

# بررسی تجربی جذب سولفید هیدروژن در یک برج جذب بستر متحرک

پژوهش‌نفت

سال بیستم

شماره ۶۴

صفحه ۸۶-۷۹، ۱۳۸۹

خالد فرصت\*، جعفر صادق‌زاده اهری و مسیح حسینی جناب

پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده گاز

Forsatk@ripi.ir

و زمان اقامت، موجب کاهش میزان سولفید هیدروژن می‌گردد. تعیین محدوده مناسب نسبت دبی مایع به دبی گاز (L/G) از ملزومات اساسی جهت طراحی برج جذب بستر متحرک می‌باشد. لذا با توجه به نتایج اخذ شده، این نسبت بسته به غلظت گاز سولفید هیدروژن خوراک و قطر آکنه مورد استفاده در محدوده  $21-8 \text{ lit/m}^3$  تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: برج جذب بستر متحرک، سولفید هیدروژن، کیلات آهن، سولفیران

## مقدمه

فرایند سولفیران [۱] جزو فرآیندهای اکسیداسیون- احیاء در فاز مایع<sup>۱</sup> می‌باشد که دارای راندمان بالایی جهت حذف سولفید هیدروژن از جریان‌های گازی حاوی  $\text{H}_2\text{S}$  نظیر گاز طبیعی، گاز همراه<sup>۲</sup>، گاز سوختن، گاز دودکش و هوا می‌باشد. کاتالیست فرآیند مورد نظر آهن می‌باشد که توسط عوامل کیلات کننده‌ای همانند EDTA<sup>۳</sup>، NTA<sup>۴</sup> و HEDTA<sup>۵</sup> بصورت محلول نگاهداشته شده و از رسوب

1. Liquid - Redox

2. Associated Gas

3. Ethylene Diamine Tetraacetic Acid

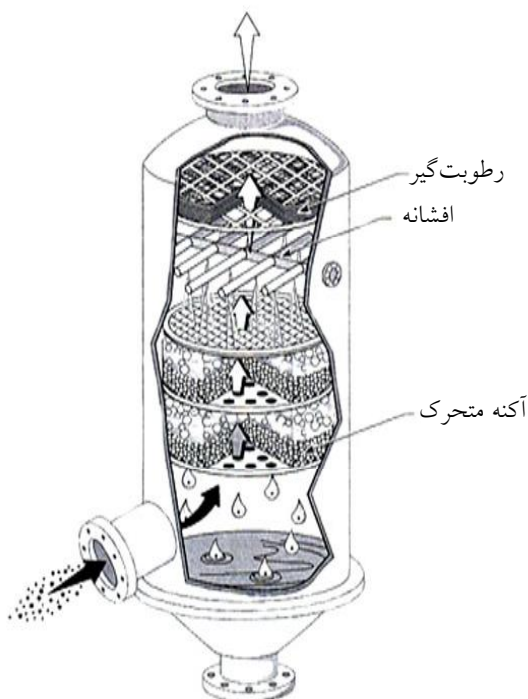
4. Nitrilo Triacetic Acid

5. Hydroxyethyl Ethylene Diamine Triacetic Acid

## چکیده

در این مقاله حذف سولفید هیدروژن ( $\text{H}_2\text{S}$ ) از یک جریان گازی توسط محلول کیلات آهن در یک برج جذب بستر متحرک مورد مطالعه قرار گرفته است. آزمایش‌هایی در شرایط عملیاتی گوناگون صورت پذیرفته است. دبی گاز در محدوده  $28-22 \text{ lit/min}$  دبی محلول کیلات آهن در محدوده  $0.5-0.2 \text{ lit/min}$  و غلظت سولفید هیدروژن ( $\text{H}_2\text{S}$ ) در محدوده  $4000-3000 \text{ ppm}$  و دو ارتفاع استاتیکی بستر،  $13 \text{ cm}$  و  $23 \text{ cm}$ ، و دو آکنه با قطرهای  $2 \text{ cm}$  و  $2.5 \text{ cm}$  مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصله بیانگر آن است که میزان جذب گاز سولفید هیدروژن با افزایش ارتفاع استاتیکی بستر، افزایش می‌یابد، زیرا با افزایش ارتفاع استاتیکی بستر، سطح تماس و زمان تماس فازهای گاز و مایع افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دبی محلول کیلات آهن به دلیل در دسترس قرار گرفتن مول‌های بیشتری از فریک ( $\text{Fe}^{+3}$ ) برای واکنش، میزان جذب افزایش می‌یابد. البته افت فشار نیز با افزایش پارامترهای مذکور افزایش می‌یابد، بنابراین میزان افزایش این پارامترها با محدودیت مواجه می‌باشد. بررسی سایر پارامترها نشان داد که در شرایط عملیاتی یکسان، افزایش عواملی مانند قطر آکنه‌ها، غلظت سولفید هیدروژن و دبی گاز، به دلیل کاهش سطح تماس بین فازها، نسبت مولی  $\text{Fe}^{3+} / \text{H}_2\text{S}$

