http://mechanics.journals.modares.ac.ir

مجله علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک مدرس
دوره ۱۲ شماره ۱ اردیبهشت ۱۳۹۱ ص ص ۳۳-۴۰

تاریخچه مقاله:
دریافت ۹۰/۵/۳
پذیرش ۹۰/۱۰/۲۰
ارائه در سایت ۹۱/۱/۳۰

تعیین روابط برآورد قیمت مبدل‌های گرمایی در ایران

مسعود نیکنام[۱]، امین حججی نجف آبادی[۲]، امید نعمت الهی[۳]، حسین احمدی دانش آشتیانی[۴*]

۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران
۲- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
۴- استادیار مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران
* تهران، صندوق پستی ۱۱۳۶۵/۴۴۳۵، h_a_danesh@azad.ac.ir

چکیده- در مراحل اولیه پروژه‌های طراحی از پایه شبکه مبدل‌های گرمایی، تخمین قیمت مبدل‌های گرمایی جهت طراحی بهینه شبکه با استفاده از فناوری پینچ بسیار حائز اهمیت است. همچنین، پیش‌بینی قیمت خالص یک مبدل گرمایی با استفاده از روابط برآورد هزینه امری کارآمد و مفید است. در این پژوهش، روابط برآورد قیمت خالص مبدل‌های گرمایی و شبکه مبدل‌های گرمایی برای مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته و مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه به‌دست آمده است. این روابط به صورت تابعی از سطح انتقال حرارت و با استفاده از قیمت‌های موجود در بازار ایران ارائه شده است. روابط پیشنهادی برای مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته در محدوده بیشینه فشار کارکرد بین ۱/۲ تا ۴۱ بار و در دو جنس مختلف کربن استیل و استیل ضد زنگ ۳۱۶ می‌باشد. همچنین، روابط مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه نیز در دو ناحیه جریان سرد ورودی کمتر از ۳۰ متر مکعب و بین ۳۰ تا ۵۰ متر مکعب با جنس استیل ضد زنگ ۳۱۶ به دست آمده است. میزان خطای روابط پیشنهادی نیز بررسی شده است.

کلیدواژگان: روابط برآورد قیمت، قناوری پینچ، مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته، مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه

Determining the estimation equations heat exchanger cost in Iran

M. Niknam[1], A. Hojaji Najaf Abadi[2], O.Nematollahi[3], H. Ahmadi Danesh[4*]

1-MSC of Mech. Eng., Islamic Azad Univ. South Tehran Branch, Tehran, Iran
2-MSC of Mech. Eng., Islamic Azad Univ. South Tehran Branch, Tehran, Iran
3-MSC of Mech. Eng.Student, Isfahan Univ. of Technology, Isfahan, Iran
4- Assis. Prof. of Mech. Eng., Islamic Azad Univ. South Tehran Branch, Tehran, Iran
*P. O. B. 11365/4435 Tehran, h_a_danesh@azad.ac.ir

Abstract- In the initial steps of grass-root projects, heat exchangers cost estimation for proper decision making regarding network optimization design through pinch technology is very important. It is necessary to forecast the cost of a heat exchanger through cost estimation equations. In this article, the cost estimation equations of heat exchanger and the heat exchangers network for shell and tube heat exchangers and plate and frame heat exchangers are obtained. These equations are the function of heat transfer area by available prices in Iran. The proposed relations for Shell and tube heat exchangers are in the maximum operating pressure region of shell and tube side between 1.2-41 bars and made of two types of material: carbon steel and stainless steel 316. Furthermore, plate and frame heat exchangers relations in two regions of the inlet cold flow lower than 30 cubic meters and between 30 to 50 cubic meters are obtained. These plate and frame heat exchangers are made of stainless steel 316. Moreover, here the error of the proposed equations is studied.

Keywords: Cost Estimation Equations, Pinch Technology, Shell and Tube Heat Exchangers, Plate and Frame Heat Exchangers

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1391.12.1.4.9]

