نشریه علوم و مهندسی جداسازی
دوره سوم، شماره اول، سال ۱۳۹۰، صفحه ۵۷ تا ۶۹

Journal of Separation Science and Engineering
Vol. 3 , No. 1 , pp. 57-69

شبیه‌سازی برج جذب واحد تصفیه گاز با آمین و بررسی استفاده از آکنه‌های منظم به منظور بهبود عملکرد آن

امین سالم[۱،*]، صمد نورقاسمی[۲]، فاطمه امانپورریحانی[۳]

۱. دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند تبریز (salem@sut.ac.ir)
۲. کارشناس ارشد شرکت پالایش نفت تبریز
۳. کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۳۰ خرداد ۱۳۸۹
دریافت پس از اصلاح ۳ خرداد ۱۳۹۰
پذیرش نهایی ۲۲ خرداد ۱۳۹۰

کلمات کلیدی:
گاز ترش
آمین
جذب
آکنه
سینی
شبیه‌سازی

چکیده

در تحقیق حاضر برج جذب فشار پایین یک واحد تصفیه گاز با آمین که از نوع سینی‌دار بوده و به جهت اضافه بار نسبت به طراحی مشکلات عملیاتی متعددی دارد، انتخاب و با استفاده از مدل سرعت انتقال جرم و حرارت نرم افزار Aspen Plus شبیه‌سازی شده است. هدف اولیه این تحقیق مطالعه عملکرد برج سینی دار به کمک نرم افزار و مقایسه نتایج حاصله با داده های صنعتی به منظور بررسی صحت محاسبات بوده است. در مرحله بعدی تحقیق، تاثیر انواع آکنه‌ها و عوامل گوناگون از قبیل غلظت و شدت جریان گاز ورودی، شدت جریان آمین و همچنین پارامترهای آکنه مانند ضخامت ورقه های آن، بر عملکرد برج بررسی شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از دو بستر ۴/۵ متری از نوع Mellapak 250Y، ضمن کاهش قابل ملاحظه افت فشار سیستم، ظرفیت آن را نیز افزایش داده بطوریکه در صورت ثابت نگه داشتن مقدار سرعت گردش آمین، مقدار گاز ورودی به برج را می توان تا حدود ۶۰٪ افزایش داد.

* عهده دار مکاتبات

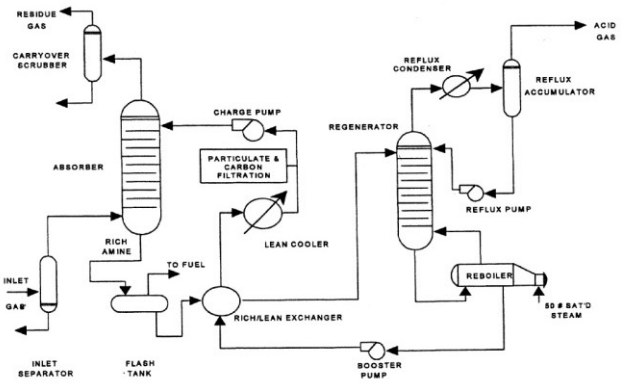
حقوق ناشر محفوظ است.

۱- مقدمه

در بسیاری از بخش‌های صنعت نفت و گاز، حذف عناصر اسیدی و ترش مانند سولفید هیدروژن (H_2S) دی‌اکسیدکربن (CO_2) و یا مرکاپتان‌ها (RSH) از جریان‌های گازی و مایع جزء نیازهای اساسی بوده و به ویژه امروزه با ملاحظه‌های قوانین سخت‌گیرانه زیست‌محیطی و ترش‌تر شدن تدریجی نفت و گازهای استخراج شده با گذشت زمان، این فرآیندها اهمیت خاصی پیدا می‌کنند. به عنوان نمونه می‌توان به تصفیه گاز طبیعی، گاز پالایشگاه‌ها، گازهای عاری از H_2S و CO_2 و گازهای سنتز اشاره کرد. روش‌های متعددی جهت تصفیه این گازها وجود دارند که عواملی نظیر ترکیب گاز، فشار و دمای فرآیند، غلظت گاز ترش، خلوص نهایی و مشخصات خوراک و محصول جهت انتخاب فرآیند مناسب مورد نظر قرار می‌گیرند. پس از روشن شدن نیازهای فرآیندی، با ملاحظه یک‌سری عوامل جنبی دیگر، از قبیل هزینه سرمایه گذاری و عملیاتی، شرایط آب و هوایی و سهولت عملیات، نسبت به انتخاب فرآیند اقدام می‌گردد [۱].

در این فرآیندها از یک حلال آبی که معمولاً یک آلکانول‌آمین و یا نمک بازی (فرآیند کربنات گرم) است، استفاده می‌شود، که با گازهای اسیدی (H_2S یا CO_2) یک کمپلکس شیمیایی تشکیل می‌دهند و بدین ترتیب آن‌ها را جذب می‌نمایند. این کمپلکس در دمای بالا و فشار پایین برج احیا مجدداً شکسته و گاز اسیدی را آزاد و حلال را جهت استفاده مجدد احیا می‌کند. این حلال‌ها در مقایسه با حلال‌های فیزیکی به دلیل عدم حساسیت زیاد نسبت به تغییرات فشار جزء گاز اسیدی و همچنین ظرفیت زیاد جذب و حذف گاز اسیدی، در مواردی که فشار سیستم پایین بوده و خلوص بالایی از گاز مورد نیاز است، بسیار مناسب می باشند. فرآیند جذب گازهای اسیدی در حلال‌های شیمیایی معمولاً گرمازا بوده و آزادسازی گرما در فرآیند جذب و گرفتن گرما در فرآیند احیا از مشخصه‌های آن می باشد. شکل (۱) شمایی کلی از این فرآیندها را نشان می دهد.

گاز اسیدی پس از گذشتن از یک جدا کننده گاز- مایع، از پایین برج جذب وارد آن می‌شود. این برج معمولاً یا برج سینی‌دار و یا آکنده می باشد و در آن گاز در یک جریان غیر همسو با یک آمین آبی تماس یافته و گاز اسیدی در آمین حل می شود. آمین غنی خروجی از برج جذب به یک محفظه فلاش هدایت می شود که در آنجا با کاهش فشار، هیدروکربن‌های محلول در آمین، از آن خارج می شوند. سپس از میان یک مبدل حرارتی عبور کرده و پس از تبادل حرارت با آمین احیا شده و از بالای برج احیا وارد این برج می‌گردد. کاهش فشار و استفاده از حرارت، گاز اسیدی را از آمین خارج ساخته و آمین ضعیف گرم (Lean Amine) مجدداً پس از عبور از مبدل آمین غنی/ضعیف و خنک شدن در یک خنک کننده به برج جذب هدایت می‌گردد.



شکل (۱): شمای کلی یک واحد تصفیه گاز با آمین[۱]

استفاده ازآکنه‌ها از سال ۱۹۶۰ در صنایع مختلف به منظور جداسازی مواد در سیستم‌های جداسازی مانند تقطیر، آغاز و از آن زمان در موارد گوناگونی استفاده روز افزونی پیدا کرده است. این نوع آکنه‌ها از تیغه‌هایی تشکیل یافته‌اند که سطح تماس زیادی ایجاد کرده و بدین ترتیب بازده زیادتری نسبت به سینی‌های متداول در صنعت دارند. از این نوع آکنه‌ها در فرآیندهایی که جداسازی مشکل بوده و نیاز به مراحل تئوریکی زیادی دارند، استفاده می شود و به ویژه در برجهایی که در شرایط فشار پایین کار می کنند کارایی بیشتری دارند. افت فشار بسیار کم به ازای هر واحد تئوریکی و تجمع کم مایع از خصوصیات مهم این تجهیزات است. به طور کلی در سه مورد از آکنه‌ها استفاده می‌شود که عبارتند از:

الف- برج‌های با قطر کم که امکان استفاده از سینی در آن‌ها تقریبا غیر ممکن است.

