طراحی فرآیند جدید واحد تصفیه هیدروژنی بنزین جهت ارتقاء کیفی بنزین تولیدی به استاندارد یورو ۵

سید علی آل یاسین*[۱]، محسن محمدی [۲]، حسن فتحی نژاد [۳]

[۱] کارشناس ارشد مهندسی فرآیند، ستاد مرکزی شرکت پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران، تهران، ایران

[۲] رئیس خدمات فنی و مهندسی، پالایشگاه نفت امام خمینی(ره) شازند، اراک، ایران

[۳] استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فراهان، اراک، ایران

نوع مقاله: **ترویجی**

دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۰۹ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷

چکیده

تصفیه هیدروژنی بنزین یک فرآیند باارزش و مقرون‌به‌صرفه جهت افزایش و ارتقای کیفی بنزین در مقایسه با سایر فرآیندهای پالایشی است. با توجه به تأثیرات زیان‌بار ترکیباتی همچون بنزن، آروماتیک‌ها، اولفین‌ها و ترکیبات گوگرددار در سوخت بنزین، بر سلامتی انسان و محیط‌زیست و اولویت حذفشان، فرآیند تصفیه هیدروژنی بنزین در صنعت پالایش در حال حاضر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اساس این فرایند تصفیه هیدروژنی انتخابی بنزین در راکتورهای سولفورزدایی بعد از جداسازی برش‌های سبک یک برج تفکیک جهت حفظ عدد اکتان نهایی بنزین است به‌طوری‌که برش‌های سبک‌تر جهت گوگردزدایی نیاز به تصفیه دارد؛ بنابراین قبل از برج تفکیک از راکتور هیدروژناسیون استفاده شده که اساس آن هیدروژناسیون دی‌اولفین‌ها و اولفین‌ها و تبدیل مرکاپتان‌ها به تیوفن است. با این عمل گوگرد و موجود در برش سبک‌تر به قسمت سنگین‌تر انتقال می‌یابد درنتیجه میزان گوگرد برش سبک‌تر به کم‌تر از ppm ۵۰ کاهش و برش سنگین به بخش سولفورزدایی هدایت می‌شود. این فرایند تحت عنوان تصفیه هیدروژنی بنزین شناخته شده و هدف آن تولید بنزین با استاندارد یورو ۴ است.

در این تحقیق طرحی نوین در راستای تغییرات در طراحی فرایند واحد به‌منظور افزایش و ارتقای کیفی بنزین تولیدی از استاندارد یورو ۴ به یورو ۵ یا به عبارتی بنزین پاک، ارائه شده که صحت آن بر اساس محاسبات مهندسی با نرم‌افزار شبیه‌ساز Aspen Hysys، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در انتهای مدل شبیه‌سازی شده، کلیه پارامترهای مربوط به تجهیزات فرایندی و نیز سایزینگ آن‌ها مجدداً محاسبه و در مدل جدید طراحی شده به‌صورت پارامترهای جدید اصلاح شده ارائه می‌گردد.

کلمات کلیدی: طراحی فرایند، واحد تصفیه هیدروژنی بنزین، سولفورزدایی، پالایشگاه نفت امام خمینی شازند

