



گزارش عملکرد کاتالیست های شرکت خوارزمی

در ریفرمرهای شرکت های فولاد خوزستان، فولاد مبارکه اصفهان و فولاد سبزواری عملکرد کاتالیست های ایرانی در سه شرکت فولادی

یک ریفرمر کامل در مدول ۱ واحد احیاء ۲ در شرکت فولاد خوزستان صورت گرفت و راه اندازی واحد پس از انجام بارگذاری و مراحل Start-up از تاریخ ۱۹ اسفند سال ۱۳۹۵ آغاز شد. پس از عملکرد موفقیت آمیز این کاتالیست ها در ریفرمر مدول یک احیاء ۲ شرکت فولاد خوزستان، به همین ترتیب در سال ۱۳۹۶ کاتالیست های این شرکت در ریفرمر شرکت فولاد سبزواری در تاریخ یک بهمن، مدول C شرکت فولاد اصفهان در تاریخ ۴ بهمن و در نهایت واحد زمزم یک شرکت فولاد خوزستان در تاریخ ۱۰ بهمن ماه شروع به کار کرد.

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. واکنش هایی که در فرآیند ریفرمینگ انجام می شود تعادلی هستند و همچنین واکنش های ریفرمینگ خیلی سریع و از جمله واکنش های سطحی اند. از این رو بررسی تعادل و تاثیر شرایط عملیاتی بسیار حایز اهمیت می باشد.

انتخاب اجزاء فیدگس و خصوصاً اکسیدکننده های H_2O و CO_2 بر گاز ریفرم شده تولیدی در ریفرمر موثر است. در فرآیند میدرکس حداکثر مقدار آب بادمای گاز پروسس کنترل می شود. نسبت مولی مقدار گازهای اکسند به مول های کربن موجود در خوراک ریفرمرهای احیاء مستقیم سنگ آهن عبارتند از:

$$\frac{(CO_2 + H_2O)}{C} > 1.4$$

همواره توصیه می شود نسبت $\frac{H_2O}{C}$ در گاز ورودی به ریفرمر بین ۰,۷-۰,۸ و همچنین نسبت $\frac{CO_2}{C}$ بین ۰,۶-۰,۷۵ کنترل شود. این نسبت به طور غیر مستقیم با دمای گاز فرآیند کنترل می شود. همواره مقدار کافی اکسید کننده ها برای ریفرمینگ بهتر لازم است. در غیر این صورت، تاثیر



• مهندس حسن نوایی
مدیر عامل شرکت گسترش فناوری خوارزمی

شرکت گسترش فناوری خوارزمی یک شرکت دانش بنیان تولیدکننده کاتالیست های هتروژن، خصوصاً کاتالیست های ریفرمینگ واحدهای احیاء مستقیم است. این شرکت از سال ۱۳۹۰ فعالیت خود را در تحقیقات و تولید صنعتی این کاتالیست ها آغاز نمود و هم اکنون ثمره آن بارگذاری ۴ ریفرمر کنونی شرکت از کاتالیست های تولیدی این شرکت است.

