

بررسی عملکرد جذب گاز دی اکسید گوگرد در یک برج جذب سینی دار بدون ناودان با محلول قلیایی کربنات سدیم

علی اصغر حمیدی^{۱*}، اصغر صدیق زاده^۲، منیره طاهرخانی^۳ و علیرضا کمیزی^۳

^۱دانشیار دانشکده مهندسی شیمی - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

^۲دانشیار سازمان انرژی اتمی ایران

^۳دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۴/۱۰/۱۷، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۶/۱۲/۶، تاریخ تصویب ۸۶/۱۲/۲۰)

چکیده

در این پژوهش عملکرد یک برج گاز شوی بدون ناودان که از روی یک نمونه صنعتی کاهش مقیاس داده شده است، بررسی می‌شود. نمونه اصلی این برج دارای سه سینی بوده و برای تصفیه گازهای خروجی یک کارخانه با شدت جریان گاز $110000 \text{ m}^3/\text{hr}$ با کمک جریان محلول قلیایی کربنات سدیم با دبی $40 \text{ m}^3/\text{hr}$ طراحی شده است. آزمایش‌های صورت گرفته به دو بخش تقسیم می‌شود. در بخش اول، آزمایش‌های هیدرولیک انجام شده که مقایسه نتایج حاصل از آن مطابقت خوبی با روش ارائه شده از سوی Sutherland برای محاسبه افت فشار در برج‌های سینی‌دار دارد. در بخش دوم تاثیر پارامترهای شدت جریان مایع و گاز، غلظت محلول قلیایی و غلظت گاز دی اکسید گوگرد ورودی، بر بازدهی جداسازی این گاز از هوا توسط برج جذب مورد بررسی واقع شده است. به طور کلی نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که این برج در جذب گاز دی اکسید گوگرد عملکرد خوبی دارد و بازدهی برج همواره بیش از ۸۰٪ است.

واژه های کلیدی: جذب گاز دی اکسید گوگرد - برج جذب بدون ناودان - افت فشار - بازدهی جداسازی

مقدمه

و ضخامت سینی ها ۶ mm است. در این برج جذب همانند نمونه اصلی از محلول آبی کربنات سدیم به منظور جذب گاز دی اکسید گوگرد از هوا به عنوان گاز حامل، استفاده شده است.

پژوهش‌های مشابهی در این زمینه انجام شده است و چون این بررسی‌ها بر روی مدل‌های نیمه صنعتی یک واحد عظیم صنعتی و یا یک سیستم جذب جدید انجام می‌شود، اهمیت زیادی دارند. Cutierrez و همکارانش در سال ۲۰۰۱ تاثیر پارامترهای مختلف از جمله غلظت و شدت جریان گاز ورودی و میزان غبار موجود در گاز را بر روی عملکرد یک سیستم جذب گاز دی اکسید گوگرد خشک در یک بستر سیال، بررسی کردند. این آزمایش‌ها بر روی یک نمونه نیمه صنعتی در یک نیروگاه با حداکثر غلظت گاز اسیدی ۲۰۰۰ PPM انجام شده و در نهایت یک مدل ساده برای تعریف سیستم تبیین شده است [۲]. Meikap و همکارانش در سال ۲۰۰۱ به مدل سازی و انجام آزمایش‌های تجربی روی یک ستون چند مرحله ای MSBCS^۱ پرداخته‌اند. مدل و آزمایش‌های آنها نشان داده است که این سیستم تنها به کمک آب قادر است به بازدهی حدود ۱۰۰٪ دست یابد [۳].

کنترل و استفاده صحیح از محیط طبیعی، از پیچیده‌ترین مشکلاتی است که صنعت در سال‌های اخیر با آن مواجه شده است. یکی از مهمترین این مشکلات، اثرات آلودگی هوا است و از عمده‌ترین آلاینده‌هایی که توسط صنایع شیمیایی و اتومبیل‌ها در هوا منتشر می‌شود، گاز دی اکسید گوگرد می‌باشد که عامل اصلی پدید آمدن باران‌های اسیدی است [۱]. در سال‌های اخیر در جامعه ما نیز توجه زیادی به محیط زیست شده و اصطلاحاتی مانند اکولوژی، محیط زیست، مه دود فتوشیمیایی، اثرات گلخانه‌ای در مکالمات روزمره نیز شنیده می‌شود.

