

گزارش پژوهشی :

ارزیابی فرآیندهای تبدیلی پالایشگاهی و طرح‌های ارتقای پالایشگاه‌های نفت خام



انديشكده اقتصاد مقاومتی

گروه انرژی

شهریور ماه ۱۴۰۱

رهبر معظم انقلاب: علاج برون رفت از مشکلات کشور «اقتصاد مقاومتی» است.

معرفی اندیشکده اقتصاد مقاومتی

اندیشکده اقتصاد مقاومتی یک کانون تفکر با مأموریت «تصمیم سازی برای حل مسائل اقتصاد کشور در راستای تحقق اقتصاد مقاومتی» است که در سال ۱۳۹۵ فعالیت رسمی خود را آغاز نمود.

شناسایی شبکه مسائل در هر حوزه موضوعی، طراحی راهکار برای حل مسائل احصاء شده و هم‌اندیشی جهت ارزیابی و تدقیق آن، بررسی تجربیات جهانی، طرح مباحث در فضای نخبگانی و رسانه‌ای و پیگیری راهکارهای ارائه شده از دستگاه‌ها و مسئولین مرتبط به منظور اتخاذ تصمیمات لازم، از جمله فعالیت‌هایی است که در اندیشکده انجام می‌شود.

علاقه‌مندان می‌توانند از طریق سایت Mett.ir با اندیشکده اقتصاد مقاومتی در ارتباط باشند و نظرات، انتقادات و پیشنهادهای خود را در خصوص این گزارش و همچنین سایر فعالیت‌های اندیشکده، مطرح کنند.

ارزیابی فرآیندهای تبدیلی پالایشگاهی و طرح‌های ارتقای پالایشگاه‌های نفت خام

انرژی	گروه موضوعی:
پژوهشی	نوع گزارش:
۱۴۰۱۰۶۱۲۳	شناسه:
۱۴۰۱/۰۶/۳۱	تاریخ انتشار:
سعید نوری کرم	تهیه و تدوین:
افشین غلامعلی پور	مدیر مطالعه:
محمد مهدی یزدانی	ناظر علمی:

خلاصه مدیریتی

در حال حاضر فرآورده‌های سنگین نفتی در کشور، حدود ۳۰ درصد از محصولات پالایشی را تشکیل می‌دهند. این فرآورده‌ها که بیش‌تر شامل نفت کوره هستند، از ته مانده تقطیر نفت خام در برج‌های تقطیر اتمسفریک و تقطیر در خلاء و واحد کاهش گرانشی به دست می‌آیند. عمده مصرف این فرآورده‌های سنگین در نیروگاه‌ها و سوخت کشتی است. البته با توسعه میادین و خطوط لوله سراسری گاز در کشور، مصارف نیروگاهی تا حد زیادی با گاز طبیعی جایگزین شده است. همچنین مصرف نفت کوره نیز در دنیا به علت تغییر الگوی مصرف، از سال ۲۰۰۰ تا کنون ۴۰ درصد کاهش یافته است. با اعمال استاندارد جدید سازمان بین‌المللی دریانوردی^۱ از سال ۲۰۲۰، پیش‌بینی می‌شود که سهم نفت کوره از سوخت کشتی‌ها از ۸۰ درصد به ۳۰ درصد کاهش یابد.

بنابراین با توجه به تغییر سبب تقاضای فرآورده‌های پالایشی دنیا در گذر زمان، تقاضا برای فرآورده‌های سنگینی مانند نفت کوره کاهش و نیاز به فرآورده‌های سبکی همچون بنزین و گازوئیل افزایش یافته است. این موضوع سبب افزایش سهم فرآورده‌های سبک و در نتیجه ارتقای^۲ پالایشگاه‌های موجود جهان شده و هزینه‌های سرمایه‌گذاری را افزایش داده است، چرا که این مهم نیازمند بکارگیری فرآیندهای تبدیلی جدیدی دارد که در پالایشگاه‌های قدیمی موجود نیست. پالایشگاه‌های با ظرفیت پایین، تمایل چندانی برای سرمایه‌گذاری در راستای ارتقاء و کاهش تولید فرآورده‌های سنگین ندارند اما پالایشگاه‌های با ظرفیت بالا با توجه به تغییرات بازار و آینده آن، اقدام به برنامه‌ریزی و ارتقای پالایشگاه‌های خود می‌کنند.

