



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

## عملیات تقطیر یکپارچه حرارتی

### چکیده

افزایش تقاضای انرژی، متعاقباً قیمت های بالای نفت خام و نگرانی رو به رشد برای آلودگی محققان را بر آن داشت تا تکنولوژی های پروسه کارآمدتر انرژی و همراه تر با محیط زیست را جستجو کنند. هرچند تقطیر یکپارچه حرارتی چندین دهه است که مورد تحقیق قرار گرفته است، متأسفانه این روش هنوز اساساً به دلیل هزینه سرمایه گذاری بالا، طراحی تجهیزات پیچیده، مسئله کنترل در توالی تعامل شدید و غیرخطی بودن، و فقدان داده های تجربی در مقیاس به قدر کافی بزرگ برای تایید پیشگویی های تئوریک تجاری سازی نشده است. درست است که برخی پیشرفتهای در تئوری صورت گرفته است ولی برای کاربردهای عملی بسیاری سوالات هنوز باقی است. در میان نیازهای تحقیقاتی وسیع تر حیطه های ذیل برای ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی شناسایی شده اند: مدلسازی پویای دقیق، طراحی بهینه، تحلیل حالت ایستای چندگانه، شناسایی سیستم، سنتز و اجرای کنترل غیرخطی با کیفیت بالا و مهم تر از همه ارزیابی آزمایشگاهی. نیز توصیه شده است که عملی بودن یکپارچه سازی حرارتی را در شمای تقطیر واکنشی و در دو ستونهای تقطیر که هیچ اتصالات مستقیمی ندارد مورد تحقیق قرار دهند.

**کلیدواژه ها:** تقطیر، یکپارچه سازی حرارتی، کاربرد، تحقیقات آتی

### فهرست مندرجات

1-مقدمه

2-چرا یکپارچه سازی در عملیات تقطیر؟

3-چندین تکنیک تقطیر با کارایی انرژی

3.1 ستون Petlyuk کاذب

3.2 ستون دیواری تقسیم شده

3.3 ستون Petlyuk

3.4 ستون چنداثری

- 3.5 ستون تقطیر با یاری پمپ حرارتی
- 3.6 ستون تقطیر Diabatic
- 3.7 ستون تقطیر یکپارچه شده حرارتی
- 3.8 ستون تقطیر دسته یکپارچه سازی شده حرارتی
- 3.9 ستونهای مزدوج بینابینی
- 3.10 ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی هم مرکز
- 3.11 فراکسیون سازی مبدل حرارتی
- 3.11.1 ستون پوسته و لوله
- 3.11.2 ستون مبدل حرارتی فشرده
4. کاربردهای اخیر مفهوم یکپارچه سازی حرارتی
- 4.1 جداسازی مخلوط جوش بسته با i-HIDiC
- 4.2 تقطیر عصاره گیری یکپارچه سازی حرارتی
- 4.3 تقطیر نوسان فشار یکپارچه سازی حرارتی برای جداسازی مخلوط در حال جوش بسته
- 4.4 تقطیر برودتی یکپارچه سازی شده حرارتی
- 4.5 ستون دیواری تقسیم کننده واکنشی
- 4.6 یکپارچه سازی حرارتی در بهسازی نفت
- 4.7 یکپارچه سازی حرارتی در واحد تقطیر خام
- 5 ساختارهای بهبودیافته برای شمای HIDiC
- 5.1 شمای ایده آل HIDiC (i-HIDiC)
- 5.2 شمای فشرده سازی شده HIDiC (int-i-HIDiC)
- 6 HIDiC: مسائل تحقیقاتی آتی
- 6.1 مدلسازی پروسه
- 6.2 طراحی بهینه

6.3 حالات ایستای چندگانه

6.4 شناسایی سیستم

6.5 کنترل غیرخطی پیشرفته

6.6 ارزیابی آزمایشگاهی

6.7 کاربردهای مطروحه مفهوم یکپارچه سازی شده حرارتی

7 نتیجه گیری ها

منابع

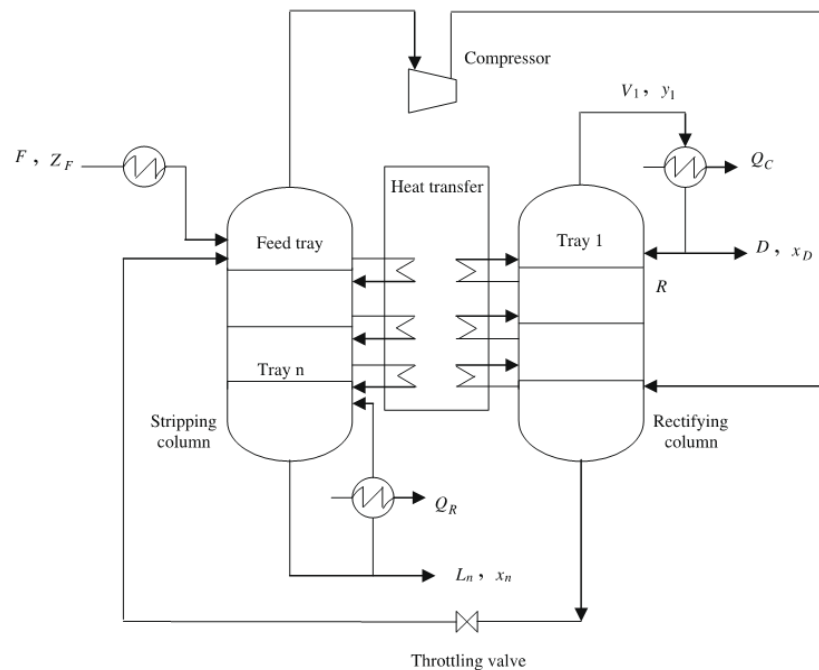
### 1-مقدمه

تقطیر که اسب کاری صنایع پروسه شیمیایی می باشد، مصرف بالای انرژی دارد و حدود 3 درصد تخمینی از مصرف انرژی جهان را به خود اختصاص داده است. در واقع مصرف انرژی در تقطیر و گازهای دی اکسیدکربن تولیدی در جو قویا به هم مرتبطند. هرچه تقاضای انرژی بالاتر رود، صدورات گاز CO<sub>2</sub> به جو بیشتر است. دلیلش این است که انرژی اغلب از طریق مصرف سوخت فسیلی ایجاد می شود.

برای بهبود کارایی انرژی، مفهوم یکپارچه سازی حرارتی، ابتدا تقریبا 70 سال قبل ارائه گردید. ایده پایه رهیافت یکپارچه سازی حرارتی آن است که رشته های پروسه داغ با رشته های پروسه سرد به صورت مبدل حرارتی قرار گیرند. در این حالت، منابع به طور اقتصادی تری استفاده می شوند. تا کنون شماهای تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی گوناگونی مطرح گردیده است. یک مرور عالی اخیرا این شماها را مورد بحث قرار داده است. در مرور اخیر، بسیاری شماهای دیگر یکپارچه سازی حرارتی که تا کنون تدوین شده است عمیقا مورد بحث قرار گرفته است. هرچند چندین تکنیک یکپارچه سازی حرارتی در این مقاله تحت پوشش قرار گرفته است، تمرکز اصلی روی به اصطلاح تکنیک ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی یا HiDiC قرار گرفته شده است. (تصویر 1)

در پایان دهه 1930، Brugma ابتدا یک ستون تقطیر مزدوج حرارتی را مطرح کرد. این عملیات جداسازی با کارایی انرژی توسط Wright دوباره ارائه شد و بعدها توسط Petlyuk تحلیل گردید. Freshwater اولین محقق است که یک تکنیک تقطیر تازه را بررسی کرد که انتقال حرارتی را از بخش اصلاحی به بخش تهی سازی در یک واحد منفرد شرح می دهد. در مرحله بعدی، Flower & Jackson این رهیافت را با اجرای

چندین آزمایش مختلف براساس قانون دوم ترمودینامیک تحلیل کردند. در میان سیستم های تقطیر با کارایی انرژی مختلف، ستون تقطیر با یاری پمپ حرارتی ابتدا در اواسط دهه 1970 مطرح گردید. استفاده از فشرده سازی مکانیکی به عنوان پمپ حرارتی اساسا در جداسازی مخلوط های فرار نسبی پایین اقتصادی است. در سالهای اخیر، اشکال پیشرفته تکنولوژی تقطیر با یاری پمپ حرارتی در متون علمی گزارش شده اند. مفهوم HIDiC ابتدا برای پروسه های جداسازی گاز توسط Haselden ارائه گردید. از Mah, 1977 و اعضای گروهش عملیات ستون تقطیر یکپارچه سازی حرارتی را تحت نام فروکشند ثانویه و تبخیر یا SRV ارزیابی کردند که در آن تنها بخشی از بخشهای بهبود و تهی سازی برای انتقال حرارتی یکپارچه سازی می شدند.



تصویر 1- یک نمایش شماتیک از یک شمای کلی HIDiC

لازم به ذکر است که آنها یک مدل SRV مرحله تعادل حالت ایستا را برای اولین بار براساس روش ماتریس سه قطری Wang-Henke فرموله کردند که بخشهای متعادل کننده-جوش آورنده مجدد، متعادل کننده-تقطیرکننده و فشرده سازنده را در ساختار ستون با هم ترکیب می کرد. بعداً، نویسندگان یکپارچه سازی حرارتی داخلی را به بخشهای کلی بهبودسازی و تهی سازی بسط دادند.

Takamatsu و همکاران از اواسط دهه 1980 برای بهبود تکنولوژی تقطیر یکپارچه سازی حرارتی کار متعهدانه ای را انجام داده اند. آنها کاملاً تحلیل کردند تا مزایای ارائه شده را توسط ستون تقطیر یکپارچه سازی حرارتی روی یک سیستم تقطیر متداول ارزیابی کنند. بعد، آنها یک ساختار منحصر به فرد HIDiC را مطرح ساختند که نه یک متعادل کننده-جوش آورنده مجدد و نه یک متعادل کننده-تقطیر کننده داشته و این ساختار را معمولاً به شکل یک ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی ایده آل یا i-HIDiC می نامند.

اخیراً نشان داده شده است که i-HIDiC عملیات مقرون به صرفه تر انرژی نسبت به HIDiC کلی است که شامل هم جوش آورنده مجدد و هم تقطیر کننده همراه با ترتیبات یکپارچه سازی حرارتی داخلی است. اما زمانی که میزان تغذیه بالای مقدار طراحی شده افزایش یافته باشد، HIDiC ایده آل اقتصادی نیست. و در چنین موردی، پیکربندی HIDiC ترجیحاً مورد استفاده قرار می گیرد.

برای حصول به یک تعادل حرارتی مناسب، یعنی راه اندازی ستون بدون یک جوش آورنده مجدد و یک تقطیر کننده، مخلوط تغذیه باید قبل از ورود به ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی ایده آل از قبل گرم شود. این ترتیب سازی از قبل حرارت دیده تغذیه را نیز می توان اگر لازم شد، برای HIDiC بکار بست. وقتی که خروجی بخار داغ بالای سر ستون اصلاح کننده i-HIDiC به شکل یک مصرف داغ احتمالی برای پیش حرارت دهی تغذیه مورد استفاده مجدد قرار می گیرد، پیکربندی تقطیر را i-HIDiC شدت یافته یا int-i-HIDiC می گویند. لازم به ذکر است که i-HIDiC شدت یافته در مقایسه با i-HIDiC کارایی انرژی بیشتری دارد.

در سالهای اخیر، چندین گروه فعالانه درگیر تحقیقات در طراحی ستون تقطیر با کارایی انرژی بوده اند (برای مثال تحلیل، و عملیات). از 1990، چندین ساختار تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی نیز ثبت اختراع شده است. اما یک پیشرفت اندک درباره تعدد بودن حالت ایستا، طراحی پروسه بهینه، شناسایی سیستم، سنتز و اجرای کنترل کننده غیرخطی و تست کردن آزمایشگاهی ذکر شده است. قصد اصلی این مرور تمرکز روی حالت کنونی و دیدگاه آتی تحقیقات درباره ستونهای تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی است.

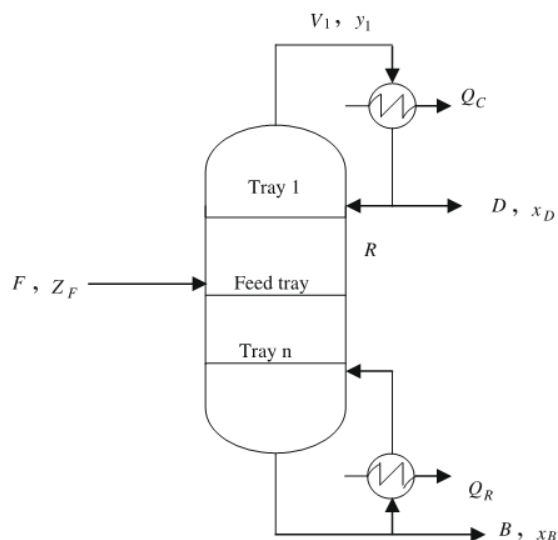
در مرور کنونی، کار به ترتیب ذیل سازماندهی می شود. در آغاز (بخش 2) اهمیت یکپارچه سازی حرارتی در عملیات تقطیر و بعد از آن بحث روی چندین تکنیک جداسازی با مقرون به صرفگی انرژی در بخش 3 ارائه می شود. بخش بعد (بخش های 4 و 5) شامل کاربردهای اخیر مفهوم یکپارچه سازی حرارتی و بعد ساختارهای

مختلف HIDiC است. دیدگاه تحقیقات آتی روی HIDiC در بخش 6 روشن سازی شده است. بالاخره، در بخش 7، نتیجه گیری های ارائه می شوند.

