



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

شبیه سازی و بهینه سازی فرایند تولید سولفوریک اسید به روش مجاورت توسط نرم افزار Aspen Hysys

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

نام دانشجو

محمد فواد ابوئی مهریزی

استاد راهنما:

دکتر مداح

دکتر واصفی

فروردین ماه ۱۴۰۰



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

شبیه سازی و بهینه سازی فرایند تولید سولفوریک اسید به روش مجاورت توسط نرم افزار Aspen Hysys

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

نام دانشجو

محمد فواد ابوئی مهریزی

استاد راهنما:

دکتر مداح

دکتر واصفی

فروردین ماه ۱۴۰۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب محمد فواد ابویی مهریزی به شماره دانشجویی ۳۱۵۶ دانشجوی رشته مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: محمد فواد ابویی مهریزی

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما: دکتر مداح – دکتر واصفی

تاریخ:

امضا:

این پایان نامه را تقدیم به روح مادر عزیزم می‌کنم که تا زمانی که در این دنیا بود آرزو دیدن این لحظات را داشت ؛ به پدر و همسر عزیزم که در این راه اگر کمک و همدلی آنها نبود این کار انجام نمی‌پذیرفت. و ممنون از تمامی اساتید محترم که در طول این سال‌ها قبول زحمت فرمودند.

بر خود واجب می‌دانم از اساتید عزیز جناب آقایان دکتر مداح و واصفی که به عنوان اساتید راهنما در مراحل مختلف این پایانامه همواره با سعه صدر و گشاده رویی در کنار من بودند و در طول مدت تحصیل از راهنمایی‌های اخلاقی و علمی ایشان بهره جسته‌ام تشکر و قدردانی نمایم.

جناب آقای دکتر یاسی بیدین وسیله از بزرگواری، حسن سلوک و حمایت بی دریغ ایشان تشکر کرده و برای ایشان طول عمر توام با سربلندی را آرزومندم.

در این میان و در امر داوری از استاد گرانقدر جناب خانم دکتر علی محمدی که زحمت داوری رساله اینجانب را قبول فرمودند، قدردانی نموده و برای ایشان آرزوی طول عمر و سربلندی دارم

چکیده

سولفوریک اسید یک ماده شیمیایی اساسی است که در سراسر جهان به شدت مورد استفاده قرار می‌گیرد. می‌توان با اندازه‌گیری میزان مصرف سالانه سولفوریک اسید یک کشور، موفقیت آن کشور را تعیین کرد. همچنین سولفوریک اسید یک ماده شیمیایی اساسی بسیار مهم است که به‌طور گسترده در بخش‌های مختلف صنعتی استفاده می‌شود. هدف اصلی این مطالعه، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سود سالانه کارخانه سولفوریک اسید ۹۸.۴٪ توسط Aspen HYSYS ۳،۲ است. در این پروژه، فرآیند ساده‌سازی شده تولید سولفوریک اسید، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی می‌شود. به‌منظور شبیه‌سازی این فرآیند، از داده‌های عملیاتی کارخانه سولفوریک اسید WATA CHEMICALS LIMITED استفاده می‌شود. معیار بهینه‌سازی فرآیند به حداکثر رساندن سود سالانه است. این مطالعه برای کارآفرینانی که مایل به ساخت کارخانه سولفوریک اسید هستند مفید خواهد بود. همچنین این مطالعه برای بهره‌برداران کارخانه برای به حداقل رساندن الزامات سیستم فرآیند بسیار مفید خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: اسید سولفوریک، مبدل‌ها، Aspen HYSYS، سود سالانه، بهینه‌ساز

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
فصل ۲: مروری بر منابع و کارهای انجام شده	۱۲
۱-۲- مروری بر منابع	۱۳
فصل ۳: روش تحقیق	۱۷
۱-۳- مقدمه	۱۸
فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها	۵۰
۱-۴- نتایج شبیه سازی	۵۱
۲-۴- حداکثر کردن سود	۵۱
۱-۴- محدودیت ها	۵۳
فصل ۵: جمع بندی و پیشنهادها	۵۷
۱-۵- نتیجه گیری	۵۸
مراجع	۶۰

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) سولفوریک اسید	۳
شکل (۳-۱) مواد موجود در فرایند	۱۹
شکل (۳-۲) پکیج سیالاتی مورد استفاده	۱۹
شکل (۳-۳) تمامی واکنش های تعریف شده در فرایند	۲۰
شکل (۳-۴) واکنش تعریف شده اول	۲۰
شکل (۳-۵) واکنش تعریف شده دوم	۲۱
شکل (۳-۶) واکنش تعریف شده سوم	۲۱
شکل (۳-۷) واکنش تعریف شده چهارم	۲۲
شکل (۳-۸) واکنش تعریف شده پنجم	۲۲
شکل (۳-۹) واکنش تعریف شده ششم	۲۳
شکل (۳-۱۰) مشخصات فیزیکی جریان هوا	۲۴
شکل (۳-۱۱) سایر خصوصیات ترمودینامیکی جریان هوا	۲۵
شکل (۳-۱۲) مشخصات فیزیکی جریان گوگرد مایع	۲۵
شکل (۳-۱۳) راکتور تولید دی اکسید گوگرد	۲۶
شکل (۳-۱۴) شرایط جریانات حاکم بر خنک کننده بعد از راکتور	۲۷
شکل (۳-۱۵) مشخصات خنک کننده بعد از راکتور	۲۸
شکل (۳-۱۶) مشخصات راکتور تبدیلی اول	۲۹
شکل (۳-۱۷) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر راکتور تبدیلی اول	۲۹
شکل (۳-۱۸) شرایط جریانات حاکم بر خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی اول	۳۰
شکل (۳-۱۹) مشخصات خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی اول	۳۱
شکل (۳-۲۰) مشخصات راکتور تبدیلی دوم	۳۲
شکل (۳-۲۱) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر راکتور تبدیلی دوم	۳۲
شکل (۳-۲۲) شرایط جریانات حاکم بر خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی دوم	۳۳
شکل (۳-۲۳) مشخصات خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی دوم	۳۴
شکل (۳-۲۴) مشخصات راکتور تبدیلی سوم	۳۵
شکل (۳-۲۵) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر راکتور تبدیلی سوم	۳۵
شکل (۳-۲۶) شرایط جریانات حاکم بر خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی سوم	۳۶
شکل (۳-۲۷) مشخصات خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی سوم	۳۷
شکل (۳-۲۸) مشخصات راکتور تبدیلی چهارم	۳۸
شکل (۳-۲۹) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر راکتور تبدیلی چهارم	۳۸
شکل (۳-۳۰) شرایط جریانات حاکم بر خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی چهارم	۳۹

- شکل (۳-۳۱) مشخصات خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی چهارم ۴۰
- شکل (۳-۳۲) پارامترهای تعریف شده برج جذب اولیه ۴۱
- شکل (۳-۳۳) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر جذب اولیه ۴۲
- شکل (۳-۳۴) پارامترهای تعریف شده برج جذب دوم ۴۳
- شکل (۳-۳۵) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر برج جذب دوم ۴۳
- شکل (۳-۳۶) شرایط جریانات حاکم بر خنک کننده بعد از برج جذب دوم ۴۵
- شکل (۳-۳۷) مشخصات خنک کننده بعد از برج جذب دوم ۴۶
- شکل (۳-۳۸) خصوصیات جریانات حاکم بر پمپ ۴۷
- شکل (۳-۳۹) سایر خصوصیات پمپ شبیه سازی شده ۴۸
- شکل (۳-۴۰) نمای کلی از واحد شبیه سازی شده ۴۹

Formatted: Normal, Line spacing: Multiple 1.2 li, No widow/orphan control

فصل ۱:

مقدمه

اسید سولفوریک که برخی آن را با نام سولفوریک اسید می شناسند، مایعی با نقطه جوش بسیار بالا می باشد و مولکول های قطبی آن میتوانند به سادگی بایکدیگر پیوندهای قوی هیدروژنی برقرار کنند. اسید سولفوریک گران روی بسیار بالایی دارد، این ویژگی سولفوریک اسید ها باعث میشود تا اسید سولفوریک بتواند به هر مقداری در آب حل شود و محلول های اسیدی مختلفی تولید کند.

همانطور که گفتیم این اسید به هر مقداری در آب حل می شود و واکنش ترکیب آب و اسید سولفوریک واکنشی بسیار گرما زا است به همین جهت است متخصصین علوم شیمی و شیمیدان ها همواره توصیه میکنند تا اضافه کردن یکباره اسید سولفوریک به آب خود داری کنیم.

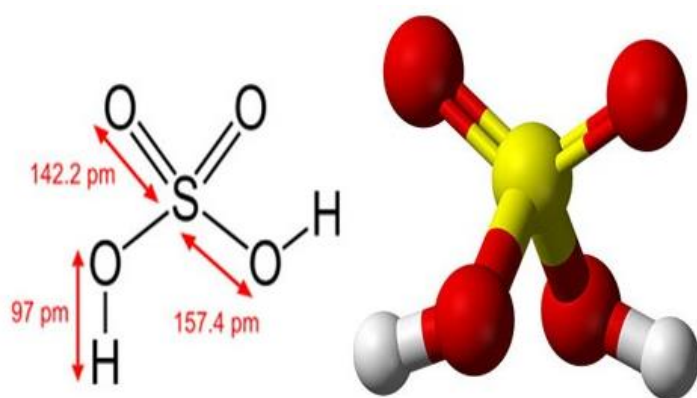
بطور کلی اسید سولفوریک میل ترکیب بسیار زیادی با آب یا H_2O دارد، این میل به ترکیب به اندازه ای زیاد است که سولفوریک اسید در زمان ترکیب و واکنش دادن با سایر مواد و عنصرها، هیدروژن (H) و اکسیژن (O) آنها را بایکدیگر ترکیب میکند و به صورت آب از ترکیب جدا می کند.

اسید سولفوریک ماده اصلی باران های اسیدی می باشد و علت آن ویژگی خورندگی بالای این اسید میباشد. باران اسیدی بر اثر ترکیب قطره های باران با آلاینده های موجود در هوا به وجود می آید.

اسید سولفوریک با اجسام از جنس فلز و به صورت کلی با فلزات بسیار سریع واکنش میدهد و مانند تمامی عناصر شیمیایی هرچه دما بیشتر باشد میزان و سرعت واکنش نیز افزایش پیدا میکند.

اما این ماده نیز مانند تمامی موجودات جهان دارای استثنا میباشد و استثنا اسید سولفوریک جیوه و سرب میباشد چرا که این اسید بسیار قوی بر روی جیوه و سرب هیچ تاثیری ندارد.

نکته ای که باید به آن توجه داشته باشید این است این اسید بسیار قوی است و برای استفاده از آن باید تمامی نکات و شرایط امنیتی را رعایت کنید.



شکل (۱-۱) سولفوریک اسید

اسید سولفوریک ۹۸ درصد خورنده است و بخش عمده ای از باران اسیدی را تشکیل می دهد. قطرات آب به هنگام بارش با آلاینده های معلق در هوا، واکنش می دهند و تولید اسید می کنند. در واقع قطرات آب با فلزات واکنش می دهد و هر چه دما بالاتر رود میزان این واکنش بیشتر خواهد شد اما تاثیری روی جیوه و سرب ندارد. سولفوریک در لیست مواد خطرناک قرار گرفته است.

سولفوریک اسید مایعی با نقطه جوش بالا، در حدود ۱۰ درجه سانتی گراد می باشد، همچنین ویسکوز است و گرانشی زیادی دارد. جرم مولی آن ۹۸.۰۷ گرم بر مول و چگالی آن ۱.۸۳ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. این ماده دارای مولکول هایی با گشتاور قطبی است که می توانند با یکدیگر پیوند هیدروژنی برقرار کنند،

همین شرایط مولکولی سبب می شوند که سولفوریک اسید به خوبی در آب حل شود، بنابراین می تواند محلول های اسیدی بسیار مختلفی تولید کند. سولفوریک اسید یک مایع بسیار قطبی است و دارای یک قطر دی الکتریک در حدود ۱۰۰ می باشد.

این ماده از هدایت الکتریکی بالایی برخوردار است، به گونه ای که در اثر تفکیک از طریق پروتون سازی توسط خود طی فرآیندی به نام اتوپروتولیز ایجاد می شود. اسید سولفوریک رایج ترین ماده شیمیایی برای کاهش pH در تصفیه آب است، اگرچه در بعضی مواقع از دی اکسید کربن نیز به خصوص در رابطه با آهک برای افزایش قلیائیت استفاده می شود.

اسید سولفوریک با اجسامی که در آن ها فلز وجود دارد و به صورت کلی با فلزات سریعاً واکنش می دهد و مثل تمامی عناصر شیمیایی هرچه دما بیشتر باشد میزان و سرعت واکنش نیز افزایش پیدا می کند. واکنش شیمیایی اسید سولفوریک با اجسام فلزی دارای یک استثناء می باشد، چون که این اسید بسیار قوی بر روی فلزات جیوه و سرب هیچ اثری ندارد.

فروش اسید سولفوریک توسط شرکت ها و مجموعه های مختلفی انجام میشود که در این میان میتوانیم به پترو آکام صنعت به عنوان یکی از معتبر ترین تولیدکنندگان و فروشندگان این صنعت نام ببریم.

همانطور که در ابتدای مقاله گفتیم، اسید سولفوریک به صورت طبیعی از گازهای خارج شده از آتش فشان بدست می آید اما روش های دیگری هم برای تولید اسید سولفوریک وجود دارد.

