

## مروری بر اقتصاد فناوری‌های هدفمند تولید پروپیلن و موقعیت فرایند MTP

علی افشار ابراهیمی

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۱۲-۱۴۹۷۵

دریافت: ۱۳۹۳/۱/۱۶، پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲

در این مقاله، به بررسی اقتصادی روش‌های نوین تولید پروپیلن پرداخته شده و جایگاه روش تبدیل متانول به پروپیلن (MTP) ارزیابی شده است. از میان روش‌های بررسی شده، روش هیدروژن‌زدایی پروپان (PDH) با ظرفیت هر واحد ۳۵۰ تا ۷۵۰ هزارتن در سال، به دلیل مقیاس‌پذیری زیاد و حاشیه نقدی مطلوب، زمینه اقتصادی خوبی برای تولید در خاورمیانه و آمریکا دارد. روش تبدیل متانول به پروپیلن با ظرفیت هر واحد ۴۵۰ هزارتن در سال، تا زمانی که قیمت گاز طبیعی کم باشد، دارای حاشیه نقدی مطلوبی است. اما هزینه سرمایه‌ای این واحدها که بیش از ۸۵۰ میلیون دلار است، به عنوان یک سد در برابر اقتصاد این فرایند عمل می‌کند. در حال حاضر، اقتصاد این روش در منطقه خاورمیانه تا حدودی در مرز اقتصادی بودن قرار دارد، اما با توجه به شرایط فعلی، مناسب‌ترین بازار برای فروش پروپیلن تولیدی خاورمیانه با روش MTP، بازارهای جنوب شرق آسیاست. تولید انبوه متانول و کم‌کردن قیمت متانول در منطقه خاورمیانه نیز یکی دیگر از روش‌های بسیار موثر در اقتصادی‌تر کردن MTP است. باقی‌مانده‌های روش‌های هدفمند تولید پروپیلن مثل جانشینی متقابل و زیست‌توده یا غیراقتصادی بوده یا توسعه و بلوغ کافی پیدا نکرده‌اند.

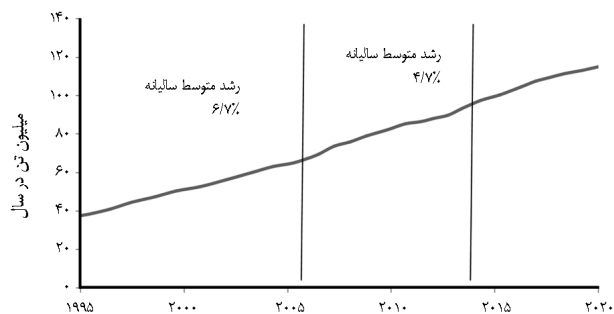
### چکیده



علی افشار ابراهیمی

### واژگان کلیدی

تبدیل متانول به پروپیلن،  
بازار،  
عرضه و تقاضا،  
امکان‌سنجی اقتصادی،  
فناوری هدفمند

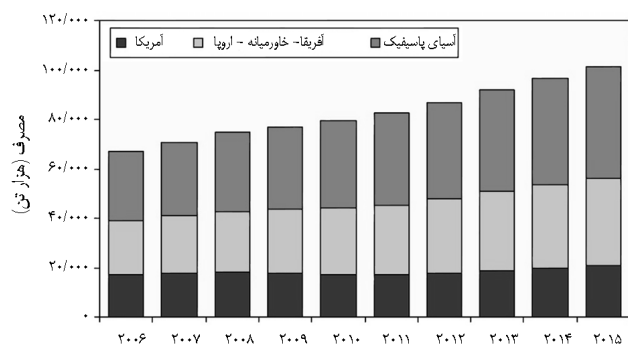


شکل ۱- تقاضای جهانی پروپیلن [۴].

### پیش‌زمینه اقتصادی

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، تقاضای جهانی پروپیلن از ۳۷/۲ میلیون تن در سال ۱۹۹۵ به ۵۲ میلیون تن در سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است که رشد سالانه‌ای در حدود ۵/۵٪ را نشان می‌دهد. تقاضای جهانی با رشد متوسط سالانه ۴/۶٪ برای بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ به حیات خود ادامه داده و مقدار تقاضا در سال ۲۰۰۶ به حدود ۶۷ میلیون تن در سال رسیده است. رشد تقاضای جهانی در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ سالانه حدود ۵٪ بوده است. این رشد تقاضا عمدتاً به دلیل تقاضای شدید بازار برای مشتقاتی مثل پلی‌پروپیلن و پروپیلن اکسید بوده است. رشد تقاضای سالیانه برای پروپیلن در بازه زمانی یاد شده ۵/۵٪ برای اکسید پروپیلن ۴/۳٪ بوده است. مصرف پروپیلن در مناطق مختلف جهان در شکل ۲ نشان داده شده است.