۱- مقدمه

برآورد هزینه مبدل‌های گرمایی تأثیر بسزایی بر سودآوری پروژه‌های طراحی شبکه مبدل‌های گرمایی با استفاده از فناوری پینچ دارد[۱]. فناوری پینچ مجموعه‌ای از روش‌های ترمودینامیکی است که امروزه برای اهداف مختلفی از جمله تحلیل و طراحی شبکه مبدل‌های گرمایی به منظور کاهش صرف انرژی استفاده می‌شود. هدف از استفاده از این فناوری افزایش کارایی و بهینه‌سازی هزینه‌های کلی شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری و مصرف انرژی شبکه است. این فناوری از روابط برآورد هزینه شبکه مبدل‌های گرمایی برای پیشبرد این اهداف استفاده می‌کند. از روش‌های گوناگون برآورد این هزینه‌ها، نتایج مختلفی به‌دست می‌آید. هال، با بررسی نمودارهای هزینه مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۸۲، روابطی برای هزینه ارائه کرد[۲]. وی روابطی را برای استخراج هزینه از روش پیوروهیت[۱] توسعه داد[۳]. در این روش، هزینه‌های خرید مبدل‌های گرمایی با استفاده از قالب کلی به صورت $C=a+bA^c$ محاسبه شده است که هزینه خرید مبدل گرمایی C را به صورت تابعی از سطح انتقال حرارت A نشان می‌دهد. a، b و c نیز پارامترهای ثابت رابطه‌اند[۴]. این رابطه در اکثر نرم‌افزارهای انتگراسیون[۲] شبکه مبدل‌های گرمایی با استفاده از فناوری پینچ نظیر هینت[۳]، اسپن اچ ایکس نت[۴] و غیره به عنوان یک ابزار پیش‌نیاز برای درنظر گرفتن مسائل اقتصادی شبکه، جهت یافتن بهترین حداقل اختلاف دما ΔT_{min} با بیشترین قابلیت بازیافت حرارتی بین جریان‌های مختلف سرد و گرم موجود در شبکه مبدل‌های گرمایی، به‌کار رفته است[۵]. به همین دلیل در این پژوهش با استفاده از داده‌های موجود در کشور روابط در قالب کلی رابطه هال به‌دست آمده‌اند. در این پژوهش، روابط برای مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته با صفحه نگهدارنده ثابت لوله‌ها و پوسته تک‌پاس با جنس ساختار کربن استیل و استیل ضد زنگ ۳۱۶ در چهار محدوده بیشینه فشار کارکرد سمت لوله و پوسته بین ۱/۲ تا ۴۱ بار و همچنین برای مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه با جنس استیل ضد زنگ ۳۱۶ در دو محدوده کاری دبی جریان سرد ورودی کمتر از ۳۰ مترمکعب و بین ۳۰ تا ۵۰ مترمکعب به‌دست آمده است. بیشینه فشار کارکرد در مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته، فشار نسبی‌ای است که بر ضخامت پوسته، کلاهک عقبی[۵]، کلاهک جلویی[۶]، صفحه نگهدارنده لوله‌ها و تعداد لوله‌ها تاثیرگذار است و در نهایت باعث تغییر در قیمت نهایی مبدل گرمایی می‌شود[۶].

شایان ذکر است که در این پژوهش روابط در دو دسته جهت تخمین قیمت خالص مبدل‌های گرمایی و تخمین قیمت شبکه مبدل‌های گرمایی به‌دست آمده است.

۲- روش مدل‌سازی داده‌ها جهت تخمین قیمت خالص یک مبدل گرمایی

قیمت خالص مبدل گرمایی شامل مجموع قیمت قطعات مبدل گرمایی، هزینه ساخت، هزینه‌های جانبی نظیر سود دریافتی کارخانجات سازنده، مالیات بر ارزش افزوده و غیره است. هزینه‌های ساخت شامل کلیه هزینه‌های مربوط به فرآیند تولید بر اساس قانون مصوب وزارت کار در سال ۱۳۸۹[۷]، هزینه‌های ظرافت‌کاری در ساخت مبدل‌های گرمایی با سطح انتقال حرارت کوچک و هزینه‌های اضافه‌کاری نیروی کار درنظر گرفته شده است.

جمع‌آوری اطلاعات اقتصادی و فهرست بها جهت فعالیت‌های تحقیقاتی در کشور کار چندان ساده‌ای نیست. لذا در این پژوهش با الگوبرداری از روش قیمت‌گذاری برخی کارخانجات سازنده داخلی، تخمین قیمت قطعات، هزینه‌های جانبی و در نهایت قیمت خالص یک مبدل گرمایی صورت گرفته است. بدین صورت که پس از جمع‌آوری تعدادی از فهرست بها از حدود چهار کارخانه سازنده در کشور، اطلاعات فنی مربوط به این داده‌ها در سه نرم‌افزار زیر مورد تحلیل قرار گرفته است.

۱- نرم‌افزار تی‌ای‌اس‌سی[۷] که برای طراحی حرارتی، بررسی عملکرد و شبیه‌سازی مبدل‌های لوله و پوسته استفاده می‌شود.

۲- نرم‌افزار تیمز[۸] که برای طراحی مکانیکی اجزای تشکیل‌دهنده مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته به‌کار می‌رود.

1. Purohit
2. Integration
3. Hint
4. Aspen HX-Net

5. Rear head
6. Front head
7. TASC+
8. TEAMS+

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1391.12.1.4.9]

۳- نرم‌افزار اسپن پلیت[9] که برای طراحی مکانیکی و حرارتی اجزای تشکیل‌دهنده مبدل‌های قاب و صفحه به‌کار می‌رود.

در این بررسی برای مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته، با درنظر گرفتن اطلاعات ورودی شامل مشخصات فیزیکی، دمای ورودی و خروجی سیال سرد و گرم، فشار کارکرد ورودی سیال گرم و سرد، ظرفیت حرارتی مبدل گرمایی و غیره پارامترهای خروجی نظیر سطح انتقال حرارت لازم، تعداد بافل‌ها، محدوده فشار کارکرد خروجی، فشار طراحی سمت لوله و پوسته و غیره از نرم‌افزار تی‌ای‌اس‌سی به‌دست آمده است. همچنین با درنظر گرفتن اطلاعات ورودی شامل دما، فشار طراحی سمت لوله و پوسته، تعداد، طول و قطر لوله‌های کاربردی و نوع آرایش مبدل گرمایی به عنوان پارامترهای ورودی، پارامترهای خروجی نظیر وزن، اندازه و جزئیاتی از اجزای مختلف مبدل گرمایی از نرم‌افزار تیمز به‌دست آمده است.

