باشد که در دو حالت با اجکتور و بدون آن مقایسه شده است .

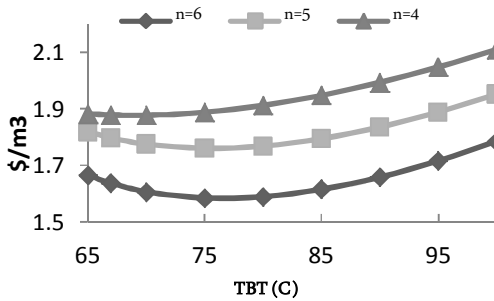
جدول ۶ تحلیل وجود اجکتور بخار در میزان آب تصفیه شده

شماره مرحله	دبی آب تولید شده با اجکتور (kg/s)	دبی آب تولید شده بدون اجکتور (kg/s)
مرحله ۱	۰/۱۹۲۳	۰/۰۸۵۶
مرحله ۲	۰/۱۸۳۸	۰/۰۸۴۱
مرحله ۳	۰/۱۷۸۱	۰/۰۸۲۶
مرحله ۴	۰/۱۷۴۲	۰/۰۸۱۱
مرحله ۵	۰/۱۷۲۴	۰/۰۷۹۵
مرحله ۶	۰/۱۷۲۵	۰/۰۷۷۹

همانطور که مشاهده می شود ، مقدار تولید بخار آب در هر مرحله به صورت مجزا در حالتی که اجکتور بخار داریم بیشتر می باشد. در حالتی که اجکتور بخار نداشته باشیم ، به این علت که اختلاف فشار بین مراحل نداریم ، بنابر این مقدار تولید بخار به علت انبساط ناگهانی صفر می باشد. با جمع کردن مقادیر تولید بخار در مراحل مقدار آب تصفیه شده بدست می آید.

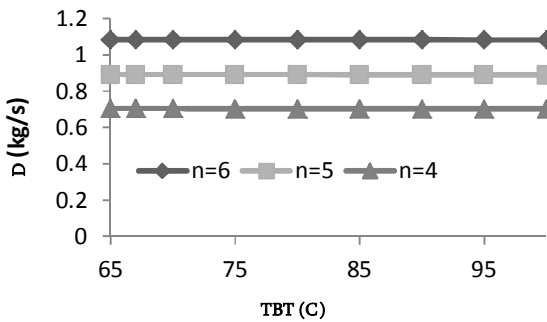
۳-۴ تحلیل تاثیر دمای پیشینه آب نمک و تعداد مراحل تقطیر در هزینه آب تصفیه شده :

همانطور که از شکل ۲ پیداست هرچه تعداد مراحل بیشتر شود ، قیمت آب تصفیه شده پایین می آید. کاهش قیمت آب به دلیل افزایش تولید آب تصفیه شده در تعداد مراحل بالاتر می باشد. که مقدار هزینه یک لیتر آب کاهش مییابد. با افزایش تعداد مراحل میزان انرژی تلف شده افزایش مییابد. این افزایش به دلیل اضافه شدن مراحل تصفیه خانه می باشد. همچنین هزینه تجهیزات نیز با زیاد شدن تعداد مراحل افزایش مییابد. ولی افزایش مقدار آب تصفیه شده با افزایش تعداد مراحل به اندازه ای است که در کل هزینه تصفیه هر لیتر آب تصفیه شده را کاهش دهد. با افزایش دما از ۶۵ درجه میزان هزینه کمی کاهش یافته و با افزایش دما از ۷۰ درجه هزینه تصفیه آب افزایش مییابد. که کمترین هزینه برای دماهای بین ۷۰ تا ۷۵ درجه می باشد.



شکل ۲ قیمت آب تصفیه شده به ازای مقادیر مختلف دمای پیشینه آب نمک

همانطور که از شکل ۳ پیداست با افزایش تعداد مراحل ، میزان آب تصفیه شده افزایش مییابد ، که با توجه به روابط ، این افزایش تولید آب تصفیه شده با افزایش تعداد مراحل قابل پیشبینی بود. چون با افزایش تعداد مراحل میزان تولید بخار در مراحل نیز بیشتر می شود. با افزایش دما در یک تصفیه خانه مشخص با تعداد مراحل ثابت ، میزان تولید آب تصفیه شده افزایش چندانی نمیکنند. علت این ثابت در تولید ، پارامترهایی است که ما به عنوان ورودی مساله در نظر گرفته ایم. با ثابت گرفتن اختلاف دماها بین مراحل و اختلاف دمای بین آخرین مرحله و دمای کندانسور و همچنین اختلاف دمای بخار محرک و اولین مرحله و ثابت گرفتن دبی های آب محرک و آب تغذیه ، میزان تغییرات در دبی آب تولیدی افزایش چندانی نمی کند.