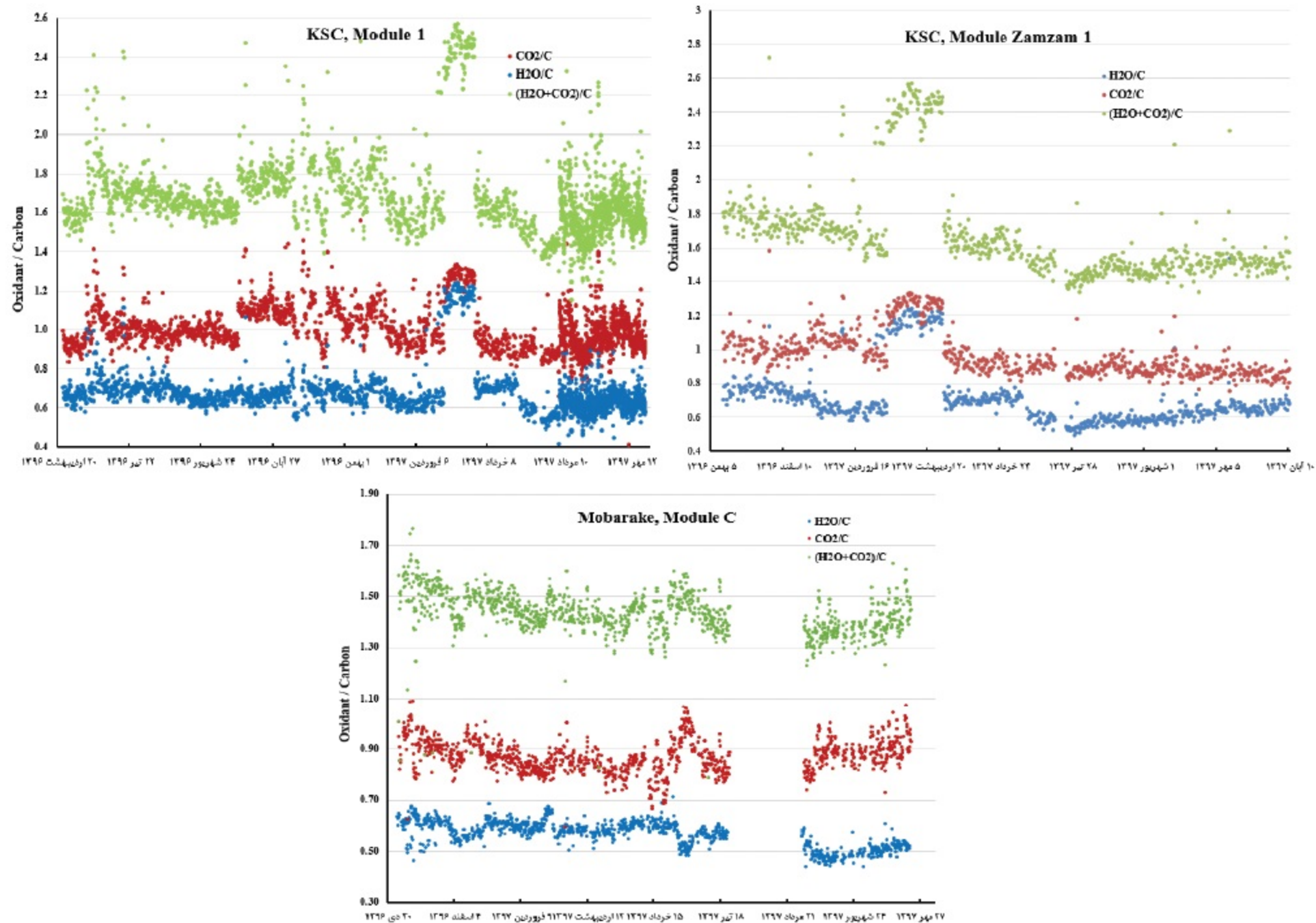
در این مقاله قصد داریم به بررسی کیفیت عملکرد کاتالیست های تولیدی این شرکت در هر ۴ ریفرمر بپردازیم. همچنین پارامترهای موثر بر واکنش های ریفرمینگ مورد بحث و ارزیابی قرار خواهد گرفت. به طور کلی می توان واحدهای احیاء مستقیم را هم از لحاظ کیفی و هم از لحاظ کمی مورد ارزیابی قرار داد. میزان تولید آهن اسفنجی در هر ساعت و درصد متالیزیشن آهن اسفنجی از جمله شاخص های ارزیابی واحدمی باشند.

بارگذاری کاتالیست های تولیدی این شرکت برای نخستین بار در مقیاس



میزان ریفرمینگ با CO_2 کاهش می یابد، زیرا CO_2 به عنوان عامل اضافی در واکنش حضور خواهد داشت. همچنین با افزایش این مقدار، نسبت مولی $\frac{\text{H}_2}{\text{CO}}$ کاهش می یابد که بدلیل واکنش انتقال آب-گاز می باشد.

منفی بر میزان متان باقی مانده در گاز ریفرم شده دارد. با افزایش نسبت $\frac{\text{CO}_2}{\text{C}}$ در گاز ورودی به ریفرمر، میزان تبدیل متان نیز افزایش می یابد. نتایج بدست آمده در تحقیقات نشان می دهد که با افزایش نسبت $\frac{\text{CO}_2}{\text{C}}$



شکل ۱: نسبت اکسندرها به کربن. به ترتیب: بالا سمت چپ (فولاد خوزستان مدول ۱)، بالا سمت راست (فولاد خوزستان زمزم ۱)، پایین (فولاد مبارکه مدول C).