ب- زمانی که مسئله افت فشار بسیار مهم باشد.

پ-در فرآیندهایی که شرایط عملیاتی، موجب استفاده از مواد خاصی مانند پلاستیک می شود.

ستون‌های پرشده به دو گروه عمده تقسیم می‌گردند:

الف- ستون‌هایی با آکنه‌های نامنظم یا ریخته شده.

ب- ستون‌هایی با آکنه‌های منظم

آکنه‌های نامنظم، مشکلات فراوانی را در برجهایی با قطر بزرگتر بوجود می‌آورند. یکی از این مشکلات توزیع نامناسب

مایع در نواحی نزدیک به دیواره برج می باشد. بنابراین محققان و کارخانه‌های سازنده آکنه‌ها به این فکر افتادند تا گونه جدیدی از آکنه‌ها را تولید کنند. این نوع آکنه‌ها را آکنه‌های منظم می نامند [۲]. استفاده از آکنه‌های منظم از سال ۱۹۶۰ به بعد رونق گرفته است. این آکنه ها یک بستر هموژن را تشکیل می دهند و معمولا در برج‌هایی که در شرایط عملیاتی فشار پایین کار می‌کنند، موثرند [۳]. با توجه به افت فشار بسیار کمی که آکنه‌ها و به ویژه آکنه‌های منظم دارند، استفاده ازآنها راه حل بسیار مناسبی برای حل این مشکل خواهد بود. تحقیقات متعدد نشان داده است که استفاده از آکنه‌های منظم، باعث افزایش ظرفیت و جریان گاز ورودی و کاهش افت فشار شده است [۶-۴]. از آکنه‌های مورد استفاده در شیرین‌سازی گازها می‌توان به Mellapack ، Mellapack plus و Maxpack اشاره نمود [۹-۷].

هدف تحقیق حاضر بررسی عملکرد برج سینی دار واحد تصفیه گاز با آمین پالایشگاه تبریز با استفاده از شبیه سازی واحد و مقایسه نتایج حاصل با داده های صنعتی به منظور بررسی صحت محاسبات می باشد. از آنجایی که برج سینی دار مذکور در حداکثر ظرفیت خود کار می کند لذا تبدیل برج به یک برج آکنده به منظور افزایش ظرفیت واحد پیشنهاد و پارامترهای موثر بر عملکرد آن از قبیل غلظت و شدت جریان گاز ورودی، شدت جریان آمین و همچنین پارامترهای آکنه مانند ضخامت ورقه های آن، بر عملکرد برج بررسی شده است.

۲- شبیه سازی برجهای سینی دار و آکنده

شبیه سازی یک واحد، روش کم هزینه‌ای است که می‌توان به کمک آن تخمینی از کارایی را به دست آورد. در شبیه سازی برج جذب با آمین پالایشگاه تبریز از نرم‌افزار Aspen Plus و روش انتقال جرم و حرارت که از قابلیت‌های این نرم‌افزار می‌باشد، استفاده شده و بدین ترتیب پس از بررسی انواع آکنه‌ها و انتخاب مناسب‌ترین آن‌ها از نظر بازده و افت فشار، اثرات عوامل مختلف در عملکرد برج از قبیل سرعت جریان و غلظت گاز ورودی، شدت جریان گردش آمین و همچنین پارامترهای آکنه مورد مطالعه قرار گرفته است.

واحد تصفیه گاز با آمین پالایشگاه تبریز از سه برج جذب با شماره TV-808 ، TV-805 و TV-802 که به ترتیب در فشارهای پایین ۳/۵ kg/cm^2 ، فشار متوسط ۱۱ kg/cm^2 و فشار بالا ۱۸ kg/cm^2 کار می کنند، تشکیل یافته است. گازهای خوراک این سه برج از واحدهای مختلف تامین می‌شوند و به همین‌جهت نیز فشارهای عملیاتی آنها متفاوت است. آمین مورد استفاده این سیستم MEA می‌باشد. دو رویکرد اساسی در شبیه‌سازی برج‌های جذب به شرح زیر وجود دارند:

الف-شبیه‌سازی به روش مراحل تعادلی و محاسبه ارتفاع معادل مرحله تئوریکی

ب- شبیه‌سازی به روش انتقال جرم و حرارت و به دست آوردن ارتفاع واقعی آکنه

در مدل تعادلی با استفاده از HETP تعداد مراحل تئوریکی به ارتفاع آکنه تبدیل می‌گردد. علاوه بر آن مدل‌های تعادلی، نقش واکنش‌های شیمیایی را که بر روی فرآیند انتقال جرم و حرارت که در سیستم‌های آمین اتفاق می افتد، را در نظر نمی‌گیرند. مدل سرعت انتقال جرم دارای ویژگی هایی است که ارزش دقت بیشتر را دارند.

الف- محاسبه مستقیم سرعت انتقال جرم و حرارت از یک فاز به فاز دیگر

ب-وارد شدن جزئیات طراحی و پارامترهای دستگاه، در سرعت‌های انتقال (جرم و حرارت)

پ-واکنش‌های شیمیایی سرعت انتقال جرم را بهبود می بخشند.

ت-تعادل فازی، از آنجاکه ارتباط بین غلظت‌های گازهای اسیدی در توده بخار و مایع را درسطح تماس بین دو فاز، بیان می کند، عامل بسیار مهمی است.

ث-موازنه اجزاء علاوه بر قطعه آکنه، در هر فاز نیز باید برقرار گردد.

در این تحقیق برج جذب فشار پایین، که در حال حاضر دارای ۲۰ عدد سینی شیردار است، شبیه‌سازی شده و با توجه به افزایش مقدار گاز ترش ورودی به برج از ۵۵۰۰Nm^3/hr (طراحی) به حدود ۱۰۰۰۰ Nm^3/hr و با استفاده از انواع آکنه‌ها اثر تغییر جریان گاز ورودی به برج بر روی غلظت گاز تصفیه شده خروجی و هم چنین افت فشار سیستم بررسی و مطالعه خواهد شد.

فرضیاتی که برای سیستم جهت شبیه‌سازی در نظر گرفته شده عبارتند از:

الف-سیستم به صورت پایدار فرض شده و از هر گونه رفتار دینامیکی صرف نظر شده است.

ب-گاز ورودی عاری از NO_x و SO_x و سایر آلاینده‌ها که می‌توانند با آمین واکنش داده و تولید محصولاتی غیرقابل احیا نمایند، می‌باشد.

پ-سیستم کاملا آدیاباتیک می‌باشد.
ت-انتقال جرم در داخل برج هم به صورت نفوذ مولکولی H_2S از داخل گاز به طرف فاز مایع و هم به صورت جابه جایی به خاطر ایجاد حباب در بستر آکنه انجام می گیرد .