می‌گیرند [۲-۵]. مطالعات انجام شده حکایت از آن دارد که از لحاظ بازده کاری، یک برج جذب بستر متحرک دارای بازدهی معادل یک برج آکنده و یا یک برج سینی دار معمولی است، با این تفاوت که در برج جذب بستر متحرک همانگونه که قبلاً نیز اشاره گردید برخورد آکنده‌ها مانع از ایجاد پدیده گرفتگی و افت فشار شده و از طرفی به دلیل بالا بودن سرعت گاز در برج‌های جذب بستر متحرک، این برج‌ها نسبت به برج‌های متداول سینی دار و آکنده با سایز یکسان، قادر به فرآورش گاز تا حد پنج تا شش برابر برج‌های یاد شده می‌باشد [۶].



شکل ۱- برج جذب بستر متحرک

عوامل موثر در افزایش میزان جذب در برج‌های جذب بستر متحرک مشابه برج‌های آکنده می‌باشد یعنی با افزایش نسبت مایع به گاز، افزایش ارتفاع استاتیکی آکنده‌ها و یا افزایش تعداد مراحل، به دلیل افزایش زمان تماس و میزان تماس، میزان جذب افزایش می‌یابد اما از طرفی افزایش عوامل اشاره شده سبب افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و

آن جلوگیری می‌شود. در این فرآیند ابتدا گاز حاوی  $H_2S$  با محلول آبی کاتالیست (کیلات آهن) در یک ظرف تماس دهنده گاز-مایع (مانند برج جذب حاوی آکنه، شستشودهنده ونچوری<sup>۱</sup>، استاتیک میکسر<sup>۲</sup> و...) تماس داده شده تا  $H_2S$  در محلول کاتالیست جذب شده و سپس در اثر یونیزاسیون،  $H_2S$  به یون سولفید تبدیل شود. آنگاه یون حاصله در اثر احیاء یون آهن فریک به گوگرد اکسید می‌گردد. برج‌های جذب بستر متحرک که تحت عناوینی نظیر برج‌های جذب بستر متلاطم<sup>۳</sup> و یا برج‌های جذب تماس آشفته<sup>۴</sup> نیز شناخته می‌شوند، برج‌هایی هستند که از انرژی همزمان حاصل از اسپری کردن مایع و جریان گاز جهت ایجاد تماس موثر بین گاز و مایع استفاده می‌کنند. این ادوات، شبیه برج‌های حاوی آکنده‌های استاتیکی<sup>۵</sup> می‌باشند با این تفاوت که در آنها آکنده‌های موجود متحرک بوده و با یک سرعت تقریباً ثابت در حال حرکت هستند. در این نوع برج‌ها رژیم جریان از نوع قطره‌ای بوده و جریان گاز تامین کننده اصلی انرژی لازم جهت حرکت آکنده‌ها محسوب می‌شود و در عین حال ماندگی مایع در برج و اثر شناورسازی آن بر روی آکنده‌های مورد نظر سبب تسهیل در حرکت آکنده‌ها می‌گردد. برج‌های جذب بستر متحرک به دلیل افزایش سطح تماس موثر بین گاز و مایع عملاً در فرآیندهای جذب نسبت به برج‌های آکنده و همچنین برج‌های سینی دار ارجحیت دارند. از طرفی در این برج‌ها به دلیل حرکت و برخورد آکنده‌ها، مسئله گرفتگی، ایجاد افت فشار و پدیده کاناله شدن<sup>۷</sup> که در سایر برج‌ها متداول است، مشاهده نمی‌گردد.

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود یک برج جذب بستر متحرک دارای ناحیه آکنده‌های کروی می‌باشد که این قسمت توسط دو صفحه مشبک با فاصله تقریبی ۳ برابر ارتفاع آکنده‌ها محدود شده است. آکنده‌های مورد استفاده در این نوع برج‌ها کروی و توخالی و اغلب از جنس پلی پروپیلن یا پلی اتیلن می‌باشند. جریان گاز مورد نظر از قسمت پایین و جریان مایع نیز پس از اسپری شدن از بالای سیستم وارد می‌شوند.

