

## آینده ی صنعت پتروشیمی (حرکت به سمت به سمت پلاستیک ها و کود های پایدارتر)

سجاد کشاورزبان ، دکترای انرژی دانشگاه پلی تکنیک میلان، پژوهشگر در پتروشیمی نوری (برزویه)

### مقدمه

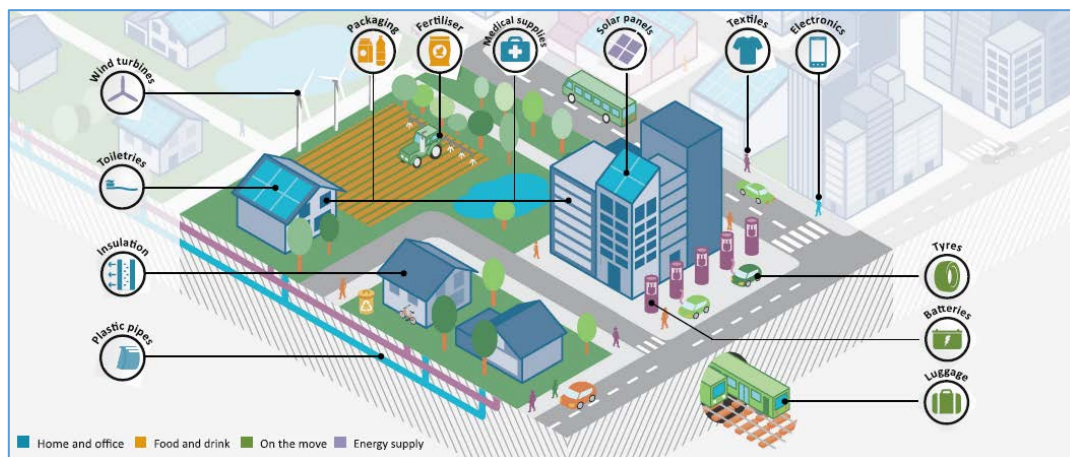
گزارش پیش رو حاصل مطالعه، خلاصه برداری، و ترجمه ی گزارش ۱۳۰ صفحه ای آژانس بین المللی انرژی (IEA) با عنوان آینده صنعت پتروشیمی (حرکت به سمت پلاستیک ها و کود های پایدارتر) می باشد که در آن علاوه بر بررسی شرایط حال حاضر این صنعت از نظر میزان مصرف انرژی و آلاینده، دو سناریو پیش روی این صنعت مورد بررسی قرار می گیرد (سناریو اول ادامه ی روند کنونی مطابق با سیاست ها و برنامه های موجود، و سناریو دوم حرکت به سمت صنعت شیمیایی پاک). به عقیده ی دکتر Fatih Birol مدیر اجرایی آژانس بین المللی انرژی، **صنعت پتروشیمی از صنایع پرمصرف انرژی است که در حال حاضر نقطه ی تاریکی در سیستم های انرژی به حساب می آید (از نظر میزان توجه به مقادیر بالای مصرف انرژی و آلاینده) و سزاوار توجه بیشتر سیاستگذاران می باشد.** در این گزارش، مطابق با سناریو های اشاره شده، میزان تقاضا، مصرف خوراک و انرژی، آلاینده، ... در سال های پیش رو ( ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ ) برای محصولات اصلی صنایع پتروشیمی تخمین زده شده است.

بر اساس موارد مطرح شده در این گزارش، حرکت به سمت صنعت شیمیایی پاک با استفاده از تکنولوژی های استحصال و ذخیره سازی کربن، استفاده از کاتالیست های با کیفیت تر، استفاده از خوراک های متنوع حاوی کربن و هیدروژن (محصولات زیست فناوری، گازهای خروجی از صنایع آهن و فولاد، آب، ...)، استفاده از گاز طبیعی به جای ذغال سنگ، بهینه سازی مصرف انرژی با استفاده از تجمیع حرارتی و بروز رسانی تکنولوژی پینچ، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر، و تجمیع پالایشگاه ها و پتروشیمی ها قابل دسترسی خواهد بود.

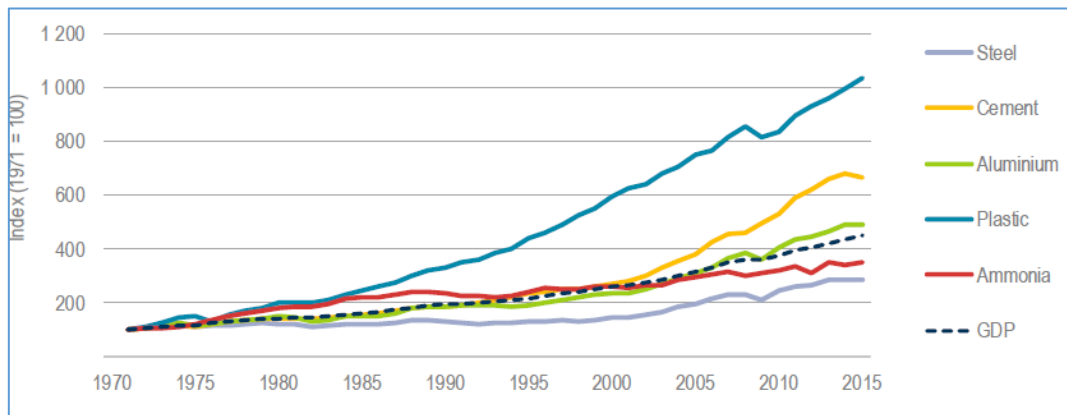
این گزارش می تواند جهت سیاستگذاری و برنامه ریزی های راهبردی در صنعت پتروشیمی مورد استفاده قرار گیرد و اطلاعات مفیدی (شامل شناسایی قطب های تولید و بازار های مصرف در سال های پیش رو، الزامات زیست محیطی، مصارف آب، انرژی، و خوراک...) را در اختیار سیاستگذاران این حوزه قرار دهد.

### وابستگی جوامع به تولیدات صنعت پتروشیمی

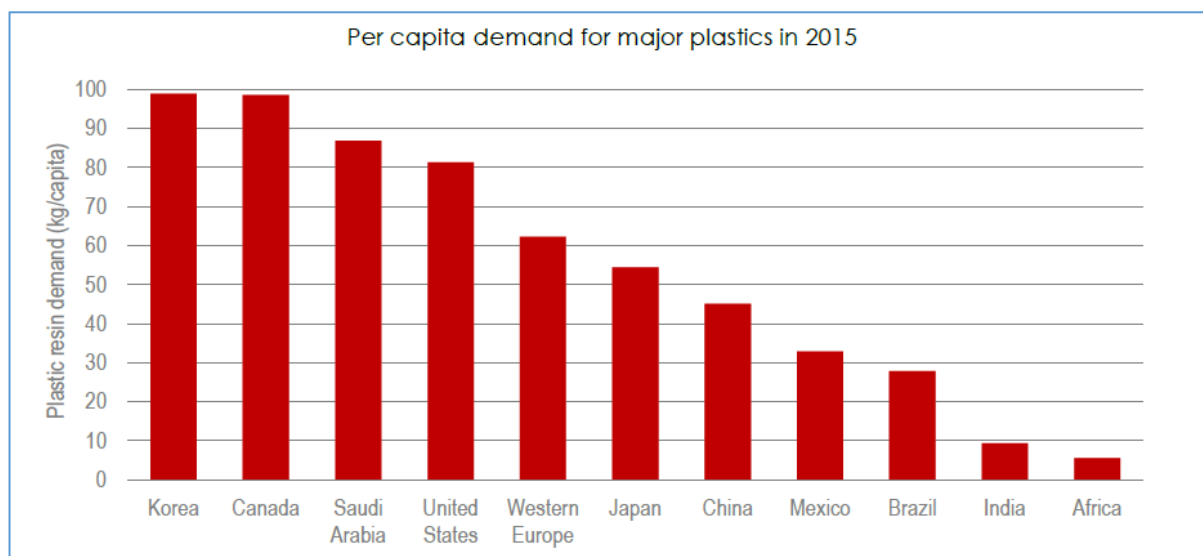
دنای امروز به میزان بسیار زیادی وابسته به محصولات پتروشیمی است؛ از قطعات فراوانی که در ماشین ها مورد استفاده قرار می گیرند، تا قطعات الکتریکی و الکترونیکی، تجهیزات پزشکی، شوینده ها، لباس ها، پلاستیک ها، کود های شیمیایی، و حتی بسیاری از تولیدات مرتبط با انرژی های تجدید پذیر (پنل های خورشیدی، توربین های بادی، باتری ها...) وابسته به محصولات پتروشیمی می باشند.



در این میان، پلاستیک ها و کودهای شیمیایی از بزرگترین تولیدات صنایع پتروشیمی بوده و جزء جدایی ناپذیر زندگی روزمره ما می باشند. تولید پلاستیک ها به میزان قالب توجهی بالاتر از تولید هر نوع ماده دیگر در دنیا می باشد، و کودهای مصنوعی نیتروژنی نیز تقریباً جهت نیمی از تولیدات محصولات غذایی در دنیا مورد استفاده قرار می گیرند. همانطور که در شکل زیر قابل مشاهده می باشد، میزان تولید پلاستیک در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۱۹۷۱ بیش از ده برابر، و نسبت به آغاز هزاره ی سوم (سال ۲۰۰۰) تقریباً دو برابر شده است.



