

## بهینه‌سازی انرژی در واحد ایزومریزاسیون پالایشگاه نفت ستاره خلیج فارس با استفاده از فناوری پینچ

سمیه حاج‌غنی<sup>۱</sup>، محمدرضا مزدیان‌فرد<sup>۲</sup>، عبدالله ایرانخواه<sup>۳</sup>

### چکیده

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| تاریخ دریافت: | فرایند ایزومریزاسیون با محدود کردن بنزن، آروماتیک و اولفین در بنزن، سبب افزایش عدد اکتان و کاهش مسائل زیست‌محیطی می‌شود. در تحقیق پیش رو، اصلاح فرایند ایزومریزاسیون به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی آن در پالایشگاه نفت ستاره خلیج فارس با استفاده از فناوری پینچ، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به تحلیل پینچ، طرحی اصلاحی بر روی مبدل‌های بخش احیاء خشک‌کن خوراک و گاز جبرانی که بیشترین حرارت عبور از پینچ داشتند، پیشنهاد شد. در نتیجه از یک مبدل جدید برای بهینه‌سازی مصرف انرژی استفاده شد، که در اثر اعمال آن میزان عبور از پینچ ۱۹/۳٪ و میزان مصرف سرویس‌های جانبی ۳/۶۱٪ کاهش یافت. مبدل جدید با حذف بخار فشار متوسط در واحد، سبب صرفه‌جویی ۲۱۰.۹۵۵ دلار در سال با برگشت سرمایه ۷ ماهه شد. این پیشنهاد به دلیل صرفه اقتصادی آن بسیار کارآمد و مفید است. |
| تاریخ پذیرش:  | ۱۴۰۲/۱۲/۲۷                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| کلمات کلیدی:  | ایزومریزاسیون<br>فناوری پینچ<br>مبدل‌های حرارتی<br>بهینه‌سازی<br>صرفه‌جویی انرژی<br>سرویس‌های جانبی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

۱. دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، دانشگاه کاشان، کاشان
۲. دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه کاشان، کاشان
۳. دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه کاشان، کاشان [irankhah@kashanu.ac.ir](mailto:irankhah@kashanu.ac.ir)

### ۱ مقدمه

به‌منظور تولید بنزن با کیفیت و مطابق مسائل محیط زیستی مطروحه در دهه ۸۰ میلادی، و به‌دلیل تاکید بر حذف و کاهش بنزن، ترکیبات آروماتیکی، الفینی و گوگرد و در عین حال افزایش عدد اکتان با تکمیل فرآیند ریفورمینگ کلتالیزوری در بنزن معمولی، به‌کارگیری فرآیند ایزومریزاسیون در جهان رو به توسعه است. در ایزومریزاسیون هیدروکربن‌ها به ایزومرهای خود که فرمولی مشترک ولی ساختمان و یا

ترتیب مولکولی متفاوت دارند، تبدیل می‌شوند. واکنش‌های ایزومریزاسیون از نوع تعادلی هستند به‌طوری‌که در دمای پایین، تولید بیشتر ایزومر یا تبدیل بیشتر هیدروکربن‌های خطی به ایزومر افزایش می‌یابد.

با افزایش جمعیت کره‌ی زمین، مصرف بیش از حد انرژی، کاهش منابع تجدیدپذیر و افزایش قیمت سوخت، نیاز به صرفه‌جویی انرژی از اهمیت خاصی برخوردار است. مدیران صنایع همواره تلاش می‌کنند که این مهم را با استفاده از روش‌های جدید بهینه‌سازی به‌دست آورند. یکی از این روش‌ها استفاده از انتگرال‌های فرایند است. به کل نگرش انتگرال‌های فرایندی می‌گویند که به وضوح نقش کلیدی در بهبود بازیابی انرژی و کاهش هدر رفت در فرایندهای شیمیایی دیده شود. انتگرال‌های فرایندی سه رویکرد دارد: ۱) روش‌های گرافیکی شامل تحلیل پینچ، ۲) روش‌های برنامه نویسی ریاضی به کمک کامپیوتر و ۳) روش‌های تلفیقی از هر دو (تریق‌السلامی<sup>۴</sup> و همکاران ۲۰۱۷). از تحلیل پینچ می‌توان برای تجمیع انرژی و بهبود طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی، استفاده کرد. تحلیل پینچ به‌معنی به‌کارگیری مفاهیم ترمودینامیکی به‌منظور کاهش هزینه‌های انرژی و بالا بردن میزان بازدهی فرایندهای جاری با بهره‌گیری از نوآوری و خلاقیت در یک مجموعه انرژی بر صنعتی می‌باشد. استفاده از فناوری پینچ در واحدهای فرایندی که به طور همزمان نیازهای گرمایشی و سرمایشی وجود دارد، می‌تواند تاثیر ویژه‌ای بر روی افزایش بازدهی بگذارد (وورل و گلیستکی<sup>۵</sup> ۲۰۰۵). اساس کار فناوری پینچ رسم نمودار آنتالپی-دما می‌باشد که در آن جریان‌های گرم و سرد در کنار یکدیگر نمایش داده می‌شوند (مهدیزاده‌فرد<sup>۶</sup> و همکاران ۲۰۱۷).

فنگ و همکارانش با استفاده از فناوری پینچ میزان مصرف سرویس‌های جانبی گرم و سرد را به ترتیب ۳۴/۲٪ و ۲۶/۲٪ کاهش دادند (فنگ<sup>۷</sup> و همکاران ۲۰۱۱). رضاییان و همکارانش بر روی بخش دفع واحد تصفیه هیدروژنی نفتا پتروشیمی بوعلی با استفاده از انتگرال‌های حرارتی به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی با استفاده از نرم افزار Aspen HYSYS تحقیق و بررسی انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که می‌توان بجای کولر هوایی از سرمایش خوراک ورودی استفاده کرد و کولر هوایی را حذف نمود که در نتیجه‌ی آن مصرف برق نیز کاهش می‌یابد. از طرفی به دلیل تبادل حرارت با بخار بالاسری برج و افزایش دمای خوراک، منجر به کاهش ۳۸٪ مصرف سوخت در ریبویلر می‌شود و دمای کل برج افزایش می‌دهد (رضاییان<sup>۸</sup> و همکاران ۲۰۱۴). در مطالعه‌ای، برای نشان دادن اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی، دو حالت در سیستم شبکه مبدل‌ها برای واحد تقطیر در نظر گرفتند: حالت اول (پایه) قبل از انجام تغییرات و حالت دوم (اصلاحی) بعد از انجام تغییرات می‌باشد. تغییرات حالت دوم شامل اضافه کردن ۳ مبدل حرارتی و ۱ کوره، بهبود بخشیدن ۲ فن هوایی و جایگزین کردن ۶ مبدل حرارتی جدید به جای مبدل‌های فرسوده می‌باشد که این تغییرات سبب کاهش انتقال حرارت عبوری از پینچ به میزان ۱۷ MW شد (استواری‌طلب<sup>۹</sup> ۲۰۱۶). وورل<sup>۱۰</sup> و گلیستکی<sup>۱۱</sup> انرژی مصرفی پالایشگاه‌ها و چگونگی مصرف بهینه جهت دستیابی به بهبود کارایی انرژی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها یافتند که کاهش قابل توجهی در مصرف انرژی با بهبود شرایط عملیاتی در تجهیزات صنعتی قابل دستیابی است (وورل و گلیستکی<sup>۱۲</sup> ۲۰۰۵). پرومویتاک<sup>۱۳</sup> و همکارانش در مطالعه‌ای با طراحی اصلاحی بر روی شبکه مبدل‌های حرارتی توانستند ۱/۳٪ برای تجهیزات گرمایی و ۲/۸٪ برای کولرها صرفه‌جویی انرژی داشته باشند (پرومویتاک و همکاران ۲۰۱۹).

