# آینده صنعت پتروشیمی در پرتو تحولات مربوط به گذار انرژی

**حسن راعی[۱]، محمدجواد ساکت[۲] و عباس ملکی[۳*]**

۱. مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۱۱۵۵/۱۶۳۹، تهران، ایران.
۲. مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۱۱۵۵/۱۶۳۹، تهران، ایران.
۳. مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۱۱۵۵/۱۶۳۹، تهران، ایران.

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: maleki@sharif.edu

**چکیده:**

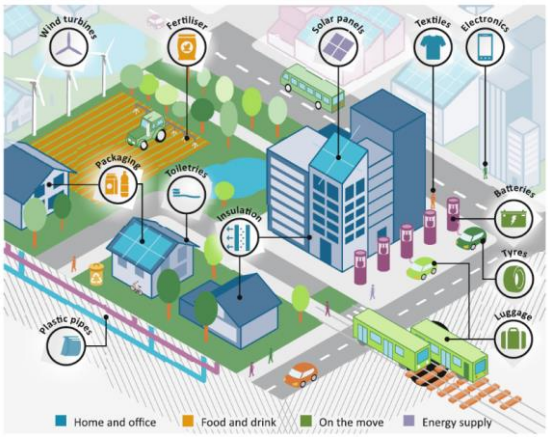
صنعت پتروشیمی مانند هر صنعت دیگری در مسیر بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش انتشار یا ترسیب و ردپای کربن به‌سمت پایداری در حرکت است و مصارف هیدروکربن‌های ورودی به این صنعت در راستای کاهش گرمایش زمین مدیریت می‌شود. برقی کردن تقاضای انرژی این صنعت نیز در راستای رسیدن به اهداف «ملل متحد» در حوزه کاهش انتشار کربن در حال تکمیل است. در بخش خوراک نیز روندهایی مانند بازیافت در حال گسترش و توسعه است تا تقاضای حامل‌های انرژی به‌عنوان ماده اولیه صنعت پتروشیمی را کاهش دهد. این در حالی است که بسیاری از محصولات پتروشیمی به راحتی قابل بازیافت کامل نیستند و بعضی از مصنوعات تولیدی با مواد پتروشیمی دارای طول عمر بسیار بالا هستند. از همین رو جایگزینی حامل‌های انرژی فسیلی در بخش خوراک صنعت پتروشیمی با سرعت کمتری از بخش سوخت آن در حال شکل‌گیری است. این مهم سبب شده است که تقاضای نفت‌خام، گاز طبیعی، و زغال‌سنگ در خوراک صنعت پتروشیمی از جمله کم‌کشش‌ترین بخش‌ها در مدیریت مصرف سوخت‌های فسیلی باشد به‌طوریکه یکی از مهم‌ترین پیشران‌های تقاضای نفت‌خام در سال‌های آتی، نه بخش حمل‌ونقل بلکه بخش پتروشیمی است. در چارچوب این مقاله پس از بررسی شرایط حاکم بر صنعت پتروشیمی در عصر حاضر و جایگاه این صنعت در دوران گذار انرژی به بیان توصیه‌هایی در زمینه استفاده حداکثری ایران از صنعت مذکور می‌پردازیم.

**واژه‌های کلیدی:** پتروشیمی، ایران، گذار انرژی، سوخت‌های فسیلی

1. maleki@sharif.edu

## ۱. مقدمه

به‌نظر می‌رسد صنعت پتروشیمی جهانی در حال تجربه یک تغییر تدریجی اما احتمالاً گسترده است. انتخاب مواد اولیه، الگوهای تقاضا، دستورالعمل‌های دولتی بر چگونگی افزایش ظرفیت مواد شیمیایی پایه منطقه‌ای، و اینکه کدام مواد اولیه باقی می‌مانند یا ترجیح داده می‌شوند، تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این، پذیرش فناوری‌های جدید تولید مواد شیمیایی ممکن است تا سال ۲۰۳۰ بازی ظرفیت را کاملاً متحول کند. با وجود تعدد واحدهای پتروشیمی در سراسر جهان، این بخش همچنان به‌عنوان یک نقطه کور کلیدی در سیستم انرژی حتی در میان متخصصان انرژی، بخش شیمیایی و پتروشیمی محسوب می‌شود. شایان ذکر است که بخش پتروشیمی به ترتیب ۱۴ درصد (معادل ۱۳ میلیون بشکه در روز) و ۸ درصد (معادل ۳۰۰ میلیارد مترمکعب در سال) از کل تقاضای اولیه نفت‌خام و گاز طبیعی جهان را به خود اختصاص می‌دهد. از سوی دیگر یکی از جنبه‌های منحصر به‌فرد بخش پتروشیمی مسئله مصرف انرژی در قالب خوراک است. به‌نحوی که بایستی دقت داشت که حدود نیمی از انرژی مصرفی در این صنعت به‌عنوان ماده خام مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانطور که در شکل (۱) قابل مشاهده است محصولات شیمیایی در تمامی بخش‌های جامعه مدرن قابل مشاهده هستند. به‌نحوی که در حال حاضر نمی‌توان انسان خود را در ساختمان یا وسیله نقلیه‌ای تصور کند که با پلاستیک، لاستیک یا منسوجات مصنوعی تزئین نشده باشد. به‌عبارت دیگر تمامی ابزار و محصولات مورد استفاده بشر امروزی وابسته به محصولات شیمیایی هستند.




