



## بهینه سازی انرژی فرآیند تولید آکرولئین با استفاده از نرم افزار Aspen Plus

احسان کیانفر\*<sup>۱</sup>، بهنام کوهستانی<sup>۲</sup>، مجید تاجدار<sup>۳</sup>، فرشید کیانفر<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فراوری و انتقال گاز، دانشگاه آزاد اسلامی اراک Ehsan\_kianfar2010@Yahoo.Com  
<sup>۲</sup> استادیار مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک koohestani262@Yahoo.com  
<sup>۳</sup> استادیار مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک Tajdarmajid@ Yahoo.Com  
<sup>۴</sup> دانشجوی کارشناسی مهندسی پتروشیمی، دانشگاه آزاد اسلامی گچساران Farshid.kianfar72@gmail.com

### چکیده

بکارگیری روش های خاص به منظور تعیین راه حل موثر و اقتصادی یک مسئله در یک فرآیند را بهینه سازی می گویند. بهینه سازی از عمده ترین ابزار تصمیم گیری در صنایع می باشد. در فرآیند تولید آکرولئین خوراک که مخلوطی از پروپیلن، هوا و بخار آب می باشد قبل از ورود به راکتور R-101 در مبدل گرمایی E-101 بوسیله بخار فشار بالا با شدت 4543 kg/h تا دمای 250 درجه سانتیگراد پیشگرم می شود. دمای راکتور بوسیله جریان آب خنک کننده در 327 درجه سانتیگراد حفظ می گردد. در این مقاله بهینه سازی انرژی برای فرآیند تولید آکرولئین با هدف کاهش مصرف بخار صورت گرفته است. در این مقاله استفاده از بخار خروجی از راکتور پیشنهاد شده است، با توجه به اینکه جریان داغ خروجی از راکتور دارای دما و دبی بالایی می باشد می تواند بجای بخار فشار بالا مورد استفاده قرار گیرد. ابتدا فرآیند با استفاده از نرم افزار شبیه سازی گردید سپس امکان استفاده از جریان خروجی از راکتور R-101 برای جایگزینی با بخار در مبدل E-101 بررسی گردید. نتایج شبیه سازی با Aspen Plus نشان داد که استفاده از این روش می تواند منجر به صرفه جوئی در مصرف 109032 کیلو گرم بخار فشار بالا در روز شود. از طرفی این روش با توجه به اینکه دارای هزینه سرمایه گذاری بسیار پائینی می باشد، می تواند در واحدهای فرآیندی مشابه نیز مورد استفاده قرار گرفته و پیشنهاد می شود این روش در واحدهایی که جهت پیشگرمایش خوراک ورودی به راکتورهای سنتز از کوره استفاده می کنند، با هدف کاهش مصرف سوخت گازی (Fuel Gas) و آلاینده های زیست محیطی مورد بررسی قرار گیرد.

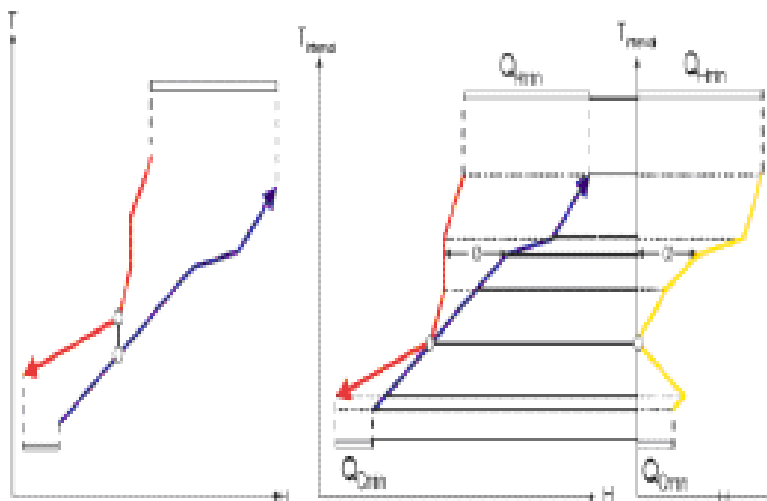
کلمات کلیدی: بهینه سازی، مبدل گرمایی، نرم افزار Aspen Plus، کوره