قاضی زاهدی و حیاتی اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی در واحد ایزومریزاسیون با استفاده از فناوری پینچ به منظور کاهش مصرف سرویس‌های جانبی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند انتقال حرارت از یک سرویس جانبی سرد به یک سرویس جانبی گرم به وسیله یک پمپ حرارتی افزایش می‌یابد (قاضی زاهدی و حیاتی<sup>۱۳</sup> ۲۰۱۸). همچنین آن‌ها در تحقیق دیگری با استفاده از یک پمپ حرارتی در

<sup>4</sup> Tarighaleslami

<sup>5</sup> Worrell E. and Galitsky

<sup>6</sup> Mehdizadeh-Fard

<sup>7</sup> Feng

<sup>8</sup> Rezaeiyan

<sup>9</sup> Ostovaritalab

<sup>10</sup> Worrell

<sup>11</sup> Galitsky

<sup>12</sup> Promvitak

<sup>13</sup> Ghazizahedi, and Hayati-Ashtiani

واحد ایزومریزاسیون سبب بهینه‌سازی انرژی با استفاده از فناوری پینچ شدند. آن‌ها دریافتند در اثر اعمال این پمپ حرارتی میزان مصرف سرویس‌های جانبی گرم و سرد  $0.63\%$  و  $0.33\%$ ، و میزان حرارت عبور از پینچ  $11.3\%$  کاهش می‌یابد (قاضی زاهدی و حیاتی ۲۰۲۲). پژوهشگری در مطالعه‌ای، واحد ایزومریزاسیون را از نظر مصرف انرژی در یکی از پالایشگاه‌های ایران با فناوری پینچ مورد بررسی قرار داد. او دریافت که این واحد در حال حاضر  $24/6$  MW عبور از پینچ وجود دارد. همچنین گزارش کرد با حذف مبدلی که عبور از پینچ داشت و جایگزینی مبدل جدید،  $75.686$  دلار در سال در هزینه‌های واحد صرفه‌جویی می‌شود و دوره بازگشت این طرح  $16/6$  ماه است (یگانگی<sup>۱۴</sup> ۲۰۱۸).

اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی به وسیله اضافه کردن سطح به قسمت پوسته یا لوله و یا هردوی آنها به منظور بهبود انتقال حرارت در مبدل‌ها توسط ونگ و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت. این روش بدون تغییری در مکان تجهیزات به دلیل عدم جایگزینی تجهیز و لوله‌کشی منجر به صرفه‌جویی انرژی شد و از افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری جلوگیری کرد (ونگ<sup>۱۵</sup> و همکاران ۲۰۱۲). در مطالعه‌ای، با استفاده از طراحی مدلی با نام مدل پیازی<sup>۱۶</sup> بر مبنای گرمایش و سرمایش جریان‌های مواد، با استفاده از فناوری پینچ فرصت‌هایی برای صرفه‌جویی انرژی را معرفی کردند. در مدل پیازی با تعریف راکتور به عنوان مرکز پیاز، بار حرارتی گرمایشی و سرمایشی را با حرکت از مرکز به سمت لایه‌های بیرونی به دست می‌آید که بازیابی حرارتی را به همراه دارند. این روش طراحی فرایندی جدیدی را به همراه صرفه‌جویی در انرژی و هزینه سرمایه‌ای در پی داشت (ریخته‌گر و صدیقی<sup>۱۷</sup> ۲۰۱۳).

بهبود بازدهی انرژی بر روی تحلیل کل سایت و اثرات اهداف کمینه بار حرارتی توسط لیو و همکارانش مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در این روش آن‌ها یک الگوریتم آبشاری را در طراحی فرایند بهبود یافته استفاده کردند، که در نتیجه باعث کاهش  $6/37\%$  مصرف بخار فشار بالا،  $53/31\%$  مصرف بخار فشار متوسط و  $29/24\%$  مصرف آب خنک‌کننده نسبت به طراحی قبلی شد (لیو<sup>۱۸</sup> و همکاران ۲۰۱۴). یانگ و همکارانش برای بهبود بازدهی انرژی، شبکه مبدل‌های حرارتی را مورد مطالعه قرار دادند و اصلاح فرایند به گونه‌ای انجام شد که در نمودار ترمودینامیکی دما-انتالپی، جریان گرم به اندازه  $\Delta T_{min}$  جابه‌جا شد، به طوری که  $\Delta T_{min}$  در همه نمودار حفظ شد و هیچ کجا نقض  $\Delta T_{min}$  وجود نداشت. در طراحی جدید میزان بار حرارتی سرمایشی از  $310$  kW به  $80$  kW کاهش و میزان بار حرارتی گرمایشی از  $560$  kW به  $330$  kW و میزان بازیابی انرژی به میزان  $2.520$  kW افزایش پیدا کرده است (یانگ<sup>۱۹</sup> و همکاران ۲۰۱۵).

چانگ و همکارانش تجزیه و تحلیل اکسرژی و پینچ را برای نشان دادن جریان حرارتی برگشتی واقعی و بهینه‌سازی انتگرالسیون حرارتی انجام دادند. علاوه بر این، اکسرژی و بازیافت انرژی برای هر واحد فرایند ارزیابی شد. نتایج آن‌ها نشان داد که بازده اکسرژی کل برای کلیه محصولات در فرایند  $92/24\%$  است. انرژی به دست آمده از محصول هدف  $40$  MW است که  $68\%$  انرژی تمام محصولات را تشکیل می‌دهد. انتگرالسیون حرارتی سبب  $20$  MW صرفه‌جویی انرژی و بالا بردن بهره‌وری سرویس جانبی تا  $81\%$  شد (یوهوسان<sup>۲۰</sup> و همکاران ۲۰۲۱). در کار دیگری، یک الگوریتم دو سطحی تکاملی برای بهسازی شبکه مبدل حرارتی پیشنهاد شد. الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی موقعیت استفاده شد و یک الگوریتم تکامل تفاضلی، بارهای حرارتی را کنترل می‌کرد. این الگوریتم با محدودیت‌های عملی مانند حداکثر تعداد مبدل‌های حرارتی را در نظر گرفته شد. این الگوریتم با موفقیت در یک مطالعه موردی صنعتی اعمال شد و هزینه کل سالانه آن را تقریباً  $66\%$  کاهش داد (جان<sup>۲۱</sup> و همکاران ۲۰۲۲).

<sup>14</sup>Yeganegi

<sup>15</sup> Wang

<sup>16</sup> Onion model

<sup>17</sup> Rikhtegar F.S. and Sadighi

<sup>18</sup> Liew

<sup>19</sup> Yong

<sup>20</sup> Yu-Hsuan

<sup>21</sup> Jan

در مطالعه‌ای با استفاده از اطلاعات موجود در فرایند تولید ایزومریت، تاثیر دمای راکتور را بر روی افزایش عدد اکتان ارزیابی کرده و گزارش دادند. آن‌ها متغیرهای فرایندی موثر بر مقدار عدد اکتان به سه بخش تقسیم‌بندی کردند: ناخالصی خوراک، بهره‌برداری از راکتور ایزومریزاسیون، بهره‌برداری از برج ایزوهگزان‌زدا. همچنین با استفاده از الگوریتم‌های ماشینری لرنینگ<sup>۲۲</sup> مدلی برای ارتباط بین عدد اکتان و دمای راکتور با سایر متغیرها ارائه کردند، و نشان دادند که با انتخاب دمایی با این مدل و حفظ بقیه شرایط، عدد اکتان را به میزان ۰/۲ افزایش داده که منجر به افزایش سود سالانه ۵۲۸.۰۰۰ دلار آمریکا شد (احمت و متین<sup>۲۳</sup> ۲۰۲۱). در مطالعه دیگری، روشی ناهمگن در تکنیک آموزش ماشین (Stacking-based) برای پیش‌بینی عدد اکتان ارائه کردند. ابتدا، از یک الگوریتم تلفیقی<sup>۲۴</sup> از جستجوی توالی روبه‌جلو<sup>۲۵</sup> (SFS) با توجه به امتیازهای مهم برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها استفاده کردند. سپس، داده‌ها انتخاب شده را در مدل پیشنهادیشان به کار گرفتند و با آزمایش‌های فرایند پالایش بنزین نشان دادند که این روش می‌تواند با دقت ائتلاف عدد اکتان را در محصول پیش‌بینی کند (شائوز<sup>۲۶</sup> و همکاران ۲۰۲۱). در تحقیق دیگری، یک مدل تطبیقی مبتنی بر داده<sup>۲۷</sup> برای پیش‌بینی متغیرهای نشان‌دهنده کیفیت بنزین در فرایند ایزومریزاسیون نفتای سبک و تعیین شرایط بهینه منجر به بهبود کیفیت بنزین ارائه شد. برای این منظور، یک روش یکپارچه مبتنی بر معیار دو سطحی و رگرسیون بردار پشتیبان (DLS-SVR) پیشنهاد شد. شرایط بهینه با استفاده از مدل DLS-SVR و الگوریتم ارزیابی بهینه‌سازی (CPSO) محاسبه گردید. آن‌ها اعلام کردند، عملکرد بهینه راکتور می‌تواند باعث افزایش ۶/۷۸ واحدی در عدد اکتان بنزین و کاهش ۰/۳۹۴٪ BVP بشود. در عین حال نتایج نشان داد که مدل DLS-SVR می‌تواند متغیرهای نشان‌دهنده کیفیت بنزین ایزومریت را به دقت پیش‌بینی کند (عبدالکریمی<sup>۲۸</sup> و همکاران ۲۰۲۲).