**شکل ۱ - کاربردهای مختلف محصولات شیمیایی در جامعه مدرن [1]**

## ۲. پیشینه پژوهش

با توجه به شرایط اضطراری اقلیمی و تلاش‌های جهانی برای تسریع گذار به انرژی‌های پاک، صنایع وابسته به سوخت‌های فسیلی با فشار فزاینده‌ای برای تغییر رفتار مواجه هستند. در چنین شرایطی بخش‌های پرمصرف انرژی و انتشاردهنده اصلی گازهای گلخانه‌ای از جمله صنعت پتروشیمی، که در طول تاریخ در مقابل سیاست‌های اقلیمی از آنان محافظت شده، بایستی کربن‌زدایی را دنبال کنند [2]. پژوهش‌هایی نظیر [3]، [4] و [5] عنوان می‌کنند که شرکت‌های فعال در حوزه سوخت‌های فسیلی به‌دنبال باز طراحی ساختارها به‌منظور استفاده از فرصت‌ها در چشم‌انداز پیش‌رو هستند. علاوه بر این، تحلیل‌های اخیر نشان می‌دهد که علیرغم وعده‌های بلندپروازانه برخی از بازیگران، شرکت‌های انرژی فسیلی به‌دنبال تغییر تحول‌آفرین نیستند. به‌نحوی که برخی از پژوهش‌های انجام شده نظیر [6]، [7]، [8]، [9]، [10]، [11] و [12] بر این مسئله تأکید دارند که شرکت‌های نفت و گاز با استفاده از تمامی ابزارهایی که در اختیار داشته‌اند، به تأخیر افتادن گذار انرژی را دنبال کرده‌اند.

براساس اعلام «آژانس بین‌المللی انرژی»، صنعت پتروشیمی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در بخش صنایع محسوب می‌شود. تولید جهانی مواد شیمیایی و مصرف انرژی فسیلی در بخش صنعت پتروشیمی علیرغم نگرانی‌های زیست‌محیطی به‌سرعت رشد کرده است. از سوی دیگر صنعت پتروشیمی در واقع یک نقطه کور کلیدی در بحث‌های مربوط به سیاست‌های اقلیمی در حوزه انرژی محسوب می‌شود [1]. صنعت پتروشیمی با تکیه بر سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منبع خوراک و انرژی،

طیف گسترده‌ای از محصولات را تولید می‌کند که در جامعه مدرن امروزی در تمامی بخش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌نحوی که در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ شاهد افزایش فروش جهانی مواد شیمیایی با نرخ تقریباً ۷.۵ درصد در سال بوده‌ایم. یک محرک کلیدی افزایش سریع تقاضای مربوط به محصولات شیمیایی به مصرف بی‌پایان پلاستیک باز می‌گردد. از سوی دیگر رشد مصرف کودهای شیمیایی نیز دیگر عامل مؤثر در این زمینه محسوب می‌شود [13]. پلاستیک‌ها در طیف وسیعی از بخش‌ها مورد استفاده قرار می گیرند. به‌عنوان بسته‌بندی برای انواع کالاها، الیاف برای منسوجات، اجزای ساختاری در اتومبیل‌ها و وسایل نقلیه، برای لوله‌ها و کابل‌ها در ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها [14]. میزان قابل توجه مصرف پلاستیک منجر به آن شده که انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید پلاستیک به‌سرعت بالا برود. به‌ویژه به این دلیل که عمده تولید پلاستیک در چین از طریق مصرف زغال‌سنگ انجام می‌شود [15].

