

## کاهش انتشار دی اکسید کربن و بهینه سازی مصرف انرژی در پتروشیمی مارون از طریق انتگراسیون واحد

علیرضا حسینی عراقی<sup>۱\*</sup>، احمد خوشگرد<sup>۲</sup>، امیر تختکشاها<sup>۳</sup>، قدرت ا... نصیری<sup>۲</sup>

۱- شرکت پتروشیمی کاویان

۲- شرکت ملی صنایع پتروشیمی

۳- شرکت پتروشیمی مارون

[Ahmad\\_khoshgard@yahoo.com](mailto:Ahmad_khoshgard@yahoo.com)

### چکیده

رعایت مسائل زیست محیطی و ملاحظات انرژی در صنایع فرآیندی، امروزه با اعمال قوانین سختگیرانه توسط نهادهای بین المللی روبرو بوده است و این امر موجب رقابتی تر شدن عرصه بازار برای تولیدکنندگان گردیده است. یکی از این محدودیت ها کنوانسیون تغییرات آب و هوا و پروتکل کیوتو می باشد که در آن بر کاهش انتشار گازهای آلاینده گلخانه‌ای نظیر CO<sub>2</sub> تاکید شده است.

در این مقاله، در ابتدا شبیه سازی سیکل متان در سیستم سرمایه‌گذاری طبقه ای دماپائین واحد الفین مجتمع پتروشیمی مارون انجام شده است سپس با بهره گیری از آنالیز پینچ و انرژی راهکاری مناسب برای افزایش بهره وری انرژی و در نتیجه کاهش انتشار گاز آلاینده دی اکسید کربن در سیستم فوق ارائه گردیده است. نهایتاً محاسبات اقتصادی طرح پیشنهادی بیانگر سودمندی روش فوق در کاهش آثار سوء زیست محیطی و بهره گیری بهتر از منابع با صرفه اقتصادی بالا و زمان بازگشت سرمایه کم می باشد.

**کلمات کلیدی:** انتگراسیون - مکانیسم توسعه پاک (CDM) - بهینه سازی انرژی-پتروشیمی

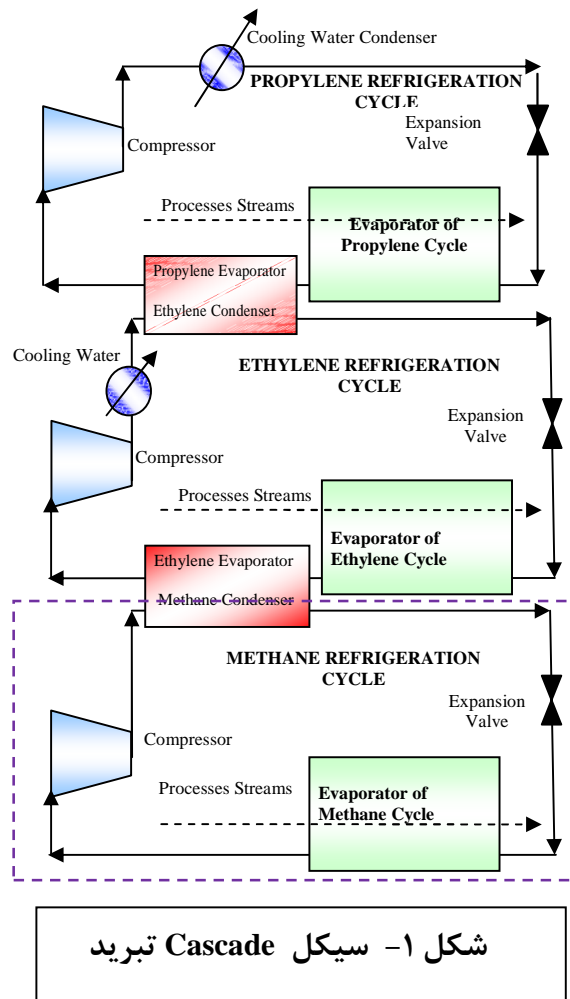
## ۱- مقدمه

پتروشیمی مارون در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر واقع شده است. واحد الفین مذکور واحد الفین هفتم نیز نامیده می شود و تحت لیسانس شرکت Linde برای تولید  $\text{ton/yr}$  ۱۱۰۰۰۰۰ اتیلن طراحی شده است.

