پتروپالایش: نوآوری در صنعت پالایش نفت

مهدی احمدی مروست [۱*]
[۱] دانشیار، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران
نوع مقاله: **ترویجی**
دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵

چکیده

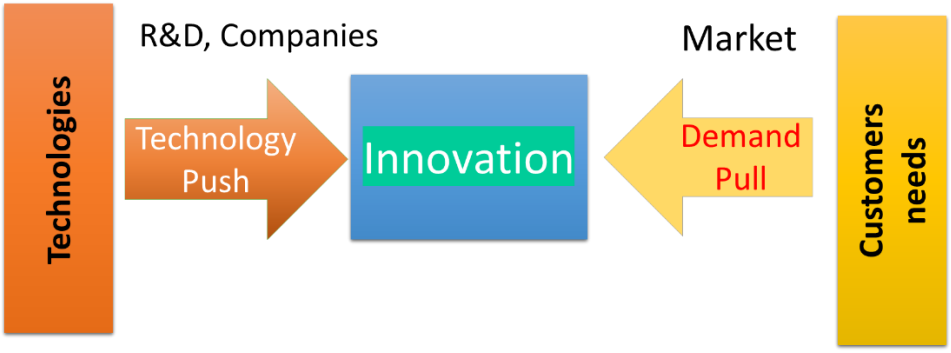
نوآوری در صنعت پالایش نفت منجر به خلق واژه جدیدی به نام پتروپالایشگاه شده است. پتروپالایشگاه‌ها تکامل صنعت پالایش نفت در برابر عوامل بیرونی فشار فناوری و نیاز بازار است. در این مقاله، خلق نوآوری پتروپالایشگاه از منظر این عوامل در بعد ملی و بین‌المللی بررسی شده است. عوامل اصلی نیاز بازار در سطح بین‌المللی شامل الزامات گذار انرژی، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و ارزش‌افزوده بیش‌تر تولید محصولات پتروشیمیایی به‌تفصیل بررسی شده است. در سطح ملی نیز، لزوم کنترل طرف تقاضای انرژی و دلایل مصرف بی‌رویه انرژی در ایران بررسی گردیده است. همچنین نقش میزان بالای تقاضای انرژی در تغییر ماهیت صنعت پالایش از یک صنعت سودمحور به صنعت سوخت محور موردتوجه قرار گرفته است. نقش یارانه‌های انرژی در سوق دادن صنعت پالایش به صنعت سوخت محور نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. از منظر فشار فناوری، دستاوردهای حاصل بین‌المللی در حوزه پتروپالایشگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. فناوری‌های توسعه داده شده در این زمینه نشان می‌دهد این فناوری‌ها نقشی کلیدی در آینده صنعت پتروپالایشگاهی ایفا خواهند کرد. در انتها نسل‌های متفاوت پتروپالایشگاه‌ها و وضعیت واحدهای پتروپالایشگاهی در دنیا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: پتروپالایشگاه، نوآوری، فشار فناوری، نیاز بازار

* ahmadim@ripi.ir

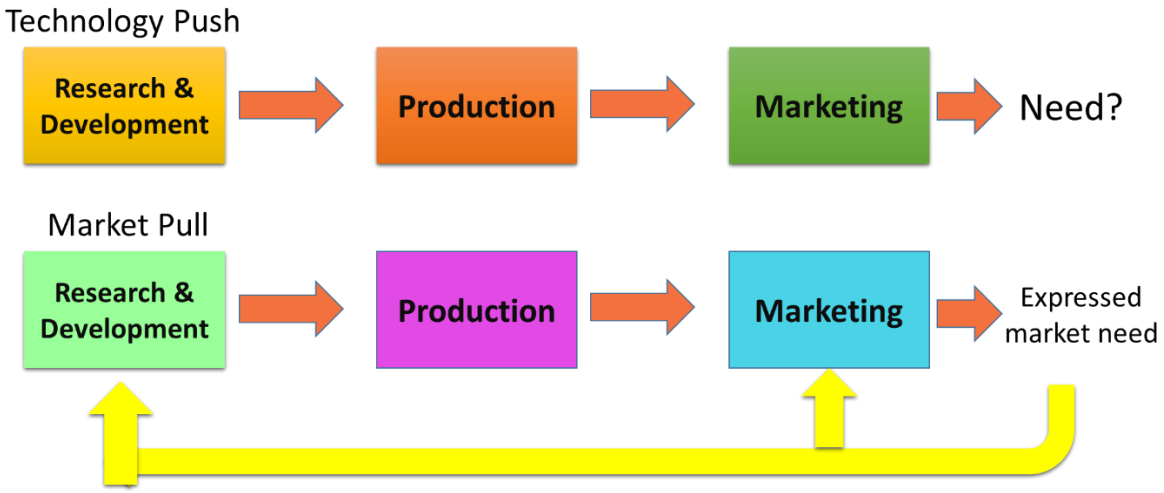
مقدمه

نوآوری، فرآیندی پیوسته است که طبق تعریف سازمان همکاری و توسعه اقتصادی«OECD» ، عبارت است از «پیاده‌سازی یا بهبود شاخص یک محصول (کالا یا خدمات) یا فرآیند، یک روش جدید بازاریابی، یا یک روش سازمانی جدید در امور کسب‌وکار، محیط کاری یا روابط خارج سازمانی» [۱]. محرک‌های اصلی نوآوری «نیاز بازار» و «فشار فناوری» هستند. به‌عبارت‌دیگر، نوآوری حاصل یکی از محرک‌های «فشار فناوری» یا «نیاز بازار» است (شکل ۱).



شکل ۱- خلق نوآوری و محرک‌های آن

زنجیره خلق نوآوری بر اساس محرک‌های فوق در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نوآوری با تحریک یکی از عوامل مؤثر در آن به وجود می‌آید. در مسیر «فشار فناوری»، دانشمندان بر اساس تجربیات فناورانه قبلی، به توانایی تولید محصول یا خدمات جدید نوآورانه‌ای می‌رسند که با بازاریابی، منجر به کشف نیازی در جامعه می‌شود. در زنجیره «نیاز بازار»، نوعی نیاز از طرف مصرف‌کنندگان اعلام می‌شود و این نیاز در صورت تأیید موجودی بازار مناسب، به تیم پژوهش و توسعه منتقل شده و آن‌ها برای رفع این نیاز، به خلق نوآوری اقدام می‌نمایند.



شکل ۲- زنجیره خلق نوآوری

گوشی‌های همراه، مثالی از «فشار فناوری» در خلق نوآوری است (شکل ۳). طی دو دهه گذشته، با توسعه فناوری در ساخت قطعات الکترونیک، دانشمندان به قابلیت ساخت قطعات الکترونیکی مورد استفاده در گوشی‌های همراه با ابعاد کوچک و کوچک‌تر دست یافتند و این امر منجر به تولید گوشی‌های کوچک و کوچک‌تر طی دو دهه گذشته شده

است. این امر تا حدی پیشرفت داشت که کوچک شدن بیش‌ازحد گوشی‌ها دیگر موردنیاز نبود و لذا این نوآوری در مقطعی متوقف و به تولید بر اساس نیاز بازار برگشت.

مثالی از «نیاز بازار» در خلق نوآوری، دوربین‌های عکاسی هستند. در زمان‌های نه‌چندان دور، دوربین‌های عکس‌برداری موجود دوربین‌هایی بودند که نیاز به حلقه فیلم برای چاپ عکس داشتند. از مشکلات این سیستم‌ها تعداد محدود عکس در هر حلقه فیلم، عدم امکان ویرایش عکس پس از عکاسی و زمان‌بر بودن چاپ عکس بود. نیاز بازار برای رفع این مشکلات به توسعه فناوری دوربین‌های دیجیتال منجر شد (شکل ۴).

شکل ۳- گوشی همراه، مثالی از فشار فناوری در زنجیره نوآوری

شکل ۴- دوربین عکاسی، مثالی از نیاز بازار در زنجیره نوآوری [۲]

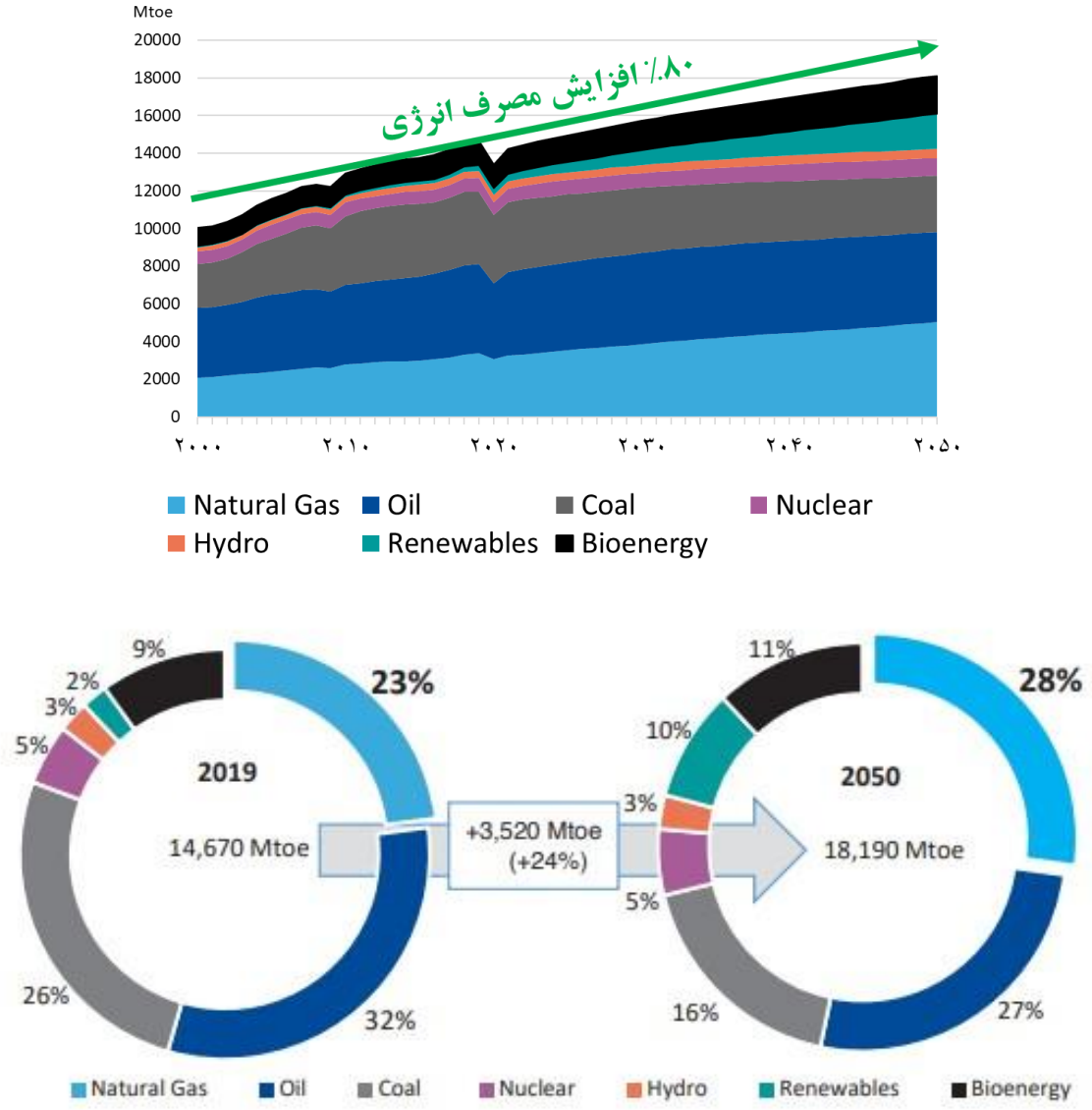
در موضوع نوآوری پتروپالایشگاه، این محرک‌ها به‌صورت هم‌زمان عمل نموده به‌نحوی‌که نیاز به نوآوری در زمینه پتروپالایشگاه‌ها، هم از طرف بازار و هم از طرف فناوری مورد حمایت قرار گرفته است. در ادامه این محرک‌ها را بیش‌تر بررسی می‌کنیم.