که برای این منظور نیاز است تا اکسندرها بیشتری نسبت به کربن $\frac{\text{CO}_2}{\text{C}}$ در این بازه زمانی شدت جریان گاز طبیعی نسبت به گاز پروسس کاهش پیدا می کند تا بتوان نسبت فوق را کنترل نمود و اثر منفی افزایش C_2^+ جبران شود. در قسمت دوم مشاهده می شود که برای جلوگیری از آسیب رسیدن به کاتالیست ها، میزان فلوی گاز پروسس و همچنین تناژ تولیدی به شدت کاهش یافته است. در همین بازه زمانی مشاهده می شود که محتوی متان در گاز خروجی بالاتر از یک درصد می باشد.

در بازه زمانی مرداد ماه مدول C مبارکه اصفهان و همچنین مهر ماه سال جاری در مدول سبزوهر به دلیل توقف سالیانه واحد در اطلاعاتی در دسترس نمی باشد.

با توجه به نمودار عملکرد کاتالیست ها (شکل ۲) می توان کیفیت گاز ریفرم به لحاظ میزان متان خروجی را ملاحظه نمود. نتایج بدست آمده برای هر چهار واحد حاکی از این می باشد که ریفرمینگ گاز توسط

در شکل شماره (۱)، نسبت اکسندرها به کربن برای مدول های بارگذاری شده در گاز ورودی به ریفرمر آورده شده است.

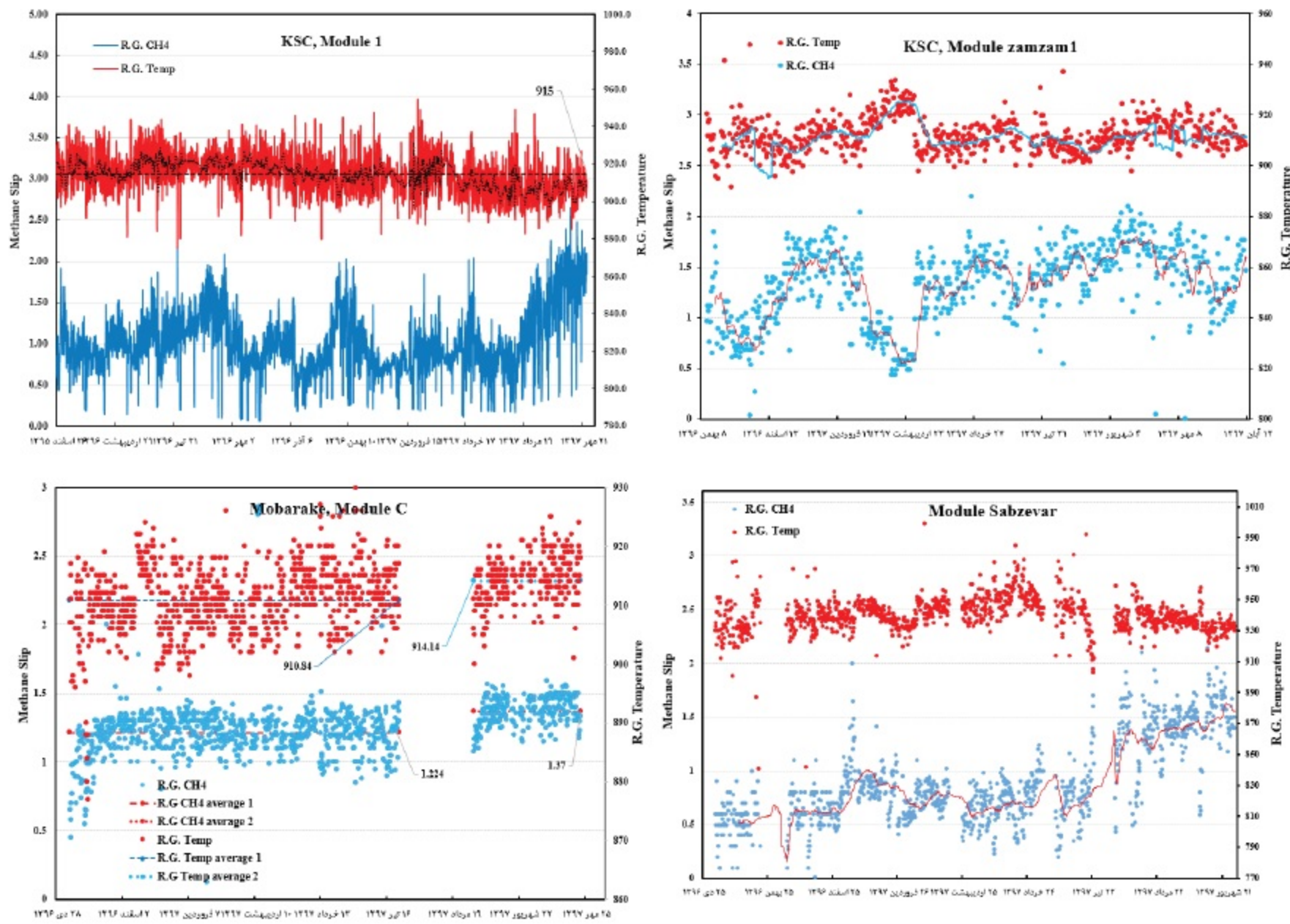
هرچقدر نسبت $\frac{\text{CO}_2}{\text{C}}$ کمتر شود، احتمال تشکیل کربن بیشتر خواهد بود و بنابراین برای جلوگیری از رسوب کربن باید در دماهای بالاتری بهره برداری انجام شود. همواره بایستی توجه داشت که میزان نسبت $\frac{\text{H}_2}{\text{CO}}$ در گاز ریفرم شده در محدوده ۱,۵۵-۱,۷۵ است. علاوه بر این میزان متان باقی مانده در گاز ریفرم در محدوده کمتر از ۲ درصد و میزان دی اکسید کربن در حدود ۲,۵ درصد مناسب است.

