



تحلیل اکسرژی واحد نم‌زدایی شرکت پالایش گاز پارسین

محمدجواد مرادی¹، ایوب صفری^{2*}، جواد سعیدمنش³

* ایوب صفری: asafari1388@gmail.com

واژه‌های کلیدی

انرژی؛ Aspen؛ بازدهی؛
گاز طبیعی؛ اکسرژی؛

چکیده

مصرف انرژی در هر کشور یکی از شاخص‌های مهم توسعه اقتصادی به شمار می‌رود اما عاملی که مهم‌تر از مصرف انرژی هست بازده استفاده از انرژی است که بر چگونگی رشد اقتصادی کشور تأثیر می‌گذارد. با وجود اینکه کشور ما دارای درصد بالایی از مصرف انرژی هست اما به خاطر پایین بودن بازده در اکثر واحدهای که مصرف‌کنندگان عمده انرژی هستند کارایی استفاده انرژی پایین هست لذا بازنگری دوباره به صنایعی که با بازده‌های پایین به فعالیت مشغول هستند و افزایش بهره‌برداری و بازده آن‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت گاز طبیعی در کشور واضح است که ارائه روش‌های بهینه و پربازده جهت پالایش این ذخایر ارزشمند کمک بزرگی به صنعت پالایش کشور می‌کند و پالایشگاه پارسین به عنوان یکی از مهم‌ترین اعضای مجموعه پالایش، نقشی کلیدی در تأمین گاز سراسری ایفا می‌کند. در این تحقیق نیاز بر آن شد که واحد نم‌زدایی که از متداول‌ترین روش‌های آن استفاده از بستر جاذب جامد هست و قبلاً به وسیله نرم‌افزار Aspen شبیه‌سازی شده است با انجام آنالیز اکسرژی بر روی این واحد میزان اتلاف انرژی دستگاه‌ها مشخص گردد و پیشنهادهایی جهت بهبود کارایی آن‌ها ارائه گردد.

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد لامرد

2- استاد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد لامرد

3- مشاور صنعتی، واحد عملیات، شرکت پالایش گاز پارسین

1- مقدمه

مفهوم اکسرژی، قوانین اول و دوم ترمودینامیک به همراه سه مفهوم اضافی: کار مفید، کار ماکزیمم و حالت مرجع را در برمی‌گیرد. آن قسمتی از کار که می‌تواند یک جسم را از زمین بلند کند (برخلاف نیروی جاذبه حرکت دهد)، کار مفید نامیده می‌شود. سیستمی که به آن حالت مرجع اطلاق می‌شود، سیستمی است که در حالت تعادل ترمودینامیکی با محیط مرجع باشد. کار حجم- فشار که به آن کار $p dv$ نیز اطلاق می‌شود و بر روی محیط انجام می‌گیرد و به صورت $P dv$ نمایش داده می‌شود، کار محیطی نامیده می‌شود (W_{surr}). این کار نمی‌تواند جسم را از زمین بلند کند. کاری که به صورت برگشت‌پذیر و بدون بازگشت‌ناپذیری‌های مربوط به تولید آنتروپی به دست می‌آید، کار ماکزیمم نامیده می‌شود. [3]

محاسبه اکسرژی یک جرم کنترل (سیستم بسته)

برای یک سیستم بسته قانون اول بصورت زیر است

$$dU = \delta Q - \delta W \quad (1)$$

و قانون دوم نیز بصورت زیر تعریف می‌شود

$$\delta S_{gen} = ds_{sys} + \delta s_{surr} = ds + \frac{\delta Q}{T} \quad (2)$$

