



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

طراحی بهینه (مطلوب) ستون های تقطیر برودتی (کریوژنیک) با پمپ های

حرارت جانبی برای جداسازی پروپیلین/پروپان

چکیده

پروپیلین یکی از مهم ترین محصولات در صنعت پتروشیمی می باشد که به عنوان مواد خام برای محصولات متنوعی استفاده می شود. جداسازی پروپیلین/پروپان یک فرآیند قدرتمند می باشد زیرا نقاط جوش آن ها کاملاً مشابه است. بعلاوه، در شرایط جوی، نقاط جوش آن ها به ترتیب -47.6 و -42.1 درجه سانتی گراد است. به منظور جداسازی این ترکیب (مخلوط) از ستون های معمولی که در فشار بالا عمل می کنند و ستون های تقطیر برودتی که در فشار پایین عمل می کنند، استفاده می کنند، با این وجود، این رویکرد همچنان قدرتمند هستند. این مقاله ستون های تقطیر با کارآمدی انرژی و ستون های تقطیر با شدت را ارائه می دهد که بی در رو (ادیاباتیک)¹ مانند ستون ترمیم بخار (VRC) یا دیابتیک مانند ستون هایی با مراحل یکپارچه گرما می باشند. یک روند طراحی و بهینه سازی که مصرف انرژی در جداسازی پروپیلین/پروپان به حداقل می رساند ارائه شده است. طراحی مفهومی، بازنمایی ساختار فوقانی، شبیه سازی های دقیق و تکنیک های برنامه نویسی ریاضیاتی به طور موثری ترکیب شده اند تا همه ی ساختارهای تقطیر مورد نظر، چرخه تبرید، و احتمال های تجمع گرما را به صورت همزمان بررسی کند. نتایج نشان داد که ستون های VRC و تقطیر دیابتیک با مراحل یکپارچه گرما می تواند مصرف انرژی را بین ۵۸ تا ۷۵٪ را کاهش دهد زمانی که با تقطیر متعارف در فشار بالا مقایسه می شود. بعلاوه، روند سنتز پیشنهادی منجر به ایجاد ساختارهای تقطیر بهینه ساده با مراحل گرمای یکپارچه کم شده است و همچنان روش مهم ذخیره ی انرژی باقی مانده است.

کلمات کلیدی: تقطیر برودتی (کرایوژنیک)، پروپیلین، بهینه سازی، یکپارچه سازی حرارت، تبرید

۱. مقدمه

¹ Adiabatic

پروپیلین یک میانجی در طیف گسترده ای از فرآیندهای شیمیایی برای تولید الیاف، فوم، پلاستیک، و غیره مورد استفاده قرار می گیرد. اساساً به عنوان فرآورده در فرآیند اتیلن و فرآورده ی جانبی در صنعت پالایش نفت بدست می آید که در هر صورت، با دیگر گاز ها مانند هیدروژن، اتیلن، اتان، پروپان و غیره ترکیب می شود اما گازهای سبک تر از پروپیلین معمولاً در مراحل اولیه از هم جدا می شوند، از این روی، پروپیلین در اکثر موارد از پروپان جدا می گردد. از آنجاییکه پروپیلین و پروپان نقاط جوش نزدیکی دارند و گاز هایی در دمای اتاق و فشار اتمسفری هستند، جداسازی آن یک فرآیند با انرژی زیاد است.

چندین جایگزین جداسازی بر مبنای حلالیت، انتشار، و تفاوت اندازه مولکولی برای کاهش مصرف انرژی بالا در جداسازی پروپیلین و پروپان مورد استفاده قرار گرفته اند. Rege و Yang (۱) یک سیستم جذب نوسان فشار چهارگانه (PSA) را پیشنهاد کردند که از $AgNO_3/SiO_2$ و AIPO-14 برای جداسازی پروپیلین از پروپان در دو ترکیب تغذیه، فشارهای جوی و اتمسفر زیر فشار استفاده کرد. Plaza و همکاران (۲) یک سیستم جذب نوسان خلاء پنج مرحله ای (VSA) را پیشنهاد کرد که از Cu-BTC به دلیل حجم بالای منافذ و ظرفیت بالای جذب استفاده کرد، با این وجود، نتایج میزان بهبودی کم در حدود ۱۵٪ را نشان داد. Campo و همکاران (۳) نیز یک سیستم VSA پنج مرحله ای را با استفاده از زئولیت x13 به عنوان ماده جذب کننده را اتخاذ کرد. نتایج میزان بهبود بالایی حدود ۷۵٪ را برای جداسازی شان نشان داد. اگرچه جداسازی مبتنی بر پوسته نیز پیشنهاد شده است، اما اکثر آن ها به طور همزمان فاقد نفوذپذیری و انتخاب پذیری بالا هستند، در افزایش دارای مشکل هستند، و فاقد پایداری بلند مدت می باشند که به دلیل مسمویت حامل های انتخابی الفین می باشد. Pan و همکاران (۴) چارچوب های zeolitic imidazolate را برای جداسازی پروپیلین/پروپان در چندین ترکیب تغذیه و شرایط دمایی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که ساختار غشایی پیشنهادی، نفوذپذیری و انتخاب پذیری بالای برای ترکیبات غنی از پروپیلین در دمای پایین تر از ۲۲ درجه سانتیگراد را نشان داد.

اگرچه جایگزین های فوق الذکر می توانند مطمئناً ذخیره و صرفه جویی انرژی را بدست آورند، ظرفیت و زمان عملیات آن ها توسط اندازه تجهیزات و مسائل حفظ و نگهداری محدود شده است. به منظور برآورده ساختن تقاضای

پروپلین، تقطیر فناوری جداسازی غالب برای حفظ آن در مقیاس بزرگ تر می باشد. جایگزین های مبتنی بر تقطیر شدید برای کاهش مصرف انرژی در تقطیر پیشنهاد شده اند. Petterson و همکاران (۵) پیکربندی تقطیر مبتنی بر غشا سودمند را گزارش کرده اند که یک غشا می تواند نزدیک به جریان تغذیه یا در انتهای ستون تقطیر واقع شود. Benali و Aydin (۶) چندین پیکربندی غشا را بررسی کردند که می تواند در بالا، وسط و انتهای ستون تقطیر قرار گیرد. بهترین پیکربندی گزارش شده ی آن ها صرفه جویی اقتصادی حدود ۳۶٪ گزارش کردند که یک غشا در بالا و در پایین نصب شده بود. رویکردهای مبتنی بر برنامه نویسی ریاضیاتی نیز پیشنهاد شد (۷ و ۸)، و آن ها نشان داده اند که تقطیر غشایی که یک غشا در موقعیت متوسط قرار دارد می تواند هزینه سالیانه را تا ۲۰٪ کاهش دهد. Olujic و همکاران (۹) دو ستون تقطیر حرارتی یکپارچه را مورد مطالعه قرار دادند: ستون ترمیم بخار (VRC) و ستون تقطیر حرارتی یکپارچه (HIDiC). VRC و HIDiC از لحاظ هزینه و مصرف انرژی مقایسه شدند که در آن VRC مصرف الکتریسیته ی بیشتری نسبت به HIDiC داشت، بنابراین هزینه تجهیزات بالاتری نیز داشت، از آنجاییکه هزینه کمپرسور در این نوع ساختار تقطیر با استفاده از پمپ حرارت غالب است. بعلاوه، ساختار HIDiC نسبت به VRC صرفه جویی اقتصادی و انرژی به ترتیب تا ۲۰ و ۲۵٪ را نشان داد. Ho و همکاران (۱۰) یک شبیه سازی پویا برای ساختار HIDiC مطالعه شده توسط Oljui و همکاران (۹) ارائه داد و نشان دادند که پیکربندی کنترل پیشنهادی می تواند HIDiC را به خوبی تحت اختلالات متعدد کنترل کند.

علازمه جایگزین های تشدید شده ی فوق، ترکیب پروپلین/پروپان به طور متعارف توسط ستون های تقطیر جدا شده است که یا در فشار بالا (برای مثال 15 بند) عمل می کنند تا استفاده از آب را به عنوان محیط خنک کننده تضمین بخشند یا در دمای پایین (برای مثال 5 درجه سانتیگراد) عمل می کنند تا از یک مبرد به عنوان محیط خنک کننده استفاده کند. صرف نظر از این گزینه ها، Mauhar و همکاران (۱۵) نشان داده اند که مصرف انرژی برای جداسازی پروپلین و پروپان به طور ناگزیر بالا است اگر ستون بین بند ۱۵،۹۵ و ۱۲ عمل کند.