نیاز بازار در خلق نوآوری پتروپالایشگاه

نیاز بازار یکی از مؤلفه‌های مهم جهت ترغیب ایجاد نوآوری پتروپالایشگاه بوده است. در این قسمت، نیاز بازار در این زمینه را از دو منظر نیازهای جهانی و نیاز ملی بررسی می‌کنیم:

نیاز بازار در بعد جهانی

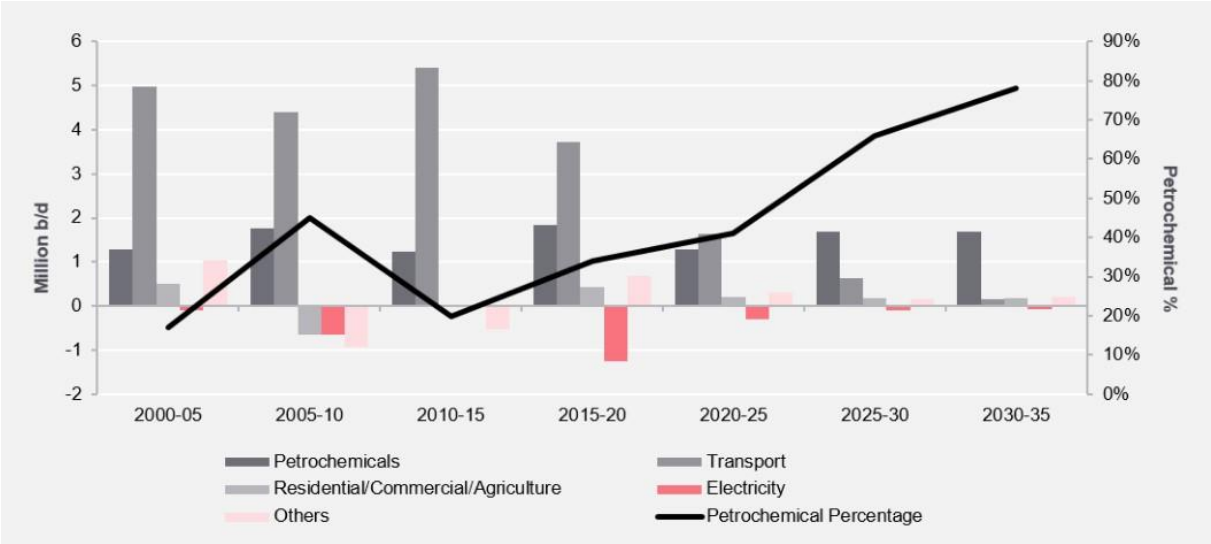
گذار انرژی[1] و الزامات آن در کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی، چشم‌انداز عرضه و تقاضای انرژی را در سطح جهانی دستخوش تغییر کرده است. بر اساس گزارش منتشر شده دبیرخانه مجمع کشورهای صادرکننده گاز، تقاضای جهانی انرژی با روندی صعودی از ۱۴۶۷۰ معادل میلیون تن نفت در سال ۲۰۱۹ به ۱۸۲۰۰ میلیون تن نفت در سال ۲۰۵۰ می‌رسد (شکل ۵) [۳]. بااین‌حال، سهم سوخت‌های فسیلی (نفت، گاز و زغال‌سنگ) در ترکیب سبد انرژی جهان از ۸۱ درصد در سال ۲۰۱۹ به ۷۱ درصد در سال ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد. تا سال ۲۰۵۰ گاز طبیعی با سهمی بالغبر ۲۸ درصد و پس‌ازآن نفت خام با ۲۷ درصد و زغال‌سنگ با ۱۶ درصد به ترتیب بیش‌ترین سهم را در ترکیب تقاضای انرژی جهان خواهند داشت. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با در نظر گرفتن انرژی‌های نو، برق‌آبی و بیوماس تا سال ۲۰۵۰ نزدیک دو برابر شود و از ۱۴ درصد در سال ۲۰۱۹ به ۲۴ درصد در سال ۲۰۵۰ افزایش یابد.



شکل ۵- چشم‌اندازهای عرضه و تقاضای انرژی در جهان [۳]

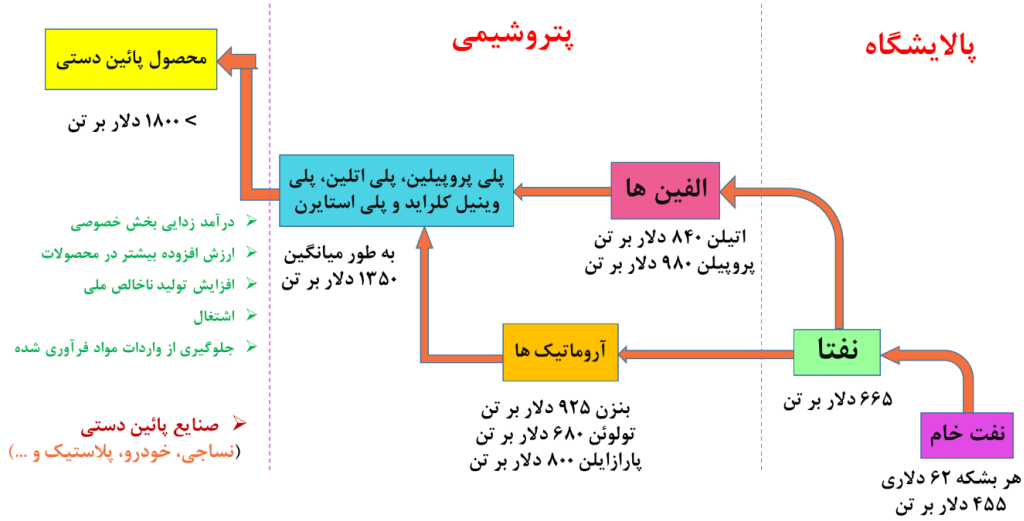
[1] Energy transition

کاهش سهم نفت در سبد انرژی از ٪۳۲ در سال ۲۰۱۹ به ٪۲۷ در سال ۲۰۵۰، یکی از محرک‌های «نیاز بازار» در حوزه پتروپالایشگاهی است. از طرفی، نگاهی به نحوه فراورش نفت در صنعت پالایش نشان می‌دهد سهم تولید فرآورده‌های سوختی از نفت مازاد تولیدی از سال ۲۰۰۰ به بعد، پیوسته رو به کاهش است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد در بازه ۵ ساله ۲۰۳۰ تا ۲۰۳۵ نفت مازاد تولیدی به نحوی پالایش خواهد شد که سهم فرآورده‌های سوختی در آن کم‌ترین خواهد بود و ٪۸۰ نفت خام پالایش شده به محصولات پتروشیمیایی تبدیل خواهد شد (شکل ۶) [۴].



شکل ۶- روند و پیش‌بینی تغییر سهم فرآورده‌های نفتی از میزان نفت اضافی پالایش شده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۵[۴]

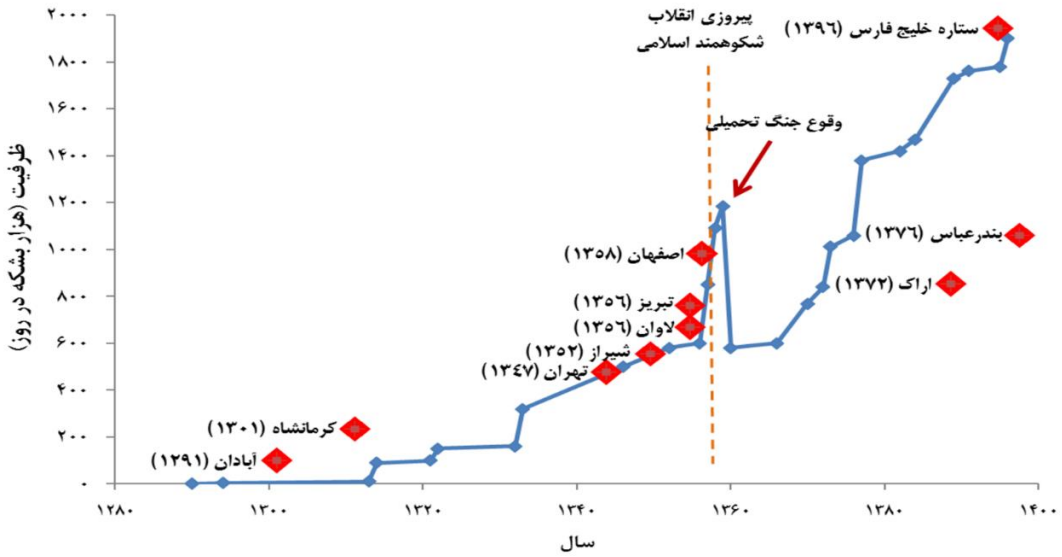
یکی دیگر از محرک‌های «نیاز بازار»، ارزش‌افزوده بیش‌تر تولید محصولات پتروشیمیایی و پلیمری نسبت به مواد سوختی است. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود ارزش‌افزوده پالایش هر بشکه نفت با حرکت در ادامه زنجیره ارزش از پالایش به پتروشیمی و صنایع پایین‌دستی آن به نحو چشم‌گیری افزایش می‌یابد. با توجه به این شکل، مشخص است در صورت تکمیل زنجیره ارزش صنعت پالایش به پتروپالایش، ارزش محصولات تولیدی به حدود سه برابر افزایش می‌یابد که اثر چشم‌گیری در بهبود پارامترهای اقتصادی مجتمع خواهد داشت. این حجم بالای ارزش‌افزوده، به‌سختی بتواند توسط سرمایه‌گذاران نادیده گرفته شود.