برای مبدل‌های‌گرمایی قاب و صفحه نیز روند مشابهی صورت گرفته است. با این تفاوت که طراحی مکانیکی و حرارتی به صورت همزمان در یک نرم‌افزار بررسی شده و مشخصات مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه نظیر تعداد صفحات، ابعاد و وزن کلیه قطعات تعیین شده است. شایان ذکر است که در بررسی داده‌های حاصل از نرم‌افزارها مواردی شامل میزان لرزش مجاز، افت فشار، سرعت مجاز سیال‌ها و میزان خوردگی و جرم‌گرفتگی مجاز رعایت شد تا نتایج حاصل قابل اعتماد باشند. نتایج حاصل از این بررسی‌ها به عنوان معیاری جهت تخمین قیمت قطعات با استفاده از اطلاعات اقتصادی موجود در بازار ایران به‌کار گرفته شده است.

۳- تعیین روابط برآورد قیمت خالص مبدل‌های گرمایی

پس از مدل‌سازی فهرست قیمت خالص مبدل‌های گرمایی بر حسب سطح انتقال حرارت و استفاده از آن‌ها به عنوان داده‌های ورودی، با برازش نموداری با کمترین خطا، روابط مورد نظر حاصل شده است. در برازش نموداری از روش حداقل مربعات استفاده شده و مقادیر R^2 که بیانگر دقت برازش است برای کلیه روابط به‌دست آمده است. مقدار این فاکتور، با توجه به دقت برازش نمودار، عددی بین صفر تا یک است که هرچه این عدد به یک نزدیکتر باشد برازش از دقت بالاتری برخوردار است.

بخش انرژی همواره به عنوان یکی از بخش‌های کلیدی و اثرگذار در اقتصاد کشور مطرح بوده و تحلیل اثرات متقابل این بخش بر سایر بخش‌های تولیدی و نحوه تأثیر تصمیمات و سیاستگذاری‌های مربوط به آن بر بخش‌ها و شرایط اقتصادی مختلف بسیار مهم است. برای نیل به اهداف مذکور، دستیابی به یک ابزار تحلیلی مناسب و استفاده از آن جهت تسهیل امور برنامه‌ریزی ضروری است. افزایش قیمت حامل‌های انرژی سبب افزایش هزینه‌های تولید و در نتیجه افزایش قیمت محصولات بخش‌های تولیدی از جمله مبدل‌های گرمایی می‌شود.

در این بخش، روابط برآورد قیمت خالص بر واحد بشکه نفت خام که یکی از مهم‌ترین حامل‌های انرژی است به‌دست آمده است. در واقع با بی‌بعدسازی قیمت‌ها به نوعی اثرات تغییر قیمت با گذشت زمان و بر اثر تورم با قیمت به روز هر بشکه نفت‌خام مرتبط شده است. این بدان معناست که روابط به‌دست آمده در این پژوهش با گذشت زمان کارایی خود را از دست نخواهند داد.

۳-۱- روابط تخمین قیمت خالص مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته

معادلات تخمین قیمت خالص مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته ذکرشده، محدوده لوله‌های کاربردی مستقیم و U شکل در اندازه‌های استاندارد قطر خارجی ۱/۲، ۵/۸، ۳/۴ و ۱ اینچ با چیدمان مثلثی ۳۰ و ۶۰ درجه را پوشش می دهند.

۳-۱-۱- مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته با جنس کربن استیل

شکل ۱ نحوه برازش داده‌های مربوط به مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته با جنس ساختار کربن استیل در محدوده بیشینه فشار کارکرد سمت لوله و پوسته بین ۱/۲ تا ۱۰ بار و در محدوده سطح انتقال حرارت بین ۵ تا ۱۰۰۰ متر مربع را نشان می‌دهد.

رابطه ۱ رابطه تعیین قیمت مربوط به شرایط ذکرشده را نشان می‌دهد.

$$C = 43 + 6.5A^{0.78} \quad (1.2\ \text{bar} \le OP \le 10\ \text{bar}) \qquad (۱)$$

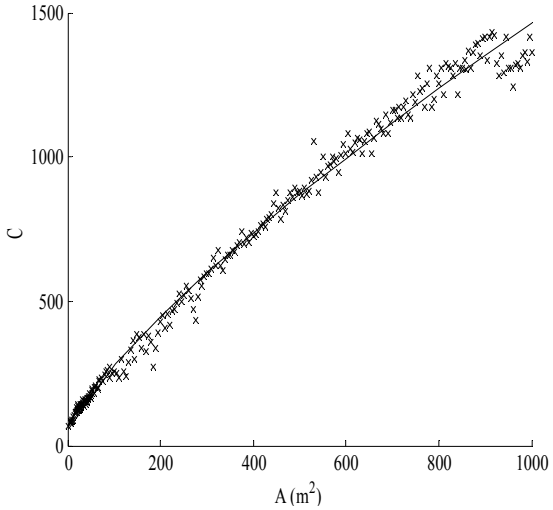
در شکل ۱، محور افقی نمایان‌گر سطح انتقال حرارت مبدل گرمایی و محور عمودی نمایان‌گر قیمت خالص بر واحد بشکه

9. Aspen plate

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1391.12.1.4.9]

نفت خام (تومان) است. به عنوان مثال، در صورتی که قیمت به روز هر بشکه نفت خام ۷۴ دلار آمریکا و هر دلار آمریکا ۱۰۵۰ تومان درنظر گرفته شود، قیمت خالص تخمینی یک مبدل گرمایی لوله و پوسته با جنس ساختار کربن استیل و با سطح انتقال حرارت ۱۰ متر مربع با استفاده از رابطه شماره ۱ حدود ۶۳۸۴۳۲۷ تومان به‌دست خواهد آمد.