اگر جداسازی در دمای پایین انجام شود، به عنوان تقطیر برودتی مورد اشاره قرار می گیرد که نیازمند یک مبرد برای فراهم کردن خنک سازی در دمایی پایین تر از چگالنده است، بنابراین یک ستون تقطیر باید همراه با سیستم تریپد

باشد. با این وجود، زمانی که مبردها به عنوان خنک کننده در چگالنده مورد استفاده قرار می گیرند، طیف دمای آن و هزینه هر واحد در حول تبادل انرژی در شرایط از پیش تعیین شده قرار می گیرد و به عنوان پارامترهایی در مسئله سنتز در نظر گرفته می شود تا ساختارهای تقطیر بهینه (مطلوب) را منجر شود (۷،۹،۱۰). این بدین معناست که بهینه سازی شرایط عملیاتی در سیستم های تبرید در بر گرفته نشده است. در این مقاله، شرایط عملیاتی سیستم تبرید به طور همزمان با ستون تقطیر بهینه شده است تا نه تنها مصرف انرژی در مورد دوم بلکه در مورد پیشین را نیز به حداقل رساند.

یکپارچگی حرارت از طریق مبدل‌های حرارتی متوسط اخیرا به عنوان جایگزینی برای کاهش مصرف انرژی و هزینه ی ستون های تقطیر گزارش شده اند. در سیستم های تقطیر واکنشی با تراکم مجدد بخار (۱۱)، ستون های یکپارچه حرارتی برای جداسازی ترکیب های دوتایی (۱۲،۱۳) و سه گانه (۱۴) به کار گرفته شده است.

هدف این مقاله پیشنهاد دادن یک روند سیستماتیک برای حل مشکل سنتز برای جداسازی ترکیب پروپیلین/پروپان در فشار معتدل و شرایط تبرید از طریق تقطیر برودتی می باشد که در سیستم تبرید قرار می گیرد تا یکپارچه سازی گرما نه تنها در چگالنده یا در کمک گرمکن بلکه در چندین موقعیت در ستون تقطیر را قرار دهد. بنابراین، سطوح دما از منابع گرما و فروکش گرما در سیستم تبرید به عنوان پارامترهایی در نظر گرفته می شوند و میزان تبادل انرژی شان در هر موقعیت در ستون به عنوان متغیرهای بهینه سازی در نظر گرفته می شوند و در مشکل سنتز تعبیه می گردند تا ستون های تقطیر برودتی بهینه را بیابد.

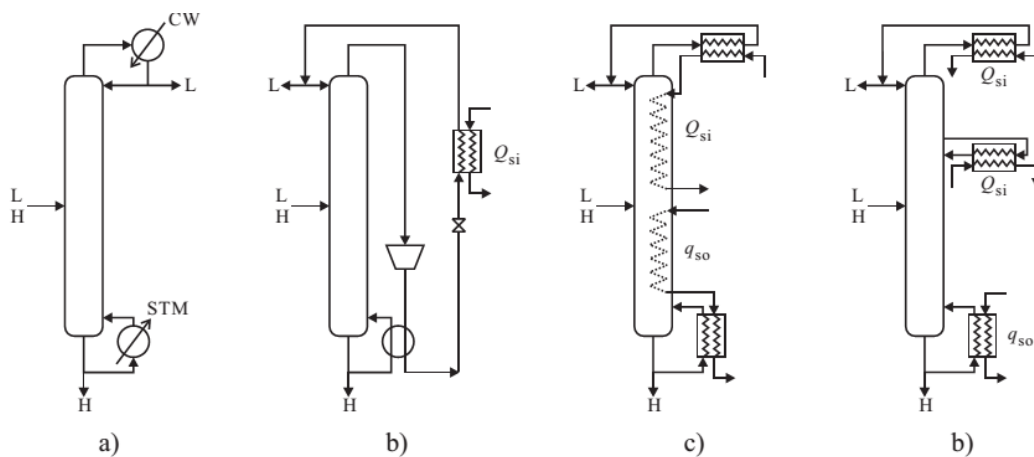
۲. بیان مسئله

با توجه به یک مخلوط مایع با نقطه جوش پایین که در معرض تقطیر برودتی قرار گرفته است، ساختار و شرایط عملیات ستون های تقطیر (یعنی سمت فرآیند) و همینطور ساختار و شرایط عملیات چرخه های تبرید (یعنی سمت تبرید) به طور همزمان بهینه سازی می شوند.

شکل ۱ ستون تقطیر در معرض این تحقیق را خلاصه می کند که شامل ستون های تقطیر متعارف (CC) در شکل 1a، VRC در شکل 1b، ستون های تقطیر دیابتیک (DCC) در شکل 1c، و ستون های تقطیر با مراحل یکپارچه

گرما از طریق نصب پمپ های حرارتی (HPC) در شکل 1d می باشد. در DDC همه ی مراحل از لحاظ گرما یکپارچه هستند زیرا گرما در آن ها عرضه یا حذف می شود. در شکل، L نشان دهنده ی مولفه سبک و H مولفه سنگین می باشد. CW نشان دهنده ی آب خنک کننده و STM بخار را نشان می دهد. Q_{si} (نشان دهنده ی منبع حرارت در سمت تبرید می باشد. فلش ها بدون عنوان ورود و خروج مبدل های حرارتی نشان دهنده ی محیط گرما غیر از آب خنک کننده یا بخار می باشد.

به طور معمول در تقطیر برودتی، مراحل در ستون از لحاظ گرما یکپارچه نیستند، بنابراین سیستم تبرید همراه است تا خنک سازی را در چگالنده ایجاد کند که در پایین ترین دمای ممکن می باشد، و همینطور گرما را در کمک گرمکن فراهم کند که در بالاترین دمای ممکن می باشد. بنابراین، در سمت تبرید، تفاوت دما باید بزرگ تر از آنچه بین چگالنده و کمک گرمکن می باشد، باشد که منجر به وظیفه کمپرسور می گردد. شکل 1c و d از ایده ی حذف گرما در مکان هایی که دما بالاتر از چگالنده است استفاده می کند و در موقعیت هایی آن را تامین می کند که دما پایین تر از کمک گرمکن است، بنابراین وظیفه ی کمپرسور کوچک تر در سمت تبرید محقق می شود.



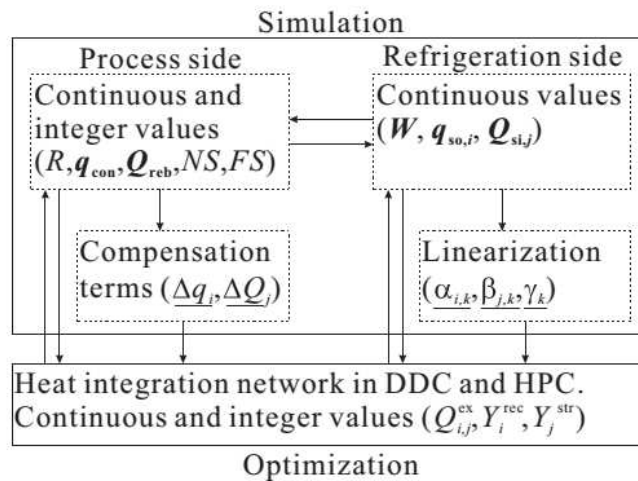
شکل ۱.

خطوط نقطه چین در شکل 1c نشان دهنده ی انتقال انرژی از طریق همه ی مراحل در DCC است و می توان مشاهده کرد که تبادل گرما در هر مرحله در راستای ستون اعمال می شود. HPC از DCC متفاوت است زیرا یکپارچگی گرما می تواند در موقعیت های کمتر و همینطور بین مراحل غیرمتوالی ممکن باشد. شکل 1d یک مبدل

حرارت در بخش اصلاح شده به عنوان مثال نمونه برای مبدل نشان می دهد، میزان حرارت تبادل شده و موقعیت هایشان در ستون تقطیر از طریق تکنیک های بهینه سازی تعیین خواهد شد.