واحد های الفین در صنعت پتروشیمی بعنوان یکی از کلیدی ترین واحدها که با تبدیل خوراک مایع (نفتا) یا خوراک گاز اتان به اتیلن و محصول جانبی پروپیلن، خوراک تعدادی از واحدهای دیگر نظیر واحدهای پیل اتیلن و پلی پروپیلن را تامین می کند. واحدهای الفین از دو بخش اصلی تشکیل شده اند بخش اول **Hot Section** نام دارد که در آن واکنش شکستن مولکولهای خوراک به اتیلن و محصولات جانبی مانند پروپیلن، بنزین پیرولیز انجام می شود و بخش دوم **Cold Section** نام دارد که با استفاده از سیستم های تبرید محصولات تولیدی را از هم تفکیک می نماید. عموماً سیکل های تبرید استفاده شده در واحدهای الفین از نوع طبقه ای (Cascade) است که در طبقه اول آب با پروپیلن، در طبقه دوم پروپیلن با اتیلن و در طبقه آخر اتیلن با گاز سبک متان تبادل حرارتی می نماید. دما در ناحیه **Cold Section** این جریان تبادل حرارت تا  $150^{\circ}\text{C}$  - درجه سانتیگراد نیز می رسد. نمای سیکل طبقه ای در شکل ۱ نمایش داده شده است.

## ۲- بهینه سازی فرآیند

برای شناسایی پتانسیل بهبود شبیه سازی سیکل متان واحد الفین مارون در شرایط طراحی، توسط نرم افزار Hysys انجام گردید. تحلیل شرایط دما و فشار جریانهای گرم و سرد موجود در سیستم با روش پینچ و آگرژی بیانگر وجود پتانسیل بهینه سازی انرژی در یکی از مبدل های **Multi Stream** سیکل سرمازای متان بنام مبدل E3012 می باشد، مشخصات داده های فرآیندی جریان های عبوری از این مبدل در جدول ۱ ارائه شده است. با بکارگیری راهکار افزایش فشار جریان مایع (شماره ۲) ورودی به مبدل حرارتی بوسیله یک پمپ (با صرف مقدار کمی کار) و قرارداد اکسپندر در خروجی این جریان از مبدل حرارتی (و استحصال کار بیشتر) مقدار متناهی کار بازیافت می گردد.