* ali.aleyasin1984@yahoo.com

۱- مقدمه

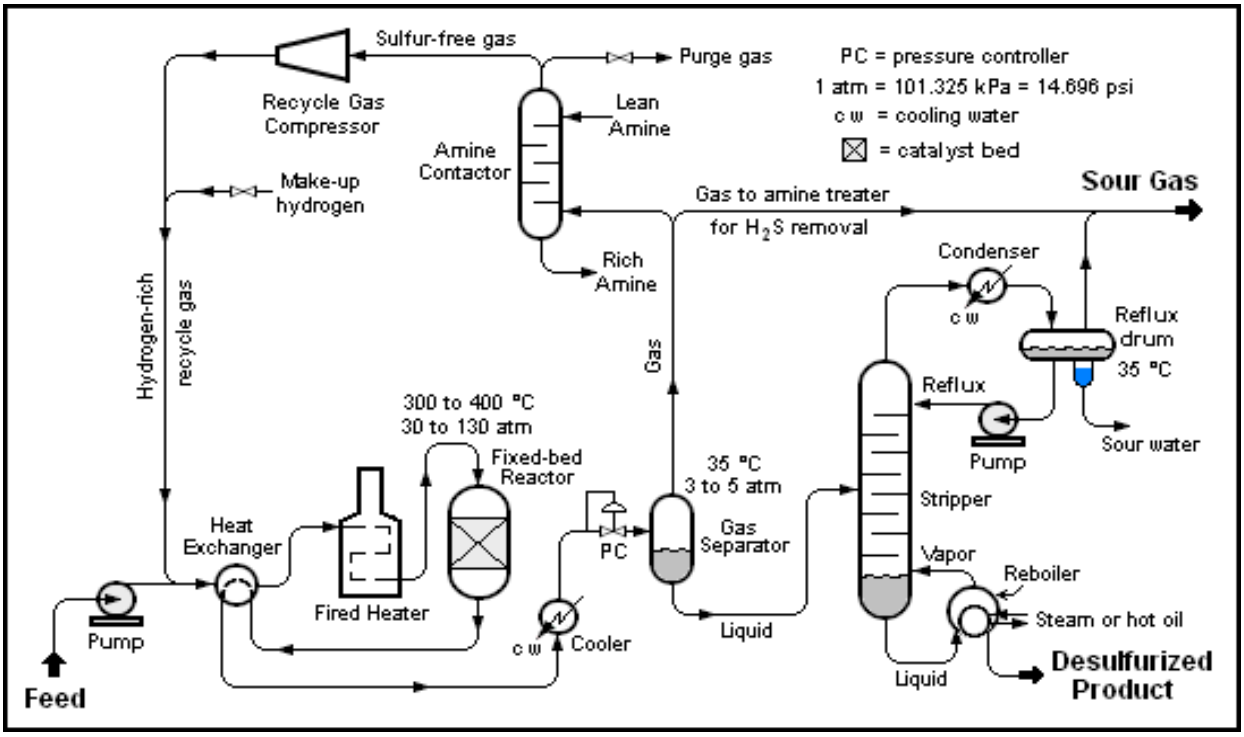
فرایند هیدروتریتینگ[1] کاتالیستی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای شیمیایی در صنعت پالایش نفت از دیدگاه فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی است و بیش از ۶۰ سال برای کاهش محتوای ناخالصی موجود در سوخت‌های فسیلی جهت حذف منع قانونی زیست‌محیطی آن‌ها و بهسوزی بهتر به کار گرفته شده است (در اواسط ۲۰۰۶). بااین‌وجود برای سال‌های آینده، تنظیمات جدید در سراسر دنیا استفاده خواهد شد و سوخت‌های مورد استفاده اتومبیل حداقل میزان سولفور را تجربه خواهند کرد (۱۵ ppm از سال ۲۰۰۶ در آمریکا و ۱۰ ppm از سال ۲۰۰۹ در اروپا، در سوخت). هم زمان با تغییرات جدید یعنی طراحی‌های جدید راکتورها، استفاده از نسل جدید کاتالیست‌ها و... محدودیت‌های زیست‌محیطی پالایشگاه‌ها را تحت فشار قرار می‌دهد تا با جدیت در کار واحدهای هیدروتریتینگ، بیش‌تر خودشان را با قوانین آن‌ها هماهنگ کنند [۱].

روش‌های تصفیه با هیدروژن در صنایع پالایش فرآورده‌های نفتی از اهمیت بالایی برخوردارند. به علت گرانی هیدروژن، این روش‌ها تا مدت‌ها توسعهٔ چندانی نیافته بودند ولی از زمانی که توانستند هیدروژن ارزان‌قیمت از واحد رفورمینگ به‌دست آورند، به‌سرعت در پالایشگاه‌ها گسترش پیدا کردند. در نفت‌خام و برش‌های نفتی، مقداری از ترکیبات حاوی گوگرد، نیتروژن، اکسیژن، فلزات و نیز ترکیبات سیر نشده وجود دارند که می‌توانند نقش مهمی در آلودگی محیط‌زیست، مسمومیت، کاتالیزورها، خوردگی دستگاه‌ها و غیره داشته باشند که هدف عملیات تصفیه با گاز هیدروژن، حذف یا کاهش این‌گونه ترکیبات آلاینده و مزاحم است. چنانچه هدف کاهش ترکیبات گوگردی باشد، فرآیند را گوگردزدایی با هیدروژن می‌نامند [۲].

عملیات گوگردزدایی با هیدروژن در راکتورهای با بستر ثابت انجام می‌شود که شامل یک بستر ثابت از ذرات جامد کاتالیستی که از میان آن جریان همسوی گاز - مایع به سمت پائین در جریان است. در اکثر راکتورهای کاتالیستی، واکنش در سطح و درون حفره‌های کاتالیست صورت می‌گیرد.

برخی مطالعات نشان می‌دهد که افزودن ذرات خنثی و ریز به کاتالیست می‌تواند ضریب خیس شدن کاتالیست‌ها و درنتیجه راندمان واکنش‌های شیمیایی را بالا ببرد. کاتالیزورهایی که معمولاً در عملیات تصفیه با هیدروژن به کار می‌روند، اکسیدها و یا سولفیدهای فلزات واسطه نظیر Ni، Fe، Mo، V و Co بر روی پایه سیلیس و آلومینا هستند [۳].