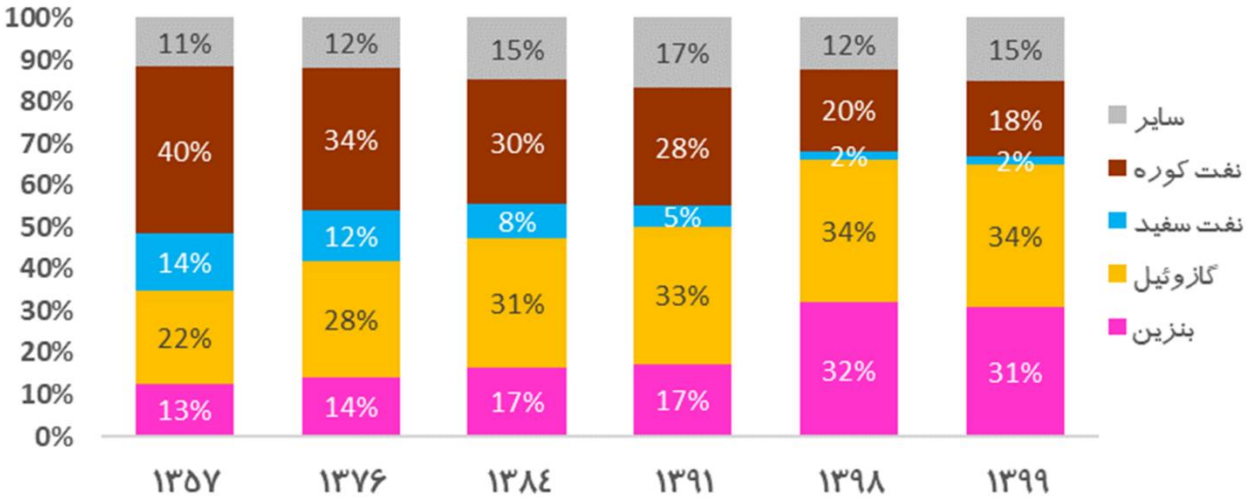
شکل ۷- ارزش‌افزوده یک بشکه نفت در زنجیره پتروپالایش [۵]

نیاز بازار در بعد ملی

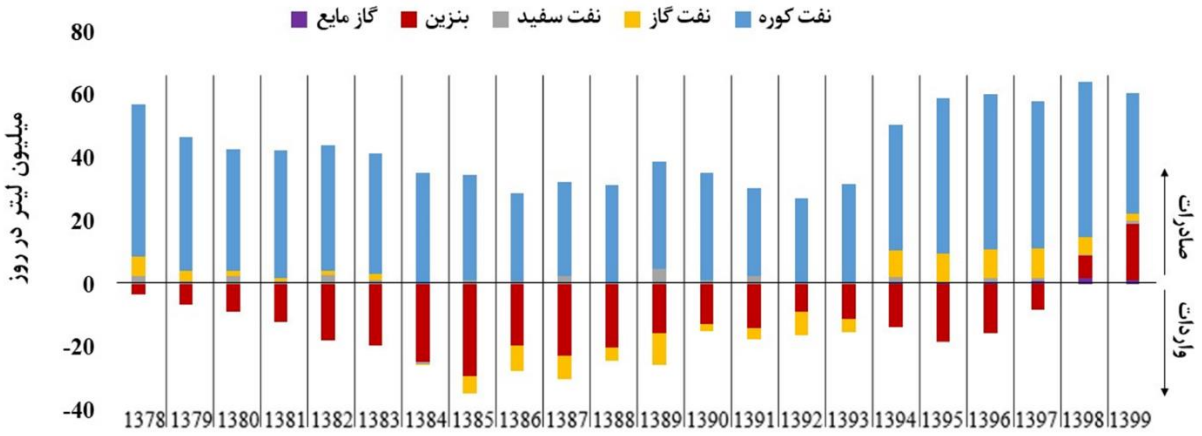
با توجه به شـرایط خاص صنعت پالایش کشور، برخی نیازهای بازار داخلی نیز جزء محرک‌های اصلی توسعه صنعت پتروپالایش است. صنعت پالایش نفت کشور با احداث پالایشگاه آبادان در سال ۱۲۹۱ شروع بکار نموده است. به غیر از پالایشـگاه‌های کوچک بخش خصـوصـی، هم‌اکنون ده پالایشـگاه عظیم در کشـور در حال کار هستند (شکل ۸). حرکت رو به رشـد این صـنعت را پس از پیروزی انقلاب اسـلامی می‌توان با تغییر در سبد محصولات پالایش کشور مشـاهده کرد (شـکل ۹). مشاهده می‌شود سهم محصولات با ارزش‌افزوده پایین (نفت کوره و سایر محصولات) طی سـال‌های پس از انقلاب به‌صـورت مسـتمر کاهش یافته است. این در حالی است که سهم بنزین و گازوئیل به‌عنوان محصـولات با ارزش‌افزوده بالا در سـبد محصولات پالایشگاه‌های کشور افزایش چشمگیری داشته است. بررسی روند تجارت هر یک از محصـولات پالایشی نیز نشان دهنده افزایش سهم محصولات با ارزش نفتی در کسب درآمد ارزی برای کشـور اسـت (شـکل ۱۰). کاهش سهم نفت کوره در درآمدهای ارزی و افزایش سهم بنزین و گازوئیل در این سـبد، مؤید عملکرد شایسته صنعت پالایش نفت کشور است. بررسی سود خالص یک‌ساله شرکت‌های پالایشی فعال در بازار سـرمایه نیز نشـان دهنده وضعیت مناسب این صنعت است. شش شرکت از بین ده شرکت پالایشی در بازار سرمایه حضور دارند. شکل ۱۱ سود خالص شرکت‌های پالایش نفت حاضر در بازار سرمایه را در یک سال منتهی به آبان ۱۴۰۰ نشان می‌دهد.



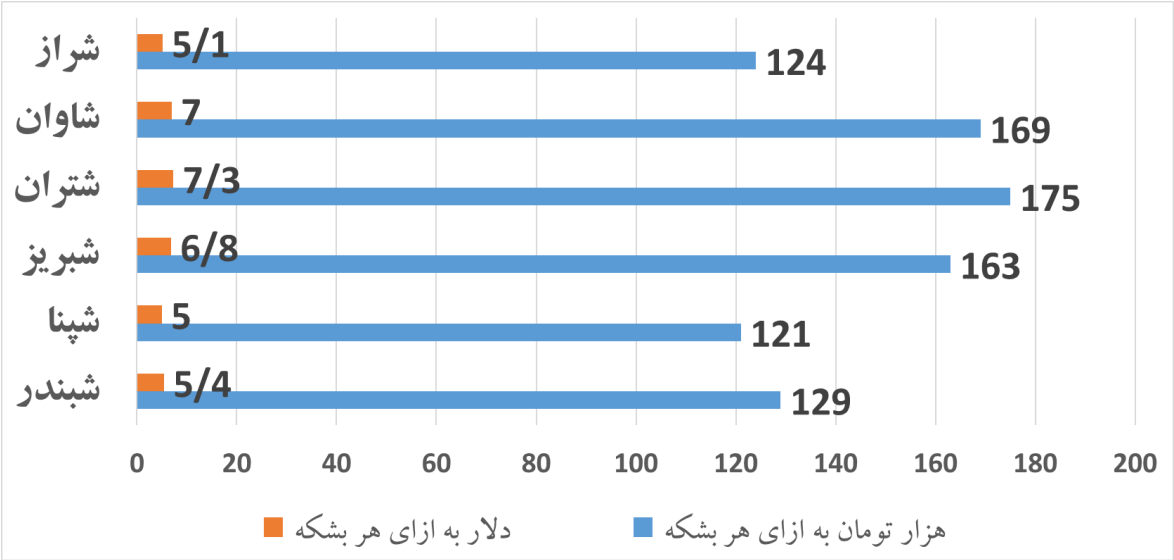
شکل ۸- روند افزایش ظرفیت پالایش نفت و میعانات گازی در کشور [۶]



شکل ۹- تغییرات در سبد محصولات پالایشی کشور [۶]

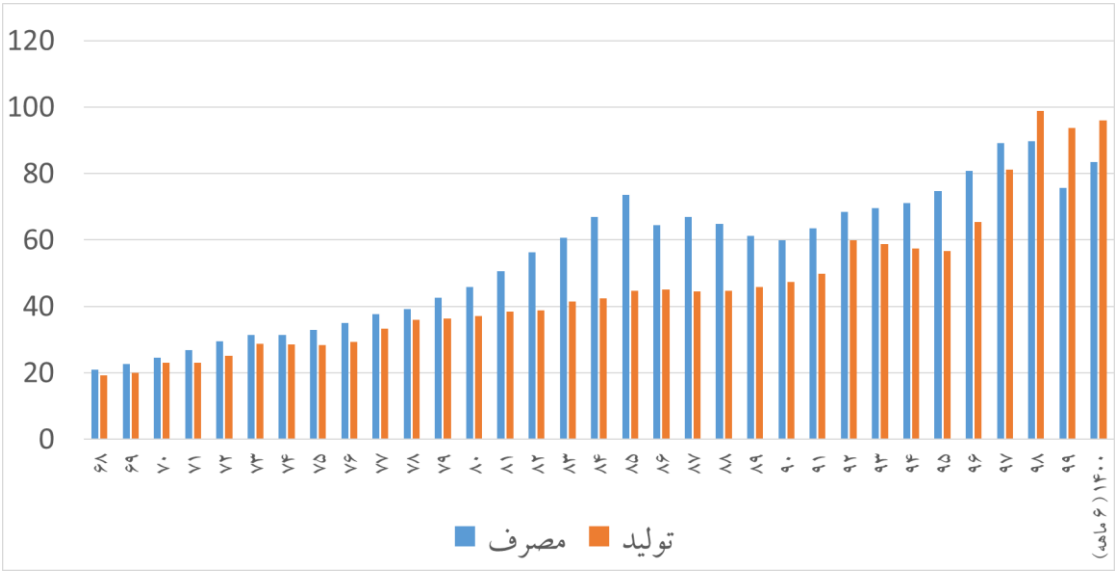


شکل ۱۰- روند تجارت هر یک از فراورده‌های نفتی کشور [۶]