که

U : انرژی داخلی سیستم

W : خروجی کلی کار سیستم

Q : میزان حرارت انتقال یافته به سیستم

T : دمای محیط

S_{gen} : مجموع میزان آنتروپی تولیدی در

سیستم و محیط مرجع

با حذف پارامترهای انتقال حرارت خواهیم داشت:

$$\delta W = -dU + T \cdot ds - T \cdot \delta S_{gen} \quad (3)$$

استفاده از آنالیز قانون دوم به کوشش‌های انجام‌یافته در زمینه ارزیابی میزان تبدیل‌پذیری شکل‌های مختلف انرژی به کار مفید برمی‌گردد. این کوشش‌ها به‌طور مستقیم با شروع فرمول‌بندی قانون دوم ترمودینامیک در ارتباط بوده و بنابراین تنها جنبه‌ی تئوریک داشت اولین مورد کاربرد قانون دوم در فرآیندهای شیمیایی در سال 1951 توسط رنت⁴ صورت گرفت که او در این کار فرآیند تولید سودا را مورد آنالیز قرارداد. از آنجایی که قانون دوم ترمودینامیک کنترل‌کننده محدودیت‌های در تبدیل صورت‌های مختلف انرژی به یکدیگر است به‌خوبی می‌توان با استفاده از روش اکسرژی، میزان فقدان انرژی را در فرآیندهای واقعی تعیین کرد. کار بعدی این روش محل اتلاف انرژی را در یک فرآیند مشخص می‌کند و واحدهای عملیاتی را که برای بهبود در اولویت قرار دارند نشان می‌دهد. [1]

2- کلیات اکسرژی

وجه تمایز انرژی و اکسرژی:

انرژی فقط بستگی به پارامترهای جریان جرم یا انرژی دارد و بستگی به پارامترهای محیط ندارد. مقادیر متفاوت با صفر دارد. از قانون بقاء انرژی در تمام فرآیندها تبعیت می‌کند. اکسرژی هم‌بستگی به پارامترهای جریان ماده هم‌بستگی به پارامترهای محیط دارد. در حالت تعادل با محیط می‌تواند صفر باشد. از قانون بقاء انرژی فقط در فرآیندهای برگشت‌پذیر تبعیت می‌کند و در فرآیندهای بازگشت‌ناپذیر به‌صورت جزئی یا کلی از بین می‌رود. [2]

مبانی نظری مفهوم اکسرژی:

⁴ - Rant

اکسرژی، اتلاف اکسرژی محاسبه می‌شود. در این حالت موازنه اکسرژی به صورت زیر است:

(8)

$$\sum Ex_{in} + \sum (Ex_Q) + \sum W_{in} = \sum Ex_{out} + \sum W_{out} + T \Delta S_{tot}$$

در این رابطه Ex_{out} , Ex_{in} مربوط به جریان‌های جرمی ورودی و خروجی سیستم هستند، بدیهی است که برای محاسبه اکسرژی هر جریان باید از شرایط دمایی و فشاری محیط شروع کرده تا به شرایط جریان موردنظر برسیم.

2- روش واحدی

در هر فرآیندی که اتفاق می‌افتد یک منبع اکسرژی و یک چاله اکسرژی وجود دارد، که در طی این فرآیند اکسرژی از منبع به چاله انتقال می‌یابد. اما به دلیل کاهش اختلاف پتانسیل بین منبع و چاله در اثر انتقال اکسرژی، مقداری از اکسرژی که می‌بایست به چاله منتقل شود، تلف می‌شود. نکته‌ی مهم قابل ذکر آن که، برای محاسبه اتلاف به روش across the unit باید منبع و چاله اکسرژی به درستی شناسایی شوند، سپس با استفاده از رابطه زیر اتلاف اکسرژی را به دست آورد. [4]

4- شبیه سازی فرایند

در این مرحله بخش‌های مختلف واحد نم زدایی بکمک نرم افزار aspen شبیه سازی می‌شود شماتیک شبیه سازی تجهیزات به ترتیب از ورودی واحد به سمت خروجی و مسیر گاز احیا در زیر آمده است:

1- جداکننده ورودی⁵ و فیلتر ورودی⁶

عبارت δW خروجی واقعی کار را نشان می‌دهد. با کم کردن عبارت مربوط $(P.dV)W_{surr}$ از کار مربوط به معادله (3) کار مفید به دست خواهد آمد. توجه شود که علامت منفی در جلوی $T.\delta S_{gen}$ نشان‌دهنده این است که تولید آنتروپی موجب کاهش توانایی سیستم برای انجام کار مفید شده است.