1- Hydro Treating



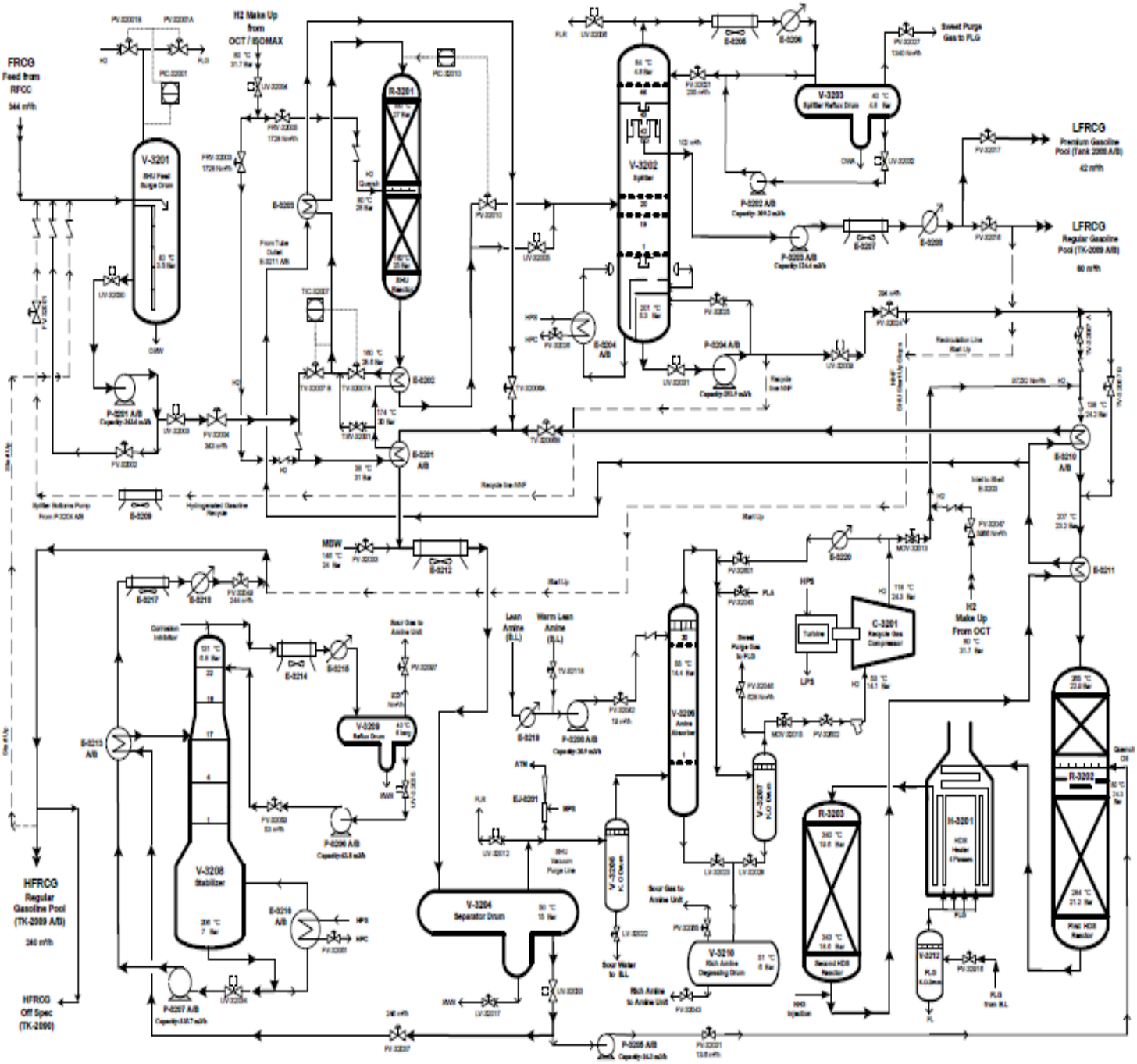
شکل ۱- دیاگرام کلی فرایندهای واحد تصفیه هیدروژنی فرآورده‌های نفتی [۳]

۲- معرفی واحد تصفیه هیدروژنی بنزین پالایشگاه امام خمینی شازند

واحد تصفیه هیدروژنی بنزین (CGH[۲]) از واحدهای جدید احداث شده در فاز دوم پالایشگاه امام خمینی شازند است که در سال ۲۰۰۴ میلادی توسط شرکت اکسنس فرانسه طراحی و پس از انجام مراحل ساخت نصب تجهیزات، پیش‌راه‌اندازی و راه‌اندازی نهایتاً در سال ۲۰۱۲ به بهره‌برداری رسید. از نمونه مطالعات و تحقیقاتی که به‌طور مشابه در این زمینه در بعضی از پالایشگاه‌های نفت دنیا انجام شده است، می‌توان به نمونه الگوهای طراحی فرآیند واحدهای تصفیه هیدروژنی انواع فرآورده‌های نفتی با استانداردهای روز کنترل کیفی منطبق بر استانداردهای یورو توسط دانش فنی شرکت‌های بزرگ دنیا نظیر Axens, JGCP, Technip, UOP وExxon Mobil در سال‌های اخیر اشاره نمود [۴].

واحد تصفیه هیدروژنی بنزین با ظرفیت ۵۰۰۰۰ بشکه در روز برای اشباع کردن ترکیبات دی‌اولفینی و کاهش میزان گوگرد و نیتروژن بنزین تولید شده در واحد شکست کاتالیستی بستر سیال تا رسیدن به استاندارد یورو۴ طراحی و ساخته شده است. محصولات خروجی این واحد برش‌های بنزین سبک سنگین تصفیه شده به ترتیب با درجه آرام‌سوزی ۹۵ و ۹۰ و نیز میزان گوگرد کم‌تر از ppm ۵۰ است. حدود پنجاه‌درصد از کل بنزین یورو۴ پالایشگاه امام خمینی(ره) شازند در این واحد تولید می‌شود. این واحد برای اولین بار در ایران راه‌اندازی شده و دارای دو بخش فرآیندی اشباع ترکیبات دی‌اولفین و بخش واکنش‌های سولفورزدایی است (شکل ۲).