## 2- چرا یکپارچه سازی حرارتی در عملیات تقطیر؟

تقطیر شاید مهمترین و پر استفاده ترین عملیات جداسازی استفاده شده است که برای حدود 95 درصد کل جداسازی مایع در صنعت شیمیایی بکار می رود و 3 درصد تخمین زده شده مصرف انرژی دنیا را شامل می شود. در ایالات متحده، حدود 10 درصد مصرف انرژی صنعتی برای تقطیر به کار می رود. قابل ذکر است که بیش از 70 درصد هزینه های عملیاتی با هزینه های انرژی ایجاد می شود. به طور شگفت انگیز کارایی ترمودینامیکی کل یک تقطیر معمول حدود 5 الی 20 درصد است.

در تکنیک تقطیر، حرارت به عنوان یک عامل جداسازی استفاده می شود. بنا به شرح در تصویر 2، حرارت در ته جوش آورنده مجدد به طور معمول تامین می شود تا یک مخلوط مایع را بخار سازد و زمانی که بخار بالای سر را در تقطیر کننده فروکشنده مایع می کند، گم می شود. واقعا، گرما در بالاترین درجه حرارت ( $T_B$ ) در ستون اضافه می شود در صورتیکه در پایین ترین درجه حرارت خارج سازی می شود ( $T_D$ ). جالب این است که، انرژی گرمایی جبران سازی شده در تقطیر کننده را نمی توان برای گرم سازی سایر جریانات در همان واحد تقطیر مورد استفاده مجدد قرار داد چون درجه حرارت خنک کننده معمولا به طور کافی پایین تر از مال جریانات داخل ستون است.



تصویر 2- یک نمایش شماتیک از یک ستون تقطیر معمول

با این حساب گفته می شود که در یک ستون تقطیر سنتی، گرما در جوش آورنده مجدد اضافه شده و در یک تقطیر کننده خارج می شود. واقعا، انرژی طی یک طیف انرژی  $T_B - T_D$  تجزیه می شود و این دلیل اصلی عدم کارایی ترمودینامیکی تکنولوژی تقطیر معمول می باشد.

برای بهبود کارایی حرارتی یک ستون تقطیر، روشهای مختلفی مانند خنک کننده های داخلی-حرارت دهنده های داخلی، پمپ های حرارتی، بازروانی ثانویه و تبخیر، و ستونهای چندانرژی مورد بررسی قرار گرفته اند. اساسا ایده کاهش ورودی انرژی خارجی با استفاده موثر از انرژی حرارتی از واحدهای تقطیر و توزیع حرارت به طور یکنواخت تر در طول ستونها می باشد.

تعداد اندکی از ترتیبات یکپارچه سازی حرارتی برای سیستم های تقطیر در ذیل مثال آورده شده است. بسیاری ترتیبات دیگر بعدا به تفصیل بیشتر بحث خواهد شد.

1) برای ستونهای تقطیر با یاری پمپ حرارتی، بخار بالای سر فشرده سازی شده و بعد بعنوان یک محیط حرارت دهی در جوش آورنده پایینی مورد استفاده قرار می گیرد.

2) برای ستونهای چندانرژی، رشته بخار تقطیر داغ ممکن است از لحاظ حرارتی با رشته مایع پایین ستون مجاور در جوش آورنده مجدد مزدوج شود.

3) برای ستونهای تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی، بخشهای بهبود و تهی سازی به طور داخلی از طریق مبدلهای حرارتی مزدوج سازی می شوند. یک کمپرسور و یک شیر سوپاپ بین دو بخش برای نگهداری نیروی محرک نصب می شوند.

اثبات شده است که یکپارچه سازی حرارت منجر به یک بهبود معنی دار در کارایی انرژی با کاهش کارهای جوش آورنده مجدد و تقطیرکننده می گردد. با طراحی پروسه مناسب، حتی گاهی اوقات، نیازی به جوش آورنده مجدد در پایین و یا تقطیرکننده بازروانی برای یک واحد تقطیر یکپارچه سازی کننده حرارت وجود ندارد.

### 3- چندین تکنیک تقطیر با کارایی انرژی

برای بهبود کارایی انرژی پروسه های جداسازی، چندین تکنیک یکپارچه کننده حرارت تا کنون مطرح گردیده است. در این بخش، بسیاری از آن تکنیک های مهم با نقاط قوت و ضعف نسبی شان مورد بحث قرار گرفته اند.

#### 3.1 ستون Petlyuk کاذب



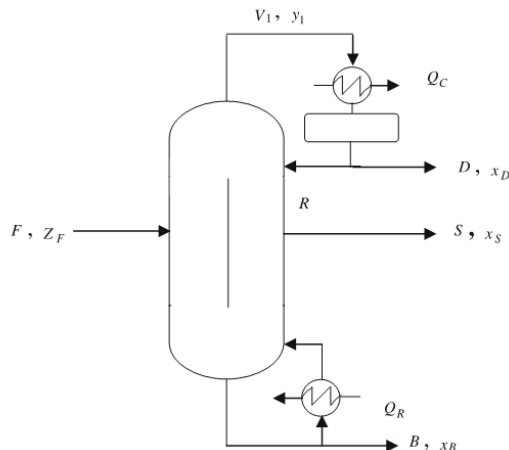
بیش از 70 سال قبل، یک شمای تقطیر مزدوج حرارتی ابتدا توسط Brugma ثبت اختراع گردید. این پروسه با کارایی انرژی که برای جداسازی یک تغذیه سه گانه استفاده گردید شامل یک برج تک جریانی معمول و یک ستون پیش جز به جز کننده می باشد که هر دو مجهز به تقطیرکننده و یک جوش آورنده مجدد می باشد. این ستون به طور عمودی با دیواری از میان یک مجموعه سینی ها برای جداسازی جریان تغذیه از محصول فرعی تقسیم شده است. Wolff & Skogestad ترجیح می دهند که این پیکربندی را به شکل ستون تقطیر Petlyuk کاذب بنامند.

### 3.2 ستون با دیوار تقسیم شده

Wright ستون Petlyuk کاذب را با حذف واحد ستون پیش جز به جز کننده ساختار بندی مجدد کرده است. این پیکربندی همانگونه که در تصویر 3 نشان داده شده است اغلب به نام ستون با دیوار تقسیم شده یا DWC نامیده می شود. این امر زمانی حاصل می شود که یک بخش عمودی (دیوار) وارد یک ستون تقطیر برای ترتیب بندی یک ستون پیش جز به جز کننده و یک ستون اصلی داخل یک پوسته منفرد می شود. مزیت ارائه شده توسط این ستون بخش بندی شده آن است که یک مخلوط سه گانه می تواند به جریانات محصول خالص با تنها یک ساختار تقطیر، یک جوش آورنده مجدد و یک تقطیرکننده، تقطیر گردد. مشهودا، این امر هزینه جداسازی را کاهش می دهد. وانگهی، تعداد کاهش یافته واحدهای تجهیزات منجر به یک هزینه سرمایه گذاری اولیه اندک می شود.

متعاقبا، Seader یک شمای جداسازی یکپارچه سازی شده حرارتی را طراحی کرد که شامل یک ستون عمودی است که در آن تقسیم کننده طولی بخش تهی سازی را از بخش تقطیر مجدد جدا می کند و یک اختلاف فشار را بین آنها حفظ می کند. یک قطبیت لوله های حرارتی که از میان تقسیم کننده گذشته و بین بخش تهی سازی و بخش تقطیر مجدد کشیده می شود برای انتقال انرژی گرمایی با یک مایع در حال کار از بخش تقطیر مجدد به بخش تهی سازی بکار می روند. بخش تقطیر مجدد در یک درجه حرارت بالاتر از بخش تهی سازی با فشرده سازی بخار روی سر بخش تهی سازی قبل از تغذیه به بخش تقطیر مجدد به کار می افتد. بعدا Seader & Baer آزمایشی را برای بدست آوردن داده های انتقال حرارتی برای این ساختار یکپارچه سازی شده حرارتی اجرا کردند. لوله های گرمایی داخل لوله های مسی فین گذاری شده و آب به عنوان مایع مورد استفاده

قرار گرفت. در هر دو ستونهای فشار بالا و فشار پایین آب تقطیر گردید. در این مطالعه اثر انتقال حرارتی روی کارایی انتقال توده ای سینی تقطیر به شمار نیامد لازم به ذکر است که این شمای مساحت انتقال حرارت قابل انعطاف را به ازای هر سینی امکان می دهد.



تصویر 3- یک نمایش شماتیک یک ستون تقطیر Petlyuk (به نام ستون دیوار تقسیم کننده)

برای فراکسیون گیری مخلوطهای تغذیه حاوی چهار یا چند جز ، پروسه تقطیر تک برجی با تقسیم کننده های طولی متعدد ابتدا توسط Kaibel مطرح گردید. برای جداسازی مخلوط چندجزئی، Agrawal انواع مختلف ستونهای تقسیم کننده داخلی را با مزیت ها و معایب شان مورد بحث قرار دادند. به دلیل عدم تجربه در طراحی و کنترل، ستونهای با دیوار تقسیم شده به طور گسترده در این صنعت هنوز مورد استفاده قرار نگرفته است. اما تعداد آنها به سرعت رو به رشد است (40 واحد در سال 2004 در کل دنیا)

### 3.3 ستون Petlyuk

ستون با دیوار تقسیم شده که توسط Wright مطرح گردید تحت عنوان ستون Petlyuk بعد از ارائه یک مطالعه تئوریک مفصل روی این شمای توسط Petlyuk و همکارانش نامگذاری گردید. از لحاظ توالی مستقیم یا غیرمستقیم، این ساختار کاهش یافته Petlyuk دربرگیرنده سرمایه اولیه پایین است و مقادیر کمتری از انرژی را مصرف می کند که هزینه های عملیاتی را کاهش می دهد. اما در مقایسه با واحد تقطیر معمول، ستون Petlyuk بسیاری درجات دیگر آزادی را در هم عملیات و هم طراحی دارد که باعث سختی طراحی هم ستون و هم سیستم کنترل می شود.

همانند تصویر 4، شمای دوستونه Petlyuk شامل یک پیش تقطیرکننده متصل با یک پوسته تقطیر است که با تنها یک جوش آورنده مجدد و یک کندانسور مجهز شده است. بسیاری محققان از دیرباز برای پیشرفت تکنولوژی ستون Petlyuk کار می کرده اند. مزدوج حرارتی در یک شمای Petlyuk منجر به صرفه جویی زیاد در انرژی شده است. اما مزدوج سازی انبوه میان واحدهای پروسه سازی منجر به سختی عملیات و کنترل می گردد. تا کنون، اندک پیشرفتی به خصوص در عملیات و کنترل ساختار تقطیر Petlyuk مشاهده گردیده است.

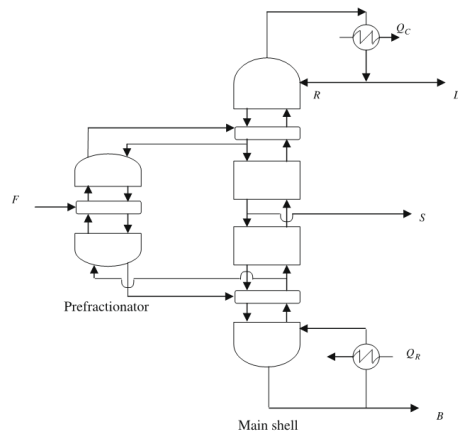
#### 3.4 ستون چنداثری

رهیافت تقطیر چنداثری که برای جداسازی مخلوط های چندجزئی بکار می رود توجه تحقیقاتی روزافزونی را از دهه گذشته به خود جلب کرده است. ایده اصلی این روش استفاده از بخار روی سر یک ستون به عنوان منبع حرارتی در جوش آورنده مجدد ستون بعدی است. ستونها می توانند در جهت جریان توده یکپارچه سازی حرارتی شده باشند (یکپارچه سازی رو به عقب). تصویر 5 نشان دهنده یک ستون نمونه است که نمایش یک شمای چنداثری را با یک پیش تقطیر کننده برای یک جداسازی مخلوط سه گانه ارائه می دهد. برای تغذیه سه جزئی، تقسیم مستقیم متناوب یا ترتیب بندی تقسیم غیرمستقیم را نیز می توان بکار برد.

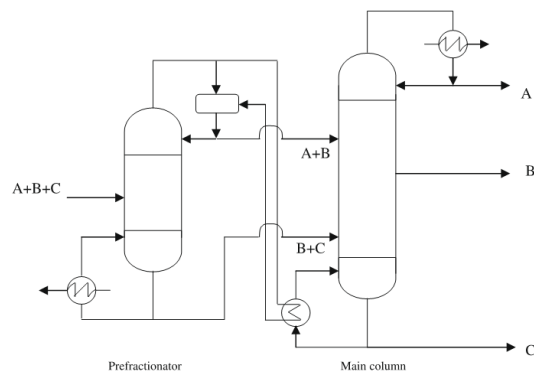
این انواع ترتیبات یکپارچه سازی شده بنا به اثبات صرفه جویی های انرژی اساسی دارد. اما نقاط ضعف احتمالی سیستم چنداثری که از تجاری سازی پروسه جلوگیری میک ند مشکلات عملیاتی است که به دلیل غیرخطی بودن، ماهیت چندمتغیره و تعاملی پروسه می باشد. در متون علمی، معدود مقالاتی راجع به طراحی بهینه، اقتصاد و قابلیت کنترل این ترتیبات مزدوج وجود دارد.