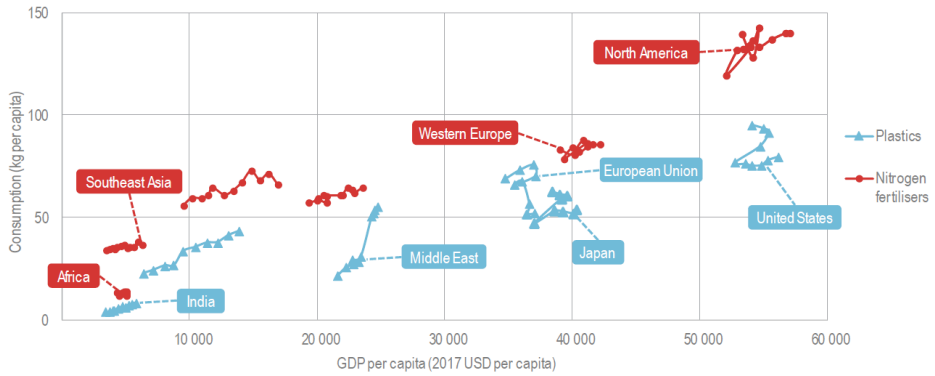
صنعت پتروشیمی از زمان ظهور تا اواسط قرن بیستم، ارتباط نزدیکی با رژیم انرژی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی تجربه کرد. به‌نحوی که تولید محصولات پتروشیمی نخست به زغال‌سنگ متکی بود و در ادامه نفت‌خام، گاز طبیعی و میعانات گازی جایگزین زغال‌سنگ شدند [1]. در چنین شرایطی «آژانس بین‌المللی انرژی» و «بریتیش پترولیوم» معتقد هستند که وابستگی به سوخت‌های فسیلی به‌منظور تولید محصولات شیمیایی به‌سرعت تغییر پیدا نخواهد کرد و آینده مربوط به رشد تقاضا برای نفت‌خام در این صنعت بسیار روشن است. از سوی دیگر شرکت‌های پیشرو در این صنعت در سال‌های اخیر سرمایه‌گذاری انبوهی بر روی تولید محصولات شیمیایی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی انجام داده‌اند. همچنین پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که ظرفیت تولید جهانی از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ به میزان ۴۰ درصد افزایش خواهد یافت و خاورمیانه، ایالات متحده و آسیا در این حوزه پیشرو خواهند بود [16]. پژوهش‌هایی نظیر [17]، [18] و [19] عنوان می‌کنند که صنعت پتروشیمی به‌طور مداوم در حال توسعه است با وجود آنکه به‌دلیل نقش آن در اثرات سوء اقلیمی، آلودگی سمی، و بحران‌های ناشی از تولید پلاستیک، سیاستگذاران، جامعه مدنی، و دانشگاهیان خواستار مقررات سختگیرانه‌تر و اعمال محدودیت‌هایی بر تولید شده‌اند. بر این اساس صنعت پتروشیمی در معرض فشارها و تعارضات زیست‌محیطی متعددی قرار دارد [20]. در چنین شرایطی پژوهش‌هایی نظیر [21] و [22] معتقدند رویکرد شرکت‌های فعال در حوزه پتروشیمی در قبال موارد مطرح شده، از نوع انکار و مقابله است.

## ۳. تحلیل

وابستگی فزاینده جامعه به مواد شیمیایی با دوره رشد مداوم در تولید بخش شیمیایی و پتروشیمی همراه شده است. به‌نحوی که تولید پلاستیک به‌عنوان یکی از مواد کلیدی این بخش، از سال ۱۹۷۰ تاکنون بیش از ۱۰ برابر در سطح جهان افزایش یافته که سریع‌تر از نرخ رشد هر محصول دیگری بوده و تقریباً ۶۰ درصد سریع‌تر از نرخ رشد تولید ناخالص داخلی است. در خصوص آمونیاک نیز به‌عنوان یک ماده شیمیایی اولیه کلیدی و پایه شیمیایی تمامی کودهای نیتروژن‌دار شاهد افزایش تولید در راستای تولید سایر بخش‌های انرژی‌بر بوده‌ایم به‌نحوی که هر کدام بین ۳ تا ۷ برابر در این دوره افزایش یافته‌اند. در خصوص چشم‌انداز تولید با بررسی روند تولید مواد فله‌ای نظیر سیمان، فولاد و آلومینیوم می‌توان ارتباط مستقیم بین رشد تولید ناخالص داخلی و مواد مذکور را مشاهده کرد. اما در حال حاضر به‌دلیل افزایش کارایی در استفاده از کودهای شیمیایی، شاهد کاهش رشد تولید آمونیاک با وجود افزایش تولید ناخالص داخلی هستیم. امروزه تصور دنیایی بدون پلاستیک و کود چالش برانگیز است. نمونه‌ای از چندین محصول شیمیایی که نقش اساسی در جامعه ایفاء می‌کنند در زنجیره‌های تأمینی یافت می‌شود که زیربنای تولید مواد غذایی مدرن هستند. کودها و مواد شیمیایی کشاورزی به‌طور گسترده برای تقویت رشد محصول و محافظت در برابر ارگانیسم‌های مضر و پاتوژن‌ها استفاده می‌شود. بسته‌بندی پلاستیکی به‌عنوان بزرگ‌ترین منبع تقاضای پلاستیک، نقش مهمی در رساندن غذا از ابتدا یعنی مرتع به آشپزخانه‌ها دارد.

