دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

گرایش سیستم‌های انرژی

عنوان:

بررسی فرصت های بهینه‌سازی و صرفه‌جویی انرژی در واحد تقطیر پالایشگاه تهران با استفاده از ترکیب مفاهیم روش‌های انتگراسیون فرآیند و دسترسی‌پذیری

استاد راهنما: دکتر محمد رضا امیدخواه

استاد مشاور: دکتر مجید عمیدپور

نگارش:

افشین مهدوی

بهمن 1388

"تحت حمایت شرکت بهینه‌سازي مصرف سوخت"

تقدیم به :

نوشین

علی

آرش

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

1. حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشدو هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد. ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.
2. کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع، مجاز نمی‌باشد.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه‌ی تهیه شده تحت عنوان:

"بررسی فرصت های بهینه سازی و صرفه جویی انرژی در واحد تقطیر پالایشگاه تهران با استفاده از ترکیب مفاهیم روش‌های انتگراسیون فرایند و دسترسی پذیری "

توسط آقای افشین مهدوی، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مکانیک گرایش سیستم های انرژی مورد تایید قرار می‌دهد.

1. استاد راهنما: آقای دکتر محمد رضا امیدخواه
2. استاد مشاور: آقای دکتر مجید عمیدپور
3. ممتحن داخلی: آقای دکتر بهبهانی نیا
4. ممتحن داخلی: آقای دکتر ترابی
5. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده: آقای دکتر صیادی

چکیده

برج تقطیر یکی از اصلی‌ترین واحدهای پالایشی هر پالایشگاه می باشد و هر پالایشگاهی با هر درجه‌ی پیچیدگی از این واحد به عنوان یک واحد مادر بهره می‌برد. گستردگی استفاده از این واحد، اهمیت آن، سابقه‌ی طولانی کاربرد آن به عنوان یکی از روش‌های جداسازی و از همه مهم‌تر مصرف انرژی بسیار بالای آن سبب گردیده است تا تحقیقات بسیار زیادی در زمینه‌های مختلف در جهت افزایش کارایی این واحد صورت پذیرد.

بهینه سازی انرژی این واحد نیز بخصوص پس از بحران‌های نفتی یکی از عمده‌ترین محورهای تحقیقاتی در برج‌های تقطیر بوده است. ولی در اکثر این بررسی‌ها قانون اول ترمودینامیک کانون توجه قرار گرفته شده و صرفاً کمیّت انرژی مطرح بوده است .

در این پژوهش با دیدگاه اکسرژی محور به عنوان تلفیقی از دو قانون اوّل و دوّم ترمودینامیک، کمیّت و کیفیت انرژی، هر دو را مورد توجه قرار داده‌ایم . انجام شبیه سازی واحد با استفاده از نرم افزار Petro-Sim پایه اصلی در این تحقیق بوده و با در نظر گرفتن هر مرحله از جداسازی به عنوان یک سیستم و تحلیل اکسرژی در آن اتلاف اکسرژی در مراحل مختلف محاسبه و پتانسیل‌های بهبود شناسایی گردیده‌اند.

بهبود وضعیت با تغییر شرایط فرآیندی و عملیاتی واحد و اعمال تغییرات به مدل و اخذ بازخورد با تابع هدف کمینه‌سازی اتلاف اکسرژی کل ستون و حفظ کیفیت محصولات تولیدی متدولوژی این تحقیق بوده‌اند.

توجه به نقص بازده در کنار اتلاف اکسرژی کل وجه تمایز این تحقیق با اکثر پژوهش‌های مرتبط با موضوع اتلاف اکسرژی بوده که از آن به عنوان یک ابزار مفید در مقایسه کمّی گزینه‌های مختلف و انتخاب گزینه‌ی مناسب استفاده شده است.