## ۱. مقدمه

بکارگیری روش‌های خاص به منظور تعیین راه حل موثر و اقتصادی یک مسئله در یک فرایند را بهینه‌سازی می‌گویند. بهینه‌سازی از عمده‌ترین ابزار تصمیم‌گیری در صنایع می‌باشد، بهینه‌سازی با انتخاب بهترین جواب یا راه حل از میان جواب‌های محتمل با بکارگیری روش‌های موثر کمی سر و کار دارد. البته رایانه و نرم‌افزارهای مرتبط با موضوع، محاسبات لازم را امکان‌پذیر و با حداقل هزینه انجام می‌دهند. حفظ انرژی در طراحی یک واحد شیمیایی همواره یکی از مهمترین موارد مورد توجه می‌باشد به علاوه تعیین کمترین مقدار انرژی گرمایی و سرمایی مورد نیاز یک فرآیند از اصلی‌ترین محاسبات برای تعیین مقدار ذخیره انرژی است بنابراین انتگراسیون حرارتی (یکپارچه کردن انرژی) یکی از عوامل مهم در طراحی‌های اقتصادی می‌باشد. نام تکنولوژی پینچ برای پژوهشگران و دانشمندان فعال در عرصه بهینه‌سازی مصرف انرژی شناخته شده و آشناست. این تکنولوژی برای تحلیل و بررسی شبکه مبدل‌های حرارتی به منظور کاهش مصرف انرژی استفاده می‌شود [1].

در اواخر دهه هفتاد میلادی Linnhoff و Vredeveld روش ترمودینامیکی را برای کاهش مصرف انرژی در شبکه تبادلگرهای حرارتی مورد بررسی قرار دادند و مفاهیمی همانند منحنی ترکیبی را به عنوان ابزاری مهم در بازیافت انرژی حرارتی معرفی نمودند [2]. با گذشت زمان فناوری پینچ توسعه چشمگیری پیدا نمود، به طوری که علاوه بر شبکه تبادلگرهای حرارتی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در برج‌های تقطیر، کوره‌ها، تبخیرکننده‌ها، توربین‌ها، راکتورها نیز به کار برده می‌شود. البته این فناوری با مشکلاتی رو به رو گردید که می‌توان به محدودیت افت فشار در اصلاح سیستم‌های موجود، پیچیدگی واحد، هزینه لوله‌کشی، مشکلات ایمنی و غیره اشاره نمود. در ابتدای دهه ۹۰ میلادی با ارائه راهکاری مناسب مشکل محدودیت افت فشار برطرف گردید و در اواسط دهه نود با کاربرد تئوری تجزیه‌سازی منطقه‌ای مسائلی که این فناوری را غیر قابل اجرا و غیر اقتصادی نشان می‌دادند برطرف گردید [3-5]. ابزارهای تحلیل پینچ منحنی ترکیبی و منحنی ترکیبی جامع می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: ابزارهای تحلیل پینچ (منحنی ترکیبی جامع، منحنی ترکیبی منتقل شده، منحنی ترکیبی) [5]