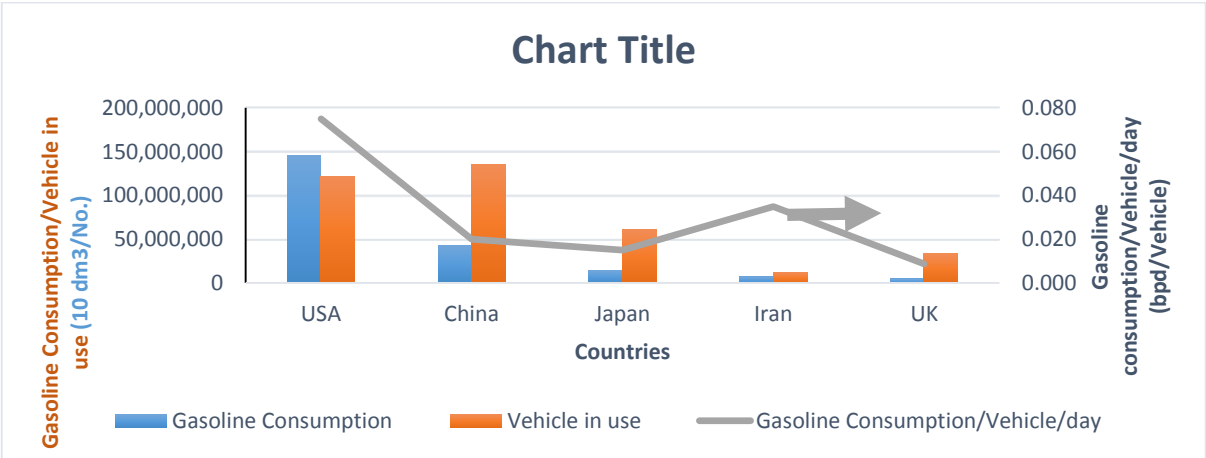


شکل ۱۱- سود خالص شرکت‌های پالایشی در یک سال اخیر (منتهی به آبان ۱۴۰۰) [۷]

باوجود دستاوردهای شایان توجه صنعت پالایش نفت کشور، میزان مصرف بالای فرآورده‌های سوختی و عدم مدیریت تقاضا؛ که خارج از حیطه تصمیم‌گیری متولیان مستقیم صنعت پالایش نفت است موجب شده است تا این صنعت، نتواند حداکثر میزان توانایی خود را در سودآوری و ارزآوری ایفا نماید. مصرف بی‌رویه بنزین یکی از نمونه‌های شاخص عدم مدیریت تقاضا در کشور است. اطلاعات تولید و مصرف بنزین در کشور نشان می‌دهد، علیرغم توفیق شرکت ملی پالایش و پخش در افزایش سریع تولید بنزین در کشور، علی‌الخصوص در طی چند سال اخیر، مصرف بالای بنزین در کشور به‌گونه‌ای است که تولید همواره تحت سیطره مصرف بالای بنزین است (شکل ۱۲). این در حالی است که ایران، پس از آمریکا بیش‌ترین میزان متوسط مصرف بنزین به ازای هر خودرو را در دنیا به خود اختصاص داده است (شکل ۱۳). لازم به ذکر است آمریکا با اختلاف بسیار، بیش‌ترین مصرف‌کننده بنزین در سطح دنیا است.



شکل ۱۲- تولید و مصرف بنزین کشور [۶]



شکل ۱۳- مقایسه آمار برخی از کشورها در سال ۲۰۱۵ بر اساس: میزان مصرف بنزین [۸] تعداد خودروهای در حال کار [۹] و نسبت مصرف بنزین به ازای هر خودرو

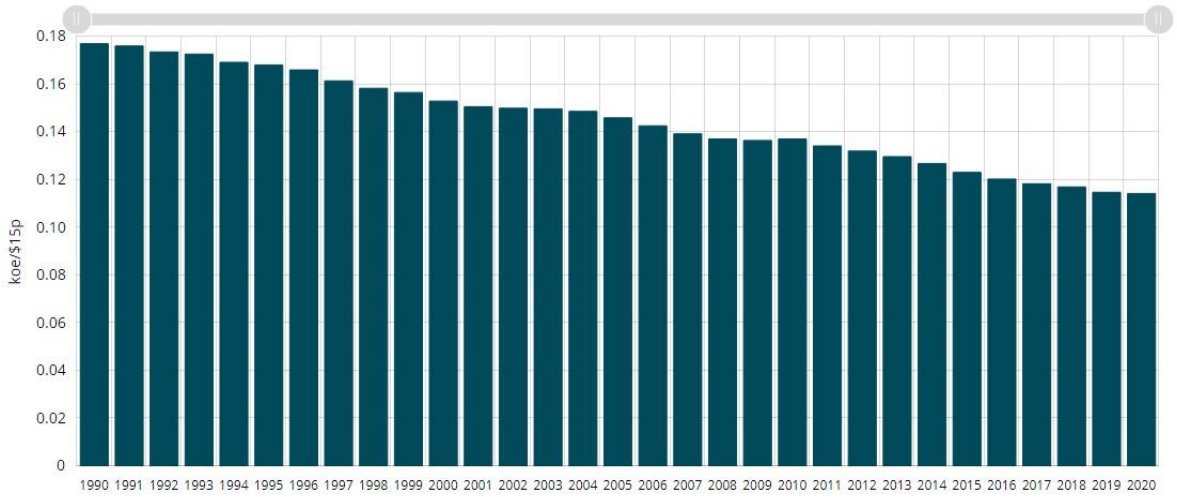
این مصرف بی‌رویه وزارت نفت را بر آن داشت تا حداقل تولید بنزین مورد نیاز را برای سال‌های آتی به شیوه جدول یک پیش‌بینی نماید. بر این اساس (عدم مدیریت تقاضای سوخت در کشور)، حداقل بنزین مورد نیاز در سال ۱۴۲۰ برابر ۱۶۰ میلیون لیتر در روز تخمین زده شده است. تأمین این میزان سوخت بنزین تا سال ۱۴۲۰ بدین معناست که صنعت پالایش نفت کشور می‌باید باز هم با چشم‌پوشی از سودآوری، تنها به دنبال تأمین سوخت باشد و میزان زیادی از پتانسیل این صنعت برای ارزش‌افزوده بیش‌تر و کمک به بهبود فضای کسب‌وکار و افزایش رفاه مملکت، در پی تولید سوخت از بین برود.

جدول ۱- ابلاغیه وزارت نفت برای حداقل تولید پالایشـــی تا افق ۱۴۲۰ [۶]

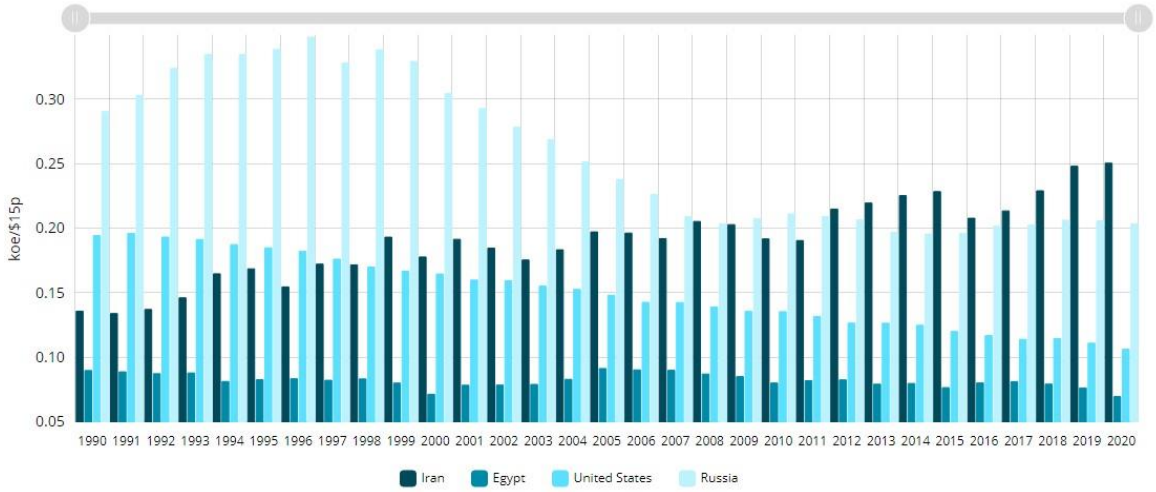
شرح	سال ۱۴۰۵	سال ۱۴۱۰	سال ۱۴۲۰
بنزین (میلیون لیتر در روز)	۱۲۵	۱۳۰	۱۶۰

جایگاه ایران در مصرف انرژی

همان‌طور که در بخش قبلی توضیح داده شد، مصرف بالای بنزین صنعت پالایش نفت را به صنعتی سوخت محور، بجای صنعت سودمحور تبدیل کرده است. مشاهده شد ایران در مصرف بنزین به ازای هر خودرو، رتبه دوم دنیا را دارد که این میزان مصرف با حجم اقتصاد کشور ما همخوانی ندارد. با نگاهی کلی‌تر به مصرف انرژی در ایران، می‌توان بهره‌وری پایین انرژی را در کشور مشاهده کرد. شاخص شدت انرژی، مهم‌ترین معیار ارزیابی بهره‌وری انرژی در بین کشورها است. بر اساس اطلاعات، متوسط جهانی این شاخص در طی سالیان گذشته در جهت بهره‌وری طی سالیان گذشته به‌صورت مداوم در حال کاهش است (شکل ۱۴). اگر وضعیت شاخص شدت انرژی را برای ایران و چند کشور نمونه مقایسه نماییم، ملاحظه می‌شود این شاخص در طی سالیان گذشته، برای ایران در حال افزایش مستمر بوده است. این در حالی است که روند حرکتی شاخص برای کشورهای منتخب و متوسط جهانی در حال کاهش بوده است (شکل ۱۵).

