فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال هجدهم / شماره ۷۳/ تابستان ۱۴۰۱ / صفحات ۲۳۶-۱۹۷

ارزیابی فنی- اقتصادی فناوری تولید پروپیلن از متانول و مقایسه آن با فناوری‌های جایگزین با تکیه بر ظرفیت قانون حمایت از صنایع پایین‌دستی پتروشیمی

حسین دستخوان

استادیار گروه مهندسی مالی، دانشکده علوم مالی دانشگاه خوارزمی، تهران

hdastkhan@khu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۷

چکیده

بر اساس آئین‌نامه پیشنهادی وزارت نفت مبنی بر حمایت از صنایع پایین‌دستی پتروشیمی با تاکید بر تکمیل زنجیره ارزش متانول/پروپیلن و با توجه به مازاد ظرفیت قابل توجه واحدهای تولیدکننده متانول در کشور و روند نامطمئن قیمت محصول متانول در بازارهای جهانی، سرمایه‌گذاری در طرح‌های پایین‌دستی زنجیره متانول موردتوجه بسیاری از سرمایه‌گذاران قرار گرفته است. بر این اساس، در مقاله حاضر، با توجه به جدید بودن فرآیندهای ذکرشده و نبود تجربه موجود در کشور، سه فرآیند پیشنهادی برای تکمیل زنجیره ارزش در این حوزه شامل تولید پروپیلن از متانول (MTP)، تولید الفین از متانول (MTO) و تولید الفین از گاز طبیعی(GTO). مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل فنی، اقتصادی و مالی قرار گرفته است. در ادامه نتایج حاصل از آن‌ها با یکدیگر و با طرح تولید صرف متانول مقایسه گردیده است. بعلاوه با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سناریو و روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو به بررسی سناریوهای مختلف قیمتی برای مواد اولیه و محصولات در تکنولوژی‌های مذکور پرداخته شده است. نتایج حاصل از طرح‌ها نشان می‌دهد که در سناریوی حفظ شرایط فعلی و با توجه به شرایط تورمی دربازارهای کالایی دنیا طی دو سال اخیر، کلیه طرح‌های مذکور از شرایط مناسبی از نقطه نظر اقتصادی برخوردار خواهند بود. از سوی دیگر با تکمیل زنجیره ارزش متانول، مقدار نرخ بازده داخلی این طرح‌ها و میزان ارزش خالص فعلی آن‌ها افزایش قابل توجهی داشته است. نتایج حاصل از مقایسه طرح‌ها نشان می‌دهد که طرح تولید متانول در سطح متانول سی اف آر بالاتر از ۲۶۰ تا ۲۸۰ دلار، با فرض هزینه حمل و نقل ۶۰ دلار برای هر تن به مقصد چین، اقتصادی خواهد بود. از جهت دیگر، درصورتی‌که اختلاف قیمت محصولات پایین دستی از نرخ متانول افزایش یابد، طرح‌های پایین دستی در نرخ‌های بالاتر از ۴۰۰ دلار برای هر تن متانول نیز اقتصادی خواهند بود.

طبقه‌بندی JEL: Q40, G31, C63.

کلیدواژه‌ها: صنعت پتروشیمی؛ پروپیلن؛ ارزیابی مالی-اقتصادی؛ تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری اضافی؛ شبیه‌سازی مونت‌کارلو.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

۱- مقدمه

در اسفندماه سال ۱۳۹۹، هیئت دولت جمهوری اسلامی ایران به پیشنهاد وزارت نفت، آئین‌نامه‌ای با موضوع اجرای طرح‌های پیشران صنعت پتروشیمی کشور با تاکید بر تکمیل زنجیره ارزش متانول/پروپیلن را مورد بررسی و تصویب قرار داد. هدف از تصویب‌نامه مذکور، رفع نیاز صنایع پایین‌دستی پتروشیمی، ایجاد اشتغال پایدار و توسعه با درنظرگرفتن آمایش سرزمین عنوان شده است. به موجب این مصوبه که با هدف تشویق سرمایه‌گذاری بخش خصوص در توسعه زنجیره ارزش محصولات بالادستی صنعت پتروشیمی تدوین شده است، شرکت ملی صنایع پتروشیمی موظف شده است زیرساخت‌های لازم شامل زمین در مناطق عسلویه، مرودشت شیراز، امیرآباد مازندران و منطقه عمومی دامغان و زیرساخت‌های انتقال، ذخیره‌سازی و بارگیری پروپیلن در این مناطق مشروط به پیشرفت فیزیکی سرمایه‌گذاری‌های بخش خصوصی در حوزه پایین‌دستی متانول را فراهم نماید. بعلاوه شرکت ملی گاز ایران موظف شده است تا حسب سرمایه‌گذاری در مراحل سه‌گانه زنجیره پایین‌دستی متانول، به سرمایه‌گذاران در این حوزه، نسبت به ارائه تخفیف پلکانی در قیمت خوراک‌های گاز و مایع مصرفی تولیدکننده مواد پایه پتروشیمی (مشخصا متانول) اقدام نماید، مشروط بر اینکه محصول تولیدی به عنوان خوراک واحدهای میان‌دستی و پایین‌دستی و در راستای تکمیل زنجیره ارزش برای مصرف داخلی در کشور مصرف شود. تخفیف پلکانی مذکور، مشروط بر قرارگیری واحدهای مورد نظر در مناطق «کمتر توسعه یافته» و یا «سایر مناطق» به ترتیب به صورت ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد و یا ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد خواهد بود. علاوه براین واحدهای موجود تولیدکننده متانول که خوراک واحدهای تولیدکننده الفین (واحدهای MTO/MTP[1]) را تامین می‌کنند، مشمول تخفیف ۳۰ درصدی در قیمت خوراک گاز مصرفی خود متناسب با میزان تامین خوراک واحد الفین خواهند شد (تصویب نامه هیئت وزیران, ۱۳۹۹).

بر این اساس، توسعه واحدهای الفینی پایین‌دستی محصول متانول (واحدهای MTO/MTP) با توجه به مازاد متانول تولیدی در کشور و نیاز صنایع پایین‌دستی پتروشیمی کشور به محصولات الفینی و به طور خاص پروپیلن، در دستور کار بسیاری از سرمایه‌گذاران صنعت پتروشیمی کشور قرار گرفته است. با وجود تمایل به

1. Methanol to Propylene/ Methanol to Olefin

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

سرمایه‌گذاری در این طرح‌ها، ارزیابی دقیقی از وضعیت اقتصادی و فنی تکنولوژی‌های مذکور و نتایج اقتصادی آن‌ها در صنعت پتروشیمی کشور با توجه به مشوق‌های اعطایی دولت در این خصوص ارائه نشده است (قاسمی, محمدی, توکلیان, & صادقین, ۱۳۹۹). لذا در مقاله حاضر تلاش شده است تا با بررسی زنجیره پایین‌دستی متانول، محصولات تولیدی و به طور خاص پروپیلن و تکنولوژی‌های تولید آن، ارزیابی اقتصادی و مالی درخصوص هر یک از تکنولوژی‌های پیشنهادی انجام گرفته و تکنولوژی‌های موجود در زنجیره پایین‌دستی متانول به همراه تولید صرف متانول را با توجه به شرایط صنعت پتروشیمی کشور و مشوق‌های دولتی مورد مقایسه قرار گیرد. برای ارزیابی و مقایسه طرح‌های مذکور که شامل سه طرح تولید الفین از متانول (MTO)، تولید پروپیلن از متانول (MTP) و تولید الفین از گاز طبیعی (GTO)[1] است، از شاخص‌های مختلف اقتصادی مانند نرخ بازده داخلی و خالص ارزش فعلی و از روش‌هایی مانند تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری اضافی استفاده خواهد شد. بعلاوه با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سناریو و روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو به بررسی سناریوهای مختلف قیمتی برای مواد اولیه و محصولات تکنولوژی‌های مذکور پرداخته شده و با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی به انتخاب نقاط بهینه تولید و استراتژی‌های تغییر در ترکیب تولید در هر یک از تکنولوژی‌های مذکور پرداخته خواهد شد.

در ادامه مقاله پیش رو به معرفی محصول پروپیلن و زنجیره پایین‌دستی آن پرداخته می‌شود و سپس فرآیندهای تولید پروپیلن مرور خواهد شد. در بخش بعد، روش تحقیق و تکنیک‌های مورد استفاده در مقاله معرفی خواهند شد و در ادامه تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از مقاله از نظر خواهد گذشت. در بخش پایانی نیز، به ارائه جمع‌بندی و خلاصه‌ای از نتایج مقاله پرداخته خواهد شد.