اسید سولفوریک از انحلال گاز SO_3 در آب قابل استخراج است، همچنین روش های دیگری نیز برای تولید اسید سولفوریک وجود دارد که در آزمایشگاه ها قابل اجرا هستند، اما نکته ای که باید به آن توجه داشته باشید این است که اسید سولفوریک باید در آزمایشگاه های مجهز و استاندارد تولید شود که پترو آکام صنعت

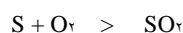
اسید سولفوریک از قدیمی ترین مواد شیمیایی است که با نام جوهر گوگرد شناخته می شد. سولفوریک اسید برای اولین بار توسط دانشمند ایرانی جابر بن حیان در قرن نهم کشف شد.

او این ماده را از طریق تقطیر خشک کانی هایی که شامل سولفات آهن (زاج سبز) و سولفات مس (کات کبود) بودند به دست آورد. بعدها افراد دیگری مانند جان گلوپر ، جان روبک و جوزف گیلوساک روش های دیگری را برای تولید این ماده ارائه دادند. امروزه اسید سولفوریک در صنعت و تولید مواد شیمیایی مختلف کاربرد دارد، بنابراین نیاز به روشی برای تولید بالا و مقرون به صرفه این ماده است. از واکنش SO_3 با آب می توان اسید سولفوریک تولید کرد اما این روش به دلیل گرمازا بودن واکنش و وجود مشکلات در کنترل واکنش عملی نیست از این رو برای تولید این ماده از روش تماسی در مجاورت کاتالیزور استفاده می شود.

یکی از تولیدکنندگان این اسید و مواد شیمیایی دیگر از جمله کات کبود سولفات مس در محیط آزمایشگاهی است. اسید سولفوریک کاربردهای گوناگونی دارد که در ادامه به معرفی و بررسی برخی از کاربردهای این ماده می پردازیم:

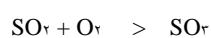
از اسید سولفوریک استفاده متعددی در تولید ترکیبات شیمیایی می شود، یکی از اصلی ترین و مهمترین کاربردهای این اسید در تولید کود های شیمیایی است، همچنین از این اسید استفاده هایی نیز در استخراج های مواد شیمیایی کاربردی، سنتز عنصرهای شیمیایی، تصویه پس آب های باقی مانده در دبی ها میباشد. اسید سولفوریک در طیف گسترده ای از مراحل کار در پالایشگاه های نفتی نیز کاربرد دارد.

در مرحله نخست گوگرد در مجاورت اکسیژن، اکسید شده و گوگرد دی اکسید به دست می آید. گوگرد مذاب در کوره پاشیده می شود و در انفجار هوای خشک در حدود ۱۳۰۰ کیلوگرم سوزانده می شود:



سپس گوگرد دی‌اکسید در مجاورت یک کاتالیزگر و در واکنش با اکسیژن اضافی به SO_3 یا گوگرد تری اکسید، اکسیده می‌شود:

سپس گوگرد دی‌اکسید در مجاورت یک کاتالیزگر و در واکنش با اکسیژن اضافی به SO_3 یا گوگرد تری اکسید، اکسیده می‌شود:



درنهایت از واکنش گوگرد تری‌اکسید با آب، محلول سولفوریک اسید تولید می‌شود. در ساخت یک تن اسید سولفوریک، یک تن بخار با فشار بالا نیز تولید می‌شود:

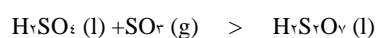


همچنین از واکنش گاز گوگرد دی‌اکسید با هیدروژن پراکسید (آب اکسیژنه) (نیز اسید سولفوریک تولید می‌شود:

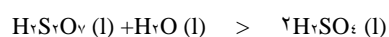


این واکنش در دمای معمولی سرعت پایینی دارد به همین منظور واکنش را در محیطی با دمای ۴۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی گراد انجام می‌دهند و برای واکنش از کاتالیزور وانادیم پنتوکسید (V_2O_5) استفاده می‌شود.

حال SO_3 را به اسید سولفوریک غلیظ وارد می‌کنند که از این واکنش پیرو سولفوریک اسید بدست می‌آید:



اگر به پیرو سولفوریک اسید مقدار مشخصی آب اضافه گردد اسید با غلظت مورد نظر حاصل می‌شود:



به کمک این اسید قوی میتوانیم یون نیترونیوم بدست آوریم که که از این ترکیب در نیترودار کردن ترکیبات استفاده های زیادی می شود.

از دیگر کاربردهای این اسید این است که از این ماده به عنوان محلول الکترولیت در باتری های سربی استفاده میشود، همچنین در صنایع تولید مواد منفجره همچون تری نیتروتولون نیز استفاده می شود. این اسید خاصیت آگیری بالایی دارد و در صنایع برای مصارف خانگی مانند تولید میوه های خشک به میزان کم برای خشک کردن میوه ها استفاده می شود.

اسید سولفوریک یکی از پرکاربردترین مواد شیمیایی در جهان است و بیشترین استفاده از آن در تولید کودهای شیمیایی می باشد، به گونه ای که حدود ۶۰ درصد از بازار مصرف این ماده، مختص به تولید این کودها می باشد.

از اسید سولفوریک جهت تولید کود آمونیوم سولفات استفاده می شود، این کود برای جبران گوگرد در خاک، مناسب است. زمانی که اسید سولفوریک را به خاک اضافه می کنیم، با آهک های موجود در خاک واکنش می دهد و باعث تولید سولفات کلسیم آبدار می شود که به عنوان گچ کشاورزی معروف است. این واکنش همچنین باعث تولید سولفات منیزیم می شود.

از مزایای اسید سولفوریک ۹۸ درصد برای باغ های کشاورزی، مزارع و باغچه ها این است که میزان قلیایی بودن خاک و آب را کاهش می دهد. چنانچه از این ماده به صورت منظم برای خاک استفاده شود، باعث می شود که تهویه خاک به درستی انجام شود و میزان نفوذپذیری خاک افزایش یابد. در صورت استفاده از اسید سولفوریک میزان شوری خاک کاهش پیدا می کند.

یکی دیگر از موارد استفاده اسید سولفوریک در صنعت کشاورزی، استفاده از آن برای نفوذپذیری آب و هوا در خاک رس است، نفوذپذیری هوا و آب در خاک رس به کندی صورت می گیرد. گاهی بعد از چندین روز آبیاری

هم، آب به خاک رس نفوذ نمی کند همین موضوع باعث می شود تهویه خاک به درستی انجام نگیرد و ریشه گیاه آسیب ببیند. اسید سولفوریک این مشکل را حل می کند.

ریشه درختان پسته به تهویه بسیار حساس می باشد و کشاورزان زیادی به دلیل عدم مرغوبیت خاک ضررهای زیادی دیده اند. اسید سولفوریک به عنوان یک ماده و کود شیمیایی قوی عمل می کند و باعث می شود که مشکلات کشاورزان در زمان استفاده از این گونه خاک ها حل شود.

اما در استفاده از اسید سولفوریک به عنوان کود باید این موضوع در نظر گرفته شود که کود دادن زیاد به زمین های زراعی باعث می شود که حاصلخیزی خود را از دست بدهند، لذا استفاده از آن باید احتیاط شود، مثلاً زمانی که سیب زمینی غده بسته است، به هیچ عنوان نباید به آن کود داد. همچنین از غلظت های کم سولفوریک اسید برای خشک کردن میوه ها و جذب آب درون آن استفاده می شود.

ترکیبات نفتی محیط زیست را به شدت آلوده می کنند و سبب خوردگی در دستگاه ها و تجهیزات پالایشگاه می شوند. در پالایش نفت دو نوع تصفیه شیمیایی و تصفیه با هیدروژن داریم که پالایش با اسید سولفوریک از نوع تصفیه شیمیایی است.

اسید سولفوریک، ماده شیمیایی است که برای تبدیل ترکیبات اتیلنی به استرهای محلول در اسید، استفاده می شود و برای تصفیه فرآورده های سفید مثل بنزین ها و نفت سفید، مورد استفاده قرار می گیرد. هدف آن خنثی نمودن ترکیبات بازی، حذف ترکیبات اکسیژن دار و اکسیده کرده مرکاپتان ها به دی سولفیدهای کم ضررتر است. همچنین اسید سولفوریک، ترکیبات اتیلنی را به استرهای محلول در اسید تبدیل می کند.

منظور از اسید باتری، اسیدی است که در باتری خودروها استفاده می شود. مایع داخل باطری از مخلوط اسید سولفوریک و آب مقطر به دست می آید. در واقع اسید باتری رقیق شده اسید سولفوریک می باشد چون اسید

را نمی توان به راحتی رقیق نمود و باید از دستگاه رقیق کننده قوی استفاده کرد. باتری دستگاهی است که انرژی الکتریکی را در حالت شیمیایی در خود ذخیره می کند تا در زمان نیاز مورد استفاده قرار بگیرد.

اسید سولفوریک در فرآیند تولید مواد شیمیایی مانند سولفات آلومینیوم، اسید سیتریک، سولفات مس، سولفات نیکل، اسید بوریک، ایزوپروپیل الکل، اتانول از اولفین ها و دی اکسیدتیتانیوم، سولفات منگنز و بلور تری گلیسین سولفات (TGS) استفاده می شود.

برای پاکسازی و حل کردن آلودگی های معدنی و از بین بردن اکسید بر روی فلزات و چربی ها، قبل از آبکاری از اسید سولفوریک استفاده می کنند. اما برای آبکاری برنج بر روی سرب، سولفوریک اسید، اسید خوبی نیست.

آب ورودی به دستگاه آب شیرین کن RO دارای PH خنثی و یا مقداری اسیدی است زیرا سبب افزایش حلالیت یون های فلزی در سطح ممبرین ها و در نتیجه کاهش میزان گرفتگی ممبرین ها می شود. در این جا یک واحد تزریق اسید داریم تا PH را تنظیم کند. تزریق اسید باعث کاهش PH آب می شود و از آن برای شست و شو ممبرین ها دستگاه تصفیه آب RO یا CIP استفاده می کنیم.

از موارد پرکاربرد الیاف مصنوعی در صنعت نساجی، الیاف پلی آمید، پلی استر و اکریلیک است که در ساخت آن ها از اسید سولفوریک استفاده می کنیم. هنگامی که الیاف سلولز در محلول تترا آمین مس حل شوند مایع آبی رنگ تولید می کند وقتی به آن اسید سولفویک اضافه می کنیم الیاف ابریشم مصنوعی یا ریون تولید می شود. کالاهای نساجی بعد از این که از سالن بافندگی خارج می شوند نیاز به رفع ناخالصی، بازیابی و ترمیم احتمالی دارند. از اسید سولفوریک برای از بین بردن ناخالصی و رنگدانه های اضافی استفاده می شود.

اسید سولفوریک به دلیل قدرت هیدرولیز بسیار قوی، قادر به حل نمودن چربی ها و لیپیدها می باشد و به دلیل همین خاصیت در صنعت چرم سازی مورد استفاده قرار می گیرد زیرا می تواند چربی ها، مو و لایه های آلوده را از سطح چرم پاک کند.

از اسید سولفوریک در تولید مواد منفجره مانند: نیتروگلیسرین، TNT، RDX و PETN استفاده می شود. نیتروگلیسرین ماده ای سمی است که اثرات تخریبی زیادی دارد؛ برای تولید نیتروگلیسرین از اسیدهایی مانند اسید نیتریک و اسید سولفوریک استفاده می شود.

سولفوریک اسید کاربردهای زیادی در صنایع فولاد و متالوژی دارد. این ماده در استخراج فلزاتی همچون مس، اورانیوم، وانادیوم کاربرد دارد. از اسید سولفوریک همچنین در شست و شو و آماده سازی فلزات برای رنگ زدن آن ها و پوشاندن با پوشش ضدزنگ استفاده می شود. با استفاده از این ماده ابتدا سطح فلزاتی که قرار است رنگ بخورند تمیز شده و ناخالصی ها و زنگ زدگی ها از سطح فلز زدوده می شود و سپس برای فرآیند رنگ زدن آماده می شود.

سرطان یک بیماری بسیار خطرناک است و داروهای آن نقش مهمی برای بیماران سرطانی دارند. سولفوریک اسید در ساخت و تولید داروهای شیمی درمانی که برای درمان سرطان استفاده می شود نقش به سزایی دارند. اسید سولفوریک کاربردهای متنوع تری هم دارد که ادامه به صورت تیتروار آنها را معرفی میکنیم:

- توصیه مواد نفتی
- تولید ضدیخ و حشره کش ها
- تولید مواد دارویی
- تولید و ساخت پاک کننده های مصنوعی
- استخراج آلومینوم و مواد آهنی و فولاد
- تولید مواد رنگی مانندی نایلون های رنگی و جوهر تحریر
- تولید و ایجاد ابریشم های مصنوعی جهت تهیه پارچه های ابریشمی
- ساخت و تولید فیلم های عکاسی
- ساخت و تولید دستمال کاغذی، روزنامه و مقوا

تماس با این اسید میتواند باعث ایجاد سوختگی پوست شود، همچنین تماس این ماده با چشم ها میتواند باعث بروز مشکلات بینایی در فرد شود.

استنشاق اسید سولفوریک یا همان جوهر گوگرد میتواند باعث تحریک و التهاب بینی و حلق شود. همانطور که گفتیم، اسید سولفوریک توسط شرکت ها، گروه ها و مجموعه های صنعتی مختلفی مانند پترو آکام صنعت تولید و عرضه میشود که بسته به نوع اسید، میزان خلوص، نوع ارائه و کاربرد اسید که ممکن است هر کدام از مواردی باشد که پیش تر در رابطه با آن صحبت کردیم و میزان و حجم اسید قیمت متفاوت و متنوع می باشد و توصیه میکنیم حتما جهت برآورد هزینه ها و کسب مشاوره و راهنمایی با مشاورین و متخصصین مجموعه های تولیدی اسید سولفوریک تماس بگیرید.