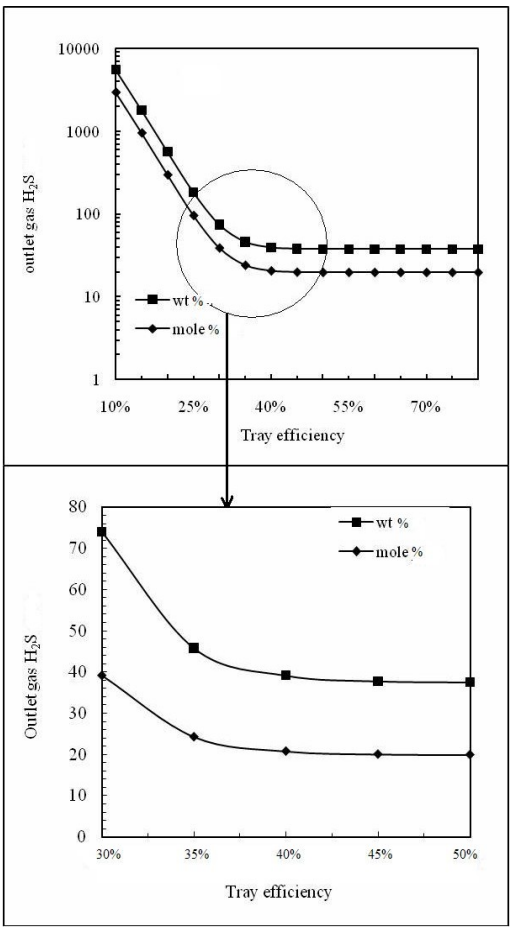
علیرغم اینکه در تمام مراحل شبیه‌سازی برج با آکنه‌ها، از مدل Rate Frac (مدل بر اساس سرعت انتقال جرم و حرارت) استفاده می‌شود ولی از آنجاییکه در شبیه‌سازی برج سینی‌دار نیازمند تعریف بازده می باشد که فقط در سیستم Rad Frac (براساس سیستم تعادلی) امکان پذیر است لذا برای شبیه‌سازی برج سینی‌دار از این مدل استفاده خواهد شد. ضمنا مدل Rad Frac قابلیت محاسبه افت فشار برای هر دو برج آکنده و سینی‌دار را دارد که برای محاسبه افت فشار نیز، از این مدل استفاده می‌شود. البته برای محاسبه افت فشار در این مدل باید مقادیر HETP آکنه‌ها و بازده برای سینی نیز وارد شود. مقادیرHETP آکنه‌ها با استفاده از مدل Rate Frac به دست می‌آیند.

۳- ارزیابی عملکرد برج سینی دار با داده های صنعتی

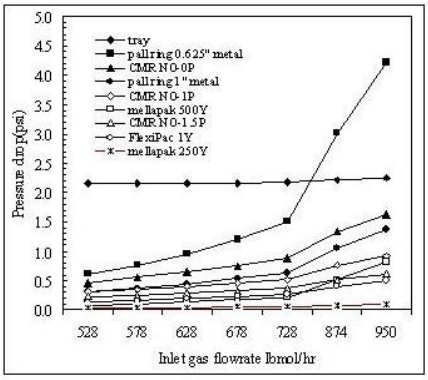
قبل از شبیه سازی برج آکنده، باید نتایج حاصل از آن با شرایط واقعی مقایسه شود. از آنجاییکه برج موجود سینی‌دار است، لذا برج موجود در سیستم Rad Frac شبیه سازی شده و بازدهی سینی ها محاسبه گردید. در محاسبه بازدهی سینی ها از روش سعی و خطا استفاده شده و بازدهی از ۰/۱ تا ۰/۸ تغییر داده شد که تغییرات غلظت H_2S به صورت تابعی از بازدهی در شکل (۲) نشان داده شده است. بوضوح دیده می شود که با افزایش بازدهی به بیش از ۰/۳۵ تغییر قابل ملاحظه ای در غلظت گاز خروجی دیده نمی شود. بعبارت دیگر بازدهی سینی ها نمیتواند از ۰/۳۵ تجاوز نماید. در سیستم‌های تصفیه گاز با آمین ، بازده سینی‌ها در عمل حدود ۳۰٪ می‌باشد [۱۰]. در شرایط واقعی واحد غلظت گاز خروجی در محدوده ۲۰ تا ۱۰۰ppm است که نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی نیز در بازه حدود ۳۰ تا۴۰٪ بوده و در محدوده واقعی قرار داشته و با نتایج تجربی و صنعتی مطابقت دارد.

۴- ارزیابی و انتخاب آکنه مناسب

پس از محاسبه HETP انواع آکنه‌ها و انتخاب آکنه‌های مناسب از نظر HETP، افت فشار آکنه‌های منتخب با مدل Rad Frac محاسبه شده و در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. ملاحظه می‌گردد که آکنه Mellapak 250Y دارای کمترین افت فشار می‌باشد. با توجه به شرایط عملیاتی برج جذب و افزایش مقدار گاز ورودی نسبت به طراحی که موجب افت فشار زیادی در طول برج و بروز پدیده‌های مختلف کف کنندگی و انتقال آمین توسط گاز می‌گردد، پارامتر افت فشار اهمیت زیادی در انتخاب آکنه داشته و با توجه به افت فشار بسیار کم آکنه Mellapak 250Y، درمقایسه با سایرآکنه ها و برج سینی دار، این آکنه بسیار مناسب تشخیص داده شده و علیرغم اینکه HETP آن در مقایسه با سایر آکنه های مورد مطالعه مانندFlexiPac1Y و یا Mellapak 500Y بیشتر است، به عنوان مناسب‌ترین نوع آکنه انتخاب شده و بقیه مطالعات و تاثیر پارامترهای گوناگون، با استفاده از این آکنه انجام می‌گردد.



شکل (۲) : غلظت گاز خروجی برج سینی‌دار موجود متناسب با بازده سینی‌ها,مقدار جریان گاز ورودی ۸۷۳ lbmol/hr و غلظت ۲/۴ ٪ مولی H_2S



شکل (۳) : افت فشار انواع آکنه‌ها در شدت‌جریان‌های مختلف گاز ورودی و غلظت ۲/۴٪ مولی H_2S

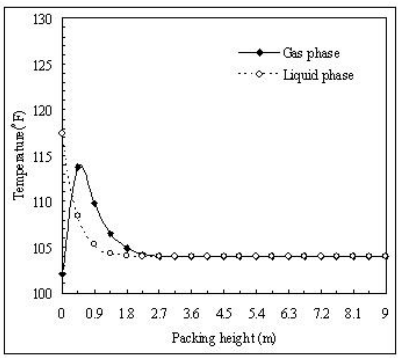
با انتخاب آکنه Mellapak 250Y به عنوان گزینه برتر، از آنجاییکه توزیع مناسب و خوب مایع در سطح آکنه‌ها نقش بسیار مهمی در کارایی آن‌ها و تماس فازهای گاز و مایع ایفا می‌کند و چون بیشتر شدن ارتفاع بستر اثرات نامطلوبی بر روی توزیع مایع دارد، لذا نباید حداکثر ارتفاع آکنه از ۶ برابر قطر برج تجاوز نماید، به همین جهت از دو بستر، هر کدام به ارتفاع ۴/۵ متر به این منظور استفاده شده تا بدین ترتیب امکان نصب تجهیزات توزیع کننده مجدد بین دو بستر نیز فراهم شود.

توزیع دما در فاز گاز و مایع در طول بستر آکنه، در غلظت ثابت گاز ورودی و دو حالت مختلف شدت جریان گاز، در شکل(۴) نشان داده شده‌اند. چنانکه مشاهده می‌گردد، دمای گاز در ابتدای ورود افزایش و سپس کاهش یافته و گاز خروجی از بستر دوم تقریباً با دمای ثابت آن را ترک می کند. این موضوع با توجه به واکنش پذیری شدید H_2S با آمین و گرمازا بودن آن، که باعث می شود در ابتدای ورود به برج، واکنش شدید با آمین انجام و تولید گرما نماید، کاملاً قابل توجیه است.