کلمات کلیدی: برج تقطیر، اکسرژی، اتلاف اکسرژی، نقص بازده، بهینه‌سازی، برگشت‌پذیری، برگشت‌ناپذیری، انتروپی، سیکل کارنو،

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	1
فصل اوّ ل	4
1- اصول ترموديناميكی و مقدمات تعريف اكسرژی	5
1.1- تاريخچه‌ی پيدايش مفهوم اكسرژی	5
2.1- ترموديناميک و مفهوم اكسرژی	7
3.1- قانون اول	7
4.1- محدوديت‌هاي قانون اول	8
5.1- معادلات موازنه‌ی جرم و موازنه‌ی انرژي براي يك ناحيه كنترل	9
6.1- قانون دوم، فرضيه‌ی انتروپي	11
7.1- معاني قانون دوم	12
8.1- برگشت پذيري و برگشت ناپذيري	13
9.1- توليد انتروپي در يك سيستم	14
10.1- بيشينه كار قابل حصول از سيستمِ مرتبط با يك منبع انرژي	18
11.1- بيشينه كار يك واكنش شيميايي	18
1.11.1- تابع گيبس يك واكنش	19
12.1- طبقه بندي اَشكال انرژي	20
12.1-الف- انرژي نظم يافته (منظم)	21
12.1 – ب- انرژي نظم نيافته (نامنظم)	22
فصل دوّ م	24
2- مفهوم اكسرژي	25

1.2- محیط	25
1.1.2- حالت مرده(حالت تعادل محدود نشده) و حالت	26
2.2- اکسرژی انواع انرژیهای رایج در فرآیندهای شیمیایی	27
1.2.2- اکسرژی انرژی جنبشی و اکسرژی انرژی پتانسیل	27
2.2.2- اکسرژی انرژی داخلی (u)	27
3.2.2- اکسرژی کار جریان (Pv)	28
4.2.2-اکسرژی انتالپی (h)	28
3.2- مفاهیم اکسرژي در تحلیل ناحیه کنترل	29
1.3.2- اکسرژي همراه با انتقال کار	29
2.3.2- اکسرژي همراه با انتقال حرارت	29
3.3.2- اکسرژي همراه جریان پایاي ماده	33
4.2- اجزاء اکسرژي	33
1.4.2- اجزاي انرژی جنبشي و پتانسیل اکسرژي	33
2.4.2- اجزاي فیزیکي و شیمیایي اکسرژي	34
1.2.4.2- اکسرژي فیزیکي	35
1.1.2.4.2- اجزاي اکسرژي فیزیکي	36
2.1.2.4.2- اکسرژي فیزیکي گاز کامل	39
2.2.4.2- اکسرژي شیمیایي	35
1.2.3.4.2- مواد مرجع	40
2.2.2.4.2- اکسرژي شیمیایي مواد مرجع	41
5.2- مفاهیم اکسرژی در تحلیل سیستم بسته	43
6.2- عناصر تحلیل واحد صنعتي	44

1.6.2- تحيل جرم كنترل، موازنه اكسرژي غيرجرياني	39
7.2- رابطه گوي- استودولا براي جرم كنترل	46
8.2- ناحيه كنترل، موازنه اكسرژي	47
9.2- برگشتناپذيريهاي ذاتي و اجتنابناپذير	48
10.2- معيار های كارايي	51
1.10.2- بازده منطقي	51
2.10.2- نقص بازده	52
11.2- برگشتناپذيريهاي نسبي	53
فصل سوّ م	55
3- تحليل اكسرژی فرآيند جداسازی ،تقطير	56
1.3- فرآيندهاي انتقال حرارت	56
2.3- اَشكال برگشتناپذيري در فرآيندهاي انتقال حرارت	57
3.3- برگشتناپذيري ناشي از انتقال حرارت بواسطهي تفاوت دماي معين	57
4.3- ستون تقطير بيدررو	59
5.3- مدلي براي يك فرآيند تقطير غير بيدرروي ايدهآل	63
1.5.3- مثالي از تحليل يك ستون تقطير بيدررو	66
6.3- ستون بيدررو با كمينه نسبت برگشتي	58
7.3- ستون بيدررو با نسبت برگشتي عملي	67
8.3- برگشتناپذيري در كندانسور و ريبويلر	68
9.3- اَشكال ديگر برگشتناپذيري	69

