شبیه‌سازی مبدل‌های حرارتی نیروگاه اتمی بوشهر با در نظرگیری بعد اقتصادی

INC29-1146

مهدی مرزبان[۱*] مهدی نکیسا[۲]، داریوش مستی [۳] حسین صفاریان[۴]

۱ - دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک،واحد دشتستان، دانشگاه آزاد اسلامی،بوشهر،ایران
۲- گروه مهندسی مکانیک،واحد بوشهر،دانشگاه آزاد اسلامی،بوشهر،ایران
۳- گروه مهندسی هسته‌ای ،واحد بوشهر،دانشگاه آزاد اسلامی،بوشهر،ایران
۴- نیروگاه اتمی بوشهر، مدرس آموزش ،مرکز آموزش نیروگاه اتمی،بوشهر،ایران

چکیده:

در این پژوهش برای نخستین بار، یک مدل شبیه‌سازی اقتصادی به‌منظور آنالیز مبدل‌های حرارتی فشار بالا و پایین و شبکه‌های مبدل حرارتی برای همه جریان‌ها ارائه شد. بردارها، ازجمله دماهای خروجی و ورودی جریان‌ها، از شبیه‌سازی استاتیکی به دست آمدند تا در مدل شبیه‌سازی اقتصادی استفاده شوند. سپس، مطالعات موردی برای مبدل حرارتی با جریان مخالف انجام شد و راندمان به‌طور تصادفی در شبکه مبدل حرارتی نمونه مشخص شدند. در آخر، پارامترهای مصرف، هزینه و صرفه‌جویی همه مبدل‌های حرارتیِ درون شبکه به‌سادگی از طریق دستگاه معادلات خطی بدون هیچ فرآیند پیچیده، چرخه، نرم‌افزار یا سخت‌افزار خاصی بر اساس خواص جریان‌های سرد و گرم با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی اقتصادی محاسبه شدند.

کلیدواژه‌ها :مبدل‌های فشار بالا،مبدل‌های فشار پایین،زیرکش، انرژی.

Simulation of nuclear power plant heat exchangers, heat exchanger networks considering the economic dimension

M. Marzban[1]*, M.Nakisa[2], D. Masti[3], H. Saffarian[4]

1. - Ph.D. student, Department of Mechanical Engineering, Dashtestan Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran
3- Department of Nuclear Engineering, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

Abstract:

In this research, for the first time, an economic simulation model was presented to simulate high and low pressure heat exchangers and heat exchanger networks for all flows. The vectors, including outlet temperatures and inlet streams, were obtained from the static simulation to be used in the economic simulation model. Then, case studies were carried out for the heat exchanger with opposite flow and the efficiencies were determined randomly in the sample heat exchanger network. Finally, the parameters of consumption, cost and savings of all the heat exchangers in the network were simply calculated through the linear equation device without any complicated process, cycle, software or hardware based on the properties of hot and cold streams by applying the economic simulation model.

Keywords: High Pressure Exchanger , Low Pressure Exchanger, Energy.

۱. مقدمه

همه کشورها جهت حفظ منابع انرژی‌شان برای صنعت، کشاورزی، حمل‌ونقل و مصارف خانگی به انرژی نیاز دارند [۱،۲]. افزایش امکانات صنعتی و پیشرفت‌های سریع فناوری به‌رغم کاهش منابع انرژی نیاز به انرژی را می‌افزاید [۳،۴]. افزون بر این، افزایش وابستگی به انرژی سبب مشکلاتی مثل آلودگی زیست‌محیطی، گرمایش زمین، افزایش مخارج و عدم بازدهی انرژی می‌شود [۳،۴]. ازاین‌رو، کشورهای درحال‌توسعه متعددی در پر کردن خلأ بین تقاضا و عرضه انرژی با مشکل مواجه‌اند [۶].