پالایشگاه نفت ستاره خلیج فارس نخستین پالایشگاه کشور بر اساس خوراک میعانات گازی با ظرفیت ۳۶۰ هزار بشکه در روز طراحی شده است. این پالایشگاه شامل واحدهای تقطیر، پالایش گاز مایع، تبدیل کاتالیستی، پالایش نفتا، ایزومریزاسیون، پالایش نفت سفید و نفت گاز، با هدف تولید بنزین، گازوییل، گاز مایع و سوخت جت در بندرعباس ساخته شد. خوراک مورد نیاز این پالایشگاه با یک خط لوله به طول ۳۸۸ کیلومتر و به قطر ۳۶ اینچ با ظرفیت دریافت ۴۸۰ هزار بشکه در روز از پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی تأمین می‌شود. این پالایشگاه از سال ۱۳۸۵ به ثبت رسید و در پایان سال ۱۳۹۷ سه فاز نخست آن به بهره‌برداری رسید و اکنون یکی از مدرن‌ترین پالایشگاه‌های خاورمیانه، و بزرگ‌ترین پالایشگاه میعانات گازی جهان است.

با توجه به اینکه ایران با بهره‌برداری از پالایشگاه نفت ستاره خلیج فارس در تولید بنزین به خودکفایی دست یافته است، طبیعی‌ست استفاده از طرح‌های بهینه‌سازی در جهت افزایش بازدهی و کاهش مصرف انرژی را مدنظر قرار دهد. واحد ایزومریزاسیون پالایشگاه ستاره خلیج فارس با فرایند پنکس<sup>۲۹</sup>، تحت لیسانس شرکت UOP، در سال ۲۰۱۳ میلادی طراحی شده و در اختیار مهندسان پالایشگاه قرار گرفت. با توجه به تاخیرهای جدی در طراحی و اجرای طرح‌های توسعه‌ای در ایران، این احتمال وجود دارد که بهینه‌سازی انرژی با آخرین فناوری تحلیل پینچ در طراحی این فرایند استفاده نشده باشد. چنانچه در فایل دستورالعمل فرایند ایزومریزاسیون UOP، هیچ اشاره‌ای به این‌گونه بهینه‌سازی و به کارگیری فناوری پینچ نیز نشده است. بنابراین، در این مطالعه پیشنهاد به بهینه‌سازی انرژی با کمک فناوری پینچ و نرم‌افزار Aspen Energy Analyzer V9 می‌شود. ستاره خلیج فارس اولین پالایشگاه با خوراک میعانات گازی در ایران طراحی شده، و این پژوهش برای اولین بار در این واحد صورت خواهد گرفت. با توجه به اینکه این پالایشگاه بزرگترین از نوع خود در جهان است، و همچنین

<sup>22</sup>machine learning

<sup>23</sup>Ahmet C. S. and MetinT.

<sup>24</sup> fusion

<sup>25</sup> Sequence forward search

<sup>26</sup>Shaoze

<sup>27</sup> Data-driven

<sup>28</sup>Abdolkarimi

<sup>29</sup> Penex

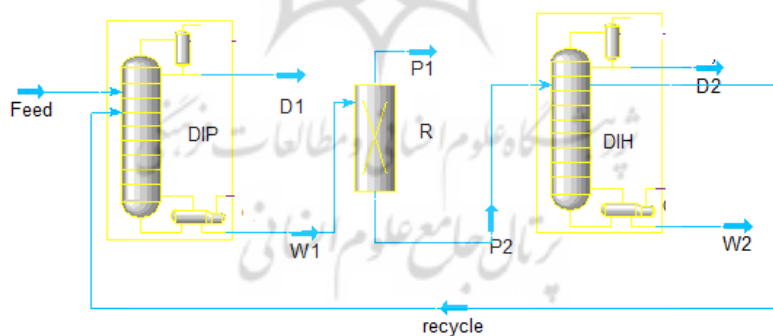
<sup>30</sup> Licence

احتمال اینکه پالایشگاه‌های شبیه ستاره خلیج فارس در ایران توسط متخصصین ایرانی بازسازی شود، دستاوردهای این مطالعه می‌تواند در طراحی بهینه آن، مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲. شرح فرایند ایزومریزاسیون

واحد ایزومریزاسیون در این تحقیق تحت لیسانس شرکت UOP می‌باشد. هدف از تأسیس این واحد کاهش بنزن و گوگرد موجود در نفتای سبک می‌باشد. ابتدا نفتای سبک با عبور از مبدل E-01، دمای آن تا  $84^{\circ}\text{C}$  افزایش می‌یابد و سپس وارد برج ایزوپنتان‌زدا<sup>31</sup> می‌شود تا ایزوپنتان از نفتای سبک جدا شود. محصول خروجی بالای برج، پس از عبور از کولر هوایی وارد مخزن ذخیره گردیده، و بخشی از جریان خروجی پایین برج ایزوپنتان‌زدا پس از عبور از ریویلر به برج برگشت داده می‌شود و بخش دیگر نیز با برشی از برج ایزوهگزان‌زدا<sup>32</sup> (به منظور بدست آوردن محصول با اکتان بالا) مخلوط شده و پس از خنک شدن در چندین مبدل، به عنوان خوراک وارد خشک‌کن‌های خوراک می‌شود تا مواد سمی را از خوراک و هیدروژن جبرانی حذف کند و از غیرفعال شدن کاتالیست ممانعت نماید. خشک‌کن‌های خوراک که حاوی ماده HPG-250 هستند، سبب جذب ملکول‌های اکسیژن‌دار (مانند آب) و ترکیبات گوگردار می‌شوند.

برای تأمین گاز هیدروژن در راکتورهای (R-01 & R-02) واحد ایزومریزاسیون، گاز جبرانی و هیدروژن از قسمت متانتیور وارد شده و پس از افزایش فشار در کمپرسور وارد خشک‌کن می‌شوند. جریان هیدروژن و جریان خوراک با یکدیگر مخلوط شده و وارد دو راکتور سری (R-01 & R-02) می‌گردد. با توجه به این‌که واکنش‌های هیدروژن دهی گرماده می‌باشند، دمای جریان بعد از خروج از راکتور باید کاهش یابد. جریان سپس وارد راکتور دوم می‌شود، و بعد از خارج شدن از راکتور، به برج ایزوهگزان‌زدا ارسال می‌شود. این برج برای بازیافت ایزوهگزان و پنتان‌ها می‌باشد. محصول بالاسری برج به عنوان محصول که بیشتر شامل پنتان‌ها و ۲-متیل بوتان است، به عنوان ایزومریت به مخازن ذخیره‌سازی ارسال می‌شود. محصول میانی برج به قبل از مبدل‌های حرارتی راکتورها برگشت داده می‌شود و جریان پایین برج به عنوان محصول به مخازن ارسال می‌گردد. دیاگرام جعبه‌ای و طرحواره واحد ایزومریزاسیون در شکل (۱) نشان داده شده است.