معرفی محصول پروپیلن و زنجیره پایین دستی

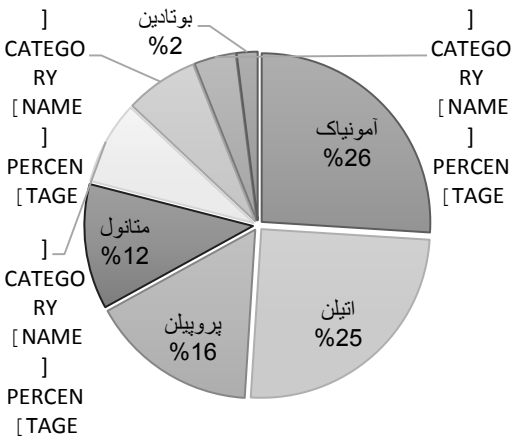
پروپیلن، که به خاویار صنعت پتروشیمی معروف است، به عنوان یک محصول پایه‌ای در صنعت پتروشیمی اهمیت خاصی دارد؛ زیرا محصولات پایین دست با ارزشی از آن تولید می‌شود که خوراک اصلی صنایع نساجی، پلاستیک، آرایشی-بهداشتی و خودروسازی

1. Gas to Olefin

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

است و همچنین زمینه‌ساز اشتغال، کاهش واردات و تولید ثروت برای کشور خواهد بود. پروپیلن به عنوان یکی از کلیدی‌ترین مواد پرمصرف در زنجیره ارزش صنعت پتروشیمی محسوب می‌گردد و بخش عمده آن نیز به عنوان یک محصول میانی (مونومر) در جهت تولید گریدهای مختلف پلی‌پروپیلن استفاده می‌شود. همانگونه که نمودار شماره ۱ نشان می‌دهد، بر اساس آخرین گزارش‌ها در سال ۲۰۱۸، پروپیلن با ۱۰۶ میلیون تن تولید در رتبه سوم مواد پایه پتروشیمی از حیث حجم تولید قرار گرفته است و سهم ۱۶/۵ درصدی از حجم کل تولیدات پایه صنعت پتروشیمی را در اختیار دارد. تا پایان سال ۲۰۱۸ ظرفیت جهانی پروپیلن حدود ۱۲۸ میلیون تن بوده است که در واقع راندمان میانگین تولید جهانی برابر ٪۸۲ می‌باشد (مرکز مطالعات زنجیره ارزش, ۱۳۹۹).

محصول	تولید سالانه (میلیون تن) تا سال ۲۰۱۸	نرخ متوسط رشد تولید (۲۰۱۸-۲۰۲۸)
آمونیاک	۱۶۶	٪۲,۷
اتیلن	۱۶۰	٪۳,۶
پروپیلن	۱۰۶	٪۳,۹
متانول	۷۹	٪۳,۳
بنزن	۴۹	٪۲,۹
زایلین	۴۴	٪۴
تولوئن	۲۶	٪۲,۱
بوتادین	۱۲	٪۲,۶



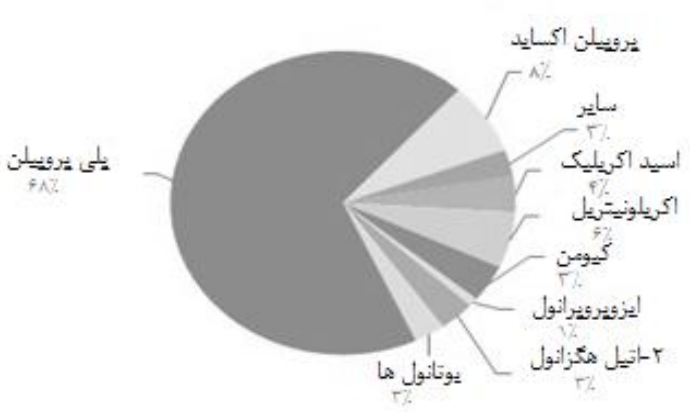
مجموع تولید سالانه ۸ محصول کلیدی میان دستی: ۶۴۲ میلیون تن

نمودار ۱. سهم پروپیلن از تولید محصولات پایه در صنعت پتروشیمی(Nexant Thinking, 2016)

در بخش محصولات حاصله از پروپیلن نیز باید اشاره کرد که پروپیلن ماهیتا به عنوان یک محصول نهایی شناخته نمی‌شود، بلکه یک محصول میانی (مونومر) است که قابلیت به کارگیری جهت تبدیل به سایر محصولات از جمله گریدهای مختلف پلی‌پروپیلن، پروپیلن اکساید، آکریلونیتریل، آکریلیک اسید، کیومن، ۲-اتیل هگزانول و سایر محصولات را دارا می‌باشد. نمودار شماره ۲، محصولات پایین‌دستی پروپیلن و سهم

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

هریک در مصرف پروپیلن در جهان را نشان می‌دهد. بر این اساس می‌توان دید که پلی‌پروپیلن با سهم ۶۸ درصدی از مصرف پروپیلن، به عنوان پرمصرف‌ترین ماده در سبد مصرف پروپیلن شناخته می‌شود (مرکز مطالعات زنجیره ارزش در صنعت نفت و گاز, ۱۳۹۶).



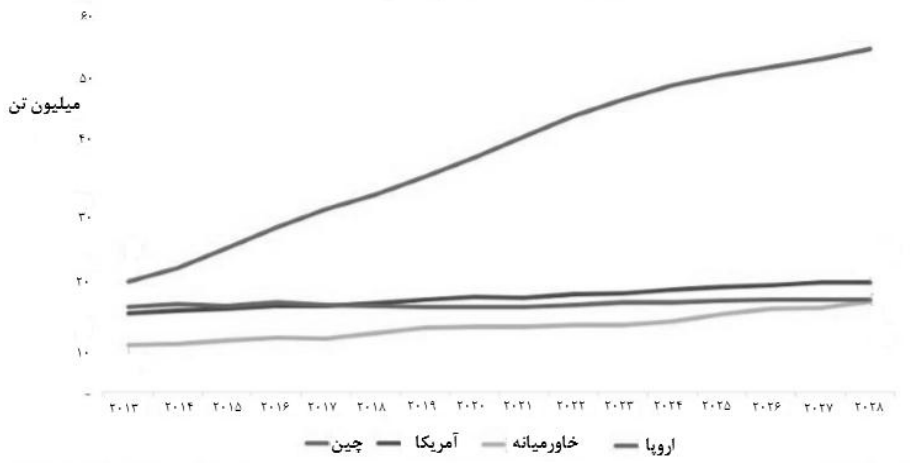
نمودار ۲. سهم مصرف محصولات پایین‌دست پروپیلن (مرکز مطالعات زنجیره ارزش, ۱۳۹۹)

در بازار جهانی طی سال‌های اخیر با توجه به کمبود عرضه نسبتاً دائمی برای پروپیلن به سبب جانبی بودن این محصول در عمده فرآیندهای تولیدی و مازاد تقاضا به سبب گسترش هر چه بیشتر موارد کاربرد این محصول، همواره با روندی صعودی در قیمت این محصول مواجه بوده‌ایم. با وجود این‌که نوسانات قیمت نفت دربازارهای جهانی و وقوع بحران و رکود در اقتصادهای جهان سبب بروز نوساناتی در قیمت این محصول شده‌اند، اما می‌توان گفت که با توجه به کمبود مزمن این محصول در بازارهای جهانی، پایداری قیمت این محصول نسبت به تغییرات محیطی بازار نسبت به سایر مواد پایه‌ای این صنعت بیشتر بوده است. بر این اساس و با توجه به مزیت قیمتی این محصول، طی سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری برای افزایش ظرفیت تولید آن انجام گرفته است که بخش قابل‌توجهی از این سرمایه‌گذاری‌ها با توجه به تعدد صنایع تبدیلی و مصرف کننده پروپیلن در چین، در این کشور ایجاد شده و یا در حال ایجاد هستند. نمودار شماره ۳ به خوبی روند رو به رشد تولید این محصول تا سال ۲۰۲۸ را طبق گزارش موسسه معتبر IHS نشان می‌دهد (Nexant Thinking, 2016).

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

بر اساس گزارش IHS و با توجه به ظرفیت‌های در حال احداث و بهره‌برداری ایجاد شده در جهان، مقدار تولید پروپیلن در جهان از رقمی در حدود ۱۱۱ میلیون تن در سال ۲۰۱۹ به بیش از ۱۶۰ میلیون تن در سال ۲۰۲۹ خواهد رسید که رشد ۴۵ درصدی را نشان می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود مقدار تولید اتیلن به عنوان دیگر الفین پرکاربرد در بازارهای جهانی نیز رشدی ۴۰ درصدی را تجربه کند که نشان از افزایش سرمایه‌گذاری‌ها در تولید محصولات الفینی به ویژه پروپیلن در کشورهای مختلف دارد.

در بازار داخلی نیز، با توجه به زنجیره گسترده صنایع مختلفی که از پروپیلن به عنوان مواد اولیه استفاده می‌کنند، نیاز به این ماده استراتژیک به نحو روزافزونی در حال افزایش است. با وجود افزایش این نیاز، تقریبا تمام تولیدات پروپیلن کشور به صورت محصول جانبی از فرآیندهای غیر مستقیم تولید بدست می‌آیند که به همین سبب، کشور همواره طی سالیان گذشته نیازمند واردات حجم قابل توجه این محصول بوده است. بر این اساس و با توجه به تحریم‌های ظالمانه علیه کشور و ارزبری زنجیره پروپیلن به‌علت واردات، ضروری است تا این زنجیره پتروشیمی در کشور توسعه یابد تا نیازهای وارداتی تأمین شود. با تشکیل این زنجیره پتروشیمی انتظار میرود نیازهای اولیه مصرفی مردم نظیر مواد اولیه لوازم خانگی، مواد بسته‌بندی، رنگ و رزین، مواد بهداشتی و نیازهای صنایع مادر نظیر خودرو، نساجی، شیمیایی و نظامی در داخل کشور تأمین شود.