در این تحقیق عملکرد یک برج جذب بدون ناودان به کمک یک نمونه نیمه صنعتی بررسی شده است. نمونه اصلی این برج با سه سینی، هر کدام به مساحت 19 m^2 برای تصفیه جریان $110000 \text{ m}^3/\text{hr}$ هوای آلوده ساخته شده است. جریان مایع که این تصفیه را انجام می‌دهد با شدت $40 \text{ m}^3/\text{hr}$ در برج جریان دارد. نمونه نیمه صنعتی ساخته شده بر مبنای برج اصلی دارای سه سینی و با سطح مقطع 0.28 m^2 می‌باشد. تعداد سوراخ‌های هر سینی برج ۸۰۰ عدد، قطر سوراخ‌ها ۶ mm با آرایش مثلثی

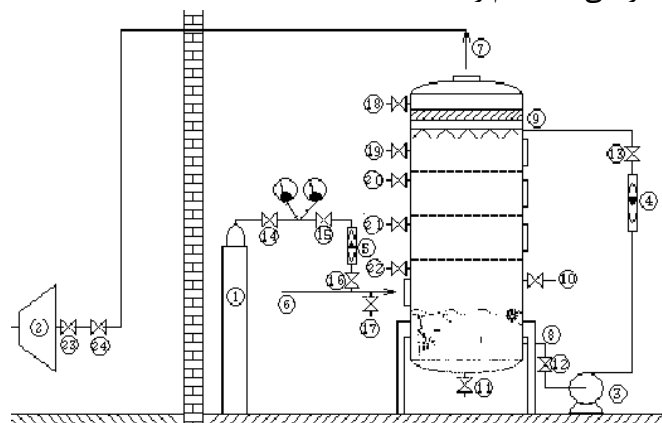
آورده‌اند. نتایج کار آنها نشان می‌دهد که نسبت L/G موثرترین پارامتر در بازدهی یک برج جذب است. لازم به ذکر است کار این افراد در مقیاس آزمایشگاهی صورت گرفته است [۶].

دستگاه‌ها و مواد مورد استفاده

به منظور محاسبه بازدهی برج لازم است پارامترهای مختلفی اندازه‌گیری شوند. برای اندازه‌گیری غلظت گاز دی اکسید گوگرد در جریان هوای ورودی و خروجی برج از دستگاه NOVA analytical system مدل 613678TK به همراه یک کولر قبل از آنالایزر که مانع ورود بخار آب می‌شود، استفاده گردید. اندازه‌گیری افت فشار توسط دستگاه APM 50K انجام شد و سرعت جریان گاز توسط یک فلومتر پروانه‌ای LCA30VA ساخت شرکت AirFlow انجام شد. در انجام آزمایش‌ها از یک نمونه کربنات سدیم صنعتی به عنوان جاذب گاز دی اکسید گوگرد استفاده گردید. مطابق استاندارد ASTM E359-00 درجه خلوص آن ۹۳٪ جرمی بود [۷]. گاز دی اکسید گوگرد مورد استفاده در این آزمایش‌ها با خلوص ۹۹/۹٪ از یک کپسول تامین شد.

سیستم پایلوت

به منظور انجام آزمایش‌ها از مجموعه‌ای نیمه صنعتی که طرح واره آن در شکل (۱) آمده، استفاده شده است.



شکل ۱: طرح‌واره سیستم پایلوت.

- | | |
|---|------------------------------------|
| ۱- کپسول SO ₂ | ۷- خروجی جریان هوا از برج |
| ۲- فن | ۸- خروجی جریان مایع از برج به پمپ |
| ۳- پمپ | ۹- ورودی جریان مایع پمپ شده به برج |
| ۴- جریان سنج مایع | ۱۰- شیر تامین محلول جبرانی |
| ۵- جریان سنج SO ₂ | ۱۱- شیر تخلیه برج |
| ۶- ورودی جریان هوا | ۱۲ و ۱۳- شیر کنترل جریان مایع |
| ۱۴-۱۵-۱۶- تنظیم شدت جریان گاز SO ₂ | |
| ۱۷- شیر نمونه‌گیری از جریان گاز ورودی به برج | |
| ۱۸- شیر نمونه‌گیری از گاز خروجی از برج | |
| ۱۹-۲۰-۲۱-۲۲- شیرهای اندازه‌گیری فشار | |
| ۲۳-۲۴- شیرهای تنظیم جریان هوا | |

در سال ۲۰۰۳ Gerbec و همکارانش به منظور بررسی پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی که در طول فرآیند جذب اتفاق می‌افتد یک مدل ارائه کردند. در این مدل روابط تعادلی مربوط به انواع محلول‌هایی که به صورت جاذب گاز دی اکسید گوگرد به کار می‌رود، در نظر گرفته شده است و اطلاعات مربوط به سیستم، به عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. این مدل اساساً بر مبنای یک نمونه نیمه صنعتی طرح ریزی شده است و می‌توان از آن به منظور طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های مشابه استفاده کرد [۴]. Zheng در سال ۲۰۰۳ بر روی نمونه‌ای نیمه صنعتی که بر اساس راکتورهای جذب گاز دی اکسید گوگرد^۲ ساخته شده یک سری آزمایش انجام داده است. در این آزمایش‌ها pH محلول قلیایی، غلظت گاز دی اکسید گوگرد ورودی، دمای راکتور، غلظت Cl⁻ در محلول قلیایی به عنوان متغیر و بازدهی سیستم، غلظت محلول قلیایی باقی مانده و مقدار مواد جامد موجود در آن به عنوان پارامترهای اندازه‌گیری شده مد نظر قرار گرفته‌اند [۵]. در سال ۲۰۰۰ نیز Chain و Chu به بررسی جذب گاز دی اکسید گوگرد و مونو اکسید نیتروژن به صورت منفرد و مخلوط با یکدیگر پرداخته‌اند. آنها غلظت هر یک از گازها و نسبت L/G و pH اولیه محلول جاذب را به عنوان متغیرهای در آزمایشات انجام شده در یک ستون جذب سینتی‌دار در نظر گرفته و بازدهی سیستم را بدست