شکل ۱ نحوه برازش داده‌ها برای ساختار کربن استیل در محدوده بیشینه فشار کارکرد بین ۱/۲ تا ۱۰ بار

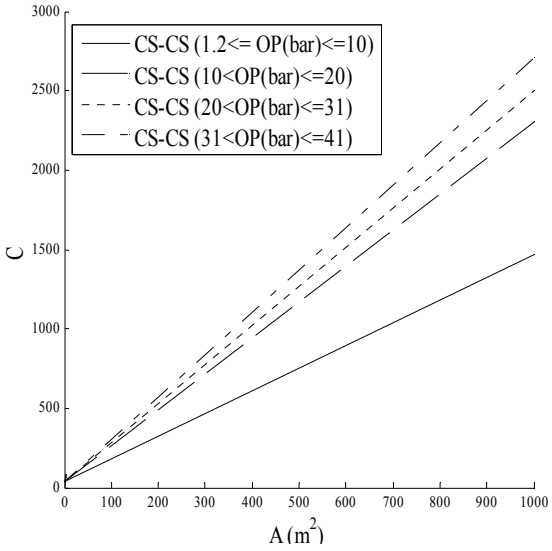
روابط (۲)، (۳) و (۴) در محدوده بیشینه فشار کارکرد ۱۰ تا ۴۱ بار قیمت خالص مبدل‌های گرمایی را بر حسب سطح انتقال حرارت نشان می‌دهند.

$$C = 43 + 10.34A^{0.78}$$
$$(10bar < OP \le 20bar) \quad (۲)$$

$$C = 43 + 11.25A^{0.78}$$
$$20bar < OP \le 31bar) \quad (۳)$$

$$C = 43 + 12.18A^{0.78}$$
$$(31bar < OP \le 41bar) \quad (۴)$$

مقدار فاکتور R^2 برای روابط (۱) تا (۴) به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۹۵ ۰/۹۹ و ۰/۹۷ به‌دست آمده است که نزدیکی این اعداد به عدد ۱ نشان از دقت بالای برازش دارد. شکل ۲ نمودار روابط (۱) تا (۴) در محدوده بیشینه فشار کارکرد بین ۱/۲ تا ۴۱ بار را نشان می‌دهد. در شکل ۲ نیز محور افقی و عمودی به ترتیب نمایشگر سطح انتقال حرارت و قیمت خالص بر واحد بشکه نفت خام (تومان) است. در رابطه‌های ذکرشده، A بیانگر سطح انتقال حرارت بر حسب متر مربع، C بیانگر قیمت خرید مبدل گرمایی به صورت کسری بر قیمت هر بشکه نفت خام و OP بیانگر بیشینه فشار کارکرد سمت لوله و پوسته در واحد بار است. در نمودار شکل ۲ تاثیر دو پارامتر سطح انتقال حرارت و بیشینه فشار کارکرد سمت لوله و پوسته، بر قیمت نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش بیشینه فشار کارکرد سمت لوله و پوسته، قیمت مبدل گرمایی در یک سطح انتقال حرارت یکسان افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش قیمت، اضافه‌شدن ضخامت صفحه نگهدارنده لوله‌ها، کلاهک عقبی، جلویی و پوسته با افزایش بیشینه فشار کارکرد است. این روند، با افزایش سطح انتقال حرارت مشهودتر است.



شکل ۲ نمودار روابط تخمین قیمت برای ساختار کربن استیل در محدوده بیشینه فشار کارکرد ۱/۲ تا ۴۱ بار

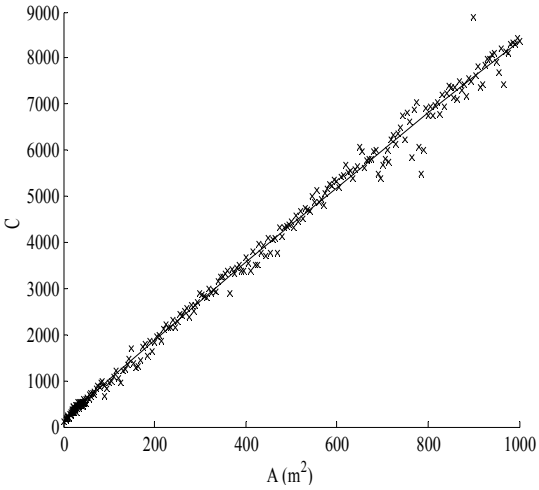
۳-۱-۲- مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته جنس استیل ضد زنگ ۳۱۶

شکل ۳ نحوه برازش داده‌های مربوط به مبدل گرمایی لوله و پوسته با ساختار استیل ضد زنگ ۳۱۶ در محدوده بیشینه فشار کارکرد سمت لوله و پوسته بین ۱/۲ تا ۱۰ بار و سطح انتقال حرارت بین ۵ تا ۱۰۰۰ متر مربع را نمایش می‌دهد. رابطه ۵ رابطه نمودار تعیین قیمت برازش‌شده را نشان می‌دهد.

$$C = 110 + 11A^{0.95}$$
$$(1.2bar \le OP \le 10bar) \quad (۵)$$

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1391.12.1.4.9]



شکل ۳ نحوه برازش داده‌ها برای ساختار استیل ضدزنگ ۳۱۶ در محدوده بیشینه فشار کارکرد بین ۱/۲ تا ۱۰ بار