کشورهای با ظرفیت پالایشی بالا، تغییرات جهانی صنعت پالایشگاهی و سبد فرآورده‌های نفتی تولیدی را رصد و صنایع پالایشی داخلی خود را متناسب با آن تنظیم می‌کنند. به عنوان نمونه کشور روسیه که از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ با افزایش ظرفیت پالایشی، میزان تولید نفت کوره آن به طور چشم‌گیری افزایش یافته بود، در سال ۲۰۱۴ قانون جدیدی را تصویب کرد که مطابق آن عوارض صادرات فرآورده‌های نفتی از ۶۵ درصد تغییر کرد و برای فرآورده‌های سنگین به ۱۰۰ درصد افزایش و برای فرآورده‌های سبک به ۳۰ درصد کاهش یافت که ارتقای پالایشگاه‌های روسیه از طریق توسعه واحدهای تبدیلی خوراک سنگین را به همراه خواهد داشت.

در کشور ژاپن نیز از طریق یک قانون دو مرحله‌ای در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ پالایشگاه‌ها مجبور شدند تا ظرفیت واحدهای تبدیلی خوراک سنگین خود را نسبت به خوراک ورودی افزایش دهند. در مرحله دوم این قانون، می‌بایست ظرفیت واحدهای تبدیلی پالایشگاه‌ها به ۵۰ درصد خوراک ورودی برسد. در کشور عمان نیز شرکت پالایش این کشور (آرپیک) پسماندهای سنگین پالایشگاه میناء الفحل را به پالایشگاه ۱۱۶ هزار بشکه‌ای

^۱ International Maritime Organization (IMO)

^۲ Upgrading

صُحار منتقل می‌نماید تا در آنجا به محصولات سبک با ارزش پالایشی یا مواد پایه پتروشیمی مانند بنزن و زایلن تبدیل شوند.

طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ کشور چین توانست با ساخت پالایشگاه‌های جدید و ارتقای پالایشگاه‌های قدیمی، درصد تبدیل نفت خام به نفت کوره را به میزان ۷۲ درصد کاهش دهد، بدین معنا که موفق شد درصد تبدیل نفت خام به نفت کوره را از ۱۰ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۲.۸ درصد در سال ۲۰۱۲ برساند. همچنین کشور کره جنوبی موفق شد درصد تبدیل مذکور را از ۲۵ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۱۰ درصد در سال ۲۰۱۲ برساند و این شاخص را حدود ۶۰ درصد کاهش دهد.

بنابراین با توجه به تغییرات بخش تقاضا، تغییر در سمت عرضه فرآورده‌های نفتی و تطبیق آن با شرایط جدید ضروری است. این در حالی است که در ایران علی‌رغم کاهش چشمگیر مصرف نفت کوره در حال حاضر و آینده پیش‌رو، تدبیر ویژه‌ای برای کاهش تولید آن در نظر گرفته نشده است. با توجه به نمونه‌های جهانی، اجرای طرح‌های ارتقای پالایشگاه‌های موجود مهم‌ترین راهکار در این زمینه است. بسیاری از کشورهای جهان با طی کردن این مسیر توانسته‌اند فرآورده‌های سنگین خود را به محصولات سبک تبدیل کنند و با شرایط جدید بازارهای داخلی و خارجی تطبیق یابند. در واقع نفت کوره به عنوان یک فرآورده پالایشی کم ارزش که ارزش قیمتی آن از نفت خام پایین‌تر است، محصولی است که عموم کشورها با اجرای طرح‌های ارتقای کیفیت در تلاش هستند سهم آن را در سبد محصولات پالایشی خود کاهش دهند.