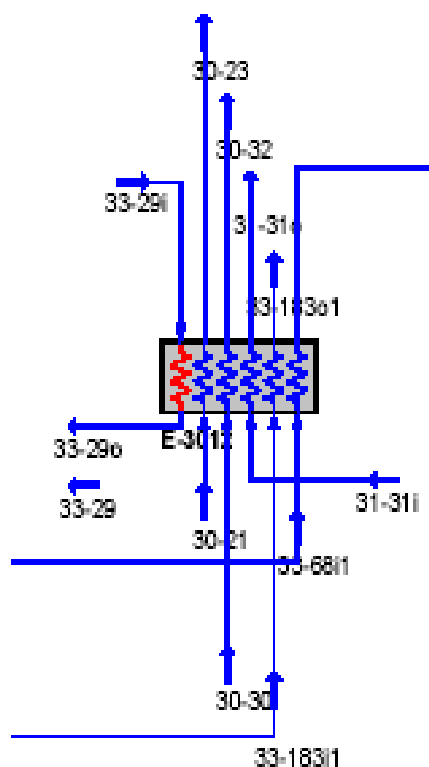


جدول ۱- مشخصات جریانهای فرآیندی مبدل E3012

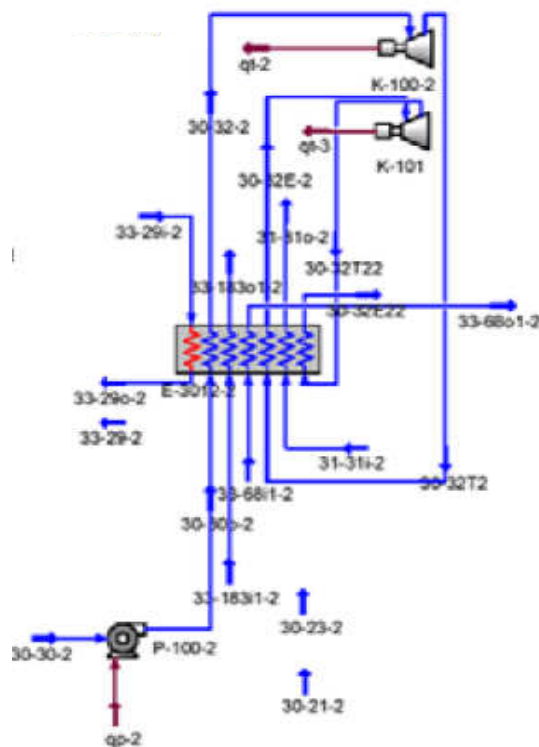
stream	Ts	Tt	Ps	Pt	Xs	Xt
1	-24.66	12.57	27.54	27.54	0	0
2	-37.99	12.57	7.29	7.14	0	1
3	-51.88	12.57	9.27	9.27	1	1
4	19.57	-19.18	30.79	30.54	1	1
5	-37.84	12.57	3.54	3.54	1	1
6	-37.84	12.57	28.5	28.5	1	1

با توجه به محدودیتهای عملیاتی فشار کاری پمپ در ورودی جریان و فشار کاری توربین در خروجی جریان، بایستی به نحوی انتخاب شود که بدون ایجاد اثر نامطلوب در شرایط عملیاتی واحد، به یک فشار بهینه برای خروجی پمپ و ورودی توربین دست یافت. برای

این منظور پس از انجام عملیات شبیه سازی مجدد بر روی مبدل ۳۰۱۲ ، همزمان برای هر فشار انتخابی برای خروجی پمپ یا ورودی توربین تحلیل های اقتصادی بکار گرفته شده است. پس از اعمال تغییرات مجدداً مبادله کننده ۳۰۱۲ با در نظر گرفتن محدودیت فشار کاری واحدهای پایین دستی بعنوان شبیه سازی گردیده است. شکل ۲ بیانگر وضعیت جریانها به ترتیب پیش از بهبود و پس از آن می باشد. شماره جریانها روی شکل ارائه شده است.



شکل ۲-الف) قبل از بهبود



شکل ۲-ب) پس از بهبود

نتایج حاصل از بکارگیری راه کارهای قابل اجرا و پیشنهادی بر مبنای آنالیز آگرژی و شبیه سازی انجام شده توسط نرم افزار Hysys ، در جدول ۲ ارائه گردیده است.

## جدول ۲- نتایج طرح پیشنهادی بر مبنای آنالیز انرژی در مبدل ۳۰۱۲

توان kw	تغییرات فشار bar a	مسیر جریان	تعداد	تجهیزات
+ ۹۷۹/۵	توربین اول: ۱۰/۶	خروجی ۳۰-۳۲	۲	توربین
+ ۱۰۷۴	توربین دوم: ۴			
- ۳۵/۱۸	+ ۸/۳	ورودی ۳۰-۳۰	۱	پمپ
+ ۲۰۱۸/۳۲	توان خالص تولیدی			

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول، مقدار کل توان بازیافتی معادل ۲۰۱۸/۳۲ کیلووات است که می تواند تبدیل به انرژی الکتریکی شود.