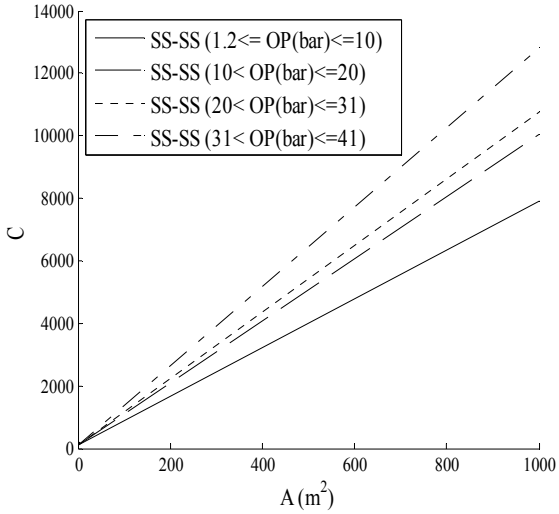
روابط (۶)، (۷) و (۸) در محدوده بیشینه فشار کارکرد ۱۰ تا ۴۱ بار، قیمت مبدل‌های گرمایی را بر حسب سطح انتقال حرارت نشان می‌دهند.

$$C = 110 + 14.03A^{0.95} \quad (10bar < OP \le 20bar) \qquad (۶)$$

$$C = 110 + 15.7A^{0.95} \quad (20bar < OP \le 31bar) \qquad (۷)$$

$$C = 110 + 17.96A^{0.95} \quad (31bar < OP \le 41bar) \qquad (۸)$$

مقدار فاکتور R^2 برای روابط (۵) تا (۸) به ترتیب ۰/۹۹۴۹، ۱، ۱ و ۰/۹۸ به‌دست آمده است. شکل ۴ نمودار روابط (۵) تا (۸) در محدوده بیشینه فشار کارکرد بین ۱/۲ تا ۴۱ بار را نشان می‌دهد. در این رابطه‌ها نیز، A بیانگر سطح انتقال حرارت بر حسب مترمربع، C بیانگر قیمت خرید مبدل گرمایی به صورت کسری بر قیمت هر بشکه نفت خام (تومان) و OP بیانگر بیشینه فشار کارکرد سمت لوله و پوسته در واحد بار است. مقایسه شکل‌های ۲ و ۴ نشان می‌دهد که در یک محدوده فشار طراحی و سطح انتقال حرارت یکسان، قیمت مبدل‌های گرمایی با جنس ساختار استیل ضد زنگ ۳۱۶ به مراتب بیشتر از مبدل گرمایی با جنس ساختار کربن استیل است. این اختلاف قیمت به دلیل قیمت بیشتر استیل ضد زنگ ۳۱۶ نسبت به کربن استیل است. خلاصه نتایج بخش ۱-۳ در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل ۴ نمودار روابط تعیین قیمت برای ساختار استیل ضد زنگ ۳۱۶ در محدوده بیشینه فشار کارکرد ۱/۲ تا ۴۱ بار

جدول ۱ معادلات برآورد قیمت خالص مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته

شماره رابطه	فشار کارکرد	جنس ساختار	رابطه برآورد قیمت (بر هر بشکه نفت خام)	R^2
۱	۱/۲≤OP≤۱۰	کربن استیل	$C = 43 + 6.5A^{0.78}$	۰/۹۹
۲	۱۰<OP≤۲۰	کربن استیل	$C = 43 + 10.34A^{0.78}$	۰/۹۵
۳	۲۰<OP≤۳۱	کربن استیل	$C = 43 + 11.25A^{0.78}$	۰/۹۹
۴	۳۱<OP≤۴۱	کربن استیل	$C = 43 + 12.18A^{0.78}$	۰/۹۷
۵	۱/۲≤OP≤۱۰	استیل ضدزنگ ۳۱۶	$C = 110 + 11A^{0.95}$	۰/۹۹
۶	۱۰<OP≤۲۰	استیل ضدزنگ ۳۱۶	$C = 110 + 14.03A^{0.95}$	۱
۷	۲۰<OP≤۳۱	استیل ضدزنگ ۳۱۶	$C = 110 + 15.7A^{0.95}$	۱
۸	۳۱<OP≤۴۱	استیل ضد نگ ۳۱۶	$C = 110 + 17.96A^{0.95}$	۰/۹۸

۳-۲- روابط تخمین قیمت مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه

مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه از تعدادی صفحات نازک با سطوح موج‌دار جداکننده جریان سیال گرم و سرد تشکیل شده است. چیدمان صفحات به نحوی است که دو سیال عامل به صورت یک در میان بین صفحات جریان دارند. این مبدل‌های گرمایی معمولاً محدوده جریان‌های با فشار کارکرد پایین‌تر از ۲۵ بار و دمای کمتر از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد را پوشش می‌دهند[۸] که در مدل‌سازی داده‌های کاربردی در این پژوهش این نکات رعایت شده است. همچنین در مدل‌سازی داده‌ها بیشینه فشار کارکرد برابر ۵ بار و ضخامت صفحات برابر ۰/۵

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1391.12.1.4.9]

میلی‌متر درنظر گرفته شده است. در این بخش، روابط تخمین قیمت برای مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه با جنس استیل ضد زنگ ۳۱۶ در دو محدوده کاری دبی ورودی جریان سرد کمتر از ۳۰ مترمکعب و بین ۳۰ تا ۵۰ مترمکعب به‌دست آمده است.