2- Cracked Gasoline Hydrotreater



شکل ۲- دیاگرام کامل فرایند واحد تصفیه هیدروژنی بنزین پالایشگاه امام خمینی شازند [۵]

۳- استانداردهای کنترل کیفی یورو برای بنزین

امروزه در تمامی کشورهای پیشرفته در جایگاه‌های سوخت بنزین با استانداردهای یورو عرضه می‌شوند به‌طوری‌که در حال حاضر بالاترین کیفیت بنزین تولیدی در دنیا مطابق با استاندارد یورو۵ تعیین می‌شود که تفاوت عمده آن با استانداردهای یورو۳ و ۴ در میزان گوگرد و ترکیبات آروماتیک آن است (جدول ۱). استاندارد یورو۵ برای اولین با در سال ۲۰۰۹ ارائه و در سال ۲۰۱۰ در تعداد محدودی از جوامع پیشرفته که الزامات زیست‌محیطی بسیار گسترده‌ای

دارند، به‌طور رسمی ابلاغ گردید ازاین‌رو پالایشگاه‌های نفت ملزم به احداث واحدهای جدید بنزین‌سازی و یا اعمال تغییرات فرایندی در واحدهای بنزین‌سازی موجود شدند.

جدول ۱- مشخصه‌های اصلی استانداردهای یورو برای سوخت بنزین [۶]

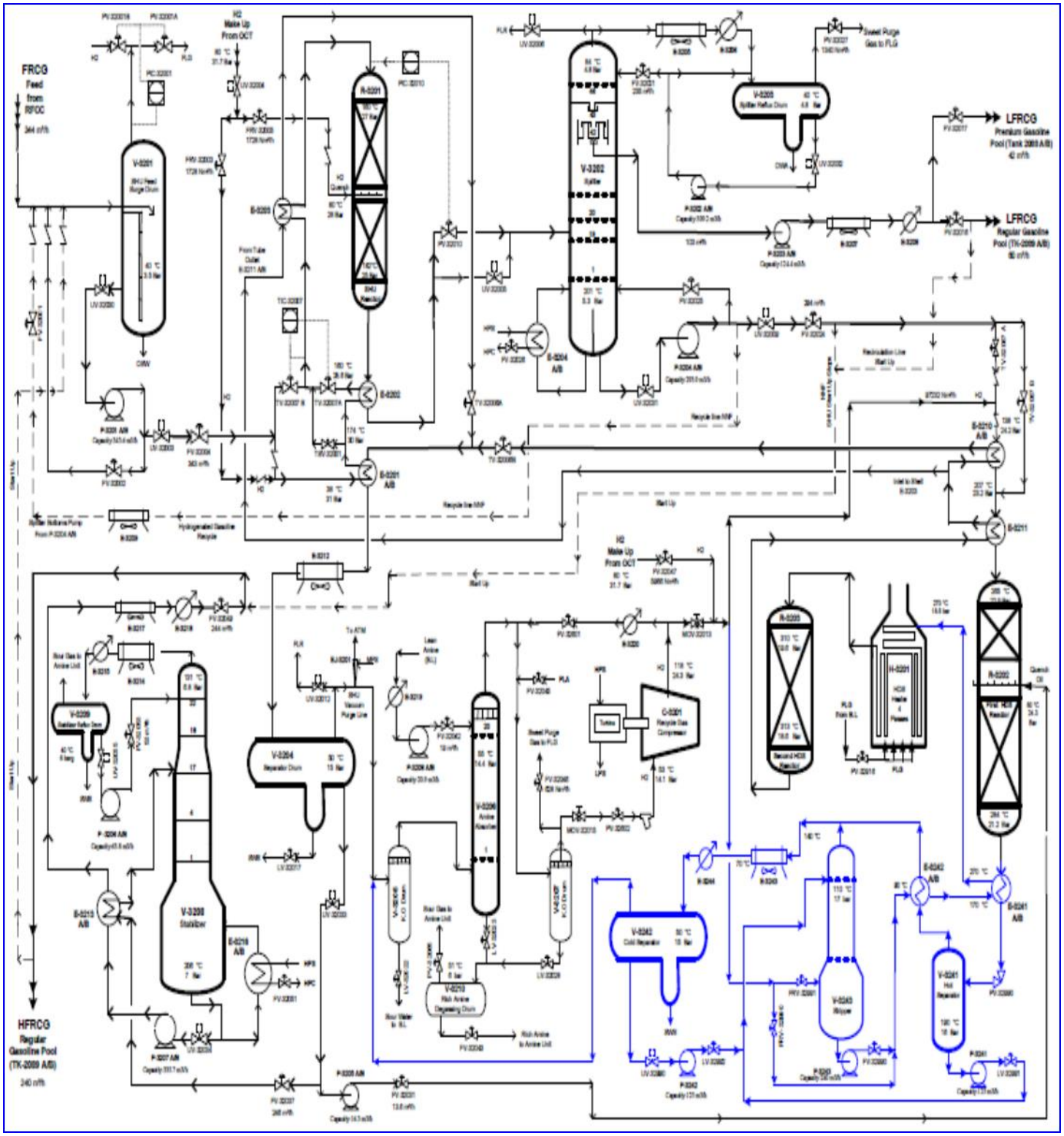
Gasoline Properties	Euro.3	Euro.4	Euro.5
Sulfur Content (wt ppm)	150 max	50 max	10 max
Aromatics Content (vol%)	42 max	35 max	35 max
Olefins (vol%)	18 max	18 max	18 max
Benzen Content (vol%)	1.0 max	1.0 max	1.0 max
Oxygen (wt%)	2.7 max	2.7 max	2.7 max
RVP (KPa)	60 max	60 max	60 max
RON	91-95	91-95	91-95