در اواخر فروردین ماه سال جاری تا اواخر اردیبهشت ماه، محتوای ترکیبات سنگین (C_2^+) موجود در جریان گاز طبیعی شرکت فولاد خوزستان تا ۲۰ درصد افزایش پیدا کرده است و غلظت متان در گاز طبیعی به میزان ۸۰ درصد حجمی رسیده بود. بالا رفتن میزان ترکیبات سنگین خصوصاً بوتان، ریسک تشکیل کربن بر روی سطح کاتالیست را به شدت افزایش می دهد

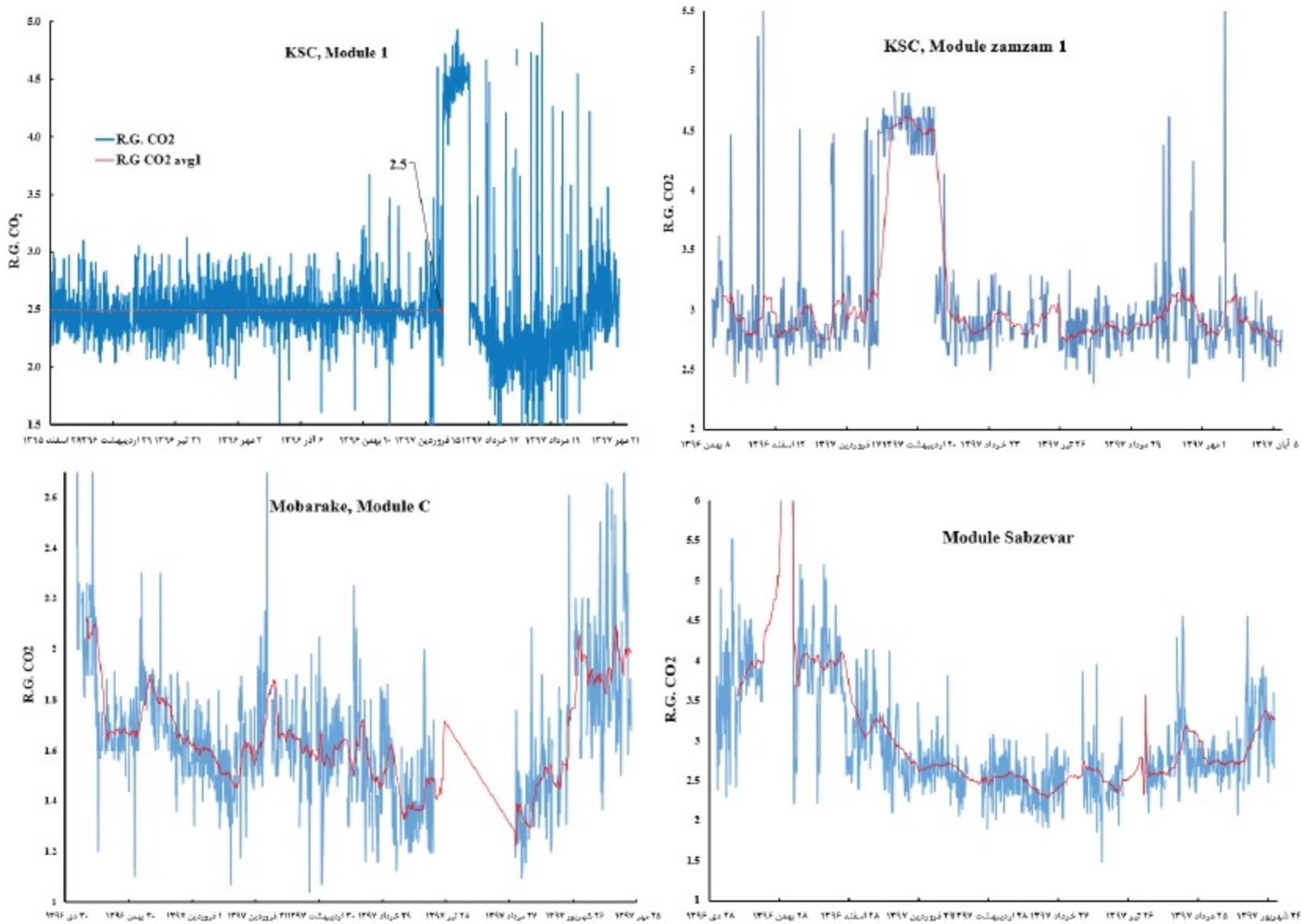
ساعت و درصد مسایر بیس امن اسفنجی از جمله ساحت های ارزیابی واحد می باشند.