مشکل سنتز ستون های تقطیر مطلوب به طور ذاتی باید سیستم های معادلات غیرطی و غیرکوژ را حل کند که متغیرهای پیوسته (مانند نسبت رفلکس، وظیفه کمک گرمکن) و متغیرهای گسسته (مانند تعداد مراحل، موقعیت تغذیه) را ادغام می کند. برای ستون های تقطیر با مراحل یکپارچه گرما، متغیرهای پیوسته ی اضافی (مانند میزان گرمای حذف شده یا عرضه شده) و متغیرهای گسسته (مانند موقعیت هایی که در معرض یکپارچگی حرارت هستند، اتصال شبکه یمپارچه گرما) باید حل شوند، بنابراین، رویکردهای بهینه سازی باید مشکلات ترکیبی پیچیده و مشکلات برنامه نویسی خطی عددصحیح مرکب (MINLP) را برطرف کنند. برای جلوگیری از چنین موقعیتی، در این مقاله، فرآیند شبیه ساز Aspen Plus V7.3.2 برای حل غیرخطی بودن و غیرکوژ بودن در ستون های تقطیر مورد استفاده قرار می گیرد تا متغیرهای پیوسته را بیابد، و تحلیل های حساسیت برای یافتن متغیرهای عددی جهت بهینه سازی CC و VRC مورد استفاده قرار می گیرند. به علاوه، یک مشکل برنامه ریزی خطی با عدد صحیح مخلوط (MILP) فرموله شده است تا بهترین شبکه یکپارچگی گرما و مقدار بهینه ی گرمای تبادل شده برای DDC و HPC را بیابد. شکل ۲ نشان می دهد که چگونه مشکلات شبیه سازی و MILP با هم ترکیب می شوند تا ساختارهای تقطیر مورد نظر در شکل ۱ را بهینه سازند.

در شکل ۲، متغیرهای پرننگ مواردی هستند که از شبیه سازی های دقیق بدست می آیند در حالیکه متغیرهایی که زیرشان خط کشیده شده است می تواند از خطی سازی متغیرهای پرننگ محاسبه شوند. بنابراین، می توانند به عنوان پارامترهایی در مدل بهینه وارد شوند. شبیه سازی سمت فرآیند و سمت تبرید در بخش های ۳،۱ و ۳،۲ توصیف شده است. برای استخراج مشکل MILP از مدل های شبیه سازی غیرخطی، مفهوم عبارات جبران و خطی سازی سمت تبردی به ترتیب در بخش ۴،۲ و ۳،۲ مورد استفاده قرار گرفته اند و توصیف شده اند. فرمول بندی ریاضیاتی مشکل MILP در بخش ۴،۳ توصیف شده است.



شکل ۲.

۳. روند شبیه سازی

طرح مفهومی ستون های تقطیر و چرخه های تبرید انجام شد و روند شبیه سازی در Aspen Plus V7.3.2 اجرا شد. زیربخش های ذیل روند را به صورت دقیق و جزئی توضیح می دهد.

۳.۱. شبیه سازی ستون های تقطیر

با توجه به شرایط تغذیه و مشخصات محصول، تعداد مراحل در ستون تقطیر می تواند به عنوان تابعی از فشار عملیاتی و شرایط رفلاکس تعیین شود. روند شبیه سازی اتخاذ شده برای CC عبارتند بود از:

۱. تثبیت فشار عملیاتی (P)، تغذیه و مشخصات محصول.

۲. آغاز پارامتر ρ ، که نسبت بین نسبت حداقل رفلاکس (R_{min}) و نسبت رفلاکس واقعی (R_{act}) داده شده توسط

می باشد و اجرای شبیه سازی های میانبر برای محاسبه ی تعداد مراحل (NS) و مرحله تغذیه (FS). $R_{act} = \rho R_{min}$

۳. اجرای شبیه سازی های دقیق در RADFRAC® برای شرایط ارائه شده در مرحله ۱ و NS و FS بدست آمده در مرحله ۲.

۴. بدست آوردن چگالنده (q_{con}) و وظیفه کمک گرمکن (Q_{reb}) از نتایج شبیه سازی دقیق.

تا مرحله ۴، شبیه سازی برای CC کامل است. روند برای VRC به شرح زیر ادامه می یابد:

۵. ایجاد یک شبه جریان که ستون را از مرحله ۲ به عنوان بخار باقی می گذارد و آن را به کمپرسور مرتبط می سازد.

سپس، جریان را متصل می سازد و کمپرسور را به مبدل حرارتی باقی می گذارد.

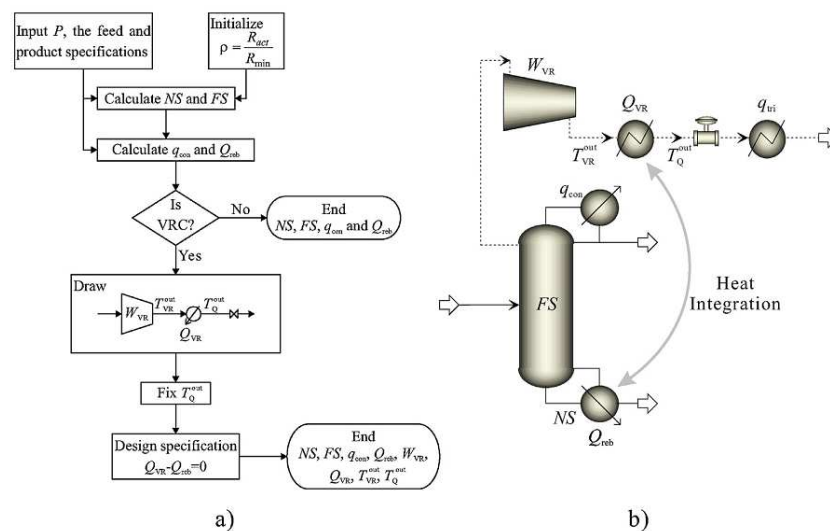
۶. تنظیم دمای جریان منجر به ایجاد مبدل حرارت می شود (T_Q^{out})، که باید بالاتر از جریان ورودی به ستون کمک گرمکن باشد (T_{reh}^{in}).

۷. تنظیم مشخصات طراحی جدید، که تعادل انرژی $Q_{VR} - Q_{reb} = 0$ را با تغییر فشار کمپرسور ارضا می کند.

۸. محاسبه ی کار کمپرسور ناشی (W_{VR}) و وظیفه ی مبدل حرارتی (Q_{VR}).

تا مرحله ۸، شبیه سازی برای VRC کامل می شود. با این حال، جریان که Q_{VR} را برجای می گذارد به ترکیب مایع-بخار تبدیل می شود زمانی که فشار آن کم شود. در چنین شرایطی، چگالنده trim برای بازگشت این جریان به ستون به عنوان مایع اشباع شده ضروری است. وظیفه ی چگالنده Trim (q_{tri}) می تواند از شبیه سازی های دقیق محاسبه شود زمانی که فشار و بخار محاسبه شوند.

شکل 3a روند شبیه سازی برای CC و VRC را خلاصه می کند در حالیکه شکل 3b تجهیزات لازم برای شبیه سازی ساختار VRC را نشان می دهد. در این شکل، خطوط نقطه گذاری شده نشان دهنده ی شبه جریان به کار گرفته شده برای شبیه سازی کمپرسور مجدد بخار است.



شکل ۳

از آنجایی که سیستم های تبرید برای تقطیر برودتی ضروری است، شبیه سازی مناسب آن ها حائز اهمیت می باشد. شکل ۴. نمای مفهومی از چرخه تبرید را نشان می دهد. مایع در حال کار، کمپرسور را به عنوان بخار با حرارت بالا در دما و فشار بالا T_0 برجای می گذارد، سپس با حذف حرارت q_1 تا T_1 خنک می شود. این جریان می تواند به طور موفقیت آمیز با حذف q_m تا دمای T_m خنک شود. سپس، مایع توسط دریچه محرک ناهمفشرده می شود. زمانی که فشار کاهش می یابد، فشار بخار مایع نیز کاهش می یابد، بنابراین به ترکیب بخار-مایع تبدیل می شود. در دریچه محرک در فشار و دمای کم T_0 وجود دارد، سپس با تامین حرارت Q_1 تا t_1 گرم می شود. این جریان می تواند به ترتیب گرم شود تا با تامین حرارت Q_n به دمای t_n برسد. یک جریان فشار پایین در دمای t_n با افزودن کار W در کمپرسور به فشار و دمای بالای T_0 افزایش می یابد. این چرخه ی تبرید را به اتمام می رساند. چرخه ی تبرید شامل سمت گرم و سمت سرد است. سمت گرم شامل جریان هایی است که سرد می شوند، بنابراین این جریان ها به عنوان منابع گرما در نظر گرفته می شوند که می تواند گرمای $q_{so,1}$ را از طریق $q_{so,m}$ تامین کند. سمت سرد شامل جریان هایی است که گرم می شوند، بنابراین، این جریان ها به عنوان سینک گرما در نظر گرفته می شوند که می تواند گرمای $Q_{si,1}$ را از $Q_{si,n}$ دریافت کند.

