مقدمه ای فنی و اقتصادی بر جایگاه ماده پروپیلن در صنعت پتروشیمی

محمد یاراحمدی

اندیشکده حکمرانی انفال و منابع طبیعی

گزارش پژوهش در دست انجام

مقدمه‌ای فنی و اقتصادی بر جایگاه ماده پروپیلن در صنعت پتروشیمی

مؤلف: محمد یاراحمدی

ناشر: پژوهشگاه دانشگاه امام صادق علیه‌السلام

مدیر علمی: اندیشکده حکمرانی انفال و منابع طبیعی

شماره مسلسل: ۱۳-۰۸-۱۴۰۳

تاریخ انتشار: مرداد ۱۴۰۳

ویرایش اول

تعداد صفحات ۴۳

نشانی: تهران، بزرگراه شهید چمران، پل مدیریت، دانشگاه امام صادق علیه‌السلام، پژوهشگاه

کدپستی: ۱۴۶۵۹۴۳۶۸۱

تلفن: ۹۸۲۱۸۸۰۹۴۹۲۴+

اندیشکده حکمرانی انفال و منابع طبیعی

درگاه ارتباطی:

https://isu.ac.ir/index.php?slc_lang=fa&sid=38

https://ble.ir/anfalisu

تمامی حقوق برای پژوهشگاه دانشگاه امام صادق علیه‌السلام محفوظ است
و استفاده از مطالب این گزارش با ذکر منبع مجاز است.

فهرست مطالب

۱. مقدمه ۷

۱-۱. تعریف ۷

۱-۲. زنجیره ارزش پروپیلن ۸

۱-۲-۱. پلی پروپیلن ۸

۱-۲-۲. پلی یورتان ۱۱

۱-۲-۳. اسید اکریلیک ۱۲

۱-۲-٤. اکریلونیتریل ۱۳

۱-۲-٥. پروپیلن اکساید (PO) ۱٤

۱-۲-٦. اتیلن و استیلن ۱٦

۱-۲-۷. پلی‌اتیلن (PE) ۱٦

۱-۲-۸. پروپیلن گلایکول ۱۷

۱-۳. بازار جهانی پروپیلن ۱۸

۱-۳-۱. قیمت ۱۸

۱-۳-۲. عرضه و تقاضا ۱۸

۱-۳-۳. تحلیل بازار بر اساس منطقه ۱۹

۱-۳-۳-۱. آسیا ۱۹

۱-۳-۳-۲. آمریکای شمالی ۱۹

۱-۳-۳-۳. اروپا ۲۰

۱-۳-۳-٤. آمریکای لاتین و آفریقا ۲۰
۱-۳-٤. چالش‌ها و فرصت‌ها ۲۰
۱-۳-٤-۱. چالش‌ها ۲۰
۱-۳-٤-۲. فرصت‌ها ۲۰
۱-۳-۵. پیش‌بینی‌های آینده ۲۰
۱-٤. پروپیلن در ایران ۲۱
۲. مروری بر روشهای تولید پروپیلن ۲۲
۳. روش متانول به پروپیلن (MTP) ۲٤
۳-۱. بیان مراحل روش تبدیل متانول به پروپیلن ۲٤
۳-۲. کشورهای پیشتاز در استفاده از روش MTP ۲٦
۳-۳. سرمایه‌گذاری مورد نیاز بر اساس ظرفیت تولید ۲٦
۳-٤. چالش توسعه MTP در ایران ۲۸
٤. روش پروپان به پروپیلن (PDH) ۲۹
٤-۱. مراحل فرآیند PDH ۲۹
٤-۱-۱. پیش‌تصفیه پروپان ۲۹
٤-۱-۲. دیهیدروژناسیون ۲۹
٤-۱-۳. بازیابی و خالص‌سازی محصولات ۳۰
٤-۲. تکنولوژی‌های به کار رفته در فرآیند PDH ۳۰
٤-۲-۱. کاتالیست‌ها ۳۰
٤-۲-۲. راکتورهای بستر ثابت ۳۱
٤-۲-۳. راکتورهای بستر سیال ۳۱
٤-۲-٤. سیستم‌های بازیافت حرارت ۳۱
٤-۳. مزایا و چالش‌های فرآیند PDH ۳۲
٤-۳-۱. مزایا ۳۲
٤-۳-۲. چالش‌ها ۳۲
٤-٤. جمع‌بندی ۳۳
۵. روش گاز به پروپیلن (GTP) ۳۳

۵-۱. فرآیند GTP ۳۳
۵-۱-۱. آماده‌سازی گاز طبیعی ۳٤
۵-۱-۲. ریفرمینگ بخاری ۳٤
۵-۱-۳. واکنش جابجایی آب-گاز ۳٤
۵-۱-٤. تصفیه گاز سنتز ۳٤
۵-۱-۵. واکنش فیشر-تروپش (Fischer-Tropsch Synthesis) ۳٤
۵-۱-٦. جداسازی محصولات ۳۵
۵-۱-۷. کراکینگ حرارتی ۳٦
۵-۱-۸. پلیمریزاسیون و جداسازی ۳٦
۵-۱-۹. ذخیره‌سازی و حمل و نقل ۳٦
۵-۲. استفاده از روش GTP در کشورهای پیشتاز ۳٦
۵-۲-۱. ایالات متحده آمریکا ۳۷
۵-۲-۲. چین ۳۷
۵-۲-۳. قطر ۳۷
۵-۳. برخی پروژههای بزرگ ۳۷
۵-۳-۱. ExxonMobil و SABIC در آمریکا ۳۷
۵-۳-۲. CNPC در چین ۳۸
۵-۳-۳. Qatar Petroleum در قطر ۳۸
۵-٤. جمعبندی ۳۸
٦. مقایسه استفاده از روشهای MTP و PDH در چین ۳۸

یادداشت‌ها ٤۰

فهرست شکل‌ها

شکل ۱- ساختار شیمیایی پروپیلن ۸
شکل ۲- ساختار مولکولی پلی پروپیلن ۸
شکل ۳- تقاضا برای پروپیلن در کاربردهای مختلف ۹
شکل ٤- پلی پروپیلن ۱۱

شکل ٥- پلی اتیلن ١٦
شکل ٦- روند تغییرات قیمت پروپیلن (دلار امریکا به ازای هر تن) ١٨
شکل ٧- میزان تولید پروپیلن در کشورهای غرب آسیا (هزار تن در سال) ٢١
شکل ٨- بالاترین ذخایر گازی دنیا (ترلیون متر مکعب) ٢٢
شکل ٩- برخی روشهای تولید پروپیلن ٢٤
شکل ١٠- ساختار تبدیل متانول به پروپیلن و سایر اولفین ها (MTP) ٢٥

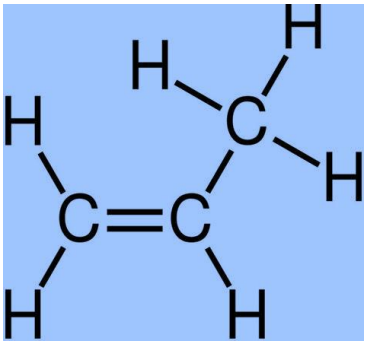
فهرست جدول‌ها

جدول ١- روشهای تولید پروپیلن ٢٣
جدول ٢- مراحل روش تبدیل متانول به پروپیلن ٢٥
جدول ٣- MTP در کشورهای مختلف ٢٦
جدول ٤- هزینه متغیر سالانه ٢٧

۱. مقدمه

۱-۱. تعریف

پروپیلن یکی از مهم‌ترین محصولات در صنعت پتروشیمی است که به عنوان یک هیدروکربن اشباع شده از گروه الکترون‌دارها می‌باشد. این ترکیب شیمیایی به صورت گاز در دمای و فشار نرمال وجود دارد، اما به طور کامل مایع شده و در دمای مناسب و تحت فشار مناسب به صورت مایعی ذخیره می‌شود. پروپیلن یک هیدروکربن اشباع شده است که از سه اتم کربن و هشت اتم هیدروژن تشکیل شده است. ویژگی اصلی آن این است که اتصالات میان اتم‌های کربن در مولکول پروپیلن اشباع است، به عبارت دیگر، مولکول پروپیلن فاقد اتصالات شیمیایی فعال مانند دوگانه‌ی کربن یا گروه‌های عامل که قابلیت واکنش با مواد دیگر را دارند. بنابراین، این بدان معناست که پروپیلن در مقابل بسیاری از واکنشات شیمیایی مقاوم است و به طور کلی به عنوان یک ماده غیرفعال شناخته می‌شود. پروپیلن از نظر ساختاری سه‌پیوندی و از نظر شیمیایی غیرفعال است و برخلاف اتیلن قابلیت پلیمریزاسیون ندارد. ساختار شیمیایی پروپیلن به این شکل است:

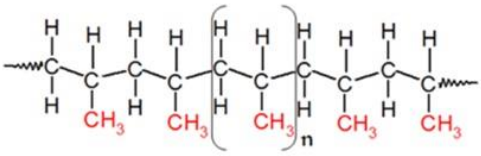


شکل ۱- ساختار شیمیایی پروپیلن

۱-۲. زنجیره ارزش پروپیلن

استفاده‌های پروپیلن شامل تولید لاستیک، رزین‌ها، مواد حفاظتی، محصولات پوشش‌دهی، و مواد حرارتی نیز می‌شود. به طور کلی، پروپیلن به عنوان یک ماده اولیه چندمنظوره، در انواع محصولات و صنایع به کار می‌رود و اهمیت بسیاری در اقتصاد جهانی دارد. در این بخش برخی از محصولات پایین دست پروپیلن که در صنعت پتروشیمی ایران مورد استفاده قرار می‌گیرند، اشاره شده است.