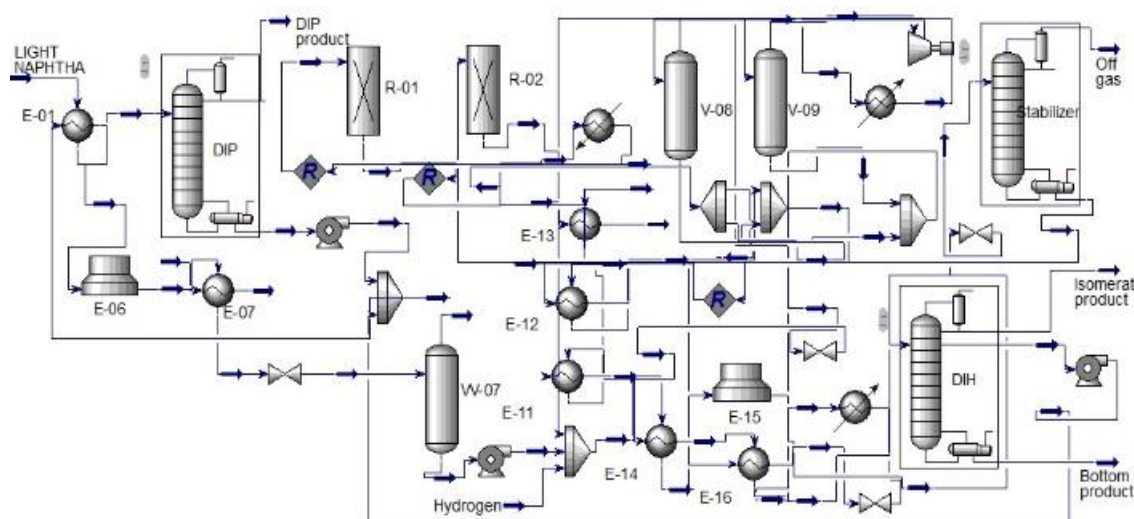


الف

<sup>31</sup> De-iso-pentanizer

<sup>32</sup> De-iso-hexanizer





شکل (۱: الف) دیاگرام جعبه‌ای و (ب) طرحواره واحد ایزومریزاسیون

### ۳. فناوری پینچ

روش طراحی به وسیله فناوری پینچ، روشی مفید برای بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌باشد. با استفاده از این روش که بر پایه ترمودینامیک است، می‌توان به کمترین مقدار سرویس‌های جانبی دست یافت که سبب کاهش هزینه‌ها نیز می‌شود. در ارزیابی فرایند به‌وسیله فناوری پینچ عموماً مراحل زیر انجام می‌شود: ابتدا، اطلاعات موازنه جرم و انرژی از اطلاعات فرایند استخراج، و به اطلاعات حرارتی مرتبط با تحلیل پینچ منتقل می‌شوند. سپس، بهبود بازیابی حرارتی، که همان استفاده بهتر از سرویس‌های جانبی و تصحیحات فرایندی است، بر مبنای اهداف و انتخاب‌های اصلی تعریف شده، بررسی و تحلیل می‌گردند. پس از این دو مرحله، ارتباط قوی بین پینچ و فرایند ایجاد، و ایده‌های اصلی برای بهبود فرایند و ارزیابی اثر واقعی آن‌ها بر عملکرد واحد ارائه می‌شوند (عبدالکریمی و همکاران ۲۰۲۲)، (اسمیت ۳۳ ۲۰۰۵) و (ابراهیم و کواری ۳۴ ۲۰۰۰). اساس و پایه روش فناوری پینچ، رسم نمودار گرافیکی آنتالپی-دماست که منحنی جریان‌های سرد و گرم در کنار یکدیگر رسم می‌شوند. به این نمودار، نمودار مرکب  $^{35}CC$  نامیده می‌شود (شکل ۲ الف) که کمترین فاصله عمودی بین جریان‌های سرد و گرم را  $\Delta T_{min}$  می‌نامند و نشان‌دهنده نقطه پینچ می‌باشد (کنگ ۳۶ و همکاران ۲۰۱۶). نقطه پینچ فرایند را به دو بخش، بالا و پایین پینچ تقسیم می‌کند. نمودار مرکب کل  $^{37}GCC$  که از نمودار مرکب به‌دست می‌آید (شکل ۲ ب)، بدین صورت است که اگر منحنی جریان‌های سرد به اندازه  $\frac{1}{2} \Delta T_{min}$  به سمت بالا و منحنی جریان‌های گرم به اندازه  $\frac{1}{2} \Delta T_{min}$  به سمت پایین منتقل شوند، این دو منحنی در نقطه پینچ با یکدیگر تماس برقرار می‌کنند، با ترسیم فاصله بین دو منحنی، نمودار مرکب کل حاصل می‌شود (منان ۳۸ و همکاران ۲۰۱۷). بخش بالای پینچ  $QH_{min}$  را نشان می‌دهد که به آن بخش چاه گرمایی ۳۹ گفته می‌شود، و بخش پایین پینچ  $QC_{min}$  را نشان می‌دهد، تا از اتلاف انرژی جلوگیری کند (قاضی زاهدی و حیاتی ۲۰۲۲).

<sup>33</sup> Smith

<sup>34</sup>Ebrahim, and Kawari

<sup>35</sup> Composite Curves

<sup>36</sup> Kang

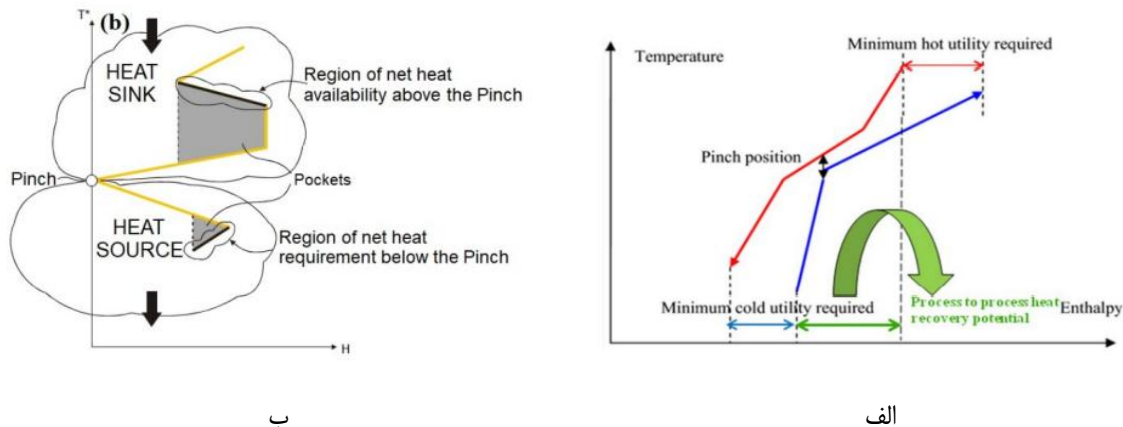
<sup>37</sup> Grand Composite Curve

<sup>38</sup> Mnan

<sup>39</sup> Heat sink

<sup>40</sup> Heat source

برای افزایش بازیابی حرارتی قوانین پینچ مطرح شدند که قاعدتا برای بازیابی بهتر حرارت و کاهش هزینه‌ها می‌بایستی به کار گرفته شوند. در این پژوهش روش مشابه در تحلیل پینچ برای بررسی شبکه مبدل‌های حرارتی در واحد ایزومریزاسیون استفاده شده است.



شکل (۲)-الف) نمودار مرکب (کتاب آنالیز پینچ ۲۰۰۳) ب) نمودار مرکب کل (هرارا<sup>۴۱</sup> و همکاران ۲۰۱۳)

#### ۴. بحث و نتایج

قاعدتا در مطالعات بهینه‌سازی، طراحی اولیه به عنوان طرح پایه در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش، اطلاعات موجود در نمودار جریان فرایند<sup>۴۲</sup> که توسط UOP طراحی شده است به عنوان طرح پایه نظر گرفته شد. برای تجزیه و تحلیل شبکه مبدل‌های حرارتی ابتدا اطلاعاتی شامل بار حرارتی، دماهای ورودی و خروجی در یک برنامه اکسل (جدول (۱))، جمع‌آوری شد و سپس این اطلاعات به نرم‌افزار Aspen Energy Analyzer V9 منتقل شد.