بارگذاری کاتالیست های تولیدی این شرکت برای نخستین بار در مقیاس

همواره توصیه می شود نسبت $\frac{\text{H}_2}{\text{CO}}$ در گاز ورودی به ریفرمر بین ۰,۷-۰,۸ و همچنین نسبت $\frac{\text{CO}_2}{\text{C}}$ بین ۰,۶-۰,۷۵ کنترل شود. این نسبت به طور غیر مستقیم با دمای گاز فرایند کنترل می شود. همواره مقدار کافی اکسید کننده ها برای ریفرمینگ بهتر لازم است. در غیر این صورت، تاثیر



شکل ۲: تغییرات دمای گاز ریفرم و میزان متان گاز ریفرم. به ترتیب: بالا سمت چپ (فولاد خوزستان مدول ۱)، بالا سمت راست (فولاد خوزستان زمزم ۱)، پایین سمت چپ (فولاد مبارکه مدول C) و پایین سمت راست (فولاد سبزوار).



شکل ۳: تغییرات CO₂ گاز ریفرم بر حسب زمان: به ترتیب: بالا سمت چپ (فولاد خوزستان مدول ۱)، بالا سمت راست (فولاد خوزستان زمزم ۱)، پایین سمت چپ (فولاد مبارکه مدول C) و پایین سمت راست (فولاد سبزوار).

شرایط لازم و مورد نیاز کوره احیاء سنگ آهن را فراهم نموده است که لازم به ذکر است که این واحدها در حال حاضر بسیار نزدیک به ظرفیت اسمی خود در حال بهره‌برداری می‌باشد. همانگونه که در شکل‌های ۵ و ۶ ملاحظه می‌شود میزان تولید آهن اسفنجی با کیفیت مطلوبی برای تمامی واحدها فراهم شده است که با توجه به تاریخچه عملکردی واحد،

کاتالیست‌ها به خوبی صورت گرفته و میزان متان و کربن دی اکسید به خوبی قابل کنترل می‌باشد.