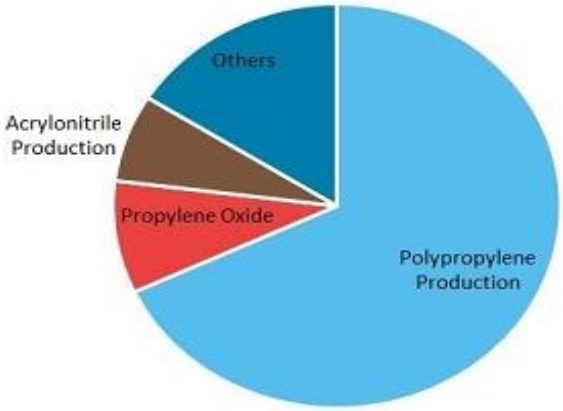
۱-۲-۱. پلی پروپیلن



شکل ۲- ساختار مولکولی پلی پروپیلن[1]

تولید پلی پروپیلن (PP): پلی پروپیلن یکی از مهم‌ترین پلیمرها است که در صنایع بسته‌بندی، خودروسازی، الکترونیک، مصالح ساختمانی و بسیاری از محصولات دیگر استفاده می‌شود. PP به دلیل ویژگی‌های مانند مقاومت در

برابر حرارت، ضـربه، و شـکل‌پذیری، بسـیار مورد توجه قرار گرفته اسـت. صـنعت پلی پروپیلن (PP) حدود ۷۰ درصـد از کل پروپیلن تولید شـده را مصرف می کند[۲]. این مسئله در شکل زیر که نمایانگر تقاضا برای پروپیلن در کاربردهای مختلف است، نمایان شده است:



شکل ۳- تقاضا برای پروپیلن در کاربردهای مختلف[۳]

پلی پروپیلن به عنوان یکی از متداول‌ترین پلیمرها در صنعت و تولیدات مختلف استفاده می‌شود. برخی از کاربردهای پلی پروپیلن عبارتند از:

۱) بسـتـه‌بنـدی: از جملـه اسـتفـاده‌هـای اصـلی پلی پروپیلن در بسته‌بندی‌های مواد غذایی، محصولات صنعتی و فراورده‌های شیمیایی است.

۲) صـنایع خودروسـازی: از آن برای تولید قطعات داخلی و خارجی خودروها، صفحات مجسمه بندی و آیینه‌ها استفاده می‌شود.

۳) لوازم خانگی: از قبیل سطوح میز، سبد، فریزر و سایر لوازم خانگی از پلی پروپیلن ساخته می‌شوند.

٤) صـنایع الکترونیکی: برای تولید قطعات الکتریکی و الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵) مواد اولیه صنایع نساجی: برای تولید الیاف پلی پروپیلن استفاده می‌شود.

٦) صنایع ساختمانی: پلی پروپیلن (PP) به دلیل خواص منحصر به فردی که دارد، در صنایع ساختمانی کاربردهای متنوعی دارد. این خواص شامل مقاومت بالا در برابر حرارت و مواد شیمیایی، سبکی، انعطاف‌پذیری و هزینه تولید نسبتاً پایین است. در ادامه به برخی از کاربردهای اصلی پلی پروپیلن در صنایع ساختمانی اشاره شده است:

- تولید لوله‌ها و اتصالات: پلی پروپیلن به دلیل مقاومت در برابر مواد شیمیایی و دمای بالا، برای ساخت لوله‌های آب آشامیدنی، فاضلاب و سیستم‌های گرمایشی استفاده می‌شود.[٤]
- عایق‌بندی: به عنوان عایق در سیم‌کشی و کابل‌ها به کار می‌رود تا از انتقال حرارت و جریان الکتریکی جلوگیری کند.
- ساخت پروفیل درب و پنجره: پلی پروپیلن به دلیل خواص دی‌الکتریک مناسب و سختی بالا، برای ساخت پروفیل‌های درب و پنجره استفاده می‌شود.
- ساخت کانال‌های تهویه: در ساخت کانال‌های تهویه مطبوع به کار می‌رود که نیاز به مقاومت در برابر تغییرات دمایی و شیمیایی دارند.[٥]
- تولید پنل‌ها و ورق‌های سقف: به دلیل وزن پایین و مقاومت کششی خوب، در تولید پنل‌ها و ورق‌های سقف که نیاز به سبکی و استحکام دارند، استفاده می‌شود.[٦]

این تنها بخشی از کاربردهای پلی پروپیلن در صنعت ساختمان است و با توجه به پیشرفت‌های مداوم در تکنولوژی پلیمرها، کاربردهای جدیدی نیز به طور مداوم در حال شکل‌گیری هستند.

شکل ٤- پلی پروپیلن

۱-۲-۲. پلی یورتان

پلی‌یورتان، یک ماده پلاستیکی است که از پروپیلن به دست می‌آید و در صنایع مختلف بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی از کاربردهای صنعتی پلی‌یورتان عبارتند از:

۱) تولید قطعات خودرو: پلی‌یورتان به دلیل خواص فوق العاده مانند انعطاف پذیری، مقاومت در برابر سایش و ضربه‌ای و مقاومت در برابر شرایط محیطی مختلف، برای تولید قطعات خودرو مانند گلوکن و بوش زاویه‌ای، استفاده می‌شود.

۲) تولید لاستیک صنعتی: پلی‌یورتان به عنوان جایگزینی مناسب برای لاستیک در ساخت محصولات صنعتی مانند پایه‌ها و اجزاء در ماشین‌آلات و تجهیزات استفاده می‌شود، به‌ویژه در مواردی که مقاومت بالا، سایز کوچک و ضخامت مورد نیاز است.

۳) جوشکاری پلی‌یورتان: پلی‌یورتان به‌صورت جوشکاری‌پذیر بوده و از آن برای ایجاد اتصال‌ها و نقاط اتصال محکم در قطعات مختلف استفاده می‌شود.

٤) پوشش و عایق‌زنی: پلی‌یورتان به‌خاطر خواص عایق‌افزا و مقاومت در برابر شرایط محیطی مانند آب، حرارت و شوک، برای پوشش و عایق‌زنی قطعات، تجهیزات و سازه‌های صنعتی استفاده می‌شود.

۵) تولید سرریزهای مقاوم در برابر خوردگی: پلی‌یورتان به‌خاطر مقاومت بالای خود در برابر خوردگی و زنگ زدن، برای تولید سرریزهای مخصوص بخاری‌ها، پمپ‌ها و تجهیزات صنایع شیمیایی و پتروشیمی استفاده می‌شود.

۱-۲-۳. اسید اکریلیک

اسید اکریلیک یک ترکیب شیمیایی با فرمول شیمیایی $CH_2=CHCOOH$ است. این اسید یک اسید کربوکسیلیک با یک گروه آلفا-بتا اشباع شده است. اسید اکریلیک به عنوان یکی از مهم‌ترین مواد شیمیایی در صنایع مختلف استفاده می‌شود. برخی از کاربردهای صنعتی اسید اکریلیک عبارتند از:

۱) تولید پلیمرها: اسید اکریلیک به عنوان ماده اولیه برای تولید پلیمرهای مانند پلی استرها، پلی امیدها و پلی اکریلات‌ها استفاده می‌شود. این پلیمرها در تولید فیلم‌ها، رنگ‌ها، چسب‌ها و محصولات دیگر صنعتی استفاده می‌شوند.

۲) تولید رزین‌ها: اسید اکریلیک برای تهیه رزین‌هایی که در تولید رنگ‌ها، رزین‌های گرماخور و چسب‌ها استفاده می‌شوند، استفاده می‌شود.

۳) تولید امولسیون‌ها: اسید اکریلیک به‌خوبی با دیگر مواد شیمیایی مخلوط شده و امولسیون‌هایی با ویژگی‌های امولسیونی مطلوب تولید می‌کند. این امولسیون‌ها در تولید رنگ‌ها، چسب‌ها، محافظ های چوب و مواد شوینده به کار می‌روند.

٤) صنایع محصولات شیمیایی: اسید اکریلیک به عنوان ماده اصلی یا ماده افزودنی در تهیه مواد شیمیایی مانند داروها، پتروشیمی، قیر، مواد شیمیایی کشاورزی و مواد حساس به نور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵) تولید رنگ‌ها و پیگمنت‌ها: اسید اکریلیک در تولید رنگ‌ها، پیگمنت‌ها و افزودنی‌های کشش پلاستیکی به‌کار می‌رود. پیگمنت یک ماده رنگی است که برای افزایش و بهبود رنگدهی مواد مختلف استفاده می‌شود. اسید اکریلیک نیز به عنوان یکی از مواد اصلی برای تهیه پیگمنت‌ها استفاده می‌شود. اسید اکریلیک ممکن است به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تهیه پیگمنت‌های رنگارنگ و ماندگار برای استفاده در رنگ‌ها، رنگ‌های پلاستیکی، رنگ‌های روکشی، رنگ‌های غذایی و دارویی به‌کار رود. پیگمنت‌های حاصل از اسید اکریلیک می‌توانند به‌طور موثر و پایدار برای انواع مختلف کاربردها از جمله صنایع دارویی، غذایی، پلاستیکی، رزین و رنگسازی استفاده شوند.

۱-۲-٤. اکریلونیتریل

اکریلونیتریل یک ترکیب شیمیایی است که فرمول شیمیایی CH2=CHCN را دارد. این ترکیب به عنوان ماده اولیه برای تولید اکریلیک اسید و پلی‌اکریلونیتریل و همچنین در تولید فیبرها، رزین‌ها، پلاستیک‌ها و مواد شیمیایی دیگر استفاده می‌شود. برخی از کاربردهای صنعتی اکریلونیتریل شامل تولید فیبرهای مصنوعی مثل نایلون، پلی‌استرها و پلی‌اکریلیک، تولید رزین‌ها برای مصارف شیمیایی و تولید پتروشیمی، و همچنین در تولید مواد شیمیایی اصلی برای ایجاد مواد شیمیایی دیگر مانند اکریلیک اسید، استیک اسید و آمین‌ها استفاده می‌شود. اکریلونیتریل کاربردهای گسترده‌ای در صنایع مختلف دارد که در ادامه به برخی از کاربردهای صنعتی آن اشاره می‌کنم:

۱) تولید فیبرهای مصنوعی: اکریلونیتریل به عنوان ماده اصلی برای تولید فیبرهای مصنوعی مانند نایلون، پلی‌استرها و پلی‌اکریلیک استفاده می‌شود. این فیبرها برای تولید پارچه‌ها، الیاف پوشاک و مواد نساجی استفاده می‌شوند.