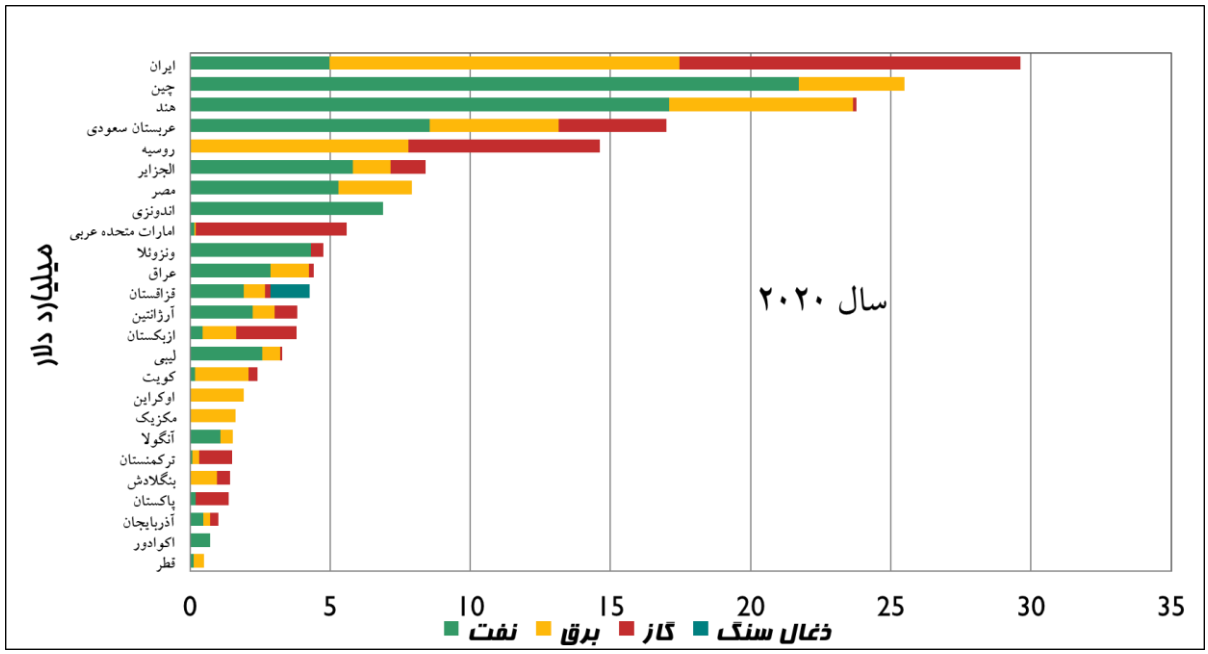


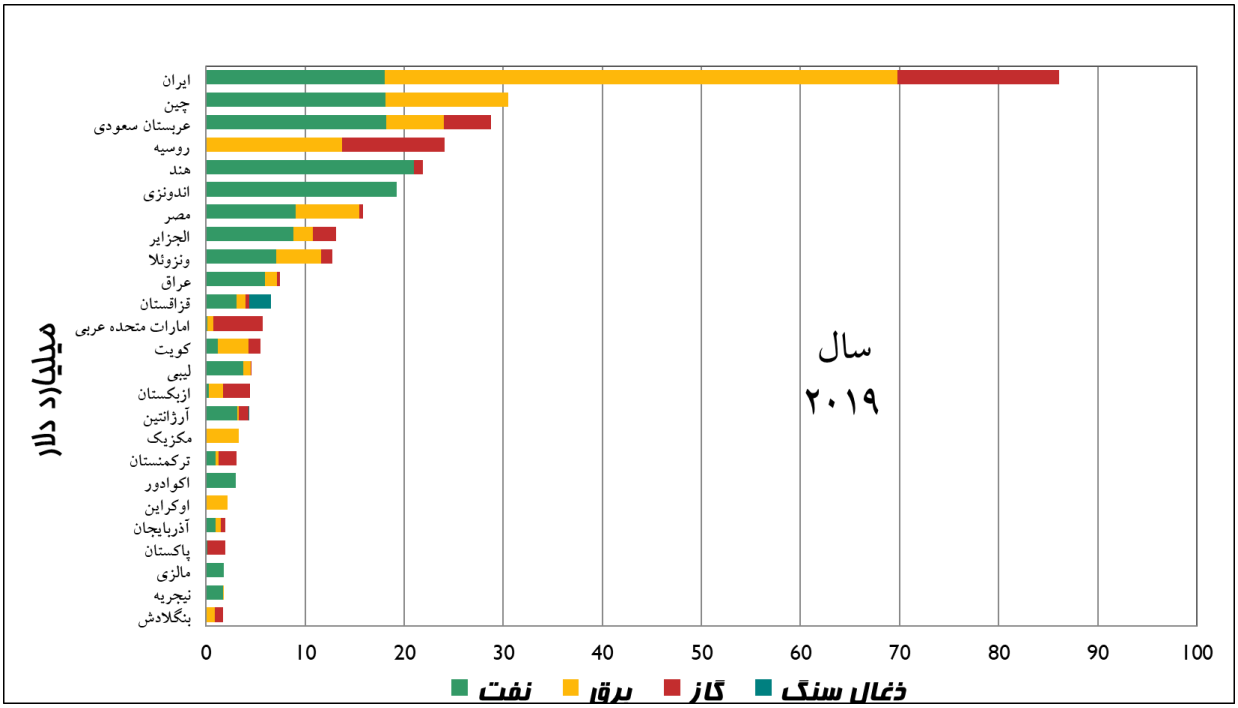
شکل ۱۴- روند تغییر متوسط شاخص شدت انرژی در دنیا [۱۰]



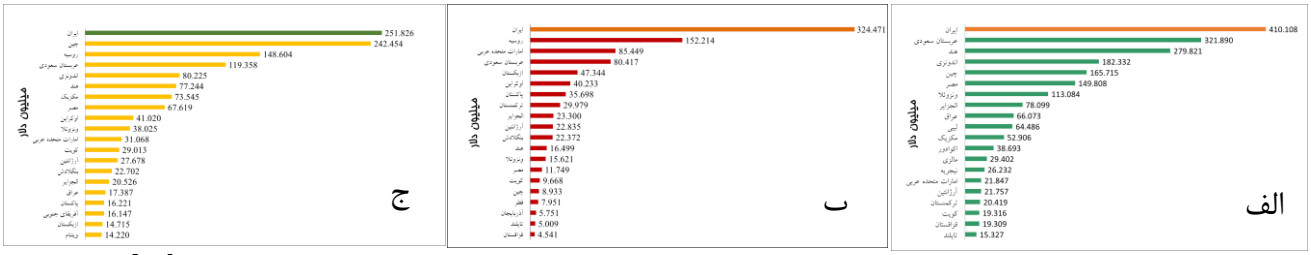
شکل ۱۵- روند تغییر شاخص شدت انرژی در ایران، مصر، آمریکا و روسیه [۱۰]

برای بررسی جزئی‌تر وضعیت مصرف انرژی در ایران، میزان یارانه‌های پرداختی در ایران مورد بررسی قرار گرفت. یارانه پرداختی به انرژی در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۱۹ نشان می‌دهد ایران بالاترین میزان پرداخت یارانه در دنیا را به خود اختصاص داده است (شکل ۱۶). این میزان در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به ترتیب برابر ۸۶ و ۲۸ میلیارد دلار بوده است. نظر به صادرات معادل ۳۱,۷ میلیارد دلاری ایران در سال ۲۰۱۹ [۱۱]، این میزان یارانه انرژی معادل حدوداً سه برابر کل صادرات ایران در این سال بوده است. این در حالی است که کشور چین با جمعیتی ۱,۴ میلیارد نفری، میزان یارانه کم‌تری نسبت به ایران پرداخت می‌نماید. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، ایران بیش‌ترین مجموع کل یارانه پرداختی در هر یک از حامل‌های انرژی شامل نفت، گاز و برق را داشته است (شکل ۱۷).





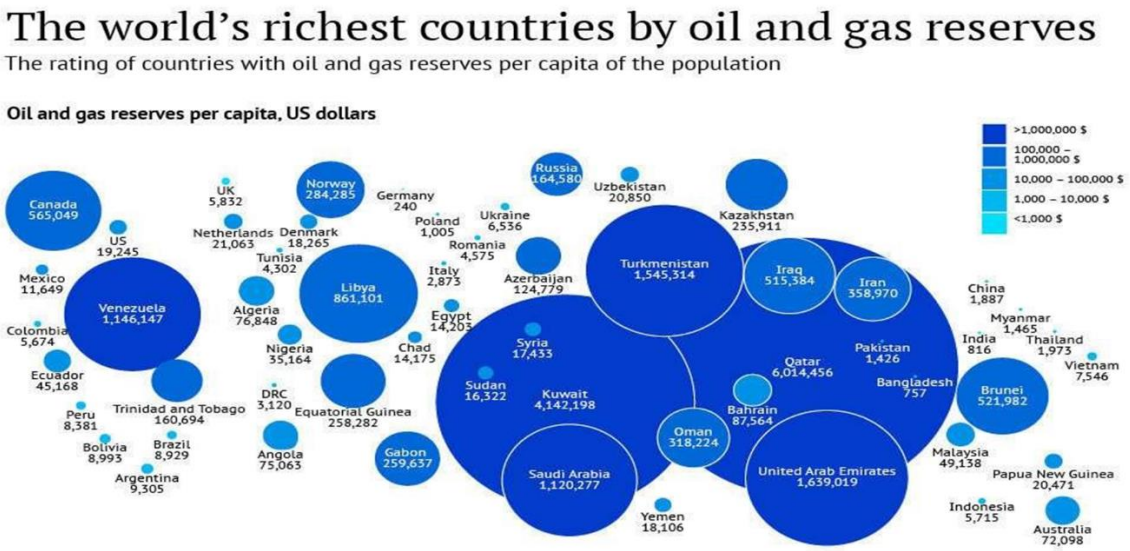
شکل ۱۶- میزان یارانه پرداختی به تفکیک حامل‌های انرژی در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در کشورهای منتخب [۱۲]



شکل ۱۷- بیست کشور با بالاترین یارانه نفت (الف)، گاز (ب) و برق (ج) در سال‌های ۲۰۱۰- ۲۰۲۰ [۱۲]

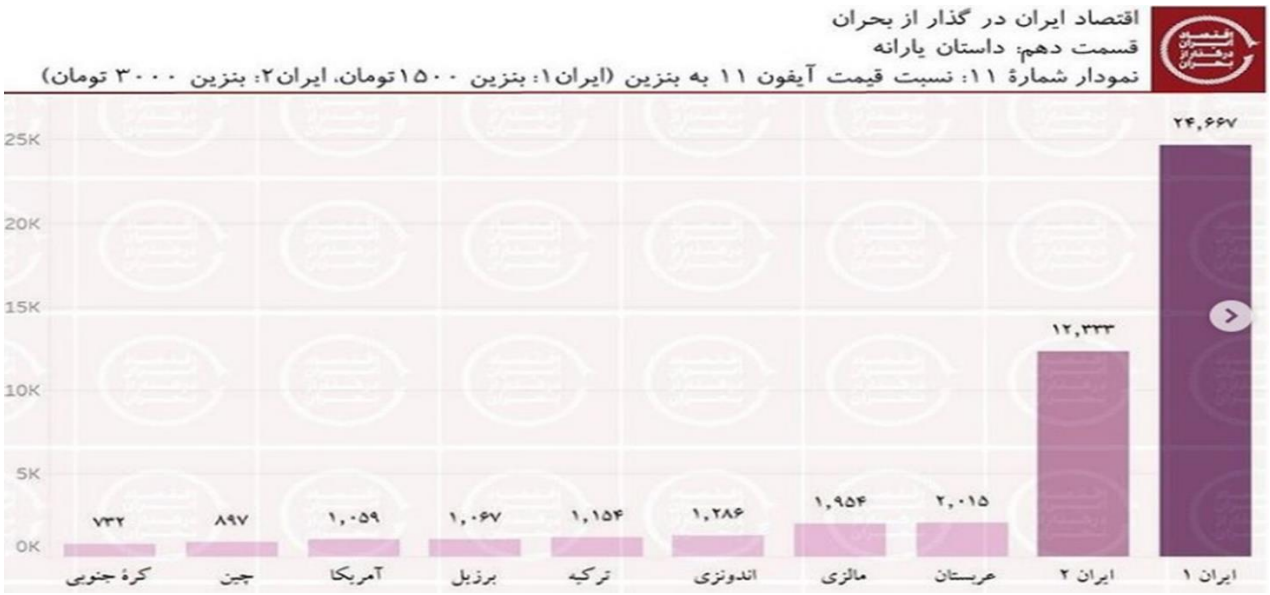
صنایع بزرگ انرژی بر، اقتصاد مبتنی بر صادرات کالاهای فرآوری نشده و قیمت پایین حامل‌های انرژی؛ عمده دلایل بالا بودن شاخص شدت انرژی در کشورها قلمداد می‌شود [۱۰] این عوامل همچنین مانع اصلی بهینه‌سازی انرژی در این کشورها هستند. به نظر می‌رسد قیمت پایین حامل‌های انرژی در ایران یکی از مؤثرترین عوامل در بالا بودن شاخص شدت انرژی کشور است. ثروت بالای ایران و درآمد پایین مردم به‌عنوان عوامل مؤثر در لزوم پایین نگه داشته شدن قیمت حامل‌های انرژی معرفی می‌شوند. در ادامه این دو فاکتور با جزییات بیش‌تر بررسی می‌شود.