#### 3.5 ستون تقطیر با یاری پمپ حرارتی

برخلاف شمای چنداثری، پمپ حرارتی اساسا یک رهیافتی برای افزایش اقتصاد حرارتی یک ستون تقطیر منفرد است. ستون فشرده سازی مجدد بخار یا VRC یا ستون تقطیر با یاری پمپ حرارتی به شکل یک پروسه با کارایی انرژی در صنایع شیمیایی و نفت بعد از بحران نفت 1973 به اجرا درآمده است. همانگونه که در شکل 6، بخار روی سر با استفاده از یک کمپرسور تا حدی تحت فشار قرار می گیرد که بتواند در یک درجه حرارت بالاتری فشرده سازی شود که گرمای لازم و کافی را برای جوش آورنده مجدد فراهم سازد.



تصویر 4- یک نمایش شماتیک از یک ساختار دوستونه Petlyuk



تصویر 5- یک نمایش شماتیک از یک سیستم چندانثری برای مخلوط تغذیه سه گانه (A-C)

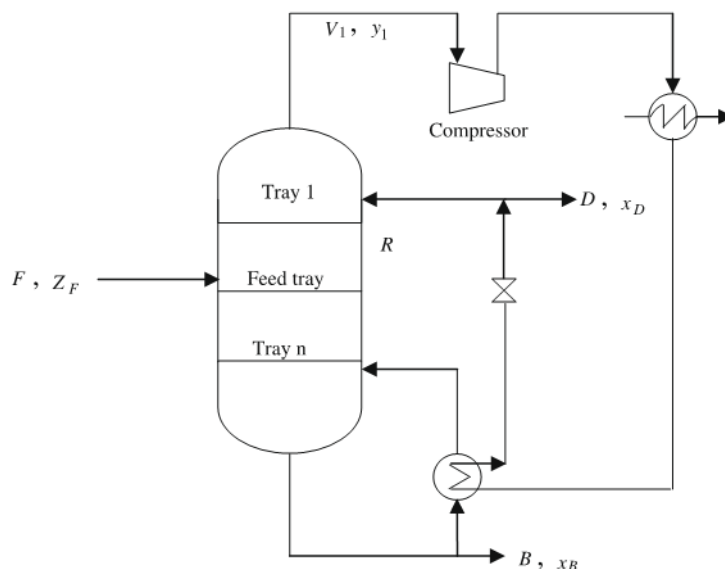
سیستم های پمپ حرارتی در ستون تقطیر به خوبی در گذشته توسط Null، Finelt، Menzies و Meili Johnson و سایر نویسندگان شرح داده شده است. کار اضافی در کنترل با استفاده از کنترل کننده های کلاسیک و تجهیزات آزمایشگاهی گزارش شده در متون علمی وجود دارد.

شمای جداسازی فشرده سازی مجدد بخار یک احتمال برای صرفه جویی زیاد در انرژی برای تقطیرکنندگی مجدد اساسا مخلوط های نزدیک به جوش دارد که به یمن یک تفاوت درجه حرارت کوچک میان بالا و پایین ستون، نسبت های فشرده سازی کوچک است و در نتیجه کارهای فشرده سازی کوچکی لازم است. برای تقطیر و جداسازی همان مخلوط نزدیک به جوش با استفاده از یک ستون تقطیر معمول، نسبت های بازروانی بالا و در نتیجه کارهای جوش آورنده مجدد لازم است. هرچند، ستون با یاری پمپ حرارتی مزیتی از لحاظ صرفه جویی در انرژی اساسا برای جداسازی مخلوطهای دارای فراریت نسبی نزدیک به یکپارچگی می باشد، سرمایه زیادی می طلبد. برای بهبود تکنولوژی تقطیر مبتنی بر پمپ حرارتی، جدای از استفاده از فشرده سازی مکانیکی به

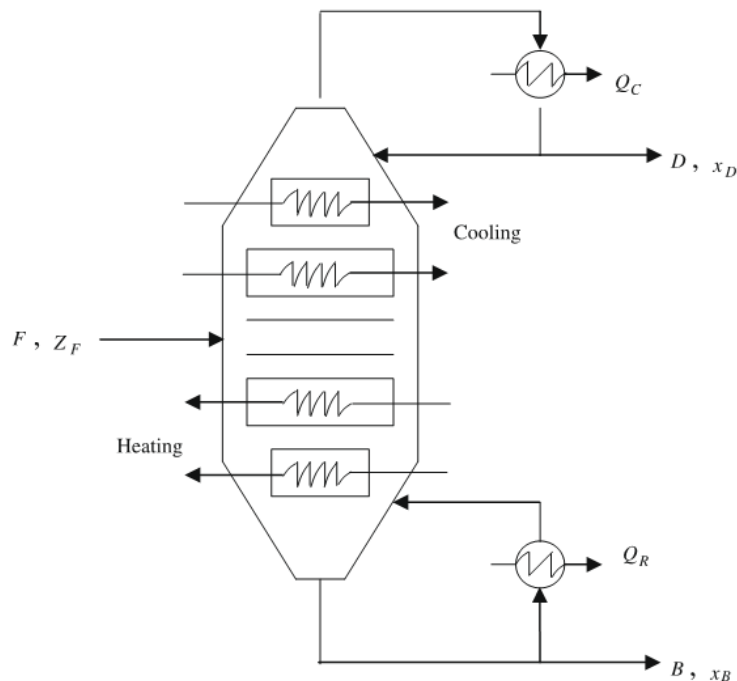
عنوان پمپ حرارتی، سایر اشکال پیشرفته دیگر پمپ حرارتی مبتنی بر جذب، رونشینی و غیره برای پروسه های تقطیر ایجاد شده اند.

### 3.6 ستون تقطیر Diabatic

در ستون های تقطیر *diabatic* ، گرما تنها برای جوش آورنده مجدد پایینی از کندانسور بازروانی تامین می شود. با این حساب، تجزیه انرژی یک پدیده متداول است. همانگونه که قبلا اشاره گردید، این موقعیت می تواند با گسترش الزامات حرارتی روی طول کل یک ستون تقطیر بهبود یابد. چنین ملاحظه طراحی را تقطیر *Diabatic* می نامند. همانگونه که در تصویر 7 نشان داده شده است، انتقال حرارتی میان ستون و اطراف آن روی هر سینی ستون با استفاده از رسانه مایع از طریق کویل مارپیچی رخ می دهد. این ایده به کار *Fonyo* باز می گردد. در تقطیر *Diabatic* همانگونه که در فوق شرح داده شد، هر سینی نیاز به یک مدار مبدل حرارتی منفرد دارد. از اینرو، این ساختار مسائل اجرایی بخاطر هر سینی دارد که دو تا منفذگذاری در پوسته نیاز است. وانگهی، هزینه سرمایه به طور اساسی افزایش می یابد. برای تسکین مسائل طراحی، *Rivero* و *Le Goff* و همکارانش طراحی ستون *Diabatic* را با استفاده از دو شبکه مبدل حرارتی ساده سازی نمودند. یکی برای بخش تقطیرمجدد و دیگری برای بخش تهی سازی. این ستون نسبتا ساده سازی شده دربرگیرنده مایع حرارتی منفرد (معمولا بخار) است که از سینی پایینی به سینی زیری بعدی تغذیه (منطقه تهی سازی) گردش می یابد و یک مایع خنک کننده منفرد (معمولا آب) که بالای سینی تغذیه گردش می یابد (منطقه تقطیرکننده مجدد).



تصویر 6- نمایش شماتیک یک ستون تقطیر بایاری پمپ حرارتی



تصویر 7- نمایش شماتیک یک ستون تقطیر Diabatic

علاوه بر سرمایه اضافه، سختی کار در تعیین درجه حرارت بهینه و نمایه های گرم سازی ایجاد می شود که تضمین کند عملیات در حداقل انرژی تولیدی قرار دارد. بسیاری محققان مشغول کار روی حداقل سازی میزان انرژی یا بی نظمی در تولید در تقطیر Diabatic می باشند.

### 3.7 ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی

بوسیله تکنولوژی پمپ حرارتی، ستون تقطیر مجدد و ستون تهی سازی را می توان از لحاظ گرمایی داخلی یکپارچه سازی نمود و این ساختار منجر به یک ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی یا HiDiC طبق شکل تصویر 1 می گردد. در ابتدا، بخشی از بخشهای تقطیر مجدد و تهی سازی تحت نام شمای SRV یکپارچه سازی شده بودند و بعدها طراحی ستون به شکل یکپارچه سازی حرارتی میان بخشهای تقطیر مجدد و بخشهای تهی سازی کل اصلاح شده اند. یک شمای تقطیر یکپارچه سازی از انرژی جزئی نمونه در تصویر 8 نمایش داده شده است.

در شمای HIDiC ، بخار روی سر ستون تهی سازی فشرده سازی شده و بعد وارد انتهای ستون تقطیرکننده مجدد می شود. ستون تقطیرکننده مجدد در اصل در فشار بالاتری کار می کند. مایع از ته ستون تقطیرکننده مجدد وارد بالای ستون تهی سازی می شود چون تغذیه ستون است. فشار جریان مایع بازیافتی از ستون تقطیرکننده مجدد با مال ستون تهی سازی از طریق یک دریچه شیر سوپاپ تخلیه به تعادل می رسد. در اینجا، محصول سبک بخاری است که بالای ستون تقطیرکننده مجدد (یا مایع فشرده سازی شده) را ترک می کند و محصول سنگین مایع پایینی ستون تهی سازی است.

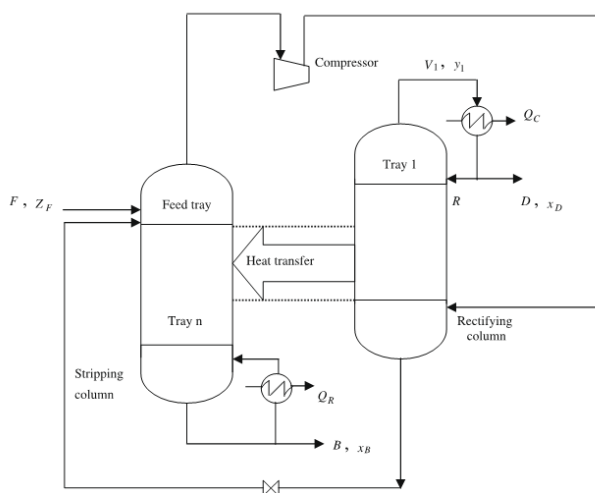
در پیکربندی HIDiC، ستون تهی سازی در یک فشار نسبتاً پایینی نسبت به ستون تقطیرکننده مجدد عمل می کند. همانگونه که اشاره گردید، یک کمپرسور و یک دریچه شیر سوپاپ برای تنظیم فشارها نصب می شوند. افتراق فشار مبین یک افتراق منطبقه در درجه حرارت عملیاتی است که به نوبه خود انرژی را قادر به انتقال از ستون تقطیرکننده مجدد به ستون تهی سازی از میان مبدلهای حرارتی می سازد. مبدل حرارتی میان بخار داغ تقطیرکننده مجدد و مایع سرد تهی سازی منجر به جریان بازروانی برای بخش تقطیرکننده مجدد و جریان بخار برای بخش تهی سازی می گردد. با این روش، بار گرمایی جوش آورنده مجدد را می توان تا حد زیادی کاهش داد. هر چه گرمای بیشتری تبادل شود، انرژی کمتری مصرف می شود. با طراحی پروسه مناسب، حتی عملیات عاری از بازروانی و یا عاری از جوش آورنده مجدد را می توان اجرا کرد.

HIDiC در یک کار کمپرسور پایین تر نسبت به ستون فشرده سازی کننده مجدد بخار رقیب وی عمل می کند چون فشرده ساز HIDiC تنها روی بخش تهی سازی عمل می کند در صورتیکه فشرده سازی مجدد بخار نیاز به پمپ حرارتی برای اجرا روی اختلاف درجه حرارت کاملی دارد که در سیستم موجود است. نشان داده شده است که HIDiC می تواند منجر به صرفه جویی انرژی حدود 50 درصد در مقایسه با یک شمای VRC گردد. اما این ساختار دربرگیرنده پیچیدگی طراحی و سرمایه گذاری بزرگ است. هرچند این تحقیق در حال حاضر روی جنبه های کارایی دینامیک و ترمودینامیک در حال جریان است، اندک ملاحظات طراحی تا کنون در متون علمی آزاد گزارش شده است.

### 3.8 ستون تقطیر دسته ای یکپارچه سازی شده حرارت

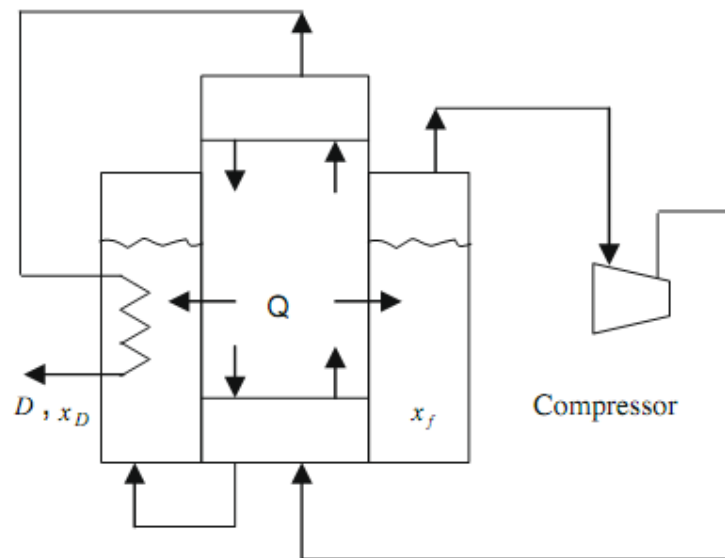
مفهوم یکپارچگی انرژی باز برای ایجاد پروسه تقطیردسته ای یکپارچه سازی شده حرارت به کار بسته شده است. همانگونه که در تصویر 9 نشان داده شده است، این پروسه اساساً یک ستون همگرا است که در آن ستون داخلی به شکل یک جوش آورنده مجدد عمل می کند. ستون بیرونی به طور جزئی با مخلوط تغذیه در آغاز کار پر می شود. تغذیه تبخیر شده خارج از ستونی تحت فشار قرار می گیرد که یک کمپرسور را به کار گرفته است و در پایینی بخش تقطیرکننده مجدد وارد می شود که در درجه حرارت بالاتری حفظ می شود. بخار روی سر داغ که ستون تقطیرکننده مجدد را ترک می کند، گرما را به سمت مایع ستون بیرونی در جوش آورنده مجدد رها می کند. بعد به شکل محصول تقطیرشده جمع آوری میشود. وانگهی، حرارت از میان دیوار از بخش تقطیرکننده مجدد به بخش تهی سازی انتقال می یابد که باعث جریان مایع در ستون تقطیرکننده مجدد می شود.