امروزه برج‌های جذب بستر متحرک به صورت گسترده جهت خالص سازی جریانات گازی مورد استفاده قرار

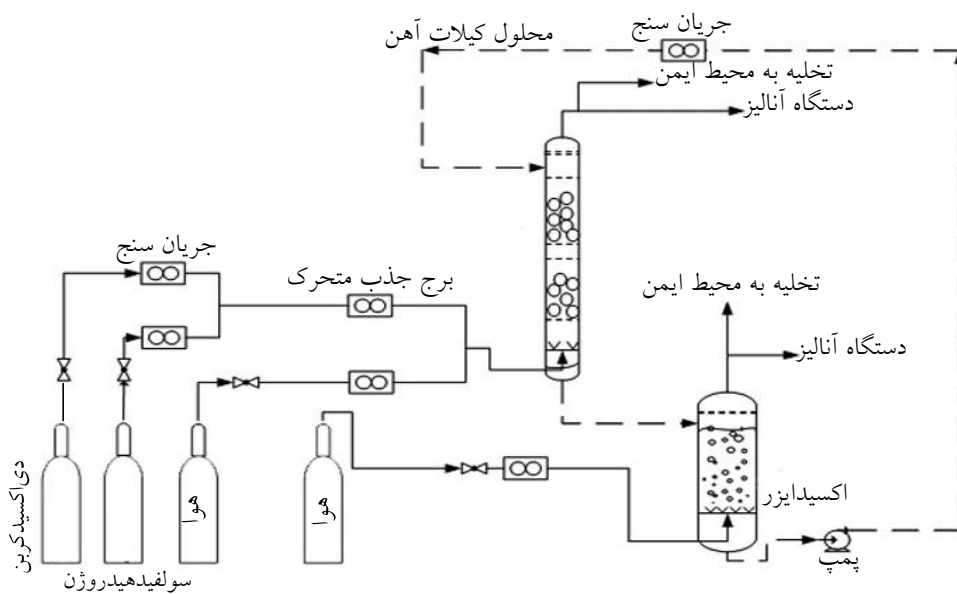
1. Packed Bed Absorber
2. Venturi Scrubber
3. Static Mixer
4. Turbulent Bed Contactor
5. Turbulent Contact Absorber
6. Packed Tower
7. Channeling

و نچوری قبل از برج جذب بستر متحرک الزامی است. با توجه به محدودیت اطلاعات ارائه شده توسط سایر محققین، هدف اصلی این مقاله بررسی تجربی تاثیر پارامترهای عملیاتی بر بازده جذب گاز  $H_2S$  توسط محلول کیلات آهن با استفاده از برج جذب بستر متحرک و همچنین تعیین نسبت مناسب مایع به گاز در سیستم مورد نظر می باشد. به همین منظور یک سامانه<sup>۲</sup> آزمایشگاهی مناسب طراحی و ساخته شد که در ادامه به روند انجام آزمایشات و همچنین نتایج بدست آمده، اشاره می گردد.

### آزمایش‌ها

به منظور انجام آزمایش‌های مورد نیاز یک سامانه آزمایشگاهی (شکل ۲) ساخته شد. برج بستر متحرک به کار گرفته شده در سامانه آزمایشگاهی، از جنس شیشه و به قطر ۶ cm و ارتفاع ۷۰ cm بوده و از آکنه‌های کروی تو خالی از جنس پلی پروپیلن با قطرهای ۲۰ و ۲۵ mm ساخت شرکت CINCOTTA در آزمایش‌های مختلف استفاده گردید. آکنه‌ها بین صفحات مشبک فلزی (توری فلزی) که نسبت فضای خالی به کل سطح آن برابر ۷۰ بوده، محصور بودند و جهت توزیع مایع نیز یک توزیع کننده دوشی شکل به قطر ۴ cm و با روزنه‌هایی به قطر ۲ mm و از جنس تفلون درون برج تعبیه گردید.