رابطه بین دما، فشار، و حجم برای فرآیند پلی تراپیک در معادله (۱) نشان داده شده است.

$$\frac{T_{in}}{T_{out}} = \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right)^{n-1} = \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right)^{(n-1)/n} \quad (1)$$

که T ، V و P نشان دهنده ی دما، حجم و فشار مایع هستند. مقادیر ورودی و خروجی شرایط بین ورودی و خروجی کمپرسور را متمایز می سازد.

برای کمپرسور پلی تراپیک، وظیفه کار بر اساس معادله زیر محاسبه می شود

$$W = f\Delta h = \frac{P_{in}V_{in}}{\eta_p \left(\frac{n-1}{n} \right)} \left[\left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] \quad (2)$$

که W وظیفه کار کمپرسور، f جریان مولار مایع در حال کار، Δh تفاوت آنتالپی بین خروج جریان و ورود کمپرسور می باشد. η_p کارایی پلی تراپیک کمپرسور می باشد. معادله های (۱) و (۲) برای کمپرسور ایزونتروپیک معتبر است اگر فرض شود که $n=k$ ، که نسبت ظرفیت گرما است C_p/C_v .

روند شبیه سازی برای سیستم های تبرید به صورت زیر انجام شد:

۱. انتخاب یک جریان در حال کار و جریان مولار و دمای ورودی (t_n). سپس تثبیت فشار خروجی کمپرسور (P_{out}) در این مرحله W می تواند محاسبه شود.

۲. مبدل حرارتی m را در سمت گرما وارد و متصل کنید، و دمای خروجی شان را از T_1 به T_m تثبیت کنید. در این مرحله منابع گرما در سمت گرما، $q_{so,1}$ به $q_{so,m}$ می تواند محاسبه گردد.

۳. محاسبه فشار بعد از دریچه محرک (P_{in}) با تثبیت دما t_0 می تواند به راحتی با قرار دادن مشخصات طراحی انجام شود.

۴. وارد کردن و اتصال n مبدل حرارتی در سمت سرد، و تثبیت دمای خروجی شان از t_1 به t_n . در این مرحله سینک های حرارتی در سمت سرد، $Q_{si,1}$ به $Q_{si,n}$ می تواند محاسبه گردد.

روابط بین W , $q_{so,m}$, and $Q_{si,n}$ برای تعیین مقدار ضروری گرمای تبادل شده توسط چرخه تبرید مهم است.

با اتخاذ روند فوق، روابط خطی زیر بین وظیفه کار کمپرسور و انرژی حذف شده یا تامین شده می تواند بدست آید

$$q_{so,i,k} = \alpha_{i,k} Q_{ref,k} \quad i \in RSO_k, \quad k \in REF \quad (3)$$

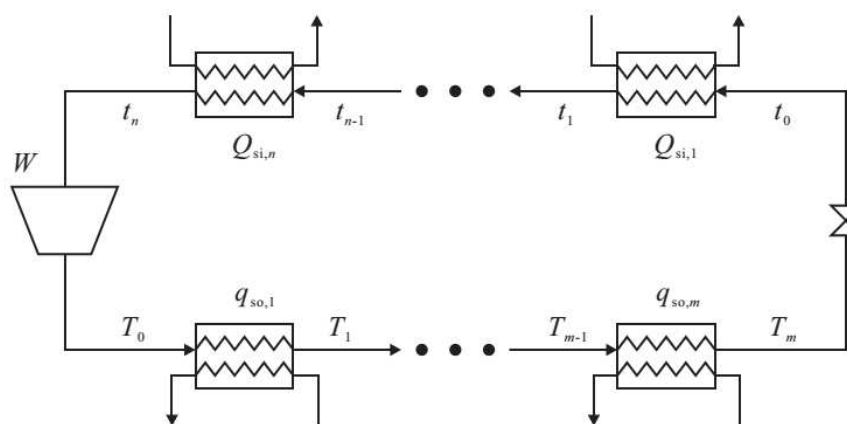
$$Q_{si,j,k} = \beta_{j,k} Q_{ref,k} \quad j \in RSI_k, \quad k \in REF \quad (4)$$

$$W_k = \gamma_k Q_{ref,k} \quad k \in REF \quad (5)$$

که $q_{so,i,k}$ نشان دهنده ی وظیفه کار آمین منبع حرارت در سمت گرم چرخه ی تبرید k می باشد، $Q_{si,j,k}$ منعکس کننده ی وظیفه کار آمین سینک حرارت در سمت سرد چرخه تبرید k است و W_k نشان دهنده ی

وظیفه ی حرارتی چرخه ی تبرید k است. REF مجموعه ی چرخه های تبرید مورد نظر است، $RSO (RSI)$ مجموعه منابع گرمای شبیه سازی شده در چرخه های تبرید k می باشد.

معادله های (۳)-(۵) روابط بین مقدار انرژی حذف شده و تامین شده در سیستم تبرید را تعریف می کند که توسط پارامترهای $\alpha_{i,k}$, $\beta_{j,k}$, and γ_k به ترتیب نشان داده می شوند. مبدل ارجاع در چرخه ی تبرید موردی است که در پایین ترین دما عمل می کند زیرا شرایطی است که در آن تبرید موجود می باشد، بنابراین عملکرد چرخه تبرید را توصیف می کند. بنابراین در شکل ۴ $Q_{ref,k} = Q_{si,1,k}$ برای هر چرخه تبرید k می باشد.



شکل ۴.

۴. مشکل سننر

۴.۱. نمایش ساختار فوق

همه ی ترکیب های ممکن و موقعیت های مناسب برای تبادل گرما بین ستون های تقطیر و چرخه ی تبرید جهت تحقق تقطیر برودتی می تواند به طور همزمان در ساختار فوق در شکل ۵ نشان داده شوند که نمایش شبکه است. دایره های نشان دهنده ی حالت های تغذیه اصلی و مشخصات محصول می باشند. در سمت فرآیند، هر وظیفه ستون تقطیر متفاوت در سطح فشار متفاوت و شرایط رفلاکس با یا بدون کمپرسور مجدد بخار است. زمانی که وظیفه کار کمپرسور، WVR صفر باشد، ستون تقطیر به عنوان CC در نظر گرفته می شود در غیر اینصورت VRC است. هر ستون تقطیر در فشار و شرایط رفلاکس متفاوت به عنوان وظیفه ی متفاوتی در ساختار فوقانی در نظر

گرفته می شوند. در سمت تبرید، هر چرخه تبرید نشان دهنده ی ابزار متفاوتی است که $q_{so,m}$ and $Q_{si,n}$ به ترتیب به عنوان منابع گرما و سینک حرارت در سطوح دمای متفاوت در نظر گرفته می شوند. در نهایت، CW و STM خنک کننده و حرارت را فراهم می کند اگر ارضای تعادل انرژی ضروری باشد.

۴.۲ نصب مبدل های حرارتی متوسط

زمانی که یکپارچگی حرارت در چگالنده یا کمک گرمکن اتفاق می افتد، انرژی کاهش یافته برابر با انرژی تبدیل شده است، با این وجود، زمانی که یکپارچگی گرما در هر مرحله ای از ستون اتفاق می افتد، انرژی کاهش یافته در چگالنده یا کمک گرمکن کمتر از انرژی حذف شده یا تامین شده در بخش تصحیح و اصلاح است. بعلاوه، روابط تنگ و پیچیده ای بین موقعیت مراحل گرمادهی، میزان حرارت حذف شده یا تامین شده و چگالنده ناشی و وظیفه کمک گرمکن بعد از چنین یکپارچگی حرارت وجود دارد. محاسبه ی این روابط بی اهمیت نیست و راه حل مشکلات ترکیبی بزرگ بین مراحل در بخش اصلاح را نشان می دهد که منابع گرما و مراحل در بخش رنگ گیری است که سینک گرما می باشد. یکی از تحقیقات پیشین ما روابط فوق را با توسعه ی مفهوم شرایط جبران (۱۴) گسترش داد که در آن مقادیر بزرگ شرایط جبران مطلوب نیستند زیرا کمتر از اثربخشی کاهش انرژی در کمک گرمکن هستند. معادله های (۶) و (۷) شرایط جبران برای بخش های اصلاح و رنگ گیری در ستون تقطیر است.