براساس اطلاعات موجود، ایران در بین کشورهای با ظرفیت پالایشی بیش از ۱.۵ میلیون بشکه در روز در جایگاه دهم از لحاظ کاهش درصد تبدیل نفت خام به نفت کوره قرار گرفته و موفق شده است شاخص مذکور را از ۳۰ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۲۷.۵ درصد در سال ۲۰۱۲ برساند و مقدار نفت کوره تولید شده را ۸ درصد کاهش دهد. اگرچه ایران با اجرای پروژه‌هایی از نوع توسعه و ارتقای کیفیت طی سالیان اخیر به این کاهش ۸ درصدی دست یافته، اما همچنان بالاترین درصد تبدیل را در میان این کشورها دارد. دلیل این مسئله، قدیمی بودن پالایشگاه‌های کشور با میانگین سنی بیش از ۳۵ سال است.

در خصوص تولید نفت کوره، در کشوری مانند آمریکا واحدهای مختلفی برای کاهش فرآورده‌های سنگین پالایشی احداث شده است. در بین این واحدها فرایند ککینگ تأخیری با رشدی ۱۱۰ درصدی از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۰، به ظرفیت ۲.۸ میلیون بشکه در روز رسیده است. در اروپا نیز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ ظرفیت واحدهای ککینگ تأخیری از ۳۸۷ به ۵۰۶ هزار بشکه در روز رسیده و ۳۰ درصد افزایش داشته است. طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴ کشورهای CIS و هند ظرفیت واحدهای ککینگ تأخیری خود را به ترتیب ۲۳ و ۱۱۲ درصد افزایش داده‌اند و در کشور چین هم بیش‌ترین رشد مربوط به واحدهای ککینگ تأخیری است. در

کشورهای غرب آسیا و اروپا نیز واحدهای ککینگ و کراکینگ کاتالیستی به ترتیب ۱۷۸ و ۱۲۶ درصد رشد داشته است.

بنابراین در راستای رسیدن به اهدافی نظیر جلوگیری از نیمه خام فروشی، ایجاد ارزش افزوده بالا و در نهایت ارتقای صنعت نفت، گاز و پتروشیمی در شاخص‌های کلان اقتصاد کشور، رشد نظام‌مند این صنایع امری ضروری است. در این گزارش پژوهشی طرح‌های ارتقای پالایشگاه‌های موجود از دو منظر مطالعات بازار و مطالعات فنی بررسی و در عمل به طور دقیق به درست یا نادرست بودن سرمایه‌گذاری و چشم انداز آینده طرح پرداخته شده است.

تدقیق مطالعات امکان‌سنجی در مطالعات بازار جهت تعریف محصولات مناسب و راهبردی از منظر بازار هدف، مکان‌یابی و بررسی قابلیت دسترسی طرح به خوراک، یوتیلیتی و بازار محصول، مطالعات فنی جهت انتخاب فناوری مناسب، ارزیابی سرمایه‌گذاری مورد نیاز طرح و بررسی میزان درآمد و هزینه‌های دوره بهره‌برداری و در نهایت مطالعات مالی جهت پیش‌بینی وضعیت طرح از منظر مفاهیم مالی نظیر نرخ بازده، بازگشت سرمایه، نقطه سربه سر، جریان وجوه نقد و غیره، می‌تواند منجر به انتخاب نقشه راه درست در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی شود و از بروز مشکلاتی همچون خروج ارز و سرمایه ملی در راستای احداث واحدهای ناکارآمد و نیمه کاره، احداث واحدهای تولیدکننده محصولات با ارزش افزوده پایین، احداث واحدهایی با دانش فنی نامناسب و غیره جلوگیری کند.