روش انجام آزمایش

مطابق استاندارد ASME PTC 40-1991 که هدف آن بررسی و گزارش عملکرد یک سیستم عاری سازی دی اکسید گوگرد است، جهت بررسی عملکرد این برج لازم است درصد حذف دی اکسید گوگرد، نسبت ماده شیمیایی محلول جاذب^۳ که به صورت نسبت مول‌های قلیایی افزوده شده به مول‌های گاز دی اکسید گوگرد ورودی تعریف می‌شود، میزان مصرف انرژی، شدت جریان گاز آلوده و شدت جریان مایع تصفیه کننده، در نظر گرفته شود [۸].

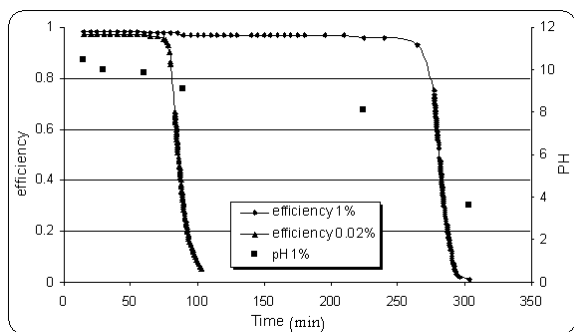
عملکرد هیدرولیکی سینی‌ها: از جمله عوامل مهم در بهینه‌سازی یک سیستم جذب، مقدار انرژی مصرف شده در آن است. پارامتری را که می‌توان به عنوان معرف مصرف انرژی در سیستم حاضر در نظر گرفت افت فشار گاز درون برج می‌باشد. هدف از انجام این آزمایش‌ها رسم منحنی‌هایی است که در شدت جریان‌های متفاوت مایع، نحوه تغییر افت فشار گاز روی هر یک از سینی‌ها و کل برج با شدت جریان گاز را نشان دهد تا در ادامه بتوان نحوه مصرف انرژی در این سیستم را مورد بررسی قرار داد. بدین منظور در شدت جریان‌های مایع ثابت با مقادیر ۲۸۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۱۹۰۰، شدت جریان گاز مختلف در نظر گرفته شد و در هر حالت افت فشار روی هر سینی و کل برج و همچنین ارتفاع مایع روی سینی‌ها اندازه‌گیری گردید. در تمام موارد، اندازه‌گیری‌ها در حالت پایدار سیستم بود.

بررسی اثر عوامل مختلف روی بازدهی جذب: در این بخش از آزمایش‌ها هدف بررسی تاثیر پارامترهای مختلف چون غلظت محلول قلیایی، غلظت گاز ورودی، شدت جریان گاز، شدت جریان مایع بر عملکرد برج در جذب گاز دی اکسید گوگرد همراه هوا بود. آزمایش‌ها در سه غلظت متفاوت ۰/۱، ۱ و ۳ درصد وزنی محلول کربنات سدیم انجام گردید.

روش انجام کار به این ترتیب بود که ابتدا محلول ساخته شده با غلظت مناسب به حجم ۱۰۰ lit تهیه و در مخزن برج ریخته می‌شد. فن و پمپ دستگاه روشن شده و شدت جریان‌های مایع و گاز روی مقادیر مناسب هر آزمایش تنظیم می‌گردید. پس از تامین زمان مناسب برای

رسیدن به شرایط پایا، افت فشار برج و شدت جریان گاز اندازه‌گیری و ثبت می‌گردید. در این حالت شیر ورودی گاز دی اکسید گوگرد باز شده تا گاز وارد هوای ورودی به برج شود و شدت عبور آن چنان تنظیم می‌گردید که آنالیزر در ورودی برج مقدار در نظر گرفته شده برای هر آزمایش را نشان دهد. در ادامه مقدار دی اکسید گوگرد در جریان خروجی ثبت و پس از این مرحله جریان گاز قطع شده و شرایط دستگاه برای آزمایش بعدی آماده می‌گردید.