شکل ۳ دبی آب تصفیه شده به ازای مقادیر مختلف دمای پیشینه آب نمک

با توجه به شکل ۴ می کنیم که با افزایش تعداد مراحل هزینه آب تصفیه شده کم می شود و در هر دمای پیشینه آب نمک ، هزینه آب تصفیه شده به یک مقدار مینیمم نزدیک می شود و دوباره با افزایش تعداد مراحل هزینه تصفیه آب افزایش مییابد. دلیل کاهش قیمت آب تصفیه شده با افزایش مراحل ، کاهش اتلافات انرژی به دلیل کاهش اختلاف دمای بین مراحل می باشد که باعث می شود بازگشت ناپذیری فرایند ها کاهش یابد و راندمان سیستم افزایش مییابد. ولی با افزایش تعداد مراحل ، سطح

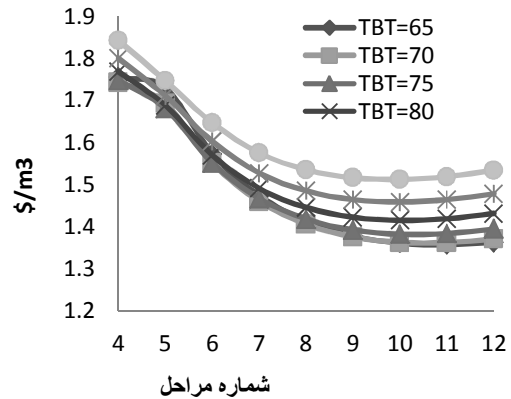
تقطیر چند مرحله ایگزینه های مناسبتری برای سرمایه گذاری و توسعه می باشند. در این تحقیق تصفیه خانه چند مرحله ای با تغذیه موازی و خارج کننده حرارتی بخار مورد بررسی قرار گرفته و نتایج با نرم افزار Excel به دست آمده که با بررسی نتایج مدلسازی می توان گفت که:

- استفاده از کمپرسور بخار در کاهش قیمت آب تصفیه شده موثر می باشد و هزینه را کاهش می دهد
- هرچه تعداد مراحل بیشتر شود ، مقدار آب تصفیه شده نیز بیشتر می شود. ولی افزایش تعداد مراحل تا حدی می تواند انجام شود که دمای بخار خروجی در آخرین مرحله به حدی باشد که بتواند آب دریای ورودی به کندانسور را به دمای آب تغذیه برساند
- در یک تصفیه خانه با تعداد ثابت مراحل در دماهای بیشینه آب نمک نزدیک به ۷۵ درجه سانتیگراد کمترین هزینه را خواهیم داشت
- در تصفیه خانه هایی با دمای بیشینه آب نمک برابر ، هزینه تصفیه آب آشامیدنی در تاسیساتی که دارای ۱۰ تا ۱۱ مرحله می باشد ، کمتر از تصفیه خانه های دیگر می باشد.

۵- فهرست علائم و اختصارات

B	دبی جرمی آب شور تخلیه (Kg/s)
BPE	ارتفاع نقطه جوش
Cp	حرارت مخصوص در فشار ثابت (Kj/kg.K)
D	دبی جرمی آب تصفیه شده (Kg/s)
Dr	بخار مکش شده از آخرین مرحله (Kg/s)
d'	بخار تولید شده توسط انبساط ناگهانی در محفظه انبساط (Kg/s)
d	بخار تولید شده توسط انبساط ناگهانی در مرحله (Kg/s)
E	اگرژی (Kj/s)
F	دبی جرمی آب تغذیه (Kg/s)
H	آنتالپی (Kj)
I	اتلافات اگرژی (Kj/s)
L	گرمای نهان (Kj/kg)
Mb	دبی جرمی آب شور خروجی (Kg/s)
Mcw	دبی جرمی آب کندانس (Kg/s)
Md	دبی جرمی آب تصفیه شده (Kg/s)
Mf	دبی جرمی آب تغذیه (Kg/s)
Ms	بخار متراکم ورودی به مرحله اول (Kg/s)
N	تعداد مرحله
S	انترپپی (Kj/K)
Tci	دمای تقطیر بخار در هر مرحله (C°)
Tcw	دمای جریان آب کندانس (C°)
Tf	دمای آب تغذیه (C°)
Ti	دمای جوش آب نمک در هر مرحله (C°)
Tv	دمای بخار در مرحله (C°)

تبادل حرارتی کلی مبدل ها افزایش مییابد و باعث می شود نرخ تجهیزات مربوط به مبدل ها افزایش یابد.