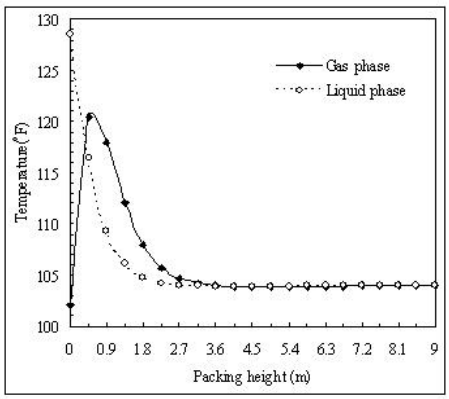
شکل‌های (۵) و (۶) نشان می‌دهند که در شرایط کار کرد فعلی برج و حتی در بدترین شرایط از نظر شدت‌جریان و غلظت گاز ورودی فقط یک بستر برای کامل شدن واکنش‌ها، کافی می‌باشد و بستر اول در این شرایط مورد استفاده‌ای ندارد و از آن به عنوان ظرفیت اضافی برج می توان استفاده کرد و مقدار گاز ورودی را افزایش و یا مقدار جریان آمین در گردش را کاهش داد که در برج سینی‌دار این امکان و ظرفیت اضافه وجود ندارد. در شرایط فعلی کارکرد برج جذب، نصب فقط یک بستر آکنه جهت رسیدن به مشخصات مطلوب محصول کافی بوده و نیازی به بستر اضافی نمی‌باشد. لذا باید از این بازده بالا به نحو مطلوبی استفاده گردد که از طریق کاهش نسبت مایع به گاز در برج (L/G) که از فاکتورهای اصلی طراحی برج‌های جذب می‌باشد، امکان پذیر است. لذا دو حالت ذیل مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

الف-کاهش گردش آمین در صورت ثابت بودن مقدار گاز

ب- افزایش دبی گاز ورودی در صورت ثابت بودن مقدار سرعت چرخش آمین



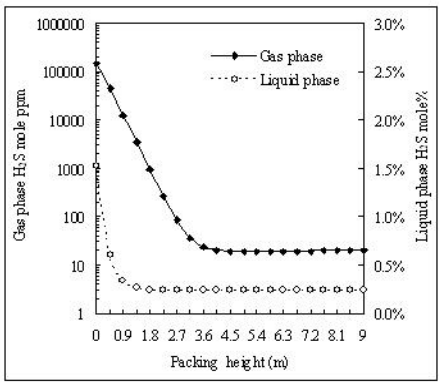
(الف)



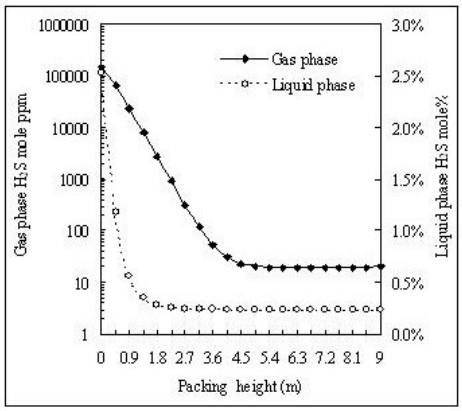
(ب)

شکل (۴) : پروفیل دمای گاز و مایع در طول بستر آکنه, غلظت گاز ۱۴/۴٪ مولی, شدت جریان گاز الف: ۵۲۸ ب: ۹۵۰lbmol/hr

برای مطالعه کاهش گردش آمین، مقدار جریان گردش این محلول در شرایط موجود یعنی ۵۸۵۰ lbmol/hr را به عنوان پایه (L_b) در نظر گرفته و سایر مقادیر(L) را به صورت نسبی (L/L_b) بیان می شود. بدین ترتیب پروفیل غلظت فاز گاز در شرایط مقدار حداکثر گاز ورودی یعنی ۹۵۰ lbmol/hr و در دو غلظت حداقل و حداکثر گاز ورودی در شکل (۷) نشان داده شده است. مشاهده می شود، در حداقل غلظت گاز ورودی ۲/۴٪ مولی، امکان کاهش قابل ملاحظه گردش آمین وجود داشته و می‌توان آن را به حدود ۱۰٪ مقدار فعلی رساند که به معنی کاهش قابل ملاحظه مصرف انرژی است.



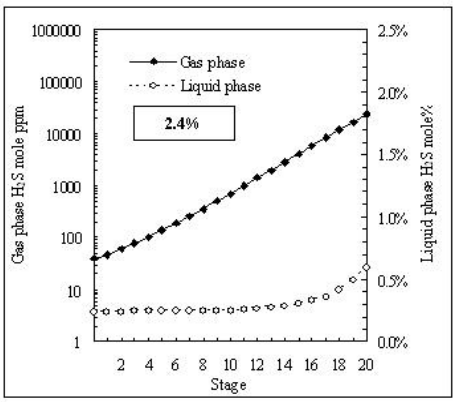
(الف)



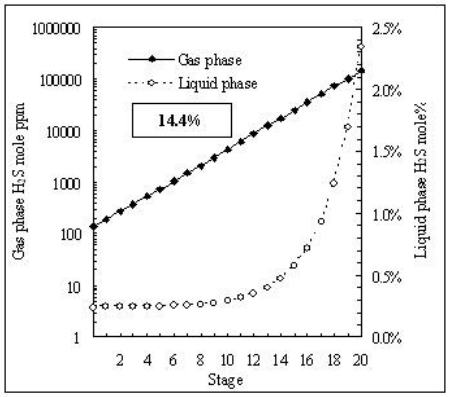
(ب)

شکل (۵) : پروفیل غلظت فاز گاز و مایع در طول بستر آکنه،غلظت گاز ورودی ۱۴/۴٪ مولی، شدت‌جریان گاز ورودی الف: ۵۲۸ ب: ۹۵۰lbmol/hr

در صورتی‌که غلظت گاز ورودی در بیشترین مقدار آن، یعنی ۱۴/۴٪ مولی باشد، کاهش مقدار آمین فقط تا حدود ۵۰٪ مقدار فعلی امکان‌پذیر خواهد بود. با دقت بیشتر در این نمودارها دیده می‌شود که مقادیر فوق، مقادیر مرزی بوده و در این شرایط کوچک‌ترین کاهش مقدار گردش آمین موجب ناپایداری سیستم و افزایش غلظت گاز خروجی خواهد شد، که این موضوع در شکل (۸) نیز نشان داده شده است. برای بررسی بیشتر رفتار سیستم متناسب با گردش آمین لازم است پروفیل دمای گاز مورد مطالعه قرار گیرد. شکل (۹) پروفیل دمای گاز را نشان می دهد. درصورت کاهش مقدار آمین به کمتر از مقادیر حداقل ذکر شده و در شرایطی که غلظت گاز ورودی ۲/۴٪ باشد، دمای فاز گاز پس از ورود به بستر آکنه کاهش یافته و فقط در انتهای بستر افزایش می یابد.



(الف)

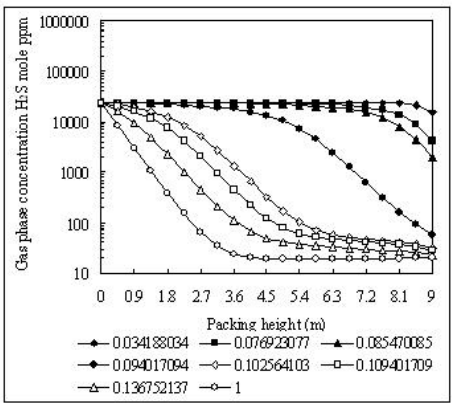


(ب)

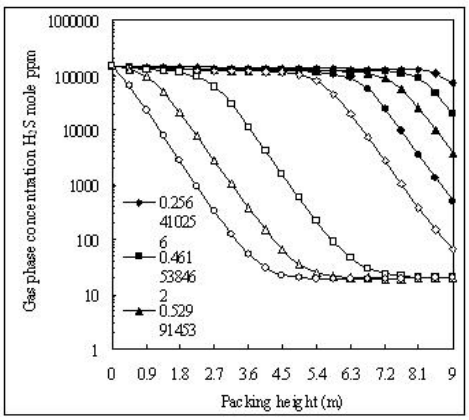
شکل (۶) : پروفیل غلظت فاز گاز و مایع در طول برج سینی‌دار، بازده سینی ۴۰٪، شدت‌جریان گاز ورودی lbmol/hr ۸۷۳ ,غلظت گاز ورودی الف :۲/۴٪ ب: ۱۴/۴٪ مولی

این پدیده با توجه به اینکه مقدار گردش آمین بسیارکم بوده و بلافاصله بعد از ورود به بستر و تماس با گاز و جذب H_2S، اشباع شده و قادر به جذب و واکنش بیشتر نمی‌باشد، توجیه پذیر است.