۴- طراحی جدید فرایندی در واحد تصفیه هیدروژنی بنزین پالایشگاه امام خمینی شازند

با مطالعات انجام شده و بهره‌گیری از تجربیات مهندسی و عملیاتی پالایشگاه، روشی نوین فرآیندی جهت افزایش و ارتقاء کیفی بنزین تولیدی در این واحد جهت رسیدن به استاندارد روز دنیا یعنی یورو۵ با تغییر در طراحی فرایند واحد ارائه شد که ضمن تطابق با استانداردهای صنایع نفت دنیا و تأیید نتایج توسط نرم‌افزارهای قدرتمند شبیه‌سازی نظیر Aspen Hysys و Petro Sim تحولی بزرگ در واحدهای پالایشی کشور ایجاد و می‌تواند به الگویی نوین در استاندارد مهندسی فرآیند تبدیل گردد [۷].

مطابق دیاگرام شکل ۳ در بخش جدید جداسازی طراحی شده برای واحد، سیال خروجی از راکتور R-3202 با دمای حدوداً ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد مطابق شرایط طراحی اولیه واحد، دیگر به سمت کوره هدایت نمی‌شود بلکه وارد بخش تیوب مبدل حرارتی جدید به شماره E-3241 A/B شده تا با جریان خوراک راکتور R-3203 تبادل حرارت کند و با گذر از شیر فشارشکن جدید PV-32990 ضمن افت دما و کاهش فشار، وارد ظرف جدید تفکیک Hot Separator به شماره V-3241 گردد.

در ظرف Hot Separator بخش قابل‌توجهی از مواد سبک و غیرقابل میعان در فشار و دمای ظرف، نظیر هیدروژن، هیدروکربن‌های سبک، سولفید هیدروژن و... با جریان بالاسری ظرف خارج شود. جریان بالاسری ظرف V-3241 پس از تبادل حرارت در مبدل حرارتی جدید به شماره E-3242 A/B با جریان خوراک راکتور R-3203 و کاهش مجدد دما در فن‌های هوایی E-3243 و کولر آبی E-3244 وارد ظرف جدید Cold Separator به شماره V-3242 گردد و در آنجا مواد هیدروکربنی از فاز گاز یعنی هیدروژن تفکیک نهایی می‌شوند و مطابق دیاگرام به سمت بخش تصفیه با آمین موجود در واحد شده و به‌عنوان بخش عمده‌ای از گاز گردشی محسوب می‌شود.



شکل ۳- دیاگرام جدید طراحی فرایند واحد تصفیه هیدروژنی بنزین پالایشگاه امام خمینی شازند

اما جریان گرم هیدروکربنی مایع خروجی از پایین ظرف Hot Separator پس از افزایش فشار توسط پمپ‌های جدید P-3241 A/B و اختلاط به جریان هیدروکربنی سرد خروجی از ظرف Cold Separator و پمپ‌های جدید P-3242 A/B، جهت جداسازی گازهای گوگرددار نظیر سولفید هیدروژن و مرکاپتان‌ها وارد بالاترین سینی برج Stripper به

شماره V-3243 شده به‌طوری‌که از پایین سینی شماره یک برج جریان هیدروژن با دبی پایین به برج تزریق می‌گردد. به‌واسطه ایجاد تماس دوفازی جریان‌های متقابل هیدروژن و هیدروکربن مایع در داخل برج استریپر، پدیده انتقال جرم مربوط به گازهای سولفید هیدروژن و مرکاپتان‌ها از هیدروکربن‌های مایع به فاز گاز یعنی هیدروژن انجام می‌گردد.

جریان بالاسری از برج به سمت ظرف Cold Separator هدایت شده و جریان مایع هیدروکربنی خروجی از انتهای برج نیز پس از افزایش فشار توسط پمپ‌های P-3243 A/B و اختلاط به هیدروژن گاز گردشی مورد نیاز، به‌عنوان خوراک راکتور R-3203 به ترتیب وارد بخش Shell مبدل‌های حرارتی پیش گرم‌کن E-3241 و E-3242 شده و دمای سیال از ۹۰ درجه به ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و سپس به‌منظور رسیدن به دمای واکنش وارد تیوب کوره H-3201 با همان شرایط طراحی اولیه و میزان مصرف سوخت FLG[3] تقریبی مطابق گذشته، می‌شود.