عملیاتی سیستم مورد نظر نیز گردند. لذا لازم است تا برای سیستم‌های مختلف، پارامترهای عملیاتی و طراحی طوری بهینه گردد تا هزینه‌های اجرایی و عملیاتی به حداقل مقدار ممکن برسد. به عنوان نمونه جهت جذب گاز  $SO_2$  توسط محلول آب آهک، در گاز خروجی از دودکش جوش آورها با استفاده از سیستم برج جذب بستر متحرک نسبت مایع به گاز در حدود  $8 \text{ lit/m}^3$  گزارش شده است [۲]. در زمینه جذب گاز  $H_2S$  توسط محلول کیلات آهن و با استفاده از سیستم برج جذب بستر متحرک، اطلاعات محدودی توسط سایر محققین ارائه شده است [۴]. نگل<sup>۱</sup> تنها به این نکته اشاره کرده است که جهت جذب گاز  $H_2S$  با غلظت  $500 \text{ ppm}$  از یک جریان گازی توسط محلول کیلات آهن با غلظت  $100$  تا  $4000 \text{ ppm}$ ، نسبت مایع به گاز بسته به غلظت محلول در محدوده  $1/25-50 \text{ lit/m}^3$  تغییر می‌باشد. همچنین در گزارش ارائه شده توسط شرکت MERICHEM مشخص شده است که واحدهای عملیاتی که بر اساس دو فرایند LO-CAT و MINI-CAT جهت جذب گاز  $H_2S$  توسط محلول  $2000 \text{ ppm}$  بنا شده‌اند در بهترین حالت با توجه به محدودیت‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری، توانایی جذب حداکثر  $5000 \text{ ppm}$  گاز  $H_2S$  را با استفاده از تکنولوژی برج جذب بستر متحرک را دارا می‌باشند و در بقیه حالت‌ها که میزان گاز  $H_2S$  زیاد است، استفاده از شستشودهنده



شکل ۲- شماتیک سامانه آزمایشگاهی برج بستر متحرک (TCA)

انجام شده در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

### بحث و بررسی نتایج

در حال حاضر در فرایند سولفیران جهت جذب گاز  $H_2S$  توسط محلول کیلات آهن، به طور هم زمان از ادوات فرایندی شستشو دهنده ونچوری و برج جذب بستر ثابت استفاده می گردد. ولی با توجه به مزایای نسبی برج جذب بستر متحرک (کاهش افت فشار، عدم ایجاد گرفتگی و بالا بودن میزان فراورش گاز) جایگزینی برج جذب بستر ثابت فرایند سولفیران با برج جذب بستر متحرک، گریزناپذیر بوده و در کاهش مشکلات فرایندی و همچنین در بهبود اقتصاد فرایند تاثیر بسزایی خواهد داشت.

وجود اطلاعات تجربی در زمینه تأثیر پارامترهای عملیاتی بر عملکرد ادوات فرایندی، نیاز اولیه جهت مدل سازی و یا طراحی ادوات مورد نظر می باشد. همانگونه که قبلا اشاره گردید در زمینه کاربرد برج جذب بستر متحرک جهت جذب گاز سولفید هیدروژن توسط محلول کیلات آهن اطلاعات بسیار محدودی در یک مرجع علمی و در یک گزارش شرکت MERICHEM ذکر شده است [۴]. لذا در کار حاضر، جهت اخذ اطلاعات کافی برای به کارگیری برج جذب بستر متحرک در فرایند سولفیران، آزمایشات در جهت بررسی تجربی تأثیر پارامترهای عملیاتی بر عملکرد برج جذب بستر متحرک انجام گردید که در ادامه به نتایج حاصل اشاره می گردد.

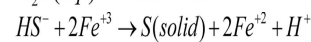
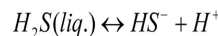
### تأثیر دبی (سرعت) گاز و محلول کاتالیست کیلات آهن

همانگونه که در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده است، میزان ارتفاع دینامیکی بستر با افزایش سرعت گاز و مایع، افزایش می یابد. در شکل ۵ مشاهده می شود که در شرایط یکسان عملیاتی، با افزایش دبی کاتالیست، راندمان برج افزایش می یابد. زیرا با افزایش دبی کاتالیست، میزان مول  $Fe^{3+}$  در دسترس افزایش یافته و در نتیجه بر شدت جذب گاز سولفید هیدروژن افزوده می شود. البته باید توجه نمود که افزایش میزان دبی کاتالیست به دلیل محدودیت هایی همچون افزایش افت فشار، افزایش ماندگی مایع و افزایش ارتفاع دینامیکی بستر عملا با محدودیت های عملیاتی مواجه می باشد.