نمودار ۳. پیش‌بینی روند تولید پروپیلن در مناطق مختلف در افق ۲۰۲۸

(IHS Markit propylene report, 2021)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

از آنجایی که حمل و نقل پروپیلن از لحاظ اقتصادی هزینه بالایی دارد و واردات آن مقرون به‌صرفه نیست و با توجه به مصرف بالای محصولاتی همچون پلی‌پروپیلن در صنایع نساجی و پلاستیکی، نیاز است ظرفیت تولید پروپیلن در کشور افزایش یابد. درحال حاضر ظرفیت تولید پروپیلن کشور حدود ۱/۱ میلیون تن است که در مجتمع‌های پتروشیمی امیرکبیر، اراک، بندر امام خمینی، جم، مارون، تبریز از طریق فرآیند کراکر بخار و پالایشگاه‌های اراک و آبادان از طریق فرآیند تصفیه پالایشگاهی بدست می‌آید. بخش قابل توجهی از پروپیلن کشور توسط پتروشیمی‌های مارون، نوید زر شیمی، رجال، پلینار، اراک و پلی‌پروپیلن جم به پلی‌پروپیلن تبدیل می‌شود. به‌دلیل کمبود پروپیلن در کشور و به‌تبع آن عدم توسعه زنجیره ارزش آن در محصولاتی غیر از پلی‌پروپیلن بسیاری از محصولات مهم که در ادامه زنجیره پروپیلن می‌باشد، از طریق واردات تامین می‌شود. جدول شماره ۱، میزان ارزش واردات محصولات پایین دست پروپیلن در کشور را نشان می‌دهد. بر این اساس، میزان واردات برخی از محصولات پایین‌دست زنجیره پروپیلن حدود ۵۱۶ میلیون دلار بوده است که رقم بسیار قابل توجهی را نشان می‌دهد (مرکز پژوهشهای مجلس شورای اسلامی, ۱۳۹۸).

جدول ۱. میزان واردات محصولات پایین دستی پروپیلن (مرکز پژوهشهای مجلس شورای اسلامی, ۱۳۹۸)

محصول	موارد استفاده	میزان واردات (میلیون دلار)
پلی پروپیلن	نساجی، نخ جراحی، لوله و شیلنگ، بسته‌بندی و وسایل پزشکی	۱۲۷
پلی یورتان (پلی ال)	رزین، چسب، کفش، عایق حرارتی، پارچه، مصارف پزشکی	۲۳۷
پروپیلن گلایکول	کاربرد غذایی و خوراکی به عنوان نگهدارنده، حلال و ...	۱۴,۵
اسید آکریلیک	پلیمرهای فوق‌جاذب، پلیمرهای مواد شوینده، تولید رزین، پوشش خانگی، غلیظ‌کننده و دیسپرس‌کننده	۱۱۰
اکریلونیتریل	الیاف کربن، نساجی	۲۸
مجموع واردات		**۵۱۶**

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

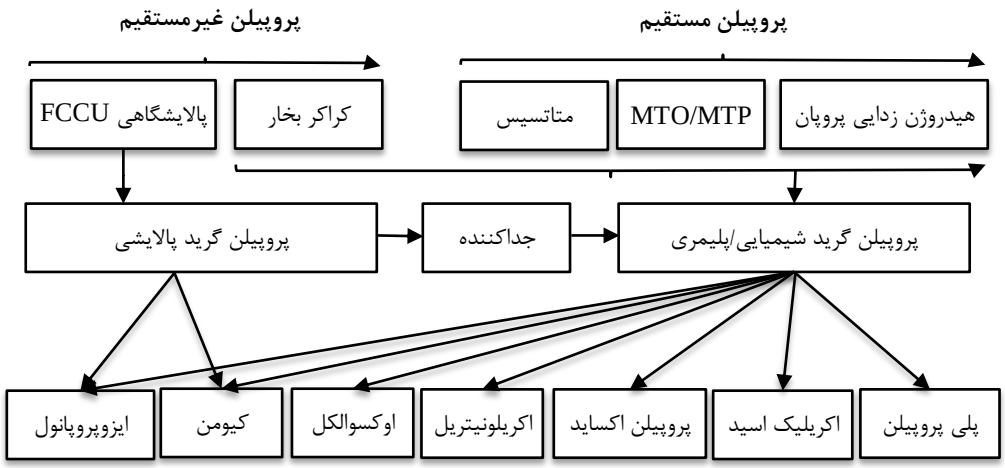
فرآیندهای تولید پروپیلن

فرآیندهای تولید پروپیلن را می‌توان به دو دسته فرآیندهای غیر مستقیم (تولید پروپیلن به عنوان محصول جانبی) و فرآیندهای مستقیم (تولید پروپیلن به عنوان محصول اصلی) تقسیم‌بندی نمود. با توجه به ظرفیت محدود فرآیندهای غیرمستقیم تولید پروپیلن و وابستگی تولید پروپیلن در این فرآیندها به نیاز به تولید سایر محصولات اصلی، توجه بسیاری از کشورها به تولید از طریق روش‌های مستقیم جلب شده است تا بتوانند پاسخگوی تقاضای رو به افزایش این محصول را باشند. بر این اساس می‌توان مهم‌ترین فرآیندهای تولید پروپیلن به شیوه مستقیم را به سه دسته فرآیند متاتسیس، فرآیند تولید متانول به پروپیلن/ الفین‌ها و فرآیند هیدروژن‌زدایی پروپان (PDH[1]) تقسیم‌بندی نمود. در نقطه مقابل، عمده پروپیلن تولیدی در جهان در حال حاضر از طریق دو فرآیند غیرمستقیم کراکر بخار (موسوم به واحد الفین) و فرآیند جداسازی پالایشگاهی بدست می‌آید. نمودار شماره ۴ به خوبی زنجیره ارزش تولید و پروپیلن در صنعت پتروشیمی را نمایش می‌دهد.

بر اساس گزارش موسسه معتبر Nexant، با بررسی روند بکارگیری تکنولوژی‌های فوق در تولید پروپیلن طی سال‌های اخیر می‌توان مشاهده نمود که اگرچه همچنان نیز بیش از ۶۰ درصد تولیدات پروپیلن جهان از طریق روش‌های غیرمستقیم بدست می‌آید، اما روند رشد قابل ملاحظه‌ای در زمینه بکارگیری فرآیندهای مستقیم طی سال‌های اخیر به وجود آمده است، به‌نحوی که طی دهه اخیر، فرآیند PDH و فرآیند متانول به پروپیلن/ الفین‌ها رشد قابل ملاحظه‌ای را در سهم تولید این محصول داشته‌اند (نمودار شماره ۵).

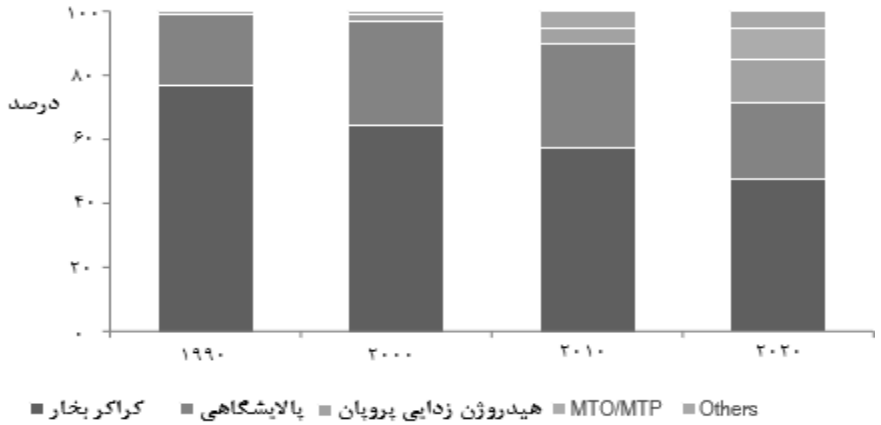
1. Propane Dehudration

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]



نمودار ۴. زنجیره ارزش پروپیلن (مرکز مطالعات زنجیره ارزش، ۱۳۹۹)

بعلاوه پیش‌بینی موسسه IHS از ظرفیت‌های تولید پروپیلن در جهان در طی سال‌های آینده تا سال ۲۰۲۶ بر اساس ظرفیت‌های در حال ساخت یا بهره‌برداری نشان می‌دهد که بر این اساس انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۶ بیش از ۳۵ درصد پروپیلن جهان از طریق روش‌های مستقیم بدست آید که از این میان دو روش PDH و فرآیند متانول به پروپیلن/ الفین‌ها بیشترین توجه سرمایه‌گذاران را به خود جلب نموده‌اند (Nexant Thinking, 2016).