### ۳- مزیت جانبی حاصل از بهبود کار محوری

پس از اعمال راه کار پیشنهادی بر روی مبدل ۳۰۱۲، می توان یکی از جریانهای سرد را که حاوی اجزاء اصلی اتیلن واتان می باشد از مسیر مبدل حذف کرد و در مقابل از برودت آن در نقطه مناسب دیگری از فرآیند که نیاز به سرمایه دارد بهره برد. به این ترتیب نیاز به یوتیلیتی سرد نیز کاهش خواهد یافت. جریان سرد مورد نظر در مبدل ۳۰۱۲، (جریان ۲۱-۲۳/۳۰-۳۰) حاوی اجزاء اصلی اتیلن واتان می باشد و با دبی جرمی ۱۱۳۱۹۷ کیلوگرم بر ساعت با دمای °C ۲۴/۶۶- و فشار ۲۷/۵۴ بار در قسمت ورودی و دمای °C ۱۲/۵۷ و فشار ۲۷/۵۴ بار در قسمت خروجی است بار سرمایه حاصل از این جریان معادل ۳۳۰۱/۵۷۹ کیلو وات می باشد. در نتیجه معادل همین مقدار انرژی ( ۳۳۰۱/۵۷۹ کیلو وات ) از یوتیلیتی سرد (CW) مورد نیاز در واحد فرآیند تولید الفین، کاسته خواهد شد. مقادیر یوتیلیتی ورودی به B.L. واحد الفین پتروشیمی مارون، جمعاً شامل ۴۴۶۰۹ تن بر ساعت آب خنک کننده و ۹۹/۷ تن بر ساعت بخار HP می باشد. با توجه به مقادیر طراحی در پتروشیمی فجر و با در نظر گرفتن فصل گرما، متوسط دمای آب خنک کن ورودی به واحد الفین مارون °C ۳۵ و خروجی از آن °C ۴۵ در نظر گرفته شده است از این رو کاهش مصرف آب خنک کن. معادل ۲۸۴/۳۳ تن بر ساعت خواهد بود. از طرفی شرایط بخار HP که مورد استفاده توربو ماشینهای واحد قرار می گیرد. فشار ۴۰ بار و دمای °C ۴۰۰ می باشد و برای بخار MP نیز برابر ۲۰ بار و برای بخار LP معادل ۱۰ بار در طراحی در نظر گرفته شده است با توجه به قیمت های داخلی و جهانی حاملهای انرژی ( جدول ۳ ) می توان مزیت اقتصادی طرح را ارزیابی کرد

ساعت کاری سالانه واحد صنعتی مورد نظر ۸۰۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است..

جدول ۳ - مقایسه قیمت حامل های انرژی مصرفی در صنایع، با مقادیر جهانی

واحد	ارزش جهانی	واحد	ارزش داخلی	حاملهای انرژی
US\$/Nm <sup>3</sup>	۰/۰۷	Rls/Nm <sup>3</sup>	۱۵۰	گاز طبیعی
US\$/KWh	۰/۰۶	Rls/KWh	۱۶۰	الکتریسیته

#### ۴- محاسبات اقتصادی طرح پیشنهادی:

با توجه به نتایج بدست آمده از تحلیل انرژی، مبنی بر افزایش فشار ورودی جریان شماره ۳۰-۳۰ / ۳۲-۳۰، توسط پمپ و کاهش فشار خروجی آن توسط دو توربین در خروجی محاسبات اقتصادی به شرح زیر خواهد بود برای این منظور ساعت کاری سالانه واحد صنعتی مورد نظر ۸۰۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است.

#### محاسبه هزینه تجهیزات (پمپ - توربین):

روابط داده شده زیر به ترتیب برای محاسبه قیمت پمپ و توربین آورده شده اند.

$$C_{pump} = 1.39 \exp[8.833 - 0.6019(\ln Q\sqrt{H}) + 0.0519(\ln Q\sqrt{H})^2]$$

در این رابطه Q دبی بر حسب gal/min و H نیز هد پمپ بر حسب فوت می باشد قیمت توربین نیز از رابطه زیر محاسبه شده است.

$$C_{turbine} = 0.378(HP)^{0.81}$$

#### محاسبه زمان و نرخ بازگشت سرمایه

روابط داده شده زیر به ترتیب برای محاسبه زمان بازگشت و نرخ بازگشت آورده شده اند.

$$PaybackTime = \frac{TotalCost}{Saving}$$

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} = 0 \Rightarrow r = IRR$$

NPV: Net Profit Value

CF: Cash Flow at year "t"

**R: Interest Rate**

**n Life Time of the Project**

هزینه های عملیاتی مربوط به تعمیرات و نگهداری می تواند بین ۰.۲٪ تا ۱.۰٪ از کل سرمایه ثابت را شامل گردد که در این طرح بر مبنای ۵٪ فرض شده است. در جدول ۴ کلیه نتایج مربوط به محاسبات اقتصادی طرح پیشنهادی بر مبنای قیمت های داخلی و جهانی ارائه شده اند. با توجه به اینکه مقدار ۲۸۴/۳۳ تن بر ساعت جریان سرد از مبدل آزاد می شود باید، مقدار صرفه جوئی ناشی از آن را که برابر ۳۳۰۱/۵۸ کیلووات می باشد، در محاسبات اقتصادی در نظر گرفت.