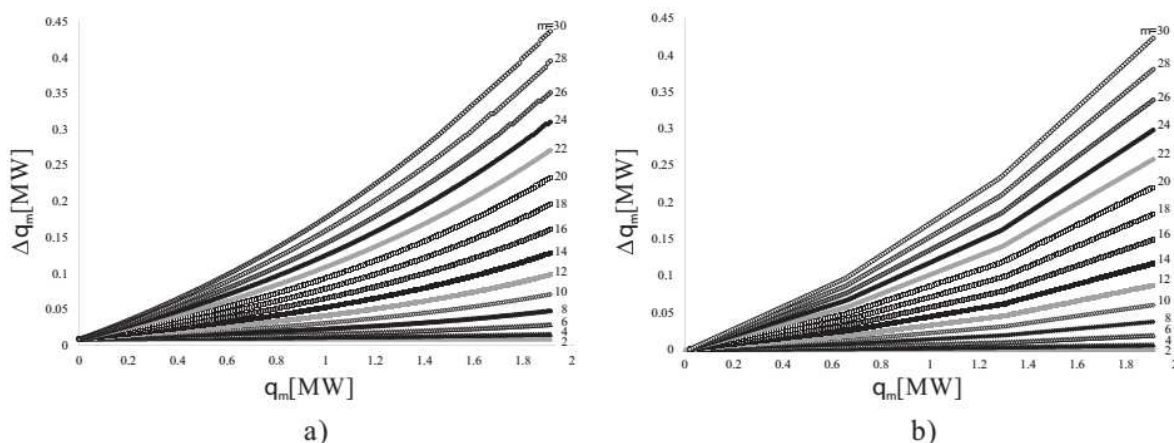
$$\Delta q_i = q_i - (q_{con0} - q_{con}) \quad i \in REC \quad (6)$$

$$\Delta Q_j = Q_j - (Q_{reb0} - Q_{reb}) \quad j \in STR \quad (7)$$

که q_{con0} (Q_{reb0}) وظیفه حرارت چگالنده (کمک گرمکن) قبل از هر یکپارچگی گرما است، q_{con} (Q_{reb}) وظیفه گرمای چگالنده بعد از هر یکپارچگی گرما است، q_i (Q_j) انرژی حذف شده (تامین شده) در مرحله i (j) در بخش اصلاح (رنگ گیری) و Δq_i (ΔQ_j) شرایط جبران چگالنده ی مربوطه است. REC مجموعه مراحل در بخش اصلاح و STR مجموعه مراحل در بخش رنگ گیری است.

شکل ۶ نتایج شبیه سازی را نشان می دهد که می تواند از طریق تحلیل حساسیت توسط تغییر q_m در هر مرحله m بدست آید. آن ها رابطه بین تامین انرژی در مرحله m در بخش اصلاح و شرایط جبران محاسبه شده از معادله

(۶) را نشان می دهند. از نتایج شبیه سازی، مشاهده می شود که Δq_m به شدت افزایش می یابد زمانی که m افزایش یابد. داده ها از شکل 6a از شبیه سازی های دقیق می تواند تقریباً برابر با توابع خطی باشند همانطور که در شکل 6b نشان داده شده است که به ۳ بخش تقسیم می شوند. با این خطی سازی ها، ارزش های q_{con} می تواند به راحتی بدون نیاز به حل شبیه سازی های شدید برای مشکلات ترکیبی غیرخطی پیچیده برآورد شود.



شکل ۶.

۴.۲. فرمول بندی ریاضیاتی برای ستون های تقطیر با مراحل یکپارچه گرما

ترکیب منابع گرما و سینک ها در تقطیر برودتی، که با ساختار فوق در شکل ۵ نشان داده شده است می تواند به عنوان مشکل بهینه سازی فرموله شود تا ساختارهایی با حداقل مصرف انرژی ایجاد کند. بعلاوه، اگر فشار عملیاتی و تعداد مراحل در سمت فرآیند گسسته شود، مقادیر بسدت آمده در بخش ۳،۱ و دمای هر مرحله می تواند به عنوان پارامترهایی برای هر وظیفه در نظر گرفته شوند. اگر سطوح دمای هر $q_{so,m}$ and $Q_{si,n}$ در سمت تبرید گسسته شود، مقادیر بدست آمده از بخش ۳،۲ می تواند به عنوان پارامترهایی برای هر چرخه تبرید وارد شود. بنابراین، مشکل بهینه سازی می تواند توسط مشکل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مخلوط (MILP) فرموله شود که در این بخش توصیف شده است.

برای انتخاب یک ستون تقطیر در میان همه ی کاندیدها در ساختار فوق، درستی محدودیت ضرورت دارد، و توسط مورد زیر نشان داده می شود

$$\sum_{t \in TK} Z_t = 1 \quad (8)$$

که Z_t متغیر دوتایی است که به هر وظیفه در سمت فرآیند تخصیص داده شده است. اگر وظیفه t انتخاب شود، Z_t یک می شود یا در غیراینصورت صفر است. TK نشان دهنده ی مجموعه وظایف در سمت فرآیند است.

گرمای حذف شده از بخش اصلاح در وظایف، و شرایط جبران چگالنده شان از هر مرحله می توانند بر طبق مورد زیر

محاسبه شود

$$\begin{aligned} \sum_{j \in RSI_k} Q_{i,j}^{ex} + \sum_{j \in CU} Q_{i,j}^{ex} &= q_i \quad i \in REC_t, k \in REF, t \in TK \\ q_i - Y_i^{rec} UB &\leq 0 \quad i \in REC_t, t \in TK \\ \Delta q_i &= \max_s \{a_{i,s} q_i + b_{i,s}\} \quad i \in REC_t, s \in PW, t \in TK \\ \sum_{i \in REC_t} Y_i^{rec} - S_{rec} Z_t &\leq 0 \quad t \in TK \\ q_{rec,t} &= \sum_{i \in REC_t} q_i \quad t \in TK \\ \Delta q_{tot,t} &= \sum_{i \in REC_t} \Delta q_i \quad t \in TK \end{aligned} \quad (9)$$

در حالیکه گرمای اضافه شده به بخش رنگ گیری، و شرایط جبران کمک گرمکن هر مرحله می تواند بر طبق زیر

محاسبه شود

$$\begin{aligned} \sum_{i \in RSO_k} Q_{i,j}^{ex} + \sum_{i \in HU} Q_{i,j}^{ex} &= Q_j \quad j \in STR_t, k \in REF, t \in TK \\ Q_j - Y_j^{str} UB &\leq 0 \quad j \in STR_t, t \in TK \\ \Delta Q_j &= \max_s \{a_{j,s} Q_j + b_{j,s}\} \quad j \in STR_t, s \in PW, t \in TK \\ \sum_{j \in STR_t} Y_j^{str} - S_{str} Z_t &\leq 0 \quad t \in TK \\ Q_{str,t} &= \sum_{j \in STR_t} Q_j \quad t \in TK \\ \Delta Q_{tot,t} &= \sum_{j \in STR_t} \Delta Q_j \quad t \in TK \end{aligned} \quad (10)$$

که RSI (RSO) مجموعه سینک های حرارت (منابع) در سمت تبرید، CU (HU) مجموعه امکانات خنک کننده، و

PW مجموعه بخش هایی در خطی سازی شرایط جبران است. $Q_{i,j}^{ex}$ تبادل انرژی بین منابع گرما

و سینک های گرما $SI (SI = STR_t \cup RSI_k \cup CU)$ است که $SO (SO = REC_t \cup RSO_k \cup HU)$

است. $t \in TK$ and $k \in REF$. Y_i^{rec} (Y_j^{str}) متغیرهای دوتایی است که یک می شود اگر مبدل حرارت در