جهت مقایسه عملکرد آکنه و برج سینی دار، بررسی مشابهی بر روی سینی نیز انجام گرفته است که نتایج حاصل در شکل (۱۰) نشان داده شده اند. ملاحظه می‌شود برج سینی‌دار در مقایسه با برج آکنده از انعطاف بسیار کمی برخوردار بوده و در صورت کاهش جریان آمین غلظت گاز خروجی سریع‌تر از برج آکنده افزایش خواهد یافت. نمودارهای (۱۱) و (۱۲) پروفیل غلظت و دمای فاز مایع را در شدت جریان‌های مختلف گردش آمین نشان می دهد.

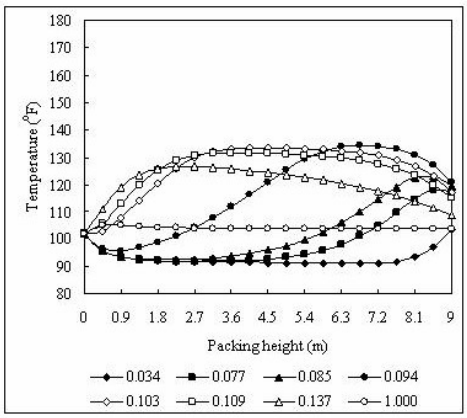


(الف)

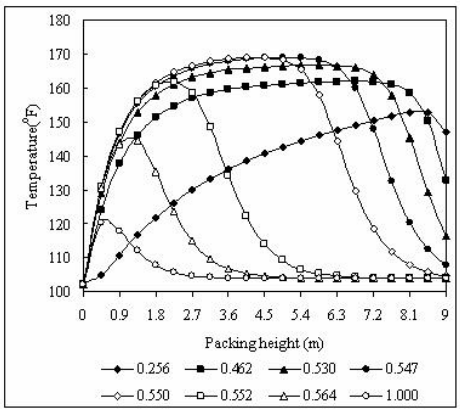


(ب)

شکل (۷): پروفیل غلظت فاز گاز, شدت‌جریان گاز ورودی lbmol/hr ۹۵۰, پارامتر نمودارها: نسبت مولی گردش آمین نسبت به جریان پایه lbmol/hr ۵۸۵۰ غلظت گاز الف: ۲/۴٪ و ب :۱۴/۴٪ مولی

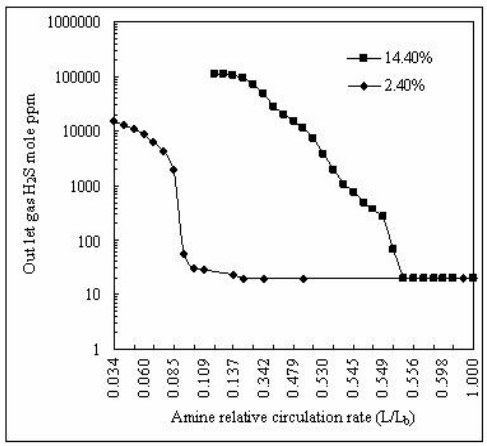


(الف)

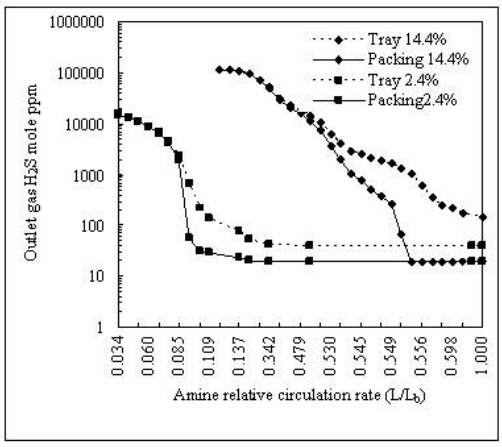


(ب)

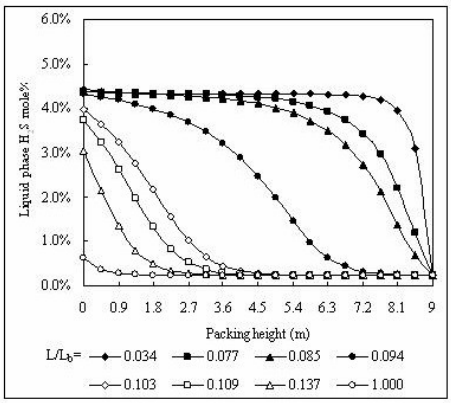
شکل (۹): پروفیل دمای فاز گاز در شدت جریان‌های مختلف گردش آمین, شدت جریان گاز ورودی lbmol/hr ۹۵۰, L_b= ۵۸۵۰ lbmol/hr, غلظت گاز ورودی الف : ۲/۴٪ ب :۱۴/۴٪ مولی



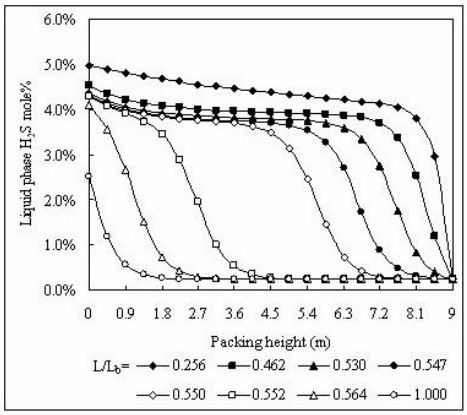
شکل (۸): نمودار غلظت گاز خروجی نسبت به شدت جریان گردش آمین, جریان گاز lbmol/hr ۹۵۰, گردش آمین lbmol/hr ۵۸۵۰



شکل (۱۰): غلظت گاز خروجی در برج سینی‌دار و آکنده, شدت جریان گاز lbmol/hr ۹۵۰ جریان گردش آمین lbmol/hr ۵۸۵۰



(الف)

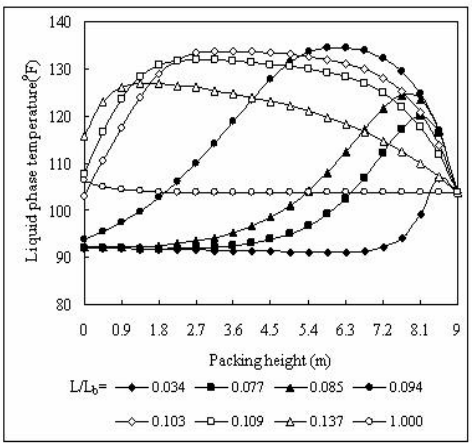


(ب)

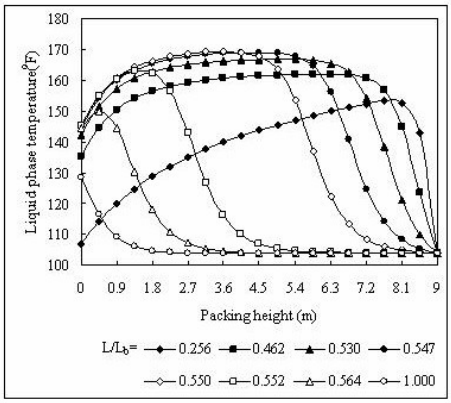
شکل (۱۱) : پروفیل غلظت مایع در شدت‌جریان‌های مختلف گردش آمین، شدت جریان گاز ۹۵۰ lbmol/hr، ۵۸۵۰ lbmol/hr، غلظت گاز ورودی الف : ۲/۴٪ ب :۱۴/۴٪ مولی

پس از مطالعه امکان کاهش دبی آمین، باید امکان افزایش جریان گاز ورودی نیز بررسی شود تا در صورت امکان‌پذیر بودن آن، در جهت افزایش ظرفیت برج برای دریافت و تصفیه حجم بیشتری از گاز ترش در مواقع مورد لزوم استفاده گردد. برای این منظور جریان گردش آمین در مقدار فعلی خود یعنی ۵۸۵۰ lbmol/hr ثابت فرض شده و شدت جریان فعلی گاز ورودی برج را نیز به عنوان مقدار جریان پایه ۹۵۰ lbmol/hr =G_b در نظر گرفته و اقدام به افزایش مقدار آن، که با G نشان داده می‌شود، نموده و با تعریف نسبت G/G_b به عنوان متغیر، رفتار برج نسبت به تغییرات آن مطالعه می‌شود. مشاهده می‌شود که افت فشار در مورد افزایش مقدار گاز ورودی در حالتی که غلظت H_2S آن ۲/۴٪ مولی باشد، محدود کننده بوده و در صورت افزایش جریان گاز به بیش از حدود ۲ برابر مقدار فعلی شدیدا شروع به افزایش خواهد نمود.