۲) تولید رزین‌ها: اکریلونیتریل در تولید رزین‌های مختلف برای مصارف شیمیایی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رزین‌ها برای تولید رنگ‌ها، چسب‌ها، روکش‌ها و محصولات دیگر صنعتی استفاده می‌شوند.

۳) تولید مواد پتروشیمی: اکریلونیتریل به عنوان ماده اصلی برای تولید مواد شیمیایی اصلی مانند اکریلیک اسید، استیک اسید و آمین‌ها استفاده می‌شود. این مواد برای تولید رنگ‌ها، پلاستیک‌ها، مواد شوینده و مواد دیگر صنعتی استفاده می‌شوند.

٤) تولید لاستیک‌ها: اکریلونیتریل در تولید لاستیک‌های مصنوعی برای استفاده در صنایع خودروسازی، الکترونیکی و ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵) تولید مواد شیمیایی دیگر: اکریلونیتریل به‌عنوان یک ماده شیمیایی اصلی در تولید مواد شیمیایی دیگر مانند مواد حفاظتی، مواد ضد زنگ و مواد ضد آب استفاده می‌شود.

۱-۲-۵. پروپیلن اکساید (PO)

پروپیلن اکساید یک ماده مهم در صنایع شیمیایی است که برای تولید پلی‌اول‌اکسان و پلی‌استیرون، مواد شوینده، محافظ‌های چوب و بسیاری از مواد دیگر استفاده می‌شود:

۱) در صنایع پلاستیک: پروپیلن اوکساید به عنوان یک آگنت عملیاتی برای تولید پلیمرهای پلی اتر و پلی امید استفاده می شود. آگنت عملیاتی یک ماده شیمیایی یا کاتالیزور است که در یک فرایند تولید یا واکنش شیمیایی برای افزایش سرعت و بهبود عملکرد واکنش استفاده می‌شود. این آگنت‌ها

دارای ویژگی‌هایی هستند که باعث افزایش کارایی و بهره وری فرایند شیمیایی می‌شوند. این آگنت‌ها می‌توانند عملکرد کاتالیزوری داشته باشند یا به عنوان فعال‌کننده‌های راکتور عمل کنند. این پلیمرها ممکن است در تولید انواع محصولات پلاستیکی مانند بطری های پلاستیکی، فیلم های پلاستیکی و قطعات خودرو استفاده شوند.

۲) در صنایع شیمیایی: پروپیلن اوکساید برای سنتز مواد شیمیایی مورد استفاده قرار می گیرد مانند اترهای گلیکول پلی پروژیونال (PGEs) که به عنوان محلول دهنده ها، روغن ها و... استفاده می شوند.

۳) در صنایع کشاورزی: پروپیلن اوکساید به عنوان یک عامل ضد عفونی کننده در تولید محصولات کشاورزی مانند سموم کشاورزی و محصولات حفاظت گیاهان به کار می رود.

٤) در صنایع داروسازی: پروپیلن اوکساید برای تولید انواع داروها و مواد پزشکی استفاده می شود. به عنوان مثال، این ترکیب به عنوان یک عامل شستشو کننده و ضد عفونی کننده در ساخت داروهای ضد باکتری از جمله آنتی بیوتیک ها مورد استفاده قرار می گیرد.

۵) در صنایع الکترونیکی: پروپیلن اوکساید به عنوان یک مواد حمایتی در ساخت محصولات الکترونیکی مانند سیم ها، کابل ها و قطعات الکترونیکی استفاده می شود.

٦) در صنایع مصنوعات نساجی: پروپیلن اوکساید به عنوان یک ماده نرم کننده برای نخ های صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد تا نخ ها به طرز مطلوبی خمیره و بافته شوند.

۷) در صنایع مواد غذایی: پروپیلن اوکساید به عنوان یک ماده حفاظتی و ضد باکتریایی در تولید مواد غذایی مانند افزودنی های غذایی و بسته بندی مواد غذایی استفاده می شود.

۱-۲-۶. اتیلن و استیلن

پروپیلن به عنوان یکی از مواد اولیه برای تولید اتیلن و استیلن نیز استفاده می‌شود که در صنایع پتروشیمی و پلیمریزاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند..

۱-۲-۷. پلی‌اتیلن (PE)

شکل ۵- پلی اتیلن

پروپیلن به عنوان ماده اولیه برای تولید پلی‌اتیلن استفاده می‌شود که یکی از مهم‌ترین پلیمرها در صنایع بسته‌بندی، لوله‌کشی، و فیلم‌سازی است. پلی اتیلن یک پلیمر اتیلن است که از تکرار واحدهای اتیلن ساخته شده است. ساختار شیمیایی پلی اتیلن به صورت $-(CH_2-CH_2)_n-$ است، که n نشاندهنده تعداد واحدهای تکراری اتیلن است. این پلاستیک به دلیل خواصهای فوق للذکر، مانند مقاومت در برابر رطوبت، گازها و اکسیژن، کشش قوی و انعطاف‌پذیری، در صنعت بسته‌بندی استفاده می‌شود[۷]. برای تولید موارد زیر استفاده می‌شود:

– لوله‌های پلی اتیلن: برای سیستم های آب، فاضلاب، تهویه و گرمایش ظروف مایعات، مواد شیمیایی، سوخت، زباله‌های خانگی بطری های نوشیدنی و لوازم آرایشی کفپوش[۸].

– بسته‌بندی: در صنعت بسته‌بندی، پلی اتیلن به دلیل خواصهای فوق الذکر استفاده می‌شود.

– صنعت خودرو: پلی اتیلن در صنعت خودرو به دلی*ل* استفاده از خواصهای فوق الذکر و قابل بازیافت استفاده می‌شود[۹].

– صنعت لوله و اتصالات: پلی اتیلن به دلیر استفاده از خواصهای فوق الذکر و قابل بازیافت استفاده می‌شود[۱۰].

پلاستیک ها مطابق با چگالی آن ها، به دسته های گوناگون از جمله: سبک، سبک خطی تقسیم خواند شد. چگالی بالا (HDPE) پلاستیک با فشار بالا دارای چگالی بالا و سختی بیشتر نسبت به سایر انواع است[۱۱].

۱-۲-۸. پروپیلن گلایکول

پروپیلن گلایکول یک ترکیب شیمیایی مهم است که در صنایع مختلف بکار می‌رود. برخی از کاربردهای صنعتی پروپیلن گلایکول شامل موارد زیر می‌شود:

۱) تولید محصولات آرایشی و بهداشتی: پروپیلن گلایکول به عنوان یک ماده نرم کننده، مرطوب کننده و محافظ پوست در تولید انواع محصولات آرایشی و بهداشتی مانند کرم‌ها، لوسیون‌ها، شامپوها و صابون‌ها استفاده می‌شود.

۲) صنایع دارویی: پروپیلن گلایکول به عنوان یک ماده حل کننده و حامل پایدار برای انواع داروها و مکمل‌های غذایی استفاده می‌شود.

۳) تولید محصولات شیمیایی: پروپیلن گلایکول در تولید مواد شیمیایی مانند رنگ‌ها، رزین‌ها، گلایسرین و آنتی‌فریزها به عنوان یک ماده اصلی یا حامل استفاده می‌شود.

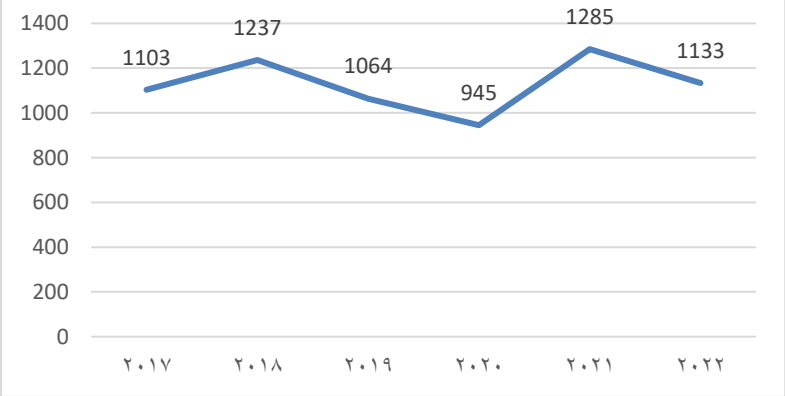
٤) صنایع غذایی: پروپیلن گلایکول به عنوان یک ماده نگهدارنده و چسبنده در تولید مواد غذایی مانند محصولات فرآوری شده و نگهدارنده‌های غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵) تولید محصـولات پلاسـتیکی: پروپیلن گلایکول به عنوان یک ماده افزودنی در تولید مواد پلاسـتیکی مختلف مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد تا ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محصولات بهبود یابد.

۱-۳. بازار جهانی پروپیلن

۱-۳-۱. قیمت

در سـال ۲۰۲۲ قیمت پروپیلن در بازارهای جهانی ۱۱۳۳ دلار به ازای هر تن بوده اسـت. روند تغییرات قیمت پروپیلن بین سـالهای ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲ در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ٦- روند تغییرات قیمت پروپیلن (دلار امریکا به ازای هر تن[۱۲])

۱-۳-۲. عرضه و تقاضا

در سال ۲۰۲۰، تقریباً ۸۰ میلیون تن پروپیلن در سراسر جهان مصرف شد و سـهم ایران حدود یک میلیون تن بوده اسـت. پیش‌بینی می‌شـود که تا سـال ۲۰۲۷، مصرف جهانی پروپیلن به بیش از ۹۰ میلیون تن افزایش یابد. مصرف جهانی پروپیلن به رشـد خود ادامه خواهد داد که عمدتاً توسـط بازارهای در حال توسعه در آسیا، به ویژه سرزمین اصلی چین هدایت می‌شود[۱۳].