10.3- عملکرد برج تقطیر به عنوان یک ماشین گرمایی و اهمیت گرمایش و سرمایش جانبی در کاهش اتلاف آن	70
11.3- استفاده از نمودارهای بازگشتپذیر T-H جهت هدفگذاری ریبویلر و کندانسور جانبی	72
12.3- بررسی مدل در یک تقطیر دو جزئی	73
13.3- بررسی مدل در یک تقطیر چند جزئی	76
14.3- محدودیت های کاربرد منحنی CGCC در برجهای تقطیر واقعی	81
15.3- هدفگذاری ریبویلر و کندانسور جانبی	83
فصل چهارم	87
1.4- بررسی اتلاف اکسرژی برج تقطیر اتمسفریک پالایشگاه تهران	88
2.4- ویژگیهای فیزیکی برج تقطیر پالایشگاه	93
3.4- شبیه سازی برج تقطیر پالایشگاه تهران	95
1.3.4- انتخاب معادلهی ترمودینامیکی	96
فصل پنجم	115
1.5- خلاصه و نتیجهگیری	116
2.5- پیشنهادات	118
مراجع	120

فهرست اشکال

اَشکال	صفحه
شکل(1.1)- حرکت سیستم از میان یک ناحیه‌ی کنترل	9
شکل(1.2) - تولید انتروپی در یک سیستم	15
شکل(1.3)- تولید انتروپی در یک ناحیه‌ی کنترل	17
شکل(1.4)- واکنش شیمیایی برگشتپذیر در دمای مرجع T^0	19
شکل (1.5)- مثال‌هایی از تبدیل انرژی منظم	21
شکل (1.6)- مثال هاي از تبدیل انرژي نامنظم به انرژي منظم	23
شکل (2.1)- اکسرژی حرارتی	30
شکل(2.2)- مدول برگشتپذیر برای تعیین اکسرژی فیزیکی جریان پایایی از ماده	35
شکل (2.3)- تعیین ε_{Ph} برای یک جریانی از سیال ساده‌ای هموژن هرگاه $P_1 > P_0$ و $T_1 > T_0$ باشد.	37
شکل(2.4)- تغییر اکسرژي فیزیکي جریاني از یك گاز ایده‌آل با تغییر فشار و دماي آن	39
شکل (2.5)- تحلیل ناحیه کنترل	44
شکل(2.6)- انتقال حرارت متقابل توام با تقابل ناصحیح ظرفیت های حرارتی جریان $(mc_P)_a < (mc_P)_b$	49
شکل(3.1)- انتقال حرارت همفشار در مبدل‌هاي حرارتي (a) جریان غیر همسو و (b) جریان موازي	58

شکل(3.2)- دیاگرام شماتیك یك ستون تقطیر	59
شکل (3.3)- انتقال اکسرژي و حرارت در ستون هاي تقطیر بي‌دررو براي حالت‌هایي که $T>T_0$ و $T<T_0$.	61
شکل (3.4)- مرحله‌ای ایده‌آل از یک تقطیر غیر- بی‌دررو	63
شکل(3.5)- فرآیند اختلاط تعادلي	64
شکل (3.6)- انتقال‌هاي اکسرژي و حرارت در ستونهاي تقطیر ایده‌آل غیربي‌دررو براي $T>T_0$ و $T<T_0$.	65
شکل(3.7)- عملکرد یک ستون تقطیر به مثابه یک ماشین گرمایی	70
شکل (3.8)- اثر استفاده از کندانسور و ریبویلر جانبی بر سطوح دمایی سرویس‌های جانبی	71
شکل (3.9)- نمودار T-H برای یک ستون تفکیک دو جزئیِ بازگشت‌پذیر	72
شکل (3.10)- دیاگرام مککیپ- تایل و دیاگرام اتلاف اکسرژی برج تقطیر با تعداد مراحل(سینی) محدود	74
شکل(3.11)- دیاگرام مککیپ- تایل و دیاگرام اتلاف اکسرژی برج تقطیر در حالت کمینه‌ی جریان برگشتی	74
شکل(3.12)- دیاگرام مککیپ- تایل و دیاگرام اتلاف اکسرژی برج تقطیر در حالت وجود یک ریبویلر جانبی و کمینه‌ی جریان برگشتی	75
شکل(3.13)- دیاگرام مککیپ- تایل و دیاگرام دما- انتالپی برای یک تقطیر دو جزئی برگشت‌پذی	76
شکل (3.14)- شرط ترمودینامیکي کمینه براي یک مخلوط چهار جزئي	77