قیمت‌گذاری پروپیلن به‌طور سنتی وابسته به مقدار تولید در پالایشگاه‌ها، توازن عرضه و تقاضا در بازار و هزینه عملیاتی تولید است. بیش از ۲۵ درصد از کراکرها (crackers) در سراسر جهان طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ شروع به تولید کرده که عمدتاً برای تولید اتان طراحی شده‌اند. بدین ترتیب، پروپیلن کمی تولید می‌کنند. افزون بر این، افزایش و توسعه کراکرهاى بخار نیز توان جبران رشد تقاضای پروپیلن را ندارند.



شکل ۲- روند مصرف جهانی پروپیلن در مناطق مختلف [۴].

پروپیلن ماده‌ای بسیار تطبیق‌پذیر است و می‌تواند به عنوان خوراک اولیه برای طیف وسیعی از مونومرها، پلیمرها، محصولات میانی و شیمیایی در نظر گرفته شود. این تطبیق‌پذیری و گستردگی کاربرد به دلیل ساختار شیمیایی پروپیلن است. از مهم‌ترین مشتقات پروپیلن، می‌توان پلی‌پروپیلن، آکرونیتریل، پروپیلن اکسید، فنول، اکتوآلکل‌ها، آکریلیک اسید و ایزوپروپیل الکل را نام برد. اکثر این محصولات در صنایع خودرو، ساخت و ساز، بسته‌بندی و الکترونیکی به کار برده می‌شوند. همانند اتیلن، پروپیلن نیز دارای یک پیوند دوگانه بین دو کربن است، اما برخلاف اتیلن، پروپیلن یک گروه آللی متیل دارد که برای تبدیلات شیمیایی، بسیار کاربردی و بااهمیت است.

پروپیلن و اتیلن دو دسته اصلی تشکیل دهنده صنایع پتروشیمیایی هستند. تا مدت زیادی، اتیلن به عنوان حاکم اصلی صنایع پتروشیمیایی شناخته می‌شده است و صنایع بزرگ پتروشیمی عمدتاً با روش شکست نفتا با بخار، اتیلن تولید می‌کرده‌اند. این در حالی است که پروپیلن و سایر دسته‌ها نظیر بوتادیان و آروماتیک‌ها تنها به عنوان محصولات جانبی در نظر گرفته می‌شدند. اما، از آنجا که مشتقات حاصل از پروپیلن طی ۲۰ سال اخیر، رشد قابل توجهی داشته‌اند. به نظر می‌رسد که این رشد ادامه یابد، صنایع با مشکلی جدی رو به رو شده‌اند. مشکل این است که تقاضا برای پروپیلن به‌طور گسترده در حال افزایش است، حال آنکه در صنایع پتروشیمیایی، تولید و عرضه این ماده کاملاً کمتر از مقدار تقاضاست. در حال حاضر، رشد تقاضای پروپیلن از اتیلن سریع‌تر شده و این موضوع عمدتاً به دلیل افزایش درخواست برای پلی‌پروپیلن، پروپیلن اکسید و آکریلونیتریل است [۱]. هم‌اکنون، رشد بازار جهانی پروپیلن سالانه ۵٪ تا ۶٪ است [۲].

به دلیل بحران‌های نفتی، پیدا کردن راهی جدید برای تولید پروپیلن بسیار جذاب شده است. از این رو، روش‌هایی مثل تبدیل متانول به اولفین‌ها (MTO) طی سال‌های اخیر ایجاد شده است. درک سازوکار واکنش تبدیل متانول به پروپیلن در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی داشته است. فرایند MTP ابتدا به‌وسیله بهینه‌سازی بازدهی پروپیلن در فرایند MTO توسط Lurgi ایجاد شده است. کمترین مقدار گزینش‌پذیری پروپیلن در فرایند یاد شده در فشار معمولی و دمای واکنش حدود ۳۵۰°C تا ۵۰۰°C، ۳۵٪ گزارش شده است. این واکنش در یک راکتور بستر ثابت با استفاده از کاتالیزور زئولیتی ZSM-5 (MFI) انجام شده است [۳].