مرحله $i(j)$ وظیفه t نصب شود و در غیر اینصورت صفر می شود. پارامترهایی $a_{i,s}$ ($a_{j,s}$) and $b_{i,s}$ ($b_{j,s}$)

برای توابع خطی در بخش s برای بخش اصلاح و رنگ گیری است. UB محدوده ی بالاتر برای یکپارچه سازی گرما

در مراحل در بخش اصلاح و رنگ گیری است. S_{rec} (S_{str}) تعداد مراحل است که یکپارچه سازی گرما می تواند

برای هر وظیفه انجام شود. شایان ذکر است که اگر وظیفه t انتخاب نشود، یکپارچه سازی گرما در موقعیت های

متوسط برای آن وظیفه ممکن نیست. q_{rec} (Q_{str}) تعداد کل انرژی تبادل شده از همه ی مراحل در بخش اصلاح

(رنگ گیری) از وظیفه k است. در نهایت، $\Delta q_{tot,t}$ ($\Delta Q_{tot,t}$) شرایط جبران کلی در بخش اصلاح (رنگ گیری)

وظیفه t است. معادله های (۹) و (۱۰) برای برآورد چگالنده و وظایف کمک گرمکن ضروری است که به دلیل

یکپارچگی گرما در مراحل همه ی ستون های تقطیر می باشد.

معادله (۱۱) فرمول بندی Big-M اتخاذ شده برای نشان دادن معیار امکان پذیری برای یکپارچگی گرما بین منابع

گرما و سینک های گرما را نشان می دهد

$$Q_{i,j}^{ex} - FX_{i,j}^{ex} M \leq 0 \quad i \in SO, j \in SI$$

$$FX_{i,j}^{ex} = \begin{cases} 1 & \Delta T_{i,j} \geq \Delta T_{min} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad i \in SO, j \in SI \quad (11)$$

که $FX_{i,j}^{ex}$ ماتریس امکان پذیری برای یکپارچگی گرما، M ارزش بزرگ، $\Delta T_{i,j}$ میانگین لگاریتم تفاوت دما بین

مراحل i و j و ΔT_{min} حداقل تفاوت دما برای تحقق یکپارچگی حرارت است.

تفاوت دمای میانگین لگاریتم بر طبق سوال زیر محاسبه می شود

$$\Delta T_{i,j} = \begin{cases} \frac{(T_i^{\text{in}} - t_j^{\text{out}}) - (T_i^{\text{out}} - t_j^{\text{in}})}{\ln((T_i^{\text{in}} - t_j^{\text{out}})/(T_i^{\text{out}} - t_j^{\text{in}}))} & \text{for } T_i^{\text{in}} - t_j^{\text{out}} \geq 0 \\ & \text{and } T_i^{\text{out}} - t_j^{\text{in}} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad i \in SO, j \in SI \quad (12)$$

که T_i^{in} (T_i^{out}) دمای ورودی (خروجی) منبع گرما و t_j^{in} (t_j^{out}) دمای ورودی (خروجی) از سینک حرارت است.

$\Delta T_{i,j}$ می تواند تنها مقدار مثبتی را دارا باشد اگر دمای منبع حرارت بالاتر از سینک حرارت باشد.

معادله (۱۳) تعادل انرژی برای چگالنده و کمک گرمکن در سمت فرآیند را نشان می دهد.

$$\begin{aligned} q_{\text{rec},t} - \Delta q_{\text{tot},t} &= q_{\text{con}0,t} Z_t + \Delta Q_{\text{tot},t} \quad t \in TK \\ Q_{\text{str},t} - \Delta Q_{\text{tot},t} &= Q_{\text{reb}0,t} Z_t + \Delta q_{\text{tot},t} \quad t \in TK \end{aligned} \quad (13)$$

که چگالنده و کمک گرمکن ضربدر Z_t می شود که به معنای جداسازی تغذیه و جریان های محصول مجاز نمی باشد.

معادله (۱۴) تعادل انرژی برای منابع حرارت و سینک در سمت تبرید را نشان می دهد

$$\begin{aligned} \sum_{j \in STR_t} Q_{i,j}^{\text{ex}} + \sum_{j \in RSI_k} Q_{i,j}^{\text{ex}} + \sum_{j \in CU} Q_{i,j}^{\text{ex}} &= q_{\text{so},i,k} \quad i \in RSO_k, k \in REF, t \in TK \\ \sum_{i \in REC_t} Q_{i,j}^{\text{ex}} + \sum_{i \in RSO_k} Q_{i,j}^{\text{ex}} + \sum_{i \in HU} Q_{i,j}^{\text{ex}} &= Q_{\text{si},j,k} \quad j \in RSI_k, k \in REF, t \in TK \end{aligned} \quad (14)$$

معادله (۱۵) تابع هدف را نشان می دهد که مصرف انرژی کلی جریان و الکتریسیته در ستون های تقطیر برودتی و چرخه های تبرید را به حداقل می رساند

$$\min \text{ENERGY} = \sum_{\substack{i \in HU \\ j \in STR_t \\ t \in TK}} Q_{i,j}^{\text{ex}} + \sum_{\substack{i \in HU \\ j \in RSI_k \\ k \in REF}} Q_{i,j}^{\text{ex}} + \eta \left(\sum_{t \in TK} W_{\text{VR},t} Z_t + \sum_{k \in REF} W_k \right) \quad (15)$$

که η پارامتری است که مصرف منابع انرژی اولیه در هر واحد از تولید الکتریسیته را مرتبط می سازد. در این تحقیق، η برابر با ۲٫۷۳ است که ارزش تجربی مورد استفاده در ژاپن است.

روند سنتز پیشنهادی در این تحقیق به صورت زیر می باشد:

۱. اجرای روند شبیه سازی در بخش ۳ برای همه ی ستون های تقطیر کاندید و چرخه های تبرید و
۲. اتخاذ خطی سازی چگالنده و شرایط جبران کمک گرمکن از طریق تحلیل های حساسیت برای ستون تقطیر در مرحله ۱.

۳. اتخاذ خطی سازی بین $q_{so,m}$, $Q_{si,n}$ و W برای چرخه های تبرید شبیه سازی شده در مرحله ۱.

۴. فرمول بندی مسئله ی بهینه سازی نشان داده شده در بخش ۳، ۴.

۵. قرار دادن مقدار برای UB , S_{rec} , and S_{str} .

۶. حل مشکل بهینه سازی برای یافتن بهترین شبکه یکپارچه سازی گرما بین ستون های تقطیر و چرخه های تبرید

۷. تکرار مراحل ۵ و ۶ تا زمانی که ترکیب های UB , S_{rec} , and S_{str} انجام شوند. در این مرحله چندین راه حل

بهینه از طریق تحلیل های حساسیت پارامترهای UB , S_{rec} , and S_{str} بدست می آید.

شکل ۷ روند سنتز فوق را خلاصه می کند. ترکیب های متفاوت UB , S_{rec} , and S_{str} منجر به چندین ساختارهای تقطیر برودتی بهینه می شود.

۵. نتایج و بحث

۵.۱. مطالعه موردی

از ترکیب پروپیلین/پروپان که به عنوان مابع اشباع وارد می شود جدا می شود. پروپیلین با ۹۹٫۵٪ مول و پروپان با ۹۹٫۵٪ مول خالصی در انتها می باشد. کاهش فشار ۰٫۶۹ بند در ستون های تقطیر در نظر گرفته شد. کمپرسور در ساختار VRC و در چرخه های تبرید با کارایی ۸۵٪ پلیتراپیک در نظر گرفته شد. مبرد منتخب ایزوبوتان بود و ΔT_{min} برابر با ۶ درجه سانتیگراد در چگالنده و کمک گرمکن و ۸ درجه سانتیگراد برای مراحل یکپارچه سازی حرارت بود. بعلاوه، در چرخه های تبرید، سمت گرم یک مبدل حرارت و سمت سرد دو مورد را دارا بود.

تحلیل حساسیت برای UB , S_{rec} , and S_{str} انجام شد تا چندین ساختار با مراحل یکپارچه سازی گرما را بررسی کند و مقدار تبادل بین ذخیره انرژی و پیچیدگی شبکه های یکپارچه سازی گرما را مشخص کند.