شکل(3.15)- مناطق مختلف نقطه‌ی پینچ برای سیستم چهار جزئی در جداسازی با فراریّت نزدیک به هم	78
شکل (3.16)- نمودار اتلاف اکسرژی برای مورد c در شکل 3.15	79
شکل (3.17)- نمودار اتلاف اکسرژی برج تقطیر چند جزئی با کندانسور جانبی در حالت کمینه‌ی جریان برگشتی	80
شکل(3.18)- نمودار برگشت‌پذیر برای برج تقطیر چند جزئی	81
شکل (3.19)- نمودار محدود T-H برای سیستم دو جزئی	82
شکل(3.20)- نمودار محدود دما- انتالپی برای یک سیستم تقطیر چند جزئی	83
شکل(3.21)- هدفگذاری گرمایش جانبی به کمک نمودار (LK-HK)	84
شکل(3.22)- شیفت دمایی و افزایش بار حرارتی کل بعد از شبیه‌سازی	85
شکل (4.1)- تصویر بخشی از شبیه سازی برج تقطیر پالایشگاه تهران	102
شکل (4.2)- پروفایل‌های اتلاف اکسرژی، فشار و دما در طول برج برای Base Case	107
شکل (4.3)- پروفایل‌های اتلاف اکسرژی، فشار و دما در طول برج برای Mod.1	108
شکل (4.4)- پروفایل‌های اتلاف اکسرژی، فشار و دما در طول برج برای Mod.2	108
شکل (4.5) - پروفایل‌های اتلاف اکسرژی، فشار و دما در طول برج برای Mod.3	109
شکل (4.6)- پروفایل‌های اتلاف اکسرژی، فشار و دما در طول برج برای Mod.4	109
شکل (4.7) - پروفایل‌های اتلاف اکسرژی، فشار و دما در طول برج برای Mod.5	110
شکل (4.8)- پروفایل‌های اتلاف اکسرژی، فشار و دما در طول برج برای Mod.6	110

شکل (4.9) - پروفایل‌های اتلاف اکسرژی، فشار و دما در طول برج برای Mod.7	111
شکل (4.10)- پروفایل‌های اتلاف اکسرژی، فشار و دما در طول برج برای Mod.8	111
شکل (4.11)- نمودار اتلاف اکسرژی در سناریوهای مختلف بهینه‌سازی با رویکرد اکسرژی	114
شکل (4.12)- نمودار نقص بازده‌ی اکسرژی در سناریوهای مختلف بهینه‌سازی با رویکرد اکسرژی	114

فهرست جداول

جدول	صفحه
جدول(4-1)- شرایط عملیاتی و جریان‌های اصلی ورودی و خروجی واحدهای تقطیر جو و خلاء	89
جدول (4-2)- خواص خوراک مخلوط شده‌ی حوزه اهواز آسماری و چلکن	90
جدول (4-3)- مشخصات تقطیر TBP نفت خام حوزه‌ی چلکن	91
جدول (4-4)- مشخصات تقطیر TBP نفت خام حوزه‌ی اهواز	92
جدول (4-5)- ویژگی‌های دامنه‌ی تقطیر محصولات خروجی از برج تقطیر اتمسفریک	93
جدول (4.6)- انتخاب‌های مختلف برای Fluid Package در نرم افزار PetroSim	97
جدول (4.7)- ویژگی‌های معادله‌ی Peng-Robinson	100