Takamatsu و همکارانش یک مطالعه مقایسه ای را میان تقطیر دسته ای یکپارچه سازی شده حرارتی و تقطیر دسته ای معمول انجام دادند تا برتری شمای یکپارچه سازی شده حرارتی را بر همتای معمول آن از لحاظ کارایی انرژی نشان دهند.



تصویر 8- یک نمایش شماتیک از یک شمای جزئی HIDiC





تصویر 9- یک نمایش شماتیک از یک شمای دسته ای HiDiC

در فاز آغازین ستون، باید اندکی گرما از منبع خارجی تامین شده باشد. اما هیچ پیشرفتی روی تقطیر دسته ای با کارایی انرژی ذکر نشده است.

### 3.9 ستون های مزدوج بینابینی

Haselden یک رهیافت طراحی را برای یک شمای کارایی انرژی مزدوج بینابینی مطرح کرده است، که شامل دو برج سینی موازی است که روی هر سینی تقطیر با لوله کشی به هم متصل شده اند. لوله انتقال حرارتی لوله ای در مایع سینی نیمه غوطه ور شده و از اینرو مساحت مبدل حرارتی به ازای هر سینی کاهش می یابد. وانگهی، این شما نیاز به مقدار زیادی لوله گذاری میان ستونهای مجاور دارد که منجر به هزینه های سرمایه گذاری اضافی و از دست رفتن گرمای اضافی به محیط زیست می گردد.

با در نظر گیری مسائل فوق، متعاقبا Beggs یک نسخه بهبودیافته از ساختار یکپارچه سازی شده حرارتی مزدوج بینابینی را طراحی کرد که ستونهای تهی سازی و تقطیرکننده مجدد از هم جدا دارد. یک شبکه مبدل حرارتی منفرد برای اتصال از طریق سینی میان دو بخش بکار می رود. اما هر سینی الزاما در این رهیافت متصل نیست. یک رسانه مایع انتقال حرارتی از طریق شبکه پمپ شده و آن مایع حرارت را در طول بخش تقطیرکننده مجدد دریافت می کند و حرارت را در طول بخش تهی سازی آزاد می سازد. نوع خاص سینی های انتقال حرارتی با

کانالهای مارمانند داخل سینی بکار می رود که آشکار می سازد که مساحت انتقال حرارتی کل محدود به سطح سینی است. هیچ پیشرفت دیگری درباره این ترتیبات یکپارچه سازی شده حرارت گزارش نشده است.

### 3.10 ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارت هم مرکز

Glenchur & Govind و Govind یک ستون یکپارچه سازی کننده حرارتی هم مرکز را اختراع کردند که در آن بخش تهی سازی بیرونی دور بخش تقطیرکننده مجدد پیکربندی شده است. در این ستون هم مرکز حرارت برای یک بخش تقطیرکننده مجدد با فشار بالای داخلی با هدایت حرارتی از طریق یک دیوار مشترک یا سطح مشترک به یک ستون تهی سازی فشار پایینی بیرونی برای تقویت کارایی انرژی منتقل می شود. وانگهی، به این طریق، از دست رفتن انرژی به محیط زیست را می توان کاهش داد چون حرارت در بخش تقطیرکننده مجدد به طور طبیعی تمایل به رفتن به بخش تهی سازی دارد. این شما نیز کارایی بیشتری را فراهم می کند چون ستون تهی سازی بیرونی کارآمدتر از ستون استوانه ای نمونه است. اما مساحت مبدل حرارتی محدود به دیوار ستون است و قابلیت انعطاف محدودی برای تغییر مساحت انتقال حرارتی در هر مرحله وجود دارد.

برای رفع مسئله مساحت انتقال حرارتی محدود، De Graauw و همکاران یک ستون هم مرکز مجهز به صفحات حرارتی را ثبت اختراع کردند. صفحات حرارتی را می توان هم در بخش تهی سازی و هم در بخش تقطیرکننده مجدد قرار داد.

صفحات حرارتی ترتیب داده شده در بخش تهی سازی در اتصال آزاد با بخش تقطیرکننده مجدد هستند به نحوی که بخار از بخش تقطیرکننده مجدد می تواند وارد صفحات شود و داخل آن فشرده سازی شود و بالاخره مایع میعان یافته می تواند به بخش تقطیرکننده مجدد دوباره بازگردد. حرارت آزاد شده در این مکانیسم، به نوبه خود، مایع موجود در سطح خارجی صفحات (بخش تهی کننده) را آزاد می سازد. مشابه، زمانی که صفحات حرارتی در بخش تقطیرکننده مجدد قرار گیرد، مایع از بخش تهی سازی می تواند وارد صفحات از طریق اتصال باز گردد، داخل تبخیر شود و بخار می تواند مجدداً به بخش تهی سازی باز گردد. در نتیجه، برخی مقادیر بخار در بخش تقطیرکننده مجدد میعان می یابد.

اخیراً، ضریب همبستگی انتقال حرارتی آزمایشگاهی ارزیابی شده است و با پیشگویی های مدل برای هر دو صفحات حرارتی قرارگیری شده در قسمت ریزش کننده و آنی که روی مساحت سینی فعال بین دو سینی نصب

شده است، مقایسه شده است. یک مدل انتقال توده ای نیز به طور آزمایشگاهی رواسازی شده و برای پیشگویی کارایی سینی مورد استفاده قرار می گیرد. علاوه بر مزیت جذاب یک مساحت انتقال حرارت بزرگ و قابل انعطاف، این ساختار به طراح امکان می دهد تا برخی سینی ها را با درجه حرارت پایین یا منفی که محرک نیروها از پروسه است حذف کند. آشکار می کند که هیچ صفحه های حرارتی روی این سینی ها نصب نشده است. برای این شما، پیچیدگی طراحی یک علت اصلی نگرانی باقی می ماند.

### **3.11 جزیه جز سازی مبدل حرارتی**

#### **3.11.1 ستون پوسته و لوله**

ASO و همکارانش ستون نوع مبدل حرارتی لوله ای دوبل را که توسط Govind مطرح شده بود به ستون پوسته و لوله برای بهبود انتقال حرارتی اصلاح شکل کردند. در این وسیله، بخش تهی سازی درجه حرارت پایین فشار پایین (کنار پوسته) دور لوله ها پیکربندی می شود (بخش تقطیرکننده مجدد). به این شیوه، یک مساحت انتقال حرارت قابل انعطاف و بزرگ در یک پروسه جداسازی یکپارچه سازی کننده حرارتی جای می گیرد. اما معمولاً برای سینی ها هم در بخش های تقطیرکننده مجدد (لوله های قطر کوچک) و هم در بخشهای تهی سازی (طراحی سینی خیلی پیچیده) مناسب نیست.

#### **3.11.2 ستون مبدل حرارتی فشرده**

مساحت سطح مبدل حرارتی به ازای هر حجم واحد مبدل حرارتی فشرده، که معمولاً براساس یک ساختار صفحات پهن موازی طراحی شده است، به طور معنی داری بالاتر از مال مبدل حرارتی پوسته و لوله معمول است. این مفهوم محققان را بر آن داشت تا ستون مبدل حرارتی فشرده نوع صفحه-فین را طراحی کنند. ایده اجرای مبدل صفحه-فین در ساختار SRV در 1980 به اجرا درآمد. بعد Tung و همکارانش آزمایشات در مقیاس آزمایشگاهی را با یک طراحی صفحه-فین برای روایی سازی مدل خود انجام دادند. آنها از مدل خود برای پیشگویی میزان انتقال حرارت و تاثیر انتقال حرارت داخلی روی کارایی جداسازی ستون مبدل حرارتی صفحه ای استفاده کردند. در واقع، یک مبدل حرارتی صفحه-فین متشکل از یک تعداد صفحات پهن موازی با صفحات شیاردار حدواسط (فین) می باشد. صفحات پهن جریانات پروسه را جدا نگه می دارد و سطح مبدل حرارتی اصلی را فراهم می کند. بعلاوه، فین ها به عنوان سطح مبدل حرارتی ثانویه بکار می روند. مبدل حرارتی صفحه ای در

ستون یکپارچه سازی شده حرارت برای جریانات عمودی موازی در لایه های تهی سازی کننده و تقطیرکننده مجدد متناوب ترتیب بندی شده است. در هر لایه یک جریان ضدجریان از گاز و مایع قرار دارد و جریانات مایع به سمت پایین به شکل یک ورقه روی دیواره ها است .

بعد Aitken یک شمای جداسازی یکپارچه سازی شده حرارتی را ارائه کرد که از یک مبدل حرارتی صفحه ای تشکیل شده که فضای بین صفحات عمودی را با ورقه های شیاردار مشابه با بسته بندی ساختاری پر می کند. اخیراً، Hugill و Hugill & van Dorst نشان دادند که ستون مبدل حرارتی صفحه ای یک صرفه جویی انرژی احتمالی حدود 37 درصد در مقایسه با یک ستون فشرده سازی مجدد بخار دارد. این ساختار جداسازی یک مساحت مبدل حرارتی بالاتر را به ازای واحد حجم تجهیزات ، یک رهیافت درجه حرارت نزدیک تر، و قابلیت انعطاف در طراحی و ساختار مودولار را ارائه می دهد. معایب اصلی آن عبارتند از: نیاز به توزیع کننده های پیچیده، محدودیت اندازه مودول مبدل حرارتی صفحه-فین (ارتفاع ماکزیمم حدود 6 الی 8 متر، عرض حدود 2 متر) ، محدودیت طغیان با بارهای مایع بالا و مرطوب سازی سطح (برگردان).

#### 4. کاربردهای اخیر مفهوم یکپارچه سازی حرارتی

##### 4.1 جداسازی مخلوط نزدیک به نقطه جوش توسط i-HIDiC

HIDiC ایده آل بالواقع برتری خود را اساساً از لحاظ صرفه جویی در انرژی بر ستونهای تقطیر مزدوج حرارتی و معمول به اثبات رسانده است. برای وسعت دادن به کاربردهای مفهوم یکپارچه سازی حرارتی ایده آل اخیراً سهولت و عملی بودن اقتصادی و عملیاتی شمای i-HIDiC برای جداسازی یک مخلوط چندجزئی نزدیک به نقطه جوش بررسی شده است. در واقع، آنها دو HIDiC ایده آل را برای جداسازی یک مخلوط سه گانه نزدیک به نقطه جوش فرضیه ای بکار بسته اند و دو گزینه یک توالی مستقیم و یک توالی غیرمستقیم را درست مانند همتای معمولش در نظر گرفتند.

قبلاً Iwakabe و همکارانش صرفه جویی های 30 و 50 درصدی در انرژی را برای جداسازی دو مخلوط نزدیک به نقطه جوش به نامهای «بنزن/تولون/پی-گزیلن» و «ان-پنتان/سیکلوپنتان/2-متیل پنتان» را به ترتیب با استفاده از یک ساختار HIDiC محاسبه کردند. بعد Huang و همکارانش دریافتند که سیستم ایده آل HIDiC خیلی از لحاظ ترمودینامیکی کارآمدتر از یک سیستم تقطیر معمول است. در کار ایشان، طراحی پروسه نیز از

لحاظ به حداقل رسانی هزینه سالانه کل یا TAC اجرا گردیده است. بالاخره، Huang قابلیت کنترل حلقه بسته را برای جداسازی مخلوط سه گانه با استفاده از i-HiDiC و i-HiDiC فشرده شده آنالیز کردند. در مقایسه با i-HiDiC ، فشرده شده اجرای کنترل حلقه بسته بدتری را با نشان دادن تخطی بزرگ و زمان رسوب گذاری بزرگتر به دلیل مکانیسم های فیدبک مثبت متضمن درون ساختار فشرده شده نشان داد.

## 4.2 تقطیر عصاره گیری یکپارچه سازی شده حرارتی

یک مخلوط دوتایی که دارای یک مقدار اندکی از فراریت نسبی است (تقریباً یکپارچه سازی شده) نمی تواند با تقطیر معمول جداسازی شود چون دو جز در تقریباً درجه حرارت یکسانی با میزان یکسانی تبخیر می شوند. در این خصوص، تقطیر عصاره گیری را می توان بکار بست که در آن یک جز سوم به نام حلال (جز با نقطه جوش بالا و نسبتاً غیرفرار) برای تغییر فراریت نسبی اجزای تشکیل دهنده تغذیه اصلی اضافه می شوند.