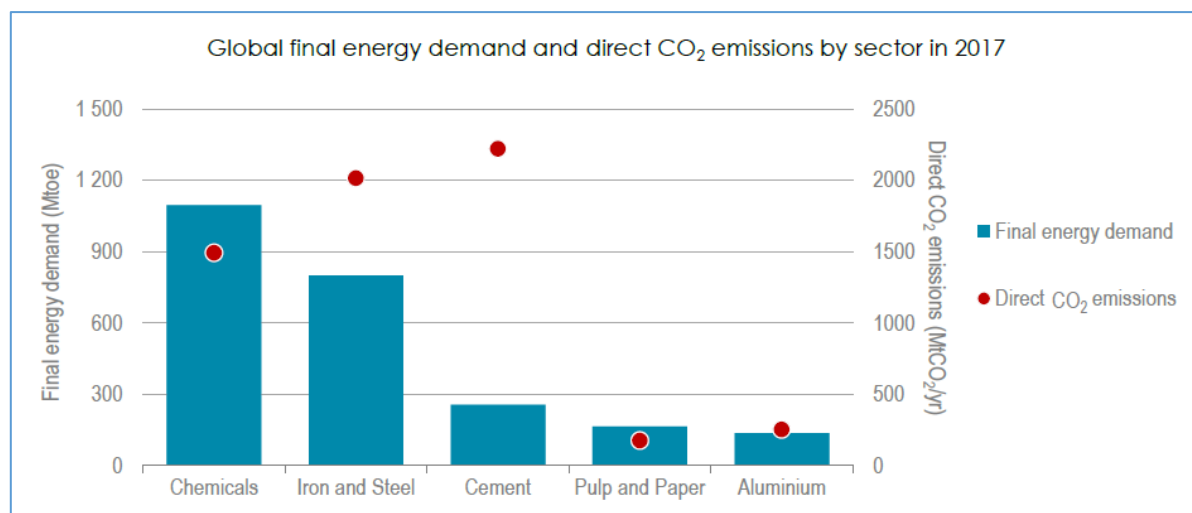
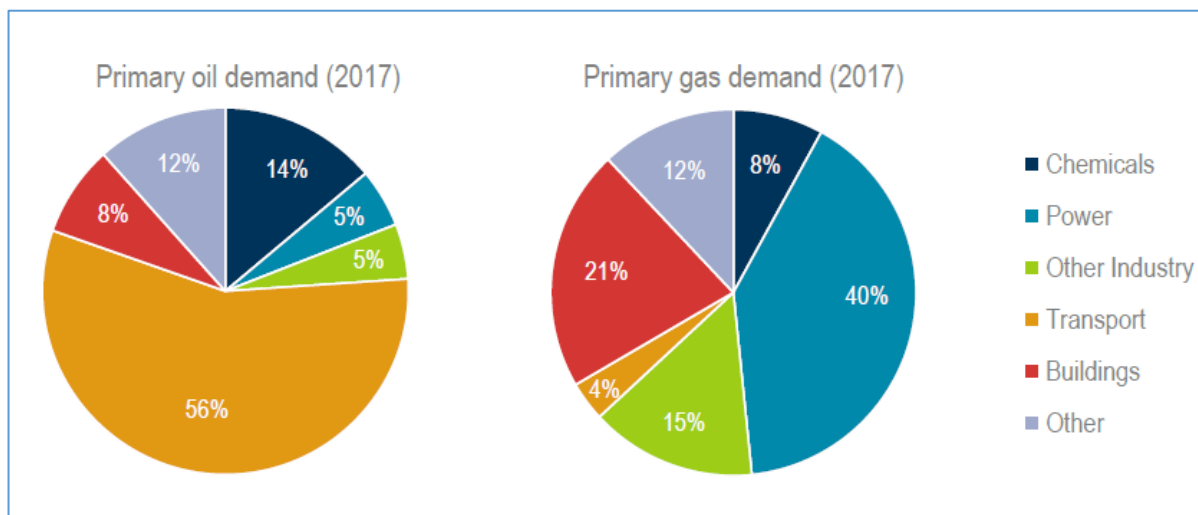
مصرف سرانه ی پلاستیک نسبت مستقیمی با میزان درآمد جوامع داشته و مطابق آمار، مصرف سرانه پلاستیک در کشورهای با درآمد بالا ۲۰ برابر مصرف سرانه در کشورهای با درآمد پایین می باشد. صنعت بسته بندی بیشترین سهم را در استفاده از پلاستیک دارا می باشد.



مصرف انرژی، خوراک، و آب در صنعت پتروشیمی، و سهم این صنعت در انتشار گاز های گلخانه ای

صنایع پتروشیمی منابع زیادی از نفت و گاز را مصرف می کنند (حدود ۱۴٪ از نفت تولیدی معادل ۱۳ میلیون بشکه در روز، و ۸٪ از گاز تولیدی معادل ۳۰۰ میلیارد متر مکعب)، ولی بدلیل اینکه حدود نیمی از این میزان انرژی بصورت مواد اولیه یا خوراک مورد استفاده قرار می گیرد و وارد پروسه ی احتراق نمی گردد، به ظاهر شاهرگاری متناقض خلق می نماید که در عین قرار گرفتن در رده ی بزرگترین مصرف کننده ی صنعتی انرژی، سومین انتشار دهنده ی بزرگ دی اکسید کربن صنعتی

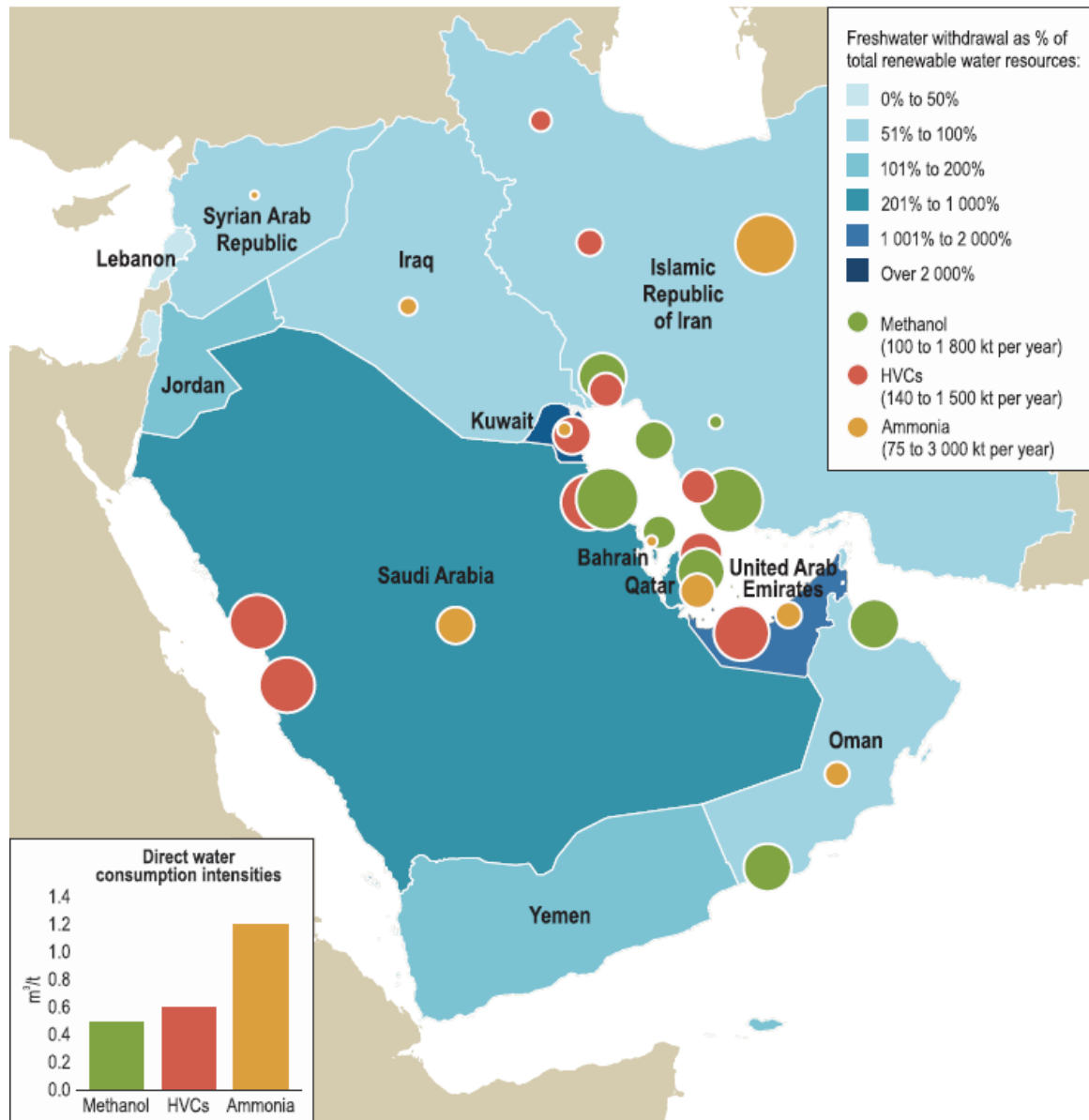
می باشد (با میزان انتشار ۱۸ درصدی دی اکسید کربن در بین صنایع معادل 1.5 Gt CO<sub>2</sub>/year). صنعت سیمان، آهن و فولاد در رده های اول و دوم قرار دارند. شکل های زیر به ترتیب میزان مصرف، و میزان آلاینده‌گی صنایع مختلف (از جمله صنایع شیمیایی) را به تصویر می کشند.