مطابق مجوزهای صادر شده از سوی وزارت نفت، ۸ پالایشگاه کشور به دنبال ارتقای واحدهای خود هستند که با توجه به معیارهای:

- مکان طرح
- امکان واردات و صادرات محصولات تولیدی
- ظرفیت اسمی و عملی تولید پالایشگاه
- تعهدات و قراردادهای خوراک
- یوتیلیتی و تأمین پایدار خوراک، آب و برق واحد
- مصارف مورد نیاز محصولات طرح در واحدهای پایین دستی
- استفاده از مشاوره طرح‌های در حال اجرا
- توسعه صنایع پایین دستی و در پی آن اشتغال‌زایی
- بازارهای جهانی محصولات طرح
- عوامل مؤثر بر تقاضای سال‌های آینده
- فناوری‌های تولید و لایسنس

پنج طرح ارتقای پالایشگاه‌های شازند اراک، بندرعباس، تبریز، لاوان و شیراز اولویت و ضرورت بیش‌تری نسبت به سایر طرح‌ها دارند. در جدول زیر مشخصات طرح‌های منتخب آمده است:

ارتقای ۵ پالایشگاه کشور با سرمایه‌گذاری ۳.۷ میلیارد دلاری			
ردیف	محل اجرای پروژه	نام طرح	سرمایه‌گذار
۱	پالایشگاه شازند اراک	طرح احداث واحد تولید کک سوزنی	شرکت ملی پالایش و پخش
۲	پالایشگاه بندرعباس	طرح ارتقا کیفیت محصولات سنگین با محوریت واحد کک سازی تأخیری	بانک رفاه کارگران
۳	پالایشگاه تبریز	طرح ارتقای کمی و کیفی فرآورده‌های تولیدی (کاهش تولید فرآورده‌های سنگین)	گروه گسترش نفت و گاز پارسیان
۴	پالایشگاه لاوان	طرح احداث واحد تقطیر در خلاء جدید پالایشگاه لاوان با فرض عدم تولید Vacuum Slops Wax	سازمان تأمین اجتماعی
۵	پالایشگاه شیراز	طرح ارتقای کیفی بنزین و گازوئیل و کاهش و کیفی سازی نفت کوره	گروه گسترش نفت و گاز پارسیان

فهرست مطالب

مقدمه.....	۱۱
فصل ۱. بررسی و ارزیابی انواع فرآیندهای تبدیلی پالایشگاهی.....	۱۳
۱-۱- لزوم توجه به فرآیندهای تبدیلی و سهم برش‌های مختلف نفتی در بازارها.....	۱۴
۲-۱- دسته‌بندی فرآیندهای تبدیلی پالایشگاهی.....	۱۶
۱-۲-۱- فرآیند شکست حرارتی.....	۱۷
۲-۲-۱- فرآیند شکست کاتالیستی.....	۲۶
۳-۲-۱- فرآیند هیدروکراکینگ.....	۵۰
۴-۲-۱- فرآیند هیدروکانورژن به منظور تبدیل نفت سنگین به سبک.....	۵۸
۳-۱- لایسنس‌های فرآیندهای تبدیلی FCC، RFCC و DCC.....	۶۱
۴-۱- مقایسه دو فرآیند شکست کاتالیستی بستر سیال و هیدروکراکینگ.....	۶۲
فصل ۲. بررسی انواع کک نفتی، فرآیندهای تولید کک نفتی و کاربردهای آن.....	۶۶
۱-۲- انواع فرآیندهای تولید کک نفتی.....	۶۶
۱-۱-۲- کک‌سازی تأخیری.....	۶۶
۲-۱-۲- کک‌سازی در بستر سیال.....	۶۸
۲-۲- انواع کک نفتی.....	۶۸
۳-۲- تاریخچه و فرآیندهای تولید کک سوزنی.....	۷۰
فصل ۳. بررسی پالایشگاه‌های نفت خام کشور و ارزیابی طرح‌های ارتقای آن‌ها.....	۷۴
۱-۳- بررسی پالایشگاه‌های نفت خام کشور.....	۷۴
۱-۱-۳- پالایشگاه نفت اصفهان.....	۷۵
۲-۱-۳- پالایشگاه نفت آبادان.....	۷۷
۳-۱-۳- پالایشگاه نفت بندرعباس.....	۸۲
۴-۱-۳- پالایشگاه نفت شازند اراک.....	۸۳
۵-۱-۳- پالایشگاه نفت تهران.....	۸۶
۶-۱-۳- پالایشگاه نفت تبریز.....	۸۷
۷-۱-۳- پالایشگاه نفت لاوان.....	۸۸
۸-۱-۳- پالایشگاه نفت شیراز.....	۹۱
۹-۱-۳- پالایشگاه نفت کرمانشاه.....	۹۳
۲-۳- ارزیابی صنعت پالایش نفت خام کشور.....	۹۵
۱-۲-۳- تنوع محصولات تولیدی.....	۹۵
۲-۲-۳- حجم تولید فرآورده‌های سنگین.....	۹۶
۳-۲-۳- شاخص پیچیدگی نلسون (NCI).....	۹۸
۴-۲-۳- کیفیت فرآورده‌های پالایشگاهی مطابق با استانداردهای جدید.....	۹۹