در سراسر جهان، ۸۰ درصد از کل انرژی حرارتی توسط نیروگاه‌ها با استفاده از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود و ۲۶ درصد از این انرژی مصرف نمی‌شود و با رها کردن در اتمسفر تلف می‌شود [۱،۷،۸]. بعلاوه، ۳۳ درصد از مصارف اصلی انرژی مربوط به صنعت تولید است [۹]. بنابراین، چون کارخانجات صنعتی با انرژی حرارتی کار می‌کنند، سهم زیادی از منابع انرژی به‌واسطه استفاده از دستگاه‌های بازیاب حرارت تلف می‌شود [۲،۱۰،۱۱]. مبدل‌های حرارتی گرما را بین دو یا تعداد بیشتری سیال انتقال می‌دهند تا حرارت اتلافی تقریباً در همه تأسیسات مهندسی برق و شیمی، به‌عنوان واحدهای فرعی، بازیابی شود [۱۲،۱۳]. از این طریق، منبع انرژی ثانویه‌ای برای تأسیسات ایجاد می‌شود. این منبع مصرف و هزینه منبع اصلی را تا حد زیادی می‌کاهد. افزون بر این، مبدل‌های حرارتی راندمان کلی سیستم حرارتی را بالا می‌برند، از تأثیراتش روی محیط‌زیست می‌کاهند، و ابعاد و تعداد تجهیزات را کاهش می‌دهند [۱۴،۱۵].

مبدل‌های حرارتی برای تفکیک فضاهایی مثل سیستم‌های گرمایشی، سردکننده‌ها، سیستم‌های تهویه مطبوع، فرآیندهای پتروشیمی، کوره‌های ملتهب، تأسیسات تصفیه فاضلاب و بسیاری از تأسیسات دیگر بکار می‌روند [۱۰،۱۴،۱۶]. در این زمینه، از چهار دهه اخیر، تحقیقات وسیعی درباره شبکه مبدل حرارتی انجام‌شده است تا راندمان کلی بالا رود و مخارج این شبکه‌ها به حداقل برسد [۱۷]. در این راستا، مطالعات متعددی انجام‌شده است تا هزینه و اثربخشی مبدل‌های حرارتی بهینه شود. صادق‌زاده و همکاران [۱۸] برای طراحی مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله‌ای، که به لحاظ فنی و اقتصادی بهینه بودند، از الگوریتم ژنتیک و دسته ذرات استفاده کردند. آن‌ها تابع هزینه، شامل مخارج مبدل‌ها، را بر اساس مساحت سطح انتقال (A_R) و مصرف برق تعریف کردند تا مسئله‌ی افت فشار را حل کنند. ماناسلدی و همکاران [۱۹] با معیارهای حداقل‌سازی مخارج کلی، ازجمله A_R و هزینه عملیاتی، و با حداقل‌سازی A_R و برق مصرفیِ فن‌ها، مدلی ریاضی برای دستیابی به طرح بهینه مبدل‌های حرارتی هواخنک ارائه کردند. اسدی و همکاران [۱۷] الگوریتم جستجوی فاخته را برای بهینه‌سازی مبدل حرارتی پوسته و لوله تحت مطالعه قراردادند. آن‌ها هزینه کل سالیانه را به‌عنوان تابع هدف انتخاب کردند. سپس، اثربخشی این روش را با آنالیز دو حالت ارزیابی کردند. مطالعات موردی نشان می‌دهند که هزینه عملیاتی سالیانه از این طریق، در قیاس با روش بهینه‌سازی دسته ذرات[1](PSO) و الگوریتم ژنتیک[2](GA)، به ترتیب ۷۷ و ۴۸ درصد کمتر می‌شود. تِک و همکاران [۱۷] برای تعیین بهترین مبدل حرارتی بر اساس پارامترهای فنی و اقتصادی، نظیر هزینه واحد سطح ($\text{\$}/a$)، طول عمر، ارزش حرارتی پائین سوخت، ضریب انتقال گرمای کل (U)، زمان کارکرد (T_B)، ظرفیت‌های گرمایی (C_P) جریان‌ها و بسیاری از پارامترهای دیگر، روشی را تحت مطالعه قراردادند. مدل (این محققین) حداکثر E را تأمین و بهترین مبدل حرارتی با حداقل A_R را تعیین کرد. سلباس و همکاران [۲۰] با به‌کارگیری الگوریتم‌های ژنتیک از منظر اقتصادی روش طراحی