شده است. کاهش شدید پروپیلن در بازارهای آسیایی و افزایش سریع تقاضا، باعث افزایش قیمت آن شده است. افزایش قیمت پروپیلن نیز باعث افزایش سرمایه‌گذاری‌های بزرگ برای تولید این ماده با روش‌های جایگزین در آسیا شده است. تعداد قابل توجهی از کراکرها در خاورمیانه بر اساس تولید اتان طراحی شده‌اند و راه طولانی برای تامین رشد بازار اتیلن را در پیش رو دارند. سرمایه‌گذاری منطقه خاورمیانه برای تولید پروپیلن از نفتا محدود است و این به نوبه خود، تولید این محصول را در منطقه محدود کرده است.

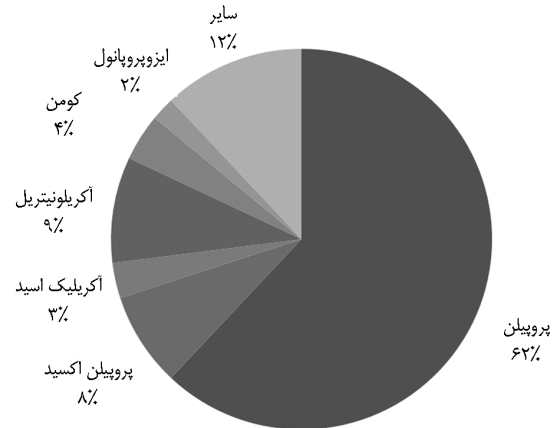
در حال حاضر، کراکهای نفتا حدود ۷۰ درصد پروپیلن مورد نیاز آسیا را تامین می‌کنند. این موضوع تولیدکنندگان پروپیلن را بر آن داشته است تا به دنبال فناوری‌های دیگری برای تولید پروپیلن به منظور تامین کامل نیاز بازار باشند.

### قیمت پروپیلن

عوامل مختلفی بر قیمت جهانی پروپیلن اثر دارند. قیمت پروپیلن تولیدی از پالایشگاه‌ها بسیار متاثر از عوامل اقتصادی آن است. چرا که پروپیلن تولیدی به جهت اقتصادی باید قدرت رقابت با سایر گزینه‌های سوخت نظیر آلکیلات بنزین و LPG را دارا باشد. از دید کلان، محدوده قیمت پروپیلن پالایشگاهی باید با قیمت پروپیلن قابل حصول از واحدهای اتیلن نیز در تعادل باشد. پروپیلن حاصل از این واحدها باید به گونه‌ای قیمت‌گذاری شود که مشتقات رقیب اتیلن و پروپیلن (مثلا HDPE و پلی پروپیلن یا الکل‌های خطی و ۲- اتیل هگزانول) تعادل رضایت بخشی از حیث عرضه و تقاضا داشته باشند.

واحدهای کراکینگ با خوراک سنگین باید مسئله عرضه هر دو محصول اتیلن و پروپیلن را به بازار در نظر داشته باشند. در غیر این حالت، بازار نامتعادل مشتقات این فرآورده‌ها خود در تنظیم مجدد قیمت اولفین‌ها یا جایگزینی مشتقات یکی با دیگری اثر خواهد گذارد.

امروزه بسیاری از طرح‌های جدید کراکینگ بهره‌برداری شده در واحدهای پتروشیمی محصولاتی بر پایه اتان بوده و مقدار کمی پروپیلن تولید می‌کنند. از طرفی، پلی پروپیلن به دلیل داشتن خواص فیزیکی بهتر در بسیاری کاربردها، به‌ویژه در صنایع بسته‌بندی جایگزین پلی استیرن و پلی اتیلن ترفتالات شده است. افزایش تقاضا برای مشتقات کلیدی پروپیلن به همراه محدودیت در مقدار تولید، سبب افزایش قیمت پروپیلن در بازارهای جهانی شده است. متوسط قیمت جهانی پروپیلن در سال ۲۰۰۲ حدود ۳۲۰ دلار در هر تن



شکل ۳- سهم مصرف جهانی مشتقات پروپیلن [۴].