بازار پروپیلن یکی از بخش‌های کلیدی در صنعت پتروشیمی است که نقش مهمی در تولید پلاستیک‌ها، الیاف، رزین‌ها و سایر مواد شیمیایی دارد. تقاضا برای پروپیلن به طور مستمر در حال افزایش است، به ویژه در کشورهای در حال توسعه که رشد صنعت پلاستیک و تولیدات صنعتی در آنها بالا است. پیش‌بینی می‌شود که تقاضا برای پروپیلن تا سال‌های آینده به میزان قابل توجهی افزایش یابد. کشورهایی مانند چین، آمریکا، و خاورمیانه سرمایه‌گذاری‌های زیادی در توسعه ظرفیت‌های تولید پروپیلن کرده‌لند. همچنین افزایش توجه به روش‌های نوین تولید مانند GTP در خاورمیانه و آسیا نیز نکته مهمی در تحلیل روند عرضه است.

۱-۳-۳. تحلیل بازار بر اساس منطقه

۱-۳-۳-۱. آسیا

۱) چین: بزرگ‌ترین تولیدکننده و مصرف‌کننده پروپیلن در جهان. توسعه سریع صنایع پلاستیک و پتروشیمی در چین.

۲) هند: بازار رو به رشدی با تقاضای بالا برای پلاستیک و محصولات پتروشیمی.

۳) کشورهای خلیج فارس: کشورهای منطقه خلیج فارس مانند قطر و عربستان سعودی با سرمایه‌گذاری در پروژه‌های GTP و توسعه ظرفیت‌های تولید پروپیلن.

۱-۳-۳-۲. آمریکای شمالی

ایالات متحده یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان پروپیلن با استفاده از فناوری‌های کراکینگ بخار و افزایش ظرفیت‌های تولید به دلیل دسترسی به منابع گاز شیل است. کانادا نیز در این بازار فعال است، با پروژه‌هایی برای افزایش تولید پروپیلن.

۱-۳-۳-۳. اروپا

بازار پروپیلن در اروپا نسبت به آسیا و آمریکا نسبتاً ثابت‌تر است، با تمرکز بیشتر بر روی محصولات با ارزش افزوده و تقاضای کمتر برای محصولات پلاستیکی.

۱-۳-۳-٤. آمریکای لاتین و آفریقا

این مناطق نیز با توجه به ذخایر گازی و نفتی موجود، در حال توسعه صنعت پتروشیمی خود هستند.

۱-۳-٤. چالش‌ها و فرصت‌ها

۱-۳-٤-۱. چالش‌ها

- نوسانات قیمت نفت و گاز.
- مسائل زیست‌محیطی و قوانین سخت‌گیرانه.

۱-۳-٤-۲. فرصت‌ها

- پیشرفت‌های تکنولوژیکی در تولید و بهره‌وری.
- افزایش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین مانند GTP.
- توسعه بازارهای جدید و تقاضای بالاتر برای محصولات پتروشیمی در کشورهای در حال توسعه.

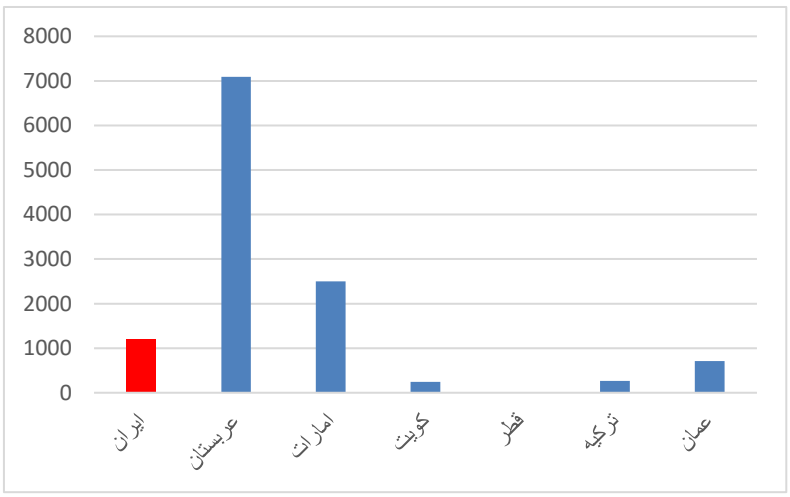
۱-۳-۵. پیش‌بینی‌های آینده

پیش‌بینی می‌شود که بازار پروپیلن به دلیل رشد صنایع بسته‌بندی، خودروسازی و ساخت‌وساز در سال‌های آینده با سرعت قابل توجهی رشد کند. همچنین استفاده از فناوری‌های نوین مانند GTP و بهبود فرآیندهای تولید برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها نیز مورد انتظار خواهند بود. در نتیجه، بازار پروپیلن به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های صنعت

پتروشـــیمی، با توجه به رشـــد تقاضـــا، توســـعه فناوری‌های نوین و سرمایه‌گذاری‌های گسترده، در حال تحول و پیشرفت است.

۱-٤. پروپیلن در ایران

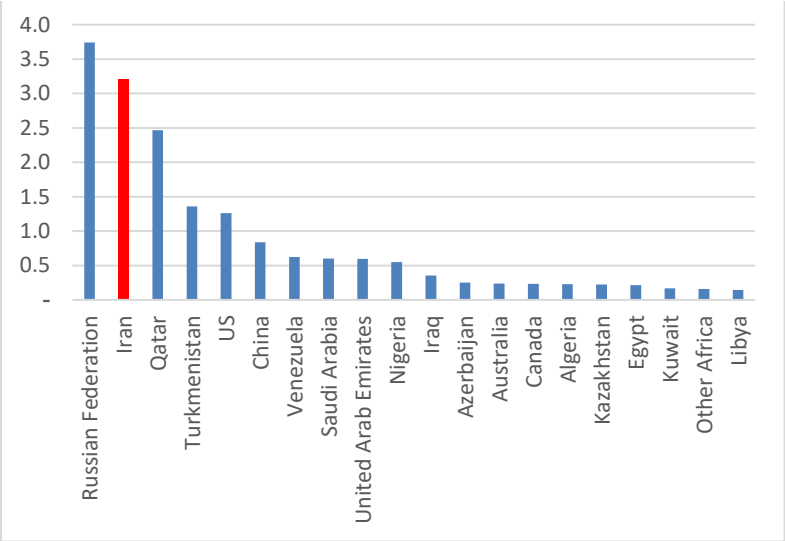
در سال ۱٤۰۰، ۱۸۷ هزار تن پروپیلن به عنوان خوراک در صنایع میان دستی مصـرف شـده اسـت[۱٤]. حجم پروپیلن تولید شـده در ایران در سـال ۱٤۰۰ به اندازه ۱ میلیون و ۲۱۰ هزار تن بوده اسـت. شـکل زیر میزان تولید ایران را با کشورهای منطقه مقایسه کرده است:



شکل ۷- میزان تولید پروپیلن در کشورهای غرب آسیا (هزار تن در سال)

همانطور که نشـان داده شـده اسـت، ایران در رتبه سـوم منطقه بعد از عربسـتان و امارات قرار دارد. این در حالی اسـت که ایران بعد از روسـیه، از بیشترین ذخایر گازی اثبات شده در دنیا برخوردار است که در شکل ٤ نشان داده شـده اسـت. میزان ذخایر گازی اثبات شـده ایران در سـال ۲۰۲۰، ۳۲.۱ ترلیون متر مکعب بوده اسـت که ۱۷.۱٪ از ذخایر جهانی اثبات شـده گاز را

تشـــکیل می‌دهد. نمودار زیر جایگاه ایران را بین بالاترین ذخایر گازی دنیا نشان می‌دهد:



شکل ۸- بالاترین ذخایر گازی دنیا (ترلیون متر مکعب)[۱۵]

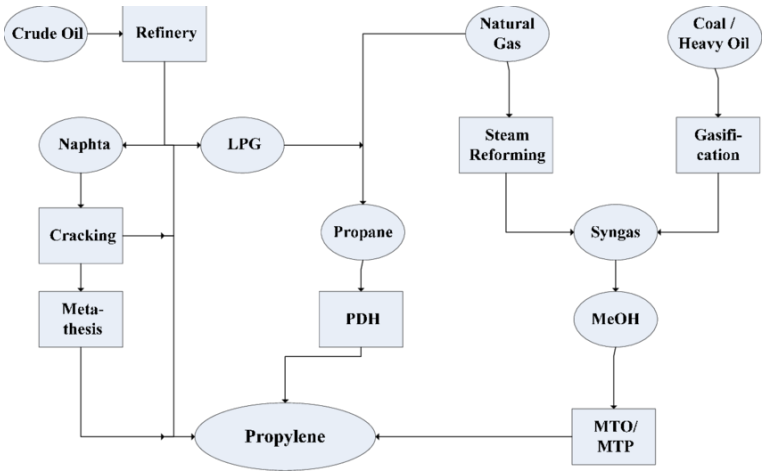
۲. مروری بر روش‌های تولید پروپیلن

پروپیلن به‌طور عمده از طریق دو روش اصلی تولید می‌شود: روش متانول به پروپیلن (MTP) و روش پروپان به پروپیلن (PDH). هر یک از این روش‌ها ویژگی‌ها و کاربردهای خاص خود را دارند. البته این دو روش مهم‌ترین روش‌ها هســـتند که نوین می‌باشـــند. اما می‌توان به صـــورت کلی روش‌های تولید پروپیلن در صنعت پتروشیمی را به روش‌های زیر تقسیم‌بندی کرد:

جدول ۱- روش‌های تولید پروپیلن

روش	توضیح	مزایا	معایب
کراکینگ بخار[۱۶]	این روش شامل شکستن هیدروکربن‌های سنگین‌تر مانند نفتا و اتیلن به وسیله بخار در دمای بالا است.	تولید حجم بالایی از پروپیلن و سایر محصولات پتروشیمی	هزینه بالا و مصرف انرژی زیاد.
کراکینگ کاتالیزوری سیال[۱۷]	در این روش، هیدروکربن‌های سنگین‌تر مانند نفت خام به وسیله کاتالیست‌ها در یک فرآیند سیال‌شده شکسته می‌شوند.	استفاده از مواد اولیه ارزان‌تر و تولید همزمان بنزین.	کاتالیست‌های گران‌قیمت و پیچیدگی فرآیند.
دی‌های‌دروژناسیون پروپان[۱۸]	در این روش، پروپان به وسیله یک کاتالیست و در دمای بالا به پروپیلن و هیدروژن تبدیل می‌شود.	روش مستقیم و با کارایی بالا برای تولید پروپیلن	هزینه بالای کاتالیست و نیاز به شرایط عملیاتی خاص
اُلیفین‌ها از متانول[۱۹]	در این روش، متانول به وسیله کاتالیست‌ها به اُلیفین‌ها (شامل پروپیلن و اتیلن) تبدیل می‌شود.	امکان استفاده از منابع گاز طبیعی برای تولید متانول	فرآیند چند مرحله‌ای و هزینه‌های بالا
اُلیفین‌ها از بنزن[۲۰]	بنزن به وسیله فرآیندهای شیمیایی به پروپیلن و سایر اُلیفین‌ها تبدیل می‌شود.	تولید حجم بالایی از پروپیلن	استفاده از مواد اولیه با ارزش و فرآیندهای پیچیده