فصل ۲:

مروری بر منابع

۲-۱- مروری بر منابع

Aspen HYSYS یک ابزار مدل سازی پیشرو در بازار برای طراحی مفهومی، بهینه سازی، برنامه ریزی تجاری، مدیریت دارایی و نظارت بر عملکرد برای تولید نفت و گاز، فرآوری گاز، تصفیه نفت و صنایع جداسازی هوا است. Aspen HYSYS عنصر اصلی برنامه های مهندسی Aspen Tech's Aspen ONE است. شبیه سازی یک فرایند برای مهندسان شیمی از اهمیت زیادی برخوردار است. این پروژه شامل شبیه سازی ساده شده کارخانه تولید سولفوریک اسید است که سود سالانه بهینه شده را نیز شبیه سازی می کند. سولفوریک اسید یکی از پرکاربردترین و مهم ترین محصولات فنی است. این ماده در تولید کود، چرم، ورق قلع، تصفیه نفت و رنگ آمیزی پارچه ها به کار می رود.

اسید پسماند به عنوان یک آلاینده شایع بوده که از فرایندهای متالورژی تخلیه می شود [۱]. سالانه بیش از ۱۵۰۰۰ شرکت، بیش از ۸ میلیارد پوند زیاله اسیدی تولید می کنند [۲].

روش های پالایش اسیدهای زائد به شکلی فراگیر در مقالات [۳-۷] طبقه بندی می شوند: استفاده مجدد مستقیم به عنوان محلول ترش یا شستشو، خنثی سازی اسید و قلیا، تولید محصولات شیمیایی و بازیافت اسید پس از تغلیظ. ایجاد "تخلیه صفر" و "صرفه جویی در منابع"، غلظت اسید و استفاده مجدد از آن، به میزان بیشتری مورد توجه قرار می گیرد. جداسازی مبتنی بر غشا به منظور بازیابی اسید، در دهه های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۶-۷].

تقطیر غشایی (MD) با استفاده از غشای متخلخل به منظور جداسازی مایع و بخار، سپس دستیابی به روند نمک زدایی و یا جداسازی بخش های فرار/ غیر فرار به عنوان کاندیدای بالقوه در روند بازیابی اسید به شمار می رود [۸-۱۰].

Tomaszewski و همکاران از MD به منظور تغلیظ اسیدهای سولفوریک (H_2SO_4)، فسفر (H_3PO_4)، کلریدریک (HCl) و نیتریک (HNO_3) استفاده کردند [۱۱].

میزان عدم پذیرش اسیدهای غیر فرار، تقریباً ۱۰۰٪ بوده و مستقل از غلظت اسید موجود در خوراک بود. مقادیر Cl یا HNO_3 موجود در تقطیر با افزایش غلظت اسید خوراک و تا زمان دستیابی به ترکیب آزنوتروپی افزایش یافت. در یک تحقیق به ارزیابی روند بازیابی ترکیبات لانتان (La) از طریق MD از سولفوریک اسید پس از استخراج فسفوگیپسوم آپاتیت، پرداخته شد [۱۲].

از یک محلول ۱۲٪ H_2SO_4 مدل اشباع شده با سولفات کلسیم (CaSO_4) استفاده شد. ترکیبات La پس از خنک سازی محلول اسیدی پالایش یافته با نسبت بازیابی ۲۵٪ رسوب می کنند. ضرایب عدم پذیرش موجود در تمامی آزمایشات MD تقریباً ۱۰۰٪ بود. تانگ و همکاران، تصفیه اسید پسماند آزاد شده از فرآیند نادر شستشوی زمین توسط VMD را مورد مطالعه قرار دادند [۱۳].

تغلیظ توسط MD با جداسازی اسید از فلز خاکی کمیاب و با استفاده از دیالیز انتشاری دنبال شد. میزان بازیابی H_2SO_4 در عملیات واقعی به ۷۰ تا ۸۰ درصد رسید. مورد دیگر در رابطه با این تحقیقات، جداسازی فلز خاکی کمیاب و HCl در یک مرحله توسط VMD بود. ۸۰٪ از HCl موجود در اسید پسماند در دستگاه تقطیر، قابل بازیابی است. میزان عدم پذیرش غشا نسبت به کاتیون های مرتبط با فلزات خاکی کمیاب در مجموع بیش از ۹۸٪ بود و محلول HCl نسبتاً خالصی تولید شد. روند ارزیابی کاربرد MD به منظور تصفیه محلول های ترش فلزی حاوی FeCl_3 [۱۳] نشان داد که نمک های موجود در خوراک، حفظ شده و عصاره تقطیری حاوی اسید خالص HCl است. تحقیقات فوق موجب انجام فعالیت های اولیه ای به منظور درک عملکرد MD در مواجهه با اسید ناشی از فرایندهای متالوژی شد. این مقاله اسید پسماند سفید تیتانیوم را به عنوان موضوع انتخاب می کند. تیتانیوم دی اکسید یا تیتانیا (TiO_2) به عنوان یک ترکیب مهم محسوب شده که به طور گسترده در اکثر موارد همچون صنایع پوشش، رنگ آمیزی، پلاستیک و داروسازی استفاده می شود [۱۵].

یکی از فرایندهای تجاری تولید TiO_2 ، فرآیند "سولفات" با استفاده از سنگ معدن ایلمنیت یا خاکسترهای تیتانیوم به عنوان ماده اولیه است [۱۶]. به ازای هر تن TiO_2 ، حدود ۶ تا ۸ تن سولفوریک اسید (۲۰٪ وزنی) حاوی نمک های معدنی (به عنوان مثال (به عنوان مثال، FeSO_4 ، TiOSO_4 ، $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) تولید می شود

[۴]. مقیاس تجاری TiO_2 در سراسر جهان سالانه به میزان ۴.۵ میلیون تن رسید. از این رو، یکی از نگرانی‌های اصلی پیش روی صنعت TiO_2 ، کنترل ترشح اسید به منظور جلوگیری از تخریب محیط است. روش اتخاذ شده در روش تبخیر سنتی به منظور برای بازیابی اسید، موجب افزایش غلظت اسید از ۲۰ wt% به ۶۵~۷۰ wt% می‌شود و به دنبال آن، اسید پسماند را با اسید بخار ۹۸ wt% مخلوط کرده تا بدین طریق، اسید ۹۰ wt% متناسب برای اسیدولیز تولید شود [۴] تعادل اسید پسماند ۲۰ wt% در روند شستشو استفاده می‌شود. سپس اسید پسماند ۲۰ wt% تقریباً به طور کامل بازیافت می‌شود. یک برآورد ساده مبتنی بر مدل سازی ریاضی نشان می‌دهد که MD توانایی ایجاد غلظت بیشتری از ۶۰ wt% را دارد.

از آنجایی که آن دارای مزایای استفاده از انرژی با کیفیت پایین (به عنوان مثال، انرژی خورشیدی، حرارت ناشی از پسماند)، فعالیت در دمای نسبتاً پایین موجب کاهش میزان خوردگی با استفاده از تجهیزات پلاستیکی و به حداقل رساندن فضا شده و بکارگیری MD در تصفیه سولفوریک اسید سفید رنگ موجود در تیتانیوم، بسیار نویدبخش است. صرفاً تحقیقات مرتبط با تصفیه اسید سفید تیتانیوم توسط MD در روند مطالعاتی لی و همکاران انجام شد. [۱۷، ۱۸].

پسماند سنتتیک و واقعی سولفوریک اسید حاصل از هیدرولیز TiO_2 توسط VMD و با استفاده از غشای مسطح پلی پروپیلن (PP) متراکم شد. سولفوریک اسید خالص تا ۶۵ wt% می‌تواند تغلیظ شود، اما این میزان برای سولفات آهن حاوی اسید ($FeSO_4$) تنها ۳۱~۳۲ wt% است. تصور می‌شد که مرطوب سازی غشا در اثر تبلور $FeSO_4$ موجب ایجاد اختلاف می‌شود. به منظور رفع این مشکل، روندهای پیش تیمار متعددی پیشنهاد شده است. استخراج حلال در ۸ مرحله برای تغلیظ اسید تا ۶۷ wt% توسط VMD ضروری بود که این امر هزینه عملیات را بسیار افزایش داد [۱۸].

از آنجایی که غلظت اشباع $FeSO_4$ بر اساس میزان دما به طور جزئی تغییر می‌کند، تبلور یخ ممکن است یک راهکار اقتصادی محسوب نگردد [۱۹].

این شرایط در مرحله فعلی موجب افزایش انگیزه تحقیقاتی به منظور معرفی اصول مربوط به پدیده مرطوب سازی به عنوان مبنایی برای شناسایی راهکار کارآمد تر از دو جنبه علمی یا مهندسی می‌شود. در این مطالعه

از غشاهای الیاف توخالی PVDF آزمایشگاهی برای تصفیه محلول اسیدی سفید رنگ تیتانیوم سنتتیک حاوی FeSO_4 استفاده خواهد شد. پدیده رسوب گذاری و پوسته پوسته شدن به همراه میانکنش آنها با عملکرد MD از نظر جریان و عدم پذیرش بررسی خواهد شد. سولفوریک اسید خالص و محلول دارای غلظت بالای NaCl نیز در یک فعالیت آزمایشی به منظور (۱) تفکیک اثرات ناشی از تبلور بر خیساندن، و (۲) درک تأثیر خصوصیات تبلور بر بازدهی DCMD، پردازش می شوند.

فصل ۳

روش تحقیق

سولفوریک اسید یک ماده شیمیایی اساسی است که در سراسر جهان به شدت مورد استفاده قرار می‌گیرد. می‌توان با اندازه‌گیری میزان مصرف سالانه سولفوریک اسید یک کشور، موفقیت آن کشور را تعیین کرد. همچنین سولفوریک اسید یک ماده شیمیایی اساسی بسیار مهم است که به‌طور گسترده در بخش‌های مختلف صنعتی استفاده می‌شود. هدف اصلی این مطالعه، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سود سالانه کارخانه سولفوریک اسید ۹۸.۴٪ توسط Aspen HYSYS ورژن ۱۰ است.

در این پروژه، فرآیند ساده‌سازی شده تولید سولفوریک اسید، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی می‌شود. به‌منظور شبیه‌سازی این فرآیند، از داده‌های عملیاتی کارخانه سولفوریک اسید WATA CHEMICALS LIMITED استفاده می‌شود. معیار بهینه‌سازی فرآیند به حداکثر رساندن سود سالانه است.

این مطالعه برای کارآفرینانی که مایل به ساخت کارخانه سولفوریک اسید هستند مفید خواهد بود. همچنین این مطالعه برای بهره‌برداران کارخانه برای به حداقل رساندن الزامات سیستم فرآیند بسیار مفید خواهد بود. بنابراین در ادامه فرایند واحد تولید سولفوریک اسید شبیه‌سازی شده است. ابتدا در محیط ابتدایی نرم افزار تمامی مواد و ترکیبات مورد نیاز در فرایند تولید انتخاب شده است. همانطور که در شکل (۱-۳) مشاهده شده است ترکیبات مورد نیاز در فرایند از کتابخانه نرم افزار انتخاب شده است.

در ادامه فرایند، یک پکیج سیالاتی برای حل معادلات ترمودینامیکی موجود در فرایند انتخاب شده است تا فرایند مطابق با آن انجام پذیرد و نتایج حاصل شود. پکیج Antoine انتخاب شده است که خصوصیات ترمودینامیکی را برای مواد موجود در فرایند برای تولید اسید سولفوریک فراهم آورده است.

همانطور که در شکل (۳-۳) قابل مشاهده است، مجموعه واکنش‌هایی برای فرایند در ابتدای کار تعریف شده است و در زمان شبیه‌سازی از اینگونه واکنش‌ها استفاده شده است.

Source Databank: HYSYS

Component	Type	Group
SO2	Pure Component	
SO3	Pure Component	
S_Liquid	Pure Component	
H2O	Pure Component	
H2SO4	Pure Component	
Oxygen	Pure Component	
Nitrogen	Pure Component	

< Add

Replace

Remove

Select: **Pure Components** Filter: **All Families**

Search for: Search by: **Full Name/Synonym**

Simulation Name	Full Name / Synonym	Formula
Methane	C1	CH4
Ethane	C2	C2H6
Propane	C3	C3H8
i-Butane	i-C4	C4H10
n-Butane	n-C4	C4H10
i-Pentane	i-C5	C5H12
n-Pentane	n-C5	C5H12
n-Hexane	C6	C6H14
n-Heptane	C7	C7H16
n-Octane	C8	C8H18
n-Nonane	C9	C9H20
n-Decane	C10	C10H22
n-C11	C11	C11H24

Status: **OK**

شکل (۳-۱) مواد موجود در فرایند

Set Up | Binary Coeffs | StabTest | Phase Order | Tabular | Notes

Package Type: **HYSYS** Component List Selection: **Component List - 1 [HYSYS Databanks]** View

Property Package Selection:

- <none>
- Acid Gas - Physical Solvents
- Acid Gas - Liquid Treating
- Acid Gas - Chemical Solvents
- Antoine
- ASME Steam
- Braun K10
- BWRS
- Chao Seader
- Chien Null
- Clean Fuels Pkg
- CPA
- Eso Tabular
- Extended NRTL
- GCEOS
- General NRTL
- Glycol Package
- Grossen Street

Antoine Vapour Pressure Component Parameters

	Tmin [C]	Tmax [C]	Coeff A	Coeff B	Coeff C	Coeff D	Coeff E	Coeff F
SO2	-67.60	157.6	7.277e+01	-5.044e-03	0.000e-01	-8.931e+00	1.123e-05	2.000e+00
SO3	-1.002	217.9	3.487e+02	-1.816e+04	0.000e-01	-5.058e+01	4.457e-05	2.000e+00
S_Liquid	444.6	1040	4.066e+01	-1.090e+04	0.000e-01	-3.173e+00	4.496e-20	6.000e+00
H2O	1.850	374.1	6.593e+01	-7.228e+03	0.000e-01	-7.177e+00	4.031e-06	2.000e+00
H2SO4	9.998	330.0	7.514e+00	-9.758e+03	0.000e-01	2.363e+00	3.270e-19	6.000e+00
Oxygen	-219.1	-118.5	3.123e+01	-1.090e+03	0.000e-01	-3.301e+00	4.057e-05	2.000e+00
Nitrogen	-211.1	-147.0	3.541e+01	-9.662e+02	0.000e-01	-4.318e+00	7.932e-05	2.000e+00

Property Pkg: **OK** Edit Properties

شکل (۳-۲) پکیج سیالاتی مورد استفاده

Name	Type	Associated Fluid Packages
Set-1	Conversion	Basis-1
Set-2	Conversion	Basis-1
Set-3	Conversion	Basis-1
Set-4	Conversion	Basis-1
Set-5	Conversion	Basis-1
Set-6	Equilibrium	Basis-1

شکل (۳-۳) تمامی واکنش های تعریف شده در فرایند

تمامی واکنش ها متناسب با ضرایب استوکیومتری موجود در واکنش های آنها شبیه سازی و تعریف شده است و گرمای واکنش مختص آنها محاسبه شده است. مشخصات هر یک از واکنش ها در شکل های (۳-۴) تا شکل (۳-۹) آورده شده است.