تولید پروپیلن با روش هیدروژن‌زدایی پروپان روشی نسبتاً گران بوده و عموماً نیازمند خوراکی با قیمت مناسب است تا کل فرایند جنبه اقتصادی پیدا کند. اخیراً این روش به عنوان یک گزینه مقرون به صرفه مورد توجه واقع شده است. مقدار پروپیلن تولیدی با روش هیدروژن‌زدایی در مقایسه با روش‌های سنتی همچنان بسیار ناچیز است. شکل ۳ سهم مصرف پروپیلن در مشتقات آن را نشان می‌دهد. این شکل بیانگر این است که تولید پلی پروپیلن در سطح جهان، بزرگترین سهم مصرف پروپیلن را به خود اختصاص داده است. گسترش یا تغییر منابع تولید پروپیلن موضوعی ضروری است. این موضوع می‌تواند با ارائه یک منبع جدید یا تغییر جهت ظرفیت‌های فعلی به سمت پروپیلن محقق شود تا بتوان تعادل بازار را مجدداً به دست آورد.

منابع اصلی که تولید پروپیلن را انجام می‌دهند، کراکهای بخار هستند که همگی به منظور تولید اتیلن طراحی شده و پروپیلن در حقیقت محصول جانبی این واحدهاست. منبع اصلی دیگر تولید پروپیلن، واحدهای FCC پالایشگاهی است که این واحدها نیز عمدتاً به منظور تولید سوخت موتور طراحی شده و پروپیلن محصول جانبی آنهاست. فناوری تازه مقرون به صرفه شده هیدروژن‌زدایی پروپان نیز تنها تحت شرایط خاص و در نقاط خاصی از دنیا اقتصادی است. با پیشی گرفتن تقاضای جهانی پروپیلن از اتیلن، پیدا کردن منابعی جایگزین برای تولید پروپیلن جذابیت زیادی پیدا کرده است به شرطی که لطمه‌ای به دسترس پذیری اتیلن وارد نشود. مناطق مختلف دنیا، واکنش‌های مختلفی به کمتر شدن عرضه پروپیلن نشان می‌دهند. به عنوان مثال، آمریکای شمالی و اروپا رشد تقاضا را با شیب ملایم تجربه می‌کنند، در حالی که خاورمیانه و آسیا کمبود شدید پروپیلن را تجربه می‌کنند. این کمبود شدید در بخش آسیا، عمدتاً به وسیله بازار عظیم و رو به رشد چین ایجاد

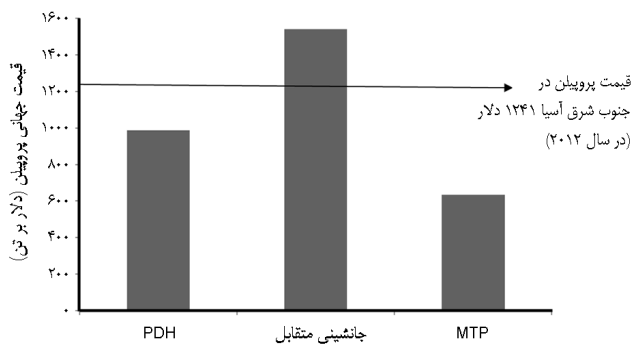
باعث افزایش چشمگیر قیمت بوتادی آن خواهد شد.

### فناوری های نوین و تغییر توازن بازار

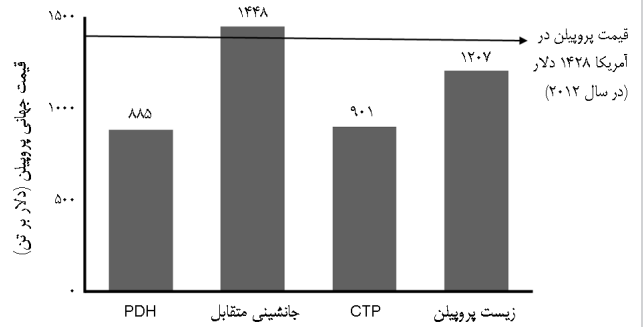
کمبود عرضه و تغییرات چشمگیر قیمت پروپیلن، بوتادی آن و بنزن فرصت های جدیدی را برای فناوری های غیراقتصادی ایجاد کرده است. سه فناوری هیدروژن زدایی پروپان (PDH)، تبدیل متانول به پروپیلن (MTP) و جانشینی متقابل (metathesis) اولفین که در بخش های قبلی به آنها اشاره شد، فرایندهای در حال اقتصادی شدن تولید پروپیلن اند. در شکل ۵ هزینه تمام شده پروپیلن تولیدی با روش PDH، جانشینی متقابل و زیست توده در آمریکا و روش CTP در چین نشان داده شده است [۶]. در حالی که روش های PDH و MTP جذابیت بیشتری دارند، روش جانشینی متقابل غیراقتصادی است. روش دیگر تبدیل زیست توده به پروپیلن نیز دارای توجیه اقتصادی بالقوه است. اما، همچنان از نظر کارکرد در مقیاس صنعتی زیر سوال است. توجیه بیشتر اقتصادی روش MTP عمدتاً وابسته به قیمت کمتر متانول است که قیمت کمتر متانول نیز به نوبه خود نیازمند قیمت کمتر گاز طبیعی یا زغال است. این موضوع می تواند موفقیت روش MTP را در بعضی از نقاط دنیا کاهش دهد و در برخی نقاط دیگر که دارای گاز طبیعی ارزان قیمت (مانند ایران) هستند، افزایش دهد. زغال ارزان قیمت نیز روش زغال به پروپیلن (CTP) در چین را جذاب تر کرده است.