با توجه به اینکه δS_{gen} و T نمی‌تواند منفی باشد بمنظور ماکزیمم کردن کار مفید باید δS_{gen} باید مینیمم باشد که برابر صفر می‌شود.

بنابراین

$$\partial W_{useful, max inum} = -du - P.dv + T.ds \quad (4)$$

در نهایت اکسرژی با انتگرال گیری از معادله (4) بدست خواهد آمد:

(5)

$$Exergy = Ex = \int_{initial-state}^{dead-state} \delta W_{useful, max inum}$$

$$Ex = (U - U^0) + P(V - V^0) - T(S - S^0) \quad (6)$$

توجه شود که Ex (اکسرژی) که در اینجا محاسبه شده مربوط به حداکثر کار مفیدی هست که از سیستم خارج می‌شود. و به همین روش اکسرژی برای یک حجم کنترل خواهیم داشت:

$$Ex = (\dot{H} - \dot{H}^0) + (\dot{K}E - \dot{K}E^0) + (\dot{P}E - \dot{P}E^0) - T(\dot{S} - \dot{S}^0) \quad (7)$$

3- روش محاسبه اتلاف اکسرژی

در این خصوص در روش وجود دارد:

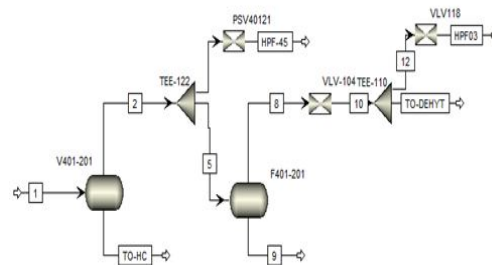
1- روش جریان

در این روش ابتدا اکسرژی تمام جریان‌های جرمی ورودی و خروجی سیستم و اکسرژی جریان‌های حرارتی ورودی و خروجی سیستم محاسبه می‌شود. سپس با نوشتن موازنه

⁵ Inlet Separator

⁶ Inlet Filter

برای به دست آوردن اکسرژی جریان‌ها نیاز به دانستن دمای محیط (فرض: 40 درجه سانتی‌گراد) و دبی، آنتالپی و آنتروپی جریان‌ها هستیم که این اطلاعات را به کمک aspen به دست می‌آوریم که به‌عنوان نمونه داده‌های استخراجی از جریان ورودی به واحد E403-202A نشان داده شده است.



شکل (1) - شماتیک جدا کننده و فیلتر ورودی

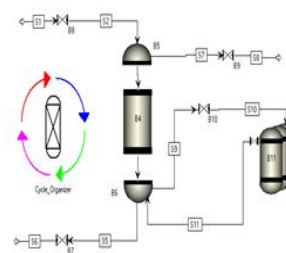
جدول (1) - نتایج حاصل از شبیه سازی فن گاز احیا

Stream		
Stream ID		1
From		B1
To		E403202A
Phase		VAPOR
Substance MIXED		
MALEFLO		
WATER		4.513789
CARBO-01		40.429402
NITRO-01		76.734441
METHA-01		2821.9100
ETYL-01		152.54401
PROPA-01		59.146830
ISOBU-01		12.337769
N-BUT-01		13.844733
N-PEN-01		5.114547
2-MET-01		7.522882
N-HEX-01		6.918903
N-HEP-01		3.611031
N-OCT-01		2.1104433
N-NOON-01		1.504336
N-NOVE-01		0.027478
N-DEC-01		0.021246
Total Flow		3008.183
Total Flow		37070.100
Total Flow		1164.017
Temperature		137.2000
Pressure		85.70000
Vapor Fac		1.000000
Liquid Fac		0.0
Solid Fac		0.0
Enthalpy		10.084402
Enthalpy		448.8704
Enthalpy		40.41478
Enthalpy		31.71127
Enthalpy		1.903473
Density		2.325179
Density		40.89411
Average MW		18.55155
Liq Vol GPF		171.2423