در شکل(۱۳) مقادیر غلظت گاز تصفیه شده در دو حالت غلظت گاز ورودی، ۲/۴٪ و ۱۴/۴٪ مولی در نسبت‌های مختلف G/G_b نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود، در صورتی که غلظت گاز ورودی کم باشد، مقدار گاز ورودی را بدون اینکه تغییر زیادی در غلظت گاز تصفیه شده دیده شود می‌توان تا حدود ۹ برابر افزایش داد، در حالیکه در صورت زیاد بودن غلظت، افزایش مقدار آن فقط تا حدود ۱/۸ برابر مقدار فعلی امکان‌پذیر بوده و بیشتر از آن موجب افزایش شدید غلظت گاز خروجی خواهد شد. به عبارت دیگر این مقادیر، داده های بحرانی بوده و در این شرایط برج ناپایدار می‌باشد. پس نسبت بحرانی برای حالتیکه غلظت H_2S گاز ورودی ۲/۴٪ مولی باشد حدود ۹ و برای حالتی که ۱۴/۴٪ مولی باشد، حدود ۱/۸ است. به دلیل اینکه درصورت افزایش مقدار جریان گاز ورودی، افت فشار سیستم نیز افزایش خواهد یافت، لذا علاوه بر غلظت گاز خروجی، افت فشار سیستم نیز یکی دیگر از محدودیت ها بوده و باید مورد مطالعه قرار گیرد. افت فشار برج در دو غلظت H_2S گاز ورودی یعنی ۲/۴٪ و ۱۴/۴٪ مولی و برای مقادیر مختلف جریان آن با استفاده از مدل تعادلی Aspen Plus محاسبه و در شکل (۱۴) نشان داده شده است.

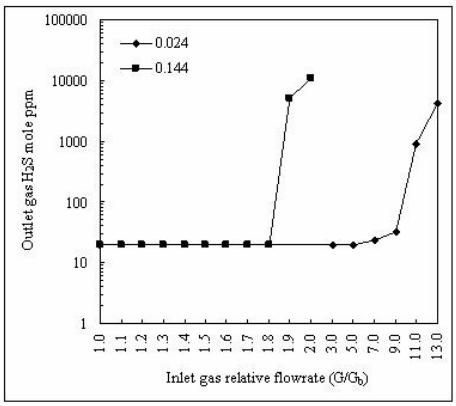


(الف)



(ب)

شکل (۱۲) : پروفیل دمای فاز مایع در شدت‌جریان‌های مختلف گردش آمین، شدت جریان گاز ورودی ۹۵۰ lbmol/hr ,lbmol/hr ۵۸۵۰ =L_b، غلظت گاز ورودی الف : ۲/۴٪ ب :۱۴/۴٪ مولی



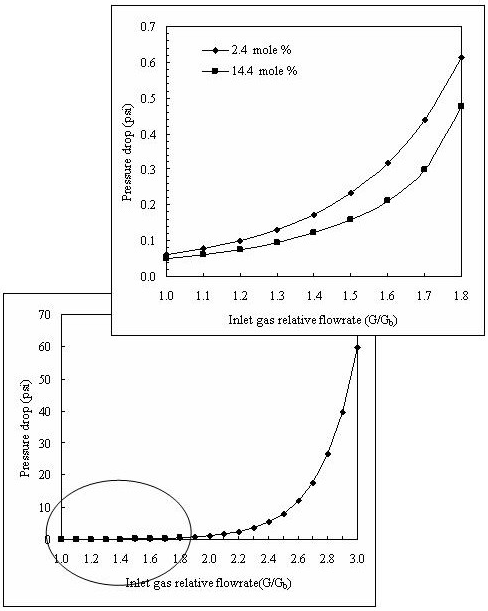
شکل (۱۳): غلظت گاز خروجی متناسب با افزایش جریان گاز ورودی, ۹۵۰ lbmol/hr

پروفیل غلظت فاز گاز در دو غلظت مختلف H_2S گاز ورودی در شکل (۱۵) نشان داده شده‌اند و در آن‌ها شرایط برج در نسبت جریان بحرانی که برای نمودار الف ۹ و برای نمودار ب ۱/۸ می‌باشد به خوبی مشهود بوده و تغییر ناگهانی پروفیل غلظت در این نسبت‌ها دیده می شود.

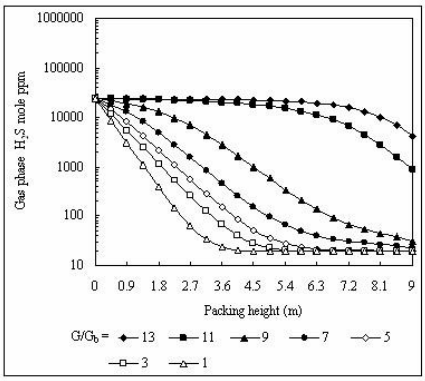
پروفیل دمای فاز گاز در شکل (۱۶)، غلظت فاز مایع در شکل (۱۷) و دمای فاز مایع در شکل (۱۸)، رفتاری مشابه حالت بررسی شده در بخش کاهش شدت جریان گردش آمین از خود نشان می‌دهند. در حقیقت نسبت L/G پارامتر موثری بوده و با در نظر گرفتن این پارامتر به عنوان متغیر, مشابهت رفتار برج در پروفیل دما و غلظت در L/G های برابر قابل توجیه است. در جدولهای (۱) و (۲) این پارامتر برای هر دو حالت فوق نشان داده شده‌اند.

با مقایسه عملکرد برج آکنده با برج سینی‌دار، مشاهده می‌گردد که برج سینی‌دار در صورت افزایش مقدار گاز ورودی، خیلی سریع به حالت طغیان رسیده و افت فشار افزایش می یابد (شکلهای۱۹و۲۰) که نشانگر محدودیت آن جهت افزایش ظرفیت تصفیه گاز است.

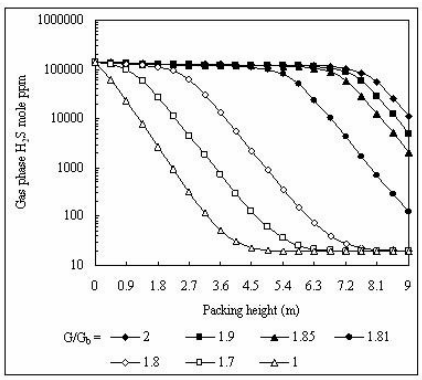
برای مقایسه حساسیت نسبت به شدت جریان و غلظت گاز ورودی باید نرخ تغییرات T_m (حداکثر دمای گاز در طول بستر آکنه) نسبت به نرخ تغییرات دو عامل نرخ افزایش غلظت گاز ورودی و نرخ افزایش شدت جریان گاز ورودی مقایسه شوند. در واقع مقدار افزایش T_m به ازاء یک در صد افزایش غلظت گاز ورودی در شکل (۲۱) و نسبت به یک در صد افزایش جریان گاز ورودی در شکل (۲۲) نشان داده شده است و با توجه به آن‌ها مشاهده می‌گردد که حساسیت سیستم نسبت به تغییرات شدت جریان گاز ورودی عموما (به غیر از شرایطی که غلظت گاز ورودی کم باشد) بیشتر از حساسیت نسبت به تغییرات غلظت گاز ورودی است و با افزایش غلظت ورودی نیز این حساسیت بیشتر می‌شود.