برخلاف روش های PDH و MTP، که از قیمت ارزان خوراک بهره می گیرند، قیمت ۲- بوتن که ماده اولیه روش جانشینی متقابل است، در حال افزایش بوده و این امر باعث شده است تا این روش غیراقتصادی باشد.

بر اساس توجیه اقتصادی پیش گفته، ظرفیت جهانی روش PDH تا سال ۲۰۱۶ به سه برابر یعنی ۱۲ میلیون تن در سال افزایش خواهد یافت. همزمان پیش بینی می شود، بین سال های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ میلادی ظرفیت تولید واحدهای MTP در سراسر جهان به



شکل ۵- هزینه تولید پروپیلن با فناوری های مختلف [۶].



شکل ۴- تغییرات قیمت جهانی پروپیلن [۵].

بود. در سال ۲۰۱۲ قیمت پروپیلن از مرز ۱۲۳۵ دلار در هر تن عبور کرد. در دسامبر ۲۰۱۱ قیمت پروپیلن ۱۱۸۵ دلار در هر تن بود. در دسامبر ۲۰۱۲ قیمت ها به ۱۲۱۵ دلار در هر تن کاهش داشت. شکل ۴ روند تغییرات قیمت جهانی پروپیلن را بین سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ نشان می دهد [۵].

با توجه به روند افزایشی قیمت پروپیلن در جهان، بیشترین سرعت رشد آن بین سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ حدود ۵۰٪ و بین سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ حدود ۲۳٪ بوده است. حاشیه سود تولید پروپیلن بسته به مقدار عرضه و تقاضای بازار آن در مناطق مختلف جهان متفاوت است.

به طور کلی در اغلب نقاط جهان، به غیر از چین، این حاشیه حدود ۶۰ تا ۷۰ دلار در هر تن برای تولیدکنندگان آن است، ولی در چین به علت ازدیاد تقاضا، این مبلغ تا ۴۰۰ دلار نیز افزایش یافته است. طی ماه فوریه سال ۲۰۱۳، قیمت پروپیلن رشد فزاینده ای پیدا کرده و به بیش از ۱۵۵۵ دلار در هر تن رسیده است. علت این افزایش قیمت مجدداً تقاضای فزاینده بازار چین و ازدیاد قیمت نفتا اعلام شده است. برخی پیش بینی ها حاکی از این است که این مقدار بیشترین قیمت پروپیلن است و در آینده کاهش خواهد یافت. سه راه را می توان به منظور کم کردن کمبود پروپیلن در سطح جهانی ارائه داد:

- اول، استفاده از پلی اتیلن، پلی استیرن و پلی اتیلن ترفتالات با چگالی زیاد به جای پلی پروپیلن در بعضی از موارد مصرفی،
- دوم، استفاده از روش های تولید جایگزین مثل متانول به پروپیلن یا هیدروژن زدایی پروپان و
- سوم، اگر چنانچه روش های پیشین با شکست رو به رو شد، قیمت پروپیلن باید افزایش یابد تا واحدهای کراکر بخار نفتا توجیه پذیری اقتصادی بیشتری پیدا کنند.

این در حالی است که بازار بوتادی آن حدود یک دهم بازار پروپیلن است، بدین معنی که ایجاد کوچکترین تغییرات در کراکینگ نفتا

در چرخه تولید، جریان کوچکی از مواد سبک و برش C4-C5 تخلیه می‌شود. آب اضافی حاصل از تبدیل متانول نیز از فرایند خارج می‌شود. این آب را می‌توان پس از فراورش برای آبیاری یا حتی آشامیدن استفاده کرد.