5- محاسبه اکسرژی اجزای فرآیند:

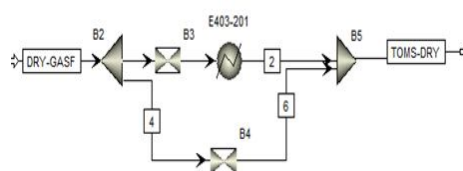
در این بخش محاسبات اکسرژی تمام تجهیزات، از ورودی واحد شامل جداکننده ورودی تا فیلتر خروجی واحد نم‌زدایی و همچنین مسیر گاز احیا، بکمک داده های بدست آمده از نرم افزار شبیه سازی انجام می شود:

2- برج های جذب⁷



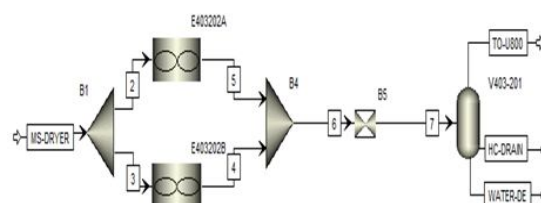
شکل (2) - شماتیک برج های جذب

3- مبدل حرارتی⁸



شکل (3) - شماتیک مبدل حرارتی

4- جداکننده⁹ و فن های گاز احیا



شکل (4) - شماتیک جدا کننده و فن های گاز احیا

⁷ Molecular Sieve Dryers

⁸ Heat Exchanger

⁹ Scrubber & cooler

1. محاسبه اکسرژی ۲۰۱-۷۴۰۱

تلفات اکسرژی واحد = مجموع اکسرژی خروجی -
مجموع اکسرژی ورودی

جدول (2) - محاسبه اکسرژی ۲۰۱-۷۴۰۱

جریان ها	شار	آنتالپی	آنتروپی	اکسرژی
(kmol/hr)	(Kcal/mol.K)	(Kcal/mol.K)	(Cal/mol.K)	(Cal/hr)
ورودی	۳۵۷۶۴٫۹۱۸۸	-۱۹٫۳۱۷۶	-۳۰٫۳۶۲۱	۱٫۲۶۳۶E+۱۱
خروجی یک	۰٫۱۰۰۹۶۱۶۷	-۴۳٫۰۲۶۳	-۱۲۶٫۸	۳۴۰۴۲۳۵٫۰۱۱
خروجی دو	۳۵۷۶۴٫۸۱۷۸	-۱۹٫۳۱۷۴	-۳۰٫۳۶۰۹	۱٫۲۶۳۴۷E+۱۱

تلفات اکسرژی واحد = 5190791 Cal/hr

$$\eta = \frac{\sum Ex_{out}}{\sum Ex_{in}} = 0/9999$$

4. محاسبه اکسرژی ۲۰۲A&B-۲۰۳E

جدول (5) - محاسبه اکسرژی ۲۰۲A&B-۲۰۳E

جریان ها	شار	آنتالپی	آنتروپی	اکسرژی
(Kmol/hr)	(Kcal/mol.K)	(Kcal/mol.K)	(Cal/mol.K)	(Cal/hr)
ورودی	۳۰۰٫۹۱۹۳	-۱۶٫۰۸۹۶	-۲۴٫۷۴۱۳	۹۰۸۸۱۵۱۶۱۸
خروجی یک	۳۰۰٫۹۱۹۳	-۱۷٫۶۱۶۴	-۲۸٫۷۲۲۳	۵۳۳۷۵۶۷۷۵۳