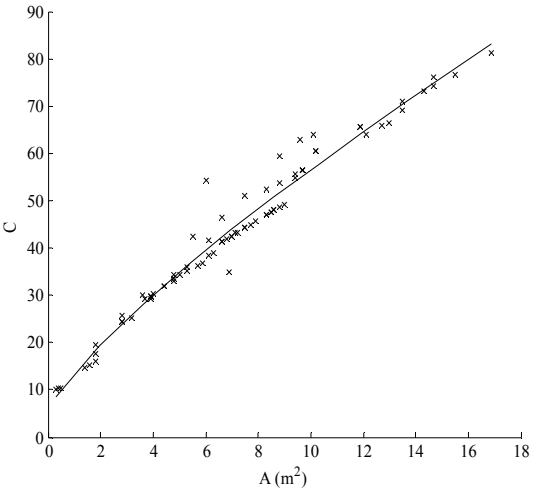
۳-۲-۱- روابط تخمین قیمت برای محدوده دبی کمتر از ۳۰ مترمکعب در ساعت

مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه معمولا محدوده دبی تا ۳۶۰۰ مترمکعب در ساعت را پوشش می‌دهند، لذا دبی تا ۳۰ مترمکعب محدوده کوچکی است[۶]. اما با توجه به اینکه مبدل‌های گرمایی در ابعاد کوچک، که محدوده دبی ذکرشده را پوشش می‌دهند بسیار متداول‌اند، این محدوده بررسی شده است.

شکل ۵ نحوه برازش داده‌های مربوط به شرایط ذکرشده را نشان می‌دهد. در این شکل، محور افقی نمایان‌گر سطح انتقال حرارت مبدل گرمایی و محور عمودی نمایان‌گر قیمت خالص بر واحد بشکه نفت‌خام (تومان) است. رابطه (۹) نیز رابطه تخمین قیمت نمودار شکل ۵ است. این رابطه تخمین قیمت، مبدل‌های گرمایی با سطح انتقال حرارت بین ۰/۳ تا ۱۷ مترمربع را پوشش می‌دهد. مقدار فاکتور R^2 برای این رابطه ۰/۹۶ است.

$$C = 5.4 + 8.2A^{0.79} \quad (۹)$$

در رابطه (۹) نیز، A بیانگر سطح انتقال حرارت بر حسب مترمربع و C بیانگر قیمت خرید مبدل گرمایی به صورت کسری بر قیمت هر بشکه نفت خام (تومان) است.

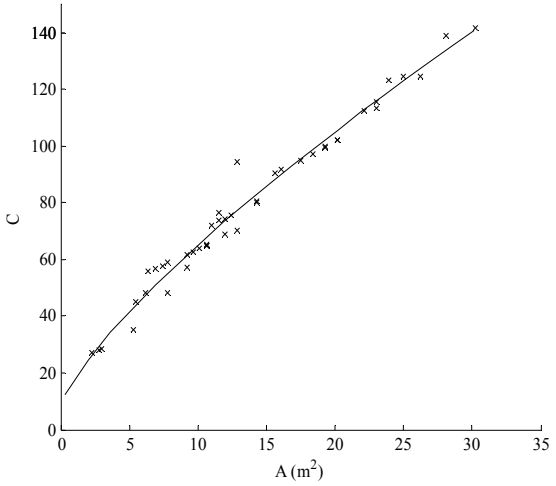


شکل ۵ نحوه برازش داده‌ها برای محدوده دبی کمتر از ۳۰ مترمکعب در ساعت

۳-۲-۲- روابط تخمین قیمت برای محدوده دبی بین ۳۰ تا ۵۰ مترمکعب در ساعت

شکل ۶ نحوه برازش داده‌ها برای محدوده دبی بین ۳۰ تا ۵۰ مترمکعب در ساعت را نشان می‌دهد. رابطه (۱۰) نیز رابطه تخمین قیمت نمودار شکل ۶ است. این رابطه تخمین قیمت، مبدل‌های گرمایی با سطح انتقال حرارت بین ۰/۳ تا ۳۰ مترمربع را پوشش می‌دهد. مقدار فاکتور R^2 برای این رابطه ۰/۹۷ به‌دست آمده است.

$$C = 8.3 + 9.6A^{0.76} \quad (۱۰)$$



شکل ۶ نحوه برازش داده‌ها برای محدوده دبی بین ۳۰ تا ۵۰ مترمکعب در ساعت

۴- تعیین روابط برآورد هزینه شبکه مبدل‌های گرمایی

جهت تعیین روابط برآورد هزینه شبکه مبدل‌های گرمایی، هزینه‌های جانبی نظیر نصب مبدل گرمایی در شبکه نیز باید مد نظر قرار گیرد. هزینه نصب یک مبدل گرمایی در شبکه بسیار بالاست و در بسیاری از مواقع ۲ تا ۴ برابر هزینه خرید آن است[۹]. این هزینه شامل هزینه‌های مربوط به انجام اقداماتی از جمله راه‌اندازی مبدل گرمایی، نصب اسکلت فلزی شبکه، ساختار ساختمان شبکه، نصب فنداسیون، لوله‌کشی، برقکاری، رنگ‌آمیزی و هزینه تجهیزات مصرفی در مراحل نصب است. مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه دارای چهار چوب‌های آهنی یا از نوع استیل ضد زنگ هستند. این مبدل‌های گرمایی به راحتی قابل نصب بر روی فنداسیون هستند و نیازی به