مطابق جدول (۱)، فرایند ایزومریزاسیون در این پژوهش ۲۸ مبدل حرارتی دارد، که تعداد مبدل‌های فرایندی، سرد کننده (شامل کولر هوایی و آب خنک‌کن) و گرم‌کننده (شامل بخار فشار بالا، متوسط و پایین و هیتر برقی) به ترتیب برابر ۶، ۱۴ و ۸ عدد می‌باشد. مساحت سطح هر مبدل توسط بار حرارتی مبدل و فرمول (۱) توسط نرم‌افزار محاسبه شد. که  $A_{ht}$  سطح انتقال حرارت،  $Q$  بار حرارتی،  $U$  ضریب انتقال حرارت و  $LMTD$  اختلاف دمای میانگین لگاریتمی مبدل حرارتی می‌باشد. در این جدول مبدل‌های سرد کننده شامل کولر هوایی و آب خنک‌کن می‌باشد که به ترتیب تغییرات دمای هوا بین  $37^{\circ}\text{C}$  تا  $50^{\circ}\text{C}$  و تغییرات دمای آب بین  $35^{\circ}\text{C}$  تا  $40^{\circ}\text{C}$  بر طبق برگه جریان مبدل‌ها در نظر گرفته شد. همانطور که از جدول (۱) مشخص است بیشترین بار حرارتی مربوط به مبدل کولر هوایی با  $54/68 \text{ MW}$  می‌باشد. میزان کل مصرف انرژی در سرویس‌های جانبی سرد و گرم در طرح پایه به ترتیب برابر  $103/6 \text{ MW}$  و  $89/38 \text{ MW}$  است، در حالیکه میزان هدفگذاری سرویس‌های جانبی سرد و گرم به ترتیب برابر با  $85/25 \text{ MW}$  و  $70/73 \text{ MW}$  طبق جدول (۲) به دست آمد. همانطور که واضح است با مقایسه بین میزان انرژی مصرفی و هدفگذاری، پتانسیل صرفه‌جویی انرژی ۱۹/۱۷٪ است. بنابراین می‌توان با ارائه طرح‌های اصلاحی، سبب صرفه‌جویی انرژی در واحد شد تا انرژی مصرفی و هزینه‌ها کاهش یابند.

<sup>41</sup> Herara

<sup>42</sup> Process Flow Diagram

جدول (۱): داده‌های میبدل‌های حرارتی

| ITEM    | Shell Side |       | Tube Side |       | Duty  | Area           | Shells |
|---------|------------|-------|-----------|-------|-------|----------------|--------|
| EX-Name | T in       | T out | T in      | T out | MW    | M <sup>2</sup> | Number |
| E-01    | 40         | 84    | 102       | 72    | 4.02  | 2058           | 6      |
| E-02    | 99         | 101   | 147       | 141   | 31.56 | 6660           | 14     |
| E-03    | 37         | 50    | 64        | 56    | 31.11 | 28580          | 58     |
| E-04    | 56         | 40    | 35        | 40    | 0.32  | 208.5          | 2      |
| E-05    | 79         | 40    | 35        | 45    | 0.28  | 111.9          | 2      |
| E-06    | 37         | 50    | 72        | 60    | 0.32  | 123.3          | 1      |
| E-07    | 60         | 40    | 35        | 45    | 2.51  | 1655           | 4      |
| E-08    | 37         | 50    | 304       | 60    | 4.33  | 655.3          | 2      |
| E-09    | 60         | 40    | 35        | 40    | 0.21  | 117.1          | 2      |
| E-10    | 40         | 146   | 191       | 173   | 1.86  | 125            | 1      |
| H-01    | 146        | 316   | 207       | 260   | 1.62  | 1288           | 12     |
| E-11    | 49         | 89    | 147       | 122   | 19.75 | 5787           | 12     |
| E-12    | 89         | 135   | 186       | 138   | 11.38 | 2779           | 6      |
| E-13    | 135        | 146   | 215       | 211   | 6.24  | 4161           | 9      |
| E-14    | 122        | 99    | 53        | 98    | 6.34  | 2288           | 5      |
| E-15    | 37         | 50    | 99        | 53    | 9.84  | 5787           | 12     |
| E-16    | 98         | 134   | 175       | 140   | 5.85  | 1458           | 3      |
| E-17    | 175        | 177   | 204       | 195   | 13.5  | 2604           | 6      |
| E-18    | 37         | 50    | 92        | 53    | 7.23  | 1202           | 3      |
| E-19    | 100        | 99    | 48        | 49    | 0.64  | 6484           | 1      |
| E-20    | 130        | 132   | 188       | 168   | 47.04 | 4231           | 9      |
| E-21    | 37         | 50    | 75        | 58    | 54.68 | 27950          | 56     |
| E-22    | 58         | 40    | 35        | 45    | 1.14  | 788            | 2      |
| E-23    | 60         | 40    | 35        | 45    | 0.11  | 50.33          | 2      |
| E-24    | 37         | 50    | 130       | 60    | 0.38  | 123.3          | 1      |
| E-25    | 32         | 186   | 233       | 60    | 0.994 | 340.7          | 5      |
| E-26    | 186        | 210   | 253       | 252   | 0.141 | 13.59          | 1      |
| E-27    | 60         | 40    | 35        | 40    | 0.113 | 50.33          | 2      |

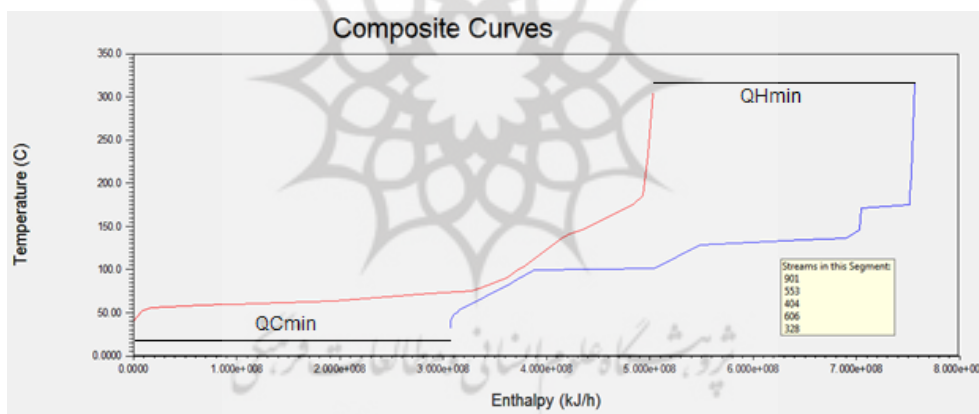
$$A_{ht} = \frac{Q}{U \times LMTD} \quad (۱)$$