در این مرحله این سوال مطرح گردید که آیا عملکرد ناپیوسته برج با استفاده از یک محلول با غلظت اولیه مشخص، در طول آزمایش که ممکن است میزان جذب محلول با گذشت زمان تغییر کند، تاثیری در دقت آزمایش دارد یا خیر. برای یافتن پاسخ این سوال در دو آزمایش جداگانه ۱۰۰ lit محلول با غلظت‌های ۱٪ و ۰/۲٪ جرمی کربنات سدیم تهیه گردید و در مخزن برج ریخته شد. شدت جریان گاز در $0.25 \text{ m}^3/\text{sec}$ ، شدت جریان مایع روی 50 lit/hr و غلظت دی اکسید گوگرد در ورودی روی 100 PPM تنظیم شد. در این شرایط برج شروع به کار کرده و غلظت خروجی از برج برحسب زمان ثبت گردید. منحنی‌های شکل (۲) حاصل انجام این آزمایش‌ها می‌باشند. همان طور که در منحنی‌ها مشخص است در ۵۰ دقیقه ابتدایی آزمایش با وجود کاهش pH، شدت جذب در هیچ کدام از دو محلول کاهش پیدا نکرده است. از این رو به نظر می‌رسد می‌توان در این مدت شرایط آزمایش را پایا فرض کرد. از آنجا که زمان لازم برای انجام هر آزمایش کمتر از ۱۰ دقیقه بود، پس از انجام هر سه آزمایش محلول تعویض می‌شد.

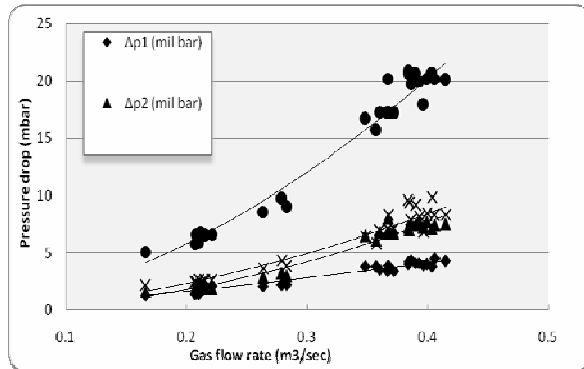


شکل ۲: تغییرات کارایی جذب دی اکسید گوگرد با گذشت زمان.

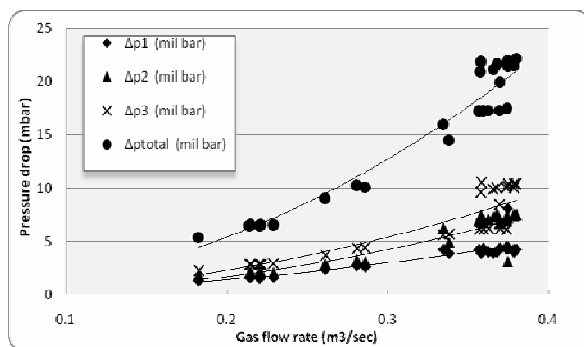
نتایج آزمایش‌ها

عملکرد هیدرولیکی سینی‌ها: منحنی شکل (۳) مربوط به شرایطی است که برج به صورت خشک کار می‌کند. در

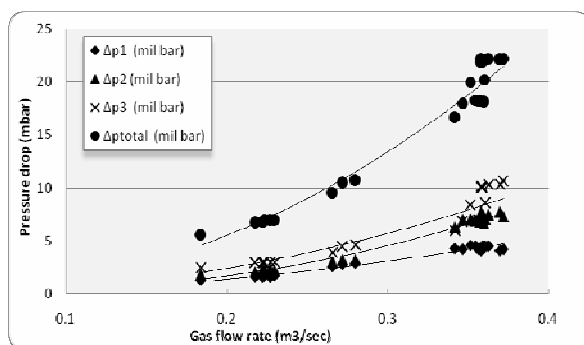
با افزایش شدت جریان مایع، در یک شدت جریان ثابت گاز، افت فشار بیشتری روی تک تک سینی‌ها و همچنین کل برج وجود دارد. این امر ناشی از افزایش نکه داشت مایع بر روی سینی‌ها با افزایش شدت جریان مایع است که ضمن ایجاد تماس بیشتر مایع و گاز، اصطکاک بیشتری حاصل شده و منجر به افت فشار بیشتر می‌گردد.



شکل ۵: افت فشار در سینی‌ها و برج با شدت جریان مایع ۱۰۰۰ lit/hr



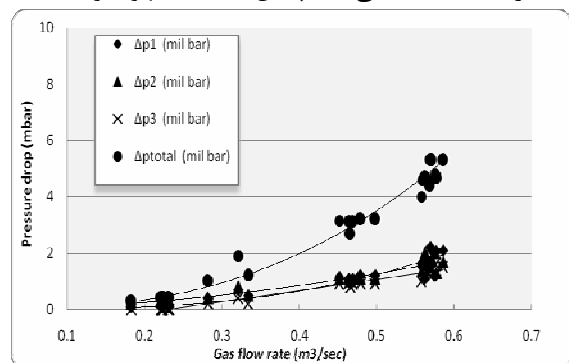
شکل ۶: افت فشار در سینی‌ها و برج با شدت جریان مایع ۱۵۰۰ lit/hr