تولید کک روی سطح فعال کاتالیزور، ویژگی مهم اجتناب‌ناپذیر فرایندهای کاتالیزوری اولفین‌ها با مواد بارزش است که در اثر پیشرفت واکنش‌های جانبی اتفاق می‌افتد. به منظور حفظ شرایط پیوسته در واحد، در حالی که یک راکتور در حال بازیابی در وضعیت انتظار است، یک یا دو راکتور در عملیات شرکت می‌کنند. پس از یک دوره در حدود ۵۰۰ تا ۶۰۰ ساعتی، کاتالیزور باید از راه سوزاندن کک با هوا احیا شود. عملیات احیا در دمایی شبیه دمای واکنش انجام می‌شود تا از اعمال تنش‌های گرمایی طی آن جلوگیری شود.

### بررسی تولید در منطقه خاورمیانه

طی سال‌های اخیر، شرکت‌های پتروشیمیایی خاورمیانه ظرفیت‌های قابل توجهی بر پایه روش‌های کراکینگ ایجاد کرده‌اند که منجر به تولید دسته‌های اصلی پتروشیمیایی یعنی پروپیلن و اتیلن و در نهایت پلیمر آنها شده است. با توجه به منابع عظیم خوراک در این منطقه، این واحدها به مقدار کافی خوراک ورودی در اختیار دارند. با نگاهی به آینده و کاهش ذخایر هیدروکربنی، تولیدکنندگان خاورمیانه‌ای به استفاده بیشتر از روش‌های مختص تولید پروپیلن تشویق خواهند شد. اگر چنانچه خوراک واحدها دچار تغییر شود، شرکت‌های خاورمیانه‌ای نیازمند تصحیح و تغییر در فرایندهای هدمند تولید پروپیلن خواهند شد. افزون بر این، آنها نیازمند مناطق جغرافیایی جدید با دسترس‌پذیری به خوراک خواهند بود.

اقتصاد روش MTP در منطقه خاورمیانه بر اساس قیمت گاز طبیعی زیر ۲ دلار به ازای هر MMBTU در ابتدا جذاب‌تر از روش CTP در چین به نظر می‌رسید. اما، روش MTP در منطقه خاورمیانه تاحدودی در شرایط مرزی است. با توجه به اینکه قیمت مرزی پروپیلن در منطقه ۸۰۰ دلار در هر تن است و متانول به تنهایی حدود ۳۵۰ دلار در هر تن فروخته می‌شود، اقتصاد روش MTP تا حدودی نزدیک به منطقه مرزی می‌شود.

با توجه به شکل ۵ دیده می‌شود که هزینه تمام شده تولید با روش MTP نسبت به دو روش دیگر PDH و جانشینی متقابل کمتر است. افزون بر این شکل ۵ نشان می‌دهد، بازارهای جهانی مثل جنوب شرق آسیا می‌تواند بازاری کاملاً اقتصادی و جذاب برای پروپیلن تولیدی در خاورمیانه با روش MTP باشد. نکته

چهار برابر یعنی ۶ میلیون تن در سال افزایش یابد. افزون بر این، به دلیل اینکه تولید کنندگان به دنبال افزایش بهره و کاهش هزینه‌های ثابت در هر تن محصول تولیدی هستند، باید واحدهای بزرگتری ساخته شود. ظرفیت واحدهای جدید PDH از ۳۵۰ کیلوتن در سال به ۶۰۰ تا ۷۵۰ کیلوتن در سال ۲۰۱۵ افزایش خواهند یافت. به عنوان مثال، دو شرکت Dow Chemical و Enterprise Chemical هر دو در حال احداث واحدهایی در تگزاس آمریکا با ظرفیت سالیانه هر یک ۷۵۰ کیلوتن هستند. تخمین زده می‌شود، در سال ۲۰۱۵، عرضه پروپیلن توسط واحدهای موجود و در حال احداث شامل کراکرها، PDHها و MTPها بتوانند تقاضای ۹۵ میلیون تن در سال پروپیلن را پاسخگو باشند. ممکن است در آینده قیمت پروپیلن دچار کاهش شود، اما پیش‌بینی می‌شود، هر دو روش PDH و MTP تداوم داشته باشند. روش جانشینی متقابل، همچنان در مرز شرایط غیراقتصادی باقی خواهد ماند.

### بررسی فنی فرایند MTP

در فرایند MTP متانول روی بستر ثابتی از کاتالیزور اصلاح شده ZSM-5 به مخلوطی از هیدروکربن، که به طور عمده از پروپیلن تشکیل یافته است، تبدیل می‌شود. پروپیلن تنها محصول اصلی فرایند است. در این فرایند اتیلن تولید نمی‌شود. محصولات جانبی بنزین، گاز مایع، سوخت گازی و آب هستند.