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1391.12.1.4.9]

اسکلت فلزی و ساختار ساختمانی ندارند. لذا از هزینه‌های این دو مورد در شبکه مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه صرف‌نظر شده است. روش‌های برآورد هزینه‌های ذکرشده نیازمند تحقیقات وسیعی در سطح واحدهای فرآیندی کشور است و تاکنون اقدامی در این زمینه صورت نگرفته است. به همین دلیل از روش برآورد هزینه به‌دست آمده در انجمن انرژی کشور آمریکا[۱۰] استفاده شده است. در این روش هزینه نصب به عنوان تابعی از قیمت مبدل گرمایی به‌دست آمده است. همچنین، در این روش، هزینه‌های ذکرشده مانند لوله‌کشی، برقکاری و غیره را به صورت درصدی از قیمت اصلی مبدل گرمایی محاسبه و در نهایت مجموع آن‌ها را به عنوان هزینه اصلی نصب مبدل گرمایی برآورد می‌کنند. این روش عواملی همچون فشار کارکرد را به عنوان پارامتر موثر در هزینه نصب درنظر گرفته و ضرایب موجود را در دو محدوده کمتر یا مساوی ۱۰ بار و بیشتر از ۱۰ بار ارائه کرده است. جدول ۲ روش ذکرشده را نشان داده است.

جدول ۲ روش برآورد هزینه نصب شبکه مبدل‌های گرمایی

هزینه‌های مربوط به نصب شبکه مبدل گرمایی		فشار کارکرد ۱۰ بار ≥ (٪)	فشار کارکرد >۱۰ بار (٪)	قیمت (تومان)
هزینه تنظیمات مبدل گرمایی		۲۰	۲۰	۶۳۸۴۳۲۷×۰/۲=۱۲۷۶۸۶۶
فنداسیون شبکه	مواد اولیه	۵	۶	۶۳۸۴۳۲۷×۰/۰۵=۳۱۹۲۱۷
	دستمزد کارگر	۱۳۳	۱۳۳	۳۱۹۲۱۷×۱/۳۳=۴۲۴۵۵۸
اسکلت فلزی	مواد اولیه	۴	۵	۶۳۸۴۳۲۷×۰/۰۴=۲۵۵۳۷۴
	دستمزد کارگر	۵۰	۵۰	۲۵۵۳۷۴×۰/۵=۱۲۷۶۸۷
ساختار ساختمانی	مواد اولیه	۳	۳	۶۳۸۴۳۲۷×۰/۰۳=۱۹۱۵۳۰
	دستمزد کارگر	۱۰۰	۱۰۰	۱۹۱۵۳۰×۱=۱۹۱۵۳۰
عایق سازی	مواد اولیه	۱	۳	۶۳۸۴۳۲۷×۰/۰۱=۶۳۸۴۴
	دستمزد کارگر	۱۵۰	۱۵۰	۶۳۸۴۴×۱/۵=۹۵۷۶۵
تجهیزات	مواد اولیه	۶	۷	۶۳۸۴۳۲۷×۰/۰۶=۳۸۳۰۶۰
	دستمزد کارگر	۴۰	۴۰	۳۸۳۰۶۰×۰/۴=۱۵۳۲۲۴
برقکاری شبکه	مواد اولیه	۸	۹	۶۳۸۴۳۲۷×۰/۰۸=۵۱۰۷۴۷
	دستمزد کارگر	۷۵	۷۵	۵۱۰۷۴۷×۰/۷۵=۳۸۳۰۶۰
لوله کشی	مواد اولیه	۳۰	۳۵	۶۳۸۴۳۲۷×۰/۳=۱۹۱۵۲۹۹
	دستمزد کارگر	۵۰	۵۰	۱۹۱۵۲۹۹×۰/۵=۹۵۷۶۵۰
رنگ آمیزی	مواد اولیه	۰/۵	۰/۵	۶۳۸۴۳۲۷×۰/۰۰۵=۳۱۹۲۲
	دستمزد کارگر	۳۰۰	۳۰۰	۳۱۹۲۲×۳=۹۵۷۶۵
متفرقه	مواد اولیه	۴	۵	۶۳۸۴۳۲۷×۰/۰۴=۲۵۵۳۷۴
	دستمزد کارگر	۸۰	۸۰	۲۵۵۳۷۴×۰/۸=۲۰۴۲۹۹
هزینه نصب کل			۷۸۳۶۷۷۱	

در این جدول به عنوان نمونه، برای یک مبدل گرمایی لوله و پوسته با جنس ساختار کربن استیل با فشار کارکرد ۱۰ بار و سطح انتقال حرارت ۱۰ مترمربع، هزینه نصب محاسبه شده است. قیمت خالص این مبدل‌گرمایی از رابطه شماره ۱، ۶۳۸۴۳۲۷ تومان بدست آمده‌است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، هزینه نصب برای مبدل گرمایی ذکرشده ۷۸۳۶۷۷۱ تومان به‌دست آمده است. به همین ترتیب هزینه‌های نصب به‌دست‌آمده با روش فوق به قیمت مبدل‌های گرمایی اضافه شده و به کمک برازش بر داده‌های جدید که هزینه‌های نصب در شبکه را نیز شامل می‌شوند، روابط برآورد هزینه برای تخمین قیمت شبکه مبدل‌های گرمایی به‌دست آمده است. روابط برآورد قیمت شبکه مبدل‌های گرمایی که بر پایه روش شرح داده شده به‌دست آمده‌اند، در جدول ۳ برای مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته و در جدول ۴ برای مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه نشان داده شده است.