بر اساس تحلیل های بعمل آمده توسط IEA و سناریوی تکنولوژی مرجع (Reference Technology Scenario) ارائه شده توسط این آرژانس، افزایش مصرف نفت در صنعت پتروشیمی تا سال ۲۰۳۰ بیش از هر صنعت دیگری خواهد بود (افزایشی نزدیک به ۱۰ میلیون بشکه در روز). همچنین این صنعت نقش مهمی در افزایش مصرف گاز تا سال ۲۰۳۰ خواهد داشت (تقریباً ۷ درصد افزایش مصرف گاز را به خود اختصاص می دهد). بنابراین، میزان انتشار مستقیم دی اکسید کربن توسط این صنعت نیز تا ۲۰٪ در سال ۲۰۳۰، و تا ۳۰٪ در سال ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت. مضرات دیگری مانند افزایش آلاینده های هوا و میزان مصرف آب از نگرانی های دیگر آینده این صنعت می باشند. همچنین، در صورت عدم ایجاد بهبود های شدید در مدیریت ضایعات این بخش از صنعت (مخصوصاً مواد مرتبط با تولید پلاستیک ها)، میزان این ضایعات به شکل بسیار نگران کننده ای افزایش می یابد و حتی بیشتر از سطح غیر قابل قبول امروزه خواهد رسید که صدمات جبران ناپذیری را به محیط زیست (هوا، زمین، دریا) وارد می سازد.

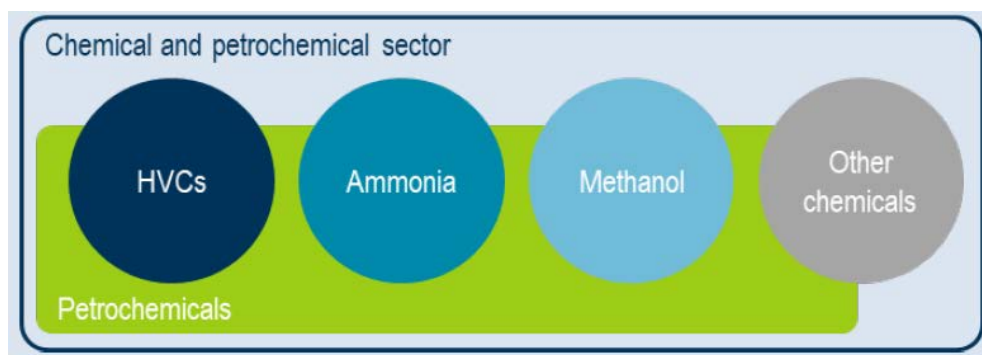
مطابق با گزارش IEA در سال ۲۰۱۶، آلودگی هوا (PM، VOCs، CO، Sox، NOx) چهارمین فاکتور ریسک سلامت انسان می باشد (پس از فشار خون بالا، ریسک های تغذیه ای، و مصرف سیگار)، و مصرف انرژی، مخصوصاً احتراق سوخت

های فسیلی عامل اصلی این آلودگی است. همچنین، مصرف بالای آب جهت تولیدات پتروشیمی موجب بالا رفتن استرس های آبی در کشورهایی که با بحران آب مواجه می باشند می گردد. بعنوان مثال کشور های خاور میانه که از نظر منابع آبی شرایط نگران کننده ای دارند و از طرفی سهم بالایی از اصلی ترین تولیدات صنایع پتروشیمی (Primary Chemical) را دارا می باشند، با افزایش تولیدات پتروشیمی نیاز به مصرف انرژی و هزینه ی بالایی جهت تهیه ی آب مورد نیاز خواهند داشت که اثرات تخریبی زیادی بر روی اکوسیستم منطقه خواهد گذاشت. شکل زیر تولیدات محصولات اصلی صنعت پتروشیمی و میزان استرس آبی را در منطقه خاور میانه نمایش می دهد.



در شکل فوق میزان مصرف آب مستقیم (بصورت بخار با خلوص بالا، در دما و فشار زیاد) برای تولید هر تن محصول شیمیایی نشان داده شده است و مصارف غیر مستقیم جهت خنک سازی، تولید الکتریسیته،... در نظر گرفته نشده است. همانطور که در شکل فوق مشخص می باشد، بیشترین مصرف مستقیم آب جهت تولید آمونیاک بوده (۱,۳ متر مکعب برای تولید یک تن)، و رتبه های بعدی متعلق به HVC ها و متانول می باشد.

اصلی ترین تولیدات صنایع پتروشیمی در این گزارش در شکل زیر قابل مشاهده می باشد. HVCS شامل الفین های سبک (اتیلن و پروپیلن)، و آروماتیک ها (بنزن، تولوئن، میکس زایلین یا به اختصار BTX) می شوند.



بر اساس تحلیل IEA که منطبق با اهداف تعیین شده ی سازمان ملل در زمینه ی توسعه ی پایدار می باشد، صنعت پتروشیمی می تواند با تولید پلاستیک ها و کودهای پایدار تر مطابق با سناریو تکنولوژی پاک (Clean Technology Scenario یا به اختصار CTS) نقش مثبتی در تحقق این اهداف ایفا نماید. مطابق با CTS، آلودگی هوا توسط صنایع پتروشیمی اصلی می تواند تا ۹۰٪ کاهش یابد (تا سال ۲۰۵۰)، و مصرف آب نیز تا ۳۰٪ کمتر خواهد شد. همچنین در این سناریو تاکید ویژه ای بر بهبود مدیریت ضایعات و بازیافت انجام می پذیرد که یک قدم بسیار مهم برای مهار ۱۰ میلیون تن زباله های پلاستیکی که هر ساله در اقیانوس های جهان نشت می کند می باشد. علاوه، تا سال ۲۰۵۰، میزان انتشار دی اکسید کربنی که به جهت بازیافت پلاستیک کاهش می یابد به نصف میزان انتشار امروز این صنعت خواهد رسید و مصرف انرژی نیز کاهش چشمگیری خواهد داشت (به ازای هر تن پلی اتیلن بازیافت شده، بیش از یک تن اتیلن صرفه جویی می گردد).

این مرحله ی گذار پاک با استفاده از تکنولوژی های استحصال و ذخیره سازی کربن (Carbon Capture and Storage)، استفاده از کاتالیست های با کیفیت تر، استفاده از خوراک های متنوع حاوی کربن و هیدروژن (محصولات زیست فناوری، گازهای خروجی از صنایع آهن و فولاد، آب، ...)، استفاده از گاز طبیعی به جای ذغال سنگ، تجمیع حرارتی (Heat Integration) و بروز رسانی تکنولوژی پینچ، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر، و تجمیع پالایشگاه ها و پتروشیمی ها قابل دسترسی خواهد بود. شرکت ملی نفت ابوظبی (ADNOC) اعلام نموده تا سال ۲۰۲۵ بزرگترین تسهیلات پالایشگاهی پتروشیمی جهان را با بودجه ای معادل ۴۵ میلیارد دلار احداث خواهد نمود. پروژه ی مشابهی با نام (Crude-oil-to-chemicals) توسط شرکت سایبک و آرامکو عربستان تا سال ۲۰۲۵ به بهره برداری خواهد رسید که ۵ برابر بزرگتر از پروژه ی درحال بهره برداری شرکت ExxonMobil در سنگاپور می باشد.

### بررسی دو سناریو ی متفاوت برای صنعت پتروشیمی

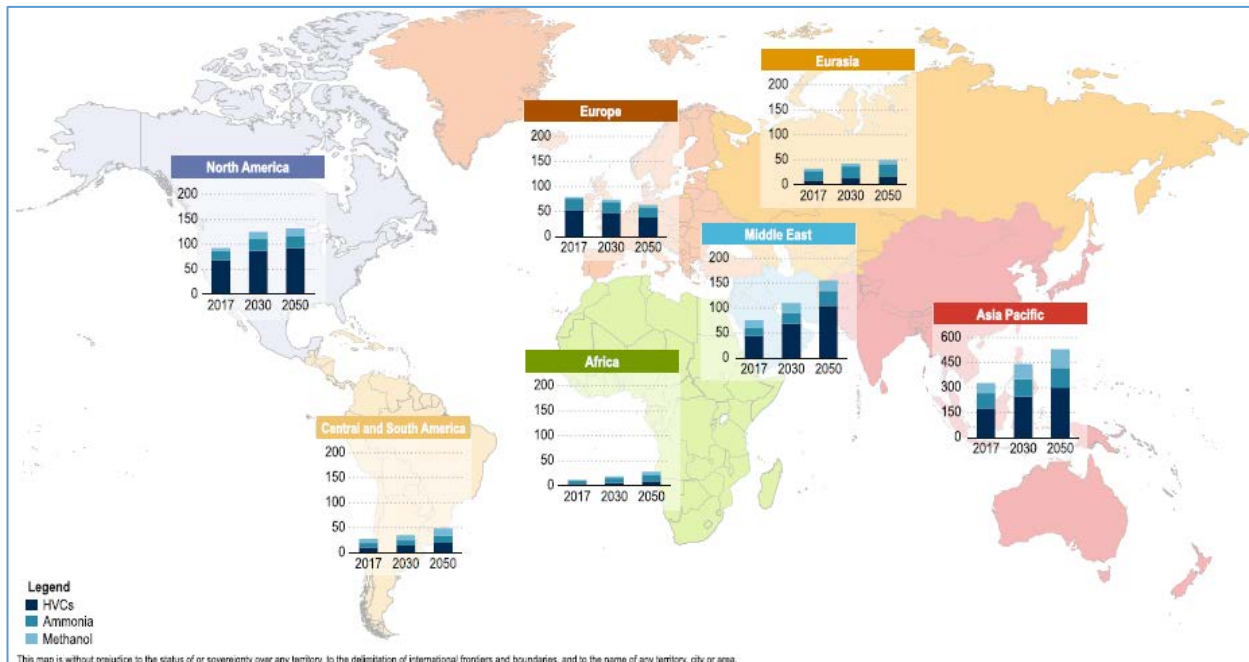
#### ۱. آینده صنعت پتروشیمی مطابق با سیاست ها و برنامه های موجود (سناریو مرجع RTS)