متانولی که به واحد وارد می‌شود، ابتدا در یک راکتور به دی‌متیل اتر و آب تبدیل می‌شود. در این راکتور در اثر تعادل ترمودینامیکی مخلوطی از آب، متانول و دی‌متیل اتر تولید می‌شود. جریان بازگشتی اولفینی و بخار تولید شده از جریان بازگشتی آب به این مخلوط اضافه شده، به اولین راکتور از راکتورهای چندمرحله‌ای و بی‌دررو MTP وارد می‌شود.

درصد تبدیل مخلوط متانول و دی‌متیل اتر بیش از ۹۹ درصد و محصول اصلی پروپیلن است. در مراحل بعدی با کنترل شرایط واکنش از راه تزریق مقدار کمی از خوراک تازه در بین مراحل، شرایط عملیاتی در وضعیتی مشابه مرحله قبلی نگه داشته می‌شود. محصول خروجی از آخرین مرحله، خنک شده و به سه بخش محصول گازی، مایع آلی و آب، که باید از هم جدا شوند، تبدیل می‌شود. محصول گازی پس از تراکم و جدا کردن مقادیر ناچیز آب، کربن دی‌اکسید و دی‌متیل اتر در مجموعه‌ای از تجهیزات متعارف جداسازی به خلوص مورد نیاز پروپیلن نوع پلیمر می‌رسد. چند جریان حاوی مواد اولفینی به منظور افزایش تولید پروپیلن به راکتور بازگردانده می‌شوند. برای جلوگیری از تجمع مواد بی‌اثر

حائز اهمیت در باره این نمودار، سهم بسیار زیاد مواد اولیه یا خوراک در هزینه تمام شده پروپیلن تولید شده با فناوری MTP است. تولید کنندگان منطقه خاورمیانه باید زوایای دیگری همچون هزینه سرمایه‌ای بیشتر، هزینه های تدارکاتی و بازارهای دوردست را مد نظر قرار دهند. هزینه‌های سرمایه‌ای و تدارکاتی در منطقه خاورمیانه تا حدودی بیشتر از آمریکای شمالی است که باعث افزایش نهایی قیمت تمام شده می‌شود. افزون بر این، به دلیل اینکه اکثر پروپیلن حاصل از این فناوری‌های جدید در بازارهای جنوب شرق آسیا فروخته می‌شود، حاشیه سود نیز باریک‌تر می‌شود، زیرا قیمت پروپیلن در بازار جنوب شرق آسیا مقداری کمتر از بازار آمریکاست.

## نتیجه‌گیری

در روش هیدروژن‌زدایی پروپان، از پروپان به عنوان خوراک ورودی استفاده شده و بهره واکنش حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد است. طی فرایند، پروپان به راکتورهای بستر ثابت فرستاده می‌شود. در این راکتورها، هیدروژن از ساختار مولکولی پروپان در دمای حدود ۵۰۰°C حذف شده و سپس طی عملیات تقطیر، پروپیلن حاصل جداسازی می‌شود.

روش PDH روش نسبتاً جا افتاده با سه فناوری اثبات شده به شرح زیر است:

Oleflex (متعلق به Honeywell's UOP LLC)

Catofin (متعلق به CB&I Lummus Technology)

Star (متعلق به ThyssenKrupp Uhde)

مقیاس‌پذیری این روش نیز زیاد است (۳۵۰ تا ۷۵۰ کیلو تن در سال) و اقتصاد این روش تحت شرایط فعلی با در نظر گرفتن حاشیه نقدی ۵۵۰ دلار در هر تن در آمریکا جذاب است.

ظرفیت جهانی PDH حدود ۴/۵ میلیون تن در سال ۲۰۱۲ است و پیش‌بینی می‌شود، در سال ۲۰۱۶ به حدود ۱۲/۵ میلیون تن در سال برسد. در روش‌های MTP و CTP از متانول برای تولید پروپیلن استفاده می‌شود. متانول می‌تواند از راه گازی کردن زغال یا تبدیل متان تولید شود. حجم نسبتاً قابل توجهی از متانول در این روش مصرف می‌شود (۳/۲ تن متانول برای تولید یک تن پروپیلن). منابع ارزان قیمت زغال و گاز طبیعی برای اقتصادی کردن روش MTP/CTP ضروری است. برای این روش سه فناوری نسبتاً جدید اما تجاری سازی شده به شرح زیر وجود دارد:

MTP/CTP (متعلق به Lurgi)،

CTO/MTO (متعلق به CB&I Lummus) و

DTP (متعلق به Mitsubishi Chemical and JGC).