**جدول ۴- نتایج اقتصادی طرح**

<b>COSTS</b>	<b>Internal price of energy</b>	<b>Global price of energy</b>
Pump Cost (US\$)	4173	4173
Turbine Cost 01 (US\$)	127000	127000
Turbine Cost 02 (US\$)	137000	137000
Fixed Capital Investment (US\$)	938605.5	938605.5
O&M Cost (US\$)	13408.65	13408.65
<b>Total Capital Investment (US\$)</b>	<b>817927.65</b>	<b>817927.65</b>
Energy Saving Equal to CW (US\$)*	6603.2	33016
Energy Saving Equal to Shaft-work (US\$)	258344.96	897328
Payback	3.16	0.91

**محاسبات بر مبنای کاهش گاز دی اکسید کربن:**

با توجه به اینکه طرح پیشنهادی منجر به بازیابی ۲/۰۱۸ مگاوات کار میگردد و ساعت کاری سالانه واحد نیز ۸۰۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است در صورتیکه کار محوری به معادل الکتریسیته تبدیل شود با فرض فاکتور نشر ۶۰۰ کیلو گرم CO2 به ازای هر مگاوات ساعت برق در کشور تقریباً از انتشار معادل ۱۰۱۹۶ تن دی اکسید کربن در سال جلوگیری می شود.

بر همین اساس اگر مجددا محاسبات اقتصادی با لحاظ نمودن منافع حاصل از فروش گواهی کاهش انتشار CO2 تعیین گردد ۱۰۱۹۶۰ دلار سالانه ( با فرض ۱۰ دلار بر تن CO2 ) به صرفه اقتصادی طرح افزوده خواهد شد . نتایج مقایسه ای در جدول ۴ ارائه شده است.

**جدول ۴- نتایج با لحاظ نمودن CDM**

<b>COSTS</b>	<b>Internal price of energy</b>	<b>Global price of energy</b>
Pump Cost (US\$)	4173	4173
Turbine Cost 01 (US\$)	127000	127000
Turbine Cost 02 (US\$)	137000	137000
Fixed Capital Investment (US\$)	938605.5	938605.5
O&M Cost (US\$)	13408.65	13408.65
<b>Total Capital Investment (US\$)</b>	817927.65	817927.65
Energy Saving Equal to CW (US\$)*	6603.2	33016
Energy Saving Equal to Shaft-work (US\$)	258344.96	897328
CDM annual profit	101960	101960
Payback	2.23	0.79

#### ۵- نتیجه گیری:

رشد صنعت پتروشیمی بعنوان یک صنعت استراتژیک و انرژی بر، طی سالهای اخیر منجر به زشد روزافزون تقاضا و مصرف انرژی در این صنعت شده است. افزایش بهره وری انرژی در این بخش می تواند نقشی مهم در کنترل مصرف و تامین انرژی مورد نیاز کشور داشته باشد از طرفی پایین بودن قیمت حاملهای انرژی در کشور در مقام مقایسه با قیمتهای جهانی توجیه اقتصادی طرحهای اصلاحی بهینه سازی را کاهش داده یا منتفی می نمایند در اینگونه موارد لحاظ نمودن مکانیسم توسعه پاک (CDM) و بهره گیری از مزیتهای اقتصادی آن توجیه پذیری اقتصادی طرح را بیشتر خواهد نمود محاسبات اقتصادی طرح مطالعاتی در این پروژه نشانگر آن است که بدون لحاظ نمودن فروش گواهی کاهش نشر گازدی اکسید کربن ، زمان بازگشت سرمایه معادل ۳/۱۶ سال بر اساس قیمت های داخلی می باشد درحالیکه استفاده از مکانیزم CDM این زمان را به ۲/۲۳ سال کاهش میدهد.



- 1- A.H.Araghi, M. Amidpour, **Exergy Analysis of Refrigeration Cycle in the Olefin Plant (Propylene and Ethylene Stages of Cascade system)**, 21st International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS2008), June 24-27 2008. Poland
- ۲- اصلاح سیکل های سرماساز واحداولفین بندرامام با استفاده از تحلیل ترکیبی آنالیز پینچ و اکسرژی. /فاطمه گودرزوندچگینی؛ به راهنمایی: محمدحسن پنجه شاهی
- ۳- اسناد و مدارک فنی شرکت پتروشیمی مارون
- 4- M.L Neelis and coworkers. **Analysis of energy use and carbon losses in the chemical and refinery industries**, , 2005