بررسی بیشتر عملکرد کاتالیست‌ها نیازمند مطالعه پارامترهای تولید در کل واحد می‌باشد. پارامترهای تولیدی نشان می‌دهد کیفیت بالای کاتالیست‌های مورد استفاده با تولید کیفیت مناسبی از گاز ریفرم شده،

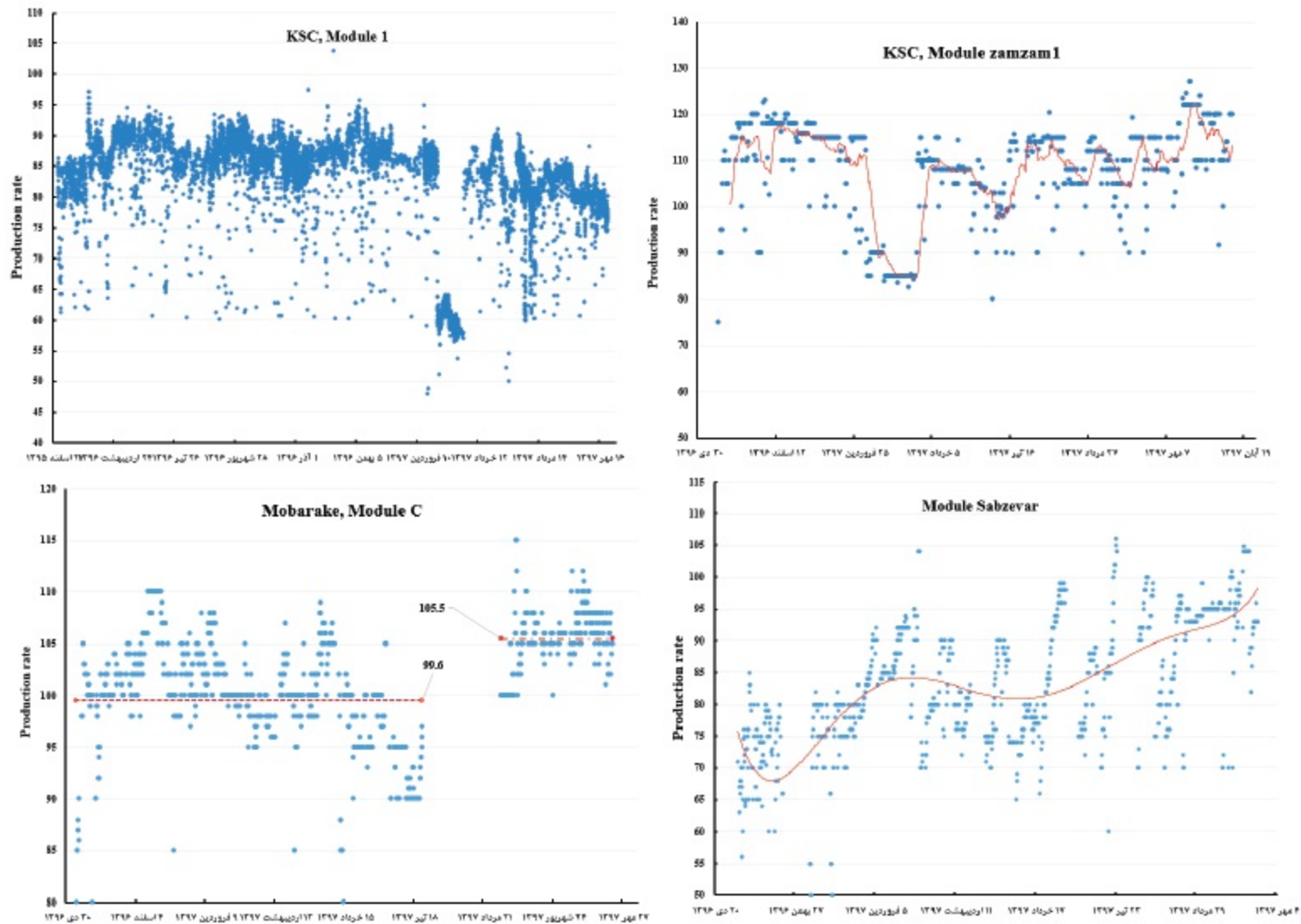


در قیاس با کاتالیست‌های تولید کننده خارجی عملکرد بسیار مناسب و خوبی را از خود نشان داده است.