در این قسمت به پیش بینی آینده ی صنعت پتروشیمی بر اساس شرایط و برنامه های موجود پرداخته خواهد شد که با عنوان سناریو تکنولوژی مرجع (Reference Technology Scenario یا RTS) شناخته می شود. برای انجام این پیشبینی، پیشرفت های تکنولوژیکی و نوآوری، در دسترس بودن مواد اولیه (خوراک)، تقاضا برای محصولات پتروشیمی، و فاکتورهای مهم دیگری در صنعت پتروشیمی در نظر گرفته شده است. بر این اساس، تا سال ۲۰۳۰ نزدیک به ۱۰ میلیون بشکه در روز مصرف نفت در صنعت پتروشیمی افزایش خواهد یافت و انتشار گاز دی اکسید کربن نیز تا سال ۲۰۵۰ افزایشی حدود ۳۰ درصدی خواهد داشت.

## پیش بینی میزان تقاضا

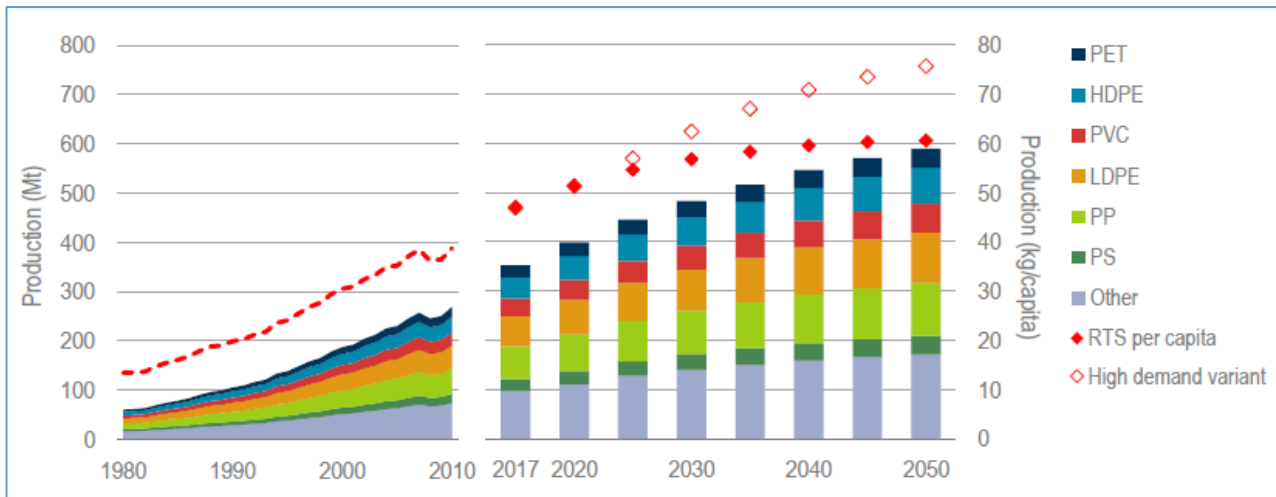
مطابق با سناریو تکنولوژی مرجع (RTS)، تقاضا برای محصولات اصلی پتروشیمی تا سال ۲۰۳۰ به میزان ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت، و این روند تا سال ۲۰۵۰ به ۵۰ درصد خواهد رسید. در این میان پیش بینی می شود، تقاضا برای متانول تا سال ۲۰۳۰ به میزان ۵۰ درصد افزایش می یابد و این افزایش تا سال ۲۰۵۰ دو برابر خواهد شد. همچنین پیش بینی شده است تقاضا برای HVC ها (الفین های سبک : اتیلن و پروپیلن، و آروماتیک ها : بنزن، تولوئن، میکس زایلن یا به اختصار BTX) تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۶۰ درصد (نسبت به سال ۲۰۱۷) افزایش یابد که دومین رتبه افزایش بعد از متانول را دارا می باشد (بیش از نیمی از این میزان افزایش تا سال ۲۰۳۰ محقق خواهد شد).

آسیا و اقیانوسیه بیشترین سهم را در تولید HVC ها در سال ۲۰۱۷ داشته و تا سال ۲۰۵۰ خواهند داشت. لازم به ذکر است منطقه خاور میانه و آفریقا سریعترین نرخ رشد را در تولید HVC ها خواهند داشت. شکل زیر شرایط موجود و آینده ی تولیدات محصولات پتروشیمی بر اساس سناریو RTS را در مناطق مختلف تا سال ۲۰۵۰ نشان می دهد.

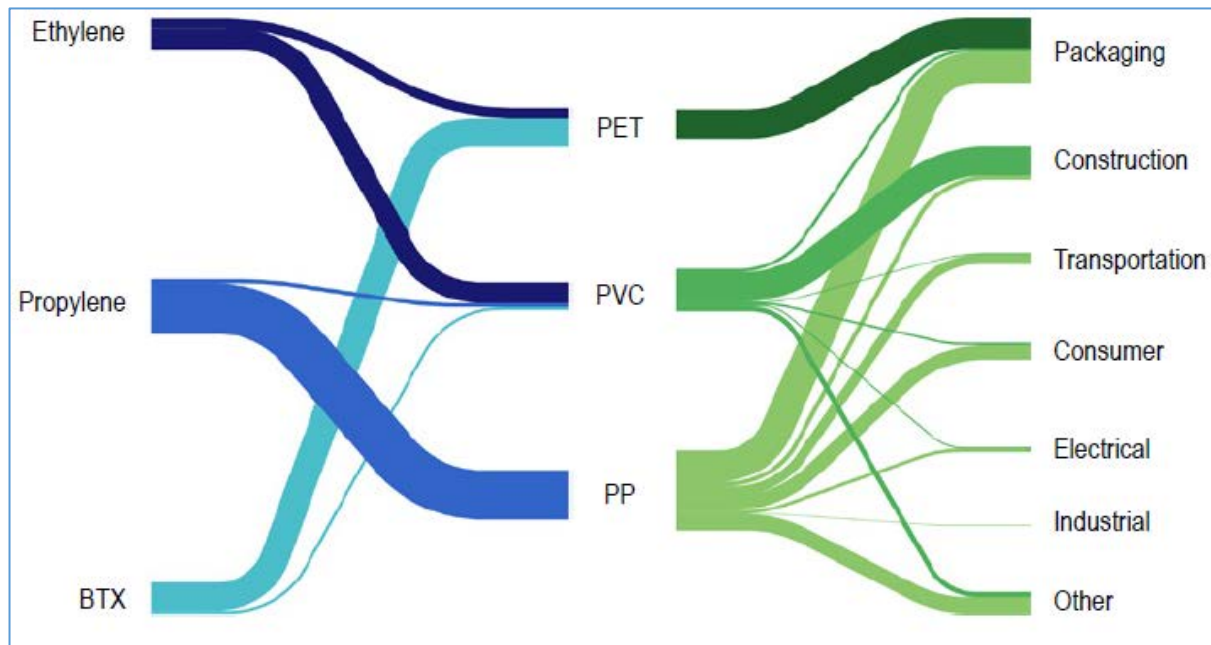


افزایش جمعیت جهان، بالا رفتن سطح زندگی، و روند افزایشی استفاده از پلاستیک ها از دلایل افزایش محصولات HVC می باشند (تولید پلاستیک خام مستلزم ورودی های HVC می باشد). مطابق با پیش بینی ها، میزان تولید ترموپلاستیک های اصلی (PET، HDPE، PVC، LDPE، PP، PS، ...) تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۷۰ درصد افزایش خواهد یافت.