Stoichiometry Info

Component	Mole Weight	Stoich Coeff
S_Liquid	32.064	-1.000
Oxygen	32.000	-1.000
SO2	64.063	1.000
Add Comp		

Balance

Balance Error0.00000
Reaction Heat (25 C)-1.3e+05 Btu/lbmole

Basis

Base Component	S_Liquid
Run Phase	Overall
Co	100.0
C1	<empty>
C2	<empty>

Conversion (%) = Co + C1*T + C2*T^2
(T in Kelvin)

شکل (۳-۴) واکنش تعریف شده اول

Stoichiometry Info

Component	Mole Weight	Stoich Coeff
SO2	64.063	-1.000
Oxygen	32.000	-0.500
SO3	80.058	1.000
Add Comp		

Basis

Base Component	SO2
Run Phase	Overall
Co	67.00
C1	<empty>
C2	<empty>

Conversion (%) = Co + C1*T + C2*T^2
(T in Kelvin)

Balance

Balance Error	0.00000
Reaction Heat (25 C)	-4.3e+04 Btu/lbmole

Ready

شکل (۳-۵) واکنش تعریف شده دوم

Stoichiometry Info

Component	Mole Weight	Stoich Coeff
SO2	64.063	-1.000
Oxygen	32.000	-0.500
SO3	80.058	1.000
Add Comp		

Basis

Base Component	SO2
Run Phase	Overall
Co	90.00
C1	<empty>
C2	<empty>

Conversion (%) = Co + C1*T + C2*T^2
(T in Kelvin)

Balance

Balance Error	0.00000
Reaction Heat (25 C)	-4.3e+04 Btu/lbmole

Ready

شکل (۳-۶) واکنش تعریف شده سوم

Stoichiometry Info

Component	Mole Weight	Stoich Coeff
SO2	64.063	-1.000
Oxygen	32.000	-0.500
SO3	80.058	1.000
Add Comp		

Balance

Balance Error

0.00000

Reaction Heat (25 C)

-4.3e+04 Btu/lbmole

Basis

Base Component	SO2
Rxn Phase	Overall
Co	95.70
C1	<empty>
C2	<empty>

Conversion (%) = Co + C1*T + C2*T^2

(T in Kelvin)

Ready

شکل (۳-۷) واکنش تعریف شده چهارم

Stoichiometry Info

Component	Mole Weight	Stoich Coeff
SO2	64.063	-1.000
Oxygen	32.000	-0.500
SO3	80.058	1.000
Add Comp		

Balance

Balance Error

0.00000

Reaction Heat (25 C)

-4.3e+04 Btu/lbmole

Basis

Base Component	SO2
Rxn Phase	Overall
Co	99.50
C1	<empty>
C2	<empty>

Conversion (%) = Co + C1*T + C2*T^2

(T in Kelvin)

Ready

شکل (۳-۸) واکنش تعریف شده پنجم

Stoichiometry Keq Approach Library

Stoichiometry

Component	Mole Weight	Stoich Coeff
SO3	80.058	-1.000
H2O	18.015	-1.000
H2SO4	98.080	1.000
Add Comp		

Balance

Balance Error	0.00000
Reaction Heat (25 C)	-4.2e+04 Btu/lbmole

Basis

	Activity
Basis	
Phase	LiquidPhase
Min Temperature	-273.1 C
Max Temperature	3000 C

Basis Units

Ready Gibbs

شکل (۹-۳) واکنش تعریف شده ششم

اولین راکتوری که مورد استفاده قرار گرفته است، راکتور احتراق است. در این راکتور جریان هوا و جریان گوگرد مایع به آن وارد شده است. اکسیژن موجود در هوا با گوگرد مایع تحت شرایط خاصی واکنش داده است و دی اکسید گوگرد را تولید کرده است. جریان هوا با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد وارد راکتور شده است. فشار جریان برابر با ۱۵ bar در نظر گرفته شده است. این جریان در واکنش با جریان گوگرد مایع قرار گرفته است و واکنش داده است. جریان گوگرد با فشاری برابر با ۱۵ bar وارد شده است و واکنش داده است.

با توجه به تجربیات و تحقیقات صورت گرفته، میتوان در نظر داشت که گوگرد مایع وارد شده می تواند از وحد بازیابی گوگرد که در ادامه مسیر واحدهای پالایشگاه گاز قرار داده شده است تولید شده باشد. پس از بازیابی گوگرد در این واحد ها، این گوگرد برای تولید سولفوریک اسید استفاده شده است. واحد تولید سولفوریک اسید نیز در این تحقیق شبیه سازی شده است.

خصوصیات مربوط به جریانات ورودی به راکتور در شکل (۳-۱۰) تا شکل (۳-۱۱) آورده شده است و سایر خصوصیات فیزیکی مربوط به این جریانات قابل مشاهده است.

Worksheet Attachments Dynamics			
Worksheet	Stream Name	air	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000
Properties	Temperature [C]	50.00	50.00
Composition	Pressure [bar]	15.00	15.00
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	254.8	254.8
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1.620e+004	1.620e+004
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1283	1283
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	280.3	280.3
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	31.40	31.40
Cost Parameters	Heat Flow [MW]	4.614e-002	4.614e-002
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	<empty>	<empty>
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		
OK			

شکل (۳-۱۰) مشخصات فیزیکی جریان هوا

Worksheet Attachments Dynamics			
Worksheet	Stream Name	air	Vapour Phase
Conditions	Molecular Weight	28.85	28.85
Properties	Molar Density [lbmole/ft3]	3.485e-002	3.485e-002
Composition	Mass Density [lb/ft3]	1.006	1.006
Oil & Gas Feed	Act. Volume Flow [barrel/day]	6.889e+004	6.889e+004
Petroleum Assay	Mass Enthalpy [Btu/lb]	9.715	9.715
K Value	Mass Entropy [Btu/lb-F]	1.088	1.088
User Variables	Heat Capacity [Btu/lbmole-F]	7.131	7.131
Notes	Mass Heat Capacity [Btu/lb-F]	0.2472	0.2472
Cost Parameters	LHV Molar Basis (Std) [Btu/lbmole]	0.0000	0.0000
Normalized Yields	HHV Molar Basis (Std) [Btu/lbmole]	0.0000	0.0000
	HHV Mass Basis (Std) [Btu/lb]	0.0000	0.0000
	CO2 Loading	<empty>	<empty>
	CO2 Apparent Mole Conc. [lbmole/ft3]	<empty>	<empty>
	CO2 Apparent Wt. Conc. [lbmol/lb]	<empty>	<empty>
	LHV Mass Basis (Std) [Btu/lb]	0.0000	0.0000
	Phase Fraction [Vol. Basis]	1.000	1.000

Property Correlation Controls

📄 + ↓ ↑ ↕ ✕ 🔄 📁 🔍

Preference Option: Active

OK

شکل (۱۱-۳) سایر خصوصیات ترمودینامیکی جریان هوا

Worksheet Attachments Dynamics				
Worksheet	Stream Name	s-liq	Vapour Phase	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000	0.0000
Properties	Temperature [C]	660.0	660.0	660.0
Composition	Pressure [bar]	15.00	15.00	15.00
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	25.11	25.11	0.0000
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1775	1775	0.0000
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	67.14	67.14	0.0000
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	1.530e+005	1.530e+005	1.292e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	237.7	237.7	223.2
Cost Parameters	Heat Flow [MW]	2.483	2.483	0.0000
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	67.14	67.14	0.0000
	Fluid Package	Basis-1		
	Utility Type			

OK

شکل (۳-۱۲) مشخصات فیزیکی جریان گوگرد مایع

جریان هوا و گوگرد مایع وارد راکتور گردیده است و وارد واکنش شده اند. همانطور که در شکل (۳-۱۳) مشاهده شده است، واکنش اول به آن معرفی شده است و در درون راکتور این واکنش انجام گرفته است. پس از انجام واکنش دی اکسید گوگرد تولید شده راکتور را با دمای بالا ترک کرده است و نیاز دارد تا دمای آن کاهش یابد. همانطور که در شکل (۳-۱۴) مشاهده شده است، جریان گاز خروجی از بالای راکتور دارای دمای بالای ۱۲۳۰ درجه سانتیگراد است که نیاز به کاهش دما در آن احساس شده است. بنابراین جریان وارد یک خنک کننده گردیده است تا به دمای مطلوب برسد. در درون خنک کننده دمای جریان کاهش یافته است و به میزان ۴۲۲ درجه سانتیگراد رسیده است. میزان کار رخ داده توسط خنک کننده برابر با ۲ MW است. پس از اینکه دمای جریان کاهش یافت به سمت راکتور تبدیلی اول شده است.

Reactions

Conversion Reaction Details

Reaction Set: Set-1 Reaction: Rxn-1

☒ Stoichiometry ☐ Basis ☐ Conversion % View Reaction...

Stoichiometry Info

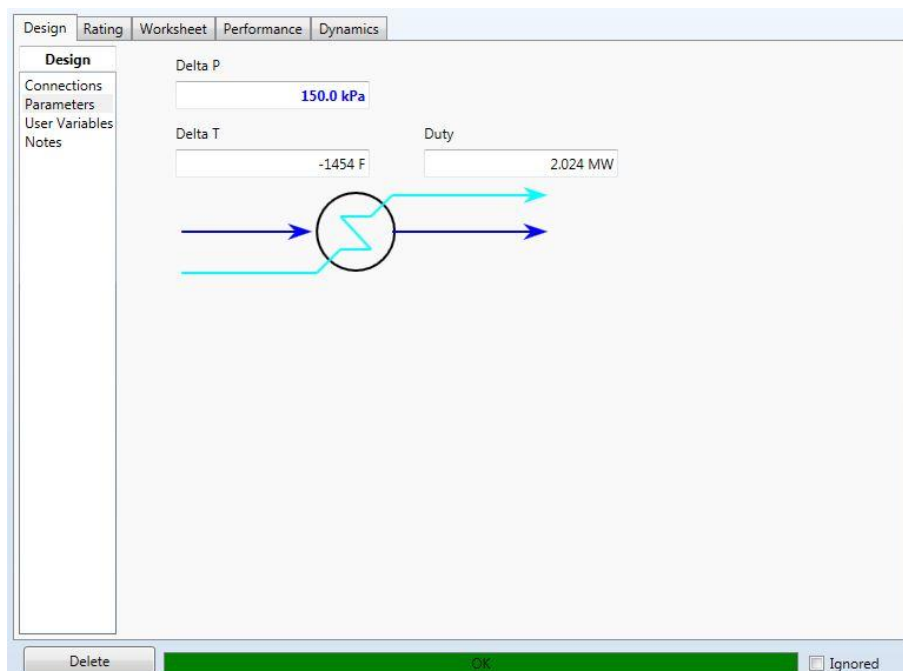
Component	Mole Wgt.	Stoich Coeff
S_Liquid	32.064	-1.000
Oxygen	32.000	-1.000
SO2	64.063	1.000
Add Comp		

Balance Error: 0.00000

Reaction Heat (25 C): -1.3e+05 Btu/lbmole

Delete OK Ignored

شکل (۳-۱۳) راکتور تولید دی اکسید گوگرد



شکل (۳-۱۵) مشخصات خنک کننده بعد از راکتور تولید دی اکسید گوگرد

همانطور که در شکل (۳-۱۶) مشاهده شده است. دی اکسید گوگردی که در مراحل قبل تولید شده است با اکسیژن وارد واکنش شده است و تولید تری اکسید گوگرد کرده است. این واکنش در درون راکتور تبدیلی اول رخ داده است. واکنشی که در قسمت واکنش ها تعریف گردیده بود به راکتور معرفی شده است. میزان گرمای واکنش برابر با 43000 btu/lbmol است. در نتیجه جریان ادامه مسیر را طی کرده است و به سمت خنک کن دیگری رفته است تا گرمای آن کاهش یابد. دمای جریان برابر قبل از ورود به خنک کن برابر با 611 درجه سانتیگراد است و در خنک کن دمای آن کاهش یافته است. دمای جریان خروجی از خنک کننده به میزان 450 درجه سانتیگراد رسیده است که حد مورد نظر ما است. همانطور که در شکل (۳-۱۹) مشاهده شده است، کار صورت گرفته برابر با 0.4 مگاوات است.

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Reactions

Conversion Reaction Details

Reaction Set: **Set-2** Reaction: **Rxn-2**

☒ Stoichiometry
 ☐ Basis
 ☐ Conversion %
 View Reaction...