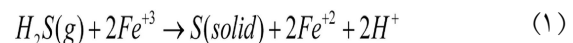
1. Turbulent Contacting Bed Regime

2. Space Velocity

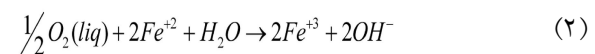
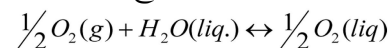
نوع رژیم جریان در برج های بستر متحرک از نوع جریان تماس آشفته<sup>۱</sup> می باشد بنابراین جهت برقراری رژیم جریان مورد نظر در داخل برج، با توجه به نتایج ارائه شده توسط سایر محققین [۴، ۵، ۷ و ۸] لازم است تا سرعت فضایی<sup>۲</sup> گاز در ستون مورد نظر بیش از ۱ متر بر ثانیه باشد (حداکثر سرعت نیز ۴ متر بر ثانیه گزارش شده است). همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده است هوا با جریانی از گاز سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن ( $13\% H_2S$  و  $87\% CO_2$ ) مخلوط شده و با غلظت و دبی معین وارد برج جذب می شود و با کاتالیست ورودی از قسمت بالای برج، به صورت جریان متقابل، تماس داده می شود. گاز سولفید هیدروژن ابتدا در محلول آبی حل و یونیزه شده و در اثر تماس با کیلات آهن فریک ( $Fe^{3+}$ ) به گوگرد عنصری تبدیل شده و کیلات آهن فریک به کیلات آهن فروس ( $Fe^{2+}$ ) احیا می گردد. واکنش های یونیزاسیون در این قسمت به شرح زیر است:



جمع واکنش های فوق واکنش ذیل می باشد:



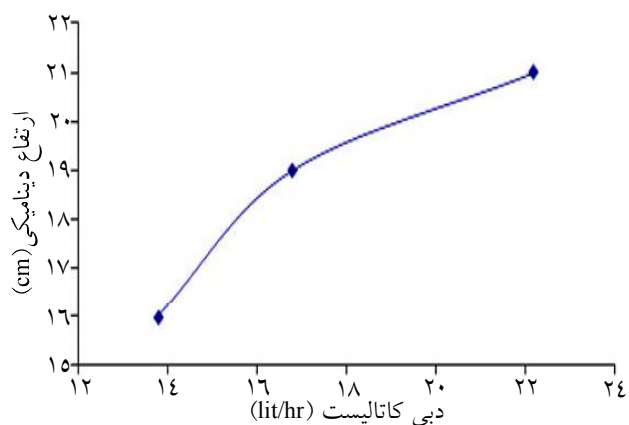
کاتالیست خروجی از برج جذب نیز به اکسیدایزر ارسال می شود تا پس از احیا با جریان هوا، به برج جذب برگشت داده شود. واکنش ها در این قسمت نیز به شرح زیر است:



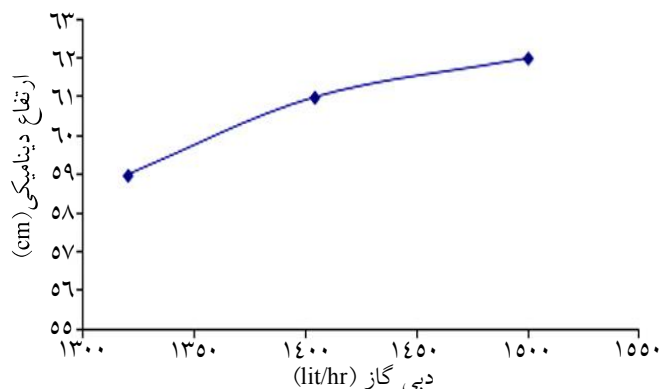
در آزمایشات انجام شده از محلول کیلات آهن با غلظت ۲۰۰۰ ppm و  $pH=9$  استفاده شد. مقدار  $H_2S$  خروجی از برج جذب با استفاده از یک دستگاه ( $H_2S$  Analyzer (Sensitron Model PL 4)، مقدار کل آهن به روش جذب اتمی (PERKIN ELMER Model 2320) و غلظت  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  با استفاده از یک دستگاه پتانسیومتر (مدل 1054 A) از شرکت روزمونت مجهز به الکتروود MODEL 389 با دقت  $\pm 1$  mv تعیین می شدند. برای اندازه گیری  $pH$  محلول از یک دستگاه  $pH$  متر (مدل 1054 A از شرکت روزمونت) مجهز به الکتروود MODEL 389 با دقت 0.01  $\pm$  استفاده شده است. محدوده آزمایشات