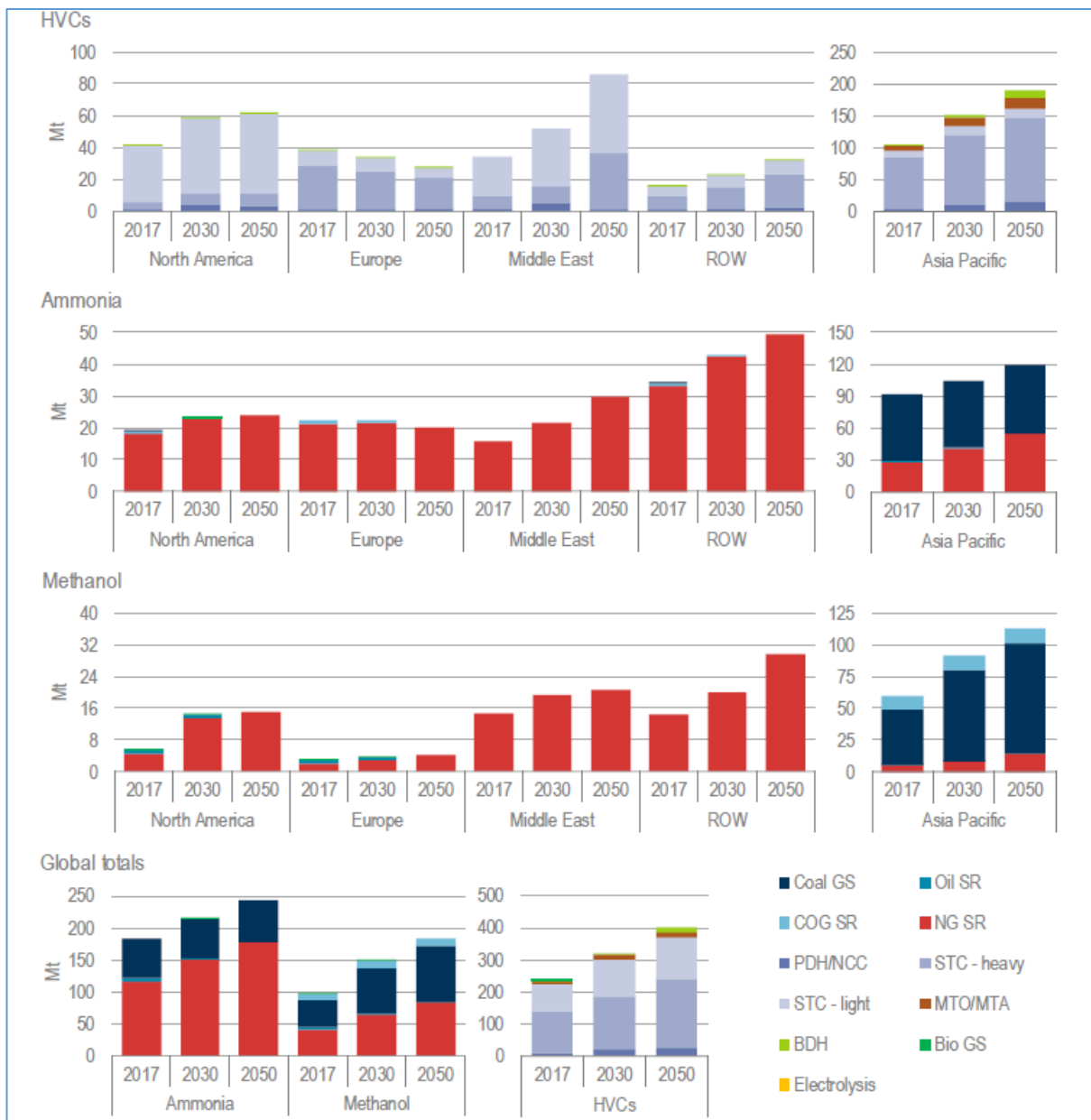


شکل زیر مواد اولیه و موارد مصرف پلاستیک های تولید شده را نشان می دهد.



- پیش بینی میزان خوراک و پروسه های تولید محصولات اصلی

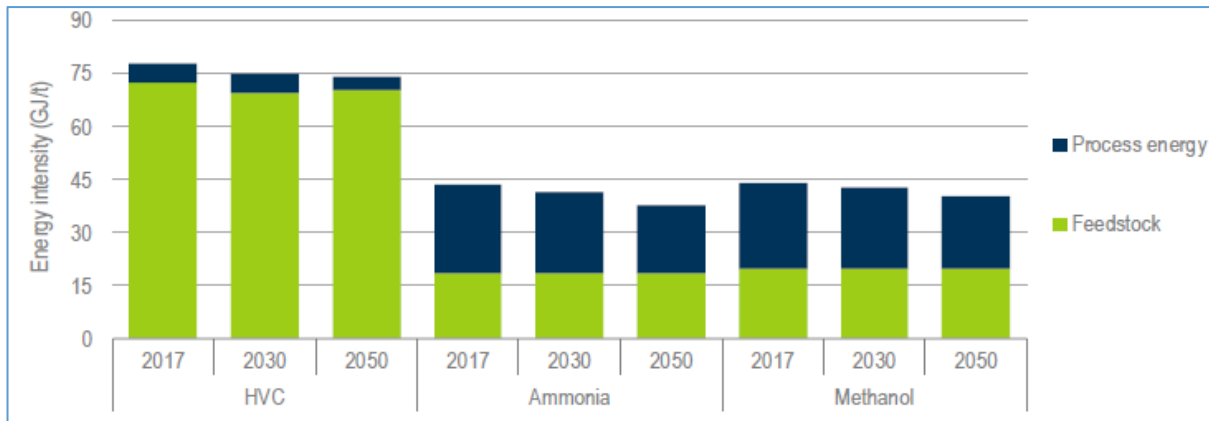
مصرف خوراک نفتی جهت تولید محصولات پتروشیمی اصلی تا سال ۲۰۳۰ به میزان ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت و پس آن تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۲۵ درصد دیگر بالا خواهد رفت که بیشترین تقاضا مرتبط با HVC ها می باشد. مصرف گاز نیز افزایشی معادل ۳۶ درصد تا سال ۲۰۳۰، و ۲۲ درصد دیگر تا سال ۲۰۵۰ خواهد داشت که بیشترین تقاضا در حوزه ی تولید آمونیاک و متانول خواهد بود. بر اساس سناریو RTS انتخاب پروسه های تولید محصولات اصلی پتروشیمی به میزان در دسترس بودن خوراک، جذابیت اقتصادی، مصرف انرژی، و آلاینده های زیست محیطی آنها بستگی خواهد داشت. شکل زیر مسیرهای متفاوت مورد استفاده جهت تولید محصولات اصلی پتروشیمی را در مناطق مختلف جهان در سال های ۲۰۱۷، ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ نشان می دهد.



### پیش بینی میزان شدت مصرف انرژی و خوراک

بر اساس سناریو RTS، شدت انرژی برای تولید محصولات اصلی پتروشیمی در سال ۲۰۳۰ به میزان ۳,۴ درصد نسبت به سال ۲۰۱۷ کاهش خواهد یافت و این کاهش تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۲,۶ درصد دیگر خواهد رسید. این در حالی است که شدت مصرف خوراک تقریباً ثابت بوده و تغییرات بسیار ملایمی خواهد داشت (از ۴۳,۴ گیگاژول بر تن در سال ۲۰۱۷، به ۴۲,۷ گیگاژول بر تن در سال ۲۰۳۰، و ۴۳,۹ گیگاژول بر تن در سال ۲۰۵۰). بنابراین اگرچه شرایط مخصوصاً برای تولید HVC ها پیچیده تر خواهد شد ولی تقریباً برای تولید یک تن محصول میزان خوراک تغییر زیادی نخواهد داشت. بطور ویژه برای تولید محصولات HVC، شدت مصرف خوراک از ۷۲,۳ گیگاژول بر تن در سال ۲۰۱۷ به ۶۹,۵ گیگاژول بر تن تولید در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید و سپس این میزان به ۷۰,۳ گیگاژول بر تن در سال ۲۰۵۰ کاهش خواهد یافت. این میزان کاهش اولیه بدلیل افزایش خوراک های سبک تر تا سال ۲۰۳۰ خواهد بود. شکل زیر میزان متوسط مصرف انرژی محصولات اصلی صنعت پتروشیمی را در سال های ۲۰۱۷، ۲۰۳۰، و ۲۰۵۰ را نشان می دهد (انرژی فرایندی و خوراک). همانطور که در نمودار قابل ملاحظه می باشد، مصرف خوراک تقریباً ثابت می باشد و تلاش برای کاهش مصرف انرژی تاثیرگذار خواهد بود.





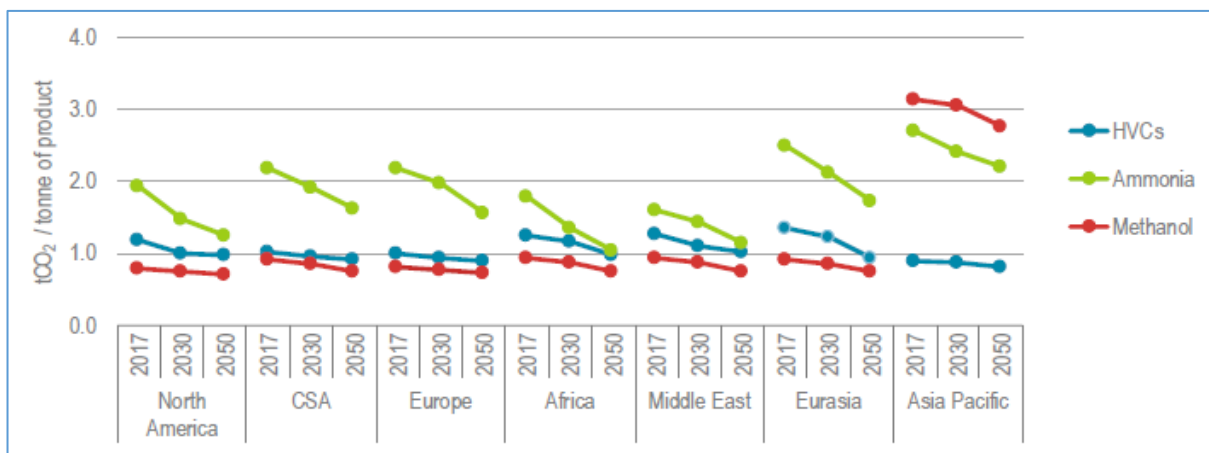
### - پیش بینی اثرات زیست محیطی در اثر افزایش تقاضای محصولات پتروشیمی

مطابق با سناریو RTS، علت افزایش تقاضای محصولات اصلی پتروشیمی، میزان انتشار CO<sub>2</sub> صنعت پتروشیمی تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۳۰ درصد افزایش می یابد و تقریباً دو سوم این افزایش تا سال ۲۰۳۰ اتفاق خواهد افتاد (از سال ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ این افزایش بسیار آرامتر اتفاق می افتد). در این سناریو، با توجه به افزایش تولیدات اصلی صنایع پتروشیمی، شدت انتشار دی اکسید کربن از ۱,۷ تن برای هر تن محصول در سال ۲۰۱۷ به ۱,۴ تن برای هر تن محصول در سال ۲۰۵۰ کاهش می یابد (تقریباً ۲۰ درصد کاهش) که بدلیل استفاده از خوراک های سبک تر، و بالارفتن بازده انرژی سیستم ها می باشد.