نمودار ۵ . روند افزایش ظرفیت جهانی تولید پروپیلن بر اساس روش‌های مستقیم (Nexant Thinking, 2016)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

اگرچه واحدهای کراکر بخار(الفین) همچنان سهم قابل توجهی از تولیدات پروپیلن جهان را به خود اختصاص می‌دهند، اما با توجه به اینکه میزان پروپیلن تولیدی در این دسته از واحدها به شدت به میزان سنگینی یا سبکی خوراک ورودی به این واحدها وابسته است (Erdöl Erdgas Kohle, 2002) و با توجه به اینکه عمده واحدهای جدید الفین تولیدی در ایران و بخش قابل‌توجهی از آن‌ها در جهان، از اتان و سایر خوراک‌های سبک به عنوان خوراک ورودی استفاده می‌کنند (با توجه به ضریب تبدیل محصول بهتر و درنتیجه قرارگرفتن در سطوح پایین منحنی هزینه)، نمی‌توان از محل توسعه واحدهای الفینی در سطح ایران و جهان، افزایش قابل توجهی در تامین تقاضای پروپیلن داشت (IHS Markit propylene report, 2021).

از سوی دیگر عاملی که می‌تواند در انتخاب نوع فرآیند تولید پروپیلن موثر باشد، میزان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی تولید در فرآیندهای مختلف تولید پروپیلن است. همانگونه که جداول ۲ و ۳ نشان می‌دهند میزان سرمایه‌گذاری ثابت و هزینه‌های عملیاتی تولید هر تن پروپیلن محاسبه شده است. نتایج این دو جدول نشان می‌دهد که در بین فرآیندهای غیرمستقیم، فرآیند تصفیه پالایشگاهی دارای کمترین شدت سرمایه‌گذاری (میزان سرمایه‌گذاری به ازای هر تن پروپیلن) و هزینه عملیاتی است، منتها از کارایی پایینی برای تولید محصول و تقاضای پروپیلن برخوردار است (Daniel F. Rodr´ıguez-Vallejo, 2020).

جدول ۲. حجم سرمایه‌گذاری ثابت فرآیندهای تولید پروپیلن

(Daniel F. Rodr´ıguez-Vallejo, 2020)

	کراکر بخار	FCCC	PDH با لایسنس UOP Oleflex	متانول به پروپیلن با لایسنس Lurgi	متاتسیس
ظرفیت (هزار تن در سال)	۶۴۶	۲۵۰	۵۰۰	۴۵۲	۳۴۰
سرمایه‌گذاری در محدوده تولید (میلیون دلار)	۱۴۹۹	۳۱	۳۶۵	۱۷۵	۸۹
سرمایه‌گذاری در آفسایت (میلیون دلار)	۶۹۸	۵۸	۱۴۱	۱۳۲	۷۲
مجموع سرمایه‌گذاری ثابت (میلیون دلار)	۲۱۹۷	۸۹	۵۰۶	۳۰۸	۱۶۱
شدت سرمایه‌گذاری (دلار بر تن)	۳۴۰۲	۳۵۶	۱۰۱۲	۶۸۰	۴۷۳

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

جدول ۳. هزینه تولید یک تن پروپیلن در فرآیندهای مختلف

(Daniel F. Rodr´ıguez-Vallejo, 2020)

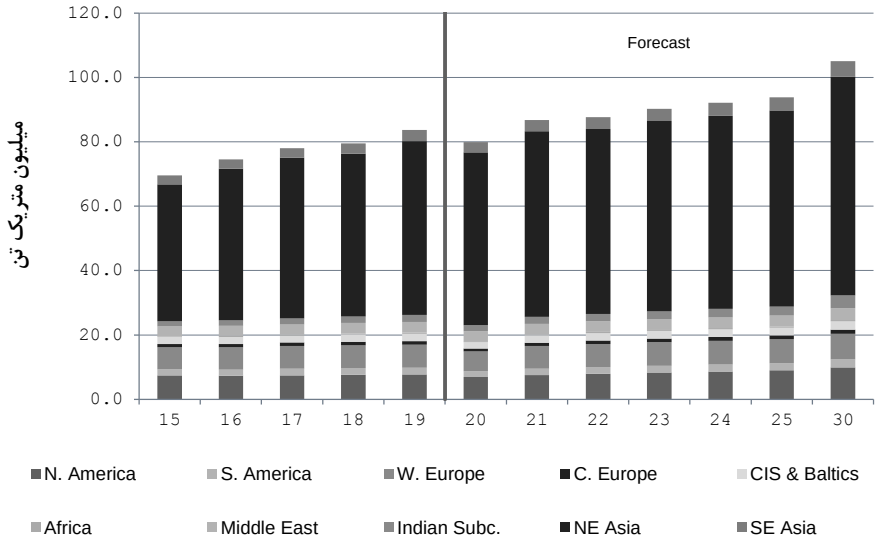
	کراکر بخار	FCCC	PDH با لایسنس UOP Oleflex	متانول به پروپیلن با لایسنس Lurgi	متاتسیس
ظرفیت (هزار تن در سال)	۶۴۶	۲۵۰	۵۰۰	۴۵۲	۳۴۰
هزینه‌های متغیر	۱۴۹۹	۳۱	۳۶۵	۱۷۵	۸۹
سایر هزینه‌های مستقیم	۶۹۸	۵۸	۱۴۱	۱۳۲	۷۲
هزینه‌های بالاسری	۲۱۹۷	۸۹	۵۰۶	۳۰۸	۱۶۱
بیمه و مالیات	۳۴۰۲	۳۵۶	۱۰۱۲	۶۸۰	۴۷۳
استهلاک	۳۴۰,۲	۳۵,۶	۱۰۱,۲	۶۸	۴۷,۳
فروش و تحقیق و توسعه	۷۰,۳	۳۳,۲	۶,۳	۳۸,۵	۸,۸
هزینه‌های تولید	۸۹۶,۳	۶۱۱,۳	۴۷۵,۹	۶۶۸,۹	۸۱۲,۸

در بین فرآیندهای تولید مستقیم نیز، اگرچه کمترین میزان سرمایه‌گذاری لازم را برای فرآیند متاتسیس در اختیار داریم، اما به سبب هزینه‌های بهره‌برداری بالای این فرآیند، تمایل به استفاده از این روش در سطح جهان نسبت به دو روش دیگر کمتر است. از طرف دیگر، اگرچه فرآیند هیدروژن زدایی پروپان دارای کمترین هزینه بهره‌برداری است، اما در مقایسه با دو روش دیگر نیازمند سرمایه‌گذاری به مراتب بیشتری خواهد بود که با توجه به محدودیت‌های تامین سرمایه برای طرح‌های جدید در کشور، اجرایی شدن این فرآیند برای تولید پروپیلن در کشور چندان صرفه اقتصادی ندارد. بر این اساس و با توجه به هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری متعادل در فرآیند تولید متانول به پروپیلن/ الفین‌ها به نظر می‌رسد این فرآیند بیشترین ظرفیت را برای تامین نیاز پروپیلن کشور در اختیار داشته باشد (ورهرامی, عرب مازار, & حمزه, ۱۳۹۸). استفاده از این فرآیند به خصوص زمانی بیشتر توجیه‌پذیر می‌شود که بدانیم در ایران و حتی جهان با مازاد عرضه متانول روبرو هستیم و این مسئله در کنار بحران‌های اقتصاد جهانی و کاهش قیمت نفت سبب شده است تا حاشیه سود تولید و فروش متانول در جهان و ایران به مراتب کاهش یابد (ابراهیمی, ۱۳۹۳).

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

وضعیت تولید و تقاضای متانول در ایران و جهان

میزان تقاضای جهانیمتانول در سال ۲۰۲۰ در حدود ۸۰ میلیون تن بوده است. تقاضای متانول طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰، نرخ رشد سالانه ۲/۸ درصدی داشته است، به نحوی که مجموع تقاضای سالیانه این محصول از ۶۹/۵ میلیون تن در سال ۲۰۱۵ به حدود ۸۰ میلیون تن در سال ۲۰۲۰ رسیده است. پیش‌بینی‌های موسسه IHS نشان می‌دهد که در ۵ سال آتی نیز تقاضای این محصول با رشد سالانه ۳/۳ درصد به روند صعودی خود ادامه داده و به مقدار ۹۳/۸ میلیون متریک تن در سال ۲۰۲۵ برسد که نسبت به پیش‌بینی قبلی این مؤسسه، اندکی کاهش را نشان می‌دهد. پس از آن تا سال ۲۰۳۰، مقدار تقاضا با نرخ رشد متوسط سالانه ۲/۳ درصد رشد نموده و به ۱۰۵/۱ میلیون متریک تن افزایش می‌یابد بر این اساس، متوسط نرخ رشد سالیانه متانول در مجموع دوره ۱۰ ساله از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۰۳۰ در حدود ۲/۸ درصد پیش‌بینی می‌شود. نمودار شماره ۶ روند تغییرات تقاضای متانول در جهان را طی ۵ سال اخیر و یک دهه آتی به تفکیک مناطق جغرافیای مختلف نشان می‌دهد.

