

## بهینه سازی بخش C7,C8 Splitter واحد تقطیر آروماتیک پتروشیمی بوعلی با نرم افزار Aspen Plus

احسان کیانفر<sup>۱</sup>، بهنام کوهستانی<sup>۲</sup>، احسان طیبی نژاد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی گاز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک ؛ Ehsan\_kianfar2010@yahoo.com  
<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک koohestani262@yahoo.com  
<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود ؛ Tayebi\_m2000@yahoo.com

### چکیده

در واحد تقطیر آروماتیک پتروشیمی بوعلی به منظور جداسازی بنزن و تولوئن (BT)، از یک ستون تقطیر که شامل ۵۵ سینی می باشد استفاده می نمایند. در بخش بالایی کولر هوایی جهت چگالش بخار بالاسری و در پایین برج یک کوره که سوخت آن گاز طبیعی به شدت ۱ میلیون فوت مکعب (MMscfd) می باشد بکار گرفته شده است. میزان مصرف انرژی در دو تجهیز مذکور فوق العاده بالا بوده به گونه ای که هزینه تامین انرژی در آن ها سالانه برابر با ۹۳۳۸۴ دلار برآورد گردیده است. با توجه به ضرورت کاهش مصرف انرژی در صنایع پر مصرف بخصوص صنایع نفت، گاز و پتروشیمی برآن شدیم که در این تحقیق بازیافت انرژی را برای واحد تقطیر آروماتیک پتروشیمی بوعلی بررسی و با استفاده از نرم افزار تخصصی Aspen plus روشی را برای این منظور ارائه نماییم، که در این راستا چندین شبیه سازی با توجه به اطلاعات گرفته شده از مجتمع بوعلی صورت گرفت و در نهایت مدلی که علاوه بر کاهش مصرف انرژی از حداقل هزینه سرمایه گذاری برخوردار باشد انتخاب گردید. از نتایج مدل انتخاب شده می توان به حذف کامل مصرف برق در کولر هوایی، کاهش ۴۵٪ مصرف سوخت در کوره، کاهش مبدل های گرمایی و در نهایت کاهش ۵۸٪ تولید گازهای آلاینده که در تخریب محیط زیست نقش مهمی را ایفا می کنند، اشاره نمود.

### کلمات کلیدی

تقطیر، بازیافت انرژی، نرم افزار Aspen Plus، کوره، کولر هوایی

## Optimization of C7/C8 Splitter Section of Bu Ali Petrochemicals Aromatic Distillation Unit With Aspen Plus Software

E. Kianfar, B. Koohestani, E. Tayebi

### ABSTRACT

In order to separating benzene and toluene (BT), in the aromatic distillation unit of Bu Ali petrochemical are used of a distillation column containing 55 trays. For condensing steam in the upper part of air cooler and down, a natural gas furnace, which the fuel is sharply 1 million cubic foot (MMscfd) is applied. It was equipped with two ultra high energy consumption so that energy costs has been estimated 93384 \$ in the year. in this study, According to the need of reduce energy consumption in consumer industries, especially oil, gas and petrochemical, we decided to investigate the energy recovery for aromatic distillation unit of Bu Ali petrochemical and with using of specialized software Aspen Plus we provided a method for this purpose. In this regard, According to information taken from Bu Ali complex, several simulations were performed, and finally, the least investments expensive model with reducing energy consumption have been selected. The results of the selected model can be cited to remove completely power consumption of the air conditioner, 45% reduction in fuel consumption in furnaces and heat exchangers, and ultimately 58% reduction in the production of pollutant emissions that play important role in damaging the environment.

### KEYWORDS

Distillation, Energy Recycling, Aspen Plus Software, Furnace, Air Cooler

<sup>۱</sup> احسان کیانفر، تلفن: ۰۹۱۷۷۴۴۱۰۴۹، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، دانشکده فنی و مهندسی