Stoichiometry Info

Component	Mole Wgt.	Stoich Coeff
SO2	64.063	-1.000
Oxygen	32.000	-0.500
SO3	80.058	1.000
Add Comp		

Balance Error: 0.00000

Reaction Heat (25 C): -4.3e+04 Btu/lbmole

☐ Ignored

شکل (۳-۱۶) مشخصات راکتور تبدیلی اول

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Worksheet

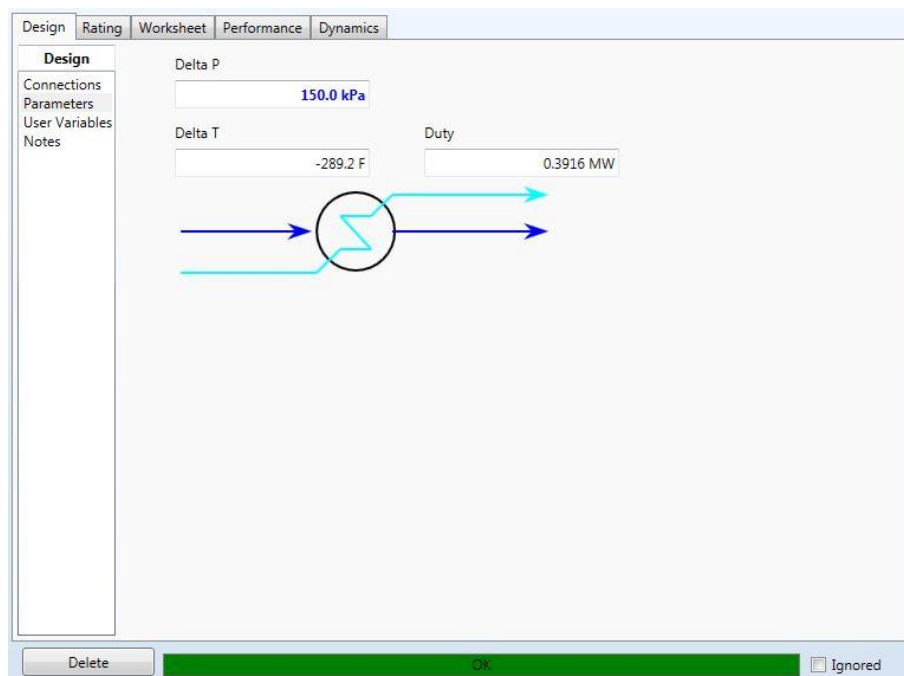
Name	CV1	L2	CV2
Vapour	1.0000	0.0000	1.0000
Temperature [C]	422.0	610.7	610.7
Pressure [bar]	13.50	13.50	13.50
Molar Flow [kgmole/h]	254.8	0.0000	246.4
Mass Flow [lb/hr]	1.798e+004	0.0000	1.798e+004
Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1350	0.0000	1306
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-7155	0.0000	-7399
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	38.58	0.0000	40.84
Heat Flow [MW]	-1.178	0.0000	-1.178

☐ Ignored

شکل (۳-۱۷) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر راکتور تبدیلی اول

Design	Rating	Worksheet	Performance	Dynamics
Worksheet				
Conditions	Name			
Properties	CV2			
Composition	COOLV			
PF Specs	ECOO			
	Vapour	1.0000	1.0000	<empty>
	Temperature [C]	610.7	450.0	<empty>
	Pressure [bar]	13.50	12.00	<empty>
	Molar Flow [kgmole/h]	246.4	246.4	<empty>
	Mass Flow [lb/hr]	1.798e+004	1.798e+004	<empty>
	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1306	1306	<empty>
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-7399	-9860	<empty>
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	40.84	39.36	<empty>
	Heat Flow [MW]	-1.178	-1.569	0.3916

شکل (۳-۱۸) شرایط جریان‌ات حاکم بر خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی اول



شکل (۳-۱۹) مشخصات خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی اول

راکتور تبدیلی دیگری در مسیر راه قرار گرفته است تا دی اکسید گوگرد باقیمانده را به تری اکسید گوگرد تبدیل نماید. در این راکتور نیز اکشن صورت گرفته و گرمای حاصل از واکنش سبب بالا رفتن دمای جریان شده است. به همین دلیل جریان قبل از ورود به راکتور تبدیلی دیگر وارد خنک کننده میانی دیگری شده است تا دمای آم کاهش یابد. همانطور که در شکل (۳-۲۱) مشاهده شده است، دمای جریان در خروجی راکتور تبدیلی دوم برابر با ۵۵۳۳ و ۵ درجه سانتیگراد است. به خنک کننده وارد شده است و با صرف کردن کار ۰.۲۷ مگاوات کار دمای جریان به اندازه ۴۲۰ درجه سانتیگراد که حد دمای ورود به راکتور تبدیلی دوم است رسیده است.

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Reactions

Details Results

Conversion Reaction Details

Reaction Set: Set-3 Reaction: Rxn-3

☒ Stoichiometry ☐ Basis ☐ Conversion % View Reaction...

Stoichiometry Info

Component	Mole Wgt.	Stoich Coeff
SO2	64.063	-1.000
Oxygen	32.000	-0.500
SO3	80.058	1.000
Add Comp		

Balance Error: 0.00000
Reaction Heat (25 C): -4.3e+04 Btu/lbmole

Delete OK Ignored

شکل (۳-۲۰) مشخصات راکتور تبدیلی دوم

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

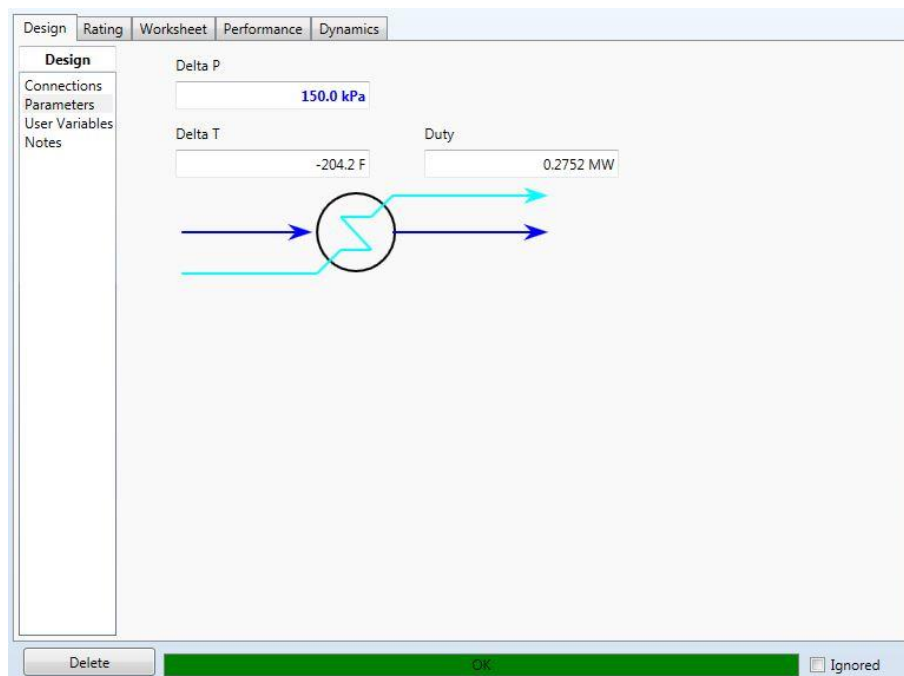
Worksheet

Name	COOLV	LIQQ	OUT 1
Vapour	1.0000	0.0000	1.0000
Temperature [C]	450.0	533.4	533.4
Pressure [bar]	12.00	11.00	11.00
Molar Flow [kgmole/h]	246.4	0.0000	242.6
Mass Flow [lb/hr]	1.798e+004	0.0000	1.798e+004
Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1306	0.0000	1286
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-9860	0.0000	-1.001e+004
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	39.36	0.0000	40.42
Heat Flow [MW]	-1.569	0.0000	-1.569

Delete OK Ignored

شکل (۳-۲۱) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر راکتور تبدیلی دوم

Design	Rating	Worksheet	Performance	Dynamics
Worksheet				
Conditions		Name	OUT 1	OUT 2
Properties		Vapour	1.0000	1.0000
Composition		Temperature [C]	533.4	420.0
PF Specs		Pressure [bar]	11.00	9.500
		Molar Flow [kgmole/h]	242.6	242.6
		Mass Flow [lb/hr]	1.798e+004	1.798e+004
		Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1286	1286
		Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1.001e+004	-1.177e+004
		Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	40.42	39.41
		Heat Flow [MW]	-1.569	-1.845
				0.2752



شکل (۳-۲۳) مشخصات خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی دوم

همانند مراحل گذشته از یک راکتور تبدیلی دیگر استفاده شده است و واکنش میان دی اکسید گوگرد و اکسیژن صورت گرفته است و تری اکسید گوگرد تولید شده است و در اثر این واکنش هم گرما تولید شده است. همانند قبل به سمت خنک کننده میانی رفته است و دمای جریان کاهش یافته است. این فرایند یک مرحله دیگر را نیز با یک راکتور تبدیلی دیگر و یک خنک کننده دیگر طی کرده است. خصوصیات و مشخصات تمامی فرایندهای صورت گرفته در شکل (۳-۲۴) تا شکل (۳-۳۱) آورده شده است. تمامی خصوصیات ترمودینامیکی جریانها آورده شده است.

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Reactions

Details Results

Conversion Reaction Details

Reaction Set: Set-4 Reaction: Rxn-4

☒ Stoichiometry ☐ Basis ☐ Conversion % View Reaction...

Stoichiometry Info

Component	Mole Wgt.	Stoich Coeff
SO2	64.063	-1.000
Oxygen	32.000	-0.500
SO3	80.058	1.000
Add Comp		

Balance Error: 0.00000

Reaction Heat (25 C): -4.3e+04 Btu/lbmole

Delete OK Ignored

شکل (۳-۲۴) مشخصات راکتور تبدیلی سوم

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Worksheet

Name	OUT 2	LIQ3	OUT 3
Vapour	1.0000	0.0000	1.0000
Temperature [C]	420.0	429.0	429.0
Pressure [bar]	9.500	8.500	8.500
Molar Flow [kgmole/h]	242.6	0.0000	242.2
Mass Flow [lb/hr]	1.798e+004	0.0000	1.798e+004
Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1286	0.0000	1284
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1.177e+004	0.0000	-1.179e+004
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	39.41	0.0000	39.72
Heat Flow [MW]	-1.845	0.0000	-1.845

Delete OK Ignored

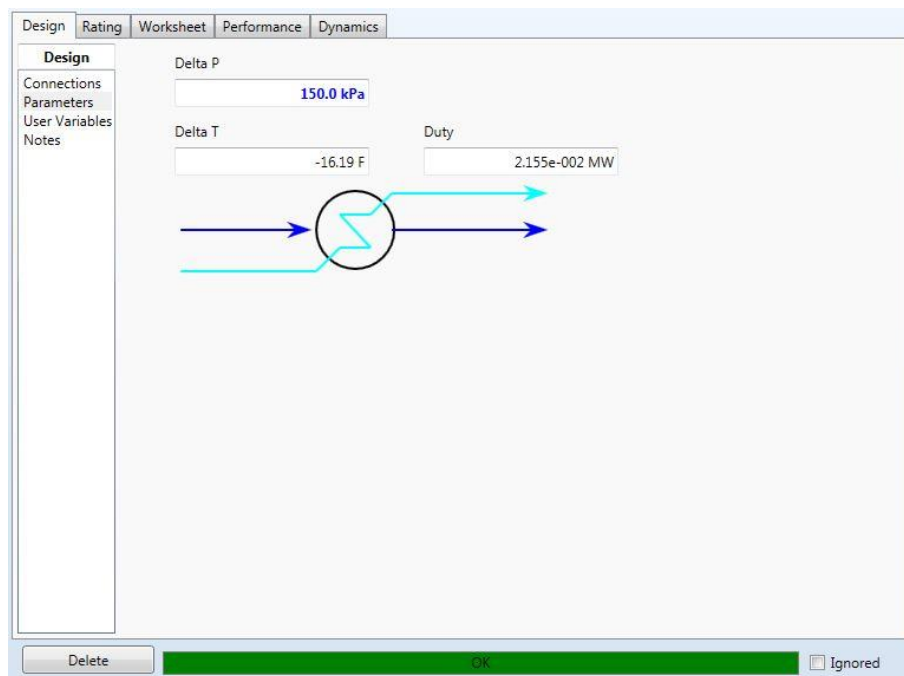
شکل (۳-۲۵) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر راکتور تبدیلی سوم

Design	Rating	Worksheet	Performance	Dynamics	
Worksheet		Name	OUT 3	E4	OUT 4
Conditions		Vapour	1.0000	1.0000	<empty>
Properties		Temperature [C]	429.0	420.0	<empty>
Composition		Pressure [bar]	8.500	7.000	<empty>
PF Specs		Molar Flow [kgmole/h]	242.2	242.2	<empty>
		Mass Flow [lb/hr]	1.798e+004	1.798e+004	<empty>
		Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1284	1284	<empty>
		Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1.179e+004	-1.192e+004	<empty>
		Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	39.72	39.99	<empty>
		Heat Flow [MW]	-1.845	-1.866	2.155e-002

Delete

OK

☐ Ignored



شکل (۳-۲۷) مشخصات خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی سوم

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Reactions

Details Results

Conversion Reaction Details

Reaction Set: Set-5 Reaction: Rxn-5

☒ Stoichiometry ☐ Basis ☐ Conversion % View Reaction...