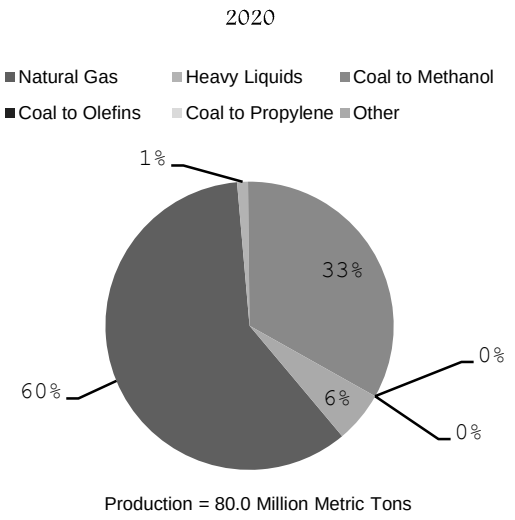


نمودار ۶. روند تغییرات تقاضای متانول در مناطق مختلف جغرافیایی

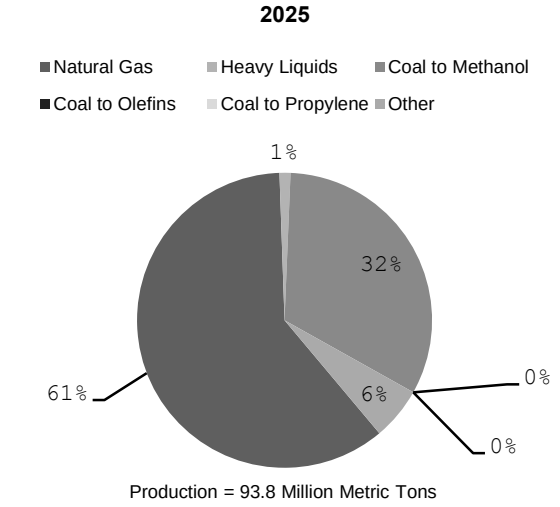
(IHS Markit Methanol report, 2021)

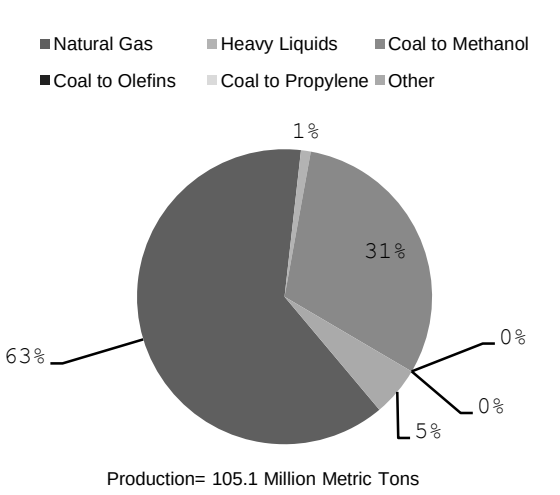
[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

تولید متانول در جهان بر اساس چهار خوراک ورودی مختلف شامل گاز طبیعی، مایعات سنگین، استفاده از ذغال سنگ برای تهیه گاز سنتز و سایر خوراک‌ها ابعاد متفاوتی از نقطه نظر تولید خواهد داشت. همانگونه که از نمودار شماره ۷ می‌توان مشاهده نمود، در حال حاضر، بیشترین سهم تولید متانول در جهان را شرکت‌هایی در اختیار دارند که از گاز طبیعی برای تولید استفاده می‌کنند و پس از آن، شرکت‌های تولیدکننده متانول بر اساس ذغال سنگ که عمدتا در کشور چین قرار دارند در رتبه دوم قرار دارند. بررسی روند تغییرات برآورد IHS از سهم روش‌های مختلف تولید طی سال‌های آتی نیز نشان می‌دهد که میزان تولیدات متانول بر اساس ۳ روش دیگر طی یک دهه آتی تغییر چندانی نداشته است و افزایش میزان تولید در این دهه را می‌توان عمدتا به واحدهای مبتنی بر گاز طبیعی نسبت داد. نتایج نشان می‌دهد که سهم واحدهای متانول مبتنی بر گاز طبیعی از ۶۱ درصد به ۶۳ درصد و سهم واحدهای مبتنی بر زغال سنگ از ۳۳ درصد به ۳۱ درصد کاهش خواهد یافت. به عبارت دیگر، باتوجه به اینکه متانول تولیدی از سه روش دیگر در سطوح بالای منحنی هزینه تولید این محصول قرار می‌گیرند، مزیت رقابتی چندانی در مقایسه با متانول مبتنی بر گاز طبیعی نخواهند داشت. این مسئله بخصوص در زمانی که قیمت این محصول در بازار جهانی کاهش می‌یابد (همزمان با نزول قیمت نفت خام) بیش از پیش خودنمایی می‌کند.



[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]





نمودار ۷. روند تغییرات تولید متانول در دهه طی دهه آتی تا سال ۲۰۳۰ به تفکیک خوراک ورودی

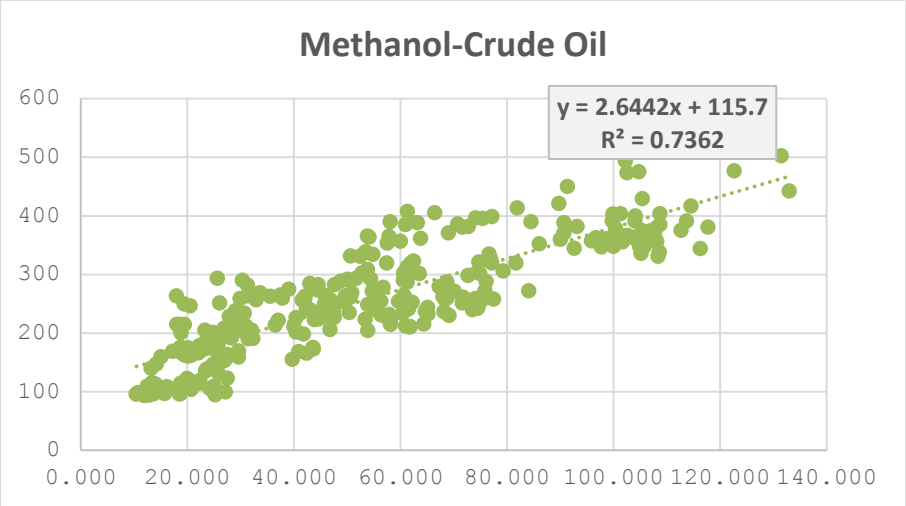
(منبع: محاسبات نویسنده براساس گزارش متانول موسسه IHS)

از سوی دیگر، در طی سال‌های اخیر، سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی در واحدهای تولید متانول در آمریکای شمالی، خاورمیانه و چین انجام گرفته است. با توجه به منابع ارزان قیمت گاز شیل در منطقه آمریکای شمالی و منابع ارزان‌قیمت گاز طبیعی در منطقه خاورمیانه، تمام ظرفیت‌های جدید تولیدی در این مناطق مبتنی بر گاز احداث

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

شده یا در حال احداث هستند. این درحالی است که با توجه به منابع ارزان قیمت گاز طبیعی و سطوح قیمت پایین محصول متانول، متانول تولیدی مبتنی بر ذغال سنگ مزیت رقابتی خود را از دست می‌دهد و عملاً می‌توان گفت که طی سال‌های آتی، احداث ظرفیت‌های جدید مبتنی بر ذغال سنگ در چین متوقف یا به میزان بسیار اندکی خواهد رسید و عملا دو منطقه خاورمیانه و آمریکای شمالی ابتکار عمل در افزایش ظرفیت تولیدی را خواهند داشت. به سبب کاهش سطوح قیمت متانول همزمان با کاهش قیمت فرآورده‌های نفتی در جهان و وقوع بحران‌های مختلف اقتصادی و درعین حال مازاد ظرفیت موجود جهانی، ضریب بهره‌برداری از واحدهای تولیدی متانول در جهان نیز طی سال‌های اخیر در محدوده ۶۰ تا ۷۰ درصد در نوسان بوده است.

در صورتی که بر اساس داده‌های تاریخی موجود، همبستگی روند تغییرات قیمت متانول سی اف آر چین با میانگین قیمت جهانی نفت در سه حوزه مختلف مورد ارزیابی قرار دهیم، می‌توان تحلیلی از میزان مورد انتظار اثرگذاری قیمت نفت به عنوان یک درایور عمده در قیمت‌گذاری متانول را ارائه نمود. بر این اساس، نمودار شماره ۸، نمودار پراکنش تغییرات این دو متغیر نسبت به هم را بر اساس اطلاعات قیمتی این دو متغیر از سال ۱۹۹۶ نمایش می‌دهد.