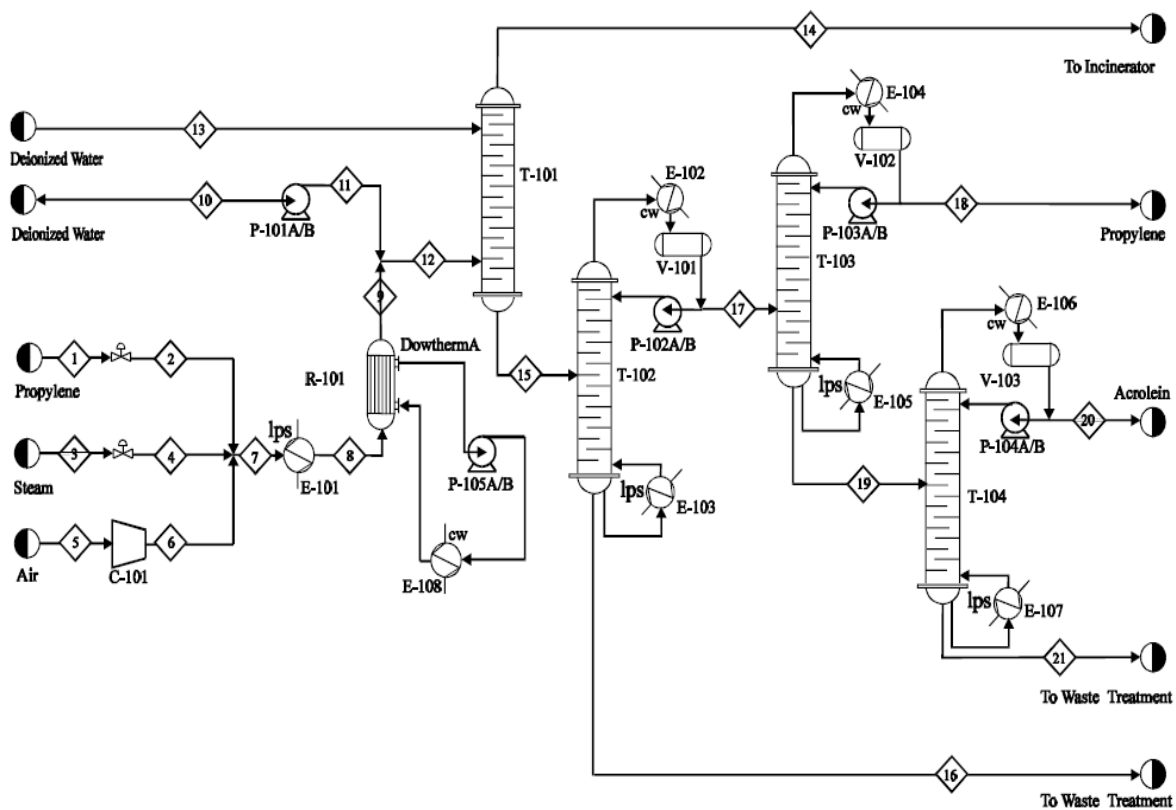


## ۲. شرح فرآیند آکرولئین

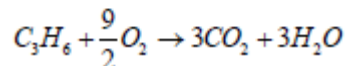
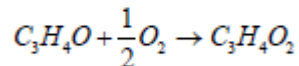
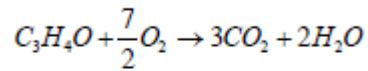
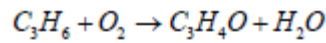
در این فرآیند پروپین (جریان ۱)، هوای فشرده شده تا فشار ۲۵۰ کیلو پاسکال و بخار مخلوط می شوند و در مبدل E-۱۰۱ بوسیله بخار فشار بالا تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد گرم می گردند. خروجی از میکسر به راکتور R-۱۰۱ پر شده بستر ثابت ارسال می شود. در این راکتور پروپین و اکسیژن برای تولید آکرولئین واکنش می دهند. راکتور به سرعت بوسیله آب خنک کننده که دارای دمای ۵۰ درجه سانتیگراد است خنک می گردد، زیرا واکنش ها (شکل ۳) در فاز همگن بخار صورت گرفته و گرمازا می باشند.

جریان خروجی از راکتور جهت شستشو با آب و بازیابی آکرولئین در برج T-۱۰۱ شستشو می شود. گاز خروجی از بالای برج T-۱۰۱ که تقریباً عاری از محصول مطلوب می باشد به یک زباله سوز ارسال می شود. مایع خروجی از پائین برج شستشو به منظور جداسازی آکرولئین و پروپین از آب و آکرلیک اسید در برج T-۱۰۲ تقطیر می شود. محصول پائینی برج T-۱۰۲ آب پسماند و آکرلیک اسید بوده که به واحد تصفیه آب ارسال خواهد شد.