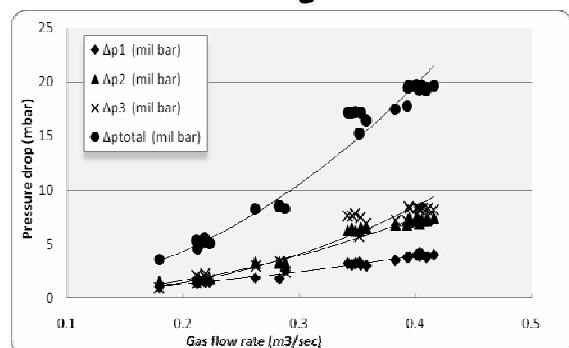
شکل ۷: افت فشار در سینی‌ها و برج با شدت جریان مایع ۱۹۰۰ lit/hr

بررسی اثر عوامل مختلف بر بازدهی جذب: شکلهای (۸) تا (۱۰) تغییرات بازدهی جداسازی برای محلول‌های ۰/۱، ۱، ۳٪ کربنات سدیم با تغییر در شدت جریان گاز را نشان می‌دهند. همان طور که مشاهده می‌شود میزان جداسازی در شدت جریان‌های بالای مایع بیشتر می‌باشد و نیز بازدهی

این منحنی نحوه تغییرات افت فشار در سینی اول، دوم، سوم و همچنین کل برج بر حسب سرعت عبور گاز از برج نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در این حالت افت فشار تمام سینی‌ها تقریباً با یکدیگر برابر است. منحنی‌های شکل (۴) تا (۷) نیز مربوط به افت فشار در شدت جریان‌های مختلف مایع است. زمانی که مایع روی سینی‌ها حضور دارد، در شدت جریان‌های کم گاز، هر سه سینی تقریباً افت فشار یکسانی دارند، ولی به تدریج با افزایش شدت جریان گاز مشاهده می‌شود که افت فشار در سینی اول کمتر از افت فشار سینی دوم و افت فشار سینی دوم کمتر از افت فشار سینی سوم است. افت فشار بیشتر در سینی‌های دوم و سوم در شدت جریان‌های بالاتر گاز می‌تواند ناشی از کاهش فشار در بالای برج نسبت به پایین برج و افزایش نسبی حجم هوای عبوری از برج باشد. این امر سبب افزایش سرعت گاز در سینی‌های بالایی و افزایش نکه داشت و تجمع مایع در بروری آنها مقایسه با سینی‌های پایین‌تر می‌شود. در حین انجام آزمایش نیز زیاد بودن نسبی تجمع مایع بر روی سینی‌های بالا در مقایسه با سینی‌های پایین، کاملاً مشهود بود.

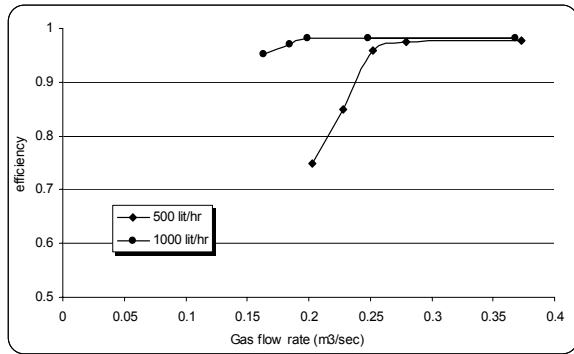


شکل ۸: افت فشار در سینی‌ها و برج وقتی برج خشک کار می‌کند.

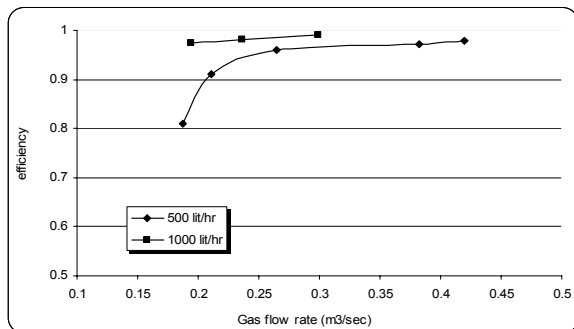


شکل ۹: افت فشار در سینی‌ها و برج با شدت جریان مایع ۵۰۰ lit/hr

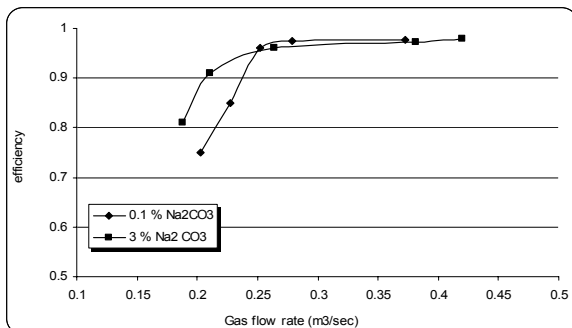
هم چنین مقایسه این منحنی‌ها نشان می‌دهد که



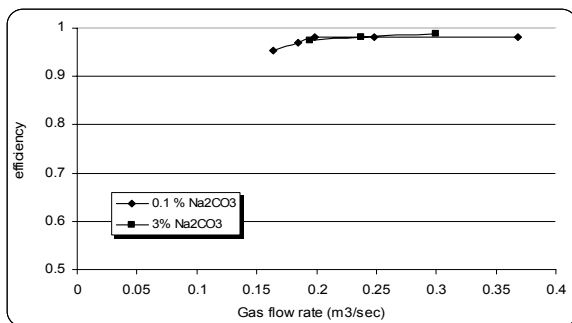
شکل ۹: تغییرات بازدهی جداسازی برای محلول ۱٪ کربنات سدیم با شدت جریان گاز با غلظت ورودی ۱۰۰ PPM دی اکسید گوگرد.