نمودار ۸. همبستگی قیمت جهانی نفت و قیمت متانول در ۲۵ سال اخیر

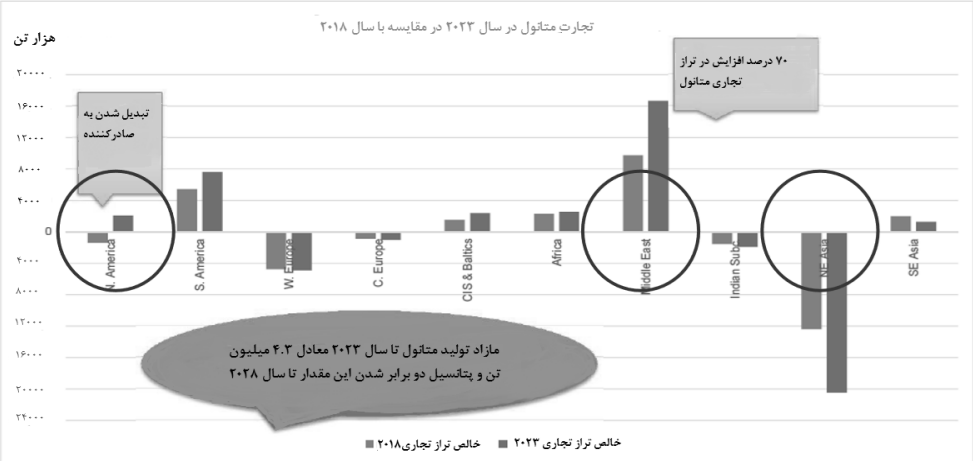
منبع: محاسبات نویسنده براساس گزارش متانول موسسه IHS)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

همانگونه که از نتایج می‌توان مشاهده نمود، قیمت متانول طی ۲۵ سال گذشته، همبستگی قابل توجهی با قیمت جهانی نفت داشته است. به عبارت بهتر می‌توان گفت قیمت جهانی نفت یکی از بهترین درایورها برای پیش‌بینی قیمت متانول است که بیش از ۷۳ درصد از تغییرات قیمت متانول در بازار چین را توضیح می‌دهد. بخشی از این توضیح‌دهندگی قیمت متانول توسط قیمت نفت را می‌توان به ماهیت متانول به عنوان سوخت جایگزین و یا ترکیب‌کننده با فرآورده‌های نفتی نسبت داد، به‌نحوی که با افزایش قیمت فرآورده‌های نفتی، تقاضا برای متانول به عنوان سوخت جایگزین افزایش می‌یابد و به تبع آن، قیمت متانول نیز افزایش خواهد یافت و با کاهش قیمت نفت و فرآورده‌های آن، تقاضا برای متانول نیز کاهش خواهد یافت. با این وجود، بخش قابل‌توجهی از این توضیح‌دهندگی را می‌توان به ماهیت قیمت جهانی نفت به عنوان یک شاخص برای وجود رونق و رکود در بازارهای جهانی نسبت داد.

با توجه به ظرفیت‌های تولیدی شرکت‌های تولید متانول و طرح‌های تولید متانول در حال احداث، می‌توان وضعیت تراز تجاری مناطق مختلف جغرافیایی را از حیث واردات و صادرات متانول در سال‌های مختلف (۲۰۱۸ و پیش‌بینی ۲۰۲۳) مورد مقایسه قرار داد. همانگونه که از نمودار شماره ۹ مشخص است، مقدار مازاد تولیدات خاورمیانه طی این دوره ۵ ساله افزایش قابل توجه ۷۰ درصدی را از خود نشان می‌دهد. بر همین اساس به نظر می‌رسد میزان قابل توجهی از طرح‌های تولید متانول طی سال‌های آتی در این منطقه به بهره‌برداری خواهد رسید (نمودار شماره ۱۰). به همین سبب انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۳، میزان مازاد عرضه متانول به رقم ۴/۳ میلیون تن در سال برسد. در صورتی که روند افزایش عرضه و تقاضا به نحو مشابهی ادامه یابد، انتظار می‌رود که این مازاد عرضه تا سال ۲۰۲۸ به دو برابر مقدار سال ۲۰۲۳ افزایش یابد. با توجه به نبود انتظار برای افزایش قابل توجه قیمت نفت در افق ۱۰ ساله آتی، این مسئله در صورت عدم ایجاد تقاضای جدید برای این محصولات مازاد می‌تواند قیمت متانول را تحت فشار شدیدی طی سال‌های آتی قرار دهد. از بین محصولات مورد تقاضا برای متانول، به نظر می‌رسد تولید الفین از متانول می‌تواند یکی از بهترین راه‌ها برای افزایش تقاضای متانول و در عین حال تکمیل زنجیره این محصول باشد (مرکز پژوهشهای مجلس شورای اسلامی, ۱۳۹۸).

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]



نمودار ۹. برآورد تغییرات تجارت متانول در سال ۲۰۲۳ در مقایسه با ۲۰۱۸

(منبع: گزارش متانول موسسه IHS)

متدولوژی تحقیق

به منظور ارزیابی اقتصادی طرح‌های مورد نظر در این مقاله از دو شاخص ارزش فعلی خالص-NPV[1] و نرخ بازده داخلی-IRR[2] استفاده خواهد شد. شاخص ارزش فعلی خالص تفاوت بین ارزش فعلی جریانات نقدی ورودی و ارزش فعلی جریان نقدی خروجی است و از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

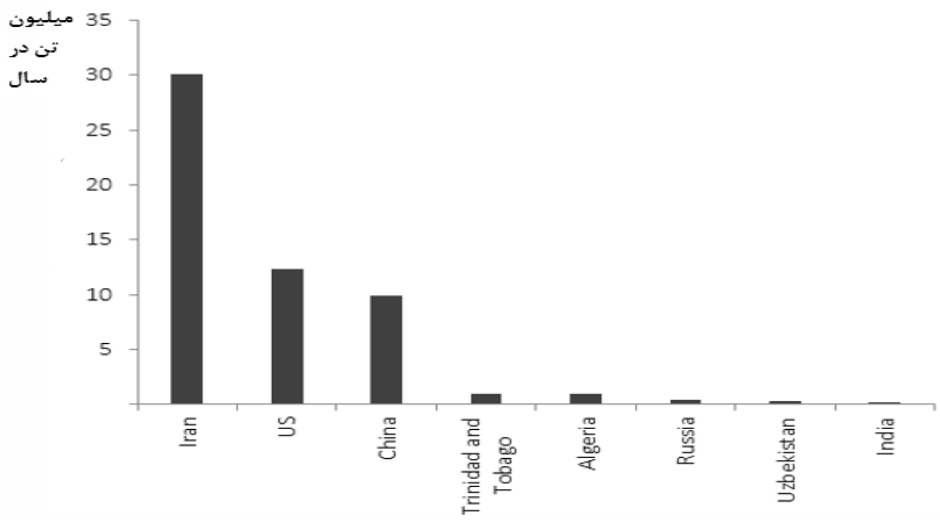
$$NPV = \sum_{t=1}^{T} \frac{C_t}{(1+r)^t} z - C_0 \qquad \text{رابطه (1)}$$

که در این رابطه، C_t معادل خالص جریانات نقدی ورودی و خروجی در زمان‌های ۱ تا T، C_0 معادل مقدار سرمایه‌گذاری در زمان صفر و r معادل نرخ تنزیل موردنظر سرمایه‌گذار است. ارزش فعلی خالص مثبت نشان می‌دهد که درآمدهای محاسبه‌شده‌ای

1. Net Present value
2. Internal Rate of Return

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

که از پروژه یا سرمایه‌گذاری به دست می‌آید از هزینه‌های پیش‌بینی‌شده فراتر می‌رود. عموماً سرمایه‌گذاری با NPV مثبت سودمند خواهد بود و سرمایه‌گذاری با NPV منفی منجر به زیان خالص خواهد شد.



نمودار ۱۰. طرح‌های تولید متانول در جهان (منبع: گزارش متانول موسسه IHS)

شاخص نرخ بازدهی داخلی نرخ تنزیلی است که ارزش فعلی خالص (NPV) تمام جریان‌های نقدی یک پروژه خاص را برابر با صفر می‌کند. برای محاسبه IRR با استفاده رابطه ۱، باید NPV را برابر با صفر قرار داد و برای نرخ تنزیل(r)، آن را حل کرد. هنگامی که NPV یک طرح برابر صفر است، این سرمایه‌گذاری از لحاظ اقتصادی سربه‌سر است، زیرا نه ارزشی ایجاد شده و نه از بین رفته است. بر این اساس، IRR برابر با نرخ بازدهی است که به واسطه آن طرح وارد فضای سوددهی خواهد شد. بنابراین، در صورتی که نرخ بازدهی مورد انتظار سرمایه‌گذار از این نرخ کمتر باشد، طرح دارای شرایط اقتصادی مناسبی خواهد بود.