شکل ۴ هزینه آب تصفیه شده در دماهای بیشینه آب نمک و تعداد مختلف مرحله

۳-۵ اعتبار سنجی

برای اعتبار سنجی معادلات ترمودینامیکی از روش مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج حل آقای شکیب [۱۳] در مقاله خود استفاده می شود و برای اعتبار سنجی معادلات ترمودینامیکی نتایج بدست آمده را با حل در نرم افزار DEEP مقایسه می کنیم

جدول شماره ۷ میزان دبی آب تصفیه شده که در مطالعه حاضر با استفاده از معادلات بدست آمده و با کمک نرم افزار اکسل محاسبه شده را با نتایج حل شکیب مقایسه کرده است.

جدول ۷ مقایسه نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر و حل شکیب

عنوان	D(Kg/s) مرحله ۴	D(Kg/s) مرحله ۶
مطالعه حاضر	۰/۷۰۴۱	۱/۰۸۳۷
مرجع [۱۴]	۰/۷	۱/۰۸

جدول شماره ۸ مربوط به مقایسه هزینه های محاسبه شده با استفاده از معادلات ترموآکونومیک مطالعه حاضر با هزینه های بدست آمده از نرم افزار DEEP می باشد.

جدول ۸ مقایسه نتایج نرم افزار DEEP و مطالعه حاضر

D(Kg/s)	Z (\$/m3) D=۵۰۰۰۰ m3/day	Z (\$/m3) D=۲۰۰۰۰۰ m3/day
مطالعه حاضر	۰/۹۵۴۹	۰/۹۴۵۶۴
نرم افزار DEEP	۰/۹۵۶	۰/۹۴۵۹۵

۴ - جمع بندی نتایج

در میان انواع مختلف آب شیرین کن هایی که وجود دارد ، در ایران آب شیرین کن های تقطیری به دلیل وجود نیروگاه های متعدد مناسب تر هستند. در بین آب شیرین کن های تقطیری ، آب شیرین کن های

۶- منابع و مراجع

- [1] A. D. Khawaji, I. K. Kutubkhanah, J.-M. Wie, Advances in seawater desalination technologies, *Desalination*, Vol. 221, No. 1, pp. 47-69, 2008.
- [2] S. Lattemann, T. Höpner, Environmental impact and impact assessment of seawater desalination, *Desalination*, Vol. 220, No. 1, pp. 1-15, 2008.
- [3] I. C. Karagiannis, P. G. Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, *Desalination*, Vol. 223, No. 1, pp. 448-456, 2008.
- [4] T. Michels, Recent achievements of low temperature multiple effect desalination in the western areas of Abu Dhabi. UAE, *Desalination*, Vol. 93, No. 1, pp. 111-118, 1993.
- [5] Minnich, K., Tonner, J., and Neu, D., A comparison of heat transfer requirement and evaporator cost for MED-TC and MSF, Proceedings of the IDA World Congress on Desalination and Water Science, Abu Dhabi, UAE, 1995, Vol. III, 233-257
- [6] El-Dessouky, H., Alatiqi, I., Bingulac, S., and Ettouney, H., Steady-state analysis of the multiple effect evaporation desalination process, *Chem. Eng. Technol*, 21(1998)15-29
- [7] H. El-Dessouky, I. Alatiqi, S. Bingulac, H. Ettouney, Steady-state analysis of the multiple effect evaporation desalination process, *Chemical engineering & technology*, Vol. 21, No. 5, pp. 437, 1998.
- [8] A. Nafey, H. Fath, A. Mabrouk, Thermo-economic design of a multi-effect evaporation mechanical vapor compression (MEE-MVC) desalination process, *Desalination*, Vol. 230, No. 1, pp. 1-15, 2008.
- [9] P. Fiorini, E. Sciubba, Thermo-economic analysis of a MSF desalination plant, *Desalination*, Vol. 182, No. 1, pp. 39-51, 2005.
- [10] A. A. Mabrouk, A. Nafey, H. Fath, Thermo-economic analysis of some existing desalination processes, *Desalination*, Vol. 205, No. 1, pp. 354-373, 2007.
- [11] Y. Wang, N. Lior, Performance analysis of combined humidified gas turbine power generation and multi-effect thermal vapor compression desalination systems: part 2: the evaporative gas turbine based system and some discussions, *Desalination*, Vol. 207, No. 1, pp. 243-256, 2007.
- [12] H. T. El-Dessouky, H. M. Ettouney, *Fundamentals of salt water desalination*: Elsevier, 2002.
- [13] F. N. Alasfour, M. A. Darwish, A. O. Bin Amer, Thermal analysis of ME—TVC+MEE desalination systems, *Desalination*, Vol. 174, No. 1, pp. 39-61, 4/1/, 2005.
- [14] S. E. Shakib, M. Amidpour, C. Aghanajafi, Simulation and optimization of multi effect desalination coupled to a gas turbine plant with HRSG consideration, *Desalination*, Vol. 285, pp. 366-376, 2012.