جدول (۲)- اطلاعات شبکه مبدل‌های حرارتی در حالت پایه و هدفگذاری

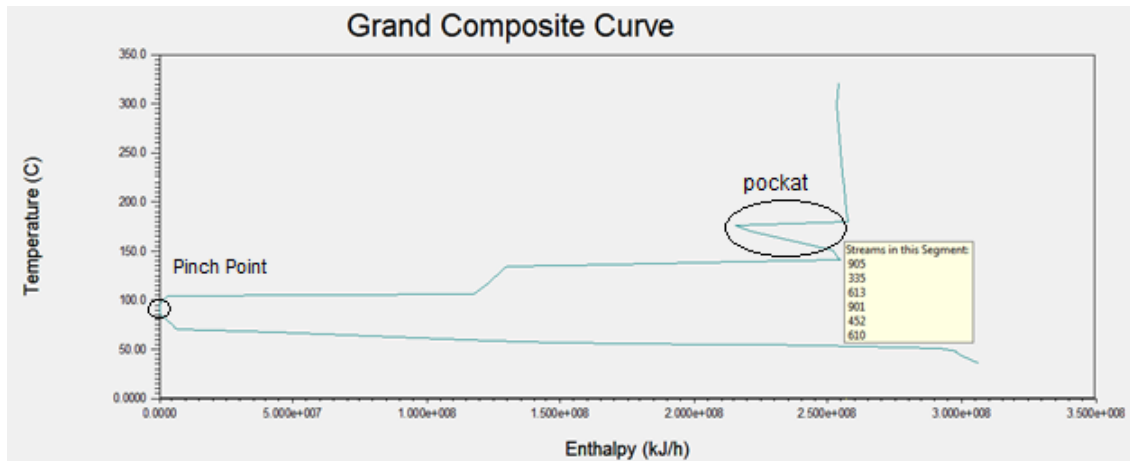
|                              | Base Case | Trgets  |
|------------------------------|-----------|---------|
| Cold Utility (MW)            | 103.6     | 85.25   |
| Hot Utility (MW)             | 89.38     | 70.73   |
| Operating Cost (cost/s)      | 0.2147    | 0.1607  |
| Capital (cost)               | 2.31e7    | 2.437e7 |
| Total Cost (cost/s)          | 0.4506    | 0.3644  |
| Number of Units              | 28        | 38      |
| Number of Shells             | 230       | 110     |
| Total Area (m <sup>2</sup> ) | 9.686e4   | 1.104e5 |

حداقل اختلاف دما یا  $\Delta T_{min}$  برابر  $10^{\circ}\text{C}$  در نظر گرفته شد، و دمای نقطه پینچ در این فرایند برابر با  $92^{\circ}\text{C}$ – $102^{\circ}\text{C}$  به دست آمد. منحنی‌های مرکب، دما را بر حسب آنتالپی طبق شکل (۳) برای جریان‌های گرم و سرد رسم می‌کند. نقطه پینچ به نقاطی از نمودار که دو منحنی به یکدیگر نزدیک شده‌اند، اشاره دارد. در این شکل میزان  $QH_{min}$  و  $QC_{min}$  را نیز ارائه می‌دهد.



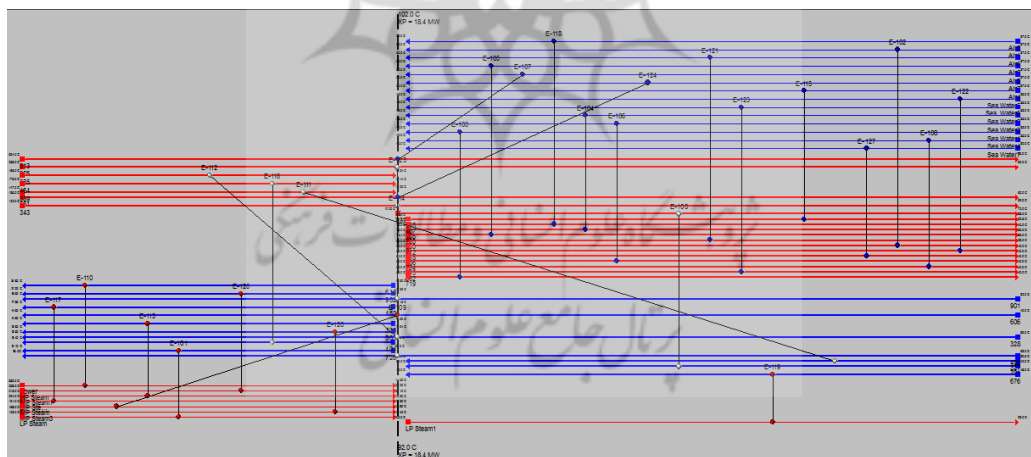
شکل (۳): منحنی‌های مرکب در نرم‌افزار در  $\Delta T_{min}$  برابر  $10^{\circ}\text{C}$

همانطور که مشخص است، دهانه‌های اطراف این نمودار از هم فاصله دارند هر چه این دهانه‌ها یا  $QH_{min}$  و  $QC_{min}$  کوچک‌تر یا به یکدیگر نزدیک‌تر باشند میزان مصرف انرژی در واحد کاهش می‌یابد. طرح‌های اصلاحی در مطالعات پینچ در واقع می‌بایست میزان آنتالپی واحد را به نحوی کاهش داد، تا دو منحنی سرد و گرم به هم نزدیک‌شوند. از منظر گرافیکی فاصله زیاد دو منحنی آبی و قرمز نشان می‌دهد که بعد از نقطه پینچ بازیابی حرارت داخل فرایند کم است، اگر بتوان بازیابی حرارت داخل فرایند را افزایش داد، میزان صرفه‌جویی انرژی افزایش می‌یابد. کاهش این دو منحنی توسط طرح‌های اصلاحی فراهم خواهد شد. منحنی‌های مرکب کل یا (GCC) در واقع نمایشی دیگر از شکل (۳) است که نقطه پینچ را واضح‌تر مشخص می‌کند (شکل (۴)).



شکل (۴): منحنی‌های مرکب کل در نرم‌افزار در  $\Delta T_{\min}$  برابر  $10^{\circ}\text{C}$

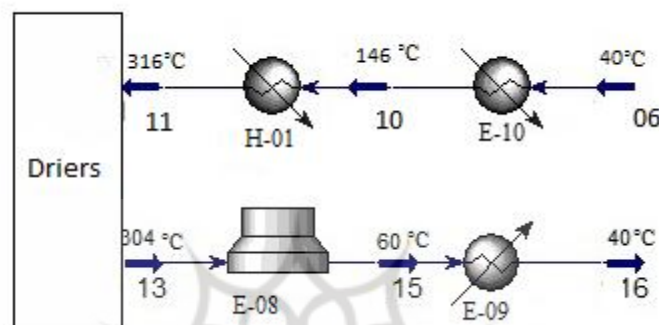
با وصل کردن جریان‌های یک مبدل در نرم‌افزار Aspen energy analyzer V9، شبکه مبدل‌های حرارتی واحد یا نمودار شبکه‌ای آن رسم می‌شود (شکل (۵)). میزان حرارت عبوری از مرز پینچ در حالت طراحی برابر ۱۸/۳۵ MW است. طبق قوانین پینچ، مبدل‌هایی که قوانین پینچ در آن‌ها رعایت نشده است حرارت عبوری از مرز پینچ را افزایش می‌دهند. بعبارتی این مبدل‌ها، مصرف سرویس‌های جانبی سرد و گرم را افزایش می‌دهند که قابل بازیافت توسط روش پینچ است. با توجه به شکل (۵) مبدل‌های E-11، E-12، E-24، E-25، E-10، E-08 حرارت عبوری از پینچ فرایند دارند و بهتر است مورد اصلاح قرار گیرند. ضوابط اصلاحی ایجاب می‌کند که در تصحیح مبدل‌های مزبور لازم است، دمای جریانی از مبدل که حرارت عبوری از مرز پینچ دارد، تغییر کند، و مبدلی که جریان‌های آن در دو طرف نقطه پینچ قرار دارند، کل مبدل جابه‌جا شود.



شکل (۵): عبور از پینچ مبدل‌ها در طرح پایه

پس از ارزیابی و بررسی نمودارهای قابل ارائه توسط نرم‌افزار Aspen Energy Analyzer V9، شامل CC، GCC، Grid diagram و Cross-Pinch در این مرحله می‌توان اصلاحاتی در رابطه با عملکرد مبدل‌های واحد ایزومریزاسیون ارائه نمود. شاخص‌های اصلاح در فناوری پینچ طبق قوانین پینچ به کار گرفته می‌شود. برای این منظور و اصلاح مبدل‌ها از روش‌هایی مانند تغییر در ترتیب مبدل‌ها، تعویض مبدل‌ها و افزودن مبدل استفاده می‌شود. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، مبدل‌هایی که قوانین پینچ در آن‌ها رعایت نشده مشخص و طرح‌های اصلاحی در آن برای حذف عبور از پینچ پیاده‌سازی شد. برای این منظور طرحی اصلاحی بر روی بخش احیا خشک‌کن خوراک و گاز جبرانی پیشنهاد می‌شود.