استفاده از IRR در تحلیل و مقایسه دو یا چندپروژه ناسازگار به عنوان ملاک مقایسه و انتخاب پروژه برتر ممکن است گمراه‌کننده باشد. به عبارت بهتر، بالابودن مقدار نرخ بازدهی یک سرمایه‌گذاری نسبت به یک سرمایه‌گذاری دیگر ممکن است به سبب مازاد حجم سرمایه‌گذاری مذکور باشد. به عبارتی به سبب سرمایه‌گذاری بیشتر، عدد نرخ بازدهی بیشتری از طرح بدست آمده است. لذا بالاتربودن نرخ بازدهی برای یک طرح با

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

سرمایه‌گذاری بیشتر، لزوما به معنای برتری اقتصادی طرح نخواهد بود. بر این اساس باید دید که آیا مازاد سرمایه‌گذاری طرح با حجم سرمایه‌گذاری بیشتر نیز دارای نرخ بازدهی بالاتر از نرخ بازده مورد انتظار سرمایه‌گذاری است یا خیر. به عبارت دیگر، باید بررسی کرد که آیا این سرمایه‌گذاری مازاد نیز خود به تنهایی اقتصادی هست و یا خیر. در صورت اقتصادی بودن سرمایه‌گذاری مازاد در طرح، می‌توان نتیجه گرفت که طرح دارای سرمایه‌گذاری بیشتر، طرح منتخب خواهد بود و در غیر اینصورت، طرح دارای سرمایه‌گذاری کمتر با وجود نرخ بازدهی داخلی کمتر، برتر خواهد بود. به این روش مقایسه طرح‌ها بر اساس شاخص نرخ بازدهی داخلی طرح‌ها، روش تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری اضافی[1] گفته می‌شود.

از طرف دیگر، تحلیل سناریو، فرآیند بررسی و ارزیابی حوادث احتمالی آتی با توجه به عواقب و نتایج احتمالی متفاوت آن‌ها است. در مدل سازی مالی، این فرآیند معمولا برای برآورد تغییرات در ارزش یک کسب و کار یا جریان نقدینگی آن استفاده می‌شود، به خصوص زمانی که رویدادهای بالقوه مطلوب و نامطلوبی وجود داشته باشند که بتوانند بر شرکت اثر بگذارند. مزایای کلیدی تحلیل سناریو در مدلسازی مالی و اقتصادی شامل برنامه ریزی آینده، پیشگیرانه بودن مدل مالی، مدیریت ریسک و طرحی ریزی زیان و بازده سرمایه‌گذاری است. معمولا در طراحی سناریوها، سه سناریوی اولیه شامل سناریو پایه یا محتمل (شامل سناریوی متوسط بر اساس مفروضات سرمایه‌گذار)، سناریوی بدبینانه (شامل نتیجه جدی و شدیدی که ممکن است در یک وضعیت خاص رخ دهد) و سناریوی خوشبینانه (شامل سناریوی ایده‌آل سرمایه‌گذاری است) در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این ممکن است سناریوهایی مانند حفظ یا تداوم شرایط فعلی و یا سناریوهای خاص مرتبط با موضوع مدل مالی نیز در تحلیل سرمایه‌گذاری مورد استفاده قرار گیرد (نایب, هادی نژاد, & شمس صفا, ۱۳۹۴).

با توجه به تصادفی بودن مقادیر اثرگذار در مدل مالی و وابستگی آن‌ها به رخداد آینده، یکی از روش‌های مرسوم در تهیه سناریوهای مختلف برای تحلیل مدل مالی، روش شبیه‌سازی مونت کارلو است. شبیه‌سازی، روشی برای تولید داده‌های یک پدیده واقعی است که از یک توزیع آماری پیروی می‌کند. هر چند ممکن است داده‌های

1. Incremental IRR

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

شبیه‌سازی شده، دقیقا با واقعیت همخوانی نداشته باشند، ولی زمانی که دسترسی به اطلاعات و داده‌های یک پدیده، بسیار پرهزینه و زمان‌بر باشد، شبیه‌سازی روشی موفق و بخصوص مقرون به صرفه برای مطالعه روی چنین پدیده‌هایی است. روش مونت کارلو، که برای مطالعه روی سیستم‌های فیزیکی و اقتصادی استفاده می‌شود، از تکرار شبیه‌سازی برای شناخت رفتار یک پدیده استفاده می‌کند. برای انجام شبیه‌سازی مونت‌کارلو، عموما مراحل زیر انجام می‌شود: ۱) ویژگی داده‌های ورودی مشخص می‌شود. ۲) استخراج داده‌های تصادفی شبیه‌سازی برای متغیرهای ورودی ۳) انجام محاسبات روی اعداد تصادفی تولید شده ۴) تعیین نقاط قبول و رد در نتیجه شبیه‌سازی ۵) جمع‌بندی و نهایی‌سازی محاسبات به منظور دسترسی به پاسخ پرسش اصلی

شبیه‌سازی به دلیل توانایی نشان دادن پیچیدگی و انعطاف‌پذیری زیاد، قابلیت پیش‌بینی عملکرد سیستم با دقت زیاد را دارد. استفاده از شبیه‌سازی به تنهایی به جواب‌های بهینه منجر نمی‌شود. به عبارت دیگر با به‌کارگیری ابزار شبیه‌سازی تنها می‌توان رفتارهای سیستم‌های پیچیده را مطالعه و با پیشنهاد سیاست‌های بهبود از طریق تغییر در متغیرهای کنترلی، رفتار متغیرهای درونزا را پیش‌بینی کرد؛ ولی نمی‌توان مدعی شد که سیاست‌های پیشنهاد شده بهترین سیاست‌ها هستند؛ زیرا این سیاست‌ها مقادیر گسسته‌ای از متغیرهای کنترلی را به کار می‌گیرند. در دنیای واقعی، شناسایی جواب‌های بهینه مدنظر است؛ بنابراین یک گام اضافی موردنیاز است؛ گامی که شبیه‌سازی و بهینه‌سازی را پیوند می‌دهد. این روش، بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی است که در آن شبیه‌سازی با الگوریتم‌های جست‌وجو و حل مسئله بهینه‌سازی یکپارچه می‌شود. در مقایسه با روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی، بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی به‌دلیل ویژگی ذاتی آن، ابزار بسیارمناسبی برای حل مسائل پیچیده دنیای واقعی است (بدخشان, پیشوایی, & صاحبی, ۱۳۹۵).

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

تجزیه و تحلیل نتایج

داده‌های ورودی طرح‌های مورد بررسی

بر اساس بررسی‌های موجود و وجود ظرفیت‌های مازاد تولید متانول در کشور، به نظر می‌رسد یکی از بهترین روش‌ها برای تامین پروپیلن مصرفی کشور، طرح‌های توسعه زنجیره پایین‌دستی متانول و بطور خاص دو طرح تولید پروپیلن از متانول موسوم به MTP و تولید الفین‌ها از متانول موسوم به MTO است. علاوه بر امکان تکمیل زنجیره متانول واحدهای متانول‌ساز موجود، امکان احداث واحدهای جدید تولید مستقیم پروپیلن / الفین‌ها از گاز طبیعی موسوم به GTP/ GTO از طریق این فرآیندها نیز وجود دارد. در این بخش تلاش خواهد شد تا ابعاد اقتصادی طرح تولید پروپیلن از متانول را مورد ارزیابی قرار داده و نتایج حاصل با طرح‌های جایگزین تبدیل متانول به الفین‌ها و زنجیره پایین‌دستی ان و طرح تولید مستقیم الفین از گاز طبیعی مورد مقایسه قرار گیرد.

عمده مفروضات طرح مورد بررسی بر اساس برخی مطالعات اولیه و طرح‌های در دست اجرا توسط مشاورین بین‌المللی یکی از هلدینگ‌های معتبر فعال در صنعت پتروشیمی کشور تامین شده است (Innosight Solutions, 2020) و (TecnimontConsulting Group, 2019). بر اساس این مطالعات، با توجه به ظرفیت استاندارد ۱۶۵۰ هزار تن شرکت‌های متانول‌ساز کشور فرض شده است که واحدهای مورد بررسی با ظرفیت خوراک متانول معادل این رقم احداث خواهند شد. در ارزیابی طرح‌های مذکور فرض شده است که تفاوت در محل احداث طرح‌ها و نیاز احتمالی به انتقال مواد و محصولات تاثیری بر اقتصاد طرح نخواهد داشت. با این وجود، مفروضات ارائه شده در طرح مورد بررسی با فرض احداث طرح‌ها در منطقه عسلویه و در مجاورت مجتمع‌های متانول‌ساز ارائه شده‌اند. طبیعتا احداث طرح‌ها در محل‌های دیگری از کشور، قطعا دارای برخی هزینه‌های مازاد خواهد بود که در مطالعه حاضر نادیده گرفته شده است. با توجه به آیین‌نامه احداث واحدهای میان‌دستی و پایین‌دستی پتروشیمی در ارزیابی طرح‌های مورد نظر فرض شده است که میزان تخفیف در قیمت خوراک گاز طبیعی برای واحدهای یکپارچه بر حسب سطح سرمایه‌گذاری در پایین‌دست متانول تغییر خواهد کرد. این در حالی است که در صورتی که واحدهای متانول‌ساز موجود،

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

خوراک واحدهای پایین‌دستی در هر سطحی را تامین نمایند، در صورت انتقال محصول تولیدی به داخل کشور، مشمول ۳۰ درصد تخفیف خوراک خواهند شد. بر این اساس، در پروژه موردنظر در این مقاله فرض شده است که با توجه به مزیت احداث واحد پایین‌دستی، واحدهای متانول‌ساز موجود اقدام به سرمایه‌گذاری در واحد MTP یا MTO نموده و از تخفیف ۳۰ درصدی در نرخ خوراک برخوردار خواهند شد. این در حالیست که واحد MTP احداث شده در صورت احداث در مناطق محروم، از ۱۰ درصد تخفیف خوراک بهره‌مند خواهد بود.