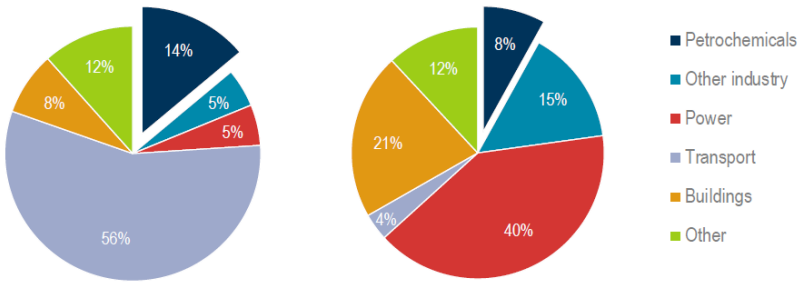
همانطور که در شکل (۲) قابل مشاهده است الگوهای مصرف منطقه‌ای برای چندین قلم پلاستیک و کود مهم نشان می‌دهد که با افزایش سرانه تولید ناخالص داخلی، مصرف این محصولات نیز افزایش می‌یابد. با این حال، در مناطقی با درآمد سرانه بالا، اشباع تقاضا برای برخی محصولات به‌ویژه کودها، رخ داده است. به‌نحوی که در کشورهای پردرآمد نظیر ژاپن، ایالات متحده و بخش‌هایی از اروپای غربی، تقاضای سالانه برای کودهای نیتروژنی کلیدی در حدود ۸۵ تا ۱۳۵ کیلوگرم سرانه تثبیت شده است.

در طی ۲۰ سال گذشته در مناطق کم‌درآمد و به سرعت در حال توسعه مانند هند، چین و قاره آفریقا، تقاضا برای این محصولات همچنان در حال افزایش است. استفاده از پلاستیک نشانه‌های واضح کمتری از اشباع را نشان می‌دهد و دامنه سطوح مصرف حتی گسترده‌تر از کودها است، اگرچه هم کیفیت و هم کمیت داده‌های موجود در مورد مصرف پلاستیک نسبت به سایر مواد فله پایین‌تر است. براساس داده‌های موجود، مناطق در حال توسعه در حال حاضر کمتر از ۴ کیلوگرم به ازای هر نفر از محصولات پلاستیکی کلیدی استفاده می‌کنند، اما نرخ رشد بالا است و گاهی اوقات به سطوح دو رقمی می‌رسد. در کشورهای با درآمد بالاتر، سطح مصرف سرانه به‌طور کلی از ۵۵ تا ۸۰ کیلوگرم متغیر است، اگرچه عمده اقتصادهای توسعه‌یافته نشانه‌هایی از اشباع با رقم سرانه‌ای در حدود ۶۰ کیلوگرم نشان می‌دهند.



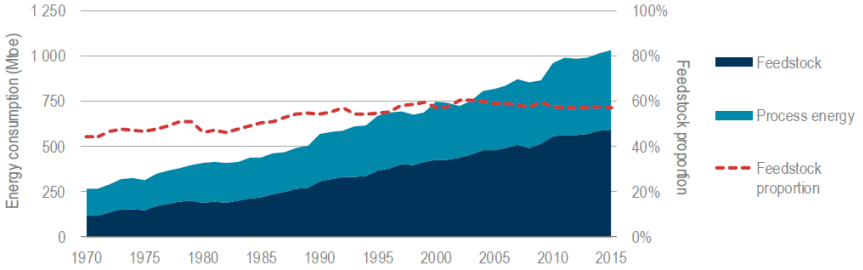

**شکل ۲ - مصرف سرانه محصولات پلاستیکی و کودهای نیتروژنی** [1]

همانطور که در شکل (۳) قابل مشاهده است صنعت پتروشیمی از کل مصرف نفت حدود ۱۴ درصد سهم دارد که به‌عنوان خوراک و سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. سهم این صنعت از مصرف گاز طبیعی جهان نیز حدود ۸ درصد است. عمده مصرف نفت در بخش حمل‌ونقل و عمده مصرف گاز در بخش نیروگاهی و ساختمان است.