جدول ۱- شرایط عملیاتی آزمایشات انجام شده

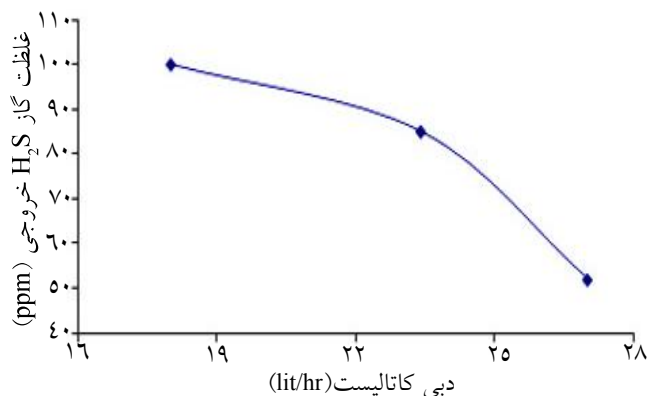
شماره	پارامتر	دامنه
۱	دبی گاز (lit/min)	۲۲-۲۸
۲	دبی محلول کاتالیست (lit/min)	۰/۲-۰/۵
۳	غلظت سولفید هیدروژن در گاز ورودی (ppm)	۳۰۰-۴۰۰۰
۴	قطر آکنه cm	۲ و ۲/۵
۵	ارتفاع استاتیکی آکنه‌ها cm	۲۳ و ۱۳
۶	نسبت سطح منافذ توزیع کننده به سطح کل (%)	۷۰



شکل ۳- تاثیر دبی کاتالیست بر ارتفاع دینامیکی بستر (دبی گاز ۱۳/۱۶ lit/min، قطر آکنه ۲ cm و ارتفاع استاتیکی بستر ۱۳ cm)



شکل ۴- تاثیر دبی گاز بر ارتفاع دینامیکی بستر (دبی کاتالیست ۱۶/۸ lit/hr، قطر آکنه ۲ cm و ارتفاع استاتیکی بستر ۲۳ cm)

شکل ۵- تاثیر دبی کاتالیست بر میزان جذب (دبی گاز ۱۴/۰۰ lit/hr، قطر آکنه ۲/۵ cm، ارتفاع استاتیکی بستر ۱۳ cm و غلظت H<sub>2</sub>S در خوراک ۴۰۰۰ ppm)

به ۶۰ ppm افزایش می‌یابد. دلیل این پدیده ناشی از کاهش تعداد آکنه‌ها با افزایش قطر آکنه‌ها (با ثابت بودن ارتفاع استاتیکی آکنه‌ها) و در نتیجه کاهش سطح تماس گاز و مایع به‌ازای واحد حجم می‌باشد.

#### تأثیر ارتفاع استاتیکی آکنه‌ها

در شرایط یکسان عملیاتی (دبی کاتالیست ۱۶/۸ lit/hr، دبی گاز ۱۳۱۶ lit/hr با غلظت ۱۱۳۵ ppm گاز سولفید هیدروژن، و آکنه با قطر ۲ cm) با افزایش ارتفاع استاتیکی آکنه از ۱۳ cm به ۲۳ cm، با وجود کاهش ماندگی مایع؛ میزان غلظت گاز سولفید هیدروژن در جریان خروجی از ۳۰ ppm به ۱۵ ppm کاهش می‌یابد. بالا رفتن میزان جذب با افزایش ارتفاع استاتیکی، به دلیل افزایش تعداد آکنه‌ها و در نتیجه افزایش سطح تماس گاز و مایع می‌باشد البته برخی از محققین، افزایش ضریب انتقال جرم را علت این امر دانسته‌اند [۹ و ۱۰].

#### تأثیر افزایش غلظت گاز سولفید هیدروژن در خوراک

نتایج نشان داد که در شرایط یکسان عملیاتی با افزایش میزان غلظت گاز  $H_2S$  در خوراک، میزان غلظت  $H_2S$  در خروجی برج نیز افزایش یافته و در نتیجه میزان عملکرد برج کاهش می‌یابد (شکل ۶) زیرا با ثابت ماندن دبی کاتالیست عملاً با افزایش غلظت گاز سولفید هیدروژن در خوراک، نسبت مولی  $H_2S/Fe^{+3}$  افزایش یافته و با توجه به محدود بودن غلظت  $Fe^{+3}$  در محلول کاتالیست، میزان  $H_2S$  جذب نشده در خروجی برج افزایش می‌یابد.