شکل (۱۴) : افت فشار برج متناسب با افزایش مقدار جریان گاز ورودی در دو غلظت مختلف H_2S گاز ورودی

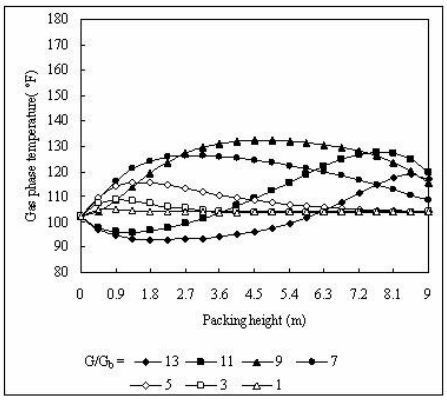


(الف)

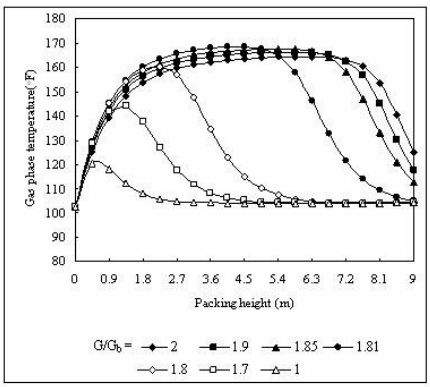


(ب)

شکل (۱۵): پروفیل غلظت فاز گاز در طول آکنه در شدت های مختلف جریان گاز، G_b=950 lbmol/hr غلظت H_2S گاز ورودی الف :۲/۴٪ ب: ۱۴/۴٪ مولی, شدت جریان آمین ۵۸۵۰ lbmol/hr



(الف)

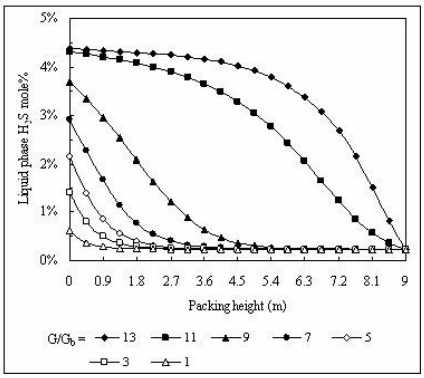


(ب)

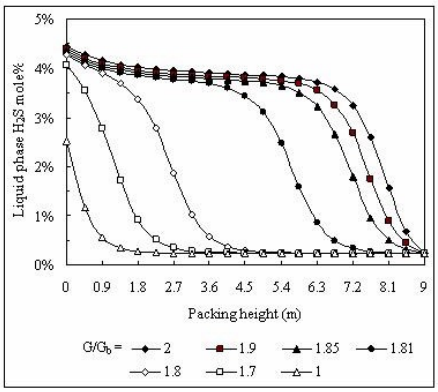
شکل (۱۶) : پروفیل دمای فاز گاز در طول آکنه،در شدت های مختلف جریان گاز، G_b=950 lbmol/hr، غلظت H_2S گاز ورودی الف :۲/۴٪ ب: ۱۴/۴٪ مولی،شدت جریان آمین ۵۸۵۰ lbmol/hr

جدول (۱) : مقادیر L/G برای حالت افزایش دبی گاز

G (lbmol/hr)	G/G_b	L/G
۹۵۰	۱/۰۰	۶/۱۶
۱۶۱۵	۱/۷۰	۳/۶۲
۱۷۱۰	۱/۸۰	۳/۴۲
۱۷۲۰	۱/۸۱	۳/۴۰
۱۷۵۸	۱/۸۵	۳/۳۳
۱۸۰۵	۱/۹۰	۳/۲۴
۱۹۰۰	۲/۰۰	۳/۰۸
۲۸۵۰	۳/۰۰	۲/۰۵
۴۷۵۰	۵/۰۰	۱/۲۳
۶۶۵۰	۷/۰۰	۰/۸۸
۸۵۵۰	۹/۰۰	۰/۶۸
۱۰۴۵۰	۱۱/۰۰	۰/۵۶



(الف)

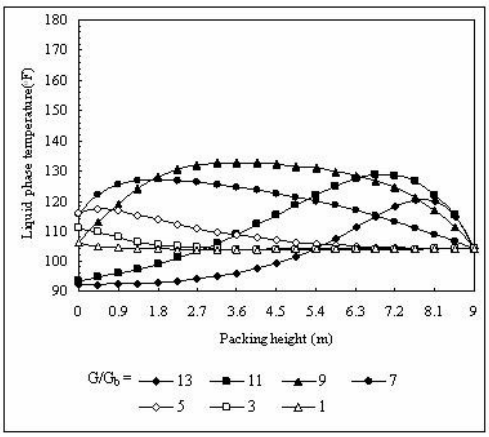


(ب)

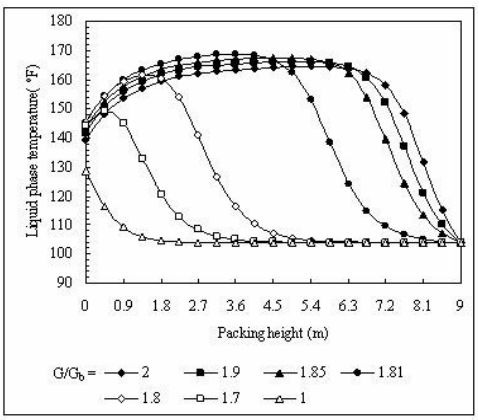
شکل (۱۷): پروفیل غلظت مایع در طول آکنه در شدت های مختلف جریان گاز نسبت به جریان پایه G_b=950 lbmol/hr، غلظت H_2S الف :۲/۴٪ ب: ۱۴/۴٪ مولی،شدت جریان آمین ۵۸۵۰ lbmol/hr

جدول (۲): مقادیر L/G برای حالت کاهش سرعت گردش آمین

L (lbmol/hr)	L/L_b	L/G
۵۸۵۰	۱/۰۰۰	۶/۱۶
۳۳۰۰	۰/۵۶۴	۳/۴۷
۳۲۳۰	۰/۵۵۲	۳/۴۰
۳۲۰۰	۰/۵۴۷	۳/۳۷
۳۱۰۰	۰/۵۳۰	۳/۲۶
۲۷۰۰	۰/۴۶۲	۲/۸۴
۱۵۰۰	۰/۲۵۶	۱/۵۸
۸۰۰	۰/۱۳۷	۰/۸۴
۶۴۰	۰/۱۰۹	۰/۶۷
۶۰۰	۰/۱۰۳	۰/۶۳
۵۵۰	۰/۰۹۴	۰/۵۸
۵۰۰	۰/۰۸۵	۰/۵۳

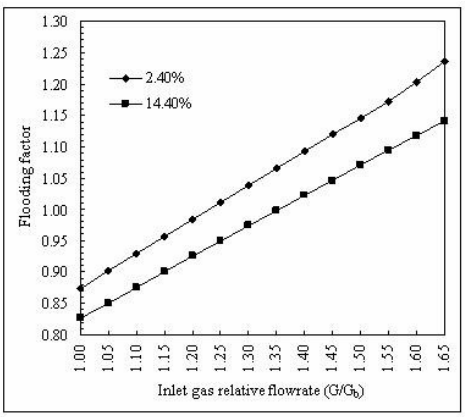


(الف)