حاشیه‌های نقدی تا هنگامی که قیمت متان یا زغال ارزان باشد (حدود ۲۵۰ تا ۳۵۰ دلار به ازای هر تن زغال چینی یا قیمت‌های خاورمیانه‌ای گاز طبیعی) کاملاً سالم و اغنا کننده است. اما هزینه‌های سرمایه‌ای در این روش قابل توجه بوده و می‌تواند به عنوان یک سد در برابر اقتصادی شدن روش عمل کند. به عنوان مثال، هزینه سرمایه‌ای برای واحد ۵۲۰ کیلو تن در سال CTP در چین حدود ۱/۶ میلیارد دلار است. همچنین، برای یک واحد ۴۵۰ کیلو تن در سال MTP حدود ۸۵۰ میلیون دلار هزینه سرمایه‌ای در خاورمیانه مورد نیاز است. ظرفیت جهانی برای MTP در سال ۲۰۱۲ حدود ۱/۳ میلیون تن در سال است و حدود ۶ میلیون تن برای سال ۲۰۱۶ پیش‌بینی می‌شود.

در حال حاضر، مناسب‌ترین بازار برای فروش پروپیلن حاصل از روش MTP در خاورمیانه، جنوب شرق آسیاست. به طور کلی، قیمت گاز طبیعی و متعاقباً قیمت متانول حاصل از آن، نقش مهمی در قیمت تمام شده روش MTP دارد. هر قدر قیمت گاز طبیعی و متانول مربوط کمتر باشد، اقتصاد روش MTP جذاب‌تر خواهد شد. در روش جانشینی متقابل، اتیلن و ۲-بوتن در واکنش بازآرایی یک پیوند دوگانه شرکت می‌کنند. سپس، محصولات تقطیر شده و پروپیلن جداسازی می‌شود. اتیلن و ۲-بوتن با نسبت ۰/۳:۰/۹ تن برای تولید هر تن پروپیلن، مخلوط می‌شوند. فناوری تبدیل اولفین (OCT) توسط شرکت CB&I Lummus تنها فناوری تجاری سازی شده برای جانشینی متقابل است. اکثر واحدهای جانشینی متقابل در اندازه‌های کوچک یا متوسط در حدود ۱۵۰ تا ۳۵۰ کیلو تن در سال ساخته شده‌اند. این واحدها عموماً در کنار پالایشگاه‌ها برای استفاده از جریان 2-raffinate احداث می‌شوند.

هزینه‌های سرمایه‌ای مورد نیاز در این روش نسبتاً کم است (حدود ۳۰۰ میلیون دلار برای یک واحد ۳۰۰ کیلو تن در سال در خاور میانه). اما این روش کاملاً در مرز غیراقتصادی بودن قرار دارد.

در روش زیست‌توده به پروپیلن دو مسیر وجود دارد:

- زیست شیمیایی: تخمیر نیشکر-ذرت به اتانول، سپس آب‌گیری و تبدیل اتانول به اتیلن، دیمر شدن به ۲-بوتن و در نهایت جانشینی متقابل.

- گرمایشیایی: گازی کردن زیست‌توده به متانول و سپس MTP. بلوغ این دو روش بسیار کم بوده و هیچ‌گونه واحدی در مقیاس تجاری در این زمینه وجود ندارد.

## مراجع

1. Lin B., Zhang Q., and Wang Y., Catalytic Conversion of Ethylene to Propylene and Butenes over H-ZSM-5, *Int. Eng. Chem. Res.*, **48**, 10788-10795, 2009.
2. Wurzel T., MTP – The On-purpose Propylene Technology for Changing Feedstock Environment, *19th World Petroleum Congress*, Spain, P. 10, 2008.
3. Schneider M., Schmidt F., Burgfels G., Buchold H., and Moller F.W., Process for Preparing Lower Olefins, *EP Pat.* 0448000, 1991.
4. Nexant Report, Propylene Technology the Next Generation, 2009.
5. <http://www.ICIS.com>
6. Horncastle A., Sastry A., Corrigan J., and Gotpagar J., *Future of Chemicals Rebalancing Global Feedstock Disruptions with "On-purpose" Technologies*, Booz Company, 2012.