همچنین شـــکل زیر نمایی از برخی روش‌های تولید پروپیلن را ارائه نموده است:



شکل ۹- برخی روش‌های تولید پروپیلن[۲۱]

در ادامه مهمترین روش‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند:

۳. روش متانول به پروپیلن (MTP)

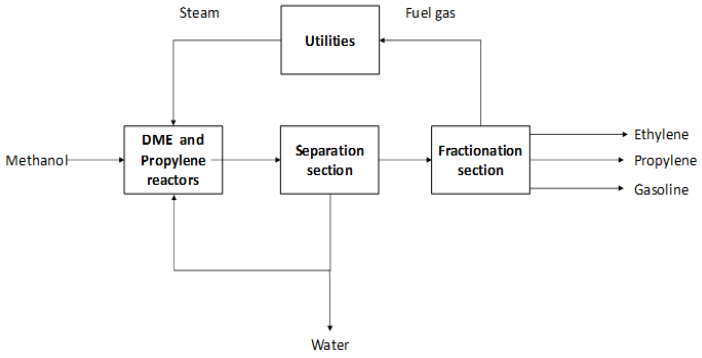
۳-۱. بیان مراحل روش تبدیل متانول به پروپیلن

در این روش، ابتدا متانول از گاز طبیعی یا زغال سـنگ تولید می‌شـود. سـپس متانول به پروپیلن تبدیل می‌شود. این روش بیشتر در مناطقی که دسترسی به زغال سـنگ یا گاز طبیعی زیاد اسـت، اسـتفاده می‌شـود. فرایند MTP معمولاً انرژی بیشتری نیاز دارد و از این رو هزینه‌های تولید ممکن است بالاتر باشد. جدول ۲ مراحل تولید از طریق این روش را نشان داده است:

جدول ۲- مراحل روش تبدیل متانول به پروپیلن

مرحله	فرآیند	تکنولوژی مورد استفاده	تجهیزات
اول	تولید دی‌متیل اتر (DME) از متانول	برای این مرحله از کاتالیست‌های زئولیتی یا آلومینا-سیلیکا استفاده می‌شود. این واکنش در دماهای حدود ۲۵۰-۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشارهای متوسط انجام می‌شود.	راکتورهای بستر ثابت[۲۲] یا بستر سیال[۲۳] مورد استفاده قرار می‌گیرند.
دوم	تبدیل دی‌متیل اتر به پروپیلن و سایر اولفین‌ها	در این مرحله نیز از کاتالیست‌های زئولیتی استفاده می‌شود، به ویژه کاتالیست‌های ZSM-5 که به دلیل خاصیت ساختاری خاص خود، عملکرد بالایی در تولید پروپیلن دارند. این واکنش در دماهای حدود ۴۵۰-۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشارهای بالا انجام می‌شود.	راکتورهای بستر سیال (Fluidized Bed Reactors) که امکان توزیع یکنواخت کاتالیست و خوراک را فراهم می‌کنند، برای این مرحله ایده‌آل هستند.

ساختار این روش در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۱۰- ساختار تبدیل متانول به پروپیلن و سایر اولفین ها (MTP)[۲۴]

۳-۲. کشورهای پیشتاز در استفاده از روش MTP

آلمان، چین و امریکا از جمله مهمترین کشورهایی هستند که از این روش برای تولید پروپیلن استفاده می‌کنند. اطلاعات مربوط به تولید این ماده در این دو کشور در جدول زیر ارائه شده است:

جدول ۳- MTP در کشورهای مختلف

کشور	ظرفیت تولید	واحدهای تولیدی مهم
چین	چین یکی از بزرگترین تولیدکنندگان پروپیلن از طریق فرآیند MTP است. در سال ۲۰۲۳، ظرفیت تولید پروپیلن با استفاده از این روش در چین به حدود ٦ میلیون تن در سال رسید.	شرکت‌هایی مانند Sinopec و Shenhua Group در چین از روش MTP برای تولید پروپیلن استفاده می‌کنند.
آلمان	آلمان به عنوان یکی از پیشروان در استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته پتروشیمی، از فرآیند MTP برای تولید پروپیلن استفاده می‌کند. ظرفیت تولید در آلمان به حدود ۱ میلیون تن در سال می‌رسد.	BASF یکی از شرکت‌های مهم در آلمان است که از این تکنولوژی استفاده می‌کند.
امریکا	در آمریکا نیز برخی واحدهای پتروشیمی از فرآیند MTP استفاده می‌کنند، هرچند که این روش در این کشور به اندازه چین و آلمان متداول نیست. ظرفیت تولید به حدود ۰.۵ میلیون تن در سال می‌رسد.	شرکت‌هایی مانند LyondellBasell از این تکنولوژی در برخی از واحدهای خود استفاده می‌کنند.

۳-۳. سرمایه‌گذاری مورد نیاز بر اساس ظرفیت تولید

بر اساس مطالعات و گزارش‌های مختلف، سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز برای واحدهای MTP به طور معمول به این شرح است که هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه برای واحدهای MTP برای یک واحد با ظرفیت تولید حدود ۵۰۰,۰۰۰ تن پروپیلن در سال (KTA ۵۰۰) می‌تواند حدود ۷۰۰

میلیون تا ۱ میلیارد دلار باشـد[۲۵]. جدول ٤ جزئیاتی از هزینه متغیر سـالانه را برای ۵۰۰,۰۰۰ تن در سال (۵۰۰ KTA) ارائه نموده است:

جدول ٤- هزینه متغیر سالانه

عنوان هزینه	توضیح	برآورد
مواد اولیه (متانول)	متانول به عنوان ماده اولیه اصـلی مصـرف می‌شـود. با توجه به قیمت‌های متغیر بازار، هزینه متانول معمولاً بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ دلار در هر تن متانول متغیر اسـت. برای تولید ۵۰۰,۰۰۰ تن پروپیلن، نیاز بـه حـدود ۱.۵ میلیون تن متانول اسـت (نسـبت تقریبی ۳:۱).	حدود ٤۵۰ میلیون تا ۷۵۰ میلیون دلار در سال.
انرژی	هزینه‌هـای انرژی شـامل برق، بخـار، و سوخت‌های دیگر است.	حـدود ۵۰ میلیون تـا ۱۰۰ میلیون دلار در سال.
کاتالیست‌ها	هزینه کاتالیسـت‌ها بسـتگی به نوع و مقدار مصرف آن‌ها دارد.	حـدود ۱۰ میلیون تـا ۲۰ میلیون دلار در سال.
نگهداری و تعمیرات	هزینـه‌هـای نگهـداری و تعمیرات شـامل تعمیرات دوره‌ای و جـایگزینی قطعـات است.	حـدود ۲۰ میلیون تـا ۳۰ میلیون دلار در سال.
نیروی کار و مدیریت	هزینـه‌هـای نیروی کـار شـامل حقوق و دستمزد کارکنان و مدیریت است.	حـدود ۲۰ میلیون تـا ۳۰ میلیون دلار در سال.
سایر هزینه‌ها	شـامل هزینه‌های حمل و نقل، بیمه، و هزینه‌های محیط زیستی است.	حـدود ۱۰ میلیون تـا ۲۰ میلیون دلار در سال.
جمع کل هزینه‌های عملیاتی سالانه		حدود ٥٦۰ میلیون تا ۹۵۰ میلیون دلار در سال.

هزینه‌های عملیاتی سالانه برای واحدهای MTP بستگی به ظرفیت تولید، قیمت‌های مواد اولیه، هزینه‌های انرژی، و سایر عوامل دارد. برای ظرفیت تولید ۵۰۰,۰۰۰ تن در سال، هزینه‌های عملیاتی سالانه می‌تواند بین ٥٦٠ میلیون تا ۹۵۰ میلیون دلار باشد و برای ظرفیت تولید ۱,۰۰۰,۰۰۰ تن در سال، این هزینه‌ها می‌تواند بین ۱.۱۲ میلیارد تا ۱.۹ میلیارد دلار در سال متغیر باشد[۲٦].

۳-٤. چالش توسعه MTP در ایران

بررسی سعیدی و میرجلیلی (۱۳۹۸) در گزارشی تحت عنوان « ارزیابی اقتصادی روش مستقیم تولید پروپیلن از خوراک متانول و گاز طبیعی» با بررسی این بازار در ایران نشان داده است که تهیه خوراک متانول واحدهای تبدیل متانول به پروپیلن (MTP) به طور مستقیم از بازار، در هیچ یک از سه سناریو قیمتی (خوش‌بینانه، واقع بینانه و بدبینانه) جذابیت لازم برای سرمایه‌گذاری را ندارد. بنابراین توسعه زنجیره از متانول به پروپیلن بدون کاهش حاشیه سود تبدیل گاز طبیعی به متانول و افزایش مزیت در تبدیل متانول به پروپیلن امکانپذیر نیست. بدین‌منظور این گزارش پیشنهاد نموده است که قیمت خوراک گاز طبیعی در مجوزهای صادره برای واحدهای تولید پروپیلن از متانول در صورتی که سرمایه‌گذاری فقط در زنجیره اول صورت گیرد به قیمت صادراتی لحاظ شده و تخفیف در نرخ خوراک صرفاً مشروط به تولید پروپیلن اعمال شود. در غیر این صورت مزیت خوراک ارزان گاز طبیعی، نظیر آنچه در کشور تاکنون ازسوی سرمایه‌گذاران حوزه صنایع شیمیایی انجام شده است، موجب ایجاد واحدهای متانول‌سازی خواهد شد. به عبارت دیگر بستر نهادی موجود در کشور فاقد ساختار انگیزشی لازم برای جهت‌دهی سرمایه‌گذاری‌ها به تولید محصولات با ارزش افزوده بالاتر ازجمله پروپیلن است[۲۷].