تلفات اکسرژی واحد = مجموع اکسرژی خروجی -
مجموع اکسرژی ورودی

تلفات اکسرژی واحد = ۳٫۶۲E+۰۹ Cal/hr

$$\eta = \frac{\sum Ex_{out}}{\sum Ex_{in}} = 0/5873$$

5. محاسبه اکسرژی ۲۰۱-۲۰۳E

جدول (6) - محاسبه اکسرژی ۲۰۱-۲۰۳E

جریان ها	شار	آنتالپی	آنتروپی	اکسرژی
(Kmol/hr)	(Kcal/mol.K)	(Kcal/mol.K)	(Cal/mol.K)	(Cal/hr)
ورودی	۳۵۷۶۴٫۸۲	-۲۰٫۳۳۹۷	-۳۰٫۴۵۵۱	۱٫۲۷۴E+۱۱
خروجی یک	۳۵۷۶۴٫۸۲	-۱۷٫۳۱۵۴	-۲۳٫۴۳۸۴	۴۸۸۵۳۱۲۵۵۴۲

تلفات اکسرژی واحد = مجموع اکسرژی خروجی -
مجموع اکسرژی ورودی

تلفات اکسرژی واحد = ۷٫۶۰E+۱۰ Cal/hr

$$\eta = \frac{\sum Ex_{out}}{\sum Ex_{in}} = 0/3830$$

2. محاسبه اکسرژی ۲۰۱-۷۴۰۳

جدول (3) - محاسبه اکسرژی ۲۰۱-۷۴۰۳

جریان ها	شار	آنتالپی	آنتروپی	اکسرژی
(Kmol/hr)	(Kcal/mol.K)	(Kcal/mol.K)	(Cal/mol.K)	(Cal/hr)
ورودی	۶۰۱۸٫۳۸۵	-۱۷٫۶۱۶۴	-۲۸٫۷۲۰۶	۱۸۱۷۱۲۶۲۳۰۹
خروجی یک	۶۰۱۸٫۱۰۴	-۱۷٫۶۱۲۴	-۲۸٫۶۹۷۲	۱۸۱۲۶۳۰۳۲۶۲
خروجی دو	۰٫۲۸۱۹۰۴	-۴۲٫۲۳۷۶	-۱۳۰٫۷۳	۹۸۵۲۰۸۸۳۵۱

تلفات اکسرژی واحد = مجموع اکسرژی خروجی -
مجموع اکسرژی ورودی

تلفات اکسرژی واحد = ۳٫۴E+۰۷ Cal/hr

$$\eta = \frac{\sum Ex_{out}}{\sum Ex_{in}} = 0/۹۹۷۶ \quad \eta = \frac{\sum Ex_{out}}{\sum Ex_{in}} =$$

3. محاسبه اکسرژی ۲۰۱-۴۰۱F

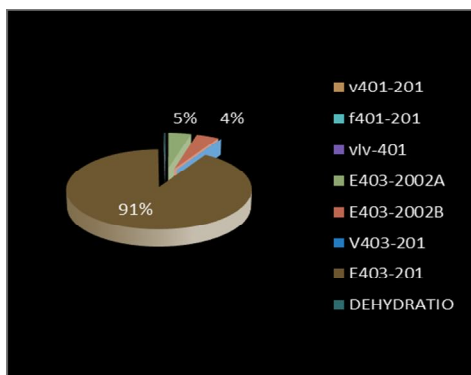
جدول (4) - محاسبه اکسرژی ۲۰۱-۴۰۱F

جریان ها	شار	آنتالپی	آنتروپی	اکسرژی
(Kmol/hr)	(Kcal/mol.K)	(Kcal/mol.K)	(Cal/mol.K)	(Cal/hr)
ورودی	۳۵۷۶۴٫۸۲	-۱۹٫۳۱۷۴	-۳۰٫۳۶۰۹	۱٫۲۶۳۴۷E+۱۱
خروجی یک	۳۵۷۶۴٫۸۲	-۱۹٫۳۱۷۲	-۳۰٫۳۶۰۵	۱٫۲۶۳۴۱E+۱۱