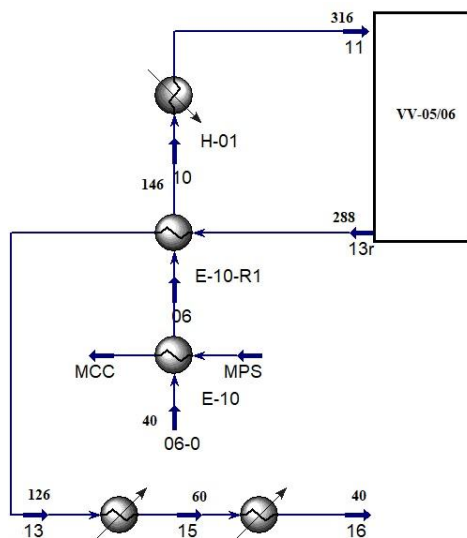
در بخش احیاء خشک کن خوراک و گاز جبرانی، جریان (شماره ۰۶) برای ورود به خشک کن خوراک ابتدا وارد مبدل E-10 می شود و از دمای  $40^{\circ}\text{C}$  توسط بخار فشار متوسط به دمای  $146^{\circ}\text{C}$  می رسد، و سپس وارد یک هیتر برقی H-01 می شود و دمای آن از  $146^{\circ}\text{C}$  به  $316^{\circ}\text{C}$  افزایش می یابد. مبدل E-10 که به صورت عمودی در واحد قرار می گیرد، و طوری طراحی شده است که فقط جریان بخار به سمت هیتر برقی H-01 ارسال شود و در صورت ارسال جریان مایع به سمت هیتر برقی سبب آسیب به المنت های آن شده و هیتر برقی از سرویس خارج می گردد. جریان پس از عبور از خشک کن (شماره ۱۳) وارد مبدل کولر هوایی E-08 می شود و از دمای  $304^{\circ}\text{C}$  تا دمای  $60^{\circ}\text{C}$  خنک می شود. سپس این جریان (شماره ۱۵) به مبدل آب خنک کننده E-09 ارسال می شود، تا دمای  $40^{\circ}\text{C}$  برسد (شکل (۶)). همانطور که مشاهده می شود همه مبدل های این بخش از سرویس های جانبی استفاده می کنند لذا بهتراست طرح اصلاحی به گونه ای پیاده سازی شود که علاوه بر حذف یا کاهش عبور از پینچ، مصرف سرویس های جانبی را کم کند.



شکل (۶): الف) طرح پایه احیاء خشک کن خوراک و گاز جبرانی

در طرح اصلاحی که با هم اندیشی مهندسان پالایشگاه صورت گرفت، یک مبدل جدید E-10-R1 خریداری به صورت سری با مبدل قدیم E-10 در واحد قرار می گیرد (شکل (۷)) و بخش احیاء خشک کن خوراک و گاز جبرانی به صورت زیر تغییر می یابد:

با شروع فرآیند احیاء، ابتدا جریان از مبدل E-10 عبور کرده (که با MPS گرم می شود). به منظور آماده کردن (گرم کردن) و در سرویس قرار دادن مبدل E-10-R1، جریان از این مبدل عبور نموده و سپس وارد هیتر برقی H-01 می شود تا به دمای  $316^{\circ}\text{C}$  قبل از ورود به خشک کن ها خوراک و گاز جبرانی برسد. پس از احیاء خشک کن ها، جریان  $13^{\circ}\text{C}$  (این دما، بالاترین دمایی است که جریان  $13^{\circ}\text{C}$  در حالت عملیاتی هنگام خروج از خشک کن ها به آن می رسد)، و جریان  $06^{\circ}\text{C}$  با دمای  $40^{\circ}\text{C}$  در مبدل E-10-R1 تبادل حرارت انجام داده و تا به دمای  $146^{\circ}\text{C}$  برسد و به مرور بخار فشار متوسط از سرویس خارج می شود، سپس جریان  $10^{\circ}\text{C}$  در H-01 به دمای  $316^{\circ}\text{C}$  می رسد. دمای جریان  $13^{\circ}\text{C}$  که به دمای  $126^{\circ}\text{C}$  رسید، به مبدل های E-08 و E-09 ارسال تا به دمای  $40^{\circ}\text{C}$  برسد. در این طرح، مبدل جدید E-10-R1 به صورت سری با مبدل E-10 نصب، که سبب حذف بخار فشار متوسط می شود، و متعاقباً بار حرارتی و مصرف برق کولر هوایی E-09 ۵۰ درصد کاهش می یابد.



شکل (۶): الف) طرح پایه احیا خشک کن خوراک و گاز جبرانی

در این بخش، که مبدل‌های (طرح پایه) E-08 و E-10 حرارت عبوری از مرز پینچ داشتند، در طرح پیشنهادی عبور از پینچ از ۴/۵MW به ۰/۶MW کاهش یافت. با قرار دادن مبدل جدید و جابه‌جایی جریان در مبدل‌های طرح پایه (E-08 و E-10) و استفاده از حرارت جریان ۱۳، هم میزان عبور از پینچ کاهش یافت و هم مصرف بخار فشار متوسط حذف شد. این مطالعه نشان داد که این طرح اصلاحی قابلیت اصلاح عبور از پینچ واحد ایزومریزاسیون از ۱۸/۳۵MW به ۱۴/۸MW را می‌تواند فراهم کند، به عبارتی عبور از پینچ ۳/۶MW یا ۱۹/۳٪ کاهش می‌یابد. با انجام این طرح اصلاحی مصرف سرویس‌های جانبی گرم و سرد به ترتیب ۳/۶MW و ۳/۶MW کاهش یافت. به عبارتی به میزان ۳/۶۱٪ انرژی در مصرف سرویس‌های جانبی سرد و گرم صرفه‌جویی می‌شود.

در حالت عملیاتی واحد ایزومریزاسیون در پالایشگاه، بخش احیاء خشک کن خوراک و گاز جبرانی به مدت ۳ بار در هفته و در هر بار ۲۰ ساعت در سرویس می‌باشد. میزان بخار فشار متوسط مصرفی مبدل E-10 حدود ۳/۳۱۳ Ton/hr است، که با در نظر گرفتن هر تن بخار برابر با ۲۱/۴۰ دلار (نرخ مصوب فروش هر تن بخار پالایشگاه بدون در نظر گرفتن هزینه بالاسری)، میزان ۲۰۴/۱۸۵ دلار در سال صرفه‌جویی می‌شود. همچنین میزان ۲ MW-hr بار حرارتی مبدل E-08 کاهش می‌یابد. میزان مصرف برق این مبدل ۵۰kw است، که با این طرح جدید میزان مصرف برق آن به ۲۵ kw کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن هر ۱ MW برق برابر با ۹۴/۰۳ دلار (نرخ مصوب فروش هر کیلووات-ساعت برق پالایشگاه بدون در نظر گرفتن هزینه بالاسری)، به میزان ۶۰۷۷۰ دلار در سال صرفه‌جویی می‌شود. این طرح جمعاً به میزان ۲۱۰۹۵۵ دلار در سال صرفه‌جویی انرژی به همراه دارد. با در نظر گرفتن خرید مبدل و تجهیزات مربوطه به میزان ۱۲۰۰۰۰ دلار، دوره برگشت سرمایه و نرخ بازده داخلی به ترتیب ۷ ماهه و ۷۵/۸٪ می‌باشد که محاسبات اقتصادی در جدول (۳) آورده شده است. این واحد در سه فاز موازی در پالایشگاه احداث شده در نتیجه این طرح می‌تواند در هر سه فاز مورد بهره‌برداری قرار گیرد. (این پروژه در پالایشگاه نفت ستاره خلیج فارس به تایید رسیده است و طرح توجیهی آن برای خرید مبدل جدید از کمسیسون معاملات تاییده گرفته است).