سیال پس از رسیدن به دمای واکنش در محدوده ۳۰۰ الی ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد وارد راکتور R-3203 شده و واکنش‌های تصفیه هیدروژنی با شدت بهتری در مقایسه با حالت طراحی انجام می‌شوند به‌گونه‌ای که بیش‌تر ترکیبات گوگرددار باقی مانده از راکتور R-3202 در ساختار هیدروکربن‌ها پس از عبور از بستر کاتالیستی راکتور R-3203 به گاز سولفید هیدروژن تبدیل شده و گوگرد باقی‌مانده در بنزین خروجی پس از عبور از ظرف جداساز V-3204 و برج تثبیت کننده V-3209 به کم‌تر از 10 PPM و استاندارد یورو۵ خواهد رسید.

۵- شبیه‌سازی مدل جدید طراحی شده در واحد تصفیه هیدروژنی بنزین

مرحله اول شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار بر اساس شرایط حال حاضر واحد و تجهیزات موجود همچنین مسیرهای ارتباطی بین آن‌ها بدون تغییر و مطابق طراحی اولیه واحد و تولید بنزین یورو۴ انجام شد.

اما در مرحله دوم شبیه‌سازی شرایط جدید فرایند و تغییرات لازم در مدل نرم‌افزاری اعمال گردید و سپس مراحل کالیبراسیون و طراحی سایز تجهیزات جدید منطبق با استانداردهای مهندسی و طراحی در محاسبات مدل نرم‌افزاری اجرا گردید.

با تکمیل شدن نصب تجهیزات و اعمال شرایط اولیه فرایندی در ادامه اقدام به انجام سایزینگ در حالت عملیاتی واحد نموده که در این مرحله شرایط فیزیکی برج‌ها و ظروف واحد به نرم‌افزار اعمال گردید و درنهایت با تبدیل حالت Design به Rating مرحله سایزینگ شبیه‌سازی واحد انجام و نتایج این مرحله توسط نرم‌افزار به شبیه‌سازی فرایند جدید واحد اعمال شد. [۸]

3- Fuel Gas

جدول ۲- مشخصات کمی و کیفی خوراک ورودی به واحد تصفیه هیدروژنی بنزین پالایشگاه شازند [۴]

Boiling Range	C5 – 205 deg C	Design Figure
Flow rate, kg/hr	251,600	
Flow rate, M3/hr @ 15 deg C	332.5	
Sp.Gr	0.7567	
Total Sulfur, wt PPM , See Table 2-2	1,000	1,200 Max
Thiophene + Benzothiophene content, wt PPM	673	
RSH, wt PPM	200	
RON	91.7	
MON	79.9	
Paraffin, vol%	29.5	
Naphten, vol%	9.3	
Aromatics, vol %	27.1	32.0 Max
Olefins, vol % , See Table 2-3	34.1	38.0 Max
Nitrogen, wtppm	40	60 Max
Benzene, vol %	< 1.0	
Diene, wt %	2.0	
Existing gums, mg/100 ml	3.0	
Max RVP, kPa	55	
ASTM D-86 Distillation, deg C		
IBP	46	
5 vol %	54	
10 vol %	59	
30 vol %	73	
50 vol %	102	
70 vol %	138	
90 vol %	180	
95 vol %	193	
FBP	205	

جدول ۳- مشخصات فرایندی واحد تصفیه هیدروژنی بنزین پالایشگاه شازند [۴]