در پاسخ به مصرف بالای انرژی ناشی از پرداخت یارانه‌های بالای انرژی در ایران، گاهی عنوان می‌شود ایران کشور ثروتمندی است و لذا با توجه به مشکلات حادث از طرف تحریم‌ها و محدودیت‌های بین‌المللی، پرداخت این حجم از یارانه و به طبع آن مصرف انرژی جایز است. شکل ۱۸ میزان ثروت کشورهای مختلف را بر اساس مجموع ذخایر نفت و گاز به ازای هر شخص نشان می‌دهد [۱۳]. بر اساس این اطلاعات، ایران از لحاظ ثروت حاصل از مجموع ذخایر نفت و گاز، به ازای هر شخص در رتبه یازده دنیا و پس از کشورهایی همچون ترکمنستان، لیبی، برونئی و عراق قرار دارد.

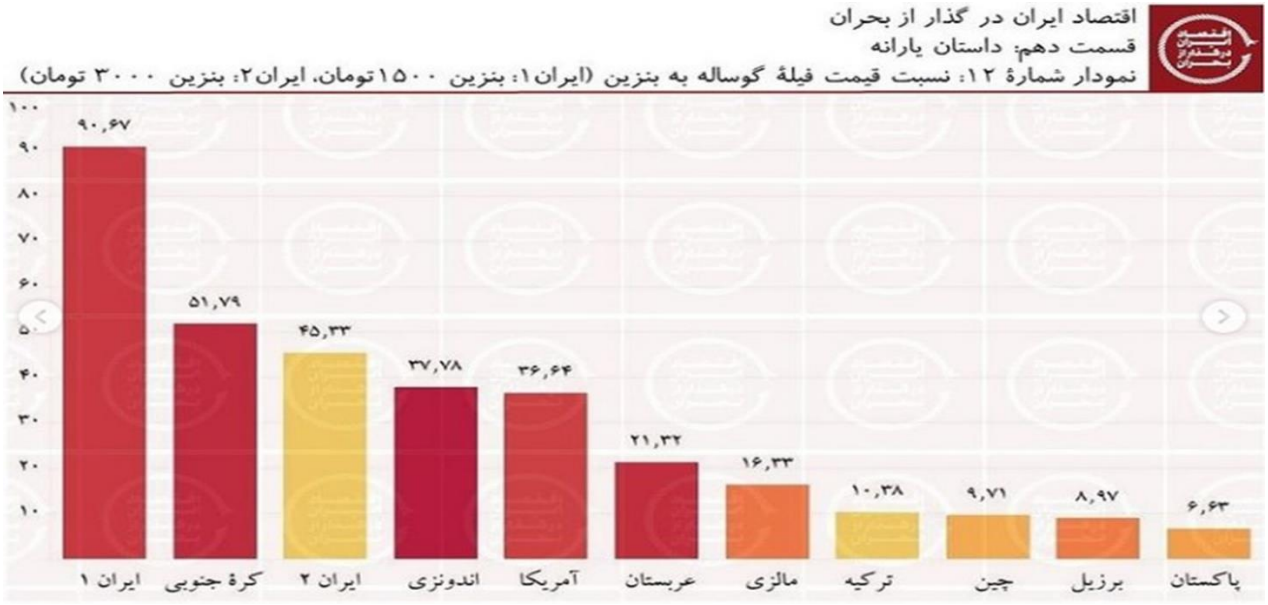


شکل ۱۸- میزان ثروت کشورها بر اساس مجموع ذخایر نفت و گاز به ازای هر شخص [۱۳]

فاکتور دوم مورد ادعا درآمد پایین مردم ایران و درنتیجه لزوم پایین نگه داشته شدن قیمت بنزین است. در اشکال ۱۹ و ۲۰ نسبت قیمت بنزین به دو کالای مصرفی در ایران با برخی کشورها مقایسه شده است. قیمت بنزین در ایران در دو حالت سهمیه‌ای و آزاد در نظر گرفته شده است. مشاهده می‌شود نسبت قیمت بنزین به کالای مصرفی (در اینجا به ترتیب گوشی آیفون ۱۱ و گوشت گوساله) در ایران در حالت قیمت بنزین سهمیه‌ای، از تمام کشورهای مورد مقایسه بالاتر است. در شرایط قیمت بنزین غیرسهمیه‌ای نیز در نسبت قیمت گوشت گوساله به بنزین، تنها کره جنوبی نسبت بالاتری را دارد. این بدین معناست که نسبت قیمت بنزین به کالاهای مصرفی در ایران از اکثر کشورهای دنیا، حتی کشورهای عرب نفت‌خیز پایین‌تر است که به معنی ارزان بودن نسبی قیمت بنزین در ایران است.



شکل ۱۹- نسبت قیمت آیفون ۱۱ به قیمت بنزین در کشورهای منتخب [۱۴]



شکل ۲۰- نسبت قیمت فیله گوساله به قیمت بنزین در کشورهای منتخب [۱۴]

نکته قابل‌تأمل اینکه قیمت پایین بنزین در ایران که با پرداخت یارانه و با هدف کمک به قشر با درآمد کم پایه‌گذاری شده، به‌هیچ‌وجه به هدف خود مبنی بر کمک به قشر با درآمد پایین نرسیده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد یارانه پرداختی به بنزین به نحوی توزیع می‌شود که بالاترین دهک درآمدی در ایران، ۱۷ برابر پایین‌ترین دهک درآمدی از این یارانه استفاده می‌کنند (شکل ۲۱). این بدین معنی است که سیاست‌گذاری انجام شده برای پرداخت یارانه‌ها، نه‌تنها به هدف خود برای حمایت از اقشار آسیب‌پذیر منجر نشده، بلکه باعث افزایش بی‌رویه مصرف توسط اقشار با درآمد بالا گردیده است.

شکل ۲۱- یارانه ۱۷ برابری بنزین برای دهک دهم به نسبت دهک اول [۱۴]

خوشبختانه سیاست‌گذار کلان این ضعف سیستم حکمرانی را در مدیریت تقاضا مورد توجه قرار داده و بر اساس سند ابلاغی شورای عالی انرژی در سال ۱۳۹۹ تحت عنوان: «سند تأمین انرژی بخش حمل‌ونقل کشور تا افق ۱۴۲۰ با

تأکید بر کارایی/بهینه‌سازی مصرف سوخت»؛ این نقیصه را برطرف نموده است [۱۵]. بر اساس این سند (جدول ۲)، سهم بنزین در سبد بهینه سوخت بخش حمل‌ونقل زمینی (ریلی - جاده‌ای) از ٪۵۰/۹۳ در سال ۱۳۹۸ به ٪۴۰/۵۰ در سال ۱۴۲۰ خواهد رسید.

جدول ۲- سبد بهینه سوخت بخش حمل‌ونقل زمینی (ریلی-جاده ای) تا افق ۱۴۲۰- گزینه بهینه با اصلاح تدریجی قیمت سوخت تا قیمت منطقه‌ای، واحد: میلیارد لیتر معادل بنزین [۱۵]

نوع سوخت	گزینه بهینه همراه با اصلاح تدریجی قیمت سوخت تا قیمت منطقه‌ای		
	۱۳۹۸	۱۴۱۰	۱۴۲۰
بنزین	۳۳/۰۶	۳۴/۶۶	۳۴/۴۸
نفت گاز	۲۱/۹	۲۳/۴۵	۲۵/۳۳
CNG	۹/۹	۱۶/۳۳	۱۹/۴۰
LNG	۰/۰۰	۰/۳۶	۰/۸۲
LPG	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰
هیبرید و الکتریسیته	۰/۰۴	۲/۸۰	۵/۱۱
جمع کل	۶۴/۹۱	۷۷/۶	۸۵/۱۴

دستاوردهای جدید فناورانه در صنعت پتروپالایش

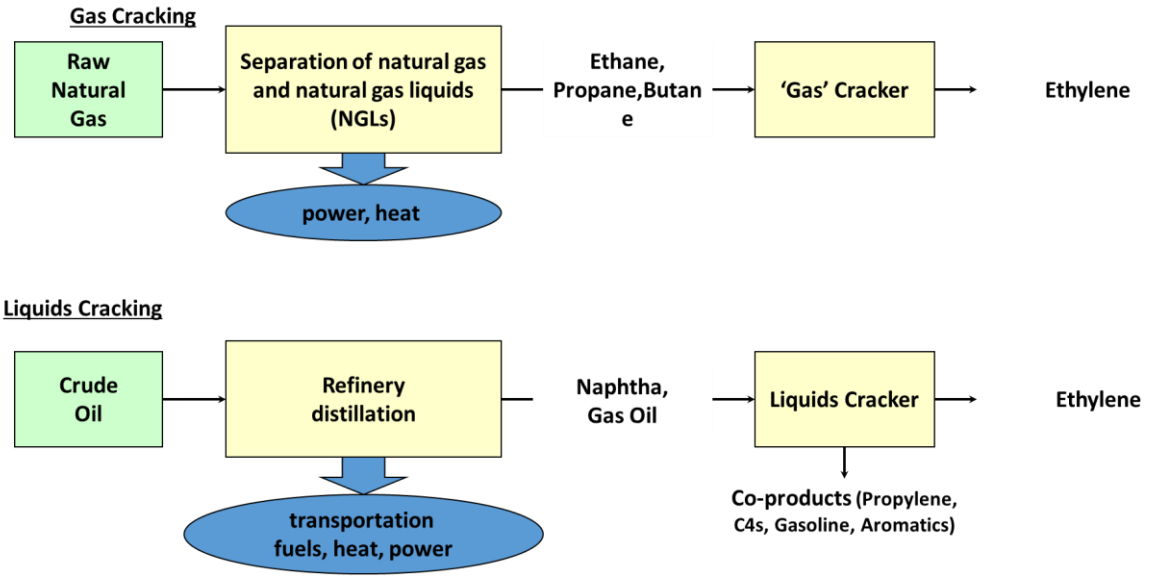
بر اساس فناوری‌های فعلی، نحوه تولید محصولات پتروشیمیایی به یکی از روش‌های زیر است (شکل ۲۲).