محصول مقطر برج T-۱۰۲ به برج T-۱۰۳ ارسال می شود (شکل ۲)، در این برج تقطیر پروپیلن از مقدار کمی آب تفکیک می شود. محصول بالای برج تقطیر T-۱۰۳ حاوی پروپیلن با خلوص ۹۸/۴ درصد وزنی می باشد. محصول پسماند برج T-۱۰۳ به برج T-۱۰۴ ارسال می شود، در این برج تقطیر محصول مطلوب از آب جداسازی می شود. محصول مقطر برج T-۱۰۴ آکرولئین با خلوص ۹۸ درصد وزنی می باشد و محصول تحتانی به تصفیه خانه ارسال خواهد شد [6].



شکل ۲: واحد تولید آکرولئین [6]



شکل ۳: واکنش‌های سنتز آکروئین در راکتور R-101 [6]

### ۳. بهینه‌سازی و کاهش مصرف بخار

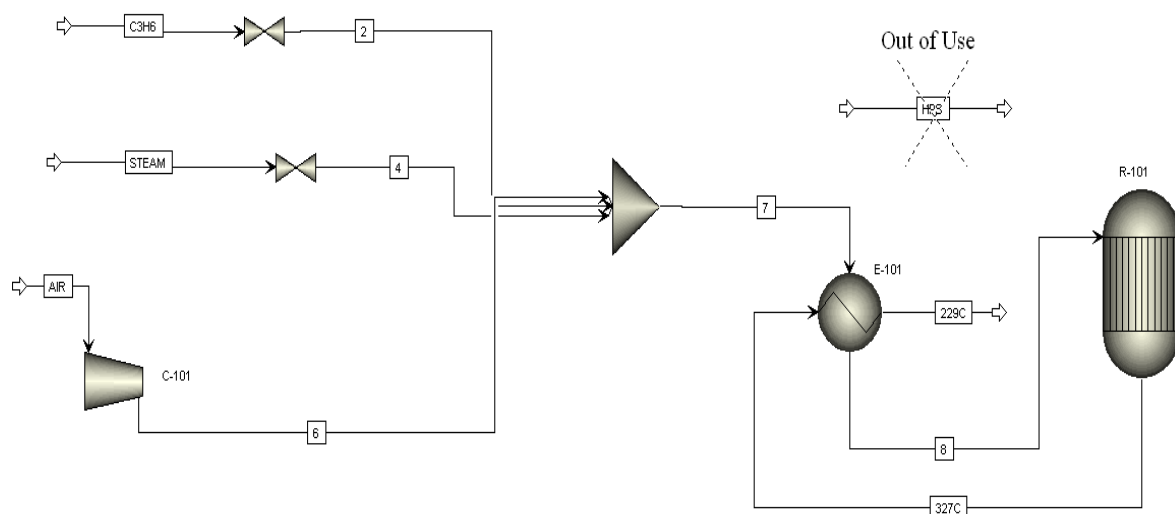
ابتدا با استفاده از تحلیل انرژی سناریوی به منظور بهینه‌سازی مطرح گردید. آنالیز انرژی بیان می‌کند که جریان داغ خروجی از راکتور R-101 دارای دو فاکتور بسیار مهم به منظور استفاده و جایگزینی با بخار فشار بالا در مبدل E-101 می‌باشد:

۱- دبی (Flow Hot Stream  $\geq$  Flow Cold Stream)

۲- دما ( $T_{\text{Hot Stream}} > T_{\text{Cold Stream}}$ )

علیهذا سناریو بهینه‌سازی به این ترتیب می‌باشد که:

جریان داغ خروجی از راکتور R-101 قبل از ارسال به برج شستشوی با آب (T-101) با دمای ۳۲۷ درجه سانتیگراد و دبی ۲۸۱۳ kmole/h به مبدل E-101 ارسال و در تبادل گرما با جریان خوراک قرار گیرد (شکل ۴)، در چنین شرایطی دمای جریان خوراک از ۱۴۰ درجه سانتیگراد تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد افزایش داشته که در اینجا هدف طراحی محقق خواهد شد، دمای جریان خروجی از راکتور R-101 در اثر تبادل حرارت از ۳۲۷ درجه سانتیگراد تا ۲۲۹ درجه سانتیگراد کاهش داشته و پس از این مرحله به برج شستشوی T-101 ارسال می‌گردد.