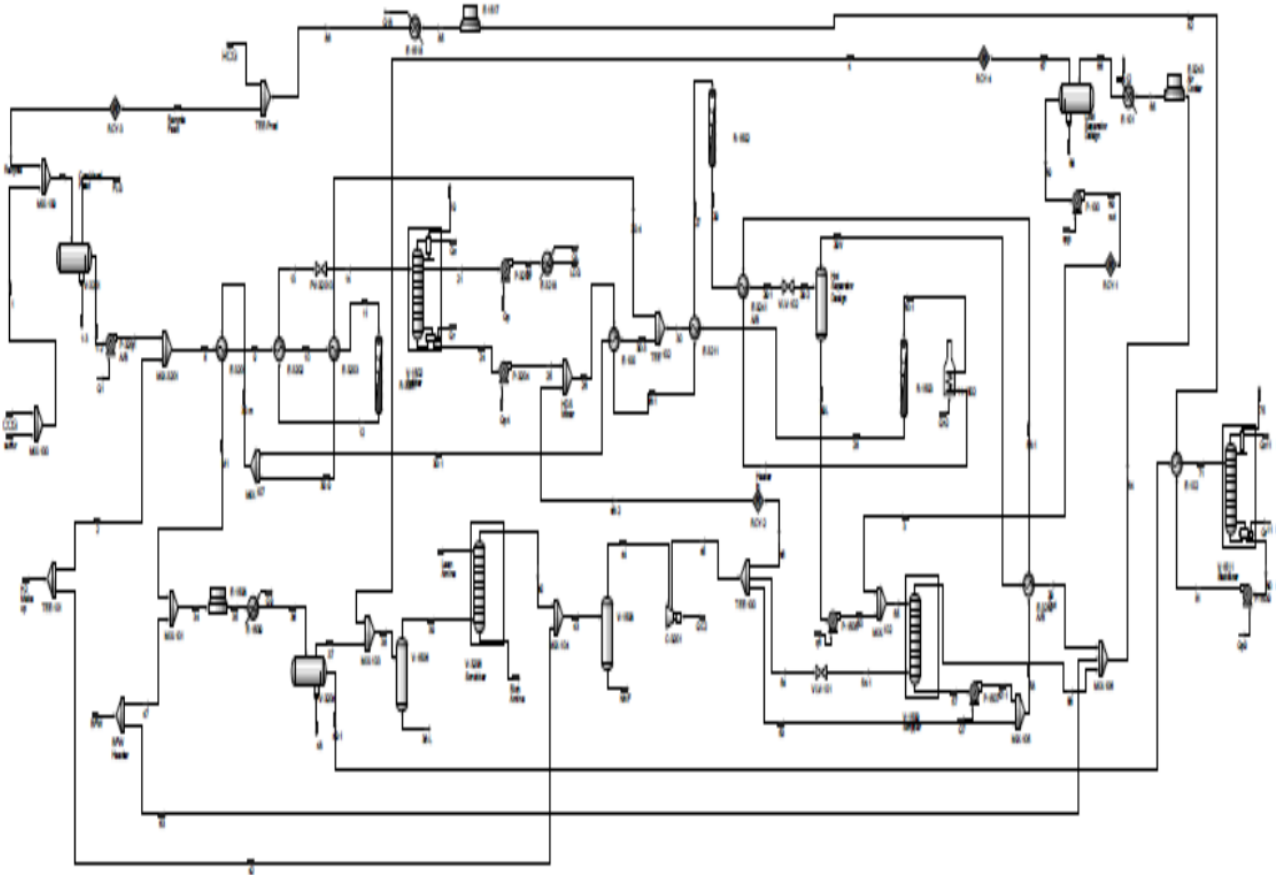
Fresh Feed	m3/h	**332.5**
R-3201 Catalyst Bed	m3	**43**
R-3202 Catalyst Bed	m3	**60.3**
R-3203 Catalyst Bed	m3	**80.4**
Max H2 Make Up Gas (R-3201)	Nm3/h	**4000**
Max H2 Make Up Gas (R-3202)	Nm3/h	**6500**
Max Rate of Recycle Gas Compressor	Nm3/h	
Make Up Purity (Min)	%	**93**
Max skin temp. @normal press(R-3201)	°C	**250**
Max skin temp. @normal press(R-3202)	°C	**355**
Max skin temp. @normal press(R-3203)	°C	**400**
Normal Press. @ R-3201	barg	**25**
Normal Press. @ R-3202	barg	**22**
Normal Press. @ R-3203	barg	**19.5**
Unit turn down ratio	%	**50**

برای نرم‌افزار در ابتدای شبیه‌سازی واحد، مشخصات خوراک ورودی به واحد مطابق جدول ۲ وارد گردید. همچنین پارامترهای مشخصه بخش‌های واکنش و راکتورهای کاتالیستی در جدول ۳ ارائه شده که در فایل شبیه‌سازی اعمال گردید.

در شکل ۴ شبیه‌سازی دیاگرام جدید طراحی واحد تصفیه هیدروژنی بنزین پالایشگاه امام خمینی شازند ارائه شده است. دما و فشار ورودی به راکتورهای کاتالیستی در نرم‌افزار بر اساس نظر سازنده کاتالیست تعریف شده و سایر پارامترهای فرایندی به‌ویژه تجهیزات دوار در فایل شبیه‌سازی کاملاً با مشخصات مکانیکی سازنده تجهیزات منطبق بوده و سایر تغییرات فرایندی جدید تأثیری بر شرایط کنترل فرایند واحد ندارد [۱۰و۹].

در مدل جدید طراحی، با توجه به افزودن تجهیزات جدید جداسازی مانند ظرف جداساز و برج استریپر در مسیر خروجی از راکتور دوم، حجم قابل‌توجهی گاز ترش H_2S (سولفید هیدروژن) از جریان ورودی به راکتور سوم جدا می‌شود لذا با همان میزان هیدروژن ورودی به راکتور سوم به دلیل درصد خلوص بیش‌تر گاز H_2 و میزان H_2S کم‌تر در آن، ضمن کنترل و تثبیت شرایط دما و فشار و شرایط ترمودینامیکی کاتالیست HDS راکتور سوم مطابق طراحی اولیه، واکنش‌های تعادلی سولفورزدایی به سمت تولید H_2S بیش‌تر پیش می‌روند، ازاین‌رو مقدار گوگرد بیش‌تری از هیدروکربن‌های حلقوی بنزین (تیوفن‌ها و...) در مقایسه با شرایط طراحی اولیه، جداسازی می‌شود.