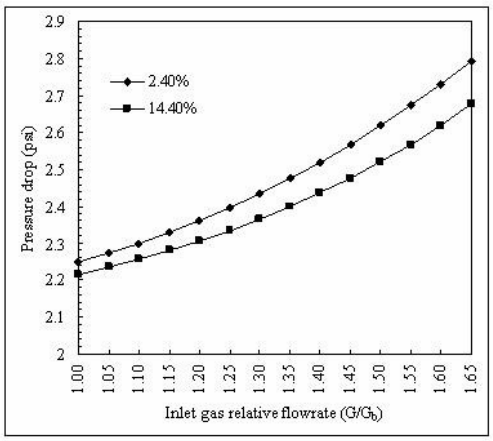


(ب)

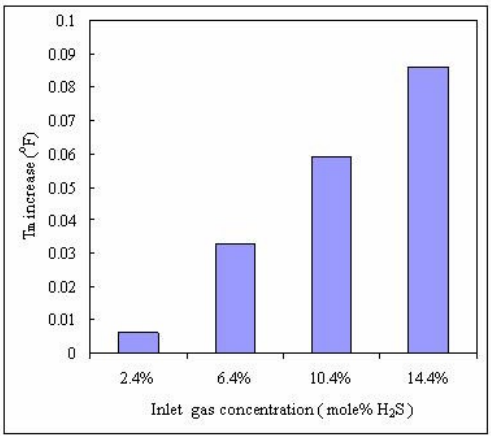
شکل (۱۸) : پروفیل دمای مایع, در شدت های مختلف جریان گاز نسبت به جریان پایه G_b=950 lbmol/hr, غلظت H_2S گاز الف :۲/۴٪ ب: ۱۴/۴٪ مولی, شدت جریان آمین, ۵۸۵۰ lbmol/hr



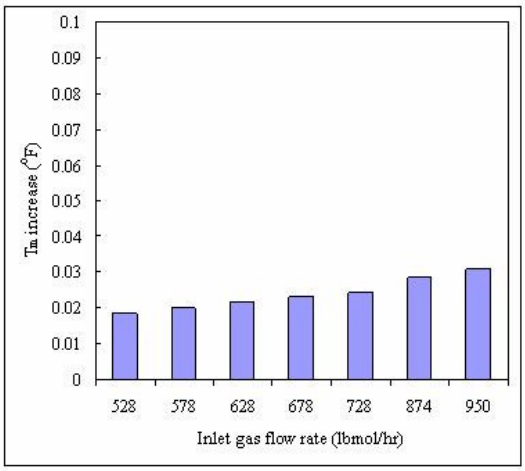
شکل (۱۹): ضریب طغیان در برج سینی دار متناسب با افزایش گاز ورودی و در دو غلظت مختلف آن



شکل (۲۰) : افت فشار برج سینی دار متناسب با افزایش مقدار گاز ورودی و در دو غلظت مختلف آن



شکل (۲۱) : حساسیت سیستم نسبت به تغییرات شدت جریان گاز ورودی, (مقدار افزایش T_m به ازاء افزایش هر ۱٪ جریان گاز ورودی), در غلظتهای مختلف گاز ورودی



شکل (۲۲) : حساسیت سیستم نسبت به تغییرات غلظت گاز, در شدت جریانهای مختلف گاز ورودی

۵-نتیجه گیری

در این تحقیق به مقایسه عملکرد برجهای سینی دار و آکنده برای جذب H_2S پرداخته شده و اثر عوامل مختلف بر روی فرآیند بررسی شد. نتایج حاصل به وضوح نشان داد که استفاده از آکنه منظمMellapak 250Y در جهت بهبود فرآیند موثر بوده و افت فشار سیستم را نیز به نحو چشمگیری کاهش می‌دهد. همچنین نسبت L/G در صورت استفاده از دو بستر ۴/۵ متری از این آکنه تا حدود زیادی قابل کاهش می‌باشد. مقدارکاهش این نسبت بستگی به غلظت گاز ورودی داشته و با افزایش غلظت، امکان کاهش آن نیز کم می شود. بطوریکه اگر غلظت H_2S گاز ورودی ۲/۴٪ مولی باشد این نسبت که در حال حاضر ۶/۲ بوده تا حدود ۲/۱ و در صورتیکه غلظت به ۱۴/۴٪ مولی افزایش یابد تا حدود ۳/۵ بدون اینکه تغییر محسوسی در غلظت گاز خروجی دیده شود، قابل کاهش است. در حالتیکه افزایش دبی گاز مد نظر باشد، باید عامل افت فشار نیز در نظر گرفته شود تا سیستم دچار افت فشار زیادی نگردد که البته در محدوده L/G اشاره شده و در هر دو غلظت گاز ورودی افت فشار سیستم در صورت استفاده از آکنه های Mellapak 250Y نیز بسیارکم خواهد بود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که به غیر از مواردی که غلظت گاز ورودی کم باشد، حساسیت سیستم نسبت به تغییرات شدت‌جریان گاز بیشتر از حساسیت نسبت به تغییرات غلظت آن است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله وظیفه خود می دانند از شرکت پالایش نفت تبریز بخاطر حمایت از تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

[1] Amine Expert Inc (2004) "*Amine treating Tehran Reference Material*", Calgary, Alberta, Canada T2E 7N6.

[2] D.L Bennet (2000) "PART II: Packed column", *Chemical Engineering Progress*, 27-34.

[3] Sulzer Chemtech Ltd. (2003) "*Structured packings for distillation, absorption and reactive distillation*", Winterthur, Switzerland.

[4] M. Zed (2004) "*Sulfinol process for carbon dioxide removal, maximizing production, capacity in ammonia plant*", M.Sc. Thesis, University of Queensland, Department of Chemical Engineering, Australia.

[5] G. Shiveler (2005) "Retrofit of a H_2S selective amine absorber using Mellapak Plus structured packing", Presented at the Spring *AIChE Meeting Atlanta*, Georgia – USA April, 10-13.

[6] H. Shokrkar and A. Salem (2008) "Effect of structured packing characteristics on styrene monomer/ ethylbenzene distillation process", *Chem. Eng. Technol*, 31[10], 1453–1461.

[7] *Jaeger Metal Max-Pak* (2004) Jaeger Product, Inc., Houston, TX, December 15.

[8] P. Faesler, K. Kolmetz, K.W. Seng and S.H. Lee (2004) "*Advanced fraction technology for the olechemical industry"*, Sulzer Chemtech.

[9] R.H. Perry and D. W. Green (1999) "*Chemical Engineering Handbook"* 7th ed., McGraw Hill, New York.

[10] *GPSA Engineering Data Book* (1987) 10th Edition, Gas Processors Association.

Simulation of Low Pressure Absorption Tower of Amine Gas Treating Unit Using Structured Packing to Improve Its Operation

A. Salem[1], S. Noorghasemi[2], F. Amanpour Reyhani[3]

1. Associate Professor of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz.
2. M.Sc. of Tabriz Oil Refinery Company.
3. M.Sc. of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 June 2010
Received in revised form 24 May 2011
Accepted 12 June 2011

Key words:

Sour gas
Amine solution
Absorption
Packing
Tray
Simulation

ABSTRACT

In the present study the absorption tower of the amine gas treating unit was simulated by using rate base method of Aspen Plus simulator. The industrial tray column was selected due to problems in capacity. The first aim of the work was to evaluate the simulation results by operational characteristics of the tower. In the next part of investigation, the application of various types of structured packings to absorb H_2S in packed columns was presented. The effect of different parameters, such as inlet gas concentration and flow rate, and packing characteristics such as sheet thickness, on the tower performance are investigated. The results show that the use of Mellapak 250Y, instead of current trays, causes a considerable improvement in pressure drop. On the other hand, this change in tower structure introduces an extra capacity which can be used either to decrease circulating amine flow rate for energy benefits, or increase inlet gas flow rates for capacity enhancement purposes.

All right reserved.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.