یکی دیگر از راه های کاهش انتشار دی اکسید کربن بر اساس سناریو RTS، بکارگیری واحد های استحصال و ذخیره سازی کربن Carbon Capture Utilization and Storage یا CCUS می باشد.

امروزه مطابق با آمار برای تولید یک تن آمونیاک، تقریباً ۲,۴ تن دی اکسید کربن بصورت مستقیم وارد اتمسفر می شود. این میزان انتشار برای تولید یک تن متانول و HVC ها بترتیب ۲,۳ تن و ۱ تن می باشد. لازم به ذکر است امارهای ارائه شده میانگین انتشار می باشند و با توجه به عمر این صنعت و تکنولوژی های بکار گرفته شده، ارقام قابل تغییر خواهند بود.

شدت میزان انتشار دی اکسید کربن برای محصولات اصلی پتروشیمی در سال های ۲۰۳۰، ۲۰۱۷، و ۲۰۵۰ در شکل زیر آمده است. کاهش شدت انتشار برای همه محصولات و در همه مناطق قابل مشاهده می باشد.



بعلاوه، آلودگی های دیگر موجود هوا نیز (PM<sub>2.5</sub>، Sox، NOx) که در اثر احتراق منابع انرژی در پتروشیمی بوجود می آیند تا سال ۲۰۵۰ روند کاهشی خواهند داشت (حدود ۳۰ درصد).

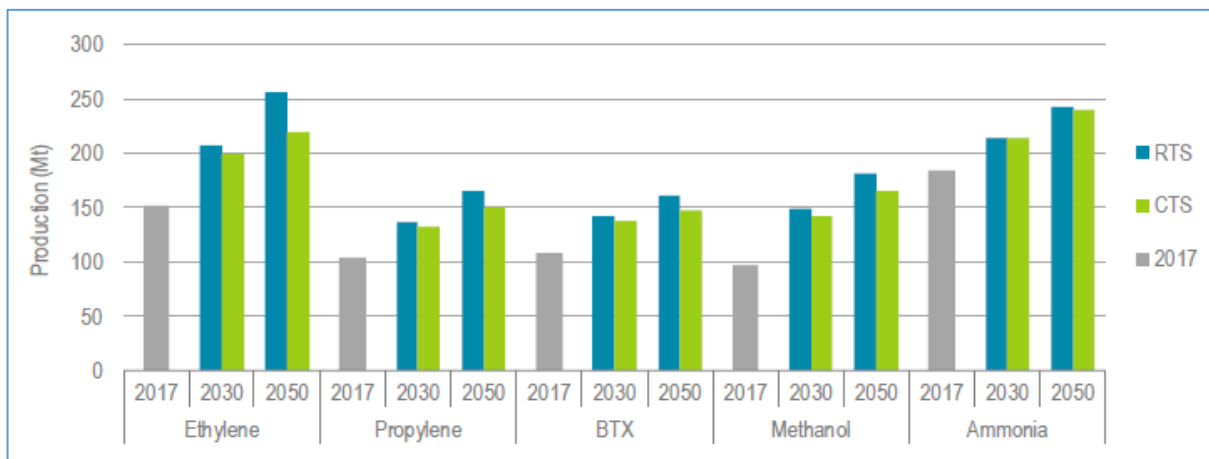
در مورد معضلات افزایش ضایعات پلاستیکی، افزایش برداشت از منابع آبی و افزایش مصرف آب بر اثر افزایش تولیدات محصولات پتروشیمی، ارقام و نمودارهای متناسبی در فصل چهارم گزارش آژانس بین المللی انرژی قابل مشاهده می باشد.

## ۲. حرکت به سمت صنعت شیمیایی پاک (سناریو تکنولوژی پاک CTS)

در این قسمت با استفاده از سناریو تکنولوژی پاک (Clean Technology Scenario) یا به اختصار CTS، آینده ی جایگزینی برای صنعت پتروشیمی بررسی می گردد. در این سناریو برخلاف سناریو RTS که مطابق با شرایط و برنامه های توسعه ای موجود، آینده صنعت پتروشیمی پیش بینی گردید، روش معکوسی بر اساس اهداف تعیین شده ی سازمان ملل جهت توسعه پایدار در پیش گرفته شده است. صنعت پتروشیمی پاک می تواند نقش قابل توجهی در تحقق این اهداف داشته باشد. سناریو CTS به شناسایی فرصت ها جهت محدود نمودن آلودگی های هوا و آب، کاهش میزان مصرف آب، و کاهش انتشار دی اکسید کربن می پردازد. بعنوان مثال در سال ۲۰۵۰، میزان انتشار دی اکسید کربن در سناریو CTS به میزان ۶۰ درصد کمتر از میزان انتشار مطابق با سناریو RTS در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است در این سناریو، میزان افزایش تقاضا برای محصولات اصلی پتروشیمی در سال ۲۰۵۰ برابر ۴۰ درصد خواهد بود (در سناریو RTS ۵۵ درصد افزایش تقاضا پیش بینی شده است).

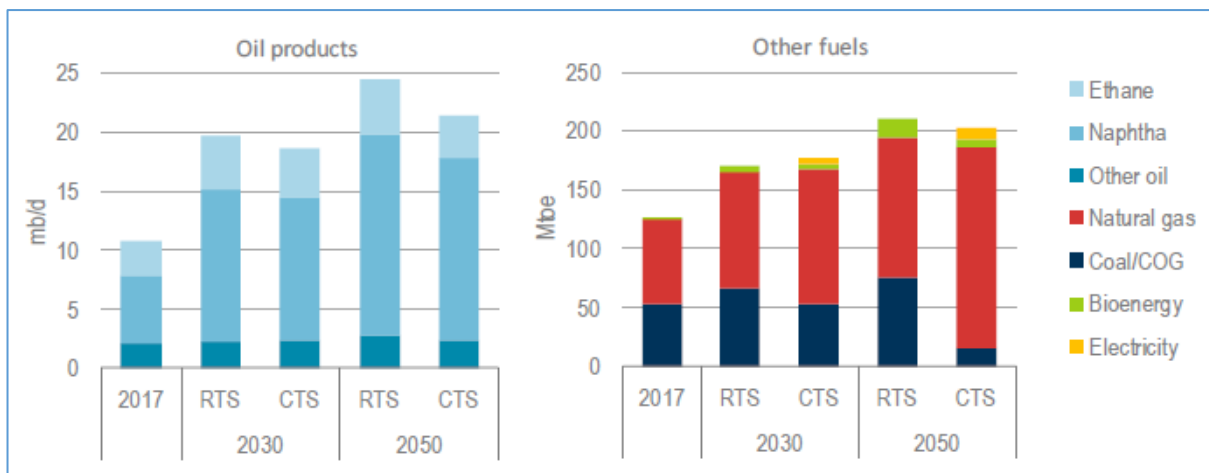
### - پیش بینی میزان تقاضا

بر اساس این سناریو (CTS)، میزان افزایش تقاضای محصولات اصلی پتروشیمی تا سال ۲۰۳۰ برابر ۳۰ درصد، و تا سال ۲۰۵۰ برابر ۴۰ درصد خواهد بود (نزدیک به ۴ و ۱۳ درصد کمتر از سناریو RTS)، و اصلی ترین دلیل این کاهش تقاضا **افزایش بازیافت پلاستیک** خواهد بود. لازم به ذکر است پیش بینی این تحولات از عدم قطعیت رنج می برد، بنابراین تقاضای کلی در نتایج اصلی ثابت نگه داشته می شود تا بتواند اثر افزایش بازیافت را متمایز نماید (در این مورد افزایش تقاضای پلاستیک مانند سناریو RTS در نظر گرفته شده است). شکل زیر مقایسه ای از دو سناریو مورد بحث را نشان می دهد.



### - پیش بینی میزان خوراک

مطابق با سناریو CTS، در سال ۲۰۵۰ افزایش محصولات اصلی پتروشیمی تقریباً ۷۰ میلیون تن کمتر از سناریو RTS می باشد (عمدتاً بدلیل بازیافت بیشتر پلاستیک). در نتیجه، میزان افزایش تقاضا برای خوراک نیز در این سناریو (CTS) کمتر خواهد بود. شکل زیر میزان این کاهش را برای خوراک های نفتی بصورت مقایسه ای نمایش می دهد. بیشترین تاثیر بازیافت پلاستیک در خوراک های نفتی قابل مشاهده است (۵ درصد کمتر در سال ۲۰۳۰، و ۱۳ درصد کمتر در سال ۲۰۵۰).