بنابراین به جهت حفظ و تثبیت شرایط ترمودینامیکی فعلی کاتالیست راکتور سوم و خلوص بیش‌تر هیدروژن، در مدل جدید شبیه‌سازی شده بنا بر طراحی جدید فرایند، نیاز به افزودن جریان هیدروژن به آن مسیر ورودی راکتور (تک بستر) نیست.



شکل ۴- شماتیک شبیه‌سازی دیاگرام جدید طراحی واحد تصفیه هیدروژنی بنزین پالایشگاه امام خمینی شازند

نتایج تکمیل شبیه‌سازی مدل بر اساس تغییرات جدید فرایند ارائه شده نشان می‌دهد با اجرای مدل جدید طراحی شده که جدا از نصب تعدادی اندک تجهیزات جدید (ظرف جداساز، برج استریپر، مبدل‌های حرارتی و...)، تنها نیاز به تغییرات بسیار جزئی در پارامترها و تجهیزات موجود در بخش واکنش واحد تصفیه هیدروژنی دارد، به‌بیان‌دیگر نتایج شبیه‌سازی حاکی از ارتقای کیفی و کمی دانش فنی طراحی پایه واحد مذکور است.

از مهم‌ترین مزایای ارتقای کیفی و کمی دانش فنی طراحی پایه این واحد می‌توان به افزایش درجه کیفی محصولات خروجی، افزایش عمر کاتالیست‌های موجود در راکتورها و کاهش مصرف انرژی در واحد اشاره نمود.

۶- نتیجه‌گیری

به‌طورکلی برداشتن گامی نوین در راستای تغییرات طراحی فرآیند واحدهای پالایشی بدون شک قدمی محکم در جهت رسیدن به دانش فنی کامل طراحی واحدهای پالایشی روز دنیا مطابق با استانداردهای مهندسی فرآیند است که در آینده‌ای نزدیک بیش‌ازپیش موردتوجه و استفاده قرار خواهد گرفت. به‌ویژه در واحدهای تصفیه هیدروژنی انواع فرآورده‌های نفتی در پالایشگاه‌های کشور که دربرگیرنده هزینه‌های گزاف طراحی، ساخت و نصب تجهیزات و تهیه انواع کاتالیست و... هستند، ارائه طرح و ایده‌ی نوین در حوزه مهندسی فرآیند می‌تواند نقشی تأثیرگذار در سود اقتصادی حاصل از بهره‌برداری این واحدهای پالایشی در کشور داشته باشد. ازاین‌رو اجرای طرح جدید فرآیند در واحد تصفیه هیدروژنی پالایشگاه امام خمینی شازند در راستای ارتقای کیفیت بنزین تولیدی آن می‌تواند نتایج کلی زیر را به همراه داشته باشد:

الف) کاهش میزان گوگرد بنزین تولیدی واحد تصفیه هیدروژنی بنزین پالایشگاه امام خمینی شازند از ppm ۵۰ به کم‌تر از ppm ۱۰ و ارتقای کیفی محصول از استاندارد یورو۴ به یورو۵.

ب) افزایش کیفیت و کاهش میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی بنزین تولیدی پالایشگاه امام خمینی شازند

ج) استفاده بهینه از کاتالیست‌های هیدروتریتینگ و افزایش عمر متوسط کاتالیست‌ها

د) افزایش قابل‌توجه راندمان تولید سوخت و انرژی در واحد تصفیه هیدروژنی بنزین

ه) استفاده به‌عنوان الگو از ایده ارائه شده جهت ارائه طرح‌های جدید در راستای ارتقای کیفیت سایر فرآورده‌های نفتی نظیر دیزل و نفت سفید به استانداردهای یورو۵ در پالایشگاه‌های کشور.

۷- منابع

[1] G.Valavarasu & B. Sairam: "Naphtha Hydro Treating Process" A Review, Petroleum Science and Technology (2013).
[2] P. Leprince,” Petroleum Refining Conversion Processes” Paris: Editions Technip (2001).
[3] J.M Douglas, "Conceptual Design of Chemical Processes", McGraw-Hill, USA (1988)
[4] SAZEH, ODCC, SINOPEC CO, Operating Manual CGH Unit, IKORC, (2009).
[5] IKORC, "Process Engineering Department”, Hydro Treating Process Section.
[6] B.L.Newalkar, N.V. Choudary, and M.A.Siddiqui,”Hydro Treating Catalysts Chemistry and its Features. Eighth National Workshop on ‘Catalysts in Hydrocarbon Processing & Fertilizer Industry’, New Delhi, India, November (2005).
[7] Aspen HYSYS Dynamic Modeling, “http://support.aspentech.com/Customer Support/ Documents/Engineering/Hyprotech/2010/Aspen HYSYS Dyn-Modeling” (2010).
[8] User Guide of Aspen HYSYS Dynamics', Aspen Technology Inc., Burlington, USA (2010).
[9] Peng Changhua, senior Eng., Vice President,” Beijing Haishundeh Catalyst Co., Ltd.
[10] N.V.S.N. Murthy Konda, G. P. Rangaiah, "Plant wide Control of Industrial Processes: An Integrated Framework of Simulation and Heuristics", Ind.Eng, Chem Res (2007).