جدول (۳) - محاسبات اقتصادی

| نرخ بازده داخلی (IRR) % | ارزش خالص فعلی (NPV) | شاخص سودآوری (PI) | دوره برگشت سرمایه (PBP)، سال | دوره بازگشت سرمایه متحرک (DPBP)، سال |
|-------------------------|----------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| ۷۵/۸                    | ۵۸۷۷۵/۴۲             | ۱/۴۹              | ۰/۵۷                         | ۰/۶۷                                 |

## ۶. نتیجه گیری

در این تحقیق، اصلاح فرایند ایزومریزاسیون به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی پالایشگاه‌ها نفت ستاره خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفته‌است. فرایند ایزومریزاسیون با نرم‌افزار Aspen Hysys V9 شبیه‌سازی و سپس مبدل‌های حرارتی آن در نرم‌افزار Aspen Energy Analyzer V9 با استفاده از فناوری پینچ مورد تحلیل قرار گرفتند. با توجه به تحلیل آن، طرحی اصلاحی بر روی مبدل‌های آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با انجام طرح بهینه‌سازی و نصب مبدل جدید به صورت سری با مبدل قبل، علاوه بر سبب حذف بخار فشار متوسط، بار حرارتی مبدل کولر هوایی نیز کاهش می‌یابد این طرح جمعاً به میزان ۲۱۰.۹۵۵ دلار در سال صرفه‌جویی انرژی به همراه دارد. با در نظر گرفتن خرید مبدل و تجهیزات مربوطه به میزان ۱۲۰.۰۰۰ دلار، برگشت سرمایه این طرح ۷ ماهه می‌باشد. با توجه به اینکه سه فاز موازی از واحد ایزومریزاسیون در پالایشگاه احداث شده است این طرح می‌تواند در بقیه‌ی فازها به بهره‌برداری برسد که سبب کاهش قابل توجهی مصرف سرویس‌های جانبی در پالایشگاه می‌شود.

## سپاسگذاری

نویسندگان سپاس قلبی خود را از مرحوم جناب آقای دکتر مزدیان فرد که تا آخرین لحظات حیات خود زحمات زیادی برای این پژوهش کشیدند را دارند. همچنین از جناب آقای دکتر مجید حیاتی آشتیانی نیز بخاطر راهنمایی‌های ایشان سپاسگزارند. در نهایت از پالایشگاه نفت ستاره خلیج فارس (www.PGSOC.ir) که اطلاعات فنی خود را در اختیار قرار دادند کمال تشکر را دارند.

## منابع

- [1] Abdolkarimi V. et al. (2022), "Robust prediction and optimization of gasoline quality using data-driven adaptive modeling for a light naphtha isomerization reactor", Fuel, V(328), 125304.
- [2] Ahmet C. S. and Metin T. (2021), "Octane Optimization with a Combined Machine Learning and Optimization Approach", Computer Aided Chemical Engineering, 50, 221-226.
- [3] Ebrahim, M. and Kawari, A., (2000). "Pinch Technology: An Efficient Tool for Chemical-plant Energy and Capital-cost Saving", Applied Energy, 65: 45-49.
- [4] Feng, X. et al. (2011), "Energy Recovery in Petrochemical Complexes through Heat Integration Retrofit Analysis", Applied Energy, 88: 1965-1982.
- [5] Ghazizahedi, Z. and Hayati-Ashtiani M. (2018), "Heat transfer enhancement to decrease the energy consumption of a Light Naphtha Isomerization unit by means of heat exchanger network retrofitting", 2<sup>nd</sup> International conference on Engineering Sciences, 433.
- [6] Ghazizahedi, Z. and Hayati-Ashtiani M., (2022), "Investigation the Application of Heat Pump in Isomerization Unit to Decrease the Energy Consumption by Means of Pinch Technology", Iranian Chemical Engineering Journal, 20: 53-63.
- [7] Herrera A., et al. (2013). "Pinch technology application in a hospital", Appl. Therm. Eng., 23 127.
- [8] Jan A., et al. (2022), "Applied heat exchanger network retrofit for multi-period processes in industry: A hybrid evolutionary algorithm", Computers and Chemical Engineering, 161, 107771.
- [9] Kang, H., et al. (2016), "Comparative Analysis of Regenerative and Air-extraction Multistage Humidification-dehumidification Desalination System Using Pinch Technology", Desalination, 385:158-166.
- [10] Manan, Z. A., et al. (2017), "Advances in Process Integration Research for CO2 Emission Reduction-A Review", Journal of Clean Production, 167; 1-13.
- [11] Liew P. et al. (2014). "Total Site Heat Integration Targeting Algorithm Incorporating Plant Layout Issues", Computer Aided Chemical Engineering, 33, 1801-1806.
- [12] Mehdizadeh-Fard, M, et al. (2017), "A Practical Approach to Heat Exchanger Network Design in a Complex Natural Gas Refinery", Journal of Natural Gas Science and Engineering, 40: 141-171.
- [13] Natural Resources Canada, (2003), Pinch Analysis: For the efficient use of energy, water & hydrogen, Catalogue, 39-96.
- [14] Ostovaritalab, M., (2016), "Investigation of Pinch in Distillation Unit in order to energy saving for Pre-Heating Crude Oil", Msc theses, University of Kashan.
- [15] Promvitak P., et al. (2009), "Retrofit Design of Heat Engineering Exchanger Networks of Crude Distillation Unit", Chemical Engineering Transactions, 18:99-104.
- [16] Rezaeiyan S., et al. (2014), "Development of Aspen HYSYS software application for energy optimization in column", the forth conference of Burner and Furnace, Iran, 1-7.

- [17] Rikhtegar F.S. and Sadighi S., (2013), "*Applying Pinch Technology to Energy Recovery*", *Petroleum Technology Quarterly*, 18.
- [18] Shaoze Cui, et al. (2021), "*Two-stage stacking heterogeneous ensemble learning method for gasoline octane number loss prediction*", *Applied Soft Computing*, 107989.
- [19] Smith R., (2005), "*Chemical Process Design and Integration*", Centre for Process Integration, School of Chemical Engineering and Analytical Science, University of Manchester.
- [20] Tarighaleslami A. et al. (2017), "*A Unified Total Site Heat Integration targeting method for isothermal and non-isothermal utilities*", *Energy*, 119, 10-25.
- [21] Worrell E. and Galitsky E.C. (2005), "*Energy Efficiency Improvement in the Petroleum Refining Industry*", Energy Efficiency Industry, Lawrence Berkeley National Laboratory, 158-169.
- [22] Yeganegi, H., (2018), "*Simulation and Optimazation of Energy Consumption in Isomerization Unit*", Msc theses, University of Kashan.
- [23] Wang Y. R., et al. (2012), "*Heat Exchanger Network Retrofit Optimization Involving Heat Transfer Enhancement*", *Applied Thermal Engineering*, 43:7-13.
- [24] Yong J. Y. et al. (2015), "*Heat Exchanger Network Modification for Waste Heat Utilisation under Varying Feed Conditions*", *Chemical Engineering Transactions*, 43:1279-1284.
- [25] Yu-Hsuan Ch. et al. (2021), "*Exergy analysis of renewable jet fuel production through hydro-conversion of glyceride-based oil*", *Applied Thermal Engineering*, 182, 115934.





---

### Abstract

An isomerization process by limit the amount of benzene, aromatic, and olefin in gasoline, cause to increase the octane number and decrease the environmental issues. In this research, has been investigated the modification of the isomerization process in order to optimize the energy consumption at Persian Gulf Star Oil Company by pinch technology. According to the pinch analyses, to optimize the energy consumption one retrofitting case was investigated on the heat exchanger in regeneration of feed and makeup gas drier that had the highest amount of cross pinch. As a result, a new heat exchanger was used to optimize energy consumption, that the cross pinch was reduced by 19.3% and the utility consumption was reduced by 3.61%. The new exchaner, by eliminating medium pressure steam in the unit, saved \$210,955 per year with a 7-month return on investment. This proposal is very efficient and useful because of its economic efficiency.

### Keywords :

**Isomerization,  
pinch technology,  
heat exchangers,  
optimization,  
Energy saving,  
utility**