Stoichiometry Info

Component	Mole Wgt.	Stoich Coeff
SO2	64.063	-1.000
Oxygen	32.000	-0.500
SO3	80.058	1.000
Add Comp		

Balance Error: 0.00000
Reaction Heat (25 C): -4.3e+04 Btu/lbmole

Delete OK Ignored

شکل (۳-۲۸) مشخصات راکتور تبدیلی چهارم

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Worksheet

	E4	LIQ 5	VAP 5
Conditions			
Vapour	1.0000	0.0000	1.0000
Properties			
Temperature [C]	420.0	420.4	420.4
Composition			
Pressure [bar]	7.000	6.000	6.000
PF Specs			
Molar Flow [kgmole/h]	242.2	0.0000	242.2
Mass Flow [lb/hr]	1.798e+004	0.0000	1.798e+004
Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1284	0.0000	1284
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1.192e+004	0.0000	-1.192e+004
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	39.99	0.0000	40.30
Heat Flow [MW]	-1.866	0.0000	-1.866

Delete OK Ignored

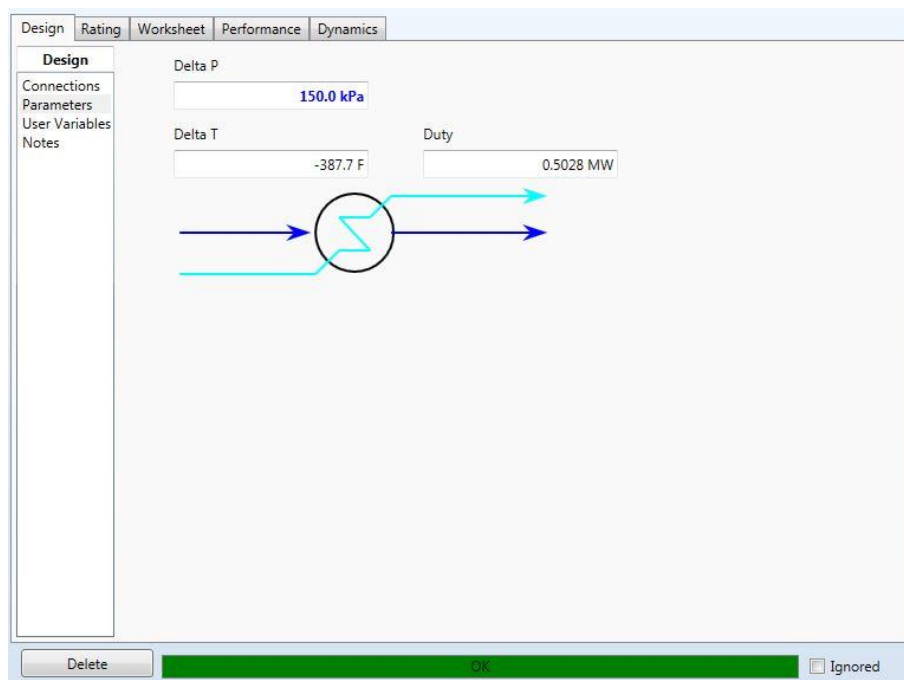
شکل (۳-۲۹) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر راکتور تبدیلی چهارم

Design	Rating	Worksheet	Performance	Dynamics	
Worksheet					
Conditions		Name	VAP 5	V6	E6
Properties		Vapour	1.0000	1.0000	<empty>
Composition		Temperature [C]	420.4	205.0	<empty>
PF Specs		Pressure [bar]	6.000	4.500	<empty>
		Molar Flow [kgmole/h]	242.2	242.2	<empty>
		Mass Flow [lb/hr]	1.798e+004	1.798e+004	<empty>
		Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1284	1284	<empty>
		Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1.192e+004	-1.514e+004	<empty>
		Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	40.30	37.80	<empty>
		Heat Flow [MW]	-1.866	-2.369	0.5028

Delete

OK

☐ Ignored



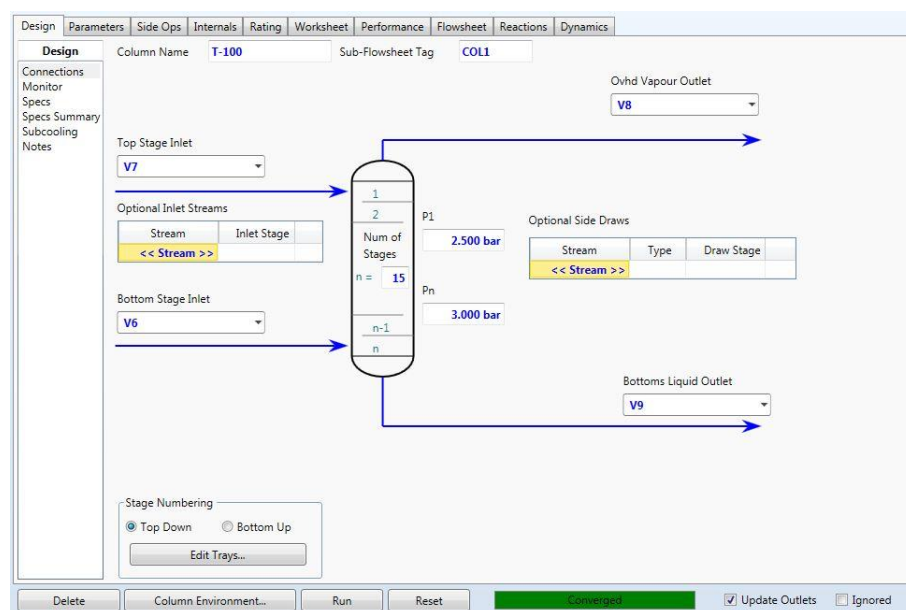
شکل (۳-۳۱) مشخصات خنک کننده بعد از راکتور تبدیلی چهارم

جریان خروجی از راکتور تبدیلی چهارم که از خنک کننده میانی عبور کرده است و دمایش به 20.5 درجه سانتیگراد رسیده است، به برج جذب اولیه وارد شده است. همانطور که در شکل مشاهده شده است، برج از تعداد 15 سینی تشکیل شده است. فشار در بالای برج جذب برابر با 2.5 bar است و همچنین در پایین برج جذب فشار برابر با 3 bar است. جریان سولفوریک اسید که از انتهای فرایند برگشته است از بالای برج وارد شده است. جریان خروجی از راکتور تبدیلی چهارم نیز از پایین وارد شده است و در تماس با یکدیگر قرار گرفته اند. دو جریان از بالا و پایین برج جذب خارج شده اند.

همانطور که در شکل (۳-۳۳) مشاهده شده است دمای جریان سولفوریک اسید برگشتی برابر با تقریباً ۳۰ درجه سانتیگراد است. جریان خروجی از بالای برج جذب به ادامه مسیر رفته و وارد یک برج جذب ثانویه شده است.

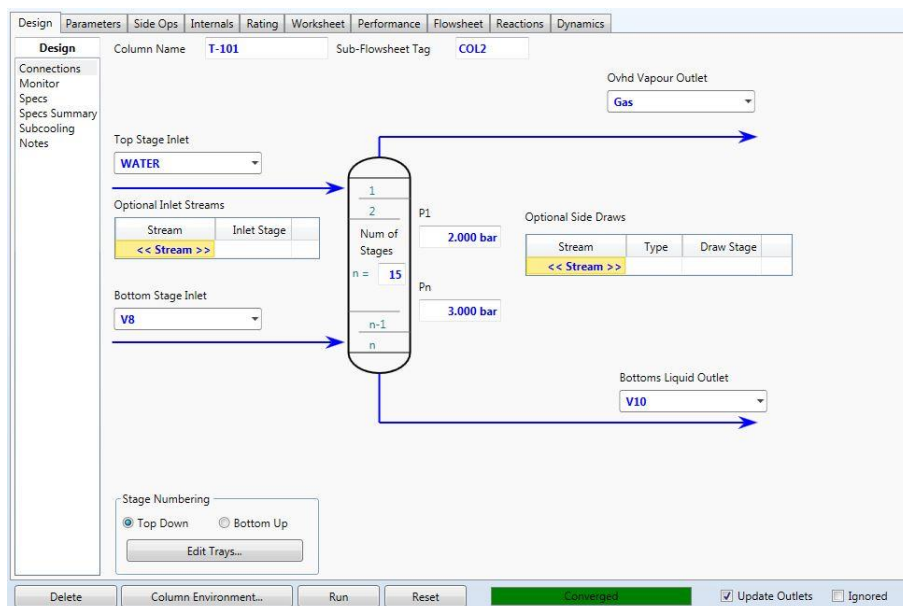
جریان خروجی از بالای برج جذب اولیه در ادامه مسیر خود از پایین برج جذب ثانویه وارد شده است. آب از بالای برج جذب ثانویه وارد شده است و در تماس با جریان قرار گرفته است و عملیات جذب رخ داده است. دمای جریان آب ورودی برابر با ۳۰ درجه سانتیگراد است.

برج جذب ثانویه نیز از تعداد ۱۵ سینی تشکیل شده است. فشار در بالای برج جذب برابر با ۲ bar و در پایین برج جذب برابر با ۳ bar است.



شکل (۳-۳۲) پارامترهای تعریف شده برج جذب اولیه

Design	Parameters	Side Ops	Internals	Rating	Worksheet	Performance	Flowsheet	Reactions	Dynamics																																																			
<div>Worksheet</div> <table><tr><td rowspan="10">Conditions Properties Compositions PF Specs</td><td>Name</td><td>V7 @COL1</td><td>V6 @COL1</td><td>V8 @COL1</td><td>V9 @COL1</td></tr><tr><td>Vapour</td><td>0.0000</td><td>1.0000</td><td>1.0000</td><td>0.0000</td></tr><tr><td>Temperature [C]</td><td>29.98</td><td>205.0</td><td>164.1</td><td>179.2</td></tr><tr><td>Pressure [bar]</td><td>2.500</td><td>4.500</td><td>2.500</td><td>3.000</td></tr><tr><td>Molar Flow [kgmole/h]</td><td>5.000</td><td>242.2</td><td>242.9</td><td>4.329</td></tr><tr><td>Mass Flow [lb/hr]</td><td>1076</td><td>1.798e+004</td><td>1.812e+004</td><td>934.1</td></tr><tr><td>Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]</td><td>39.83</td><td>1284</td><td>1289</td><td>34.57</td></tr><tr><td>Molar Enthalpy [Btu/lbmole]</td><td>-4.000e+005</td><td>-1.514e+004</td><td>-1.651e+004</td><td>-3.828e+005</td></tr><tr><td>Molar Entropy [Btu/lbmole-F]</td><td>-36.18</td><td>37.80</td><td>38.33</td><td>-8.350</td></tr><tr><td>Heat Flow [MW]</td><td>-1.292</td><td>-2.369</td><td>-2.590</td><td>-1.071</td></tr></table>										Conditions Properties Compositions PF Specs	Name	V7 @COL1	V6 @COL1	V8 @COL1	V9 @COL1	Vapour	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000	Temperature [C]	29.98	205.0	164.1	179.2	Pressure [bar]	2.500	4.500	2.500	3.000	Molar Flow [kgmole/h]	5.000	242.2	242.9	4.329	Mass Flow [lb/hr]	1076	1.798e+004	1.812e+004	934.1	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	39.83	1284	1289	34.57	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-4.000e+005	-1.514e+004	-1.651e+004	-3.828e+005	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	-36.18	37.80	38.33	-8.350	Heat Flow [MW]	-1.292	-2.369	-2.590	-1.071
Conditions Properties Compositions PF Specs	Name	V7 @COL1	V6 @COL1	V8 @COL1	V9 @COL1																																																							
	Vapour	0.0000	1.0000	1.0000	0.0000																																																							
	Temperature [C]	29.98	205.0	164.1	179.2																																																							
	Pressure [bar]	2.500	4.500	2.500	3.000																																																							
	Molar Flow [kgmole/h]	5.000	242.2	242.9	4.329																																																							
	Mass Flow [lb/hr]	1076	1.798e+004	1.812e+004	934.1																																																							
	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	39.83	1284	1289	34.57																																																							
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-4.000e+005	-1.514e+004	-1.651e+004	-3.828e+005																																																							
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	-36.18	37.80	38.33	-8.350																																																							
	Heat Flow [MW]	-1.292	-2.369	-2.590	-1.071																																																							
Delete					Column Environment...	Run	Reset	Converged	<input checked="" type="checkbox"/> Update Outlets <input type="checkbox"/> Ignored																																																			



شکل (۳-۳۴) پارامترهای تعریف شده برج جذب دوم

Worksheet	Name	WATER @COL2	V8 @COL2	Gas @COL2	V10 @COL2
Vapour		0.0000	1.0000	1.0000	0.0000
Temperature [C]		30.00	164.1	139.9	149.2
Pressure [bar]		2.500	2.500	2.000	3.000
Molar Flow [kgmole/h]		150.0	242.9	342.8	25.46
Mass Flow [lb/hr]		5957	1.812e+004	1.860e+004	5478
Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]		408.7	1289	1467	202.8
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]		-1.223e+005	-1.651e+004	-3.662e+004	-3.851e+005
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]		1.868	38.33	35.49	-13.35
Heat Flow [MW]		-11.85	-2.590	-8.110	-6.335

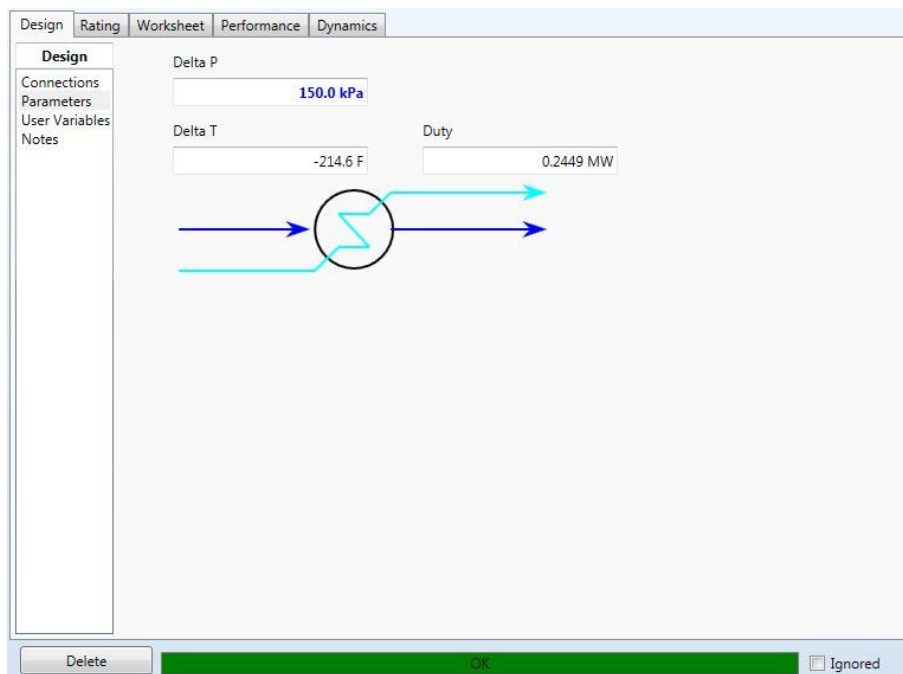
شکل (۳-۳۵) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر برج جذب دوم

جریان خروجی از پایین برج جذب دوم دارای دمای ۱۴۹ درجه سانتیگراد است و به درون خنک کننده رفته و با مصرف کردن کار ۰.۲۵ مگاوات دمای آن به ۳۰ درجه سانتیگراد رسیده است. همچنین اختلاف فشار رخ داده در درون این خنک کننده برابر با ۱.۵ bar است.