۵.۲. نتایج شبیه سازی ستون ها در فشار بالا

شکل CC 8a پایه را نشان می دهد در حالیکه شکل 8b ساختار VRC را نشان می دهد که می تواند به راحتی از شبیه سازی های دقیق بدست آید. به منظور مقایسه، شبیه سازی ها در ۱۷ بند انجام شد تا استفاده از آب خنک کننده را تضمین بخشد. اعداد پررنگ نشان دهنده ی ورودی انرژی برای ستون تقطیر بود. VRC می تواند ۵۸٪ از مصرف انرژی را کاهش دهد زمانی که با CC پایه مقایسه شد، با این وجود کمپرس مجدد برای بالابردن بخار تا ۳۵،۳۴ بند ضروری است که منجر به شرایط عملیاتی شدید می شود.

به منظور جلوگیری از فشار عملیاتی، چندین کمپرسور مجدد شدید و نسبت های رفلکس بالا، در بخش بعدی، ستون های تقطیر با پمپ گرما که در فشار پایین تر عمل می کنند ارائه شده اند و ذخیره انرژی شان به طور دقیق ارزیابی می شود.

۵.۲. نتایج بهینه سازی و تحلیل حساسیت ساختارها در فشار پایین

با کاهش فشار در تقطیر دوتایی، نسبت رفلکس و وظیفه ی کمک گرمکن برای ترکیب تغذیه مورد نظر و مشخصات محصول کاهش می یابد. با این وجود، محدودیت های اقتصادی و پیچیدگی هایی در عملیات وجود دارد زیرا سیستم های خلا یا سیستم های تبرید ضروری خواهند شد.

به منظور یافتن بهترین شبکه یکپارچگی گرما، مشکل MILP ارائه شده در بخش ۴،۳ در بهینه سازی IBM ILOG Studio 12.5 CPLEX حل شده است. مقدار برای M در معادله (۱۱) برابر با ۲۰ برای فرمول Big-M بوده است. مشکل شامل ۱۲ وظیفه و ۵۰ چرخه های تبرید بود.

شکل ۹ راه حل های بهینه برای چندین ترکیب های UB , S_{rec} and S_{str} را نشان می دهد. می توان مشاهده کرد که مصرف انرژی با افزایش تعداد یکپارچگی حرارت برای مقادیر بزرگ UB کاهش می یابد و مصرف انرژی بدون در نظر گرفتن تعداد یکپارچگی ها برای مقادیر کوچک UB افزایش می یابد. از این نتایج، مشخص می شود که

چندین مرحله یکپارچه سازی گرما که می تواند مقدار بالایی از گرما را تبادل کند بهتر از چندین مرحله یکپارچه سازی گرما است که م ی تواند مقدار کوچک گرما را تبادل کند. شکل 9a و b تمایل یکسانی را نشان می دهد. شکل 9a راه حل هایی را نشان می دهد زمانی که تعداد چرخه های تبرید محدود نیست، که بدین معناست که هر تعداد چرخه تبرید می تواند مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود، این منجر به یکپارچگی های پیچیده بین چرخه های تبریدی و پمپ های حرارت می شود که ممکن است در عمل بهه سختی محقق گردد. برای ایجاد یکپارچگی هایی با پیچیدگی های کمتر، شکل 9b راه حل هایی را نشان می دهد زمانی که تعداد چرخه های تبرید به حداکثر تعداد ۲ محدود شود. تعداد چرخه های تبرید می تواند با افزودن معادله زیر به مشکل بهینه سازی محدود شود.

$$\sum_{k \in REF} Y_k^{ref} \leq 2 \quad (16)$$

$$W_k - MY_k^{ref} \leq 0 \quad k \in REF$$

که Y_k^{ref} متغیر دوتایی است که یک می شود اگر چرخه تبرید انتخاب شود در غیراینصورت صفر است. در معادله (۱۶)، فرمول Big-M اعمال می شود تا از استفاده از کمپرسور جلوگیری کند اگر چرخه تبرید انتخاب نشود. زمانی که تعداد کمپرسورها نامحدود باشد، سمت تبرید به فرآیند معکوس نزدیک می شود، بنابراین مصرف انرژی کمتر از مورد محدود است. با این حال، بالاترین میزان مطلق و شکاف نسبی بین راه حل های محدود و نامحدود به ترتیب 0.048 MW and 4.2% است.

شکل ۱۰ چندین راه حل بهینه نشان می دهد زمانی که تقطیر برودتی در بند ۱۲ ایجاد می شود. شکل 10a و b یک ساختار CC و VRC نشان می دهد که از ۲ کمپرسور استفاده می کند. در شکل 10a، X3 گرمای پنهان را تبادل می کند در حالیکه X2 گرمای قابل حس را تبادل می کند. به همین نحو در شکل 10b، X1 گرمای نهایی را تبادل می کند در حالیکه X2 گرمای قابل حس را تبادل می کند. در این مرحله بهینه سازی انتقال گرمای پنهان و قابل حس به طور مجزا نشان داده می شوند اما می توانند به یک مبدل گرما در مرحله طراحی بعدی ادغام شوند. فرضیه پیشین برای همه ی نتایج اعمال می شود.

شکل 10c یک ستون با ۲ مرحله ی یکپارچه گرما در بخش رنگ گیری و اصلاح را نشان می دهد، کاهش انرژی با پایین آوردن نسبت رفلاکس بدست می آید، بنابراین تعداد مراحل را افزایش می دهد. در این راه حل، یک چرخه ی تبرید بیرونی گرما را در چگالنده حذف می کند در حالیکه چرخه درونی چگالنده (کمک گرمکن) را حذف (تامین) می کند. شکل d10 ستونی با یک مرحله یکپارچه گرما در بخش اصلاح و رنگ گیری را نشان می دهد، در حالیکه نسبت رفلاکس را بیشتر از شکل 10c را کاهش می دهد که بیشتر از شکل 10c است، بنابراین تعداد مراحل افزایش می یابد. در این راه حل، یک چرخه ی تبریدی گرما را در چگالنده حذف می کند و دیگری آن را در مراحل و کمک گرمکن ها تامین می کند.

شکل ۱۱ چندین راه حل بهینه را نشان می دهد زمانی که تقطیر برودتی را نشان می دهد که در بند ۹ نشان داده می شود. اگر فشار باز هم کاهش یابد، نوسانات نسبی در ترکیب پروپیلین/پروپان افزایش می یابد، بنابراین مراحل کمتر و نسبت رفلاکس پایین تر برای بدست آوردن مشخصات محصول ضروری است. شکل a,b11 یک ساختار CC و VRC را نشان می دهد که از کمپرسورهای ۲ و ۳ استفاده می کند. شکل c11 یک ستون با یک مرحله یکپارچه گرما را در بخش رنگ گیری و اصلاح نشان می دهد، کاهش انرژی با کاهش نسبت رفلاکس بدست می آید، بنابراین تعداد مراحل را افزایش می دهد. در این راه حل، یک چرخه ی تبریدی بیرونی گرما در چگالنده (کمک گرمکن) را حذف (تامین) می کند در حالیکه چرخه درونی گرما در چگالنده و در مرحله ۴۰ را حذف می کند. شکل 11d ستونی با ۲ مرحله یکپارچه گرما در بخش اصلاح و رنگ گیری نشان می دهد. در این راه حل، یک چرخه تبریدی گرما در چگالنده و در مرحله را حذف می کند و آن را با مراحل ۹۰ و ۹۲ تامین می کند در حالیکه چرخه تبرید دیگر گرما در محله ۱۴ را حذف می کند و آن را با کمک گرمکن تامین می کند.

شکل ۱۲ راه حل های بهینه DDC در بند ۱۲ و ۹ را نشان می دهد. در هر دو مورد، یک چرخه تبرید بیرونی گرما در چگالنده (کمک گرمکن) را حذف (تامین می کند) در حالیکه یک چرخه درونی گرما در مراحل را حذف (تامین) می کند. اکثر انرژی توسط چرخه تبرید دورنی تبادل می شود. در شکل 12a، گرما از مرحله ۱۴ به ۷۶ حذف می شود و از مرحله ۷۸ تا ۱۰۹ تاملی می شود در حالیکه در شکل 12b گرما از مرحله ۱۴ تا ۶۴ حذف می شود و از

مرحله ۶۶ تا ۹۸ تامین می شود. اگرچه DDC مصرف انرژی کمتری دارد، تعداد بسیاری از مبدل های گرما مورد نیاز است، بنابراین از دیدگاه تجهیزات و کنترل، اجرای آن ممکن است دشوار باشد.