شکل ۴: شماتیک فرآیند بهینه‌شده (حذف جریان بخار و جایگزینی جریان داغ خروجی از راکتور)



#### ۴. نتیجه گیری

در این مقاله استفاده از جریان داغ خروجی از راکتور R-101 با هدف بهینه سازی مصرف انرژی بررسی شده است. بعنوان مطالعه موردی فرآیند تولید آکروئین انتخاب و با استفاده از نرم افزار قدرتمند Aspen Plus شبیه سازی و بررسی گردید. پس از شبیه سازی و حصول اطلاعات حرارتی مشخص گردید که در حال حاضر در مبدل گرمائی E-101 میزان  $10778016 \text{ kJ/h}$  انرژی نیاز است تا بوسیله بخار فشار بالا دمای جریان خوراک (مخلوط هوا، پروپن و بخار آب) از  $140$  درجه سانتیگراد تا  $250$  درجه سانتیگراد افزایش یابد که این میزان انرژی در حال حاضر توسط بخار فشار بالا به شدت  $4543 \text{ kg/h}$  فراهم می شود.

بر اساس تحلیل انرژی جریان داغ خروجی از راکتور R-101 دارای دو فاکتور لازم جهت استفاده و جایگزینی با بخار می باشد که شرایط این جریان را برای تامین انرژی مورد نیاز در مبدل E-101 فراهم می کند.

$$1- \text{دبی} \quad (\text{Flow}_{\text{Hot Stream}} \geq \text{Flow}_{\text{Cold Stream}})$$

$$2- \text{دما} \quad (T_{\text{Hot Stream}} > T_{\text{Cold Stream}})$$

بر اساس دو فاکتور فوق سناریو بهینه سازی مطرح و در نرم افزار اعمال گردید. نتایج شبیه سازی نشان داد که سناریو مطرح شده ممکن بوده و جریان داغ خروجی از راکتور قادر است تا به بهترین شکل ممکن نیاز گرمایشی این بخش را تامین نموده و در مصرف روزانه  $109032$  کیلو گرم بخار فشار بالا صرفه جوئی بعمل آورد. از طرفی این روش با توجه به اینکه دارای هزینه سرمایه گذاری بسیار پائینی می باشد، می تواند در واحدهای فرآیندی مشابه نیز مورد استفاده قرار گرفته و پیشنهاد می شود این روش در واحدهایی که جهت پیشگرمایش خوراک ورودی به راکتورهای سنتز از کوره استفاده می کنند، با هدف کاهش مصرف سوخت گازی (Fuel Gas) و آلاینده های زیست محیطی مورد بررسی قرار گیرد.

#### ۵. مراجع

- [1] Linnhoff, B., "Pinch analysis – A state of art overview", Trans, IChemE, Vol. 71, Part A5, PP.503-522,1993.
- [2] Van Reisen, J.L.B., Polley, G.T. and Verheijen, P.J.T., "Structural targeting for heat integration retrofit", Applied Thermal Engineering, Vol. 18, No. 5, pp. 283-294, 1998.
- [3] Amidpour, M., Polley, G.T., "Don't let Retrofit Pinch Pinch you", Chemical Engineering Progress, PP. 43-48, Nov. 2000.
- [4] Picon-Nunez, M., Polley, G.T., "Determination of the steady state response of heat exchanger networks without simulation", Trans. IChemE, Vol. 73, Part A, pp. 49-58, 1995.
- [5] Picon-Nunez, M., Polley, G.T., "Applying basic understanding of heat exchanger network behaviour to the problem of plant flexibility", Trans. IChemE, Vol. 73, Part A, pp. 941 -952, 1995.
- [6] Himmelblau, D. M. and J. B. Riggs, Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering (7<sup>th</sup> ed.), Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2004.