علایم و حروف اختصاری

علایم یونانی

تابع اکسرژی ویژه	β
دمای اکسرژتیک بی بعد	τ
اکسرژی جنبشی ویژه	ε_k
اکسرژی پتانسیل ویژه	ε_P
اکسرژی فیزیکی ویژه	ε_{Ph}
اکسرژی شیمیایی ویژه	ε_O
جزء فشاری اکسرژی فیزیکی ویژه	$\varepsilon^{\Delta P}$
جزء حرارتی اکسرژی فیزیکی ویژه	$\varepsilon^{\Delta T}$
بازده منطقی	ψ
نقص بازده	δ
نقص بازده جزء i-ام	δ_i
اکسرژی غیر جریانی	Ξ
اکسرژی غیر جریانی ویژه	ξ
انتروپی تولید شده	Π

علایم غیر یونانی

اکسرژی	Ex
اکسرژی حرارتی	Ex^Q
اکسرژی جنبشی	Ex_k
اکسرژی پتانسیل	Ex_p
اکسرژی فیزیکی	Ex_{Ph}
اکسرژی شیمیایی	Ex_O
اتلاف اکسرژی	Ex_{loss}
سرعت	C
تابع گیبس	G
انتالپی ویژه	h
انتالپی	H
برگشتناپذیری	I
فشار	P
فشار در شرایط مرجع	P_0
حرارت	Q
ثابت گازها	R
انتروپی ویژه	s
انتروپی	S
انتروپی تولید شده	S_{gen}
دما	T
دما در شرایط مرجع	T_0

حروف اختصاری

ناحیه کنترل	CR
سطح کنترل	CS
منبع انرژی مکانیکی	MER

ماشین گرمایی برگشت‌پذیر	RHE	انرژی داخلی ویژه	u
منبع انرژی گرمایی	TER	انرژی داخلی	U
		حجم	V
		کار	W
		ارتفاع از سطح مبنا	z

مقدمه

بطور کلی پالایشگاه‌ها را می‌توان از جمله بزرگترین بنگاه‌های اقتصادی در نظر گرفت. هدف اصلی هر بنگاه اقتصادی کسب درآمد و پول است و لذا پالایشگاه‌ها نیز در حالت عام از همین قانون تبعیت می‌کنند. بدین ترتیب در هر مجموعه‌ی فرآیندی، بخصوص مجموعه‌ی بزرگی نظیر یک پالایشگاه یا یک مجتمع پتروشیمیایی در هنگام طراحی فرآیند و یا بهینه‌سازی آن و همچنین در تصمیم‌گیری برای انتخاب شرایط بهینه‌ی اقتصادی عملکرد واحد، شناخت و درک کامل اقتصاد فرآیند بسیار مهم بوده و نقش بحرانی را در نوع طراحی فرآیند، شرایط عملیاتی و برنامه‌ریزی‌های تولید بر عهده دارد. اقتصاد فرآیند سه نقش عمده در طراحی فرآیند دارد[1]:

1. *ارزیابی گزینه‌های طراحی* . در این رابطه ملاک اصلی هزینه‌های مربوط به هر انتخاب می‌باشد.
2. *بهینه سازی فرآیند* . تنظیم برخی متغییرهای فرآیند می‌تواند نقش قابل توجهی در تصمیم سازی در رابطه با توسعه و سودآوری کلی فرآیند داشته باشد.
3. سودآوری کلی پروژه. در این رابطه بایستی اقتصاد کلی پروژه در مراحل مختلف طراحی بررسی شده تا مشخص گردد آیا پروژه از جنبه اقتصادی قابل قبول است یا نه؟