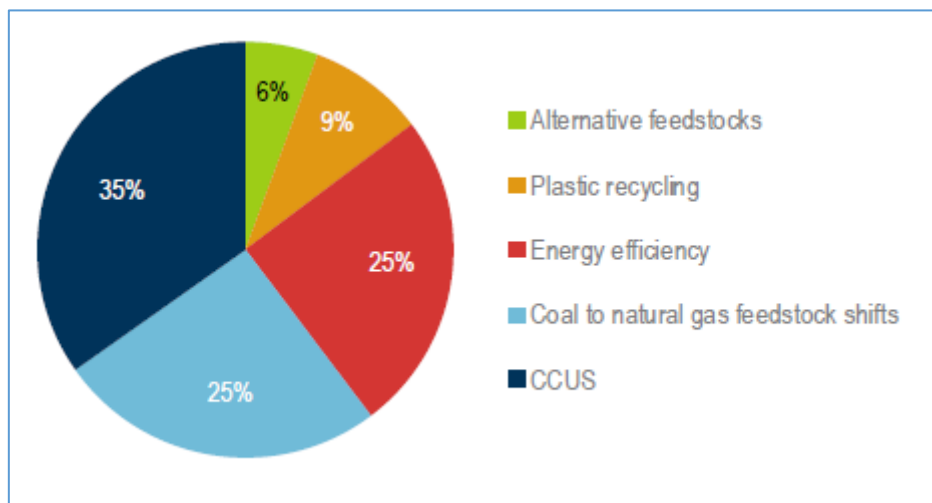
### – نقشه راه مرحله گذار پاک

جهت دستیابی به اهداف متعدد تعیین شده در سناریو CTS، سلسله اقدامات جمعی در سراسر زنجیره ارزش مورد نیاز می باشد و مجموعه فناوریها و انتخاب های عملیاتی موجود در صنعت پتروشیمی، امکان گذار از سناریو RTS به CTS را تسهیل می نماید. از منظر کاهش انتشار CO<sub>2</sub> لازم که نیروی محرکه ی اصلی سناریو CTS می باشد، واحدهای استحصال، استفاده و یا ذخیره سازی کربن (CCUS) نقش اساسی را در کاهش حدوداً ۳۵ درصدی انتشار CO<sub>2</sub> تا سال ۲۰۵۰ ایفا می کنند.

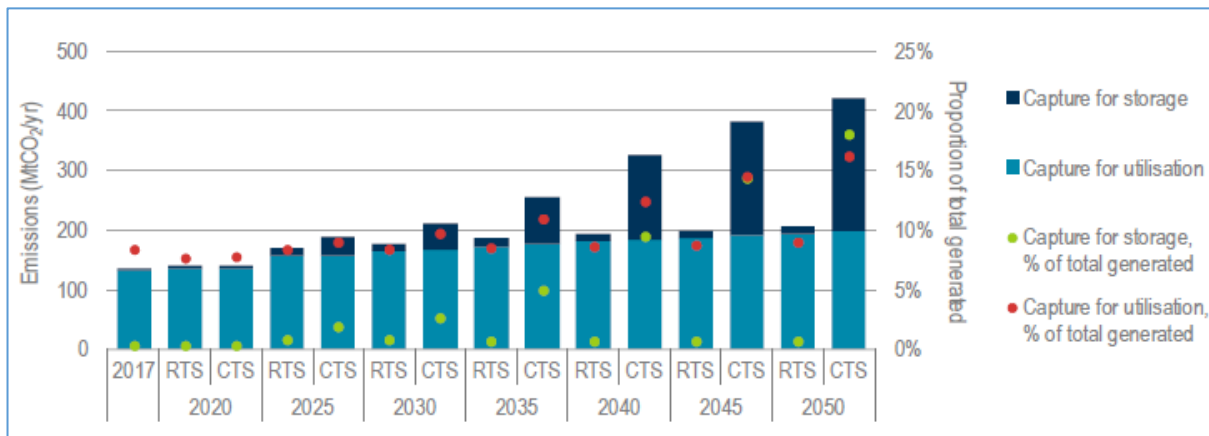
استفاده از گاز طبیعی در مسیرهای فرآیندی بجای ذغال سنگ می تواند کاهش بیشتری را نیز به همراه داشته باشد. افزایش بازده انرژی، بکارگیری فناوری های پیشرفته تر، تجمیع حرارتی، و شیوه های عملیاتی مؤثر نیز میتوانند تا ۲۵ درصد موجب کاهش انتشار دی اکسید کربن گردند.

لازم به ذکر است کاهش اثرات زیست محیطی بدون تاثیر بر فرایند تولید نخواهد بود: بعنوان مثال بهره برداری از واحدهای استحصال کربن بعلت مصرف انرژی در فرایند استحصال و ذخیره سازی، مصرف ویژه ی انرژی پلنت را افزایش خواهد داد که می توان با استفاده از آنالیز پینچ و بهینه نمودن طراحی شبکه مبدل های حرارتی، این افزایش مصرف را جبران نمود.

شکل ریز تاثیر راهکار های ارائه شده در سناریو CTS را در کاهش انتشار CO<sub>2</sub> نشان می دهد.

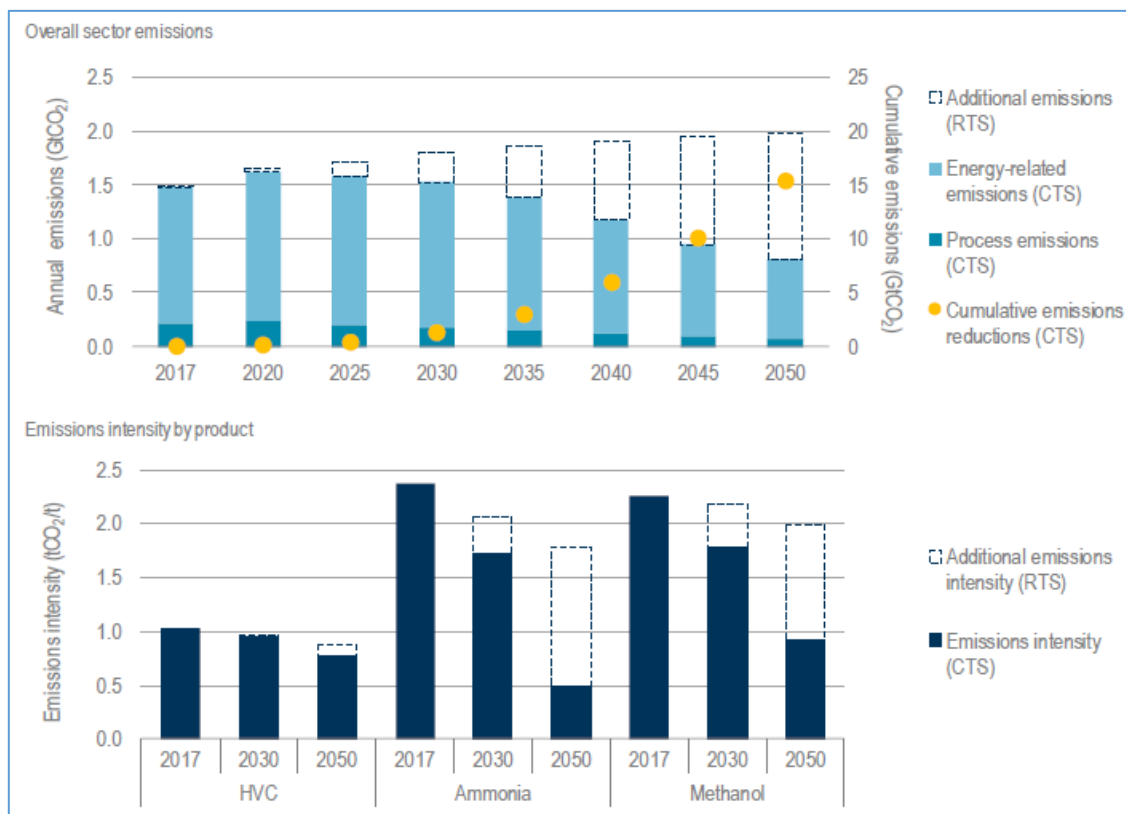


مطابق با سناریو CTS، استحصال و ذخیره سازی کربن از ۳ میلیون تن در سال ۲۰۱۷ به حدود ۲۲۰ میلیون تن در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید (میزان تجمعی دی اکسید کربن تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۳ گیگا تن خواهد رسید). در شکل زیر میزان دی اکسید کربن استحصال شده بر اساس سناریوهای CTS و RTS تا سال ۲۰۵۰ آمده است.