الف- استخراج گاز طبیعی، تصفیه و جداسازی گاز در پالایشگاه‌های گازی و درنهایت تبدیل گازهای سبک به اتیلن و دیگر محصولات پتروشیمی در واحدهای شکست گازی

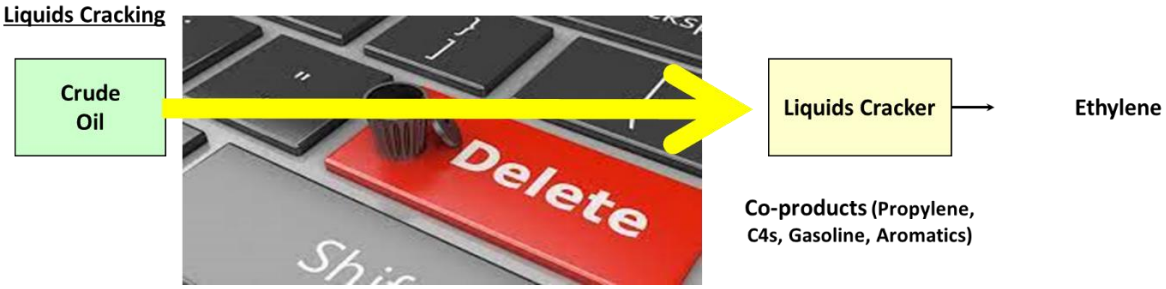
ب- استخراج نفت، تصفیه و تبدیل نفت در پالایشگاه‌های نفتی و درنهایت تبدیل محصولات میان تقطیر به محصولات پتروشیمیایی

در حوزه فشار فناوری، دستاوردهای دانشمندان برای خلق فناوری‌های جدید محرک اصلی در ایجاد نوآوری در زمینه پتروپالایش است. جدیدترین فناوری‌های توسعه داده شده در این زمینه، تبدیل مستقیم نفت خام به محصولات پتروشیمیایی است (شکل ۲۳). پیشتازان توسعه این فناوری شرکت‌های اکسان موبیل[2] آمریکا و سایوپک[3] چین می‌باشند. شرکت اکسان موبیل واحد صنعتی این فناوری را در سال ۲۰۱۴ در سنگاپور و با درصد تبدیل ٪۷۶ راه‌اندازی کرده است. این واحد یک واحد شکست با بخار یک میلیون تن در سال دارد که تولید ۱/۴ میلیون تن در سال پلیمر و الاستومر می‌کند [۱۶-۱۷]. شرکت سایوپک نیز واحد صنعتی این فناوری را در سال ۲۰۲۱ در چین راه‌اندازی کرده است. ۴۵ پتنت داخلی و یک پتنت بین‌المللی برای محافظت از این فناوری تهیه شده است. در این واحد، به ازای هر یک میلیون تن خوراک نفتی، ۵۰۰ هزار تن محصول شیمیایی تولید می‌شود که ۴۰۰ هزار تن آن محصولات با ارزشی نظیر اتیلن، پروپیلن، آروماتیک‌های سبک و هیدروژن است [۱۸].

[2] ExxonMobil
[3] Sinopec



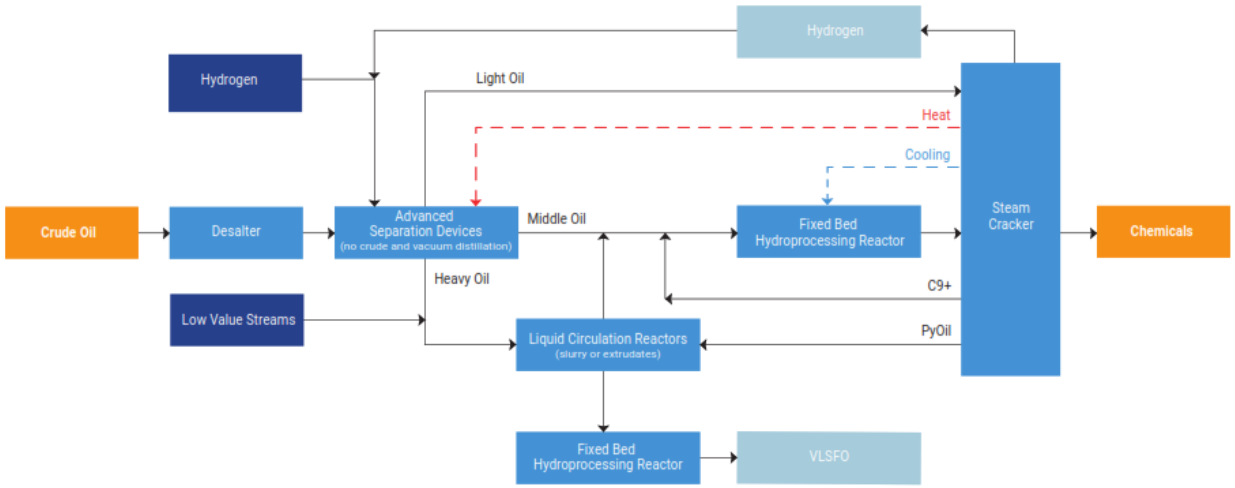
شکل ۲۲- روش‌های متداول تولید محصولات پتروشیمیایی



شکل ۲۳- فشار فناوری برای تولید مستقیم محصولات پتروشیمیایی از نفت خام

شرکت آرامکو[۴] عربستان سعودی نیز در حال توسعه فناوری‌های مشابه با مشارکت شرکت‌های بین‌المللی است. فناوری TC2C™[۵] با مشارکت آرامکو و شرکت‌های CB&I (که توسط شرکت McDermott خریداری شده) و Chevron Lummmus Global در حال توسعه است. هدف این فناوری رسیدن به ضریب تبدیل ۷۰ تا ۸۰ درصدی به ازای هر بشکه نفت خام است. فناوری (™TC2C) ازنظر اقتصادی تولید محصولات با ارزش بالا را بهینه می‌کند. این کار با تنظیم محتوای هیدروژن از اجزای منتخب نفت خام برای ایجاد خوراک بهینه برای واحد شکست با بخار انجام می‌شود. مدل جعبه‌ای این فرآیند در شکل ۲۴ ترسیم شده است [۱۹].

[4] Aramco
[5] Thermal Crude to Chemicals



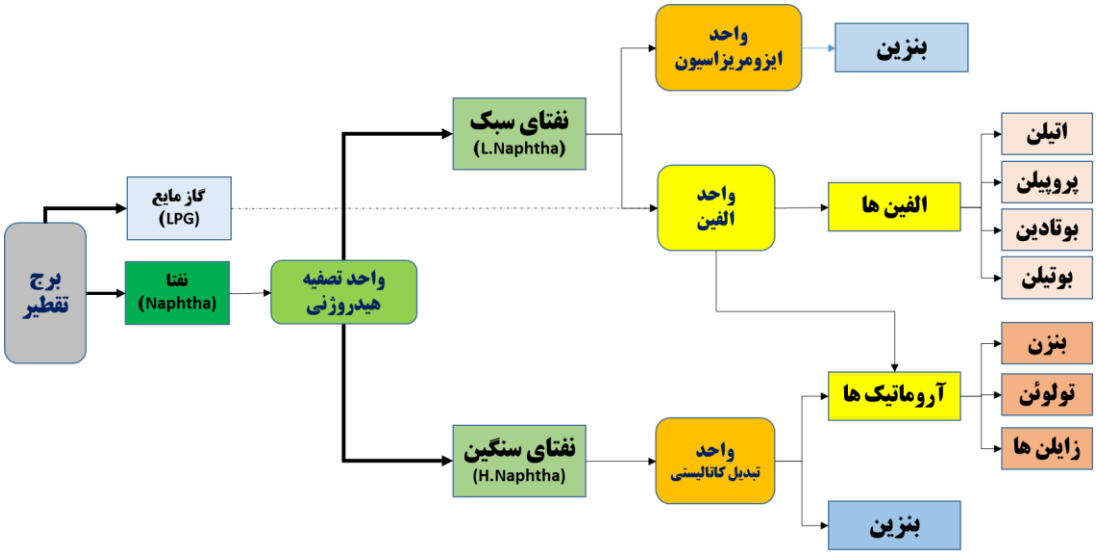
شکل ۲۴- مدل جعبه‌ای فرآیند TC2C™ [۱۹]

در مشارکت دیگری شرکت آرامکو، به همراه شرکت‌های Axens و TechnipFMC در حال توسعه فناوری CC2C[TM۶] و با هدف رسیدن به درصد تبدیل بیش از ۶۰ درصدی هستند [۱۷].

این فناوری‌ها مشکلات عمده در توسعه فناوری تبدیل مستقیم نفت به مواد شیمیایی را حاصل از ناخالصی‌های خوراک و محدوده وسیع نقطه جوش خوراک بررسی و برای آن‌ها راه‌حل ارائه می‌نماید [۲۰].