Abushwireb و همکارانش بار اول روی سهولت پذیری عملیاتی چندین تکنولوژی های تقطیر عصاره گیری با یکپارچه سازی انرژی مانند ستون Petlyuk ، ستون با دیوار تقسیم شده و شمای تقطیر عصاره گیری با یکپارچه سازی حرارتی تحقیق انجام دادند. در مقایسه بین ستونهای تقطیر عصاره گیری یکپارچه سازی شده انرژی و تکنیک تقطیر عصاره گیری معمول ، بازیابی آروماتیک ها (بنزن، تولوئن، و گزیلن) از بنزین پیرولیز با استفاده از یک حلال به نام ان-متیل پیرولیدون در کارشان در نظر گرفته شده است. این مطالعه شامل مدلسازی ، شبیه سازی ، و طراحی پروسه پیکربندی های یکپارچه سازی شده انرژی است و طراحی بهینه با حداقل سازی هزینه سالانه کل (عملکرد عینی) اجرا می شود.

Abushwireb و همکارانش نشان دادند که شماهای تقطیر عصاره گیری طراحی شده کلیه انتظارات را راجع به مصرف انرژی و خلوص قسمتها برآورده می سازد. تحلیل اقتصادی ارائه شده در گزارش ایشان اثبات کرده است که پیکربندی تقطیر عصاره گیری یکپارچه سازی کننده حرارت بهترین نامزد درمقایسه با ستون Petlyuk، ستون با دیوار تقسیم شده و ستون معمول است.

## 4.3 تقطیر نوسان فشار یکپارچه سازی حرارتی برای جداسازی مخلوط در حال جوش بسته

برای جز به جز سازی یک مخلوط نزدیک به نقطه جوش دوتایی، سه تکنیک را متداولاً به کار می برند: تقطیر آزنوتروپ، تقطیر عصاره گیری، و تقطیر با نوسان فشار یا PSD. کلیه این سه شما نمایه جریانی پروسه خیلی

مشابهی را دارند. در دو رهیافت اولی، یک جز سوم به نام حلال برای تقویت فراریت نسبی اجزایی که باید جداسازی شود، به کار می رود. استفاده از یک حلال دربرگیرنده موانع زیادی است از جمله (1) چون حلال نمی تواند هرگز کاملاً خارج سازی شود، یک ناخالصی غیرقابل انتظار به محصولات اضافه می شود. (2) هزینه بازیافت حلال ممکن است به قدر کافی زیاد باشد (3) ممکن است از دست دادن جبران ناپذیر حلال وجود داشته باشد و (4) ممکن است باعث مسائل جدی محیط زیستی گردد.

برای مسائل فوق که مرتبط با تقطیرات آزنوتروپیک و عصاره گیری می شود، رهیافت PSD به شکل یک راه دیگر جذاب ظهور کرده است. یک پیش نیاز برای استفاده از ستون PSD آن است که آزنوتروپ جداسازی شده باید به فشار حساس باشد. در این شمای جداسازی، یک ستون تقطیر فشار کم یا LP و یک فشار بالا یا HP ترکیب شده تا از نقطه آزنوتروپیک اجتناب ورزد.

چون پیکربندی PSD شامل یک ستون تقطیر HP و یک LP است، احتمال یکپارچه سازی حرارتی پیش می آید. دو نوع یکپارچه سازی انرژی برای پروسه های PSD در متون علمی گزارش شده است. یکی یکپارچه سازی حرارتی نوع کندانسور و جوش آورنده مجدد است که در آن کندانسور ستون تقطیر HP با جوش آورنده مجدد پروسه تقطیر LP یکپارچه سازی می شود. دومین مورد یکپارچه سازی حرارتی نوع بخش تقطیرکننده مجدد/تهی سازی کننده است که در آن بخش تقطیرکننده مجدد واحد تقطیر HP با بخش تهی سازی واحد تقطیر LP مزدوج می شود. برای جداسازی مخلوط های نزدیک به نقطه جوش، دومی از لحاظ اقتصادی به اولی برتری دارد و برای جداسازی سایر مخلوط ها، برعکس آن هم صادق است. هر دو نوع کندانسور و جوش آورنده مجدد و نوع بخش تقطیرکننده مجدد/تهی سازی ستونهای PSD یکپارچه کننده حرارت دارای احتمال صرفه جویی انرژی بزرگ برای جداسازی مخلوطهای نزدیک به نقطه جوش می باشد.

#### **4.4 تقطیر کرایوژنیک با یکپارچه سازی حرارتی**

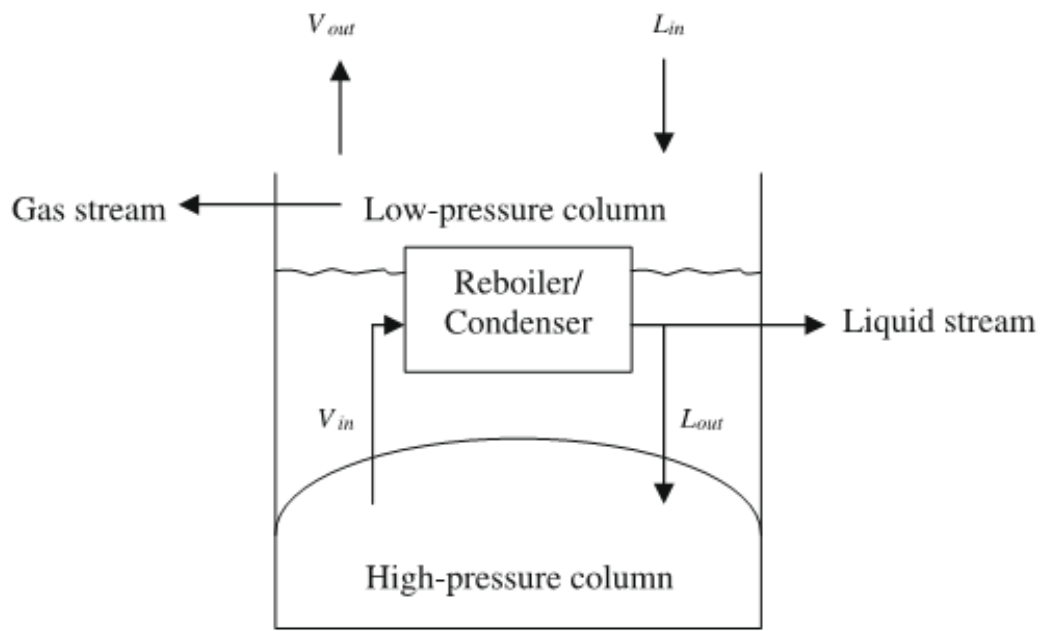
در کل، ستونهای تقطیر کرایوژنیک در درجه حرارتهای فوق العاده پایینی عمل می کنند. برای مثال، برای جداسازی هوا به اجزای پایه و اصلی آن، یعنی اکسیژن و نیتروژن، پروسه تقطیر کرایوژنیک با حدود 100 K اجرا می شود. در این درجه حرارت پایین، اکسیژن و نیتروژن در حالت مایع باقی می مانند و آنها را می توان در این ستون جداسازی کرد.

در واحد جداسازی کرایوژنیک، یک نصب خیلی پرهزینه با کندانسور ترتیب سازی شده است اگر بخار روی سر قرار باشد که به فاز مایع تبدیل شود چون بخار روی سر با اجزای فرارتری غنی سازی شده است که دارای نقطه جوش خیلی پایینی می باشد. برای کاهش هزینه انرژی، اصل یکپارچه سازی حرارتی را می توان با مزدوج سازی جوش آورنده مجدد و کندانسور در پیکربندی تقطیر کرایوژنیک بکار بست. انرژی که در کندانسور قابل خروج است می تواند در جوش آورنده مجدد مصرف شود.

Roffel و همکارانش یک ستون تقطیر کرایوژنیک یکپارچه سازی شده حرارتی یا HICDiC را مطرح کردند که با دو ستون کوچکتر ساخته شده بود که یکی در بالای دیگری حفظ شده بود و درون یک پوسته منفرد تقطیر بود. بخش پایینی برج تقطیر یک ستون پرفشار و بخش بالایی ستون کم فشار بود. کمپرسورهایی برای بالابردن فشار بکار گرفته شده بود. واحد جوش آورنده مجدد-کندانسور یکپارچه سازی شده در تصویر 10 نشان داده شده است که در ته ستون LP قرار دارد و درست بالای ستون HP است. تفاوت در نقاط جوش به دلیل تفاوت در فشار نیروی محرک برای انتقال گرما در سیستم جوش آورنده مجدد-کندانسور یکپارچه سازی شده می شود. همانگونه که در تصویر نشان داده شده است، جریان بخار ترک کننده ستون HP در کندانسور فشرده سازی شده و گرمای آزاد شده برای جوش آورنده مجدد مزدوج جهت تولید جریان بخار برای ستون LP بکار می رود. در اینجا جوش آورنده مجدد دقیقا به شکل یک سینی معمولی رفتار می کند.

#### **4.5 ستون با دیوار تقسیم شده واکنش دهنده**

امروزه، فشرده سازی پروسه یک حیطة تشنه تحقیق در مهندسی شیمی و رشته های مرتبط می باشد چون مزیت های احتمالی بسیاری را هم ارائه می دهد از جمله کاهش در اندازه تجهیزات (سرمایه گذاری اندک)، بهبودها در کارایی پروسه و ایمنی، و مصرف انرژی کاهش یافته (هزینه عملیاتی پایین).



تصویر 10-نمایش شماتیک سیستم جوش آورنده مجدد-کندانسور در یک ساختار HICDiC

ستونهای تقطیر واکنش دهنده و ستونهای تقطیر یکپارچه سازی شده انرژی از مهمترین مثالهای فشرده سازی پروسه در مهندسی شیمی می باشند، هر چند اینها نمایانگر دو شیوه مختلف یکپارچه سازی می باشند.

Mueller & Kenig یک پروسه یکپارچه سازی شده جدید را با ترکیب ستون تقطیر واکنشی و ستون دیوار تقسیم کننده ارائه کردند. واحد منتج در شکل 11 نشان داده شده است که ستون دیوار تقسیم کننده واکنشی نامیده می شود. منطقه واکنشی می تواند در هر طرف از دیواره یا هر دو طرف آن در نظر گرفته شود. چون ساختار نمایش داده شده در تصویر سه جریان محصول با خلوص بالا را در یک ستون منفرد بدست می دهد ، در نظر گرفتن سیستم های واکنشی ذیل توصیه می شود:

1) سیستم های واکنشی با بیش از دو محصول (برای مثال با واکنش های پیاپی و یک طرفه) که باید به

عنوان هر یک فراکسیون خالص بدست آید

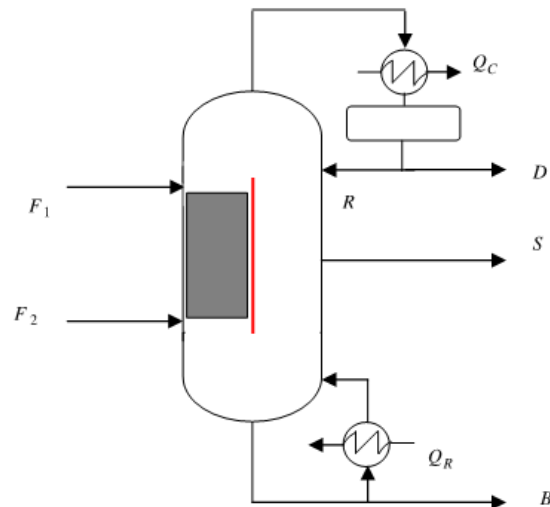
2) سیستم های واکنشی با اجزای غیرواکنش دهنده و با جداسازی دلخواه هم محصول و هم اجزای بی

حرکت.

3) سیستم های واکنش دهنده دارای اضافه ای از یک واکنش گر که باید با خلوص کافی قبل از بازیافت

شدن جداسازی شود.





تصویر 11- یک نمایش شماتیک از یک ستون تقطیر دیواره تقسیم کننده واکنشی

#### 4.6 یکپارچه سازی حرارتی در اصلاح و بهبود نفت

امروزه، تقاضای خودروها برای بنزین با اکتان بالا استفاده از عملیات بهبود کاتالیزوری را ایجاب کرده است. بهبوددهنده های کاتالیزوری تقریباً 30 الی 40 درصد از نیازهای بنزین امریکا را به انجام می رسانند. لازم به ذکر است که یک نیاز خاصی به محدودسازی محتوای آروماتیکی بنزین وجود دارد.

اصلاح کننده های نفت برای ترکیبات آروماتیکی عصاره گیری می شوند و آروماتیک ها اساساً بنزن، تولوئن و گزیلن به تقریباً ترکیبات خالص جداسازی می شوند. جداسازی با بکارگیری یک سری از واحدهای تقطیر متداول دوتایی مانند اجرا می شود.

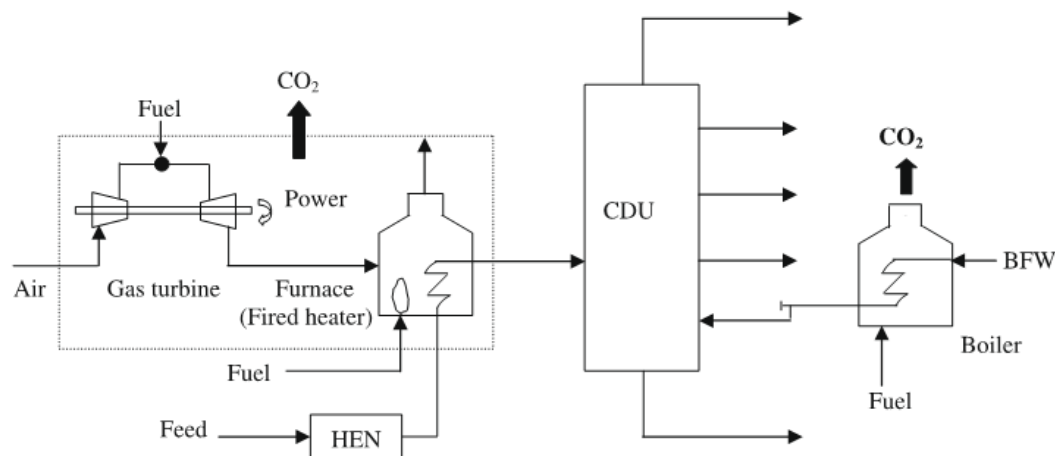
اخیراً، Lee و همکارانش کاربرد یک ستون تقطیر مزدوج حرارتی یا FTCDD را برای پروسه فراکسیون گیری در کارخانه اصلاح نفت بررسی کرده اند. در مطالعه ایشان، دو ستون اول پروسه جداسازی آروماتیک در کارخانه اصلاح کننده جایگزین یک FTDCD می شود که اساساً یک ساختار دوستونی Petlyuk دارند. نویسندگان نیز نشان دادند که FTDCD یک صرفه جویی انرژی 13 درصدی و کاهش هزینه سرمایه گذاری 4 درصدی را در مقایسه با پروسه سنتی دو ستونی ارائه می دهد.