٤. روش پروپان به پروپیلن (PDH)

در این روش، پروپان از نفت خام یا گاز طبیعی جدا شده و سپس با استفاده از فرایند dehydrogenation (هیدروژن‌زدایی) به پروپیلن تبدیل می‌شود. این روش به‌طور کلی کارآمدتر و اقتصادی‌تر است و معمولاً نیاز به انرژی کمتری دارد. چالش این روش وابستگی به منابع پروپان است که ممکن است در برخی مناطق به راحتی در دسترس نباشد.

فرآیند تولید پروپیلن از طریق فناوری پروپان دیهیدروژناسیون (PDH) یک فرآیند پیچیده شیمیایی است که شامل تبدیل پروپان (C3H8) به پروپیلن (C3H6) و هیدروژن (H2) می‌باشد. این فرآیند در واحدهای صنعتی PDH انجام می‌شود که شامل چندین مرحله شیمیایی و تکنولوژیکی پیچیده است. در ادامه، به تشریح کامل این فرآیند و تکنولوژی‌های به کار رفته در آن می‌پردازیم.

٤-١. مراحل فرآیند PDH

٤-١-١. پیش‌تصفیه پروپان

پروپان خام ابتدا باید تصفیه شود تا ناخالصی‌هایی مانند گوگرد، آب، و سایر هیدروکربن‌ها حذف شوند. این کار از طریق فرآیندهای مختلفی از جمله جذب سطحی و استفاده از بسترهای کاتالیستی انجام می‌شود. هدف از این مرحله، جلوگیری از مسموم شدن کاتالیست‌ها و بهبود کارایی فرآیندهای بعدی است.

٤-١-٢. دیهیدروژناسیون

مرحله اصلی در فرآیند PDH، دیهیدروژناسیون پروپان است که در این مرحله، پروپان به پروپیلن و هیدروژن تبدیل می‌شود. این واکنش در دماهای بالا (حدود ٥٠٠ تا ٦٥٠ درجه سانتیگراد) و فشارهای پایین انجام می‌شود. این واکنش گرماگیر است و نیاز به تامین انرژی دارد.

٤-١-٣. بازیابی و خالص‌سازی محصولات

پس از دیهیدروژناسیون، محصولات واکنش شامل پروپیلن، هیدروژن و مقادیر کمی از پروپان باقی‌مانده هستند. محصولات باید جدا و خالص‌سازی شوند. این کار از طریق فرآیندهای جداسازی مانند تقطیر و جذب سطحی انجام می‌شود. پروپیلن به عنوان محصول نهایی جداسازی شده و برای استفاده در صنایع مختلف آماده می‌شود.

٤-٢. تکنولوژی‌های به کار رفته در فرآیند PDH

٤-٢-١. کاتالیست‌ها

کاتالیست‌ها نقش بسیار مهمی در افزایش کارایی و سرعت واکنش دیهیدروژناسیون دارند. کاتالیست‌های معمول در این فرآیند شامل اکسید کروم (Cr_2O_3) و اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) هستند. این کاتالیست‌ها روی بسترهای خاصی پخش می‌شوند تا سطح تماس بیشتری با پروپان داشته باشند. انتخاب کاتالیست مناسب می‌تواند تأثیر زیادی بر بهره‌وری فرآیند و طول عمر کاتالیست داشته باشد.

کاتالیست Cr_2O_3 یا اکسید کرومیم، یکی از کاتالیست‌های مهم است که برای فرآیندهای شیمیایی مختلف استفاده می‌شود. این کاتالیست به طور گسترده در صنایع شیمیایی، پتروشیمی، فرآوری نفت، و تولید مواد شیمیایی از جمله پروپیلن به کار می‌رود. معمولاً شرکت‌های بزرگی مانند Johnson Matthey، BASF، Clariant و UOP از جمله تولیدکنندگان این کاتالیست می‌باشند.

کاتالیست Al_2O_3 یا اکسید آلومینیوم، نوع دیگری از کاتالیست‌های مهم است که در صنایع مختلف استفاده می‌شود. این کاتالیست در فرآیندهایی مانند تولید هیدروژن، تولید آمونیاک، تولید پروپیلن، تولید بنزین و سایر فرآیندهای شیمیایی استفاده می‌شود. کشورها و شرکت‌های مختلفی در سراسر جهان این

کاتالیست را تولید می‌کنند. برخی از شرکت‌های بزرگ تولید کننده اکسید آلومینیوم شامل Alcoa، Sasol، BASF، Grace، و Johnson Matthey می‌باشند. همچنین، کشورهایی مانند چین، آمریکا، آلمان، و کشورهای خاورمیانه نیز از جمله تولیدکنندگان این کاتالیست هستند.

٤-٢-٢. راکتورهای بستر ثابت[۲۸]

در بیشتر واحدهای PDH، از راکتورهای بستر ثابت استفاده می‌شود. در این راکتورها، گاز پروپان از میان بستر کاتالیستی عبور می‌کند و واکنش دیهیدروژناسیون در بستر ثابت کاتالیست انجام می‌شود. راکتورهای بستر ثابت به دلیل سادگی طراحی و کارایی بالا، انتخاب رایجی هستند.

٤-٢-٣. راکتورهای بستر سیال[۲۹]

برخی واحدهای پیشرفته PDH از راکتورهای بستر سیال استفاده می‌کنند. در این نوع راکتورها، کاتالیست به صورت ذرات ریز در جریان گاز معلق می‌شود و واکنش دیهیدروژناسیون در بستر سیال کاتالیست انجام می‌شود. این نوع راکتورها به دلیل امکان تجدید کاتالیست و کاهش هزینه‌های عملیاتی مورد توجه قرار گرفته‌اند.

٤-٢-٤. سیستم‌های بازیافت حرارت

فرآیند دیهیدروژناسیون نیاز به دمای بالا دارد و بنابراین، سیستم‌های بازیافت حرارت برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های عملیاتی بسیار مهم هستند. این سیستم‌ها شامل مبدل‌های حرارتی و بازیافت‌کننده‌های گرما می‌باشند که گرمای تولید شده در فرآیند را برای گرم کردن ورودی‌های جدید استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها عمدتاً شامل چندین قسمت است:

۱) مبدل حرارتی: در این بخش، حرارت تولید شده از فرآیند PDH به وسیله مبدل‌های حرارتی منتقل می‌شود تا بتوان از آن برای تولید بخار یا گرمایش استفاده کرد.

۲) سیستم بخارزایی: حرارتی که از فرآیند به وسیله مبدل‌های حرارتی جمع‌آوری شده است، می‌تواند برای تولید بخار به کار رود. بخار تولید شده می‌تواند برای انرژی مورد نیاز در فرآیند یا سایر فرآیندها مورد استفاده قرار گیرد.

۱) سیستم گرمایش: حرارت بازیافت شده می‌تواند به عنوان گرما برای فرآیندهای دیگر در سیستم استفاده شود. این شامل گرمازدایی و گرمایش تجهیزات و مواد ورودی به فرآیند است. این سیستم‌ها به کاهش مصرف انرژی، افزایش بهره‌وری، و کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک می‌کنند.

٤-۳. مزایا و چالش‌های فرآیند PDH

٤-۳-۱. مزایا

- کارایی بالا: فرآیند PDH به دلیل استفاده از کاتالیست‌های پیشرفته و طراحی بهینه راکتورها، کارایی بالایی در تولید پروپیلن دارد.

- کاهش وابستگی به نفت خام: این فرآیند امکان استفاده از منابع گاز طبیعی را فراهم می‌کند و بنابراین وابستگی به نفت خام کاهش می‌یابد.

- کاهش آلودگی محیط زیست: تولید پروپیلن از پروپان باعث کاهش تولید محصولات جانبی نامطلوب و آلودگی‌های محیطی می‌شود.

٤-۳-۲. چالش‌ها

- هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا: نصب و راه‌اندازی واحدهای PDH نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بالایی دارد.

– نیاز به دمای بالا: فرآیند دیهیدروژناسیون به دمای بسیار بالایی نیاز دارد که تأمین و کنترل آن چالش‌برانگیز است.

– کاهش عمر کاتالیست‌ها: کاتالیست‌ها در دماهای بالا به مرور زمان دچار افت کارایی می‌شوند و نیاز به تجدید دارند که هزینه‌های عملیاتی را افزایش می‌دهد.

٤-٤. جمع‌بندی

فناوری PDH یک فرآیند کلیدی در تولید پروپیلن است که از مزایای زیادی برخوردار است و توانسته جایگاه مهمی در صنعت پتروشیمی پیدا کند. با وجود چالش‌های موجود، توسعه‌های اخیر در زمینه کاتالیست‌ها و طراحی‌های جدید راکتورها، کارایی و بهره‌وری این فرآیند را بهبود بخشیده و آن را به یکی از روش‌های محبوب تولید پروپیلن در جهان تبدیل کرده است. دستگاه‌های کلیدی مورد استفاده شامل راکتورهای بستر ثابت و سیال، مبدل‌های حرارتی، ستون‌های تقطیر و سیستم‌های بازیافت حرارت می‌باشند. شرکت‌های بزرگ مانند Honeywell UOP و Lummus Technology پیشرو در توسعه و ارائه این فناوری‌ها هستند که با استفاده از کاتالیست‌های پیشرفته و طراحی‌های بهینه، فرآیندهای PDH را بهبود بخشیده‌اند.