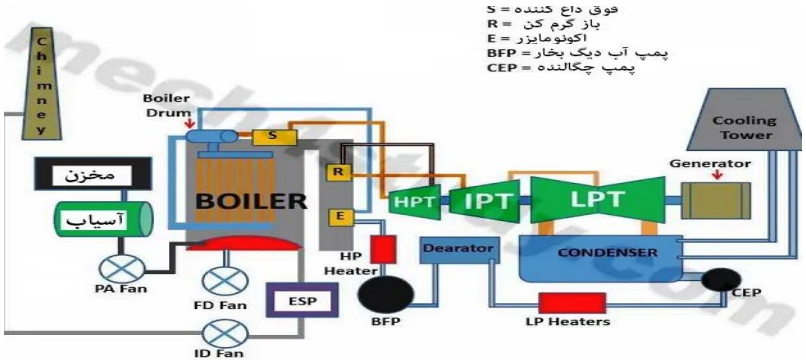
[1]Particle Swarm Optimization
[2]Genetic Algorithm

جدیدی را برای مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله برای طراحی بهینه ابداع کردند. در مطالعه آن‌ها، قطر خارجی، آرایش و تعداد پاس لوله‌ها، فاصله بافل، و برش بافل متغیرهای طراحی بودند. پانس اورتگا و همکاران [۲۱] روی الگوریتم ساده‌ای مطالعه کردند که برای طراحی و بهینه‌سازی اقتصادی مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله ۲-۱ چندپاسه سری ابداع شده بود. این محققین از روش طراحی F_T و قیدهای نامعادلاتی استفاده کردند که قابلیت اجرا و کاربردی بودن مبدل‌های حرارتی تضمین شود. کاپوتو و همکاران [۲۲] برای به دست آوردن طرحی بهینه برای مبدل حرارتی پوسته و لوله شیوه‌ای را پیشنهاد کردند. آن‌ها از الگوریتم ژنتیک برای حداقل سازی هزینه کل تجهیزات، ازجمله سرمایه لازم برای سرمایه‌گذاری و مجموع تخفیف مخارج سالیانه برق پمپاژ، استفاده کردند. اوروزالیف و همکاران [۲۳] روش خودکاری برای بهینه کردن طراحی پیشنهاد دادند که راندمان را، با توجه به تأثیرات پیچیده پارامترها روی راندمان مبدل حرارتی، به حداکثر برساند. همچنین، برای سرمایه‌گذاری و تأمین مخارج عملیاتی کل سیستم (مبدل حرارتی، فن، پمپ و لوله‌ها) شکل مبدل‌های حرارتی ارزیابی شد. بعدها، روش‌های خاصی برای تشکیل توابع هزینه، مخصوصاً برای مبدل‌های حرارتی، پیشنهاد شد. بااین‌حال، هیچ‌یک از آن‌ها سهم اقتصادی مبدل حرارتی و شبکه‌های مبدل حرارتی را در مصرف سوخت، مخارج گرمایش و سرمایش لحاظ نکردند. گذشته از این، زمانی هم که فرض شد چندین مبدل در تأسیسات وجود دارد، شبیه‌سازی همه مبدل‌ها با در نظرگیری بُعد اقتصادی‌شان مطالعه نشد.

در این تحقیق، روابط بین ضرایب اثربخشی ε و هزینه (ζ) را به دست آوردیم، و سپس برای اولین بار جهت شبیه‌سازی E کلی برای همه جریان‌ها، یک مدل شبیه‌سازی اقتصادی ارائه کردیم. در ابتدا، مقادیر E مبدل‌های حرارتی با جریان موازی، جریان مخالف، جریان متقاطع و کلیه مبدل‌های حرارتی تحت شرایط $C_r=0$ برحسب پارامترهای ζ، NTU و حداقل C_P به دست آمدند. سپس، روابط بین محاسبات حرارت و اقتصادی تعیین شد. دماهای ورودی و خروجی لازم در شبیه‌سازی اقتصادی از مدل شبیه‌سازی استاتیکی به دست آمدند [۲۴]. در آخر، برای اینکه مدل را اعتبارسنجی کنیم، مطالعه‌ای موردی انجام دادیم. نوع جریان در شبیه‌سازی اقتصادی جریان مخالف بود. درنتیجه، پارامترهای N، P و E برای کلیه مبدل‌های حرارتی شبکه به‌سادگی از طریق دستگاه معادلات خطی بدون هیچ فرآیند پیچیده، چرخه، نرم‌افزار و سخت‌افزار خاصی بر اساس خواص جریان‌های گرم و سرد محاسبه شدند.