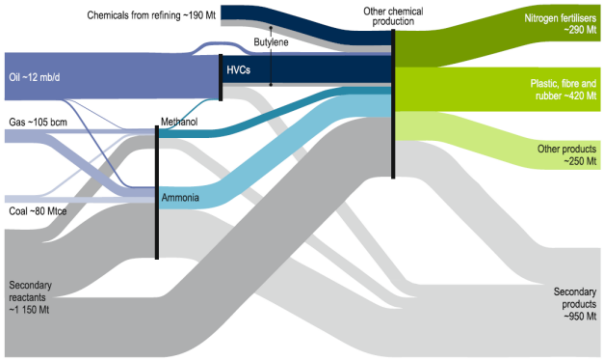

**شکل ۳ - تقاضا برای نفت‌خام (چپ) و گاز طبیعی (راست) به تفکیک بخش‌های منتخب در سال ۲۰۱۷** [1]

همانطور که در شکل (۴) قابل مشاهده است مصرف بخش پتروشیمی شامل خوراک و سوخت می‌شود. در طی بازه زمانی مورد بررسی نسبت خوراک به سوخت افزایش یافته و سهم خوراک از مجموع هیدروکربن‌های ورودی به صنعت پتروشیمی (۲۰ میلیون بشکه معادل نفت‌خام در روز) به حدود ۶۰ درصد رسیده است.



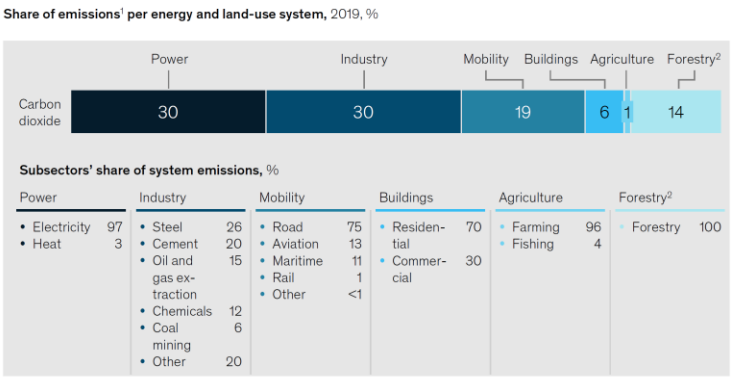

**شکل ۴ - روند تقاضا برای خوراک و سوخت در بخش پتروشیمی [1]**

همانطور که در شکل (۵) قابل مشاهده است محصولات پتروشیمی به دو دسته آمونیاک + متانول و محصولات با ارزش (HVC) قابل تقسیم هستند. عمده محصولات پتروشیمی در دنیا از نفت تولید می‌شوند و گاز طبیعی و زغال‌سنگ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. متانول و آمونیاک عمدتاً از گاز طبیعی و زغال‌سنگ به‌دست می‌آیند اما محصولات با ارزش بالا عمدتاً از نفت تولید می‌شوند. برای تولید انواع محصولات پتروشیمی از نفت‌خام، گاز طبیعی و زغال‌سنگ، مواد معدنی مهمی نظیر کلر، نیتروژن و اکسیژن نیاز است و محصولات جانبی مختلفی نیز از فرآیندهای شیمیایی تولید می‌شود که با رنگ خاکستری نشان داده شده است. مصارف نهایی صنعت پتروشیمی نیز شامل انواع کودهای شیمیایی، پلاستیک‌ها، الیاف و لاستیک هستند.



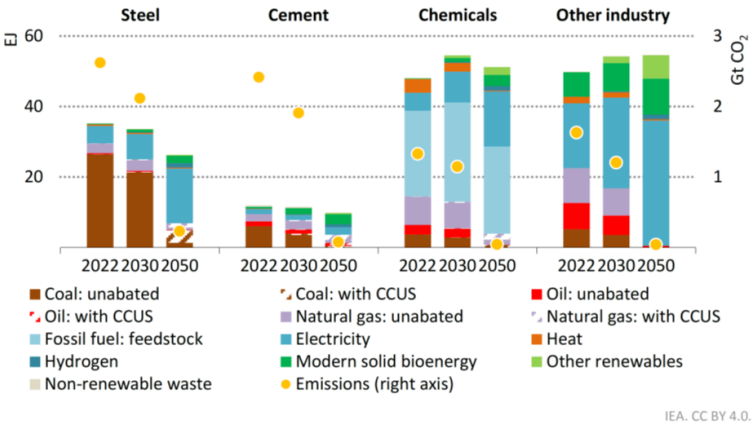

**شکل ۵ - محصولات تولیدی صنعت پتروشیمی [1]**

همانطور که در شکل (۶) قابل مشاهده است صنعت پتروشیمی مانند هر صنعت دیگری به‌ویژه ذیل صنعت نفت و گاز، موجب انتشار کربن و آلایندگی هوا می‌شود. سهم بخش صنعت از انتشار کربن دنیا برابر ۳۰ درصد است. سهم صنعت پتروشیمی از انتشار کربن بخش صنعت حدود ۱۲ درصد و در نتیجه سهم صنعت پتروشیمی از کل انتشار کربن جو برابر ۳.۶ درصد است.