#### نتیجه‌گیری

با توجه به ارجحیت نسبی برج جذب بستر متحرک بر برج جذب بستر ثابت (کاهش افت فشار، جلوگیری از پدیده گرفتگی و همچنین امکان فراورش گاز تا حد پنج تا شش برابر) جایگزینی برج جذب بستر ثابت موجود در فرایند سولفیران با برج جذب بستر متحرک، می‌تواند نقش قابل ملاحظه‌ای در کاهش مشکلات فرایندی و همچنین اقتصاد فرایند مورد نظر داشته باشد. اما با توجه به کمبود اطلاعات ارائه شده در زمینه جذب گاز سولفید هیدروژن توسط محلول کیلات آهن و با استفاده از برج جذب بستر

در طی انجام آزمایشات با افزایش میزان سرعت گاز و ثابت بودن سایر شرایط عملیاتی، مشاهده گردید که به دلیل کاهش زمان تماس، از میزان جذب کاسته گردید. در این شرایط (افزایش سرعت گاز)، با افزایش نسبی دبی کاتالیست، میزان جذب گاز سولفید هیدروژن نیز افزایش یافت لذا نتایج حکایت از آن داشت که تعیین میزان نسبت مناسب دبی محلول کاتالیست کیلات آهن به دبی گاز مورد استفاده، از الزامات اولیه جهت به‌کارگیری برج جذب بستر متحرک در فرایند سولفیران می‌باشد، که با توجه به ۲۷ داده آزمایشی اخذ شده، این نسبت با توجه به قطر آکنه و میزان  $H_2S$  خوراک و برای جذب بیش از ۹۸ درصد گاز سولفید هیدروژن موجود در خوراک تعیین گردید (جدول ۲). نتایج جدول ۲ همچنین مشخص نمود که بر خلاف فرایند حال حاضر سولفیران که در آن جهت فراورش گاز، با توجه به محدودیت‌های عملیاتی نظیر گرفتگی برج جذب بستر ثابت و افزایش افت فشار برج، مجبور به استفاده هم‌زمان شستشو دهنده و نچوری و برج جذب بستر ثابت می‌باشیم، می‌توان با استفاده از برج جذب بستر متحرک و بدون نیاز به شستشو دهنده و نچوری، جریانات گازی تا غلظت ۴۰۰۰ ppm گاز  $H_2S$  را فراورش نموده و در نتیجه در اقتصاد فرایند تأثیر بسزایی ایجاد نمود.

جدول ۲- مناسب‌ترین نسبت دبی کاتالیست به دبی گاز در برج جذب بستر متحرک، جهت جذب بیش از ۹۸ درصد گاز سولفید هیدروژن موجود در خوراک

اندازه آکنه (cm)	میزان $H_2S$ خوراک (ppm)	L/G (lit/m <sup>3</sup> )
۲	۰-۹۰۰	۸-۱۱
۲	۹۰۰-۲۰۰۰	۱۱-۱۴
۲/۵	۰-۱۳۰۰	۱۱-۱۷
۲/۵	۱۳۰۰-۴۰۰۰	۱۹-۲۱

#### تأثیر قطر آکنه

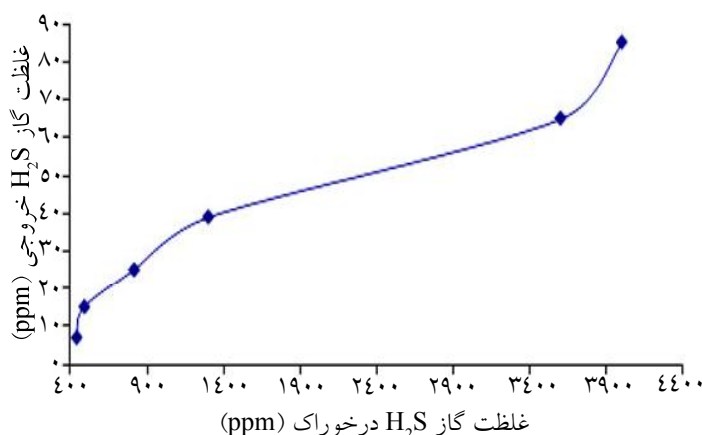
در شرایط عملیاتی یکسان (دبی کاتالیست ۱۳/۸ lit/hr، دبی گاز ۱۳۱۶ lit/hr با غلظت ۱۱۳۵ ppm گاز سولفید هیدروژن و آکنه به ارتفاع استاتیکی ۱۳ cm) مشاهده گردید که با افزایش قطر آکنه مورد استفاده از ۲ cm به ۲/۵ cm؛ ارتفاع دینامیکی بستر نیز از ۱۶ cm به ۱۸ cm افزایش یافته و میزان غلظت گاز سولفید هیدروژن در جریان خروجی از ۴۰ ppm

بررسی تاثیر پارامتر قطر آکنه (با فرض یکسان بودن ارتفاع استاتیکی) حکایت از آن داشت که با افزایش این پارامتر، میزان جذب کاهش می‌یابد که این امر ناشی از کاهش میزان سطح انتقال جرم می‌باشد.