در نهایت جریان وارد یک پمپ شده است تا به فشار مورد نظر برسد. پمپ فشار جریان را از ۱.۵ bar به ۱.۵ bar رسانده است. نمای کلی از فرایند شیمی سازی شده در شکل (۳-۴۰) آورده شده است.

Design	Rating	Worksheet	Performance	Dynamics
Worksheet				
Conditions	Name			
Properties	Vapour			
Composition	Temperature [C]			
PF Specs	Pressure [bar]			
	Molar Flow [kgmole/h]			
	Mass Flow [lb/hr]			
	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]			
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]			
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]			
	Heat Flow [MW]			
	V10	V12	E12	
	0.0001	0.0000	<empty>	
	149.2	30.00	<empty>	
	3.000	1.500	<empty>	
	25.46	25.46	<empty>	
	5478	5478	<empty>	
	202.8	202.8	<empty>	
	-3.851e+005	-4.000e+005	<empty>	
	-13.34	-36.18	<empty>	
	-6.335	-6.580	0.2449	

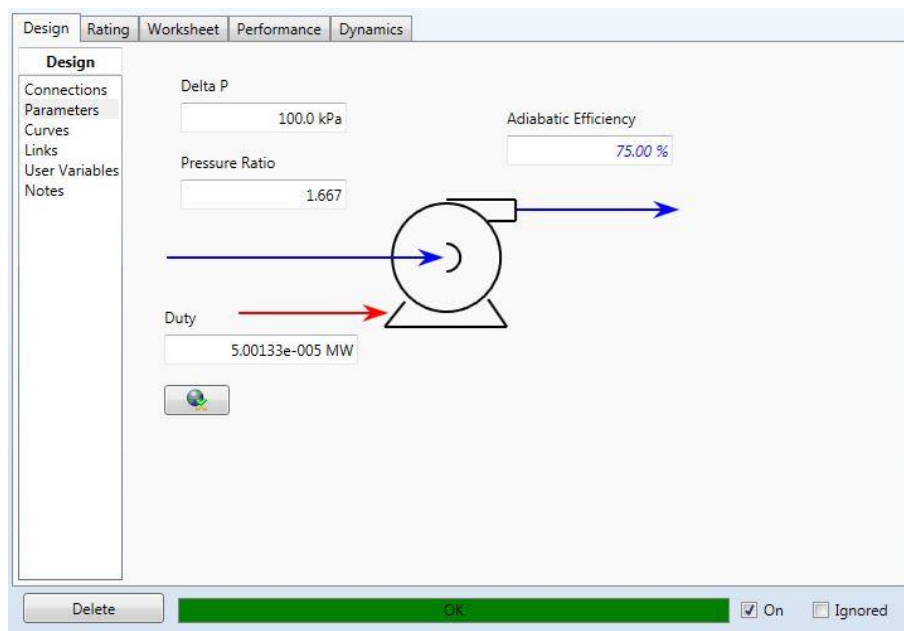
شکل (۳-۳۶) شرایط جریانات حاکم بر خنک کننده بعد از برج جذب دوم



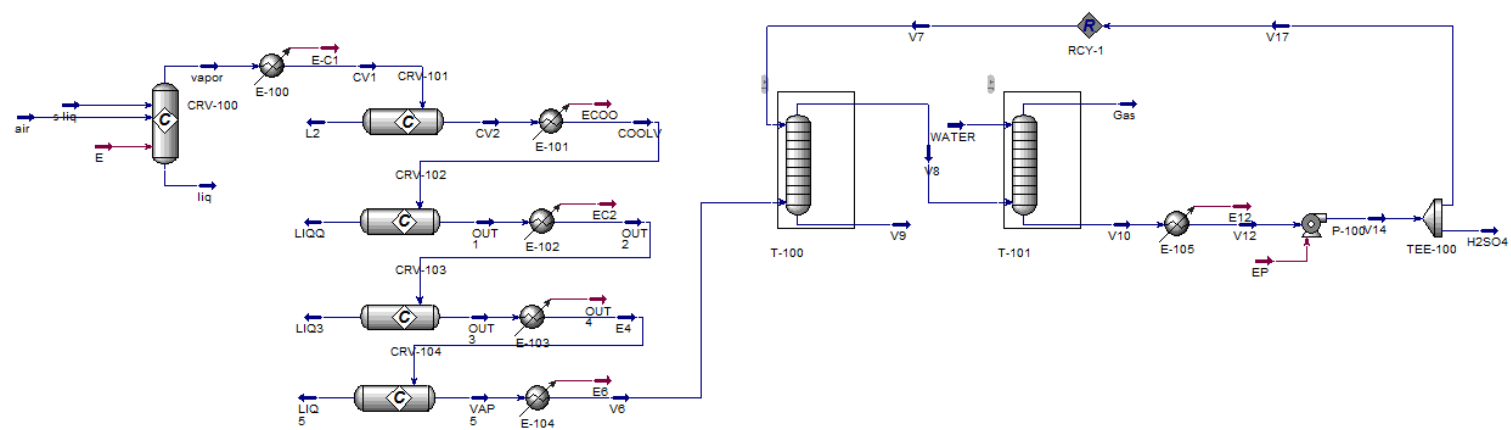
شکل (۳-۳۷) مشخصات خنک کننده بعد از برج جذب دوم

Design	Rating	Worksheet	Performance	Dynamics
Worksheet				
Conditions	Name	V12	V14	EP
Properties	Vapour	0.0000	0.0000	<empty>
Composition	Temperature [C]	30.00	29.98	<empty>
PF Specs	Pressure [bar]	1.500	2.500	<empty>
	Molar Flow [kgmole/h]	25.46	25.46	<empty>
	Mass Flow [lb/hr]	5478	5478	<empty>
	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	202.8	202.8	<empty>
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-4.000e+005	-4.000e+005	<empty>
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	-36.18	-36.18	<empty>
	Heat Flow [MW]	-6.580	-6.580	5.001e-005

شکل (۳-۳۸) خصوصیات فیزیکی جریانات حاکم بر پمپ



شکل (۳-۳۹) سایر خصوصیات پمپ شبیه سازی شده



شکل (۳-۳۵) نمای کلی از واحد شبیه سازی شده

فصل چهارم

نتایج و تفسیر آنها

۴-۱- نتایج شبیه‌سازی

در اثر واکنش در درون راکتور احتراق گوگرد با اکسیژن واکنش داده و گوگرد دی اکسید تولید می نماید. همانطور که در شکل (۴-۱) دیده شده است، گوگرد دی اکسید در اثر واکنش تولید شده است و میزان 55.35 lbmol/hr است.

	Molar Flows	Vapour Phase	Liquid Phase
SO ₂	55.3488	55.3488	0.0000
SO ₃	0.0000	0.0000	0.0000
S_Liquid	0.0000	0.0000	0.0000
H ₂ O	0.0000	0.0000	0.0000
H ₂ SO ₄	0.0000	0.0000	0.0000
Oxygen	62.5981	62.5981	0.0000
Nitrogen	443.7050	443.7050	0.0000

شکل (۴-۱) دبی مولی ترکیبات در جریان خروجی از راکتور احتراق

	Molar Flows	Vapour Phase	Liquid Phase
SO ₂	18.2651	18.2651	0.0000
SO ₃	37.0837	37.0837	0.0000
S_Liquid	0.0000	0.0000	0.0000
H ₂ O	0.0000	0.0000	0.0000
H ₂ SO ₄	0.0000	0.0000	0.0000
Oxygen	44.0563	44.0563	0.0000
Nitrogen	443.7050	443.7050	0.0000

شکل (۴-۲) دبی مولی ترکیبات در جریان خروجی از راکتور تبدیلی اول

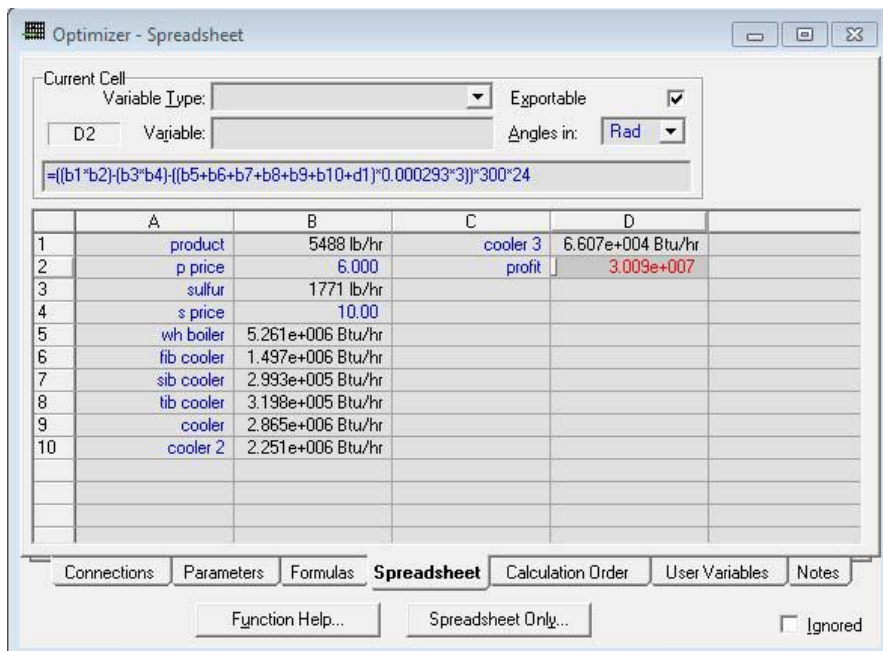
گوگرد دی اکسید در راکتور تبدیلی به گوگرد تری اکسید تبدیل شده است. در شکل (۴-۲) مشاهده شده است که تری اکسید گوگرد تولید شده است و میزان ۳۷.۰۸ lbmol/hr است. در نهایت همانطور که در شکل (۴-۳) جریان خروجی حاوی اسید سولفوریک با غلظت ۹۸.۴ درصد است.

	Mole Fractions	Liquid Phase	Aqueous Phase
SO2	0.0000	0.0000	0.0000
SO3	0.0127	0.0128	0.0000
S_Liquid	0.0000	0.0000	0.0000
H2O	0.0018	0.0008	1.0000
H2SO4	0.9841	0.9851	0.0000
Oxygen	0.0001	0.0001	0.0000
Nitrogen	0.0012	0.0012	0.0000

شکل (۴-۲) دبی مولی جریان خروجی از فرایند

ملاک بهینه‌سازی به حداکثر رساندن سود است. تابعی که برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود در زیر آورده شده است:

$$\begin{aligned}
 Profit \left(\frac{Tk}{yr} \right) = & \left[\left\{ Final Product \left(\frac{lb}{hr} \right) \times Product Price \left(\frac{Tk}{lb} \right) \right\} \right. \\
 & - \left\{ Liquid Sulfur \left(\frac{lb}{hr} \right) \times Sulfur Price \left(\frac{Tk}{lb} \right) \right\} \\
 & - \left\{ (Duty1 + Duty2 + duty3 + Duty4 + Duty5 + Duty6 + Duty7) \left(\frac{Btu}{hr} \right) \right. \\
 & \left. \times 0.000293 \left(\frac{kWh}{Btu} \right) \times 3 \left(\frac{Tk}{kWh} \right) \right\} \left. \right] \times 24 \left(\frac{hr}{day} \right) \times 300 \left(\frac{working day}{yr} \right)
 \end{aligned}$$