۱۰۱	۳-۲-۵- تناسب سبد محصولات پالایشی با تقاضا
۱۰۳	۳-۲-۶- کرک اسپرد پالایشگاه
۱۰۴	۳-۳-۳- ارزیابی طرح‌های ارتقای پالایشگاه‌های کشور ذیل قانون حمایت از توسعه صنایع پایین دستی.
۱۰۴	۳-۳-۱- طرح ارتقای پالایشگاه اصفهان
۱۰۵	۳-۳-۲- طرح ارتقای پالایشگاه بندرعباس
۱۰۶	۳-۳-۳- طرح ارتقای پالایشگاه شازند اراک
۱۰۶	۳-۳-۴- طرح ارتقای پالایشگاه تهران
۱۰۷	۳-۳-۵- طرح ارتقای پالایشگاه تبریز
۱۰۸	۳-۳-۶- طرح ارتقای پالایشگاه لاوان
۱۰۹	۳-۳-۷- طرح ارتقای پالایشگاه شیراز
۱۱۰	۳-۳-۸- طرح ارتقای پالایشگاه کرمانشاه
۱۱۲	۳-۳-۹- برآورد سرمایه مورد نیاز طرح‌های ارتقای پالایشگاه‌های نفت خام
۱۱۳	۳-۳-۱۰- معیارهای ارزیابی و انتخاب طرح‌های ارتقای پالایشگاه‌های نفت خام
۱۱۹	فصل ۴. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۱۲۵	منابع