شکل ۱۰: تغییرات بازدهی جداسازی برای محلول ۳٪ کربنات سدیم با شدت جریان گاز با غلظت ورودی ۱۰۰ PPM دی اکسید گوگرد.



شکل ۱۱: مقدار بازدهی در دو غلظت محلول قلیایی در شدت جریان مایع ۵۰۰ lit/hr و غلظت ورودی ۱۰۰ PPM دی اکسید گوگرد.

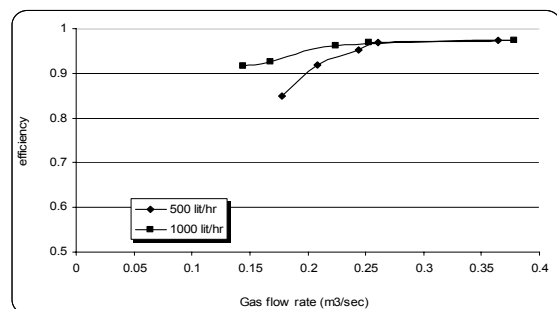


شکل ۱۲: مقدار بازدهی در دو غلظت محلول قلیایی در شدت جریان مایع ۱۰۰۰ lit/hr و غلظت ورودی ۱۰۰ PPM دی اکسید گوگرد.

جداسازی با افزایش شدت جریان گاز افزایش پیدا می کند. چرا که افزایش شدت جریان گاز با افزایش میزان مایع جمع شده روی سینی ها باعث افزایش زمان تماس می شود که این پدیده افزایش بازدهی جذب را به دنبال دارد ولی با نزدیک شدن به حالت جذب کامل این عامل تاثیر خود را از دست می دهد زیرا سرعت گاز به حدی رسیده است که با گذشتن سریع از میان مایع، فرصت کافی برای تماس دو سیال فراهم نمی شود.

نمودار شکل های (۱۱) و (۱۲) روند تغییر مقدار بازدهی جذب در شدت جریان های متفاوت گاز، در دو غلظت متفاوت ۱٪ و ۳٪ مایع، با شدت جریان های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ lit/hr و زمانی که غلظت دی اکسید گوگرد ورودی ۱۰۰ PPM است را نشان می دهد. همان طور که انتظار می رود افزایش غلظت محلول قلیایی سبب افزایش میزان جذب می گردد، ولی این مقدار بسیار جزئی است. زیرا هر دو محلول دارای خاصیت بافری هستند و pH نسبتا مشابهی دارند و همان طور که در نمودار شکل (۲) نیز مشاهده شد، تاثیر عمده افزایش غلظت، روی ظرفیت جذب است.

بررسی تاثیر غلظت دی اکسید گوگرد ورودی روی میزان جذب گاز در شرایطی صورت گرفت که غلظت محلول قلیایی معادل ۳٪، شدت جریان مایع ۵۰۰ lit/hr و شدت جریان گاز ۰/۲ m³/sec تنظیم شده بود. نتایج حاصل از این آزمایش ها در شکل (۱۳) ارائه شده است. منحنی تغییرات بازدهی بر حسب تغییرات غلظت نشان می دهد که با افزایش میزان غلظت گاز، بازدهی جذب کاهش می یابد. علت اصلی این کاهش بازدهی عدم جذب تمامی دی اکسید گوگرد موجود در فاز گاز توسط محلول، ناشی از نبود زمان کافی برای جذب گاز دی اکسید گوگرد در غلظت های بالا است.



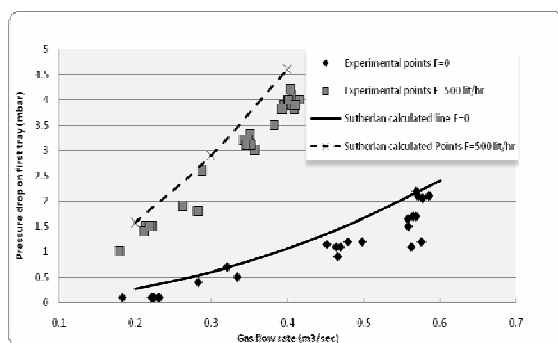
شکل ۱۳: تغییرات بازدهی جداسازی برای محلول ۱٪ کربنات سدیم با شدت جریان گاز با غلظت ورودی ۲۰۰ PPM دی اکسید گوگرد.