۲. مواد اولیه و روش کار

تأسیساتی که انرژی حرارتی مصرف می‌کنند انرژی اتلافی را از طریق گاز مجرای کوره بکار می‌گیرند. برای کاهش هزینه تولید انرژی، افزایش راندمان تأسیسات و کاهش هزینه خنک‌سازی گاز مجرای کوره، بازیابی حرارت به‌عنوان منبع انرژی ثانویه بهترین روش است. ابتدا، صرفه‌جویی کلی دریکی از تأسیسات با استفاده از هزینه تولید انرژی، هزینه خنک‌سازی و هزینه عملیاتی در دو حالت با و بدون مبدل حرارتی محاسبه شد. سپس، روابط بین ضریب صرفه‌جویی در انرژی (e) و ε به دست آمدند و این روابط برای جریان‌های موازی، مخالف و متقاطع و برای کلیه مبدل‌ها $(C_r=0)$ مشتق‌گیری شدند. روابط معین و به‌دست‌آمده برای محاسبات اقتصادی و حرارت در قالب دستگاه‌های معادلات خطی اصلاح شدند تا مدل شبیه‌سازی اقتصادی برای شبکه مبدل حرارتی متشکل از تعداد زیادی مبدل به دست آید.



شکل ۱. شماتیک عملیاتی نمونه‌ای از یک تأسیسات مصرف‌کننده انرژی حرارتی.

شبیه‌سازی اقتصادی شبکه مبدل حرارتی نمونه

در این بخش، شبیه‌سازی اقتصادی شبکه مبدل حرارتی نمونه انجام شد تا پارامتر E همه مبدل‌هایش پایش شود. اگر دماهای خروجی شبکه معلوم باشند، می‌توان کار را از شبیه‌سازی استاتیکی شروع کرد، زیرا اثربخشی آن معلوم است. سپس می‌توان شبیه‌سازی اقتصادی را انجام داد. اگر صرفه‌جویی بیشینه مورد انتظاری وجود داشته باشد، باید پس از شبیه‌سازی استاتیکی، برای به دست آوردن پارامتر ε از شبیه‌سازی اقتصادی شروع کرد. در این مطالعه موردی، حالت اول در نظر گرفته شد.

دمای جریان‌های گرم به ترتیب ۱۲۰، ۲۰۰ و ۱۵۰ درجه سلسیوس و دمای جریان‌های سرد به ترتیب ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس برای جریان گرم ۱، جریان گرم ۲، جریان گرم ۳، جریان سرد ۱ و جریان سرد ۲ فرض شد. در این مطالعه موردی، پارامتر سطح برای همه مبدل‌ها با فرض جریان مخالف محاسبه شد.

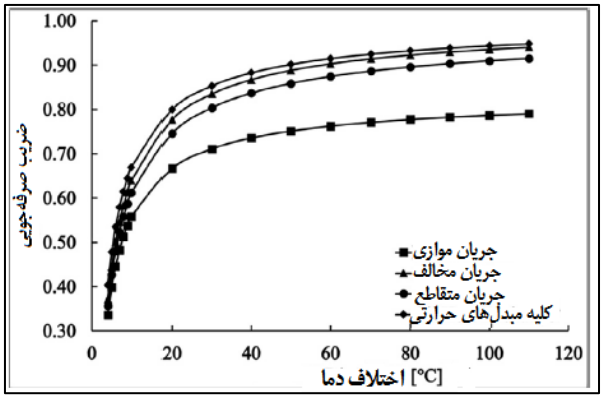
۳. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روابط بین ضرایب اثربخشی و هزینه به دست آمد، و سپس برای شبیه‌سازی مبدل‌های حرارتی در همه جریان‌ها و پایش کمیت‌های صرفه‌جویی تأسیسات، مدل شبیه‌سازی اقتصادی تعریف شد. مقادیر صرفه‌جویی برای مبدل‌های با جریان موازی، مخالف و متقاطع و همه مبدل‌های حرارتی در ثابت به دست آمد. منحنی تغییرات در مقابل اختلاف دما در شکل‌های ۲ و ۳ آمده است. از مقدار صرفه‌جویی حاصل از محاسبات اقتصادی برای شبیه‌سازی‌های اقتصادی مبدل‌های نمونه استفاده شد. در مبدل‌های با جریان متقاطع، زمانی که دمای خروجی‌شان معلوم بود، یعنی مقدار صرفه‌جویی در محاسبات حرارت به‌دست‌آمده بود، معادله جواب ممکن داشت. ولی، در غیر این صورت، جواب تنها از تکرار به دست می‌آمد. با توجه به نتایجی که در شکل‌های ۲ و ۳ آمده، افزون بر این، ضریب صرفه‌جویی همواره با افزایش زمان درنتیجه کاهش مساحت موردنیاز روندی صعودی دارد. بنابراین، پس از مشتق‌گیری کلیه روابط جریان‌ها، که برای اولین بار این محاسبات انجام شد ، مدل شبیه‌سازی اقتصادی برای مبدل‌های متعارف ارائه شد. این مدل برای سه نوع جریان استفاده شد و خلاصه نتایج در جدول ۴ آمد.