جهت طراحی مناسب برج جذب بستر متحرک در فرایند فراورش گاز، علاوه بر روابط هیدرودینامیکی موجود در این زمینه [۶ و ۱۳-۱۱]، لازم است تا نسبت مناسب مایع به گاز نیز مشخص گردد که با توجه به نتایج اخذ شده، این نسبت بسته به غلظت گاز سولفید هیدروژن خوراک و قطر آکنه مورد استفاده در محدوده  $21 - 8 \text{ lit/m}^3$  تعیین گردید.

متحرک، در کار حاضر با اخذ داده‌های تجربی در یک سامانه آزمایشگاهی، ضمن بررسی تأثیر پارامترهای عملیاتی بر راندمان برج مورد نظر، نسبت مناسب دبی محلول کیلات آهن به دبی خوراک گازی که یک پارامتر مهم در طراحی و به‌کارگیری برج مورد نظر در فرایند سولفیران می‌باشد، تعیین گردید.

نتایج حاصل نشان داد که با افزایش ارتفاع استاتیکی آکنه‌ها به دلیل افزایش سطح و زمان تماس و همچنین با افزایش دبی محلول کیلات آهن، به دلیل افزایش میزان مول آهن فریک، میزان جذب افزایش می‌یابد.



شکل ۶- تاثیر غلظت گاز سولفید هیدروژن در خوراک بر میزان جذب (نسبت دبی کاتالیست بر دبی خوراک  $16/7 \text{ lit/m}^3$ ، قطر آکنه  $2/5 \text{ cm}$  و ارتفاع استاتیکی بستر  $13 \text{ cm}$ )

## منابع

- [1] Khattaty M.R., Forsat Kh., Hashemi R. & Manafi Varkiani H., *Process for removing sulfur particles from an aqueous catalyst solution and removing hydrogen sulfide and recovering sulfur from a gas stream*, U.S. Patent: 7,419,652 B2, 2008.
- [2] McMichele W.J., Fan L.S. & Wen C.Y., "Analysis of sulfur dioxide wet limestone scrubbing data from pilot plant spray and TCA scrubbers", *Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev.*, Vol. 15, No. 3, pp. 459- 467, 1976.
- [3] Shi Y., Littlejohn D., Kettler P.B. & Chang S.G., "Removal of nitric oxide from flue gas with iron thiocholate aqueous solution in a contact absorber", *Env. Prog.*, Vol. 15, Issue 3, pp. 153-158, 2006.
- [4] Nagl G.J., *Multi-bed mass transfer column with mobile packing*, U.S. Patent: 5296205, 1994.
- [5] Zahedi G., Jahanmiri A., Elkamal A. & Lohi A., "Mathematical modeling, Simulation, and experimental verification of CO<sub>2</sub> removal in a turbulent contact absorber", *Chem. Eng. Technol.*, Vol. 29, No. 8, pp. 916-922, 2006.
- [6] Muroyama K. & Fan L.S., "Fundamentals of gas-liquid-solid fluidization", *AIChE Journal*, Vol. 31, No. 1, pp. 1-34, 1985.
- [7] Gimenes M.L. & Handley D., "A model for particle collection in a turbulent bed contactor", *Trans IChemE*, Vol. 76(A), pp. 855-863, 1998.

- [8] Bruce A.E.R., Sai P.S.T. & Krishnaiah K., "*Liquid holdup in turbulent bed contactor*", Chem. Eng. J., Vol. 99, pp. 203- 212, 2004.
- [9] Elenkov D. & Kossev A., "*Mass transfer in the liquid phase in apparatus with mobile packing*", Theo. Found. Chem. Eng., Vol. 4, pp. 100-105, 1970.
- [10] Kossev A. & Elenkov D., "*Mass transfer in the gas phase in apparatus with a mobile packing*", Theo. Found. Chem. Eng., Vol. 7, pp. 795-799, 1973.
- [11] Lyashuk A. & Berengarten M.G., "*Hydrodynamic characteristics of an absorber with a movable packing*", Chem. Petr. Eng., Vol. 37, No. 3-4, pp. 125-130, 2001.
- [12] Laszuk A., "*Industrial use of vessels with a three-phase fluidized bed*", Chem. Petr. Eng., Vol. 40, No. 11-12, pp. 705-709, 2004.
- [13] Uchida S., Chang C.S. & Wen C.Y., "*Mechanics of a turbulent contact absorber*", Can. J. Chem. Eng., Vol. 55, Issue 4, pp. 392-396, 2009.