#### 4.7 یکپارچه سازی حرارتی در واحد تقطیر نفت خام

دی اکسیدکربن ، یک گاز گلخانه ای، نقش مهمی رادر گرم سازی کره زمین انجام می دهد. این گاز در حدود دو سوم اثر گلخانه ای تقویت شده نقش دارد. مطالعات نشان می دهد که یک نقش مهم دی اکسید کربن صدور یافته به محیط مربوط به احتراق سوخت فسیلی است که در حدود 98 درصد از صدورات کل دی اکسیدکربن در امریکا در 1999 و 95 درصد صدورات دی اکسیدکربن کل در انگلیس در 2000 نقش داشته است. برای رعایت مقررات محیط زیست بنا به توافق پروتکل توکیو، صنایع پروسه شیمیایی نیاز به تکنولوژی با سرمایه فشرده برای کاهش گاز گلخانه ای بویژه صدورات گاز دی اکسید کربن دارد.

همانگونه که پیشتر گفته شد، واقعیت دارد که رابطه قوی میان مصرف انرژی در تقطیر و گازهای دی اکسیدکربن تولیدی در جو وجود دارد. هرچه تقاضای انرژی بالاتر باشد، صدورات گاز دی اکسید کربن به جو بیشتر است. واحدهای تقطیر نفت خام احتمالاً دی اکسیدکربن بیشتری را به محیط نسبت به پروسه های دیگر تقطیر آزاد می سازند. منابع صدورات دی اکسید کربن از سیستم های تولید برق (برای مثال توربین، کوره و دیگ بخار) یک واحد تقطیر نفت خام نمونه یا CDU در تصویر 12 آمده است. در ذیل تکنیک های مهم برای بهبود کارایی انرژی واحدهای تقطیر نفت خام روشن سازی شده است.

1) کارایی انرژی را می توان با کاهش دادن بار حرارتی روی کوره با نصب جوش آورنده های مجدد حدواسط در برجهای نفت خام تقویت سازی نمود.



تصویر 12- منابع صدورات دی اکسیدکربن از یک CDU (HEN: شبکه مبدل حرارتی، BFW: آب تغذیه دیگ

بخار)

2) با استفاده از واحدهای پیش تخلیه یا پیش تقطیرکننده در برجهای تقطیر نفت موجود ، یک مقدار خوب صرفه جویی انرژی را می توان در کوره حاصل کرد.

3) امکان دارد که در انرژی با استفاده از سینی های بیشتری در CDUهای موجود و تهی سازها و نیز جوش آورنده های مجدد در ستونهای تهی سازی صرفه جویی نمود.

4) کارایی انرژی را می توان با حداقل سازی صدورات گاز شعله از سیستم های تولید برق از طریق تغییر سوختها یا طراحی سیستم تولید برق، جبران حرارتی بهبود یافته و تصفیه شیمیایی گازهای دودکش بهبود داد.

5) صدورات گاز دودکش و با اینحساب هزینه های عملیاتی را می توان به سرعت با ترکیب یک توربین گازی با یک سایت پالایشگاه موجود کاهش داد.

6) با بهینه سازی شرایط پروسه، Gadalla و همکارانش نشان دادند که نصب های نفت خام را می توان تا 21 درصد در انرژی و 22 درصد در صدورات گاز مورد صرفه جویی قرار داد. بعلاوه، با ترکیب یک توربین گازی با برج نفت خام، صدورات کل را می توان باز تا 48 درصد کاهش داد.

در این نقطه، باید اشاره شود که همراه با پیشرفت تکنولوژی یکپارچه سازی انرژی ، توجه تحقیقاتی باید به سوختهای جایگزین معطوف شود که در کاهش گاز گلخانه ای نقش دارند.

#### 5- ساختارهای بهبود یافته شمای HIDiC

همانگونه که در شکل 1 نشان داده شده است، ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی به طور مرسوم شامل سازگارکننده-جوش آورنده مجدد و سازگارکننده-کندانسور است. هرچند جوش آورنده مجدد و کندانسور در ساختار HIDiC ترکیب شده اند، بار حرارتی آنها به طور قابل ملاحظه ای کمتر از مال کندانسور بازروانی و جوش آورنده مجدد پایینی ترتیب داده شده در پروسه تقطیر مرسوم است. برای اینکه ساختار HIDiC کارایی انرژی بیشتری داشته باشد، پیکربندی های بهبود یافته این ساختار به طور اساسی بررسی شده است و آنها در ذیل ارائه می شود.

#### 5.1 شمای ایده آل HIDiC یا i-HIDiC

تصویر 13 نشاندهنده یک دیاگرام شماتیک یک شمای i-HIDiC است که چه یک جوش آورنده مجدد و چه یک کندانسور ندارد. همانند سایر پیکربندی های شرح داده شده در ذیل درباره HIDiC، این شمای مزدوج سازی حرارتی را بین ستونهای تقطیرکننده مجدد و تهی سازی از طریق یک تعداد مبدلهای حرارتی داخلی در نظر می گیرد. برای انجام جریان حرارت داخلی از یک ستون به ستون دیگری، یک نیازی برای ایجاد تفاوت در درجه حرارت میان آن ستونها وجود دارد. برای داشتن یک درجه حرارت محرک نیرو، بخش تقطیرکننده مجدد در فشار بالاتر از ستون تهی سازی کار می کند. همانگونه که اشاره گردید، افتراق فشار مبین یک افتراق منطبقه در درجه حرارت عملیاتی است. یک کمپرسور و یک شیر کاهنده برای این منظور بکار می رود.

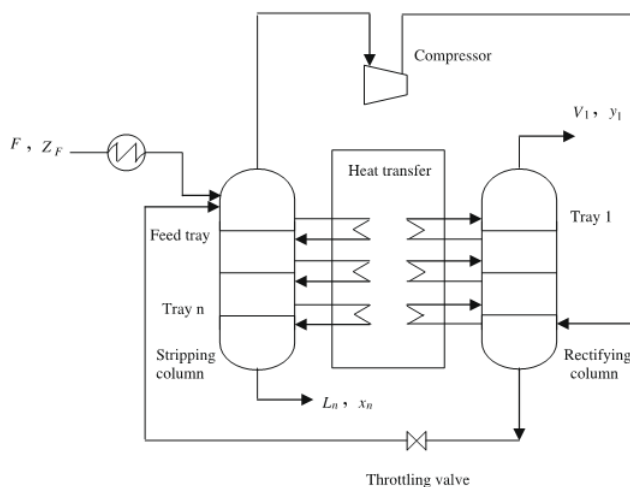
یکپارچه سازی حرارتی داخلی در یک HIDiC منجر به تبخیر تدریجی در طول بخش تهی سازی و فشرده سازی تدریجی در طول بخش تقطیرکننده مجدد می گردد. به این شیوه، جریان بازروانی برای بخش تقطیرکننده مجدد و جریان بخار برای بخش تهی سازی تولید می شود. با این حساب کندانسور و جوش آورنده مجدد برای شمای ایده آل HIDiC نیاز نیست و هر دو هزینه های ثابت و عملیاتی کاهش می یابد. به دلیل فقدان جوش آورنده مجدد و کندانسور در شمای i-HIDiC، مشکلاتی در عملیات ایجاد می شود که بویژه در مرحله شروع است. برای غلبه بر این مشکل، Natio و همکارانش یک عملیات راه اندازی شروع را مطرح نمودند. در این سیاستگزاری جوش آورنده مجدد و کندانسور در عملیات هستند تا زمانی که خلوص مشخص شده ماده تقطیر شده و محصولات پایینی حاصل آید. کمپرسور و شیر سوپاپ به یقین یک نقش حیاتی را برای رسیدن به ارزش دلخواه بازی می کند. بالاخره محصولات شروع به بیرون آمدن با تعویض کنترل کننده های ترکیب محصول (یا درجه حرارت سینی) می کنند. در ضمن، میزان بازروانی و جوش آورندگی مجدد به تدریج به صفر کاهش می یابد. به عنوان یک راه جایگزین، یک پیش گرم کننده تغذیه را می توان همانند شکل نصب کرد.

در این پیش گرم کننده، جریان تغذیه با یک منبع گرمای خارجی گرم می شود. اما در این گزینه یک شانس بالایی برای معکوس سازی انتقال حرارت از ستون تهی سازی به ستون تقطیرکننده مجدد وجود دارد که نه تنها به مصرف انرژی اضافی منجر می شود بلکه نیز ریسک های مسائل عملیات احتمالی را هم دارد.

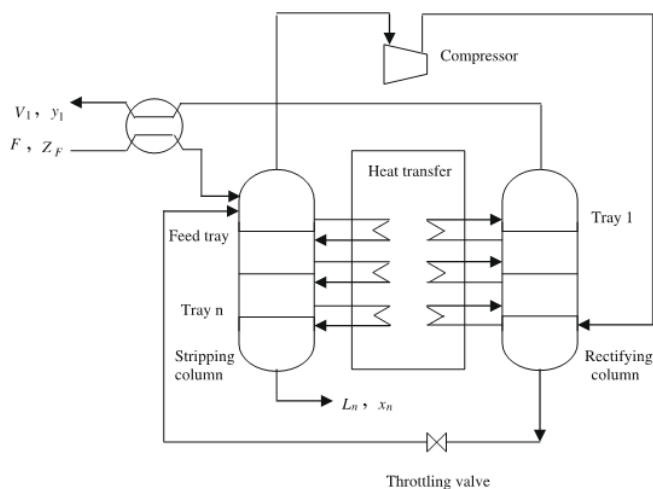
## 5.2 شمای i-HIDiC فشرده سازی شده یا int-i-HIDiC

شمای i-HIDiC فشرده سازی شده با یک تغییرشکل جزئی i-HIDiC پیکربندی می شود. در اینجا مخلوط تغذیه قبل از ورود به ستون تهی سازی گرم می شود. چون بخار روی سر در فشار بالا و درجه حرارت بالا است، می تواند به شکل منبع حرارت احتمالی برای پیش گرم سازی تغذیه بکار رود. ساختار منتج نشان داده شده در تصویر 14 در اینجا به شکل ساختار فشرده ساز کننده i-HIDiC نامیده می شود.

Int-i-HIDiC را می توان باز تحت نام ساختارهای (L) int-i-HIDiC و (V) int-i-HIDiC اصلاح کرد. پیکربندی قبلی که در تصویر 15 نمایش داده شده است باز شامل یک کندانسور روی سر اساسا برای بهبود قابلیت کنترل می باشد. کندانسور و پیش گرم کن تغذیه همزمان حرارت را از تقطیرکننده بخار داغ جذب می کند و در نتیجه بخار فشرده سازی شده و بعد در بشکه بازروانی تجمع می یابد.



تصویر 13- یک نمایش شماتیک از یک شمای i-HIDiC



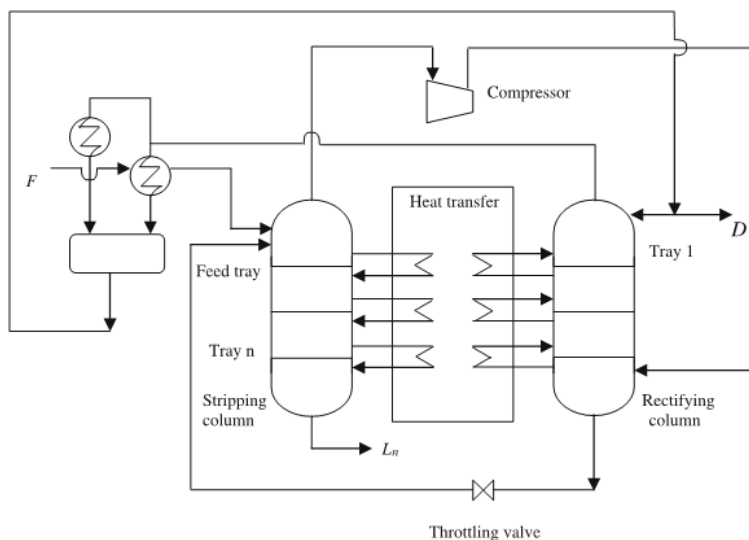
تصویر 14-نمایش شماتیک از یک شمای i-HIDiC

این HIDiC ایده آل را در اینجا int-i-HIDiC می نامند چون محصول بالایی به شکل یک جریان مایع (L) تخلیه می شود.