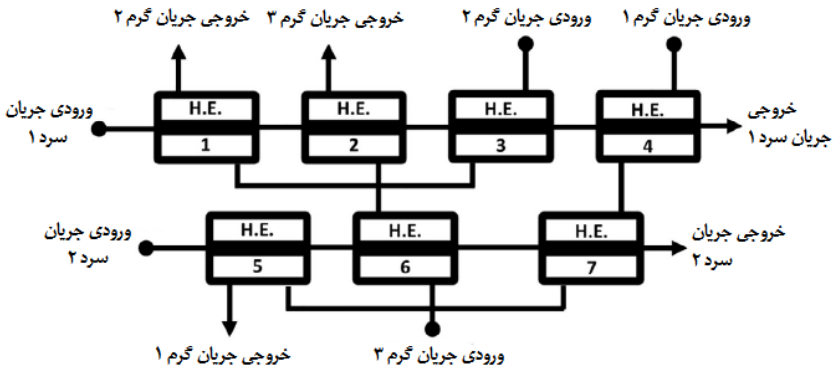
برای شبیه‌سازی اقتصادی، بردارهای دمای خروجی و ورودی از مدل دیگر شبیه‌سازی استاتیکی به دست آمد. جریان از نوع جریان مخالف انتخاب شد و مقدار ε مبدل‌های حرارتی به‌طور تصادفی برای مبدل‌های داخل شبکه نمونه تعیین گردید. در آخر، پارامترهای مصرف، هزینه و صرفه‌جویی کلیه مبدل‌های تأسیسات به‌سادگی از طریق دستگاه معادلات خطی بدون هیچ فرآیند پیچیده‌ای محاسبه شد.

جدول۱. جدول خلاصه شبیه‌سازی اقتصادی.

شماره	ورودی جریان گرم [°C]	خروجی جریان گرم [°C]	ورودی جریان سرد [°C]	خروجی جریان سرد [°C]	مصرف [€/a]	هزینه [€/a]	صرفه‌جویی [€/a]
HE 1	96.5	39.1	20	31	22 957	1 224	21 733
HE 2	109.2	62.5	31.4	40.8	18 650	788	17 862
HE 3	200	96.5	40.8	61.5	41 391	908	40 483
HE 4	120	79	61.5	69.7	16 380	1 052	15 328
HE 5	64	47	30	33.4	6 811	584	6 227
HE 6	150	109.2	33.4	41.5	16 324	356	15 968
HE 7	79	64	41.5	44.5	5 997	424	5 573



شکل ۲. تغییر ضریب صرفه‌جویی برای مبدل‌های حرارتی نمونه.



شکل ۳. شبکه مبدل حرارتی نمونه.

۴. مراجع

под ред.проф.А.Д.Трухния. Основы современной энергетики / под общ.ред. чл.-корр.РАН Е.В.Аметистова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — Т. 1. — 472 с. — ISBN 978 5 383 00162 2.

↑ Перейти обратно:1 2 Ковалёв А. П., Лелеев Н. С., Виленский Т. В. Парогенераторы / под общ. ред. А.П. Ковалёва. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 376 с.

↑ Парогенератор // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969—1978.

↑ Парогенератор — статья из Большого Энциклопедического словаря

↑ ГОСТ 23172-78 Котлы стационарные. Термины и определения. Дата обращения: 10 марта 2012. Архивировано 19 сентября 2015 года.

↑ Морской энциклопедический справочник / Под ред. Н. Н. Исанина. — Л.: Судостроение, 1986. — Т. 2. — 520 с.

↑ Парогенераторы АЭС с реакторами ВВЭР. Дата обращения: 5 июня 2015. Архивировано 6 июня 2015 года.

↑ Перейти обратно:1 2 Новиков В. Н., Радовский И. С., Харитонов В. С. Ч.2 // Расчёт парогенераторов АЭС. — М.: МИФИ, 2001. — 68 с.