علی الاصول در هنگام احداث یک واحد صنعتی جدید (Grassroot) به تمام این نکات توجه می شود یعنی کلیه واحدهای صنعتی از جمله واحدهای شیمیایی متناسب با تکنولوژی زمان خود و شرایط اقتصادی حاکم طراحی می‌شوند ولی آنچه مسلم است این است که در طی سال‌های کارکرد واحد و گذشت زمان ضمن تغییر در شرایط حاکم بر اقتصاد و پیشرفت‌های بوجود آمده در عرصه‌ی دانش و صنعت اگر قرار باشد یک واحد فرآیندی با همان وظیفه، همان لیسانس و در همان مکان ایجاد شود علیرغم مشابهت‌های بسیار تفاوت‌های را در بخشی از قسمت‌ها شاهد خواهیم بود که بزرگی تغییرات بستگی به میزان

تغییرات حادث شده در مفروضات در نظر گرفته شده در زمان طراحی و ساخت واحد دارد.

از اینجا است که بحث‌هایی نظیر بهینه‌سازی و اعمال تغییرات در واحدهای موجود (Retrofit) مطرح می‌شوند. اگر فرآیندهای هسته‌ای را کنار بگذاریم پالایشگاه‌های نفت خام را می‌توان به عنوان بزرگترین مولد حامل‌های انرژی با تنوع فراوان در حوزه‌های مصرف دانست. وظیفه یک پالایشگاه جداسازی و تصفیه نفت خام به برش‌های مختلف است.

اولین واحد در پالایش نفت خام واحد تقطیر میباشد که جزء لاینفک هر پالایشگاه بوده و حتی در ساده‌ترین پالایشگاه‌ها (Topping Plant) نیزیکی از ارکان اصلی فرآیند تصفیه نفت خام می‌باشد.

در میان تکنیک‌های جداسازی، تقطیر بطور عام از سه ویژگی برخوردار است[1و6]:

1. فراگیر بودن،
2. تکنولوژی به بلوغ رسیده، به عنوان نقاط قوّت و
3. بسیار انرژی‌بربودن فرآیند، به عنوان نقطه‌ی ضعف این روش جداسازی. لذا این واحد همواره مورد توجه مهندسین شیمی بوده است و تلاش‌های انجام شده را می‌توان در سه محور زیر دسته‌بندی نمود:

- طراحی بهتر سیستم
- استفاده از تقطیرهای پیچیده
- انتگراسیون حرارتی بهتر

تمام این تلاش‌ها دو هدف را دنبال می‌کنند: صرفه‌جویی در انرژی و صرفه‌جویی در هزینه‌ی سرمایه‌گذاری. بطور کلی این دو هدف در تقابل با یکدیگر هستند و از اینجا است که تمام تلاش‌ها منجر به دستیابی به بهترین وضعیت برای هزینه‌ی کل می‌شود که این کار نتیجه‌ی بده-بستان میان هزینه‌ی انرژی و هزینه‌ی سرمایه‌گذاری است.

از آنجایی‌که در کشور ما دستیابی به منابع انرژی راحت و ارزان بوده و از طرفی بدلیل عدم وجود تکنولوژی بومی

[1] Trade-off

هزینه‌ی سرمایه‌گذاری بسیار بالا بوده است لذا در طراحی واحدهای فرآیندی کفه‌ی ترازو به نفع کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری بوده تا کاهش مصرف انرژی.

امروزه با توجه به بحران‌های انرژی در دنیا و پیشرفت‌های تکنولوژی این توازن کمی جابجا شده است و لذا در زمینه صرفه جویی انرژی جای کار زیادی وجود دارد. واحد تقطیر به دلایل پیش گفت نقش محوری را جهت صرفه‌جویی انرژی در پالایشگاه‌ها داشته و به همین دلیل انتخاب این پایان‌نامه بوده است که در آن به بررسی شناسایی پتانسیل‌های بهبود از طریق کاهش اتلافات ترمودینامیکی و افزایش راندمان طی کاهش برگشت‌ناپذیری‌ها توجه شده است.