**شکل ۶ - سهم از انتشار دی‌اکسیدکربن به تفکیک بخش‌های منتخب در سال ۲۰۱۹ [1]**

همانطور که در شکل (۷) قابل مشاهده است تقاضای انرژی صنعت پتروشیمی از صنعت فولاد و سیمان به‌صورت جداگانه بیشتر است و تقریباً با مجموع همه صنایع دیگر برابر است. برخلاف صنعت فولاد و سیمان که زغال‌سنگ در تأمین تقاضای آن‌ها نقش مهمی دارد، این حامل انرژی در صنعت پتروشیمی سهم زیادی ندارد. این در حالی است که فرآورده‌های نفتی سهم مهمی در تأمین تقاضای صنعت پتروشیمی دارد. پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۵۰ مصرف نفت، گاز طبیعی و زغال‌سنگ در صنعت پتروشیمی با انرژی الکتریکی جایگزین شود اما سهم فرآورده‌های نفتی تقریباً ثابت باقی خواهد ماند. شایان ذکر است که سهم برق در صنعت فولاد و سایر صنایع بسیار افزایش می‌یابد و جایگزین منابع فسیلی می‌شود. به‌عبارت دیگر تصویر صنعت پتروشیمی در سال ۲۰۵۰ بسیار فسیلی‌تر از سایر صنایع خواهد بود.




**شکل ۷ – چشم‌انداز مصرف انرژی نهایی در صنعت پتروشیمی [1]**

## ۴. نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

صنعت پتروشیمی گرچه از ابتدا با حامل‌های انرژی فسیلی شروع و رشد کردند، اما به‌نظر می‌رسد که با کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، لزوماً صنعت پتروشیمی به زوال نرود. همانطور که در متن مقاله بحث شده است است، زندگی بشر به محصولات شیمیایی و از جمله پتروشیمی آنچنان وابسته شده که بیرون شدن از چنین چسبندگی حداقل تا میان‌مدت بعید است. هر چند که مصرف و استفاده از کالاهای پتروشیمی مانند پلاستیک را می‌توان کارا و همراه با بهره‌وری بالاتر نمود. بدین جهت پیش‌بینی نویسندگان این مقاله آن است که در دوره کاهش اتکاء به حامل‌های انرژی فسیلی صنایع پتروشیمی رشد قابل توجهی خواهد داشت. به‌خصوص که فناوری‌های جدید می‌توانند تأثیر شایانی بر کاهش ردپای کربن ناشی از تولید کالاهای پتروشیمی داشته باشند. از سوی دیگر از انرژی‌های پاک نیز می‌توان هم به‌عنوان سوخت و هم به‌عنوان خوراک در صنعت پتروشیمی استفاده نمود. در نهایت با توجه به چارچوب تبیین شده توصیه‌های ذیل حائز اهمیت هستند:

۱. با توجه به سهم بالایی که صنعت پتروشیمی در خلق ارزش افزوده و ارزآوری دارد لذا حمایت دولت از این صنعت با هدف حضور پیدا کردن در بازارهای جهانی می‌تواند اثر بیشتری بر خلق ارزش افزوده حتی در دوره حرکت جهان به‌سمت گذار انرژی داشته باشد. عمده محصولات تولیدی صنعت پتروشیمی مربوط به بخش بالادستی بوده و به‌صورت ذاتی امکان ایجاد شغل انبوه ندارد. در چنین شرایطی به‌منظور ایجاد شغل می‌توان توسعه پایین‌دستی صنعت پتروشیمی را مدنظر قرار داد.

۲. با توجه به مزیت وجود منابع گاز طبیعی در کشور، مناسب است با تدوین سیاست‌های راهبردی با هدف مدیریت مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی ارائه مجوز تأسیس مجتمع‌های پتروشیمی مدنظر قرار گیرد. همچنین با توجه به

سهولت دسترسی به خوراک در مناطق مرزی و در راستای کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و عملیاتی، مناسب است در صدور مجوزهای تأسیس واحدهای جدید به مکان‌یابی مجتمع‌ها در مناطق مرزی توجه بیشتری شود.