سطوح متفاوت یکپارچه‌سازی پالایشگاه و پتروشیمی

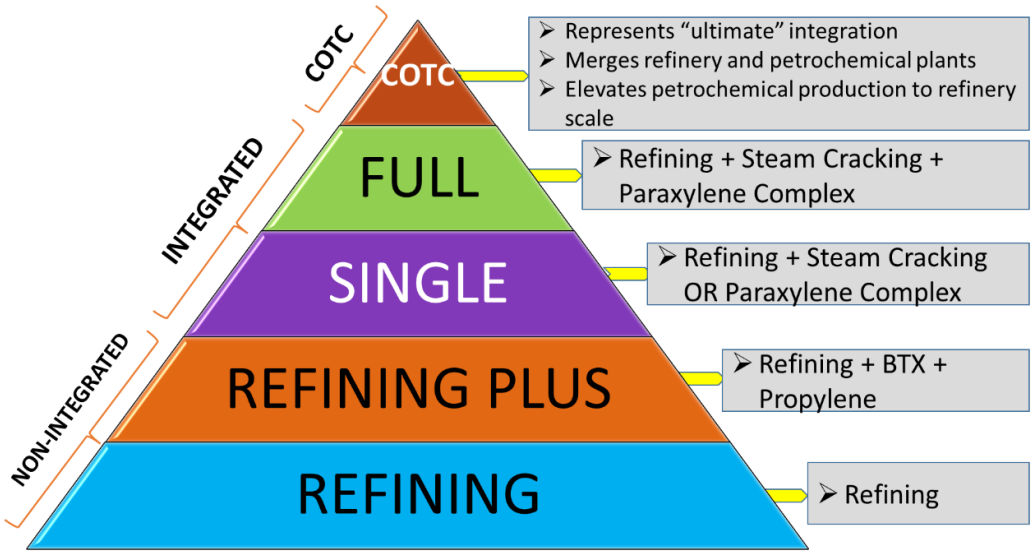
در یکپارچه‌سازی پالایشگاه و پتروشیمی که منجر به توسعه پتروپالایشگاه‌ها خواهد شد، نفتای سبک تولیدی در پالایشگاه، علاوه بر تولید بنزین در واحد ایزومریزاسیون در واحد الفین به الفین‌ها و آروماتیک‌ها تبدیل می‌شود. نفتای سنگین پالایشگاهی نیز که در واحد تبدیل کاتالیستی به بنزین تبدیل می‌شود، در حالت یکپارچه به واحدی برای تولید حداکثر ممکن آروماتیک‌ها تبدیل می‌شود (شکل ۲۵).



شکل ۲۵- نمودار جعبه‌ای پتروپالایشگاه

[6] Catalytic Crude to Chemicals

بر اساس دسته‌بندی IHS، سطوح متفاوت یکپارچه‌سازی پالایشگاه با پتروشیمی بر اساس شکل ۲۶ است. در کم‌ترین یکپارچگی، میزان تولید مواد شیمیایی زیر ۱۰ درصد از تولیدات کل بوده و در بالاترین سطح یکپارچگی که COTC نامیده شده است، بیش از ۷۰ درصد محصولات تولیدی به مواد شیمیایی تبدیل می‌شوند [۱۷].



شکل ۲۶- سطوح مختلف یکپارچگی پالایشگاه و پتروشیمی [۱۷]

آخرین وضعیت برخی از پروژه‌های پتروپالایشگاهی در دنیا در جدول سه ارائه شده است. ملاحظه می‌شود، بالاترین میزان درصد تبدیل به مواد شیمیایی در این پتروپالایشگاه‌ها برابر ۶۰ درصد بوده که تا رسیدن به میزان ٪۷۰ و مفهوم COTC فاصله دارد. اطلاعات این جدول نشان می‌دهد میزان سرمایه‌گذاری لازم برای احداث این پتروپالایشگاه‌ها مابین ۲۰ هزار تا ۴۷ هزار دلار آمریکا به ازای هر بشکه در روز خوراک است. این حجم سرمایه‌گذاری به نسبت سرمایه‌گذاری لازم برای احداث یک پالایشگاه (۱۰ تا ۲۰ هزار دلار آمریکا به ازای هر بشکه در روز خوراک) اعداد بالاتری است، درحالی‌که اقتصاد کلی پتروپالایشگاه‌ها جذاب‌تر و زمان بازگشت سرمایه کم‌تر است.

ازآنجاکه تخمین هزینه احداث پتروپالایشگاه‌ها به‌عنوان اولین فاکتور مورد نیاز سرمایه‌گذاران و اولیای امور صنعت پتروپالایش است، اطلاعات ارائه شده در جدول ۳ مورد بررسی قرار گرفت. اگر سرمایه‌گذاری احداث یک پتروپالایشگاه را برحسب میلیارد دلار آمریکا با .Inv نشان دهیم، این سرمایه‌گذاری به عوامل زیر وابسته است:

ظرفیت پالایش نفت خام (میلیون تن در سال): Cap

ظرفیت تولید پارا زایلن (میلیون تن در سال): p-Xylene

ظرفیت تولید الفین (میلیون تن در سال): Olefin

میزان تولید مواد شیمیایی به ازای هر بشکه خوراک (٪): Chemical

بر اساس محاسبات، هزینه احداث یک واحد پتروپالایشگاهی بر اساس فاکتورهای فوق عبارت خواهد بود از:

$$Inv = 0.51\ Cap - 0.53\ p\text{-}Xylene + 3.59\ Olefin + 0.11\ Chemical - 6.36$$

محاسبات نشان می‌دهد میزان R^2 در این رگراسیون برابر است با ۰/۹۹۵۶ که نشان دهنده دقت بالای مدل پیشنهادی است.

جدول ۳- آخرین وضعیت پروژه‌های پتروپالایشگاهی [۱۷]

Project	Refinery Capacity (MMTPA)	P-Xylene Capacity (MMTPA)	Olefin Capacity (MMTPA)	Est/ Chemical conversion/bbl of oil (%)	Investment ($bn)	Start Trial Operation
Hengli Prochemical	20	4.3	1.5	42	11.4	Dec 2018*
Zhejiang Petroleum and Chemical (ZPC) Phase 1	20	4.0	1.4	45	12	Est. Q2 2019*
Hengyi (Brunei) PMB Refinery-Petrochem	8	1.5	0.5	>40	3.45	Est. 2019*
Zhejiang Petroleum and Chemical (ZPC) Phase 2	20	4.8	1.2	50	12	Est. 2021*
Shenghong refinery and Integrated Petrochem	16	2.8	1.1	60	11.0	H2 2021**
Aramco / SABIC JV	20	--	3.0	45	20	2025

* راه‌اندازی شده است

** به علت تغییرات شدید قیمت نفت خام، راه‌اندازی آن به تأخیر افتاده (اردیبهشت ۱۴۰۱)

بحث و نتیجه‌گیری

یکپارچگی پالایشگاه با پتروشیمی که در ایران تحت عنوان پتروپالایشگاه شناخته شده، یک نوآوری است که از هم‌زمانی فشار فناوری و نیاز بازار نشأت می‌گیرد. در این مقاله ابتدا عوامل نیاز بازار به‌تفصیل بررسی شدند. این عوامل عبارت‌اند از:

- ✓ تغییر سبد مصرف فرآورده‌های سوختی در مقیاس جهانی
- ✓ ارزش‌افزوده بالاتر محصولات پتروشیمیایی در مقیاس جهانی
- ✓ اجبار به کاهش مصرف فرآورده‌های سوختی در مقیاس ملی

فشار فناوری نیز به‌صورت هم‌زمان از عوامل مؤثر در خلق نوآوری پتروپالایشگاه‌ها بوده است. مهم‌ترین فعالیت در این حوزه توسعه فناوری تبدیل مستقیم نفت به محصولات پتروشیمیایی است که توسط شرکت‌های ExxonMobil و Sinopec صنعتی نیز شده است.

انواع پتروپالایشگاه‌ها و نمودار جعبه‌ای پتروپالایشگاه‌ها بررسی شد. در ادامه پتروپالایشگاه‌هایی که طی چند سال گذشته ساخته و اجرا شده است یا در حال ساخت است بررسی گردید. ازآنجاکه دانستن هزینه ساخت پتروپالایشگاه‌ها قبل از طراحی و یا مطالعات فنی اقتصادی می‌تواند برای سرمایه‌گذاران و دست‌اندرکاران صنعت پتروپالایشی جذاب باشد، فرمولی برای محاسبه حدودی قیمت ساخت پتروپالایشگاه‌ها بر اساس ظرفیت، میزان تولید پارازایلن و اولفین و همچنین درصد تبدیل خوراک به مواد شیمیایی توسعه داده شد.

منابع

[1] OECD, the Measurement of Scientific and Technological Activities: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data: Oslo Manual, Third Edition, Paris: prepared by the Working Party of National Experts on Scientific and Technology Indicators, OECD, 2005.

[2]V. Ryan, "WHAT IS MARKET PULL?," 2013. Available: https://technologystudent.com/prddes1/marketpull1.html.
[3] 2020 edition of the GECF Global Gas Outlook 2050.
[4] "Crude Oil-to-Chemicals: Future of Refinery" Available: https://www.futurebridge.com/blog/crude-oil-to-chemicals-future-of-refinery/.
[۵] ف. میرجلیلی، تسریع در فرایند ایجاد یک نهاد توسعه‌ای تخصصی زنجیره ارزش (پتروپالایش) با هدف شناسایی نقاط شکست توسعه و جبران آن، مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۴۰۰
[۶] شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران
[۷] مرکز مطالعات زنجیره ارزش، تحلیل کلان صنعت پالایش در بازار سرمایه، ۱۴۰۰.
[8]"Gasoline consumption - Country rankings," Available: https://www.theglobaleconomy.com/rankings/gasoline_consumption/.
[9] "World Vehicles in use," Available: https://www.oica.net/category/vehicles-in-use/.
[10] "Significant slowdown in energy intensity improvement in 2020," 14 02 2022. Available: https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html.
[11] Harvard university, "Atlas of economic complexity," 14 02 2022. Available: https://atlas.cid.harvard.edu/explore?country=107&product=undefined&year=2019&productClass=HS&target=Product&partner=undefined&startYear=undefined.
[۱۲] انجمن صادر کنندگان فرآورده‌های نفتی، بررسی یارانه انرژی در ایران و جهان، کمیسیون انرژی اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران، ۱۴۰۰
[13] http://www.visualinformation.info/worlds-richest-countries-by-oil-and-gas-reserves-infographic/.
[۱۴] اقتصاد ایران در گذار از بحران، داستان یارانه، اقتصاد آنلاین، ۱۴۰۰.
[۱۵] اسناد بالادستی در حوزه نفت و گاز (مصوب شورای عالی انرژی کشور)، سازمان برنامه‌وبودجه، ۱۴۰۰
[16] S. L. P. Florence Tan, "INTERVIEW-Exxon starts world's 1st crude-cracking petrochemical unit," 8 January 2014. Available: https://www.reuters.com/article/exxon-singapore-petrochemical-idUKL3N0KH2VU20140108
[17] "Crude Oil–to-Chemicals, Available: https://cdn.ihs.com/www/pdf/0519/COTCBrochurePEP.pdf.
[18] "Sinopec Successfully Tests Crude Oil Steam-Cracking Technology," 24 Nov 2021, Available: https://www.chemicalprocessing.com/industrynews/2021/sinopec-successfully-tests-crude-oil-steam-cracking-technology/.
[19] Thermal Crude to Chemicals (TC2C™), https://www.chevronlummus.com/getmedia/ 06d1e2f0-92b5-4e30-abf3-b33444969a3e/2021-08-18-tc2c-tech-sheet.pdf
[20] A Viewpoint on the Refinery of the Future: Catalyst and Process Challenges, M. A. Alabdullah et al, ACS Catal. 2020, 10, 8131−8140