شکل (۱-۴) جدول بهینه‌سازی

متغیرهای بهینه‌سازی شامل موارد زیر می‌باشند:

a: دمای ورودی سرد بستر مبدل اول

b: دمای ورودی سرد بستر مبدل دوم

c: دمای ورودی سرد بستر مبدل سوم

d: دمای ورودی سرد بستر مبدل چهارم

e: ورودی جاذب

f: جریان بازیابی شده سرد

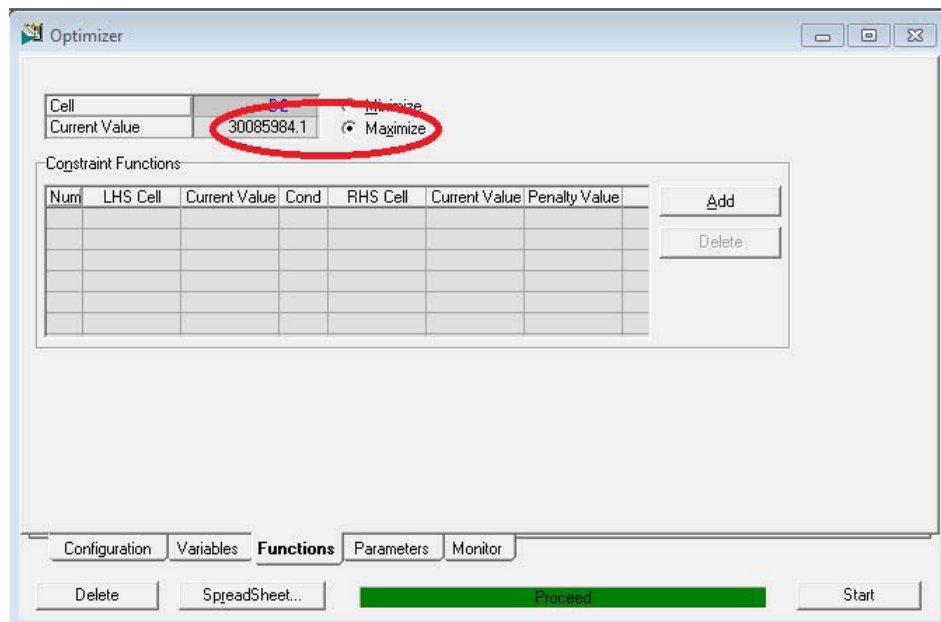
g: محصول نهایی سرد



شکل (۲-۴) متغیرهای بهینه‌سازی

۴-۲- حداکثر کردن سود

پنجرہ زیر حداکثر سود را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۴) سود حداکثر شده

۳-۴- محدودیت‌ها

a. در شبیه‌سازی ما، همه واکنش‌ها به عنوان واکنش‌های تبدیلی در نظر گرفته می‌شوند؛ اگرچه در واقع واکنش‌های تعادلی هستند. این کار به این دلیل انجام می‌شود که داده‌های کافی برای نوع تعادلی این واکنش‌ها در Hysys در دسترس نبود.

b. در عمل، گوگرد جامد ماده اولیه ورودی به فرآیند است که در نتیجه ذوب در دستگاه ذوب گوگرد به دست می‌آید. اما در Hysys، چنین واحدی یعنی ذوب کننده گوگرد وجود ندارد. در نتیجه، گوگرد مایع مستقیماً به عنوان ماده اولیه فرآیند استفاده می‌شود.

c. در عمل، از یک مبدل ۴ پاس یا دو مبدل ۲ پاس به صورت سری برای تبدیل دی اکسید گوگرد به تری اکسید گوگرد استفاده می‌شود. اما در Hysys، مبدل ۴ پاس یا ۲ پاس وجود ندارد. بنابراین از چهار مبدل تک پاس به صورت سری در شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

d. در Hysys، جاذبی که در آن واکنش اتفاق بیفتد وجود ندارد. این نوع فرآیند برای تبدیل تری اکسید گوگرد به سولفوریک اسید مورد نیاز است. در نتیجه، راکتور تبدیلی به عنوان برج جذب استفاده می‌شود.

e. در Hysys، تانک گردشی وجود ندارد که در آن عمل اختلاط بدون تبخیر ناگهانی انجام شود. این نوع عملیات برای تبدیل سولفوریک اسید ۹۸,۵٪ به سولفوریک اسید ۹۸,۱٪ لازم است. در غیاب آن، میکسر به عنوان تانک گردش استفاده می‌شود.

f. برای جلوگیری از پیچیدگی، به جای استفاده از مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله یا کولرهای هوا خنک، تمام اقدامات خنک کننده توسط کولرهای ساده انجام می‌شود.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

در ابتدا واحد تولید سولفوریک اسید بطور کامل در نرم افزار aspen شبیه سازی گردید و از تمامی تجهیزات مورد نیاز برای شبیه سازی واحد استفاده شد و نتایج حاصل گردید. خصوصیات جریانها و واکنش های موجود در فرایند بطور کامل ارائه گردید.

با انجام این پروژه شبیه سازی، ویژگی های اصلی تولید صنعتی سولفوریک اسید در نمودار جریان فرآیند نشان داده شد. با در نظر گرفتن این واقعیت که حداکثر کردن سود به روش ساده ای انجام می شود، در بهینه سازی فرآیند نتایج رضایت بخشی بدست می آید. در کل، استفاده از این روش شبیه سازی برای کارخانه فرآیند تولید سولفوریک اسید جهت بهینه سازی سود سالانه مفید خواهد بود.

همچنین در حالت کلی با در دست داشتن شبیه سازی واحد می توان به بهبود وضعیت واحد پرداخت و شرایط عملیاتی مختلفی را در واقعیت پیش بینی کرد.

همچنین میتوان داده های مختلفی را برداشت نمود و شرایط عملکردی هر یک از تجهیزات را مشاهده کرد و با استفاده از شبکه عصبی به بهینه سازی واحد موجود پرداخت. زیرا با بهینه سازی واحد صرفه جویی خوبی در هزینه صورت خواهد گرفت.

همچنین این واحد شبیه سازی شده را می توان در حالت دینامیکی نیز تست نمود و شرایط تجهیزات را نیز در حالت گذرا مشاهده نمود و رفتار دینامیکی واحد را مشاهده کرد و شرایط واحد را در زمان حادثه پیش بینی کرد.

مراجع

مراجع

- [١] A. Agrawal, K.K Sahu, An overview of the recovery of acid from spent acidic solutions from steel and electroplating industries, J. Hazard. Mater, ١٧١ (٢٠٠٩) ٦١-٧٥.
- [٢] A.M. Eyal^١, A.M. Baniel^١, J. Mizrahi, A New Approach for Treatment of Acid-Containing Waste Streams, Emerging Technologies in Hazardous Waste Management, ACS Symposium Series Vol., New York, ١٩٩٠, pp.٢١٤-٢٣٣. ٢٣
- [٣] D. Illman, Waste Acid Recovery System Cited for Technology Transfer, Chem. Eng. News. ٧١ (١٩٩٣) ٢٧.
- [٤] S.D Wei, S.J. Feng, Y. Wei, Summary of treatment and concentration of TiO_2 waste acid, Inorg. Chemicals Ind. ٣٩ (٢٠٠٧) ١٥-١٧.
- [٥] M. Regel-Rosocka, A review on methods of regeneration of spent pickling solutions from steel processing, J. Hazard. Mater. ١٧٧ (٢٠١٠) ٥٧-٦٩.
- [٦] G.Y. Liu, R.F. Wu, Enrichment of titanium white waste acid in the production of titanium white by sulfate method, J. Min. Metal. Proj. ١٨ (١٩٩٨) ٥٣-٥٦.
- [٧] T.W. Xu, W.H. Yang, Sulfuric acid recovery from titanium white (pigment) waste liquor using diffusion dialysis with a new series of anion exchange membranes-static runs, J. Membr. Sci. ١٨٢ (٢٠٠١) ١٩٣-٢٠٠.
- [٨] A. Ali, P. Aimar, E. Drioli, Effect of module design and flow patterns on performance of membrane distillation process, Chem. Eng. J. ٢٧٧ (٢٠١٥) ٣٦٨-٣٧٧.
- [٩] A. Hausmann, P. Sanciolo, T. Vasiljevic, M. Weeks, M. Duke, Integration of membrane distillation into heat paths of industrial processes, Chem. Eng. J. ٢١١-٢١٢ (٢٠١٢) ٣٧٨-٣٨٧.
- [١٠] M.M. Teoh, T.S. Chung, Y.S. Yeo, Dual-layer PVDF/PTFE composite hollow fibers with a thin macrovoid-free selective layer for water production via membrane distillation, Chem. Eng. J. ١٧١ (٢٠١١) ٦٨٤-٦٩١.
- [١١] M. Tomaszewska, M. Gryta, A.W. Morawski, Study on the concentration of acids by membrane distillation, J. Membr. Sci. ١٠٢ (١٩٩٥) ١١٣-١٢٢.
- [١٢] M. Tomaszewska, Concentration of the extraction fluid from sulfuric acid treatment of phosphogypsum by membrane distillation, J. Membr. Sci. ٧٨ (١٩٩٣) ٢٧٧-٢٨٢.
- [١٣] J.J. Tang, W. Zhang, K.G. Zhou, Feasibility study of recycling of waste acid in Fe the process of rare earth metallurgy by membrane, J. Min. Metal. Eng. ٦ (٢٠٠٨) ٥٤-٥٧.
- [١٤] A. Alkudhiri, N. Darwish, N. Hilal, Membrane distillation: A comprehensive review, Desalination ٢٨٧ (٢٠١٢) ٢-١٨.

- [١٥] G.D. Xu, Analysis of the present development situation of the titanium industry and the future market norms, *Chem. Raw Mater. Intermed.* ٣ (٢٠١١) ٢٣-٢٦.
- [١٦] X. Hong, X. Y.M. Yin, L. Xin, Brief introduction of utilization and development of titanium white waste acid, *Inorg. Chem. Ind.* ٠٦ (٢٠٠٧) ١٠-١٧.
- [١٧] Q. Li, Q.X. Zhang, Exploring study of concentrating the titanium white waste acid by Vacuum membrane distillation, *Rare Met. Ceme. Carb.* ٣ (٢٠٠١) ١-٥.
- [١٨] Q. Li, L.H. Zhu, L.Z. Zhao, Combined solvent extraction-membrane distillation method for treating titanium white waste acid, *Jiangsu Chem.* ٣٢ (٢٠٠٤) ٤٢-٤٦.
- [١٩] J.A. Dean, Lange's handbook of chemistry, second ed., Science Press, China, ٢٠٠٢.
- [٢٠] J.M. Zhu, L.Y. Jiang, T. Matsuura, New Insights into fabrication of Hydrophobic/Hydrophilic composite hollow Fibers for direct contact membrane distillation, *Chem. Eng. Sci.* ١٣٧ (٢٠١٥) ٧٩-٩٠.
- [٢١] L. D. Tijing, Y. C. Woo, M. A. Hasan Johir, J.-S. Choi, H. K. Shon, A novel dual-layer bicomponent electrospun nanofibrous membrane for desalination by direct contact membrane distillation, *Chem. Eng. J.* ٢٥٦ (٢٠١٤) ١٥٥-١٥٩.
- [٢٢] J.I. Gmitro, T. Vermeulen, Vapor-liquid equilibria for aqueous sulfuric acid, *AIChE J.* ١٠,٥ (١٩٦٤) ٧٤٠-٧٤٦.
- [٢٣] Z.W Song, L.Y Jiang, Optimization of morphology and performance of PVDF hollow fiber for direct contact membrane distillation using experimental design, *Chem. Eng. Sci.* ١٠١ (٢٠١٣) ١٣٠-١٤٣. ٢٥
- [٢٤] M.C. García-Payo, M. Essalhi, M. Khayet, Effects of PVDF-HFP concentration on membrane distillation performance and structural morphology of hollow fiber membranes, *J. Membr. Sci.* ٣٤٧ (٢٠١٠) ٢٠٩-٢١٩.
- [٢٥] S. Srisurichan, R. Jiratananon, A.G. Fane, Mass transfer mechanisms and transport resistances in direct contact membrane distillation process, *J. Membr. Sci.* ٢٧٧ (٢٠٠٦) ١٨٦-١٩٤.
- [٢٦] C.M. Tun, A.G. Fane, J.T. Matheickal, R. Sheikholeslami, Membrane distillation crystallization of concentrated salts—flux and crystal formation, *J. Membr. Sci.* ٢٥٧ (٢٠٠٥) ١٤٤-١٥٥.
- [٢٧] A. M. Alklaibi, N. Lior, Membrane-distillation desalination: status and potential, *Desalination* ١٧١ (٢٠٠٤) ١١١-١٣١.
- [٢٨] M. Gryta, Influence of polypropylene membrane surface porosity on the performance of membrane distillation process, *J. Membr. Sci.* ٢٨٧ (٢٠٠٧) ٦٧-٧٨.
- [٢٩] J. Ge, Y. Peng, Z. Li, P. Chen, S.B. Wang, Membrane fouling and wetting in a DCMD process for RO brine concentration, *Desalination* ٣٤٤ (٢٠١٤) ٩٧-١٠٧.
- [٣٠] M. Gryta, Concentration of NaCl solution by membrane distillation integrated with crystallization, *Sep. Sci. Technol.* ٣٧ (٢٠٠٢) ٣٥٣٥-٣٥٥٨.

- [۳۱] L. D. Nghiem, T. Cath, A scaling mitigation approach during direct contact membrane distillation, Sep. Purif. Technol. ۸۰ (۲۰۱۱) ۳۱۵-۳۲۲.
- [۳۲] S.W. Meng, Y. Ye, J. Mansouri, V. Chen, Fouling and crystallisation behaviour of superhydrophobic nano-composite PVDF membranes in direct contact membrane distillation, J. Membr. Sci. ۴۶۳ (۲۰۱۴) ۱۰۲-۱۱۲.
- [۳۳] E. Guillen-Burriezaetal, A. Ruiz-Aguirre, G. Zaragoza, H.A. Arafat, Membrane fouling and cleaning in long term plant-scale membrane distillation operation, J. Membr. Sci. ۴۶۸ (۲۰۱۴) ۳۶۰-۳۷۲.
- ۲۶
- [۳۴] R.B. Saffarini, B. Mansoor, R. Thomas, H.A. Arafat, Effect of temperaturedependent microstructure evolution on pore wetting in PTFE membranes under membrane distillation conditions, J. Membr. Sci. ۴۲۹ (۲۰۱۳) ۲۸۲-۲۹۴.



Energy Institute of Higher Education

**Simulation and optimization of sulfuric acid
production process by proximity method by Aspen
Hysys software**

**By:
Mr. Abooyi**

**Supervisor:
Dr. Maddah
Dr. Vasefi**

november ۲۰۲۰