## ۱- مقدمه

نقطه آغازین انتگراسیون حرارتی به سال ۱۹۸۰ در جهت کاهش مصرف انرژی بر می‌گردد. از سال ۱۹۹۰ به بعد روش‌هایی برای کاربردهای صنعتی آن از قبیل کل هزینه‌های سالانه، کاربرد در واحد و انعطاف‌پذیری واحد، توسعه داده شود. در سطح انتگراسیون حرارتی، انتگراسیون فرآیند می‌تواند سطح بهینه بازافت حرارتی را که با طراحی شبکه مبدل‌ها از نظر کمترین هزینه تجهیزات همخوانی داشته باشد را مشخص کند. در سطح حرارت و تولن، انتگراسیون فرآیند می‌تواند مقدار بهینه بارگذاری و یا سطح مصرف یا تولید بخار را و همچنین موقعیت‌های ترکیب سیستم‌های حرارتی و توانی را مشخص کند. در بهینه‌سازی درست اقتصادی و ترمودینامیکی می‌توان با به کاربرد نمودارهای گرافیکی و روش‌های سیستماتیک در انتگراسیون فرآیند پمپ حرارتی مناسب را انتخاب کرد. در زمینه افزایش تولید واحد، انتگراسیون فرآیند می‌تواند در از بین بردن گلوگاه‌ها برای افزایش ظرفیت تولید مورد استفاده قرار گیرد [۲-۴].

آغاز بحران انرژی و افزایش شدت قیمت نفت در بازارهای جهانی در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی باعث گردید تا کشورهای صنعتی غرب که به طور عمده وارد کننده نفت خام و سایر فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی بودند، تحقیقات گسترده‌ای را به منظور دسترسی به فناوری جدیدی که بتواند مصرف انرژی را در یک فرآیند شیمیایی به حداقل برساند، تا از این طریق باعث کاهش هزینه‌های جاری تولید و نیز کاهش وابستگی به کشورهای صادرکننده نفت گردد، آغاز کردند که منجر به معرفی فناوری پینچ به عنوان ابزاری جهت طراحی بهینه شبکه تبادلگرهای حرارتی گردید [۵].

فناوری پینچ امروزه کاربرد وسیعی پیدا نموده اما آنچه به عنوان محدودیت در این فناوری مطرح می‌شود، این است که تحلیل پینچ تنها به تحلیل حرارتی سیستم‌ها پرداخته و قادر به بررسی توان یا کار محوری نمی‌باشد. به بیانی دیگر این فناوری برای مسائل آستانه و همچنین سیستم‌هایی مانند سیکل‌های سرماساز و توربین‌های بخار که علاوه بر انرژی حرارتی با توان یا کار محوری نیز سروکار دارند، به تنهایی کاربرد نداشته و تحلیل اکسرژی به عنوان ابزاری دیگر جهت بررسی توان یا کار محوری به کار گرفته می‌شود. به این صورت که با ترکیب مناسب از تحلیل پینچ و تحلیل اکسرژی می‌توان به راه حلی عملی و مفید جهت بررسی همزمان انرژی حرارتی و کار محوری این گونه سیستم‌ها دست یافت. این تکنیک تحت عنوان تحلیل ترکیبی پینچ و اکسرژی نامیده می‌شود. در اواخر دهه هفتاد میلادی روش Linnhoff 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 بازافت انرژی حرارتی معرفی نمودند. 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 نود 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. ابزارهای تحلیل پینچ منحنی ترکیبی و منحنی ترکیبی جامع می‌باشد [۶-۹].

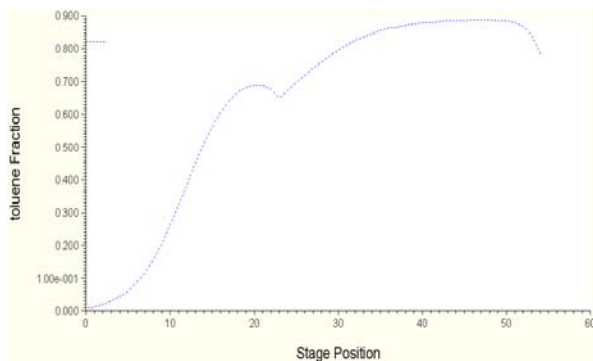
## ۲- ضرورت تحقیق

مسئله اصلی ارائه روشی است که بتوان با استفاده از آن از مصرف انرژی الکتریکی در کولر هوایی که میزان قابل توجهی را به خود اختصاص می‌دهد جلوگیری نموده و علاوه بر آن بتوان مبدل حرارتی پیش از برج جداسازی را نیز از فرایند حذف و در نهایت سوخت مصرفی در ریپولر را کاهش داد.