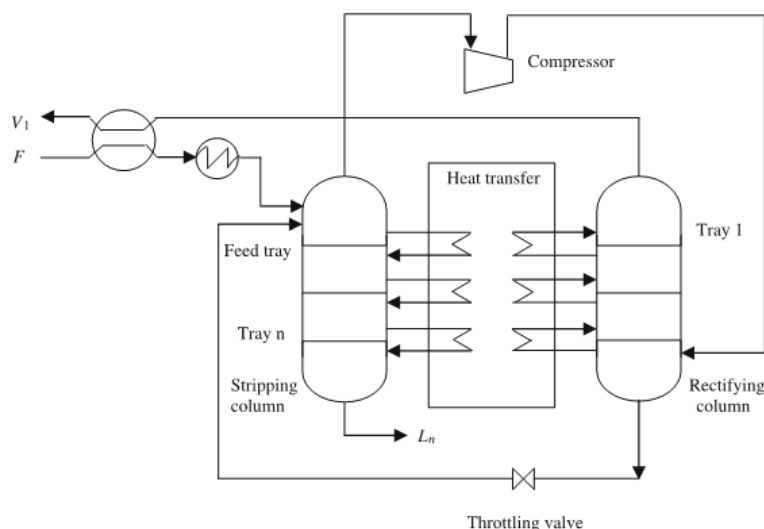
در پیکربندی int-i-HIDiC نمایش داده شده در تصویر 16، جریان تغذیه ابتدا گرما را از بخار روی سر دریافت می کند و بعد از طریق یک سازگار کننده-پیش گرم کننده قبل از ورود به ستون می گذرد. ماده تقطیر شده می تواند از این i-HIDiC فشرده سازی شده به شکل جریان بخار (V) خارج شود و از اینرو احتمالاً به آن شمای int-i-HIDiC (V) می گویند.

Fukushima و همکارانش یک مطالعه مقایسه ای را میان پیکربندی های مختلف HIDiC همراه با ستون تقطیر متداول یا CDiC از لحاظ مصرف انرژی براساس درصد گزارش دادند (برابر با 100 ضربدر (انرژی مصرفی توسط HIDiC تقسیم بر انرژی مصرفی توسط CDiC)). در مقاله شان، درصد مصرف انرژی CDiC، HIDiC، i-HIDiC و HIDiC را به شکل 100، 79، 64.6 و 46.4 درصد به ترتیب داده اند. مشهود است که پیکربندی int-i-HIDiC شمای با کارایی انرژی بیشتری است. همانگونه که قبلاً گفته شد، زمانی که میزان جریان تغذیه بالای ارزش طراحی شده افزایش یافته است، i-HIDiC اقتصادی نیست و در چنین وضعیتی، کل HIDiC ترجیحاً به کار می رود.

HIDiC ها نویدبخش ترین ساختارهای جداسازی بویژه از لحاظ صرفه جویی در انرژی می باشند. اما به نوبه خود، این پیکربندی ها دربرگیرنده پیچیدگی طراحی فوق العاده، سختی عملیاتی، و مسائل کنترل می باشد. هرچند مفهوم HIDiC حول 1970 ارائه گردید، هنوز در عملیات صنعتی بکار گرفته نشده است.



تصویر 15- ارائه شماتیک یک شمای i-HIDiC فشرده شده



تصویر 16- یک نمایش شماتیک یک شمای i-HIDiC فشرده سازی شده

قبل از تجاری سازی تکنولوژی HIDiC، یک نیاز خاصی به بهبود بیشتر ساختار HIDiC وجود دارد. بحث ذیل متمرکز بر چندین مسئله برای بهبود است.

## 6-HIDiC: مسائل تحقیقاتی آتی

### 6.1 مدل سازی پروسه

تدوین مدل ریاضی برای ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی مانند سایر پروسه ها نیاز به دلایل بسیاری مانند درک دینامیک ستون، تخمین پارامترهای پروسه معلوم غیردقیق، سنتز کنترل کننده های مبتنی بر مدل و غیره دارد. بنابراین توجهی باید به ساختن یک ساختار مدل مستحکم نمود بنابراین می توان مشخصات پروسه را به دقت پیشگویی کرد.

یک مدل اصول اولیه مفصل از HIDiC شامل ذخیره مایع متغیر روی هر سینی، تعادل انرژی، رفتار مرحله غیرایده ال، افت فشار از میان هر مرحله و فرمول Francis weir غیرخطی برای هیدرولیک های سینی می باشد. بعلاوه، ترکیب یک مدل ترمودینامیک برای ارائه غیرخطی فاز در ساختار مدل HIDiC به دلیل تقطیر فشار بالا بویژه عملیات تقطیر مجدد و مخلوط تغذیه غیرایده آل خیلی نیاز است. اثرات غیرخطی بودن فاز روی مشخصات i-HIDiC به ندرت در متون علمی گزارش گردیده است.

یک تعداد محدودی از مقالات مدلسازی بنیانی و شبیه سازی ساختارهای عملیاتی i-HiDiC را در نظر می گیرند. اخیراً Fukushima و همکاران و Kano و همکاران یک شبیه ساز مستحکم برای i-HiDiC را با استفاده از مدلساز Aspen Custom Modeler تدوین کرده اند. علاوه بر بهبود مدل i-HiDiC مبتنی بر تعادل ترکیب کننده پیشنهادات فوق، نیز مبذول داشتن تلاشهای بیشتر برای تدوین مدل مبتنی بر سرعت، مدل تجربی شامل مدل مبتنی بر ANN و مدل هیبرید (ترکیبی از اصول تجربی و اولین اصول) نیاز است. لازم به ذکر است که زمانی که مدل شبیه سازی شده آماده شد، باید از لحاظ آزمایشگاهی تحت شرایط واقع گرایانه مختلفی رویی سازی گردد. آنگاه تنها مدل مستحکم مناسب برای استفاده برای پیکربندی پروسه بهینه براساس حساسیت پارامتری، پیشگویی دینامیک پروسه، آنالیز تئوریک حالات ایستای چندگانه، طراحی کنترل کننده مبتنی بر مدل و غیره می باشد.

## 6.2 طراحی بهینه

درک می شود که HiDiC یک مزیت جذاب صرفه جویی انرژی زیادی را در مقایسه با ستون های تقطیر متداول و برخی ستونهای تقطیرهای غیرمتداول یا VRC به هزینه یک سرمایه افزایش یافته به دلیل کمپرسور و پیچیدگی افزایش یافته ستون ارائه می دهد. مشهودا، یک نیازی به طراحی پیکربندی بهینه HiDiC ایجاد می شود بنابراین هزینه سالانه کل یا TAC به طور منطقی پایین است.

در این مقاله، ما HiDiC را به شماهای مختلف دسته بندی کرده ایم. این پیکربندی ها باز تفاوتی بر تقطیر مرسوم اساساً به دلیل ترتیب دهی یکپارچه سازی حرارتی و ورود کندانسور بازروانی و یا جوش آورنده مجدد ایجاد می کند. این تفاوت در پیکربندی ممکن است ایجاد ملاحظات جدیدی هنگام طراحی HiDiC بکند.

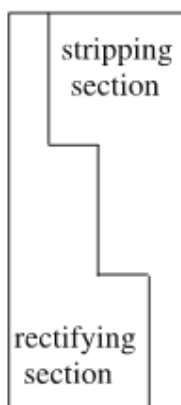
در طراحی یک ساختار HiDiC، برخی نکات مهم در ذیل ارائه شده است که نیاز به در نظرگیری دارد.

– لازم است HiDiC با تغییر قطر همراه با طول هم بخشهای تهی سازی و هم تقطیرکننده مجدد طراحی گردد چون مساحت مقطع ستون متناسب با میزان جریان بخار است. در ستون تقطیرکننده مجدد، بخار به تدریج در طول طول کندانسه شده و در نتیجه میزان جریان بخار حین اینکه از ته به بالا حرکت می کند، کاهش می یابد. برعکس، در بخش تهی سازی، مایع به تدریج در طول ستون تبخیر شده و میزان



جریان بخار حین اینکه به سمت بالا می رود افزایش می یابد. یک مقطع نمونه یک HIDiC عملیاتی در تصویر 17 نشان داده شده است.

- از نقطه نظر صرفه جویی در مصرف انرژی، همیشه انتظار می رود که یک اختلاف درجه حرارت اندک میان بخش های تهی سازی و تقطیرکننده مجدد حرارتی مزدوج وجود داشته باشد.



تصویر 17- یک مقطع نمونه از یک شمای عملیاتی HIDiC

ازاینرو برای دستیابی به جداسازی خوب، طراحی HIDiC باید به نحوی باشد که الزامات مساحت انتقال حرارتی بزرگ را به ازای هرسینی رعایت کند.

- به خوبی مشخص است که برای تقطیر یک مخلوط با نقطه جوش نزدیک یک نسبت بازروانی بزرگ امکان دستیابی به خلوص محصول مطلوب را می دهد. باز، ستونهای تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی نسبتاً قطر کوچکی به دلیل چگالی افزایش یافته بخار در فشار بالا دارد. در عمل، مشکل است که یک جریان مایع بزرگ را در یک HIDiC با قطر کوچک پر شده با ماده بسته بندی را مدیریت کرد. با اینحساب برای عملیات با فشار بالای کافی، استفاده از طراحی HIDiC از نوع سینی دار پیشنهاد می شود.

- دربرخی موارد برای مثال زمانی که میزان جریان تغذیه بالاتر از ارزش طراحی شده باشد و زمانی که محصولات با خلوص بالا مورد انتظار باشد، نیاز به نسبت فشرده سازی بالایی (فشار در ستون تقطیرکننده مجدد/فشار در ستون تهی سازی) وجود دارد. در نتیجه، مزیت HIDiC از لحاظ صرفه جویی در انرژی کاملاً از دست می رود چون برق لازم برای عملیات کمپرسور چندین برابر گران تر از

بخار گرم سازی شده لازم برای جوش آورنده مجدد است. از اینرو، توصیه می شود که از HIDiC کلی استفاده شود که جوش آورنده مجدد-سازگارکننده و یا سازگارکننده-کندانسور را هنگامی که نسبت فشرده سازی بالا در عملیات تقطیر نیاز است، همراهی کند.

یک رهیافت طراحی سیستماتیک برای HIDiC و CDiC به عنوان یک عملیات تکراری توصیه می شود. در طراحی یک ستون، هدف غایی به حداقل رسانی هزینه سالانه کل است که حاصل جمع هزینه عملیاتی یا OC و سرمایه سالانه است. سرمایه CI شامل هزینه تجهیزات (ستون تقطیر، مبدل‌های حرارتی و کمپرسورها) و هزینه عملیاتی شامل هزینه برق و گاز و آب (گرم سازی بخار، سردسازی آب و برق) می باشد. سرمایه سالانه با تقسیم CI بر دوره پرداخت T محاسبه می شود که CI/T باشد. Douglas گزارش فرمولهای تخمین هزینه را برای تجهیزات تقطیر داده است و Nakaiwa و همکارانش روی شاخص های هزینه برای برق و آب و گاز بحث کرده اند. گفته شده که یک جریمه 20 درصدی برای HIDiC به دلیل سختی متضمن در نصب ترتیبات انتقال حرارتی داخلی اضافه شود.

این تکنیک طراحی بازگشتی هدفش حفظ TAC در حداقل با تعیین تعداد کل سینی ها از طریق تکرار می باشد. معمولاً دوره بازپرداخت سه ساله در تخمین هزینه برای ساختار HIDiC فرض شده است. اما Nakaiwa و همکارانش زمان بازپرداخت 2.78 ساله را برای یک کارخانه در مقیاس سکویی را محاسبه کرده اند. تاکید خاصی بر طراحی بهتر شمای HIDiC شده است از اینرو دوره بازپرداخت باز کاهش می یابد.

### 6.3 حالات ایستای چندگانه

وجود حالات ایستای چندگانه یا MSS سختی ها را در عملیات و کنترل افزایش می دهد. از یک نقطه نظر کنترلی، تعددسازی را می توان به دو دسته طبقه بندی کرد: تعددسازی خروجی و تعددسازی ورودی. اولی مبین ارزشهای خروجی متعدد برای همان اختصاصی بودن ورودی است درحالیکه دومی مبین مشخصات ورودی متعددی با شرط همان خروجی است. با اشاره به شمای کنترل، متغیرهای ورودی آنهایی هستند که می توانند با شیرهای کنترل دستکاری شوند یا سایر وسایل راه انازی و متغیرهای خروجی آنهایی هستند که یا کنترل شده یا برای شرح پروسه اندازه گیری می شوند.

حالات ایستای متعدد در تقطیر متداول از مطالعات شبیه سازی از دهه 1970 شناخته شده است. اما در سال گذشته Hasebe و گروه تحقیقاتی اش ابتدا مفهوم MSS را در یک ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی ارائه داده اند که در آن حرارت از بخش تقطیرکننده مجدد به بخش تهی سازی از طریق یک دیوار تقسیم کننده منتقل گردیده بود. مدل اصول اول برای تحلیل تعددسازی استفاده شد. نویسندگان مشاهده کردند که شرایط غیرایستا تا حد زیادی بستگی به سیاستگزاری های عملیات کمپرسور دارد.

وجود حالات ایستای متعدد یک حیطة تحقیقاتی HIDiC است که تنها برای بررسی شروع می شود. تحلیل MSS اطلاعات مفیدی را برای انتخاب شمای کنترل، سیاستگزاری عملیات، شرایط عملیاتی، و طراحی پروسه ارائه می کند. قابل ذکر است که یک قانون کنترل مناسب برای توصیه با متغیر دستکاری شده متغیر کنترلی مناسب همراه با تثبیت یک ستون با حلقه باز غیرایستا نیاز است. نیز باری یک پروسه که حالات ایستای متعددی دارد، مراقبت خاصی را باید طی شروع ستون برای نزدیک سازی ستون به حالت ایستای مطلوب مبدول داشت.