٥. روش گاز به پروپیلن (GTP)

٥-١. فرآیند GTP

روش GTP (Gas-to-Propylene) یکی از فناوری‌های پیشرفته برای تولید پروپیلن است که شامل تبدیل گاز طبیعی به پروپیلن می‌باشد. این فرآیند به دلیل استفاده از گاز طبیعی به عنوان ماده اولیه، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در ادامه، مراحل تولید پروپیلن با استفاده از روش GTP، گام به گام توضیح داده شده است:

۵-۱-۱. آماده‌سازی گاز طبیعی

گاز طبیعی به عنوان ماده اولیه اصلی در این فرآیند استفاده می‌شود. گاز طبیعی شامل متان، اتان، پروپان، بوتان و دیگر هیدروکربن‌های سبک است.

۵-۱-۲. ریفرمینگ بخاری[۳۰]

گاز طبیعی با بخار آب در دما و فشار بالا و در حضور کاتالیزور نیکل واکنش داده و به هیدروژن و مونوکسید کربن (گاز سنتز) تبدیل می‌شود.

۵-۱-۳. واکنش جابجایی آب-گاز[۳۱]

گاز سنتز تولید شده از مرحله قبل به منظور افزایش تولید هیدروژن، وارد راکتور جابجایی آب-گاز می‌شود.

۵-۱-٤. تصفیه گاز سنتز

مونوکسید کربن و دی‌اکسید کربن از گاز سنتز جدا می‌شوند تا مخلوطی از هیدروژن و هیدروکربن‌ها به دست آید.

۵-۱-۵. واکنش فیشر-تروپش (Fischer-Tropsch Synthesis)

گاز سنتز تصفیه شده وارد راکتور فیشر-تروپش می‌شود. در این راکتور، کاتالیزورهایی مانند کبالت یا آهن استفاده می‌شود تا هیدروژن و مونوکسید کربن به هیدروکربن‌های مایع و گاز تبدیل شوند. محصولات این واکنش شامل پارافین‌ها، اولفین‌ها و آب است.

راکتور فیشر-تروپش (Fischer-Tropsch Reactor) یکی از اجزای کلیدی در فرآیند تبدیل گاز طبیعی به هیدروکربن‌های مایع است. این راکتور در فرآیند فیشر-تروپش (Fischer-Tropsch Synthesis) مورد استفاده قرار می‌گیرد که یکی از روش‌های اصلی برای تولید سوخت‌های مایع و مواد شیمیایی از گاز سنتز (مخلوط هیدروژن و مونوکسید کربن) می‌باشد. فرآیند

فیشر-تروپش برای اولین بار در دهه ۱۹۲۰ توسط دو شیمیدان آلمانی، فرانز فیشر و هانس تروپش، توسعه یافت. این فرآیند شامل تبدیل گاز سنتز به هیدروکربن‌های مایع و جامد است. محصولات این واکنش شامل آلکان‌ها (پارافین‌ها)، اولفین‌ها و آب است. چندین نوع راکتور فیشر-تروپش وجود دارد که هر کدام برای کاربردهای خاصی مناسب هستند. برخی از رایج‌ترین انواع این راکتورها عبارتند از:

۱) راکتور بستر ثابت (Fixed Bed Reactor)

در این نوع راکتور، کاتالیزور به صورت ثابت در بستر قرار گرفته است و گاز سنتز از روی آن عبور می‌کند. معمولاً از کاتالیزورهای آهن یا کبالت استفاده می‌شود. دما و فشار به دقت کنترل می‌شوند تا محصولات مطلوب تولید شوند.

۲) راکتور بستر سیال (Fluidized Bed Reactor)

در این راکتور، ذرات کاتالیزور به صورت معلق در گاز سنتز قرار دارند. این نوع راکتور برای تولید مقادیر بزرگتر و استفاده از کاتالیزورهای بازیافت‌پذیر مناسب است. دما و فشار به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که کاتالیزور در حالت سیال باقی بماند.

۳) راکتور Slurry Phase

در این نوع راکتور، کاتالیزور به صورت دوغاب در یک مایع حامل معلق است. گاز سنتز از پایین راکتور وارد شده و از میان دوغاب عبور می‌کند. محصولات واکنش به صورت مایع و جامد جدا می‌شوند.

۵-۱-۶. جداسازی محصولات

محصولات فیشر-تروپش به وسیله تقطیر جدا می‌شوند تا هیدروکربن‌های سبک (اولفین‌ها و پارافین‌ها) از محصولات سنگین‌تر جدا شوند.

۵-۱-۷. کراکینگ حرارتی[۳۲]

هیدروکربن‌های سنگین‌تر (پارافین‌ها) در دما و فشار بالا و در حضور کاتالیزور کراکینگ به اولفین‌های سبک‌تر مانند اتیلن و پروپیلن تجزیه می‌شوند.

۵-۱-۸. پلیمریزاسیون و جداسازی

پروپیلن تولید شده از مرحله کراکینگ به واحدهای پلیمریزاسیون و جداسازی منتقل می‌شود. پروپیلن خالص جدا شده و برای مصارف مختلف ذخیره‌سازی می‌شود.

۵-۱-۹. ذخیره‌سازی و حمل و نقل

پروپیلن خالص به مخازن ذخیره‌سازی منتقل شده و برای توزیع به بازار آماده می‌شود.

این مراحل به صورت کلی روند تولید پروپیلن با استفاده از روش GTP را تشکیل می‌دهند. این روش به دلیل استفاده از گاز طبیعی به عنوان ماده اولیه، بهره‌وری بالای انرژی و کاهش وابستگی به نفت خام، مورد توجه قرار گرفته است.

۵-۲. استفاده از روش GTP در کشورهای پیشتاز

روش GTP (Gas-to-Propylene) یکی از فناوری‌های نسبتاً جدید برای تولید پروپیلن است و اطلاعات دقیقی از میزان تولید پروپیلن با این روش در دسترس عموم قرار ندارد، زیرا این فناوری هنوز در مراحل توسعه و پذیرش گسترده در صنعت است. با این حال، برخی کشورها به دلیل دسترسی به منابع گاز طبیعی و تمایل به کاهش وابستگی به نفت خام، سرمایه‌گذاری‌هایی در این زمینه انجام داده‌اند. اطلاعات موجود در این زمینه معمولاً از پروژه‌های خاص و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده بدست می‌آید.

کشورهایی که در استفاده از فناوری GTP پیشرو هستند:

۵-۲-۱. ایالات متحده آمریکا

ایالات متحده به دلیل دسترسی به منابع عظیم گاز شیل و سیاست‌های تشویقی برای توسعه فناوری‌های نوین، از پیشگامان استفاده از فناوری GTP است. چندین شرکت بزرگ مانند ExxonMobil و Dow Chemical در پروژه‌های GTP سرمایه‌گذاری کرده‌اند.

۵-۲-۲. چین

چین به عنوان یکی از بزرگترین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان پروپیلن در جهان، به دنبال تنوع بخشی به منابع تولید پروپیلن است. چین با استفاده از فناوری GTP و سایر فناوری‌های مشابه، تلاش دارد تا وابستگی خود به واردات نفت خام را کاهش دهد.

۵-۲-۳. قطر

قطر به عنوان یکی از بزرگترین تولیدکنندگان گاز طبیعی در جهان، به دنبال بهره‌برداری از این منابع برای تولید محصولات با ارزش افزوده مانند پروپیلن است. قطر پترولیوم و سایر شرکت‌های دولتی و خصوصی در پروژه‌های GTP سرمایه‌گذاری کرده‌اند.

۵-۳. برخی پروژه‌های بزرگ

فناوری GTP هنوز در حال توسعه است و پروژه‌های بزرگ مقیاس آن به تازگی آغاز شده‌اند. برخی پروژه‌های بزرگ در این زمینه عبارتند از:

۵-۳-۱. ExxonMobil و SABIC در آمریکا

پروژه‌های مشترک بین ExxonMobil و SABIC در تگزاس برای تولید پروپیلن و محصولات پتروشیمی دیگر با استفاده از فناوری GTP: این پروژه‌ها در صورت تکمیل می‌توانند سالانه چند صد هزار تن پروپیلن تولید کنند.

۵-۳-۲. CNPC در چین

CNPC[۳۳] و سایر شرکت‌های بزرگ چینی در حال بررسی و توسعه پروژه‌های GTP برای تولید پروپیلن هستند. انتظار می‌رود که تولید پروپیلن با این روش در چین به طور قابل توجهی افزایش یابد.

۵-۳-۳. Qatar Petroleum در قطر

قطر پترولیوم در حال توسعه پروژه‌های GTP برای بهره‌برداری از منابع گاز طبیعی خود است. این پروژه‌ها در صورت تکمیل می‌توانند قطر را به یکی از بزرگترین تولیدکنندگان پروپیلن با استفاده از فناوری GTP تبدیل کنند.

۵-٤. جمع‌بندی

فناوری GTP هنوز در مراحل ابتدایی خود قرار دارد و تولید پروپیلن با این روش به طور گسترده انجام نمی‌شود. اگرچه ایده‌های اولیه و اصول علمی مربوط به تبدیل گاز طبیعی به محصولات پتروشیمی در دهه‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ مطرح شدند، فناوری GTP به شکل مدرن و تجاری آن عمدتاً در دو دهه اخیر توسعه یافته است. پیشرفت‌های مستمر در این زمینه نشان‌دهنده روندی رو به رشد است که هنوز در مراحل اولیه پذیرش گسترده صنعتی قرار دارد. کشورهای ایالات متحده، چین و قطر از پیشگامان توسعه این فناوری هستند و انتظار می‌رود با پیشرفت‌های بیشتر در این زمینه، میزان تولید پروپیلن با استفاده از روش GTP در سال‌های آینده به طور قابل توجهی افزایش یابد. برای اطلاعات دقیق‌تر و به روزتر، مطالعه گزارش‌های صنعت پتروشیمی و پروژه‌های جدید پیشنهاد می‌شود.