## ۳- شرح فرآیند بخش C7, C8 Splitter

خوراک این واحد تقطیری جریان ۷۰۲۳ می‌باشد (شکل ۱) که در مبدل A/B ۶۰۰۹ در اثر تبادل گرما با جریان ۶۰۳۸ که از پمپ A/B ۶۰۰۷ با دمای ۱۷۳ درجه سانتیگراد به لوله مبدل مذکور وارد می‌شود، از دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد به دمای ۱۵۳ درجه سانتیگراد پیشگرم و با فشار ۴/۵ Bara وارد برج تقطیر (تفکیک بنزن و تولون از آروماتیک‌های سنگینتر) T-۶۰۰۲ می‌گردد [۱].

این برج تقطیر مشتمل بر ۵۵ سینی از نوع دریچه‌ای بوده که با توجه به نقشه فرآیندی محل ورود خوراک (جریان ۶۰۳۸) از روی سینی ۲۴ ام می‌باشد، کندانسور برج ۶۰۰۲ از نوع کامل بوده و متشکل از کولر هوایی AE-۶۰۰۲ و یک جداکننده سه فاز ۶۰۰۲-D می‌باشد. بخار بالاسری برج ۶۰۰۲ با دمای ۱۷۴ درجه سانتیگراد ابتدا به دو قسمت (جریان‌های ۶۰۲۵ و ۶۰۲۷) تقسیم شده و حدود ۱۱٪ آن به کولر هوایی ۶۰۰۲ وارد می‌شود (جریان ۶۰۲۵)، در این کولر هوایی دمای جریان مذکور در فشار ثابت از ۱۷۴ به ۱۵۰ درجه سانتیگراد کاهش یافته و این جریان بطور کامل چگالیده خواهد شد. در این برج هدف جداسازی آروماتیک‌های سبک از سنگین می‌باشد، بخار بالاسری غنی از ترکیبات سبک مانند بنزن و تولون با ترکیب درصد معین و دارای مقادیر بسیار ناچیزی از آروماتیک‌های سنگین تر مانند زایلن‌ها و استایرن و غیره می‌باشد. این مطلب را می‌توان از روی پروفایل غلظت ترکیبات بر روی سینی‌های



شکل ۳: پروفایل غلظت تولوئن در سینی های برج ۶۰۰۲

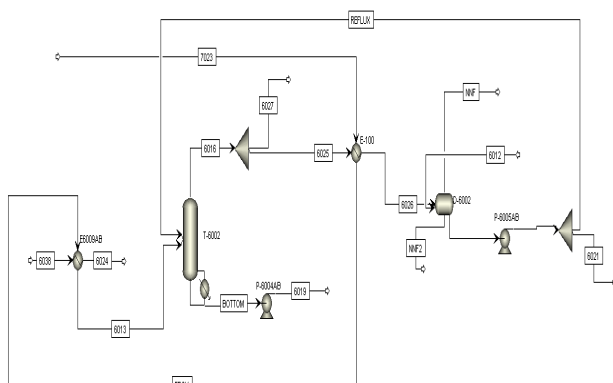
#### ۴- بهینه سازی

در واحد تقطیر آروماتیک مجتمع پتروشیمی بوعلی کولر هوایی (کندانسور برج) و ریپویلر مصرف کننده مقادیر بالایی از انرژی بوده و این در حالی است که می توان با استفاده از جریان خوراک میزان مصرف انرژی بصورت قابل ملاحظه ای کاهش داد که در اینصورت بازیافت انرژی برای این مجتمع صورت خواهد گرفت که بی شک بازگشت سرمایه از این طریق قابل توجه خواهد بود. با توجه به الگوریتم بازیافت انرژی جریان خوراک می تواند عامل بسیار مناسبی جهت انتگراسیون کردن برج تقطیر آروماتیک باشد که نتایج شبیه سازی نیز گواه این مطلب می باشد. بر اساس نتایج شبیه سازی (شکل ۴)، استفاده از خوراک جهت چگالش بخار بالاسری برج منجر به موارد زیر خواهد شد:

۱- حذف کولر هوایی (کندانسور) و ذخیره سازی ۲ مگا وات توان الکتریکی. از طرفی هزینه های عملیاتی این تجهیز نیز از فرآیند کسر می گردد.