تجربی مشاهده می‌شود اما روند نتایج به دست آمده در هر دو روش مطابقت مناسبی با یکدیگر دارند. چنانچه برج را در شدت جریان ۵۰۰ lit/hr مایع و شدت جریان ۰/۲ m^۳/sec گاز در نظر بگیریم:

$$h_{dt} = ۰/۰۲۹ \quad \text{in H}_2\text{O} \quad (۴)$$

در حین انجام آزمایش‌ها ارتفاع ستون شفاف روی سطح سینی‌ها اندازه‌گیری شده و مقدار آن برای سینی اول در چنین شرایطی معادل ۰/۵ cm می‌باشد. براساس منحنی‌های مرجع، هد موثر ۰/۶ in H₂O می‌باشد که در مجموع افت فشار روی این سینی معادل ۱/۵۶۵ mbar به دست می‌آید.

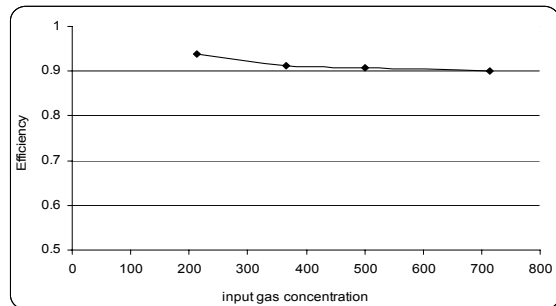
مشابه این محاسبات در دو نقطه دیگر با شدت جریان یکسان مایع انجام شده، این سه نقطه در شکل (۱۴) نمایش داده شده است (خط چین از این سه نقطه می‌گذرد). در این حالت نیز انحراف مثبت نتایج حاصل از محاسبات در مقایسه با نتایج تجربی مشاهده می‌شود ولی روند تغییرات هر دو منحنی کاملاً مشابه با یکدیگر است.



شکل ۱۴: افت فشار در سینی اول.

بررسی تاثیر عوامل مختلف بر بازدهی برج: به طور کلی آزمایش‌ها نشان می‌دهد که برج در جذب دی اکسید گوگرد با غلظت حدود ۱۰۰ PPM موفق عمل می‌کند و بازدهی برج همواره بیش از ۸۰٪ است (شکل‌های ۸ تا ۱۳).

بررسی تغییر بازدهی برج در محدوده شدت جریان ۰/۴-۰/۱۳ m^۳/sec گاز و دو شدت جریان ۱۰۰۰ lit/hr و ۵۰۰ lit/hr مایع هر دو منجر به افزایش بازدهی می‌شود ولی این افزایش پس از رسیدن به بازدهی نهایی (حدود ۹۷٪) تقریباً متوقف می‌شود و پس از آن، افزایش شدت جریان‌ها تنها بر عملکرد برج تاثیر منفی داشته و منجر به افزایش افت فشار و همراه شدن قطرات مایع با جریان گاز و



شکل ۱۳: تاثیر غلظت دی اکسید گوگرد ورودی روی میزان جذب برای محلول ۳٪ کربنات سدیم با شدت جریان مایع ۵۰۰ lit/hr و شدت جریان گاز ۰/۲ m^۳/sec.

بحث و نتیجه‌گیری

عملکرد هیدرولیکی سینی‌ها: با توجه به روش تحلیلی Sutherland افت فشار برج در این نوع سینی‌ها مشابه با سینی‌های ناودان‌دار، شامل سه قسمت است: h_{dt} ، افت فشار سینی خشک که ناشی از حرکت گاز و عبور آن از حفرات سینی‌ها است. h_c که مربوط به مایع شفاف روی سینی است و h_f که ناشی از تجمع کف روی سینی‌ها می‌باشد [۹].

$$h_t = h_{dt} + h_c + h_f \quad (۱)$$

h_{dt} براساس رابطه Sutherland با مقدار خطای مناسبی از رابطه (۲) تخمین زده می‌شود.

$$h_{dt} = 0.003 F_h^2 \left(\frac{\rho_{\text{water}}}{\rho_L} \right) (1 - \beta^2) / C_0^2 \quad (۲)$$

$$F_h^2 = V_0^2 \rho_v \quad (۳)$$

ز نمودارهای موجود در مراجع استخراج می‌شوند. چنانچه شرایط و ضرایب مربوط به برج مورد نظر در انجام آزمایش‌ها، هنگامی که به صورت خشک کار می‌کند در نظر گرفته شود، با جایگذاری در رابطه (۲)، رابطه (۴) برای افت فشار در یک سینی خشک حاصل می‌گردد.