فهرست جداول

۱۷	جدول ۱. تکنولوژی‌های واحدهای شکست پالایشگاهی
۴۶	جدول ۲. مقایسه بین شرایط کاری فرآیند FCC و HS-FCC
۶۱	جدول ۳. لایسنس شرکت‌های صاحب فناوری FCC، RFCC و DCC
۶۲	جدول ۴. نوع خوراک و میزان پروپیلن تولیدی در برخی از لایسنس‌ها
۷۱	جدول ۵. مشخصات کک سوزنی جهت تولید الکترودهای گرافیتی
۷۱	جدول ۶. مشخصات خوراک نفتی برای تولید کک سوزنی
۸۳	جدول ۷. فرآورده‌ها و ظرفیت‌های تولیدی پالایشگاه بندرعباس
۸۴	جدول ۸. فرآورده‌ها و ظرفیت‌های تولیدی پالایشگاه امام خمینی (ره) شازند اراک
۸۵	جدول ۹. محصولات ویژه تولیدی پالایشگاه امام خمینی (ره) شازند اراک
۹۸	جدول ۱۰. ظرفیت و تولید برش‌های سنگین پالایشگاه‌های کشور
۱۰۴	جدول ۱۱. مشخصات و سهامداران طرح ارتقاء کمیت و کیفیت پالایشگاه اصفهان
۱۰۴	جدول ۱۲. محصولات طرح احداث واحد ۸۱ هزار بشکه‌ای گوگردزدایی از تهماند برج‌های تقطیر پالایشگاه اصفهان
۱۰۵	جدول ۱۳. مشخصات و سهامداران طرح ارتقاء کمیت و کیفیت پالایشگاه بندرعباس
۱۰۵	جدول ۱۴. طرح ارتقاء کیفیت محصولات سنگین با محوریت واحد کک‌سازی تأخیری پالایشگاه بندرعباس
۱۰۶	جدول ۱۵. مشخصات و سهامداران طرح ارتقاء کمیت و کیفیت پالایشگاه شازند اراک
۱۰۶	جدول ۱۶. طرح احداث واحد تولید کک سوزنی در پالایشگاه شازند اراک
۱۰۶	جدول ۱۷. مشخصات و سهامداران طرح ارتقاء کمیت و کیفیت پالایشگاه تهران
۱۰۷	جدول ۱۸. محصولات طرح احداث واحد سولفورزدایی از نفت کوره پالایشگاه تهران

- جدول ۱۹. محصولات طرح احداث واحدهای تصفیه نفتای سنگین، CCR اتان زدایی از گاز مایع پالایشگاه تهران ۱۰۷
- جدول ۲۰. مشخصات و سهامداران طرح ارتقاء کمیت و کیفیت پالایشگاه تبریز ۱۰۷
- جدول ۲۱. محصولات طرح ارتقای کمی و کیفی فرآورده‌های تولیدی (کاهش تولید فرآورده‌های سنگین) پالایشگاه تبریز ۱۰۸
- جدول ۲۲. مشخصات و سهامداران طرح ارتقاء کمیت و کیفیت پالایشگاه لاوان ۱۰۸
- جدول ۲۳. محصولات طرح احداث واحد تقطیر در خلاء جدید پالایشگاه لاوان با فرض عدم تولید Vacuum Slops Wax ۱۰۹
- جدول ۲۴. مشخصات و سهامداران طرح ارتقاء کمیت و کیفیت پالایشگاه شیراز ۱۰۹
- جدول ۲۵. محصولات طرح کاهش و کیفی‌سازی نفت کوره پالایشگاه شیراز ۱۰۹
- جدول ۲۶. محصولات طرح ارتقاء کیفی گازوئیل (واحد DHT و واحدهای جانبی) پالایشگاه شیراز ۱۱۰
- جدول ۲۷. محصولات طرح ارتقاء کیفی بنزین (ایزومریزاسیون نفتای سبک) پالایشگاه شیراز ۱۱۰
- جدول ۲۸. مشخصات و سهامداران طرح ارتقاء کمیت و کیفیت پالایشگاه کرمانشاه ۱۱۰
- جدول ۲۹. محصولات طرح احداث واحدهای کیفی‌سازی پالایشگاه کرمانشاه ۱۱۱
- جدول ۳۰. جزئیات طرح‌های ارتقاء کمیت و کیفیت فرآورده‌های پالایشگاه‌های کشور ۱۱۲
- جدول ۳۱. طرح‌های منتخب ارتقاء کمیت و کیفیت فرآورده‌های پالایشگاهی ۱۲۴