٦. مقایسه استفاده از روش‌های MTP و PDH در چین

چین بزرگ‌ترین تولیدکننده پروپیلن در جهان است و تقریباً بین ۲۵ تا ۳۰ درصد از تولید جهانی پروپیلن را به خود اختصاص داده است. این کشور به

عنوان یک بازیگر اصـلی در بازار جهانی پروپیلن عمل می‌کند و تأثیر زیادی بر عرضـه و تقاضـای جهانی دارد[۳٤]. در سـال ۲۰۲۳، چین به همراه ایالات متحده و کره جنوبی بیش از ۵۸ درصـد از عرضـه جهانی پروپیلن را تأمین کردند که در این میان، چین بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است[۳۵]. ظرفیت بالای تولید پروپیلن در چین به وسیله استفاده گسترده از فناوری‌های مختلف مانند پروپان دیهیدروژناسـیون (PDH) و متانول به پروپیلن (MTP) پشـتیبانی می‌شـود. این کشـور همچنان در حال گسـترش ظرفیت تولید خود است تا به تقاضای داخلی و بین‌المللی پاسخ دهد[۳٦]. به طور خلاصه، چین نه تنها بزرگ‌ترین تولیدکننده پروپیلن اسـت، بلکه به عنوان یک تأمین‌کننده کلیدی در بازار جهانی عمل می‌کند و سهم قابل توجهی از تولید جهانی را به خود اختصـاص داده و در گسـترش ظرفیت‌ها و پیشـرفت‌های فناوری در صـنعت پروپیلن پیشـرو اسـت. در سـال ۲۰۲۳، ظرفیت تولید پروپیلن چین حدود ٦۳.۹ میلیون تن در سـال بود و پیش‌بینی می‌شـود که این ظرفیت در سال ۲۰۲٤ به ۷٤.٦ میلیون تن برسد، یعنی افزایشی معادل ۱٦.۷٤ درصد[۳۷].

از نظر روش‌های تولید، دو روش اصـلی تولید پروپیلن در چین شـامل فرآیند تبدیل متانول به پروپیلن (MTP) و فرآیند پروپان دیهیدروژناسـیون (PDH) هسـتند. در سـال‌های اخیر، روش PDH به دلیل مزایای اقتصـادی و محیط‌زیسـتی بیشـتر مورد توجه قرار گرفته اسـت. در سـال‌های اخیر، چین با توجه به سـیاسـت‌های توسـعه‌ای و منابع موجود، اسـتفاده از هر دو روش را گسـترش داده اسـت. با این حال، به دلیل وجود منابع زغال سـنگ فراوان و سـیاسـت‌های حمایت از صـنایع داخلی، روش MTP همچنان سـهم قابل توجهی دارد. از سـوی دیگر، روش PDH نیز بـه دلیـل بهره‌وری بـالاتر و هزینه‌های کمتر به تدریج در حال افزایش است. بنابراین، هر دو روش MTP

و PDH در چین مرسوم هستند و انتخاب بین این دو بیشتر به شرایط محلی، منابع در دسترس و سیاست‌های اقتصادی بستگی دارد.

تولید پروپیلن از طریق روش PDH در چین به سرعت در حال افزایش است و در سال ۲۰۲۳ حدود ۵۲.۴۳ درصد از ظرفیت جدید تولید پروپیلن از این روش استفاده کرده‌اند[۳۸]. در مقابل، تولید پروپیلن از طریق MTP کمتر متداول است و سهم کمتری از کل تولید پروپیلن چین را به خود اختصاص داده است. به طور کلی، می‌توان گفت که روش PDH در حال حاضر در چین بیشتر مرسوم است و سهم بیشتری از تولید پروپیلن را به خود اختصاص داده است.

یادداشت‌ها

1 https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polypropylene-pp-plastic
2 https://mcgroup.co.uk/researches/propylene
3 https://mcgroup.co.uk/researches/propylene
4 https://polymermall.com/articles/pp-article
https://epic-polymer.com/blog/%D9%BE%D8%B1%D9%88%D9%BE%DB%8C%D9%84%D9%86-%D8%B3%D8%A7%D8%AE%D8%AA%D9%85%D8%A7%D9%86%DB%8C/
5
https://bing.com/search?q=%da%a9%d8%a7%d8%b1%d8%a8%d8%b1%d8%af+%d9%be%d9%84%db%8c+%d9%be%d8%b1%d9%88%d9%be%db%8c%d9%84%d9%86+%d8%af%d8%b1+%d8%b5%d9%86%d8%a7%db%8c%d8%b9+%d8%b3%d8%a7%d8%ae%d8%aa%d9%85%d8%a7%d9%86%db%8c
6 https://polymermall.com/articles/Application-of-polymers-in-the-construction-industry
7 https://www.nadiplastic.com/blog/industrial-applications-of-polyethylene/
8 https://www.parsethylene.com/%d9%be%d9%84%db%8c-%d8%a7%d8%aa%db%8c%d9%84%d9%86
9 https://www.nadiplastic.com/blog/industrial-applications-of-polyethylene/
10
https://www.bing.com/search?q=%DA%A9%D8%A7%D8%B1%D8%A8%D8%B1%D8%AF%D9%87%D8%A7%DB%8C+%D8%B5%D9%86%D8%B9%D8%AA%DB%8C+%D9%BE%D9%84%DB%8C+%D8%A7%D8%AA%DB%8C%

D9%84%D9%86&toWww=1&redig=C2E9CB388D914103910E98CCBDE1224E

11 https://www.nadiplastic.com/blog/industrial-applications-of-polyethylene/

12https://www.statista.com/statistics/1171084/price-polypropylene-forecast-globally/#:~:text=In%202021%2C%20the%20global%20average%20price%20of%20polypropylene,PP%20stood%20at%201%2C208%20U.S.%20dollars%20per%20ton.

13 https://www.bing.com/ck/a?!&&p=518d792baf31467bJmltdHM9MTcxODQwOTYwMCZpZ3VpZD0yNWJhMjUyZi1iMGI1LTZlYzAtMDViYi0zNTliYjFkZTZmZDgmaW5zaWQ9NTQ0OA&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=25ba252f-b0b5-6ec0-05bb-359bb1de6fd8&psq=econom+of+propylene&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuc3BnbG9iYWwuY29tL2NvbW1vZGl0eWluc2lnaHRzL2VuL2NpL3Byb2R1Y3RzL3Byb3B5bGVuZS1jaGVtaWNhbC1lY29ub21pY3MtaGFuZGJvb2suaHRtbCM6fjp0ZXh0PUdsb2JhbCUyMGNvbnN1bXB0aW9uJTIwb2YlMjBwcm9weWxlbmUlMjB3aWxsJTIwY29udGludWUlMjB0byUyMGdyb3csYmFzZWQlMjBvbiUyMHRoZSUyMGRldmVsb3BtZW50JTIwb2YlMjBkb3duc3RyZWFtJTIwZGVyaXZhdGl2ZSUyMGNhcGFjaXR5Lg&ntb=1

۱۴ گزارش عملکرد صنعت پتروشیمی ایران، شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران؛ ص۳

15 BP data, 2023
16 Steam Cracking
17 FCC - Fluid Catalytic Cracking
18 PDH
19 MTO - Methanol to Olefins
20 Benzene to Olefins - BTO
21https://www.researchgate.net/figure/Propylene-value-chain_fig1_281876022

۲۲ رآکتورهای بستر ثابت یاFixed Bed Reactors که در MTP به کار می‌روند توسط شرکت‌هایی بزرگی همانند موارد زیر تولید می‌شوند»

۱. UOP LLC (یک بخش از Honeywell)

۲. شرکت معروف Linde

۳. شرکت بین‌المللی Axens

۴. شرکت Johnson Matthey

23 Fluidized Bed Reactors
24 https://energy.nl/data/methanol-to-propylene-process/

۲۵ برای دقیق‌تر شدن این اطلاعات، می‌توان به گزارش‌ها و منابع معتبر صنعتی مراجعه کرد. برخی از منابع معتبر شامل موارد زیر هستند:

۱. IHS Markit: گزارش‌های تحلیل بازار و اطلاعات پروژه‌های پتروشیمی.

۲. ICIS: اخبار و تحلیل‌های بازار پتروشیمی.

۳. Nexant: ارائه‌دهنده گزارش‌های تحلیل بازار و هزینه‌های سرمایه‌گذاری در صنایع شیمیایی.

٤. پروژه‌های صنعتی منتشر شده توسط شرکت‌های بزرگ: گزارش‌های مالی و صنعتی شرکت‌هایی مانند Sinopec، BASF، و LyondellBasell. برای مثال، گزارش IHS Markit تحت عنوان Global Propylene Market Analysis شامل تحلیل جامع بازار پروپیلن و تخمین هزینه‌های سرمایه‌گذاری است. همچنین، مقالات منتشر شده در ژورنال‌های تخصصی پتروشیمی مانند Chemical Engineering Journal نیز می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری درباره هزینه‌ها و ظرفیت‌های تولید ارائه دهد.

۲٦ منابع:

۱. IHS Markit: گزارش‌های تحلیل بازار و هزینه‌های عملیاتی.

۲. ICIS: اخبار و تحلیل‌های بازار پتروشیمی.

۳. Nexant: گزارش‌های تحلیل بازار و هزینه‌های عملیاتی.

٤. گزارش‌های مالی و صنعتی شرکت‌های بزرگ: گزارش‌های شرکت‌هایی مانند Sinopec، BASF، و LyondellBasell.

27 https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1461831
28 Fixed-Bed Reactors
29 Fluidized-Bed Reactors
30 Steam Reforming
31 Water-Gas Shift Reaction
32 Thermal Cracking
33 China National Petroleum Corporation
34https://www.globenewswire.com/news-release/2024/05/03/2874983/28124/en/Global-Propylene-Industry-Report-2024-China-US-and-South-Korea-Accounted-for-Over-58-of-Supply-in-2023-Forecasts-to-2030.html
https://www.globaldata.com/store/report/propylene-trend-analysis/

35 https://www.globaldata.com/store/report/propylene-market-analysis
36https://commodityinsights.spglobal.com/rs/325-KYL-599/images/6.%20Global%20Olefin%20Industry%20Outlook_Paul.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fcommodityinsights.spglobal.com%2Frs%2F325

37 https://www.mysteel.net/news/5047853-chinas-propylene-capacity-to-expand-1674-yoy-in-2024
38 https://www.mysteel.net/news/5047853-chinas-propylene-capacity-to-expand-1674-yoy-in-2024
https://www.woodmac.com/reports/chemical-markets-why-is-chinas-enthusiasm-for-pdh-investment-unabating-428667/