#### 6.4 شناسایی سیستم

برای طراحی یک شمای HIDiC، یکی از مراحل کلیدی یافتن پارامترهای علمیاتی بهینه مانند فشار بخش تقطیرسازی مجدد و شرایط حرارتی تغذیه است. Liu & Qian اولین بار یک مدل بهینه سازی شده از پارامترهای علمیاتی i-HIDiC را برای بدست آوردن مقادیر پارامتر بهینه تحت شرایط حالت ایستا برای تضمین نه تنها کیفیت محصول و صرفه جویی انرژی ماکزیمم بلکه برای قابلیت عملیات و قابلیت کنترل مطرح کرده اند. در مطالعه ایشان، ستون نمونه پاسخ حلقه بسته صاف را با کنترل کننده های PID ارائه کرد و بهینه سازی عملیات حالت ایستا نیازهای بهینه سازی i-HIDiC را رعایت کرد.

اما مقادیر پارامتری بدست آمده با حل مسئله بهینه سازی حالت ایستا ممکن نیست عملکرد رضایت بخشی را در حالت ناپایدار فراهم کند و حتی ممکن است باعث عدم ایستایی حلقه بسته گردد. برای اجتناب از این شرایط نامطمئن، یا یک سیاستگزاری کنترل پیشرفته باید برای بهبود قابلیت ثبات عملیات توصیه شود یا مسئله بهینه سازی دینامیک باید حل شود. در بحث ذیل، تقاضای قوانین کنترل غیرخطی پیشرفته برای HIDiC ارائه شده است.

تا کنون، هیچ کس مورد بهینه سازی دینامیک را برای یافتن ارزشهای پارامتر عملیات بهینه حل نکرده است.

## 6.5 کنترل غیرخطی پیشرفته

قبل از طراحی یک سیستم کنترل برای عملکرد حلقه بسته یک شمای HIDiC، مهم انتخاب بهترین جفتهای کنترل احتمالی است. از این لحاظ، برخی پیشرفتهها را در مقالات متون علمی ذکر کرده اند. برای مثال Roffel و Zhu& Liu جفت سازی مناسبی را براساس روش آرایه سود نسبی یا RGA انتخاب کردند. Fukushima و همکارانش در جدول 3 مقاله خود حلقه های کنترل احتمالی و ارزش بازده نسبی منطبقه را برای ساختارهای تقطیر معمول، HIDiC، i-HIDiC، int-i-HIDiC و int-i-HIDiC (L) فهرست کرده اند.

همانند ستون تقطیر معمول، هدف کنترل اولیه HIDiC حفظ کیفیت محصولات بالا و پایین درمقادیر مشخص شده شان می باشد. کنترل ترکیب مستقیم ساختارهای HIDiC توسط چندین محقق ارائه شده است. اما کنترل درجه حرارت، به جای کنترل ترکیب، ممکن است مرجح باشد چون آنالیزهای ترکیب گران هستند، نیاز به نگهداری بالا و ارائه زمان نهایی به حلقه کنترل دارند. ذکر این نکته مهم است که انتخاب سینی ها به درجه حرارت کنترل یکی از مسائل مهم در مطالعه حلقه بسته است. اخیرا یک سیستم کنترل درجه حرارت جدید برای i-HIDiC توسط Huang و همکارانش ارائه شده است. تاکیدی باید روی بررسی شماهای کنترل درجه حرارت پیشرفته صورت گیرد.

به عنوان راه دیگر برای کنترل کننده ترکیب، فرد ممکن است یک راهکار کنترل مبتنی بر سنسور نرم افزاری افتراقی را طراحی کند. در این شما، ترکیب محصول ستون کنترل شده می تواند با استفاده از سنجش های ثانویه مناسب ایجاد شود (برای مثال درجه حرارت های متعدد). سنسور نرم افزاری می تواند با استفاده از تکنیک رگرسیون چندمتغیره، شبکه های عصبی مصنوعی، مدل پروسه مستقیم، و سایر تکنیک های معدودی انجام گیرد. برای سیستم های باینری، رهیافت طراحی وسیله حس گر نرم افزاری موجود است. نیز Quintero-Marmol و همکارانش یک سنسور نرم افزاری ترکیبی را برای یک سیستم سه گانه ایده آل ایجاد کردند. مسئله اصلی آن است که میزان عدم صحت ممکن است در ترکیبات محصول محاسبه شده توسط سنسور نرم افزاری مهم باشد. از اینرو، قبل از استفاده از یک سنسور نرم افزاری در ساختار کنترل افتراقی باید مطمئن شد که پیشگویی دقیقی از دینامیک ترکیب فراهم شده توسط سنسور وجود دارد.

مقالات خیلی معدود کنترل حلقه بسته ستونهای تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی را در نظر گرفته اند. شاید همگی آنهایی که تاکنون در دسترس بوده اند با شماهای کنترل خطی از جمله کنترل کننده های مشتق انتگرالی نسبتی یا PI یا PID و کنترل کننده مدل داخلی یا IMC سروکار داشته اند.

زمانی که کندانسور بازروانی و جوش آورنده مجدد پایینی را درون یک برج تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی ترکیب کنند، پیکربندی کنترل می تواند همانند واحد تقطیر معمول باشد. همانگونه که گفته شد، یک ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی که دربرگیرنده ترکیب حرارتی میان بخشهای تقطیرکننده مجدد و تهی سازی است بدون یک جوش آورنده مجدد و یک کندانسور طراحی می شود. هرچند این ساختار دارای احتمال صرفه جویی های انرژی زیادی است ولی به دینامیک های پیچیده ای منجر می شود. به دلیل درجه بالاتر مزدوج سازی حرارتی میان دو بخش، تعاملاتی احتمالا به طور معنی داری فشرده سازی شده اند. مورد سوظن است که تعامل حرارتی ممکن است منجر به پروسه غیرایستایی شود که راه اندازی آن کاملا با کنترل کننده های معمول PD سخت است.

علاوه بر یکپارچه سازی حرارت داخلی میان ستونهای تقطیرکننده مجدد و تهی سازی، یکپارچه سازی حرارتی دیگری بین محصول بالای سر و جریانات تغذیه درون شماهای  $int-i-HIDiC$  ،  $int-i-HIDiC(L)$  و  $int-i-HIDiC(V)$  وجود دارد. این دو یکپارچه سازی حرارتی با هم تعامل دارد و در نتیجه عملیات پروسه باز پیچیده تر می شود. اثبات شده است که  $i-HIDiC$  فشرده سازی شده در اصل یک قطب در منشا صفحه پیچیده است و از اینرو یک پروسه یکپارچه سازی حلقه باز می شود. در واقع یک بازیافت حرارتی داخلی در ساختارهای  $int-i-HIDiC$  ایجاد می شود و کاملا به احتمال منجر به یک پروسه غیرایستای حلقه باز می شود که به موجب آن تخریب قابلیت کنترل پروسه را صورت می دهد و دربردارنده یک مسئله چالش برانگیزتر است. این وضعیت را تنها می توان به طور کارامدی با استفاده از یک روش کنترل کیفیت بالا مدیریت کرد. از اینرو ما نیاز به قضاوت داریم که آیا یکپارچه سازی حرارت باید به سطح خاصی امکان دهد از اینرو سیستم ایستای حلقه باز باقی می ماند یا اینکه مسئله عدم ایستایی حلقه باز به دلیل یکپارچه سازی حرارت کامل باید به وسیله سیستم کنترل پیشرفته حل شود.

به دلیل دینامیک پیچیده، خیلی مشکل است که یک مدل خطی را ایجاد کنیم که بتواند رفتار HIDiC را به دقت پیشگویی کند. در نتیجه یک عدم تطابق کارخانه با مدل هست که کاربرد برخی راهکارهای کنترل مبتنی بر مدل خطی را مانند ساختار IMC بویژه در سیستم های با خلوص بالا محدود می سازد. برای بدست آوردن یک عملکرد حلقه بسته رضایت بخش، از اینرو لازم است که یک قانون کنترل چندمتغیره غیرخطی پیشرفته را حول ستونهای تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی تعاملی غیرخطی قوی بکار بندیم (برای مثال کنترل کننده پیشگویی کننده مدل غیرخطی، کنترل کننده خطی سازی کننده جهانی و کنترل کننده حالت لغزشی). براساس دانش ما، هیچ کار تحقیقاتی منتشره درباره کنترل غیرخطی پیشرفته ستونهای تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی وجود ندارد.

## 6.6 ارزیابی آزمایشگاهی

هرچند ستون تقطیر یکپارچه سازی شده حرارتی خیلی قبل مطرح گردیده است، معدود تست های زمان واقعی تا کنون گزارش شده است. یک مطالعه آزمایشگاهی روی i-HIDiC ابتدا در سال 2000 و برای جداسازی مخلوط بنزن-تولون اجرا گردید. کار Naito و همکارانش شامل عملیات پروسه در شرایط شروع و معمول با و بدون بازروانی خارجی و جریانات جوش مجدد بوده است. صرفه جویی انرژی با استفاده از تنظیم i-HIDiC نیز در مطالعه ایشان به اثبات رسیده است. یک مقاله منفرد برای جداسازی مخلوط باینری موجود است و هیچ کار آزمایشگاهی تا کنون برای جداسازی یک مخلوط چندجزئی گزارش نشده است.

قبل از رفتن به تجاری سازی تکنولوژی HIDiC، پیشگویی های تئوریک باید با اجرای آزمایشاتی در مقیاسهای مختلف مورد تایید قرار گیرد. نیاز به اجرای یک سری آزمایشات برای بررسی سهولت عملیات، صرفه جویی انرژی واقعی، هزینه کل و اجرای کنترل وجود دارد. با بررسی سهولت پذیری اقتصادی و علمياتی، یک تصمیم گیری براساس مورد به مورد صورت می گیرد که آیا ستونهای تقطیر معمول موجود را می توان به شکل شمایهای HIDiC اصلاح کرد (یا جایگزین کرد) یا اینکه آیا کاربرد تکنیک یکپارچه سازی حرارتی جدید تنها محدود به کارخانجات آتی خواهد بود.

## 6.7 کاربردهای مطروحه مفهوم یکپارچه سازی حرارتی

همانگونه که پیشتر بحث گردید، اصول یکپارچه سازی حرارتی به طور موفقیت آمیزی در بسیاری عملیات تقطیر مانند تقطیر عصاره گیری، تقطیر دسته ای، تقطیر کرایوژنیک، و تقطیر نفت خام مورد کاربرد قرار گرفته است. تحقیقات بیشتر برای ایجاد ستونهای تقطیر مزدوج حرارتی دیگر نیاز است.

تقطیر واکنشی یک پروسه نوآورانه است که هم واکنش شیمیایی و هم تقطیر را به شکل یک واحد انحصاری درک کرده است. این روش از بسیاری مزیت های احتمالی بر تقطیر جداگانه به اضافه پروسه های واکنش مانند تبدیل بالاتر، هزینه سرمایه کاهش یافته، انتخاب پذیری بهبودیافته، مصرف انرژی پایین تر، دیدگاه برای جداسازی سخت، اجتناب از آزنوتروپ ها و بسیاری موارد دیگر بهره مند شده است. همین تازگی، یک ستون تقطیر واکنشی با دیوار تقسیم کننده مطرح شده است. برای بهبود کارایی انرژی باید به ایجاد ستون تقطیر واکنشی یکپارچه سازی شده حرارتی یا HIRDiC توجه کرد. در ایجاد ساختار HIRDiC، باید به رعایت محدودیتهای کلیدی تکنولوژی تقطیر واکنشی توجه کرد. محدودیتهای اصلی عبارتند از:

- 1) شرایط لازم برای واکنش باید با شرایط تقطیر مطابقت داشته باشد.
  - 2) فراریت نسبی واکنش گر و محصولات باید به نحوی باشد که غلظت بالای واکنش گرها و غلظت پایین محصولات را بتوان در منطقه واکنشی نگه داشت.
  - 3) از اینرو بررسی سهولت پذیری طراحی و عملیات HIRDiC توصیه می شود.
- کاربرد نیز می تواند به یک پروسه بسط یابد که در آن دو ستونهای تقطیری که مستقیماً به هم وصل هستند می تواند از لحاظ حرارتی مزدوج شوند. این ایده را می توان در انواع وسیعی از پروسه ها اجرا کرد.

## 7- نتیجه گیری ها

در مرور کنونی، چندین ساختارهای تقطیر مزدوج حرارتی ارائه شده است. اخیراً، اصل یکپارچه سازی حرارتی روی برخی از شمایهای جداسازی پیچیده از جمله تقطیر نفت خام اعمال شده است. در این مقاله، توجه اصلی به نویدبخش ترین عملیات کارآمد انرژی HIDiC و اشکال بهبود یافته آن از جمله HIDiC، i-HIDiC، int-i-HIDiC و int-i-HIDiC(L) و int-i-HIDiC(V) مبدول شده است.

طی چند دهه اخیر، اصل یکپارچه سازی حرارت ظهور یافت که به محققان امکان مطرح سازی مسائلی مانند صرفه جویی در انرژی، طراحی پروسه، سهولت پذیری عملیات و غیره را داده است. اما همه این مسائل برای

ستونهای تقطیر مزدوج حرارتی شبیه سازی شده درک نشده است. هرچند مفهوم HIDiC حول 1970 ارائه گردید، هنوز در مرحله اولیه تحقیقات برای دیدگاه علمياتی باقی مانده است و تا کنونی برای کاربردهای صنعتی تجاری سازی نشده است. برای بهبود تکنولوژی HIDiC، چندین وقفه تحقیقاتی و اولویت های آتی در این مقاله مروری شناسایی شده است. نیز مهم است که کاربرد اصل یکپارچه سازی حرارتی به سایر پروسه های تقطیر مانند تقطیر واکنشی راه یابد و دو ستون تقطیر که اتصال مستقیم ندارند، نیاز به بررسی دارد.



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