جدول ۳ معادلات برآورد قیمت شبکه مبدل‌های گرمایی لوله و پوسته

شماره رابطه	فشار کارکرد	جنس ساختار	رابطه برآورد قیمت (تومان) (بر قیمت هر بشکه نفت خام)	R^2
۱۱	۱/۲≤OP≤۱۰	کربن استیل	$C=145+9.03A^{0.85}$	۱
۱۲	۱۰<OP≤۲۰	کربن استیل	$C=145+16.4A^{0.85}$	۱
۱۳	۲۰<OP≤۳۱	کربن استیل	$C=145+17.5A^{0.85}$	۰/۹۸۱
۱۴	۳۱<OP≤۴۱	کربن استیل	$C=145+18.78A^{0.85}$	۰/۹۹۴۳
۱۵	۱/۲≤OP≤۱۰	استیل ضد زنگ ۳۱۶	$C=145+51.28A^{0.85}$	۰/۹۹۶۳
۱۶	۱۰<OP≤۲۰	استیل ضد زنگ ۳۱۶	$C=145+66A^{0.85}$	۰/۹۹۶۳
۱۷	۲۰<OP≤۳۱	استیل ضد زنگ ۳۱۶	$C=145+73.77A^{0.85}$	۰/۹۹۶۲
۱۸	۳۱<OP≤۴۱	استیل ضد زنگ ۳۱۶	$C=145+84.28A^{0.85}$	۰/۹۹۶۲

جدول ۴ معادلات برآورد قیمت شبکه مبدل‌های گرمایی قاب و صفحه

شماره رابطه	دبی کارکرد	جنس ساختار	رابطه برآورد قیمت(تومان) (بر قیمت هر بشکه نفت خام)	R^2
۱۹	کمتر از ۳۰ متر مکعب در ساعت	استیل ضد زنگ ۳۱۶	$C=11.6+17.82A^{0.79}$	۰/۹۶
۲۰	بین ۳۰ تا ۵۰ متر مکعب در ساعت	استیل ضد زنگ ۳۱۶	$C=18.08+20.88A^{0.76}$	۰/۹۷

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-04]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1391.12.1.4.9]

۵- نتیجه‌گیری

تخمین قیمت شبکه‌های مبدل گرمایی یک ابزار کارآمد به‌ویژه جهت استفاده در آنالیزهای فناوری پینچ است. تاکنون از روابطی که با توجه به اطلاعات اقتصادی سایر کشورها به‌دست آمده بود، جهت طراحی این شبکه‌ها، در ایران استفاده شده که با توجه به معادلات بومی به‌دست آمده در این پژوهش، گام موثری در راستای کاهش هزینه‌های کلی شبکه‌های مبدل گرمایی موجود در صنعت برداشته شده است. استفاده از روابط مشابه خارجی منجر به طراحی ناصحیح شبکه و در نتیجه افزایش غیرمنطقی هزینه‌های کلی شبکه خواهد شد. استفاده از روابط به‌دست آمده در این پژوهش در کنار سایر پارامترهای اقتصادی همچون نرخ بهره واقعی در کشور و هزینه‌هایی از قبیل مصرف گرمایش و سرمایش شبکه‌ها، بسیار مفید و کاربردی است. شایان ذکر است با توجه به تفاوت در سیاست‌های قیمت‌گذاری کارخانجات مختلف در سطح کشور، اختلاف بین نتایج روابط به‌دست‌آمده در این پژوهش با قیمت‌های واقعی امری اجتناب‌ناپذیر است.

۶- مراجع

[1] Taal M., Bulatov I., Kleme J., Stehlk P., "Cost Estimation and Energy Price Forecasts for Economic Evaluation of Retrofit Projects", *Appl. Therm. Eng*., Vol. 23, 2003, pp. 1819-1835.

[2] Hall R. S., Matley J., McNaughton, K. J., "Current Costs of Process Equipment", *Chem. Eng*., Vol. 89 1982, pp. 80-116.

[3] Hall S. G., "Capital Cost Targets for Heat Exchanger Networks: Differing Materials of Construction", PhD Thesis, UMIST, Manchester, 1986.

[4] Hall S. G., Ahmad S., Smith R., "Capital Cost Target for Heat Exchanger Networks Comprising Mixed Material of Construction Pressure Ratings and Exchanger Types", *Chem. Eng*., Vol. 14, 1990, pp. 319-335.

[5] Westfalen D. L., Wolf M., "Pinch Analysis of Evaporation System", *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 17, 2001, pp. 1-17.

[6] Kuppan T., "Heat Exchanger Design Handbook", India, Battelle Memorial Institute and Department of Mechanicnl Engineering the Ohio State University Columbus, 2000, pp. 505-507.

[7] www.irimlsa.ir

[8] R. Seligman., *APV Heat Transfer Handbook*, New York, APV Company Inc., 2008, pp .8-15.

[9] Shilling R. L., Rudy M. P., Rudy T. M., "Risked-Based Design Margin Selection for Heat-Exchangers", *Proceeding International Conference on Heat Exchanger Fouling*, Austria, 2009, pp. 340-345.

[10] Loh H. P., "Process Equipment Cost Estimation," Final Report, U. S. Department of Energy, 2002, pp. 42-73.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-04]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1391.12.1.4.9]