۳. ایجاد زیرساخت‌های قوی و کارآمد از جمله بنادر، پالایشگاه‌ها، انبارها، و شبکه حمل‌ونقل مناسب از اهمیت بالایی در صنعت پتروشیمی برخوردار بوده و نیاز است که مدنظر سیاستگذاران این حوزه قرار گیرد از سوی دیگر سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای بهبود فرآیندها و کاهش هزینه‌ها در تولید محصولات پتروشیمی اهمیت دارد. این اقدام می‌تواند به افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه تولید منجر شود.

۴. تمرکز بر تولید محصولاتی با ارزش افزوده بالا می‌تواند به افزایش سودآوری و رقابت‌پذیری کمک کند. این اقدام نیاز به شناخت بازار و تحلیل دقیق نیازهای مشتریان دارد. همچنین توسعه بازارهای صادراتی برای صادرات محصولات پتروشیمی و کسب ارزآوری بیشتر از اهمیت بالایی برخوردار است. این اقدام می‌تواند به تنوع بازارهای هدف و افزایش درآمد از صادرات منجر شود.

۵. استفاده بهینه از منابع طبیعی مانند گاز و نفت برای تولید محصولات پتروشیمی از اهمیت بالایی برخوردار است. این امر نیازمند مدیریت برای حفظ این منابع است. لذا در چنین شرایطی برقراری همکاری‌های بین‌المللی با شرکت‌ها و کشورهای دیگر برای انتقال فناوری و تجربیات می‌تواند به بهبود فرآیندها و کیفیت تولید کمک کند.

۶. آموزش و توسعه نیروی انسانی متخصص در حوزه پتروشیمی برای بهبود کیفیت و بهره‌وری تولید از اهمیت بالایی برخوردار است. این امر نیازمند سرمایه‌گذاری در آموزش و ارتقاء دانش و تجربه کارکنان است. تنوع بخشیدن به محصولات تولیدی برای کاهش وابستگی به یک محصول و افزایش انعطاف‌پذیری صنعت پتروشیمی می‌تواند به کاهش ریسک‌ها و افزایش درآمد منجر شود. از سوی دیگر رعایت استانداردهای زیست‌محیطی در فرآیندهای تولیدی برای حفظ محیط‌زیست و پایداری منابع طبیعی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. این امر نیازمند پیگیری دقیق و اجرایی از سوی شرکت‌ها و دولت است.

## مراجع

[1] IEA. (2018). "*The Future of Petrochemicals: Towards More Sustainable Plastics and Fertilisers*."

[2] Åhman, Max; Lars J. Nilsson; Bengt Johansson. (2017). "Global Climate Policy and Deep Decarbonization of Energy-Intensive Industries." *Climate Policy*. 17: pp. 634–649.

[3] Turnheim, Bruno; Benjamin K. Sovacool. (2020). "Forever Stuck in Old Ways? Pluralising Incumbencies in Sustainability Transitions." *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 35: pp. 180-184.

[4] van Mossel, Allard; Frank J. van Rijnsoever; Marko P. Hekkert. (2018). "Navigators through the Storm: A Review of Organization Theories and the Behavior of Incumbent Firms during Transitions." *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 26: pp. 44-63.

[5] Lee, Dasom; David J. Hess. (2019). "Incumbent Resistance and the Solar Transition: Changing Opportunity Structures and Framing Strategies." *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 33: pp. 183-195.

[6] Supran, Geoffrey; Naomi Oreskes. (2021). "Rhetoric and Frame Analysis of ExxonMobil's Climate Change Communications." *One Earth*. 4(5): pp. 696–719.

[7] Bonneuil, Christophe; Pierre-Louis Choquet; Benjamin Franta. (2021). "Early Warnings and Emerging Accountability: Total's Responses to Global Warming, 1971–2021." *Global Environmental Change*. 71: 102386.

[8] Franta, Benjamin. (2021). "Early Oil Industry Disinformation on Global Warming." *Environmental Politics*. 30(4): pp. 663–668.

[9] Supran, Geoffrey; Naomi Oreskes. (2020). "Addendum to 'Assessing ExxonMobil's Climate Change Communications (1977–2014)' Supran and Oreskes (2017 Environ. Res. Lett. 12 084019)." *Environmental Research Letters*. 15: 119401.

[10] Franta, Benjamin. (2022). "Weaponizing Economics: Big Oil, Economic Consultants, and Climate Policy Delay." *Environmental Politics*. 31(4): pp.1-21.

[11] Green, Jessica; Jennifer Hadden; Thomas Hale; Paasha Mahdavi. (2022). "Transition, Hedge, or Resist? Understanding Political and Economic Behavior toward Decarbonization in the Oil and Gas Industry." *Review of International Political Economy*. 29(6): pp. 1-28.