فهرست اشکال

- شکل ۱. مشخصات برش‌های وارده به واحدهای تبدیلی پالایشگاهی ۱۴
- شکل ۲. سهم برش‌های مختلف نفتی در بازارهای مختلف ۱۴
- شکل ۳. برش‌های سنگین به عنوان خوراک واحدهای تبدیلی ۱۵
- شکل ۴. مشخصات محصولات تولیدی در فرآیندهای شکست حرارتی ۱۸
- شکل ۵. استراتژی تولید نفت کوره سنگین از باقی‌مانده برش و کیوم بدون Visbreaking ۱۹
- شکل ۶. تکنولوژی‌های فرآیند Visbreaking ۲۰
- شکل ۷. محصولات واحد visbreaking ۲۱
- شکل ۸. تاثیر فرآیند Visbreaking بر روی کاهش نفت کوره ۲۱
- شکل ۹. شماتیک فرآیند ککینگ تأخیری ۲۳
- شکل ۱۰. فرآورده‌های ککینگ تأخیری ۲۴
- شکل ۱۱. مشخصات تکنولوژی FCC از دسته فرآیند شکست کاتالیستی ۲۶
- شکل ۱۲. مشخصات تکنولوژی FCC و محصولات تولیدی ۲۷
- شکل ۱۳. واحد رایزر-راکتور (سمت راست) و احیاگر (سمت چپ) FCC شرکت UOP ۳۱
- شکل ۱۴. جریان پالایشی خوراک ورودی یک واحد FCC ۳۲
- شکل ۱۵. مقایسه محصولات یک واحد FCC معمولی از کل خوراک ورودی به این واحد ۳۳
- شکل ۱۶. قابلیت تغییر درصد بنزین و پروپیلین تولیدی از FCC با تغییر شرایط کاری توسط شرکت UOP ۳۴
- شکل ۱۷. آمار واحدهای RFCC ساخته شده در دنیا توسط شرکت Shawn and Webster تا سال ۲۰۰۴ ۳۷
- شکل ۱۸. نمونه اول از جریان پالایشی خوراک ورودی واحد RFCC ۳۸
- شکل ۱۹. نمونه دوم از جریان پالایشی خوراک ورودی واحد RFCC ۳۹
- شکل ۲۰. شکل، مقایسه بین فلزات مهم در نفت‌های مختلف ۴۰
- شکل ۲۱. احیاگر بهینه با یک یا دو مرحله احتراق برای نفت ایران ۴۱

- شکل ۲۲. شماتیک واحد R2R شرکت اکسنس در پالایشگاه اونسان کره جنوبی..... ۴۲
- شکل ۲۳. لیست پالایشگاه‌های دارای واحد شکست کاتالیستی عمیق تا سال ۲۰۱۳ در کل دنیا..... ۴۴
- شکل ۲۴. نمایی از روند توسعه تکنولوژی HS-FCC..... ۴۵
- شکل ۲۵. عکس واقعی از نمونه ۳۰ بشکه‌ای فرآیند HS-FCC..... ۴۶
- شکل ۲۶. تاثیر نسبت کاتالیست به هیدروکربن بر مقدار تبدیل و تولید گاز خشک در فرآیند HS-FCC..... ۴۷
- شکل ۲۷. مقایسه بین مقدار گاز خشک، مجموع محصولات الفینی و بنزین و مقدار تبدیل بین دو فرآیند FCC و HS-FCC..... ۴۸
- شکل ۲۸. تقابل بین تولید بنزین و محصولات الفینی حداکثری در فرآیند HS-FCC..... ۴۹
- شکل ۲۹. شماتیک از هیدروکراکینگ یک مرحله‌ای..... ۵۳
- شکل ۳۰. شماتیکی از هیدروکراکینگ دو مرحله‌ای..... ۵۳
- شکل ۳۱. شماتیکی از کراکینگ هیدروژنی با بستر سیال..... ۵۴
- شکل ۳۲. محصولات فرآیند H-OIL با استفاده از باقی‌مانده برج خلا نفت عربستان..... ۵۵
- شکل ۳۳. خوراک و محصولات فرآیند Uniflex از شرکت UOP..... ۵۶
- شکل ۳۴. چگونگی استفاده از فرآیند هیدروکراکینگ در واحدهای پتروپالایشگاهی..... ۵۷
- شکل ۳۵. نمونه پیلوت واحد هیدروکانورژن..... ۶۰
- شکل ۳۶. مقایسه دامنه خوراک بین فرآیندهای مختلف..... ۶۳
- شکل ۳۷. مقایسه شرایط دما و فشار بین فرآیندهای مختلف..... ۶۳
- شکل ۳۸. مقایسه روند مجموع ظرفیت واحدهای شکست کاتالیستی بستر سیال و هیدروکراکینگ طی چند دهه اخیر در آمریکا..... ۶۴
- شکل ۳۹. مقایسه تغییر مجموع ظرفیت واحدهای مختلف طی چند سال اخیر در اروپا..... ۶۵
- شکل ۴۰. شمای کلی فرآیند کک‌سازی تأخیری..... ۶۷
- شکل ۴۱. طبقه‌بندی کک‌های نفتی با توجه به گرید، شکل فیزیکی و کاربرد..... ۶۹
- شکل ۴۲. دیاگرام اختلاط برش‌های نفتی پالایشگاه جهت تولید خوراک مناسب برای واحدهای کک‌سازی تأخیری با هدف تولید کک سوزنی..... ۷۳
- شکل ۴۳. هدف فرآیند RCD..... ۱۰۰