۲- پیش گرمایش خوراک، که در اینصورت دیگر لزومی به استفاده از مبدل گرمایی E-6009A/B نخواهد بود

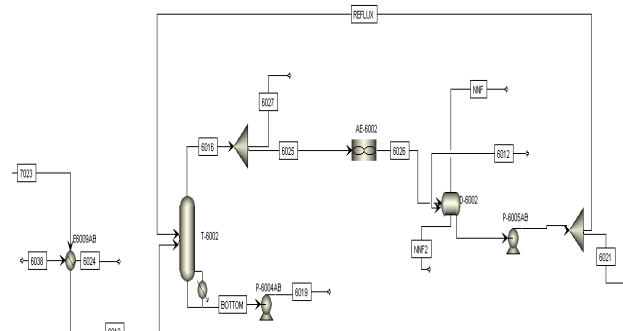
۳- بدلیل افزایش دمای خوراک ورودی به برج تقطیر، بار حرارتی (مصرف سوخت گازی) ریپویلر به میزان ۴۵ درصد کاهش خواهد یافت.



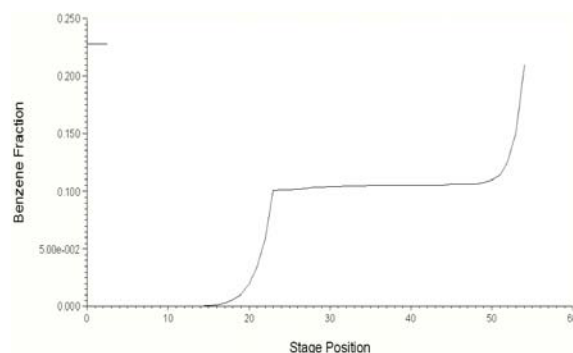
شکل (۴): طراحی واحد بهینه با Aspen Plus

برج نیز درک نمود (شکل های ۲ و ۳). جریان خروجی از کندانسور (جریان ۶۰۲۶) به جداکننده سه فازی ۶۰۰۲ ارسال می گردد با توجه به طراحی افت فشار در این تجهیز برابر با ۰/۱۷ Bara در نظر گرفته شده است. بخارات احتمالی از بالای این تفکیک کننده به فلر (مشعل) ارسال و سوزانده می شوند. جریان مایع خروجی از این تجهیز جهت جبران فشار از دست رفته وارد پمپ A/B-۶۰۰۵ شده و با فشار ۵/۱ Bara وارد یک تقسیم کننده می گردد، در این تقسیم کننده حدود ۳٪ مولی این جریان تحت عنوان محصول BT به مخزن D-۶۰۰۴ ارسال و ذخیره شده و مابقی آن بعنوان رفلاکس به برج ۶۰۰۲ (بر روی سینی ۵۵) برگردانده خواهد شد [۱].

در پائین برج شرایط عکس بوده و مایع اشباع خروجی از سینی تحتانی (سینی ۱ ام) ابتدا وارد پمپ A/B-۶۰۱۲ شده و با فشار ۷/۳ Bara وارد ریپویلر برج ۶۰۰۱ که در اصل کوره H-۶۰۰۱ می شود، در این کوره که سوخت آن گاز طبیعی به شدت تقریبی ۱ تا ۱/۱۶ میلیون فوت مکعب (MMscfd) می باشد، دمای جریان ورودی از ۲۲۸ به ۲۳۲ درجه سانتیگراد افزایش یافته و بصورت دو فازی از زیر سینی تحتانی وارد برج ۶۰۰۱ می شود. افت فشار در این کوره بر اساس طراحی برابر با ۱/۸ Bara در نظر گرفته شده است. در نهایت از همان سینی تحتانی محصول پائین برج که جریان ۶۰۱۹ می باشد بدست می آید. این جریان وارد پمپ A/B-۶۰۰۴ شده و با فشار ۲/۶ Bara و دمای ۲۹ درجه سانتیگراد به مبدل A/B-۶۰۰۲ ارسال می گردد [۱].