$$h_{dt} = ۶/۶۷۰۳ X^2 \quad (۴)$$

که در آن X مقدار گاز عبوری در واحد زمان بر حسب m^۳/sec و h_{dt} افت فشار روی سینی بر حسب mbar است. این رابطه به صورت منحنی با خط پُر در شکل (۱۴) نمایش داده شده است. این شکل نشان دهنده تغییرات افت فشار در سینی اول در شدت جریان‌های مختلف مایع با تغییر در شدت جریان گاز است. با مقایسه منحنی حاصل از نتایج تجربی حاصل از آزمایش‌ها و نتایج بدست آمده از رابطه Sutherland، انحراف منفی در نتایج

حدود ۷ برسد بازدهی تقریباً ثابت بوده و تغییر عمده‌ای نمی‌کند. ولی بعد از آن به یکباره کاهش یافته و ظرف مدت کوتاهی برج تاثیر خود را در جذب آلاینده اسیدی از دست می‌دهد. از این مسئله می‌توان نتیجه گرفت که در بخش اول زمان تماس مناسب بین دو فاز چنان برقرار است که حتی با کاهش غلظت محلول جاذب، گاز دی اکسید گوگرد امکان تماس با محلول قلیایی را دارد ولی زمانی که واکنش شیمیایی پایان می‌یابد بازدهی به طور ناگهانی کاهش پیدا می‌کند.

عامل بعدی که اثر آن مورد بررسی قرار گرفت تاثیر افزایش غلظت آلاینده در گاز حامل ورودی است که مطابق با انتظار، آزمایش‌ها کاهش در مقدار بازدهی را نشان می‌دهد. ولی این کاهش بسیار جزئی است و در شدت جریان lit/hr ۵۰۰ قلیایی با غلظت ۳٪ و شدت جریان m^3/sec ۰/۲ گاز، افزایش غلظت از ۲۰۰ PPM به ۷۰۰ PPM، تنها باعث ۲/۵٪ کاهش در مقدار بازدهی می‌شود.

در نهایت طغیان برج می‌شود که خود عامل انتشار آلودگی در محیط زیست خواهد بود.

غلظت محلول قلیایی با آنکه تاثیر مثبتی بر روی میزان جذب دارد ولی با افزایش شدت جریان مایع و گاز این عامل تاثیر خود را از به تدریج از دست می‌دهد. ولی افزایش غلظت محلول قلیایی سبب افزایش ویسکوزیته محلول و به تبع آن افزایش افت فشار و افزایش حجم مایعی که با جریان گاز همراه می‌شود، می‌گردد. به عبارت دیگر وقتی از محلول ۳٪ در برج استفاده می‌شود نمی‌توان در شدت جریان مایع lit/hr ۱۰۰۰ از شدت جریان m^3/sec ۰/۳ گاز استفاده کرد و برج در این حالت به شرایط طغیان می‌رسد. در این ناحیه نیز افت فشار نسبتاً بالا و در حدود ۳۵ mbar است. عمده تاثیر غلظت محلول قلیایی بر ظرفیت جذب محلول است. آزمایش‌های صورت گرفته به منظور بررسی ظرفیت جذب برج در حال کارکرد ناپیوسته نیز این امر را تصدیق می‌کند و نشان می‌دهد تا زمانی که تمام قلیا موجود در محلول از مصرف شود و pH محلول به

مراجع

- 1 - Perkins, H. (1987). *Air Pollution*, Elsevier Press, 1985, Translated By M. Ghysavdina, Tehran University Press.
- 2 - Gutiérrez, F. J., Ollero, P., Cabanillas, A. and Otero, J. (2002). "A technical pilot plant assessment of flue gas desulphurization in a circulating fluidized bed." *Advances in Environmental Research*, Vol. 7, No. 1, PP. 73-85.
- 3 - Meikap, B. C., Kundu, G. and Biswas, M. N. (2002). "Modeling of a novel multi-stage bubble column scrubber for flue gas desulphurization." *Chemical Engineering Journal*, Vol. 86, No. 3, PP. 331-342.
- 4 - Gerbec, M., Stergarsek, A. and Kocjancic, R. (1995). "Simulation model of wet flue gas desulphurization plant." *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 19, PP. 283-286.
- 5 - Yuanjing Zheng, Soren Kiil and Johnsson, J. E. (2003). "Experimental investigation of a pilot-scale jet bubbling reactor for wet flue gas desulphurization." *Chemical Engineering Science*, Vol. 58, No. 20, PP. 4695-4703.
- 6 - Tsung-Wen Chien and Hsin Chu. (2000). "Removal of SO₂ and NO from flue gas by wet scrubbing using an aqueous NaClO₂ solution." *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 80, No. 1-3, 30, PP. 43-57.
- 7 - ASTM E359-00, (2004). *Standard Test Method for Analysis of Soda Ash (Na₂CO₃)*, 15-5.
- 8 - ASME 40-1991. *Flue Gas Desulphurization Units*.
- 9 - Ludwig, E. E. (2001). *Applied Process Design for chemical and petrochemical Engineering*, MC Grow-Hill, New York, 6th edn.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Multi-Stage Bubble Scrubber
- 2 - Jet bubble reactor for flue gas desulphurization SO₂
- 3 - Reagent Ratio