فهرست نمودارها

- نمودار ۱. دسته‌بندی فرآیندهای تبدیلی پالایشگاهی..... ۱۶
- نمودار ۲. ظرفیت کل واحدهای FCC در نقاط مهم دنیا در سال ۲۰۱۲..... ۲۸
- نمودار ۳. سهم روش‌های مختلف در تولید بنزین دنیا..... ۲۹
- نمودار ۴. سهم روش‌های مختلف در تولید پروپیلن دنیا..... ۳۰
- نمودار ۵. مقایسه ظرفیت برخی واحدهای RFCC در کشورهای مختلف دنیا با ایران..... ۳۵
- نمودار ۶. درصد بازدهی فرآورده‌های اصلی پالایشگاه اصفهان..... ۷۶
- نمودار ۷. درصد بازدهی فرآورده‌های پالایشگاه آبادان..... ۷۹
- نمودار ۸. درصد بازدهی فرآورده‌های پالایشگاه بندرعباس..... ۸۳
- نمودار ۹. درصد بازدهی فرآورده‌های اصلی پالایشگاه شازند اراک..... ۸۵
- نمودار ۱۰. درصد بازدهی فرآورده‌های اصلی پالایشگاه تهران..... ۸۶
- نمودار ۱۱. درصد بازدهی فرآورده‌های اصلی پالایشگاه تبریز..... ۸۸

- نمودار ۱۲. درصد بازدهی فرآورده‌های اصلی پالایشگاه لاوان..... ۸۹
- نمودار ۱۳. درصد بازدهی فرآورده‌های پالایشگاه شیراز..... ۹۲
- نمودار ۱۴. درصد بازدهی فرآورده‌های پالایشگاه کرمانشاه..... ۹۴
- نمودار ۱۵. درآمد سالیانه حاصل از فروش نفت خام..... ۹۶
- نمودار ۱۶. محصولات تولیدی صنعت پالایش در جهان..... ۹۷
- نمودار ۱۷. محصولات تولیدی صنعت پالایش در ایران..... ۹۷
- نمودار ۱۸. مقایسه ظریب پیچیدگی پالایشگاه‌های کشور با متوسط پالایشگاه‌های کویت و آمریکا..... ۹۹
- نمودار ۱۹. نحوه تغییر سید مصرف محصولات سوختی در ایران..... ۱۰۱
- نمودار ۲۰. مقایسه سرانه ظرفیت پالایش..... ۱۰۲
- نمودار ۲۱. میزان کرک اسپرد پالایشگاه‌های کشور..... ۱۰۳
- نمودار ۲۲. محورهای اصلی مطالعات بازار و مطالعات فنی طرح‌های نفت، گاز و پتروشیمی..... ۱۱۴