6. محاسبه اکسرژی DEHYDRATION UNIT

همچنین نمودار دایره ای درصد اتلاف اکسرژی هر بخش در زیر آمده است:

شکل (6) - نمودار دایره ای درصد اتلاف اکسرژی



با توجه به مقدار اکسرژی تلف شده و بازده اکسژتیک محاسبه شده، مشخص میشود که دستگاههای زیر دارای بازده پایین و اتلاف اکسرژی بالا میباشند:

E403-202A&B: فن های هوایی که دارای اتلاف اکسرژی $3.63E+09$ Cal/hr و بازده اکسرژی 0/5873 می باشند.

E403-201: مبدل احیا که دارای اتلاف اکسرژی $7.604E+10$ Cal/hr و بازده اکسرژی 0/383 می باشد.

فهرست علائم

فهرست علائم در جدول زیر آمده است:

علامت اختصاری	واحد	توضیحات
t	s	زمان
P	Bar	فشار
T	K	دما
η	-	بازده اکسرژی
U	KJ	انرژی داخلی سیستم
W	KJ	خروجی کلی کار سیستم
Q _o	KJ	میزان حرارت انتقال یافته
S _{gen}	Kj	آنتروپی تولیدی

جدول (7) - محاسبه اکسرژی DEHYDRATION UNIT

جریان ها	شار	آنتالپی	آنتروپی	اکسرژی
(Kmol/hr)	(Kcal/mol.K)	(Cal/mol.K)	(Cal/hr)	
ورودی	35910	-19.3251	-30.4097	$1.27585E+11$
خروجی یک	35850	-19.2594	-30.4445	$1.27407E+11$

تلفات اکسرژی واحد = مجموع اکسرژی خروجی -

مجموع اکسرژی ورودی

تلفات اکسرژی واحد = $1.VE+8$ Cal/hr

$$\eta = \frac{\sum Ex_{out}}{\sum Ex_{in}} = 0/999$$

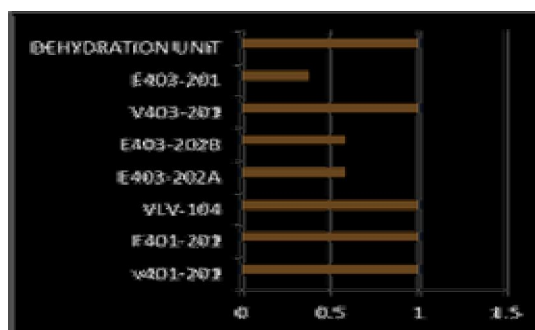
6- نتیجه گیری

همان طور که در فصل های قبل گفته شد، در این کار پژوهشی ابتدا واحد نهم‌زدایی گاز طبیعی پالایشگاه گاز پارسین به وسیله نرم افزار Aspen شبیه سازی و سپس آنالیز اکسرژی واحد مورد نظر انجام شد. می شود. در پایان نتایج زیر به دست آمد:

- نتایج بدست آمده از این شبیه سازی با تقریب خوبی با داده های صنعتی مطابقت دارد.

- مقایسه واحدها بر حسب بازده اکسرژی در نمودار زیر نشان داده شده است:

شکل (5) - مقایسه بازده اکسرژی واحدها



مراجع:

- [1]Sciubba E, Wall G. A brief commented history of exergy from the beginnings to ۲۰۰۴. International Journal of Thermodynamics ۲۰۰۷; ۱۰: ۱-۳۶.
- [2]Kotas TJ. The exergy method of thermal plant analysis: Elsevier; ۲۰۱۳.
- [3]Sciubba E. Beyond thermoeconomics? The concept of extended exergy accounting and its application to the analysis and design of thermal systems. Exergy, an international journal ۲۰۰۱; ۱: ۶۸-۸۴.
- [4]Gundersen T. An introduction to the concept of exergy and energy quality. Department of Energy and Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, Version ۲۰۰۹; ۳.