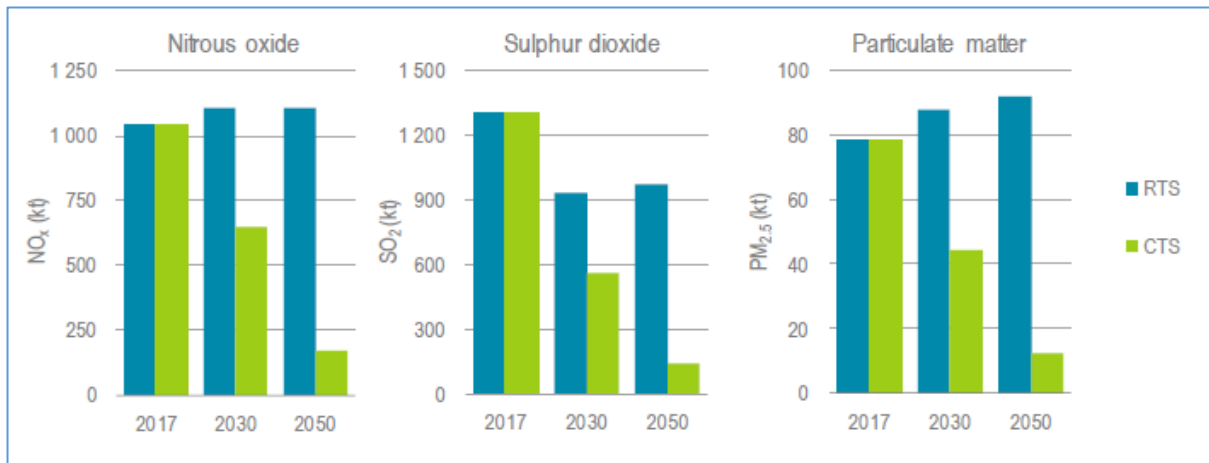


### مزایای زیست محیطی CTS

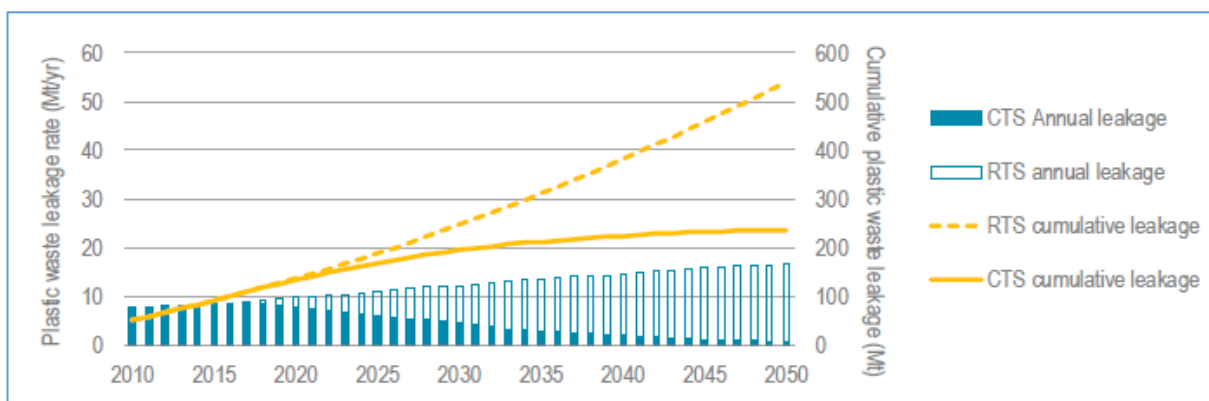
همانطور که در شکل های زیر قابل مشاهده است، میزان انتشار دی اکسید کربن و شدت انتشار آن برای تولید یک تن محصول در سناریو CTS، کمتر از سناریو RTS خواهد بود. **بیشترین تغییر در فرایند تولید آمونیاک قابل مشاهده می باشد** (از ۲,۴ تن دی اکسید کربن برای تولید یک تن آمونیاک در سال ۲۰۱۷، به ۱,۷ تن دی اکسید کربن برای تولید یک تن آمونیاک تا سال ۲۰۳۰ (تقریباً ۳۰ درصد)، و ۰,۵ تن دی اکسید کربن برای تولید یک تن آمونیاک تا سال ۲۰۵۰ (حدود ۸۰ درصد). به عبارت دیگر این فرایند (تولید آمونیاک) در سناریو CTS، از بیشترین میزان انتشار دی اکسید کربن در بین محصولات اصلی پتروشیمی، به کمترین میزان تبدیل خواهد شد. رتبه بعدی بیشترین کاهش CO<sub>2</sub> متعلق به متانول می باشد با به ترتیب ۲۰ و ۶۰ درصد کاهش در سال های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰.



میزان آلودگی هوا نیز در سناریو CTS کاهش قابل ملاحظه ای نسبت به سناریو RTS خواهد داشت که در شکل زیر قابل ملاحظه می باشد. در مرحله ی اول استفاده از سوخت های با آلودگی کمتر، افزایش بازدهی انرژی، و در صورت امکان اجتناب از احتراق بعنوان گزینه های کاهش آلودگی مدنظر می باشد. در مرحله بعدی استفاده از تکنولوژی های پیشرفته احتراق، مشعل های Low-NOx ، ... می تواند در کاهش میزان آلودگی هوا موثر باشد. همچنین تکنولوژی های به اصطلاح End-of-pipe برای جداسازی SO<sub>2</sub>، NOx ، و PM<sub>2.5</sub> از گازهای احتراقی، قبل از انتشار در اتمسفر به روش های فیزیکی و یا واکنش های شیمیایی می تواند در کاهش آلودگی های هوا موثر واقع گردد.



آلودگی آب در اثر نشت پلاستیک نیز در سناریو CTS با کاهش چشمگیری روبرو خواهد بود (بعلت اعمال قوانین سختگیرانه دولتی جهت مدیریت و بازیافت ضایعات پلاستیکی، و ممانعت از نشت ضایعات به محیط). شکل زیر میزان نشت سالیانه و تجمیعی ضایعات پلاستیکی را بر اساس سناریو های CTS و RTS تا سال ۲۰۵۰ را نشان می دهد. همانطور که قابل مشاهده می باشد، میزان نشت تجمیعی ضایعات پلاستیک در سناریو CTS کمتر از نصف این میزان در سناریو RTS در سال ۲۰۵۰ خواهد بود.



## ده توصیه جهت سیاستگذاری

علیرغم مزایای قابل توجه محصولات پتروشیمی در جهان امروز، تولید، استفاده، و از چرخه خارج نمودن ضایعات محصولات پتروشیمی بصورت پیوسته چالش های متنوعی را به همراه خواهد داشت که بایستی همواره مورد توجه قرار گیرد.

چند سیاست پیشنهادی می تواند هم از نظر جهانی و هم از نظر محلی و منطقه ای بهینه و کارآمد باشد (شرایط محلی و منطقه ای می توانند تاثیرات مثبت و منفی بسیار زیادی داشته باشند). با این حال، ده توصیه زیر می تواند توجه کسانی که قصد کمک به گذار صنعت شیمیایی به آینده ای پایدار را دارند جلب نماید و تضمین اولیه ای برای این گذار باشد. این توصیه ها برای بخش های تولید، استفاده، و از چرخه خارج نمودن ضایعات محصولات شیمیایی تقسیم بندی شده است:

### - تولید

۱. سرمایه گذاری مستقیم در تحقیق و توسعه مسیرهای تولید مواد شیمیایی پایدار، و محدود نمودن خطرات مرتبط.
۲. ایجاد و گسترش طرح های معیار (Benchmarking) در سطح Plant برای عملکرد انرژی، اهداف کاهش انتشار CO<sub>2</sub>، و ایجاد انگیزه در تصویب آنها از طریق مشوق های مالی.
۳. دنبال کردن اقدامات نظارتی مؤثر جهت کاهش انتشار CO<sub>2</sub>.
۴. ملزم نمودن صنعت به رعایت استانداردهای دقیق کیفیت هوا مانند استاندارد های سازمان بهداشت جهانی، با توسعه و نصب فن آوری های کنترل آلودگی هوا، تغییر سوخت، و یا بهبود کیفیت سوخت.
۵. قیمت گذاری سوخت و مواد اولیه (خوراک) متناسب با ارزش واقعی بازار به ویژه برای طرح هایی که سرمایه گذاری را در بهره وری انرژی به تأخیر می اندازند.

### - استفاده، و از چرخه خارج شدن

۱. کاهش اعتماد و استفاده از پلاستیک های یکبار مصرف به غیر از کارکردهای اساسی و غیر قابل جایگزینی. تعریف ساز و کارهایی مانند سیستم های بازپرداخت جهت ضایعات (به عنوان مثال ظروف آشامیدنی) یا ابزارهای مالی (مانند مالیات بر مصرف پلاستیک) و استفاده از درآمد آن برای جلوگیری و کاهش آلودگی های پلاستیکی.
۲. بهبود روش های مدیریت ضایعات، بصورت توأمان جهت افزایش بازیافت، و کاهش شدت نشت زباله های پلاستیکی.
۳. افزایش آگاهی مصرف کننده در مورد مزایای متعدد بازیافت کالاهای مصرفی، بیماریهای زیست محیطی مرتبط با مدیریت ضعیف ضایعات.
۴. تشویق طراحان و تولید کنندگان به در نظر داشتن ضایعات محصولات تولیدی در پایین دست محصولات شیمیایی؛ در استفاده بهینه از مواد اولیه، استفاده مجدد، و تسهیل فرایند بازیافت.
۵. افزایش دامنه مسئولیت تولیدکننده فراتر از تولید تا جنبه های مناسب استفاده و از چرخه خارج نمودن ضایعات محصولات شیمیایی را در بر گیرد.



ادامه این استراتژی های سیاست گذاری، نظارت، ارزیابی پیشرفت، و برقراری ارتباط موثر نتایج این سیاست ها، به داده های معتبر ، شفاف و به موقع نیاز دارد. تعریف یک چارچوب روشن و مشخص برای تعیین مسئولیت های ذینفعان در کل زنجیره ارزش - از تولید محصول شیمیایی تا استفاده، و از چرخه خارج نمودن محصولات شیمیایی - پیش شرط لازم برای اطمینان از یک اقدام هماهنگ همراه با صرفه اقتصادی خواهد بود.