

شناسایی و حذف عوامل تخریب بسترهای جاذب رطوبت (مولکولارسیو) در واحدهای نم زدایی

پالایشگاه‌های مجتمع گاز پارس جنوبی

فرشاد غلامی<sup>۱</sup>، میثم سیف<sup>۲</sup>، کامبیز صفتی<sup>۳</sup>

عسلویه، شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی، پالایشگاه ششم

### خلاصه

در پالایش گاز طبیعی، نم زدایی یکی از فرآیندهای مهم می باشد و به همین منظور روشهای بسیاری برای نم زدایی وجود دارد، اما امروزه استفاده از روش جذب سطحی به عنوان یک فرآیند مناسب در نم زدایی از گاز طبیعی رو به گسترش است. این فرآیند هم اکنون در پالایشگاه سوم و پنجم و ششم پارس جنوبی مورد استفاده قرار می گیرد و غربال مولکولی مورد استفاده در این واحد 3A می باشد که مشکل آن تخریب زود هنگام بسترها (غربال های مولکولی) می باشد. در فرآیند جذب سطحی در بستر جامد، شرایط دمایی و فشاری و آیتیم های دیگر برای رژیم جریان گاز در بستر مورد لحاظ قرار گرفته که هر کدام از این شرایط در مواردی خاص باعث تخریب این غربالها شده است.

بر اساس دستورالعمل شرکت سازنده، عمر مفید این غربال ها حدودا ۳ سال می باشد، یعنی بعد از پایان سال سوم باید بسترها تخلیه شده و غربال های جدید شارژ گردد. بررسی ها و تجربیات متعدد نشان داده که عمدتاً کارایی این غربال ها در واحد نم زدایی پالایشگاه های گازی کمتر از زمان مذکور بوده به نحوی که آگیری توسط این بسترها به خوبی انجام نشده و باعث مشکلاتی برای واحدهای پایین دستی شده است. رسیدن به نقطه شبنم ایده ال، باید غربال های مویکولی مناسب مورد استفاده قرار گیرد و شرایط عملیاتی باید به گونه ای کنترل شود که کمترین میزان شوک حرارتی و فشاری به این بسترها وارد شود، در این مقاله تلاش شده با بررسی ترند های پالایشگاه های مجتمع گاز پارس جنوبی و انجام آزمایشاتی، این عوامل مخرب شناسایی و پیشنهاداتی در جهت رفع آنها بیان شود.

**واژه‌های کلیدی:** پالایش گاز طبیعی، واحد های نم زدایی، جذب سطحی، مولکولار سیو

۱- کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، اداره پالایش، پالایشگاه ششم

[Farshad.gholami63@gmail.com](mailto:Farshad.gholami63@gmail.com)

## ۱- مقدمه

رشد روزافزون صنایع در دنیا به ویژه نیاز شدید کشورهای صنعتی و توسعه یافته به انرژی، فراوانی پراکندگی گاز طبیعی در جهان، هزینه کمتر استخراج، قیمت مناسب و قابل رقابت آن و آلودگی کمتر محیط زیست در مقایسه با سایر سوخت های فسیلی، گاز طبیعی را به عنوان محصولی پاک جایگزین سایر انرژی ها و فرآورده های نفتی نمود. در حال حاضر ۲۵ درصد انرژی جهان از گاز طبیعی تامین می شود. جمهوری اسلامی ایران با دارا بودن بیش از ۲۸ تریلیون مترمکعب گاز طبیعی، معادل ۱۶ درصد از ذخایر گاز کل جهان و به عنوان دومین کشور دارنده این انرژی پاک محسوب می گردد. [1]

روش دیگر رطوبت زدایی به وسیله جذب سطحی (آلومینا، سیلیکاژل و غربال های مولکولی) است که معمولاً مؤثرتر از نم زدهای گلیکول هستند. راه های دیگر برای نم زدایی استفاده از جداسازی غشایی و میعان (سیکل های سرمایشی، انبساط در توربین و انبساط به وسیله شیر فشارشکن) می باشد.

در پالایشگاه پنجم پارس جنوبی برای نم زدایی گاز از روش جذب سطحی استفاده می شود. نوع غربال مولکولی مورد استفاده در این واحد 3A است، مشکلی که در حال حاضر در این واحدها وجود دارد، تخریب این غربال های مولکولی در زمان کمتر از ۳ سال است. در این مقاله هدف شناسایی و حذف عوامل مؤثر بر تخریب بسترهای جاذب رطوبت (غربال های مولکولی) در واحدهای نم زدایی پالایشگاه های گازی می باشد تا با بررسی نحوه عملکرد این غربال های مولکولی در واحدهای نم زدایی، بهترین حالت عملیاتی که باعث کمترین آسیب میشود، برای این فرآیند انتخاب شود. بنابراین با بررسی عوامل مختلفی که برای چنین سیستم هایی ارائه شده است و با در نظر گرفتن شرایط سیستم مورد بررسی، پارامترهای مناسب انتخاب شده است و سیستم نم زدایی از گاز طبیعی بر اساس آن صورت گرفته است و در نهایت نقش فاکتورهای تاثیرگذار در واحد رطوبت زدایی بیان می شود. [2]

## ۲- نم زدایی گاز طبیعی

بخار آب یکی از ناخالصیهای مشترک بین اکثر منابع گاز طبیعی است که مشکلات بسیاری را در عملیات فرآوری و انتقال گاز طبیعی بوجود می آورد. نم زدایی فرآیندی است که به منظور حذف بخار آب از گاز مورد استفاده قرار می گیرد و با توجه به اهداف زیر ضروری است:

- جلوگیری از تشکیل هیدرات و میعان آب در تاسیسات فرآیندی و خطوط انتقال
- رسیدن به محتوی آب مدنظر (0.1 ppm)
- جلوگیری از خوردگی

روشهای مختلفی به منظور نم زدایی از گاز طبیعی مورد استفاده قرار می گیرند. این روش ها عبارتند از:

- جذب آب به وسیله مایع
- غشاء
- به وسیله کلرید کلسیم
- با سرمایش

• به وسیله جامد(جذب سطحی). [5]

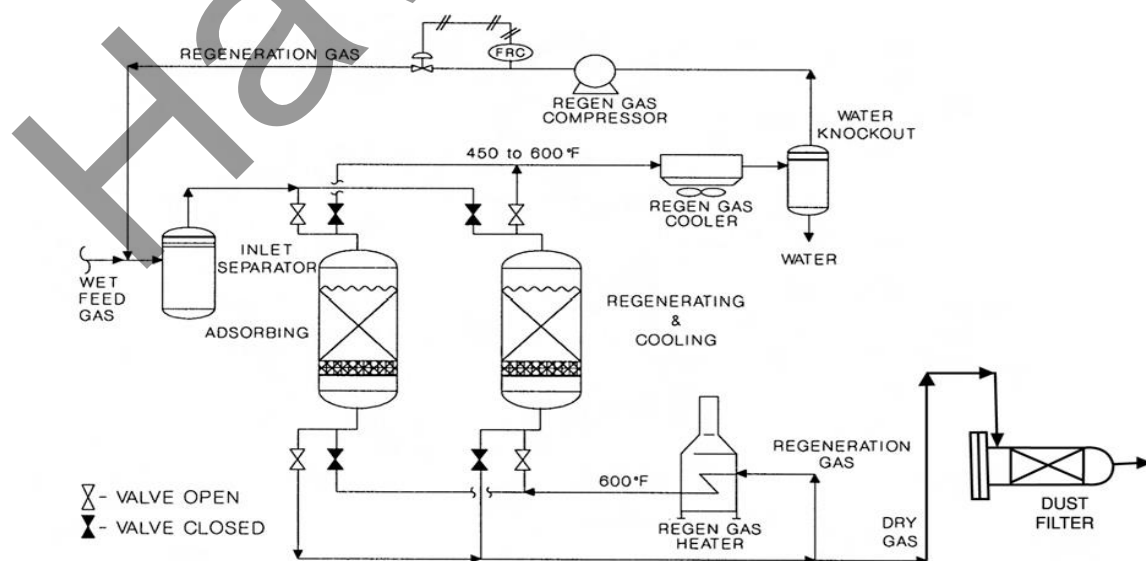
## ۱-۲ نم زدایی به وسیله جامد (جذب سطحی)

یکی از روشهای نوین عملیات نم زدایی از گاز طبیعی کاربرد جذب سطحی می باشد. بسیاری از جاذب های جامد قادر به جذب آب از گاز هستند. جاذب ها معمولاً به علت مشکلات و همچنین خطرهای ناشی از سایش، برای چرخش پیوسته مناسب نیستند. به همین دلیل جاذب‌ها معمولاً در بسترهای ساکن و با نوسانات دوره ای استفاده می شود. در ساده ترین حالت، یک بستر در حالت جذب سطحی عمل میکند و دیگری در حالت دفع، و این دو به صورت دوره ای تغییر وضعیت می دهند. شکل (۱) سیستمی ساده متشکل از دو بستر را نشان می دهد. یکی از بسترها در حال جذب آب از جریان گاز است و دیگری در حال احیا. به منظور دفع آب از جاذب، از گاز داغ استفاده می شود و بعد از آن به وسیله گازی که در دمای شرایط جذب است دمای بستر پایین آورده می شود. مسیر جریان بسترها قبل از اینکه بستر در حال جذب، کاملاً از آب اشباع شود تعویض می شوند. [3]

واحدهای جذب به وسیله جامد معمولاً هزینه اولیه و عملیاتی بیشتری نسبت به واحدهای گلایکول دارند. در نتیجه مورد استفاده آنها به مواردی محدود میشود که :

- محتوی  $H_2O$  در گاز زیاد است.
- نقطه شبنم بسیار پایینی برای آب در نظر است.
- کنترل هم زمان نقطه شبنم آب و هیدروکربن های همراه آن مد نظر است.
- برای موارد ویژه ای نظیر گازهایی که محتوی اکسیژن هستند.

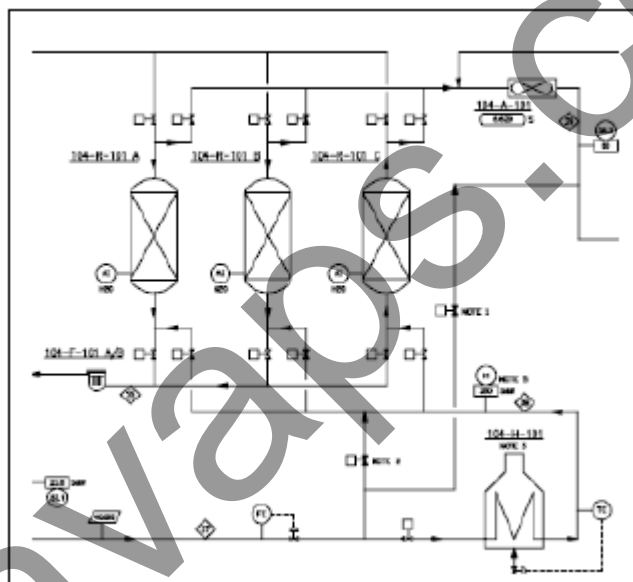
در فرآیندهای تصفیه گاز زمانی که در سیستم ها هیدرات تشکیل می شود، متانول تزریق می شود تا هیدرات را از بین ببرد. در فرآیندهایی که در دمای پایین انجام می شوند، به منظور جلوگیری از تشکیل هیدرات، نم زدایی به وسیله جامد جامد معمولاً به بارداری به وسیله تزریق متانول ترجیح داده می شود. همان طور که گفته شد شمار کثیری از مواد جامد قادر به جذب بخار آب از گاز هستند. بعضی با برقراری پیوند شیمیایی، گروهی با تشکیل مواد هیدرات ضعیف و گروهی به وسیله جذب سطحی. [4]



شکل (۱) شمای واحد نم زدایی به روش جذب سطحی

## ۲-۲ سیستم های نم زدائی با سه بستر خشک کننده

در این سیستم که در شکل (۲) نشان داده شده است، دو بستر در حال سرویس و بستر سوم در حال احیاء میباشد اینکارکرد را نشان می‌دهد، در این حالت دو بستر به صورت موازی یا به طور سری میتوانند در سرویس باشند و جریانی از گاز خشک خروجی از بسترهای سرویس از پائین به بالا، احیاء بستر سوم را انجام می‌دهد. در این سیستمها همیشه یک بستر در حال خشک کردن گاز، دیگری در حال گرم شدن و آخری در حال سرد شدن است که پس از مدت زمان معینی با یکدیگر تعویض میشوند، یعنی بستری که قبلاً عمل نم‌زدائی را انجام میداد در حالت گرم شدن قرار میگیرد و بستری که گرم شده است در حالت سرد شدن و نهایتاً بستریکه سرد شده است در حال نم‌زدائی قرار می‌گیرد [7].



شکل (۲) شمای نم زدایی با مواد جاذب الرطوبه توسط سه بستر

## ۳- شرح مختصری از واحد خشک کننده با بسترهای جامد (واحد ۱۰۴) در پالایشگاه های مجتمع گاز پارس

### جنوبی

خوراک ورودی به این واحد (حدود  $500 \frac{tn}{h}$ ) ابتدا توسط یک مبدل حرارتی و سپس یک چیلر که با پروبان سردسازی را انجام می‌دهد تا دمای  $20-22^\circ C$  سرد می‌شود. سپس این گاز وارد یک درام جدا کننده شده تا آب‌های آزاد درون گاز که با سرد شدن میعان شده‌اند را از خوراک گازی جدا کند. تا باقی مانده آب موجود در خوراک گازی را که نمی‌توان به صورت میعان کرد از آن جدا کردن چون این مولکول‌های آب در مولکول‌های گاز به دام افتاده‌اند برای جدا کردن این مولکول از بسترهای جامد حاوی مولکول‌های سیوها استفاده می‌کنند این بسترهای جامد یا خشک کننده ۳ تا می‌باشند که همیشه دوتای آن در حالت جذب با Absorption هستند و یکی در حالت احیا Regeneration می‌باشد. [5]

خوراک ورودی وارد این بستر شده و پس از خروج از این واحد به واحد جداسازی یا تفکیک فرستاده می‌شود. عمل دیگری که در این واحد انجام می‌شود عمل احیا می‌باشد در این عملیات آب جذب شده در مولکولارسیوها توسط یک فلوی گازی به میزان هفت درصد مولی خوراک ورودی که تا دمای  $240^{\circ}C$  درجه گرم شده است تبخیر می‌شود و همراه گاز از مولکولارسیوها جدا شده و از آن بستر جامد خارج می‌شود سپس این گاز توسط Air Cooler کولر هوایی خنک شده تا آب تبخیر شده میعان گردد و در یک درام جدا کننده از گاز جدا شود سپس این گاز را توسط یک کمپرسور به ابتدای واحد ۱۰۴ فرستاده می‌شود. در حال حاضر برج‌های خشک کننده ۳ تا بوده و به صورت سیکل ۲۴ ساعته زیر کار می‌کنند.

I. Absorption زمان جذب ۱۶ ساعت.

II. Regeneration زمان احیا ۸ ساعت.

مراحل احیا شامل مراحل زیر است:

۱- گرم کردن گاز (هفت درصد) تا دمای  $240^{\circ}C$  rump up.

۲- سرد کردن (rump down).

۳- آماده باش Stand by شامل ۳۰ دقیقه. [8]

### ۳-۱- مشکلات واحد های نم زدایی

۱- درحالت جذب علاوه بر جذب آب مقداری مرکاپتان هم جذب غربال‌های مولکولی می‌شود.

۲- در حالت احیا بستر به علت دمای بالا مرکاپتان‌ها در محیط آبی به  $H_2S$  شکسته می‌شوند.

۳- مولکولارسیوها به دو صورت طبیعی و غیرطبیعی فاسد می‌شوند حالت طبیعی بر اثر احیا مکرر و در دمای بالا می‌باشد و حالت غیرطبیعی به علت وجود ناخالصی‌هایی چون ترکیبات سولفوری، آمین، روغن و گریسی پمپ‌ها و مواد ضدکف و هیدروکربن‌های سنگین  $C_5^+$  در خوراک ورودی به این بسترها می‌باشد.

۴- ورود حجم زیادی از آب قابل میعان شده به بسترها بر اثر مشکلات عملیاتی زیر.

I. توقف سیکل پروپان خنک‌سازی

II. در هوای گرم پایین آمدن کارایی مبدل‌ها و در نتیجه وجود آب‌های قابل میعان شدن در گاز ورودی به بسترها

III. سرریز آب میعان شده در درام جدا کننده قبل از درایرها با حمل مقداری از این آب توسط گاز ورودی به بسترها

بر اثر سرعت زیاد گاز.

۵- ایجاد شوک حرارتی در هنگام احیا بر اثر متوقف شدن سکونس حرارتی (در این حالت ممکن است غربال های مولکولی خیلی سریع از دمای  $280^{\circ}C$  سرد شوند).

۶- خروج غربال های مولکولی بر اثر پاره شدن مش.

۷- تنش‌های فشاری باعث ایجاد پدیده (channelling) چنلینگ در درایرها شده که این پدیده بازده غربال های مولکولی را پایین می‌آورد.

### ۳-۲- پارامترهای موثر بر عملکرد غربال های مولکولی در عملیات نم زدایی

به طور کلی کلیه پارامترهایی را که بر عملکرد غربال های مولکولی در فرایند نم زدایی موثر هستند، می‌توان به موارد زیر نام برد: فشار، دما، فشار جزئی، افت فشار، غلظت، طول بستر، انبساط بستر، نوع جاذب، قطبیت و اندازه مولکول جذب شونده

### ۴- بررسی عوامل افزایش اختلاف فشار در یکی از بسترها

علت اصلی افزایش اختلاف فشار بستر C به احتمال بسیار، تجمع رطوبت داخل بستر بر اثر احیای غیرکامل غربال های مولکولی بوده است که خود در اثر عملکرد نامناسب ولوهای ورودی (KV) مسیر جذب در ورود و خروج می‌باشند که به علت فشار بالاتر از مسیر احیا، باعث کاهش جریان احیا به بستر و باقیماندن رطوبت در بستر شده که به مرور زمان پدیده برگشت کاندنسیت و تخریب حرارتی روی آن اتفاق افتاده و مقداری از غربال های مولکولی تبدیل به پودر شده که باعث افزایش اختلاف فشار بستر شده است. [7]

همچنین تنشهای فشاری در زمان تعویض بسترها نیز نقش به‌سزایی در این سایش (attrition) داشته‌اند. به‌طور مثال در مواردی مشاهده شده است که زمان تعویض بسترها اختلاف فشار به 0.9 بار نیز رسیده است که بیانگر عبور تمام جریان از یک بستر است که این مهم می‌تواند باعث کانالیزه شدن بستر نیز شده باشد.

### ۴-۱- روند تغییرات اختلاف فشار در دو بسترها

در شکل (۷) مقایسه افزایش اختلاف فشار بین بستر C با بسترهای A, B را نشان می‌دهد، همانطور که در شکل مشاهده می‌شود روند افزایش اختلاف فشار در بستر C نسبت به دو بستر دیگر در طول زمانی مشخص کاملاً نمایان است.

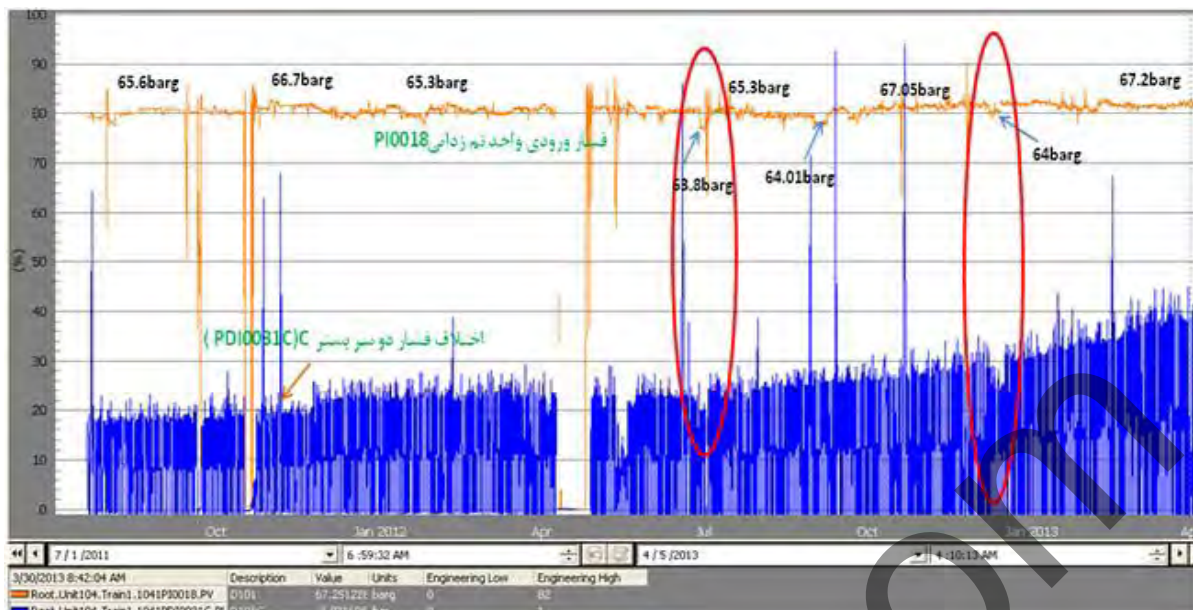


شکل (۳) نمودار مقایسه اختلاف فشار بسترهای A و B و C

#### ۴-۲- تناسب افزایش اختلاف فشار بسترها با پارامترهای موثر

#### ۴-۲-۱- اثر پارامتر فشار ورودی به واحد

شکل (۴) روند تغییرات اختلاف فشار بستر C را براساس تغییرات فشار ورودی به واحد نمزادایی نشان میدهد. فشار ورودی واحد نمزادایی در زمان شارژ اولیه 65.6 بار بوده است که با افزایش فشار ورودی به مقدار 67.05، به نظر میرسد این افزایش فشار تاحدی بر روی افزایش شیب تغییرات اختلاف فشار دو سر بستر تأثیر داشته است و همانطور که میدانیم جذب در فشار بالاتر بهتر انجام میشود و بستره آب بیشتری جذب می کنند.



شکل (۴) نمودار اثر پارامتر فشار بروی بستر C

## ۵- بررسی چند عامل دیگر بر عملکرد غربالهای مولکولی

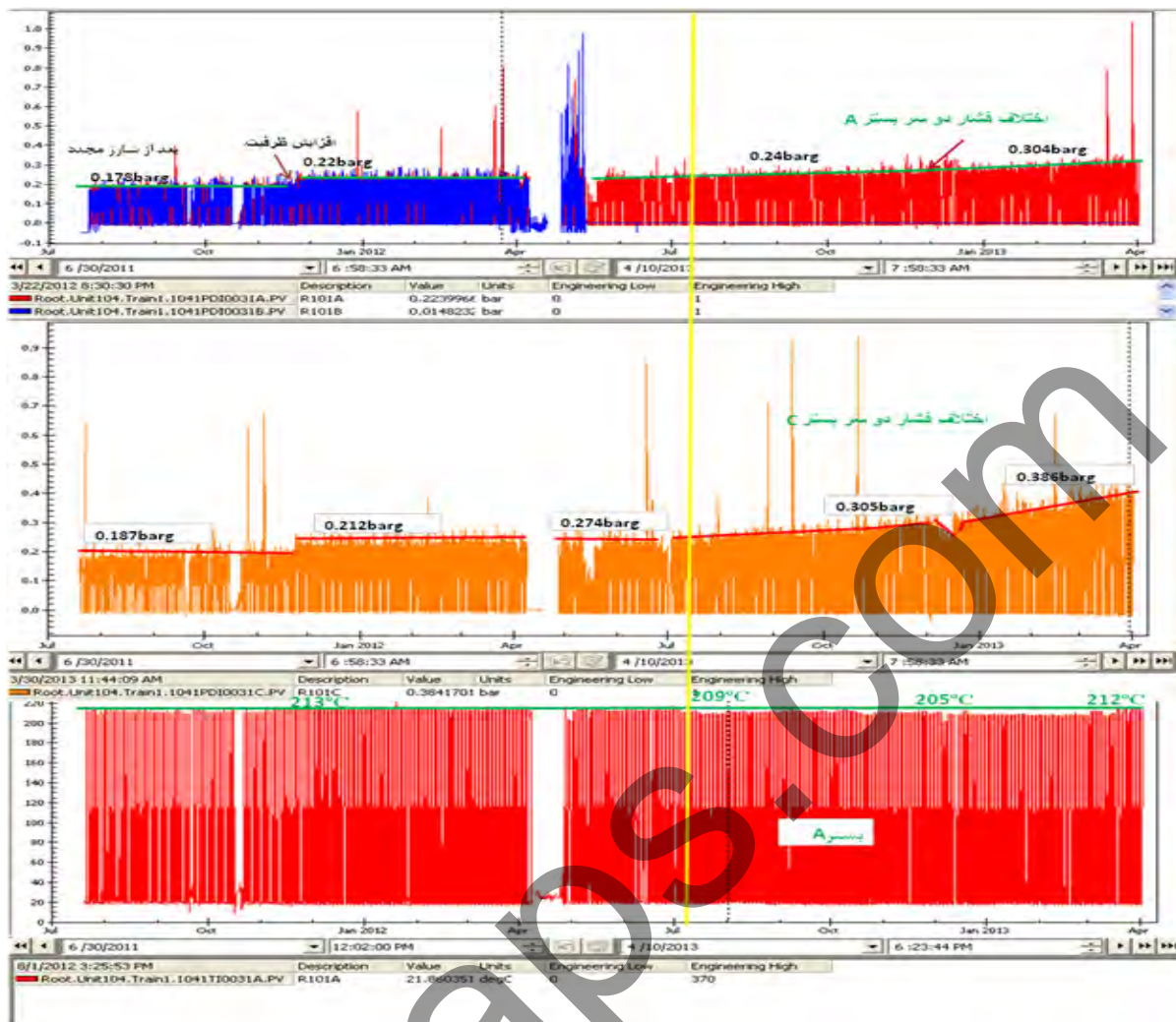
### ۵-۱- تاثیر تنش فشاری هنگام تعویض بسترها

باتوجه به پاسی ولوهای ورودی و خروجی بسترها بیشتر ولوها با شیرهای ایزوله کننده بسته میشوند و زمان درسرویس آوردن بستر میبایست ابتدا ولوهای ایزوله باز شوند و سپس ولوها باز شوند که اگر در باز کردن شیرهای ایزوله کننده تاخیری به وجود آید آنگاه تمامی فلو در مدت زمان کوتاهی از یک بستر عبور خواهد کرد که باعث تنش فشاری و جریان با سرعت بالا در بستر خواهد شد که بارها این اتفاق در طول فرایند رخ خواهد داد.

### ۵-۲- تاثیر پارامتر دمایی مرحله احیای بسترها:

شکل (۵) زیر دمای خروجی از بستر A را در زمان احیا از زمان راه اندازی بستر تاکنون نشان میدهد. همانطور که میدانیم برای بسترهای B, C دمای خروجی از بسترها تغییر خاصی نداشته اند ولی برای بستر A دمای خروجی از بستر در زمان گرم کردن در بیشترین مقدار خود حداکثر 209C و در کمترین مقدار برابر 205C بوده است. مراجعه به شکل (۱۲) نشان میدهد که این عامل شاید بر میزان افزایش شیب اختلاف فشار دو سربستر C تاثیرگذار بوده است. به دلیل اینکه زمان شروع تند شدن شیب اختلاف فشار با کاهش دمای خروجی از بستر A تقریباً همپوشانی دارد. دلیل توجیهی این مساله میتواند به اینصورت باشد که زمانی که بستر A در حالت احیا میباشد احیای بستر به خوبی و کامل انجام نشود و موجب بروز پدیده های مثل رفلکس و اشباع شدن سریع، چنلینگ و حتی پودر شدن غربالهای مولکولی و ... شده باشد که در این حالت خوراک گاز از مسیر یک اختلاف فشار کمتر است عبور میکند و در نهایت به دلیل زیاد بودن فلوی جریان عبوری از بستر C میزان اختلاف فشار نیز زیادتر خواهد بود.





شکل (۱۱) نمودار اثر پارامتر دمایی در مرحله احیای بستر A

## ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

### ۶-۱- نتایج آزمایشات:

بررسی و مشاهدات عینی شکل ظاهری غربال های مولکولی بعد از انجام آزمایشات نشان می دهد که شکست و تخریب مکانیکی وارده به غربال های مولکولی طبق جداول مربوطه ناچیز و قابل صرف نظر کردن می باشد، همچنین تغییرات خاصی بر روی پروسهای سطحی غربال ها مشاهده نگردید.

بنابراین عملا می توان نتیجه گرفت که این مواد شیمیایی در بازه زمانی یاد شده، عامل تخریب یا حداقل عامل پودر شدن غربال های مولکولی در واحد نم زدایی پالایشگاه گاز نبوده است. با توجه به نتایج کسب شده و مشاهدات فوق این نتیجه حاصل میشو دکه غربال های مولکولی به علت یکی یا مجموعی از دلایل زیر خرد شده اند:

۱. عدم احیای مناسب که میتواند به علت ایراد در نمودار احیا باشد.

۲. عدم احیای مناسب به علت پاسی ولوها

۳. پدیده رفلکس در اثر احیای نامناسب بستر.

۴. نوسان در دمای خروجی کوره به بستر.

۵. ورود ذرات آب مایع به بستر در اثر عملکرد پایین جدا کننده قبل از بسترها.

۶. ورود آب بیشتر از حد به علت دمای بالای گاز به بستر.

۷. ورود سولفید هیدروژن بیشتر از طراحی به بستر.

۸. ورود ناخالصی هایی مانند آمین و مونو اتیلن گلیکول به بستر

۹. ورود هیدروکربن مایع به بستر

۱۰. تنش دمایی به بستر.

۱۱. تنش فشار به بستر (عبور زیاد گاز از یک بستر).

۱۲. پایین بودن استحکام برخوردی غربال های مولکولی

## ۶-۲- پیشنهادات جهت رفع مشکل بستر C:

۱. از آنجایی که دلیل اصلی مشکل بوجود آمده بر روی بستر C، وجود ذرات خرد شده به همراه خاکه فشرده شده مولکولارسیو بوده است که به دلیل نداشتن زمان کافی برای عملیات سردن و خاک زدایی از آنها در طول تعمیرات اساسی بوجود آمده است لذا پیشنهاد میگردد چنانچه نیاز به تخلیه و شارژ مجدد بسترها باشد سردن و غبارزدایی غربال های مولکولی به طور کامل در برنامه تعمیرات اساسی گنجانده شود.
۲. پیشنهاد میگردد نشانگرهای اختلاف فشار بسترها به صورت دوره‌ای توسط ابزار دقیق به لحاظ اطمینان از عملکرد صحیح آنها چک و کالیبره گردند.
۳. پیشبینی یک مسیر نیتروژن خشک و نمزدایی شده برای عملیات دی داستینگ برای کاتالیست شارژ شده به منظور خارج ساختن خاک همراه مولکولارسیوهای داخل بسترها ضرورت دارد. از آنجایی که در این پالایشگاه مسیریاب رایانجام آن دیده نشده و به دلیل وجود ذرات خاک و غبار در بستر بعد از تعمیرات اساسی به ناچار از گاز فرایندی استفاده شده است لذا در صورت وجود رطوبت بیش از حد در گاز فرایندی میتوانست یکی از دلایل عمده چسبیدن خاکه ها به هم باشد.
۴. بهینه سازی سیکل احیای بسترها جهت احیای مناسب بسترها و در نهایت جلوگیری از پدیده رفلکس و صدمات هیدرو ترمال مورد بررسی قرار گیرد که از اهمیت خاصی برخوردار است.

۵. در طول تعمیرات اساسی پالایشگاه نمونه گیری از مولکولارسیوهای تمامی بسترها انجام شود و آزمایشات لازم در خصوص کیفیت جذب (crush strength) استحکام برخورد جاذبها صورت پذیرد.
۶. ثابت نگهداشتن شرایط دمایی گاز مرطوب ورودی به بسترها و جلوگیری از خروج از بالا (Carry over) آبهای آزاد به داخل بستراست سمیت درام جداکننده به منظور جلوگیری از ورود رطوبت بیشتر از ظرفیت جذب مولکولارسیوها به بستر ..
۷. استفاده از یک مش سایزریزتر بر روی کاتریج فیلترهای واحد نمزدایی جهت جلوگیری از متاثر شدن واحد پایین دستی در صورت تکرار مشکل بر روی جاذبها و پودر شدن آنها.
۸. فراهم کردن شرایط عملیاتی برای جلوگیری از ورود احتمالی آلاینده هایی نظیر سولفیت هیدروژن، هیدروکربن های مایع، متیل دی اتانول امین و مونواتیلن گلاکول و ... به بستر، نظیر تنظیم ست پوینت لول درام قبل از بسترها و کالیبره کردن منظم ترانسمیترهای نشان دهنده میزان میعانات درون بستر.

Havaps.com

## منابع و مراجع

- [1] Gandhidasan, P., Al-Farayedhi, A.A., Al-Mubarak, A.A., "Dehydration of natural gas using solid desiccants", *Energy*, Vol.26, pp.855-868, 2001.
- [2] Cruz, P., Stantos, J.C., Magalhaes, F.D., Mendes, A., "Cyclic adsorption separation processes: analysis strategy and optimization procedure", *Chemical Engineering Science*, Vol.58, pp.3143-3158, 2003.
- [3] Chahabani, M.H., Tondeur, D., "Mass transfer kinetics in pressure swing adsorption", *Separation and Purification Technology*, Vol.20, pp.185-196, 2000.
- [4] Mendes, M.M., Costa, A.V., Rodrigues, A.E., "PSA simulation using particle complex models", *Separation and Purification Technology*, Vol.24, pp.1-11, 2001.
- [5] Clause, M., Bonjour, J., Meunier, F., "Adsorption of gas mixtures in TSA adsorbents under various heat removal conditions", *Chemical Engineering Science*, Vol.59, pp.3657-3670, 2004.
- [6] Delgado, J.A., Uguna, M.A., Sotelo, J.L., Ruize, B., "Modeling of the fixed bed adsorption of methane/nitrogen mixture on silicalite pellets", *Separation and Purification Technology Journal*, Vol.50, pp.292-203, 2006.
- [7] Xiao, Y., Wng, S. Wu, D.&q. Yuan, "Experimental and simulation study of hydrogen sulfide adsorption on impregnated activated carbon under anaerobic conditions", *Jurnal of Hazardous Materials*, Vol.153, pp.1193-1200, 2008.
- [8] Gholami, M., Talaie, M.R., "Investigation of simplifying assumptions in mathematical modeling of natural gas dehydration using adsorption process and introduction of a new accurate LDF model", *Ind. Eng.*