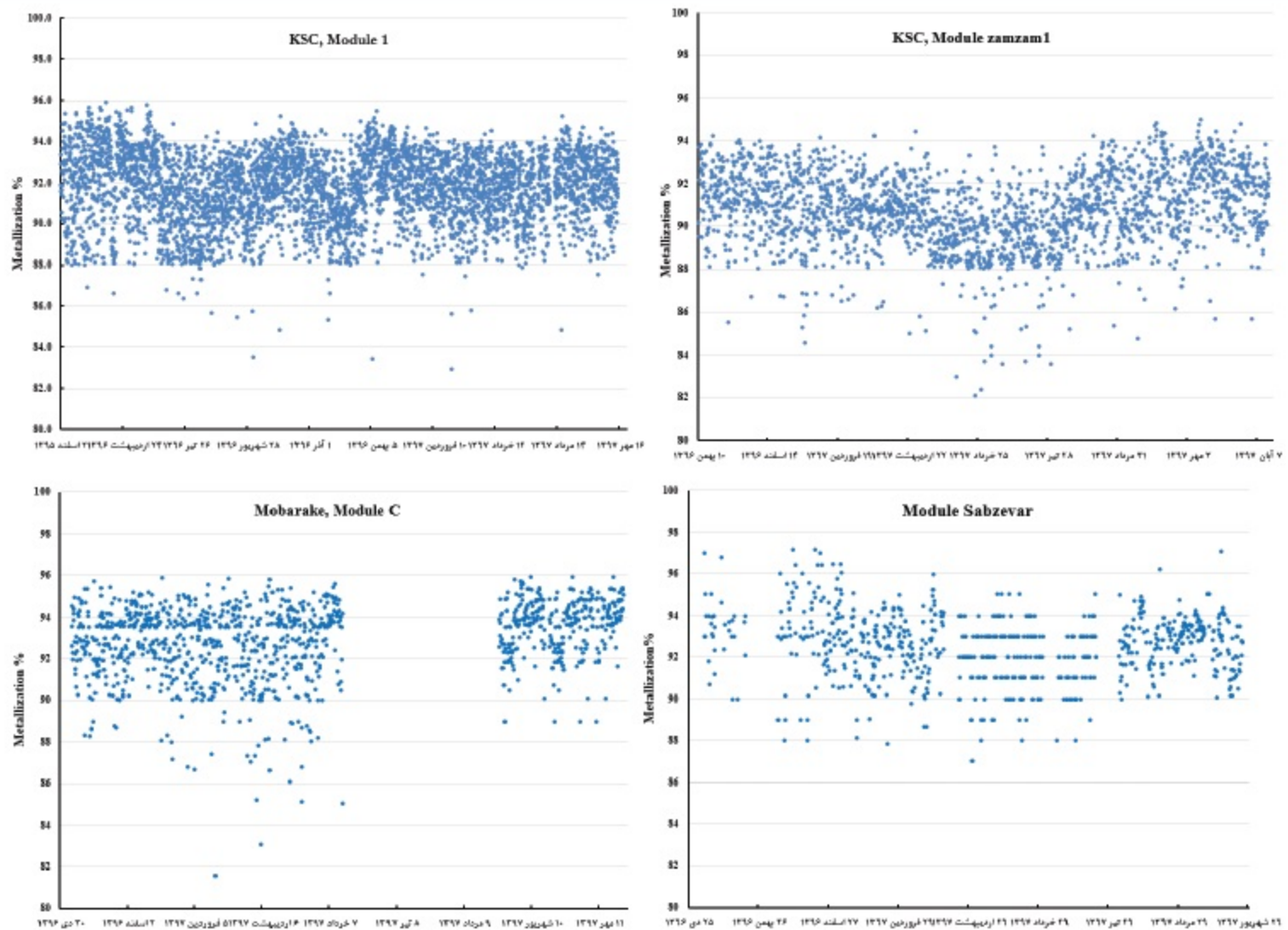
با توجه به مطالب عنوان شده در رابطه با تولید، تامین و همچنین اجرا و نظارت موثر بر بارگذاری این مواد توسط این شرکت می توان به درستی ادعا نمود با تکیه بر توان داخلی می توان در صنعت کشور به بومی سازی هر چه بیشتر تکنولوژی های روز دنیا دست یافت و عرصه صنعت کشور را به میدانی قابل رقابت برای تولیدکنندگان داخلی و خارجی تبدیل کرد.



شکل ۴: کاتالیست‌های ریفرمینگ صنعت فولاد



شکل ۵: نرخ تولید آهن اسفنجی به ترتیب: بالا سمت چپ (فولاد خوزستان مدول ۱)، بالا سمت راست (فولاد خوزستان زمزم ۱)، پایین سمت چپ (فولاد مبارکه مدول C) و پایین سمت راست (فولاد سبزواری).



شکل ۶: متالیزیشن آهن اسفنجی برای تمامی واحدها