[12] Li, Mei. Gregory Trencher; Jusen Asuka. (2022). "The Clean Energy Claims of BP, Chevron, ExxonMobil and Shell: A Mismatch Between Discourse, Actions and Investments." *PLoS ONE*. 17(2): e0263596.

[13] Levi, Peter G.; Jonathan M. Cullen. (2018). "Mapping Global Flows of Chemicals: From Fossil Fuel Feedstocks to Chemical Products." *Environmental Science & Technology*. 52(4): pp. 1725–1734.

[14] Geyer, Roland; Jenna R. Jambeck; Kara Lavender Law. (2017). "Production, Use, and Fate of All Plastics ever Made." *Science Advances*. 3(7): e1700782.

[15] Cabernard, Livia; Stephan Pfister; Christopher Oberschelp; Stefanie Hellweg. (2021). "Growing Environmental Footprint of Plastics Driven by Coal Combustion." *Nature Sustainability*. 5: pp. 139-148.

[16] Bauer, Fredric; Germain Fontenit. (2021). "Plastic Dinosaurs – Digging Deep into the Accelerating Carbon Lock-In of Plastics." *Energy Policy*. 156: 112418.

[17] Bergmann, Melanie; Bethanie Carney Almroth; Susanne M. Brander; Tridibesh Dey; Dannielle S. Green; Sedat Gundogdu; Anja Krieger; Martin Wagner; Tony R. Walker. (2022). "A Global Plastic Treaty Must Cap Production." *Science*. 376(6592): pp. 469–470.

[18] Simon, Nils; Karen Raubenheimer; Niko Urho; Sebastian Unger; David Azoulay; Trisia Farrelly; Joao Sousa; Harro van Asselt; Giulia Carlini; Christian Sekomo; Maro Luisa Schulte; Per-Olof Busch; Nicole Wienrich; Laura Weiand. (2021). "A Binding Global Agreement to Address the Life Cycle of Plastics." *Science*. 373(6550): pp. 43–47.

[19] Tickner, Joel; Ken Geiser; Stephanie Baima. (2021). "Transitioning the Chemical Industry: The Case for Addressing the Climate, Toxics, and Plastics Crises." *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*. 63(6): pp. 4–15

[20] Mah, Alice. (2021). "Future-Proofing Capitalism: The Paradox of the Circular Economy for Plastics." *Global Environmental Politics*. 21(2): pp. 121–142.

[21] Mah, Alice. (2022). "*Plastic Unlimited: How Corporations Are Fuelling the Ecological Crisis and What We Can Do About It*." Polity Press.

[22] Markowitz, Gerald; David Rosner. (2013). "*Deceit and Denial*." University of California Press.

# The Future of the Petrochemical Industry in the Light of Developments Related to Energy Transition

**Hasan Raei[1], Mohammad Javad Saket[2], and Abbas Maleki[3*]**

1. Energy Systems Engineering, Department of Energy Engineering, Sharif University of Technology, 11155/1639, Tehran, Iran.
2. Energy Systems Engineering, Department of Energy Engineering, Sharif University of Technology, 11155/1639, Tehran, Iran.
3. Energy Systems Engineering, Department of Energy Engineering, Sharif University of Technology, 11155/1639, Tehran, Iran.

Corresponding Author Email Address: maleki@sharif.edu

## ABSTRACT:

*Like any other industry, the petrochemical industry is optimizing energy consumption and reducing emissions or deposition and carbon footprint towards sustainability. The consumption of hydrocarbons entering this industry is managed to reduce global warming. The electrification of the energy demand of this industry is also being completed in line with the goals of the "United Nations" in reducing carbon emissions. In the feed sector, trends such as recycling are expanding and developing to reduce the demand for energy carriers as a raw material for the petrochemical industry. This is even though many petrochemical products cannot be completely recycled easily and some artifacts produced with petrochemical materials have a very long life. Therefore, the replacement of fossil energy carriers in the feed sector of the petrochemical industry is being formed at a slower pace than its fuel sector. This has caused the demand for crude oil, natural gas, and coal to feed the petrochemical industry to be among the least flexible sectors in the management of fossil fuel consumption so that one of the most important drivers of crude oil demand in the coming years is not the transportation sector but the petrochemical sector. In the framework of this article, after examining the conditions governing the petrochemical industry in the present era and the position of this industry in the energy transition period, we will give recommendations on the maximum use of Iran's mentioned industry.*

**Keywords:** *Petrochemical, Iran, Energy Transition, Fossil Fuels*