شکل (۱): شماتیک طراحی با Aspen Plus (فرآیند فعلی)



شکل ۲: پروفایل غلظت بنزن در سینی های برج ۶۰۰۲

## ۵- نتیجه گیری

## ۶- مراجع

- [۱] Documents Of BUALI SINA Petrochemical Company ,C7/C8 Splitter Unit, Document NO , 03-711-600-6.1
- [۲] Engin T, Ari V. Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems: a case study. *Energy Convers Manage* 2013;46:551-62.
- [۳] Lowes TM, Bezant KW. Energy management in the UK cement industry. *Appl. Sci.*. In: Sirchis J, editor. *Energy efficiency in the cement industry*. London, England: Elsevier; 2013
- [۴] G. Kabir, A.I. Abubakar, U.A. El-Nafaty, Energy audit and conservation opportunities for pyroprocessing unit of a typical dry process cement plant, *Energy* 35 (2013) 1237-1243
- [۵] ] Liu F, Ross M, Wang S. Energy efficiency in China's cement industry. *Energy* 2012;20(7):669-81.
- [۶] P. A. Aslop, H. Chen, A. L. Chin-Fatt, A. J. Jackura, M. I. McCabe, H. H. Tseng. *Cement Plant Operations handbook for Dry Process Plants*, Tradeships publications Ltd, 2012
- [۷] Peray KE. *Cement manufacturers hand book*. New York: Chemical Publishing Company Inc.; 2013.
- [۸] P. Saneipoor, G.F. Naterer, I. Dincer, Heat recovery from a cement plant with a Marnoch Heat Engine, *Applied Thermal Engineering* 31 (2011) 1734-174340, edited by D. D., Eley, H., Pines, and W. O., Haag, Burlington, Mass, Academic press. 2013.
- [۹] Ziya Sgüt, Zuhul Oktay, Hikmet Karakoç, Mathematical modeling of heat recovery from a rotary kiln, *Applied Thermal Engineering* 30 (2012) 817-825.
- در این نوشتار بهینه سازی بخش جداسازی بنزن و تولوئن از آروماتیک های سنگینتر از C8 با استفاده از نرم افزار تجاری Aspen Plus صورت گرفته است. ابتدا این واحد در حالت پایا و با استفاده از بسته ترمودینامیکی Peng-Robinson شبیه سازی شد، سپس تابع هدف (انتگراسیون همزمان کندانسور و ریویولر برج تقطیر) تعریف و سناریویی برای رسیدن به بهینه سازی اقتصادی ارائه شد. روش کار به ترتیب زیر می باشد:
- ۱- شبیه سازی واحد عملیاتی بصورت پیشرفته با نرم افزار
  - ۲- شناخت امکانات و نیازهای فرآیندی براساس انتگراسیون انرژی
  - ۳- ارائه سناریویی برای بهینه سازی همزمان چگالنده و جوشاننده
  - ۴- امکانسنجی سناریو تعریفی براساس قراردادهای آنالیز انرژی
  - ۵- در صورت مثبت بودن مورد ۴، مجدداً واحد عملیاتی براساس سناریو شبیه سازی می شود.
- براساس انتگراسیون حرارتی نیاز فرآیندی ما در بالای برج چگالش بخار بالاسری و در پائین برج نیز تامین گرما برای تفکیک می باشد. در عین حال خوراک قبل از ورود به برج تقطیر پیشگرم می شود، لذا می توان گفت با پیشگرمایش بیشتر خوراک می توان به کاهش مصرف سوخت ریویولر نیز کمک نمود. به این ترتیب امکان فرآیندی را می توان جریان خوراک ورودی به واحد در نظر گرفت. بوسیله تبادل جریان میان خوراک با دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد و بخار بالاسری با دمای ۱۷۴ درجه سانتیگراد علاوه بر تامین چگالش بخار بالاسری بدون نیاز به کولر هوایی، عملیات پیشگرمایش خوراک تا دمای ۱۶۶ درجه سانتیگراد بهبود می یابد که به این ترتیب با افزایش دمای خوراک شاهد بالا رفتن دمای داخلی برج تقطیر و کاهش بار حرارتی ریویولر خواهیم بود. از نتایج مدل انتخاب شده می توان به حذف کامل مصرف برق در کولر هوایی، کاهش ۴۵٪ مصرف سوخت در کوره، کاهش مبدل های گرمایی و در نهایت کاهش ۵۸٪ تولید گازهای آلاینده که در تخریب محیط زیست نقش مهمی را ایفا می کنند، اشاره نمود.