از نتایج قبلی، می توان مشاهده کرد که مصرف انرژی باافزایش تعداد مراحل یکپارچه گرما کاهش می یابد، با این وجود، منجر به شبکه های یکپارچه گرما پیچیده می شود، بنابراین تبادلی بین ذخیره انرژی و پیچیدگی در یکپارچگی گرما است، این تبادل می تواند بسط یابد تا حنبه های اقتصادی و عملکرد پویای شان را ارزیابی کند. از راه حال منتج شده، مجموعه ای از راه حل های بهینه Pareto می تواند با تثبیت محدوده بالاتر برای یکپارچه سازی گرما بدست آید. محدوده پایین تر برای راه حل های بهینه Pareto در همه ی موارد DDC است.

در حالیکه DDC ذخیره انرژی تا ۷۵٪ را بدست آورد زمانی که با مورد پایه DDC مقایسه می شود، HPC-1 در بند ۹ ذخیره انرژی تا ۷۲٪ را بدست آورد و VRC ذخیره انرژی تا ۶۴٫۶٪ را بدست آورد. از نتایج ارائه شده، نصب پمپ های گرمای ستون های تقطیر برودتی می تواند منجر به ذخیره انرژی بالاتر از VRC معمولی شود.

ستون ها با مراحل یکپارچگی گرما نیازمند مراحل بیشتری از CC و VRC هستند تا جداسازی را اجرا کنند. یکپارچه سازی گرما در سطوح فشار پایین منجر به نسبت رفلاکس، وظیفه گرما و وظیفه کار کمپرسور پایین می شود. روند ارائه شده می تواند به سیستم های برودتی دیگر یا هر فرآیند تقطیر گسترش داده شود که می تواند با یک یا چند چرخه ی تبرید بدون فقدان کلیت یکپارچه شود.

۶. نتیجه گیری

این کار مشکل تقطیر برودتی از طریق روند سنتز را بررسی می کند که فرمول های ساختاری فوق، شبیه سازی دقیق، و تکنیک های بهینه سازی را ترکیب می کند. جداسازی پروپیلین/پروپان به عنوان یک مطالعه موردی در نظر گرفته شد زیرا فرآیند انرژی بر است. ستون های تقطیر با و بدون تجدید بخار و چرخه های تبرید در ساختار فوق تعبیه شد تا همه ی یکپارچه سازی های ممکن بین چرخه های تبرید و هر مرحله در ستون های تقطیر را در بر گیرد. کمپرسور مجدد بخار می توانست مصرف انرژی را تا ۶۴٫۴٪ کاهش دهد در حالیکه ستون تقطیر دیابتیک می توانست تا ۷۵٪ از آن بکاهد. ستون های تقطیر با مراحل یکپارچه سازی گرما می توانستند مصرف انرژی بین ۷۲٫۵ و

۷۵٪ را کاهش دهند. بنابراین، همه ی راه حل ها ارائه شده جایگزین های تشدید شده و کارآمد هستند که می توانند مصرف انرژی در تقطیر را کاهش دهند.

اگرچه ستون دیابتیک کمترین مصرف انرژی را بدست آورد، منجر به سیستم یکپارچه بالا بین فرآیند و تبرید شد. اگرچه نتایج مجموعه ای از چندین ستون تقطیر بهینه با مراحل یکپارچه سازی گرما را نشان می دهد، دریافته شد که چند مرحله یکپارچه گرما وجود دارد که می تواند حجم زیادی از انرژی را حذف و یا تامین کند. اکثر این راه حل های بهینه چرخه تبرید بیرونی و درونی دارد. در حالیکه چرخه بیرونی انرژی را بین چگالنده، کمک گرمکن مبادله می کند، چرخه درونی بین مراحل این کار را انجام می دهد.

بعلاوه، ستون های تقطیر با مراحل یکپارچه گرما نیازمند مراحل بیشتری از ستون های متعارف بدون یکپارچه سازی هستند. دریافته شد که با بدتر کردن ۸٪ مصرف انرژی در ستون تقطیر دیابتیک، چندین ساختار تقطیر برودتی با مراحل یکپارچه سازی گرما می تواند شبکه های یکپارچه سازی حرارت آسان تر بین فرآیند و تبرید بدست آیند. روند سنتز ارائه شده می تواند به هر جداسازی دوتایی و چندمولفه ای بسط یابد زمانی که ستون های تقطیر همراه با سیستم های تبرید بدون فقدان کلیت باشند.

تحقیقات بیشتر در مورد تبادل بین مصرف انرژی، ارزیابی اقتصادی، و کنترل پذیری در تقطیر برودتی در مراحل بعدی بیان خواهند شد.

References

- [1] S.U. Rege, R.T. Yang, Propane-propylene separation by pressure swing adsorption: sorbent comparison and multiplicity of cyclic steady states, *Chem. Eng. Sci.* 57 (2002) 1139-1149.
- [2] M.G. Plaza, A.M. Ribeiro, A. Ferreira, J.C. Santos, U.-H. Lee, J.-S. Chang, J.M. Loureiro, A.E. Rodrigues, Propylene/propane separation by vacuum swing adsorption using Cu-BTC spheres, *Sep. Purif. Technol.* 90 (2012) 109-119.
- [3] M.C. Campo, A.M. Ribeiro, A. Ferreira, J.C. Santos, C. Lutz, J.M. Loureiro, A.E. Rodrigues, New 13X zeolite for propylene/propane separation by vacuum swing adsorption, *Sep. Purif. Technol.* 103 (2013) 60-70.
- [4] Y. Pan, T. Li, G. Lestari, Z. Lai, Effective separation of propylene/propane binary mixtures by ZIF-8 membranes, *J. Membr. Sci.* 390-391 (2012) 93-98.
- [5] T. Petterson, A. Argo, R.D. Noble, C.A. Kova, Design of combined membrane and distillation processes, *Sep. Technol.* 6 (1996) 175-187.
- [6] M. Benali, B. Aydin, Ethane/ethylene and propane/propylene separation in hybrid membrane distillation systems: optimization and economic analysis, *Sep. Purif. Technol.* 73 (2010) 377-390.
- [7] J.A. Caballero, I.E. Grossmann, M. Keyvani, E.S. Lenz, Design of hybrid distillation-vapor membrane separation systems, *Ind. Eng. Chem. Res.* 48 (2009) 9151-9162.
- [8] I.K. Kookos, Optimal design of membrane/distillation column hybrid processes, *Ind. Eng. Chem. Res.* 42 (2003) 1731-1738.
- [9] Z. Olujić, L. Sun, A. de Rijcke, P.J. Jansens, Conceptual design of an internally heat integrated propylene-propane splitter, *Energy* 31 (2006) 3083-3096.
- [10] T.-S. Ho, C.-T. Huang, J.-M. Lin, L.-S. Lee, Dynamic simulation for internally heat-integrated distillation columns (HIDiC) for propylene-propane system, *Comput. Chem. Eng.* 33 (2009) 1187-1201.
- [11] V. Kumar, B. Kiran, A.K. Jana, A.N. Samanta, A novel multistage vapor recompression reactive distillation system with intermediate reboilers, *AIChE J.* 59 (3) (2013) 761-771.
- [12] D. Chen, X. Yuan, L. Xu, K.T. Yu, Comparison between different configurations of internally and externally heat-integrated distillation by numerical simulation, *Ind. Eng. Chem. Res.* 52 (2013) 5781-5790.
- [13] Y. Wang, K. Huang, S. Wang, A simplified scheme of externally heat-integrated double distillation columns (EHIDDiC) with three external heat exchangers, *Ind. Eng. Chem. Res.* 49 (2010) 3349-3364.
- [14] J.R. Alcántara-Avila, M. Kano, S. Hasebe, New synthesis procedure to find the optimal distillation sequence with internal and external heat integrations, *Ind. Eng. Chem. Res.* 52 (2013) 4851-4862.
- [15] S.M. Mauhar, B.G. Barjaktarović, M.N. Sovilj, Optimization of propylene-propane distillation process, *Chem. Pap.* 58 (6) (2004) 386-390.

این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی