شکل (۱)
کاتالیست‌های ریفرمینگ
صنعت فولاد

گزارش عملکرد کاتالیست‌های شرکت خوارزمی در ریفرمر واحدهای مختلف

از: مهندس حسن نوائی – مدیرعامل شرکت دانش‌بنیان گسترش فناوری خوارزمی

ماهنامه پردازش: شرکت گسترش فناوری خوارزمی یکی شرکت دانش‌بنیان تولیدکننده کاتالیست‌های هتروژن، خصوصاً کاتالیست‌های ریفرمینگ واحدهای احیاء مستقیم است. این شرکت از سال ۱۳۹۰ فعالیت خود را در تحقیقات و تولید صنعتی این کاتالیست‌ها آغاز نمود و هم‌اکنون ثمره آن بارگذاری ٤ ریفرمر کنونی شرکت از کاتالیست‌های تولیدی این شرکت است. همچنین این شرکت قراردادهای متعددی برای تامین کاتالیست سایر واحدهای تولیدی امضا نموده است که هم‌اکنون در حال تولید و عرضه آن‌ها به مصرف‌کنندگان است.

در این مقاله عملکرد کاتالیست‌های شرکت خوارزمی که در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در واحدهای مختلف بارگذاری شده‌اند، بررسی شده است. در ابتدا توضیح مختصری در ارتباط با واحدهای بارگذاری شده، زمان استارت واحد، وضعیت واحدها داده می‌شود. سپس پارامترهای عملکرد مستقل از تولید و همچنین پارامترهای عملکرد وابسته به تولید برای تمامی واحدها مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

بارگذاری کاتالیست‌های تولیدی این شرکت برای نخستین بار در مقیاس یک ریفرمر کامل در مدول(۱) واحد احیاء (۲) در شرکت فولاد خوزستان صورت گرفت و راه‌اندازی واحد پس از انجام بارگذاری و مراحل Start-up از تاریخ ۱۹ اسفند سال ۱۳۹۵ آغاز شد.

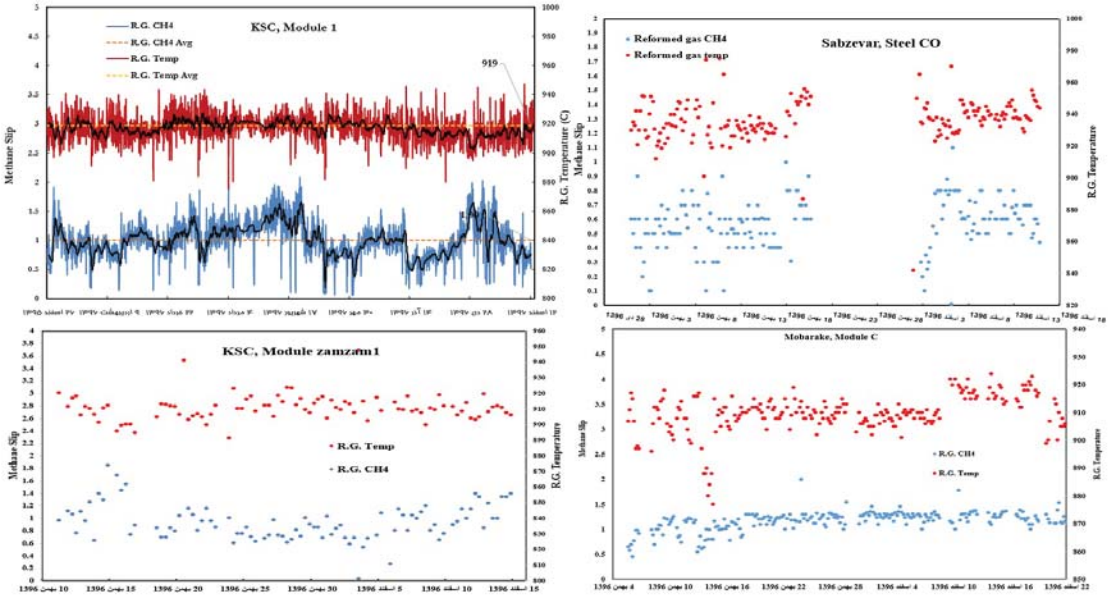
پس از عملکرد موفقیت آمیز این کاتالیست‌ها در ریفرمر مدول یک احیاء(۲) شرکت فولاد خوزستان، به همین ترتیب در سال ۱۳۹۶ کاتالیست‌های این شرکت در ریفرمر شرکت

جدول (۱)

	مدول ۱ فولاد خوزستان	مدول زمزم ۱ فولاد خوزستان	مدول C فولاد مبارکه	فولاد سبزوار
ظرفیت	۶۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰
تعداد تیوب ها	۳۲۴ (۸″)	۴۶۸ (۸″)	۴۳۲(۸″)	۴۶۸ (۸″)
پرفایل شارژ (سانتی متر)				
فعال	۴۰۰	۴۰۰	۴۳۰	۴۲۰
نیمه فعال	۳۱۰	۳۱۰	۲۸۰	۳۳۵
خنثی	۹۰	۹۰	۹۰	۳۰

مشخصات ریفرمر واحدهای احیاء مستقیم و پروفایل شارژ کاتالیست‌های ریفرمینگ تولیدی شرکت گسترش فناوری خوارزمی

شکل (۲)



تغییرات دمای گاز ریفرم و میزان متان گاز ریفرم. به ترتیب: بالا سمت چپ (فولاد خوزستان مدول ۱)، بالا سمت راست (فولاد سبزوار)، پایین سمت چپ (فولاد خوزستان زمزم ۱) و پایین سمت راست (فولاد مبارکه مدول C).

فولاد سبزوار در تاریخ ۱ بهمن، مدول C شرکت فولاد اصفهان در تاریخ ٤ بهمن و در نهایت واحد زمزم(۱)شرکت فولاد خوزستان در تاریخ ۱۰ بهمن ماه شروع به کار کرد.

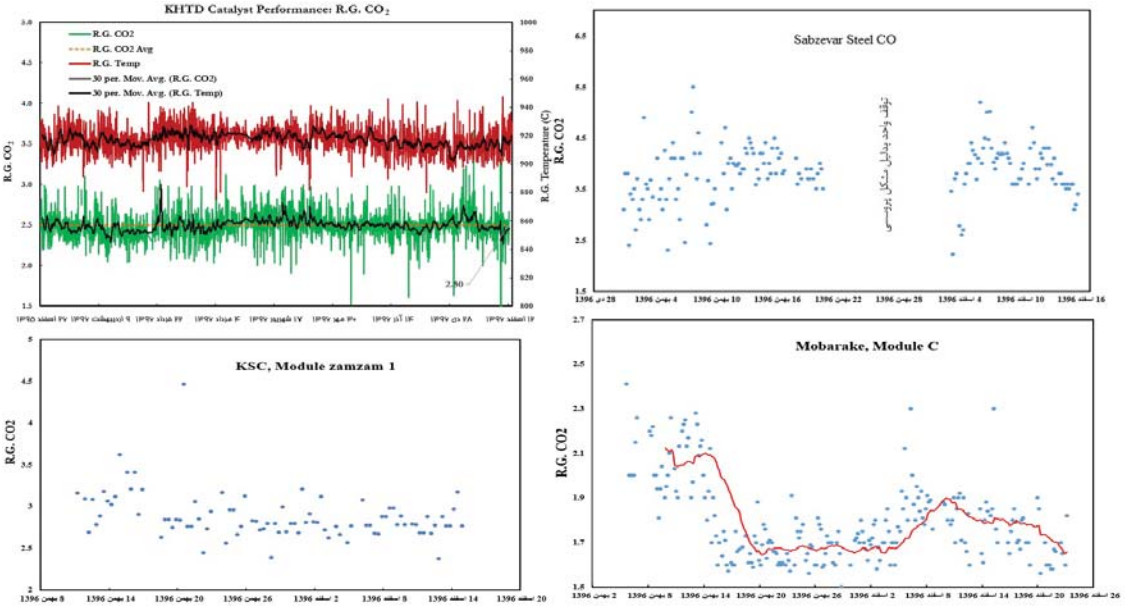
در این واحدها کلیه تیوب‌های ریفورمر توسط کاتالیست‌های شرکت گسترش فناوری خوارزمی شارژ گردید و اعزام تیم فنی و نظارتی بر فرآیند بارگذاری کاتالیست‌ها از سوی این شرکت موجب شد تا اطمینان لازم جهت شارژ بهینه با دانسیته توده‌ای حداکثری تیوب‌ها حاصل گردد. در تمامی واحدها میزان دانسیته شارژ نزدیک به ماکزیمم حالت به‌دست آمد.

ریفرمینگ واکنش هیدروکربن (از قبیل گاز طبیعی، متان، پروپان و ...) با H_2O یا CO_2 برای تولید احیاکننده های H_2 و CO است. واکنش‌های ریفرمینگ گرماگیر بوده و نیاز به کاتالیست برای تسریع واکنش دارد. در تمامی واحدها خوشبختانه خلوص متان در گاز طبیعی ورودی به واحد نسبتا بالا بوده و درصد ورود هیدروکربن‌های سنگین بحرانی نبوده است. در ادامه به بررسی عملکرد کاتالیست‌های شرکت خوارزمی در تمامی واحدها پرداخته شده است. با توجه به نمودار عملکرد کاتالیست‌ها (شکل ۲) می‌توان کیفیت گاز ریفرم به لحاظ میزان متان خروجی را ملاحظه نمود. نتایج به‌دست آمده برای هر چهار واحد حاکی از این می‌باشد که ریفرمینگ گاز توسط کاتالیست‌ها به خوبی صورت گرفته و میزان متان و کربن دی‌اکسید به خوبی قابل کنترل می‌باشد. با توجه به اینکه مدت زمان بیشتری از زمان راه‌اندازی مدول (۱) شرکت فولاد خوزستان می‌گذرد، لذا بررسی دقیق‌تری را می‌توان بر روی عملکرد کاتالیست‌های این واحد انجام داد.

افزایش میزان گوگرد در گاز ورودی به ریفرمر باعث کاهش ظرفیت ریفرمر (افزایش میزان متان گاز ریفرم) خواهد شد.

در ابتدای راه اندازی مدول (۱)، همچنین در چندین بازه زمانی مشاهده می‌شود که میزان متان خروجی از مقدار ایده‌آل فاصله گرفته است. پس از بررسی و پس از وارد مدار شدن مخازن

شکل (۳)



تغییرات CO_2 گاز ریفرم برحسب زمان: به ترتیب: بالا سمت چپ (فولاد خوزستان مدول ۱)، بالا سمت راست (فولاد سبزوار)، پایین سمت چپ (فولاد خوزستان زمزم ۱) و پایین سمت راست (فولاد مبارکه مدول C)

سولفورزدا این نمودار نشان می‌دهد که میزان متان توسط دمای گاز ریفرم به خوبی قابل تنظیم بوده و مقدار آن پس از سولفورزدایی کمتر از یک درصد که مقدار ایده‌آل متان خروجی است نگه داشته شده است.

همین معضل فرآیندی برای مدول زمزم(۱) شرکت فولاد خوزستان هم در بعضی زمان‌ها وجود داشت. وجود سولفور (H_2S) بسیار بالا، حتی بیش از مقدار طراحی سیستم سولفورزدا، تا حد ppm ۴۰ مسبب بروز شرایط نامطلوب و کاهش فعالیت کاتالیست است. با توجه به اینکه واکنش‌های ریفرمینگ گرماگیر بوده، همین امر باعث کاهش دمای گاز ریفرم شده و باعث بالا رفتن میزان متان و CO_2 باقیمانده در گاز ریفرم می‌شود. منشا این سولفور بالا، سنگ‌آهن مورد استفاده بوده که در نتیجه واکنش‌های احیاء از گندله خارج و وارد گاز پروسس شده است.

در ابتدای راه‌اندازی به گاز فرصت کافی جهت تبادل با کاتالیست داده می‌شود. یعنی به گاز فرصت کافی جهت تبدیل شدن متان و CO_2 بر روی کاتالیست‌ها در لوله‌های ریفرمر داده می‌شود و لذا اعداد CO_2 و متان در ابتدای راه‌اندازی برای تمامی واحدها پایین و بسیار مطلوب می‌باشد.

در مدول C فولاد مبارکه اصفهان، جهت کنترل مقدار H_2/CO تزریق آب کمتری صورت می‌گیرد، همین امر باعث می‌شود تا درصد بیشتری از واکنش های ریفرمینگ با اکسنده CO_2 صورت بگیرد.

به همین دلیل میزان CO_2 در خروجی از ریفرمر پایین می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود برای دیگر واحدها میزان CO_2 به‌طور مطلوبی در ۲/۵ درصد نگه داشته شده است.

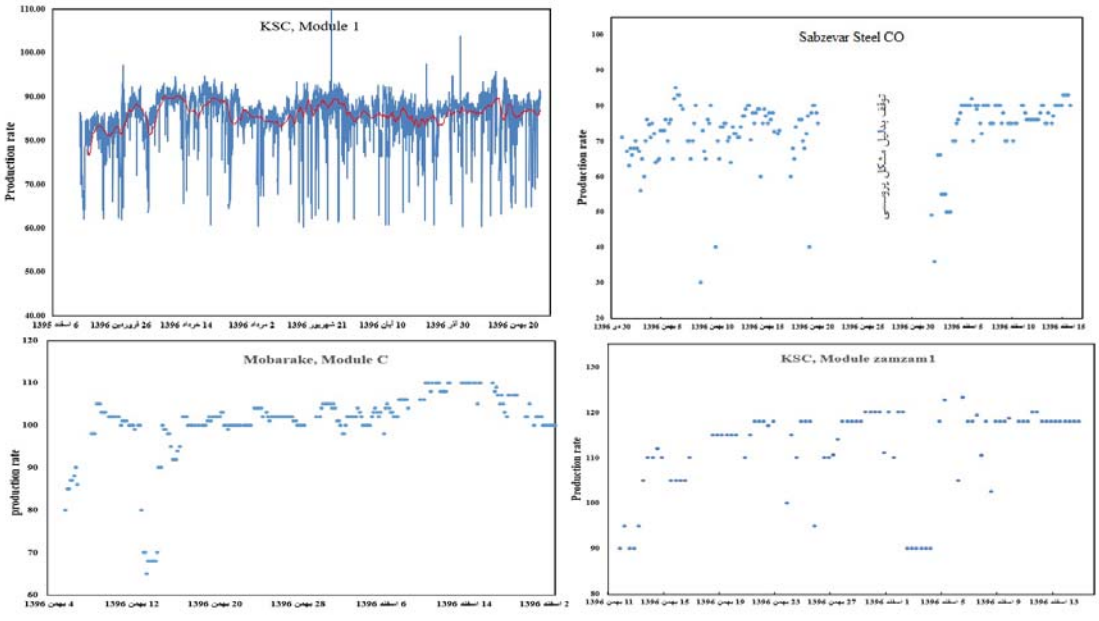
بررسی بیشتر عملکرد کاتالیست‌ها نیازمند مطالعه پارامترهای تولید در کل واحد می‌باشد.

راه‌اندازی تا حالت نرمال نرخ تولید به مقدار مطلوب خود رسیده است.

در حال حاضر تمامی چهار واحد به‌جز واحد سبزوار که به علل مشکلات جزئی نتوانسته است به ظرفیت بیشینه برسد سایر واحدها در ماکزیمم نرخ تولید کار می‌کنند.

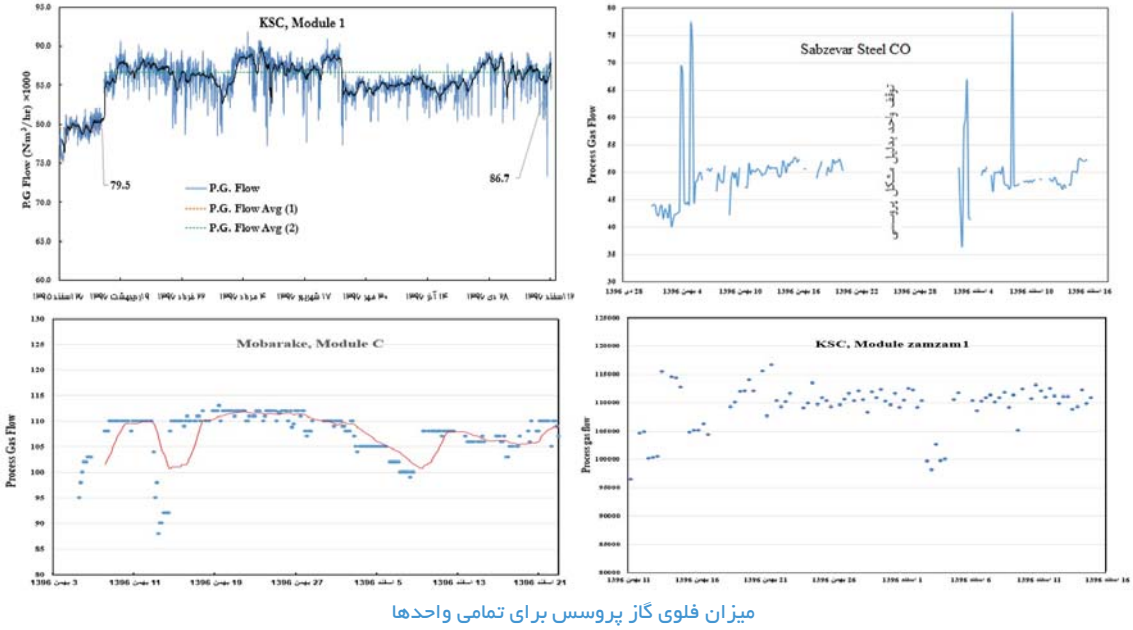
همچنین در شکل(۵) می‌توان تغییرات میزان فلوی گاز پروسس این واحدها را با زمان ملاحظه نمود که در پاره‌ای از نقاط به علل مشکلات فرآیندی یا بروز توقف‌ها دارای نوساناتی بوده است ولی به مقدار مناسب شدت جریان خود رسیده است.

شکل (۴)



نرخ تولید آهن‌اسفنجی در واحدهای مختلف

شکل (۵)



میزان فلوی گاز پروسس برای تمامی واحدها