بعلاوه با توجه به الزام آیین‌نامه موجود مبنی برانتقال پروپیلن تولیدی به داخل کشور و عدم صادرات آن، در این مطالعه فرض شده است که در صورتی که سرمایه‌گذاری در طرح با هدف صادرات محصول و در نتیجه عدم دریافت مشوق تخفیف خوراک انجام گیرد، اقتصاد طرح MTP در مقایسه با سایر طرح‌های رقیب چگونه خواهد بود.

بر این اساس، در مطالعه حاضر چهار پروژه زیر به صورت چهار پروژه ناسازگار در قالب مشخصات جدول شماره ۴در نظر گرفته است (Innosight Solutions, 2020).

جدول ۴. پروژه‌های ناسازگار مورد بررسی (Innosight Solutions, 2020)

طرح	خوراک ورودی	ظرفیت (کیلو تن در سال)	محصولات خروجی	ظرفیت (کیلو تن در سال)
واحد متانول	گاز طبیعی	۱۰۷۴	متانول	۱۶۵۰
واحد متانول به پروپیلن- MTP	متانول	۱۶۵۰	اتیلن	۲۰
			پروپیلن	۴۷۰
			ال پی جی	۳۶
			بنزین پرولیز	۱۸۰
واحد متانول به الفین	متانول	۱۶۵۰	اتیلن	۲۴۸
			پروپیلن	۳۹۷٫۵
			ال پی جی	۴۷
واحد گاز طبیعی به الفین	گاز طبیعی	۱۰۷۴	اتیلن	۲۴۸
			پروپیلن	۳۹۷٫۵
			ال پی جی	۴۷

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

به منظور ارزیابی طرح‌های فوق، فرض شده است که تمامی سرمایه‌گذاری لازم از محل آورده سهامداران انجام گرفته است. دوره ساخت پروژه‌ها به صورت ۳۶ ماهه (با توزیع سرمایه‌گذاری به نسبت ۲۵، ۴۰ و ۳۵ درصد در سال) و دوره بهره‌برداری به صورت ۲۵ ساله درنظر گرفته شده است. ظرفیت بهره‌برداری از طرح در دو سال اول بهره‌برداری به ترتیب معادل ۸۰ و ۹۰ درصد و از سال سوم به بعد معادل ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده است. میزان سرمایه در گردش طرح معادل ۳۰ روز خوراک ورودی و ۱۰ روز محصول نهایی در نظر گرفته شده است. طرح معاف از مالیات (با توجه به محل احداث عسلویه)، محاسبه هزینه‌ها و درآمدها به صورت دلاری و نرخ تورم دلار معادل صفر درصد در نظر گرفته شده است.

بر اساس سه طرح پیشنهادی ارائه شده و مفروضات مطرح‌شده، حجم سرمایه‌گذاری، هزینه‌های خوراک ورودی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای هر یک از طرح‌های پیشنهادی را می‌توان در قالب جدول شماره ۵ خلاصه نمود. لازم به ذکر است که هزینه خوراک گاز طبیعی بر حسب نرخ اسفندماه ۱۳۹۹ اعلامی از معاونت برنامه‌ریزی شرکت ملی گاز تعیین شده است (TecnimontConsulting Group, 2019).

جدول ۵. هزینه‌های سرمایه‌گذاری، خوراک و عملیاتی طرح‌های موردنظر–ارقام به میلیون دلار (TecnimontConsulting Group, 2019)

طرح	شرح مفروضات	هزینه
واحد متانول	میزان سرمایه ثابت (CAPEX)	۴۴۴,۱
	میزان سرمایه در گردش در کل دوران بهره‌برداری	۲۳
	هزینه خوراک	۱۴۵
	هزینه‌های عملیاتی	۱۵۳
واحد متانول به پروپیلن- MTP	میزان سرمایه ثابت (CAPEX)	۷۵۵
	میزان سرمایه در گردش در کل دوران بهره‌برداری	۳۷
	هزینه خوراک (مصرف داخلی)	۳۵۱
	هزینه خوراک (صادراتی)	۳۶۹
	هزینه‌های عملیاتی	۴۰
واحد متانول به الفین	میزان سرمایه ثابت (CAPEX)	۵۶۱
	میزان سرمایه در گردش در کل دوران بهره‌برداری	۳۸

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

طرح	شرح مفروضات	هزینه
	هزینه خوراک (مصرف داخلی)	۳۵۱
	هزینه خوراک (صادراتی)	۳۶۹
	هزینه‌های عملیاتی	۸۷
واحد گاز طبیعی به الفین	میزان سرمایه ثابت (CAPEX)	۱۰۰۵
	میزان سرمایه در گردش در کل دوران بهره‌برداری	۲۳
	هزینه خوراک (مصرف داخلی)	۱۳۱
	هزینه خوراک (صادراتی)	۱۴۵
	هزینه‌های عملیاتی	۲۴۰

برای محاسبه نرخ خوراک متانول، قیمت متانول سی اف آر در بازار چین معادل ۳۰۰ دلار فرض شده است و بر این اساس، با توجه به این‌که فروش متانول به واحدهای MTP و MTO نیازی به هزینه‌های حمل و نقل نخواهد داشت (معادل ۶۰ دلار در هر تن) و به نحوی معادل قیمت فوب در نظر گرفته می‌شود، قیمت تعدیل شده است. بعلاوه با توجه به این‌که توسعه زنجیره پایین‌دستی متانول و مصرف داخلی محصولات، قیمت گاز ورودی طرح را با تخفیف ۳۰ درصدی لحاظ خواهد نمود و با توجه به سهم تقریبا ۳۰ درصدی قیمت گاز از قیمت فروش متانول بر اساس برآوردهای حاصل از صورت‌های مالی شرکت‌های متانول‌ساز فعال در بورس اوراق بهادار تهران، در حدود ۹ درصد از قیمت متانول ورودی به این واحدها نیز از این روش کسر خواهد شد. بر این اساس، قیمت منصفانه فروش متانول به این واحدها با درنظرگرفتن تخفیف خوراک گاز ورودی به متانول‌ساز و کسر هزینه‌های حمل و نقل محصول به صورت CFR معادل ۲۱۳ دلار در هر تن درنظرگرفته شده است. در صورت عدم درنظر گرفتن تخفیف خوراک برای فروش صادراتی، قیمت هر تن متانول به عنوان خوراک، معادل ۲۴۰ دلار در هر تن خواهد بود.

با توجه به ظرفیت تولید محصولات مختلف در هر طرح، جریان درامدی هر یک از طرح‌های مورد نظر را می‌توان در قالب جدول شماره ۶ خلاصه نمود. نرخ هر یک از محصولات طرح‌ها بر اساس نرخ‌های جهانی منتشرشده در نشریات پلتس و آیسیس در پایان اسفندماه ۱۳۹۹ بدست آمده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

جدول ۶. درآمد سالانه فروش هر یک از طرح‌های مورد نظر در ظرفیت کامل

طرح	نام محصول	ظرفیت تولید (تن در سال)	نرخ فروش (دلار بر تن)	مجموع درآمد (میلیون دلار)
متانول	متانول	۱۶۵۰۰۰۰	۳۰۰	۴۹۵
واحد متانول به پروپیلن- MTP	پروپیلن	۴۷۰۰۰۰	۱۲۰۵	۷۱۴
	اتیلن	۲۰۰۰۰	۱۰۵۰	
	ال پی جی	۳۶۰۰۰	۵۳۰	
	بنزین پیرولیز	۱۸۰۰۰۰	۶۰۰	
واحد متانول به الفین	اتیلن	۲۴۸۰۰۰	۱۰۵۰	۷۶۴
	پروپیلن	۳۹۷,۵۰۰	۱۲۰۵	
	ال پی جی	۴۷۰۰۰	۵۳۰	
واحد گاز طبیعی به الفین	اتیلن	۲۴۸۰۰۰	۱۰۵۰	۷۶۴
	پروپیلن	۳۹۷,۵۰۰	۱۲۰۵	
	ال پی جی	۴۷۰۰۰	۵۳۰	

*محاسبات نویسنده

نتایج اقتصادی طرح‌های موردبررسی

براساس مفروضات فوق، جدول شماره۷، نتایج شاخص‌های اقتصادی هر یک از طرح‌ها را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که نرخ تنزیل طرح‌ها بر اساس نرخ تسهیلات ارزی صندوق توسعه ملی و معادل ۸ درصد ارزی در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج جدول زیر می‌توان دید که در نرخ‌های درنظرگرفته شده برای هر یک از محصولات، با توجه به شرایط تورمی دربازارهای کالایی دنیا طی دو سال اخیر، کلیه طرح‌های مذکور از شرایط مناسبی از نقطه نظر اقتصادی برخوردار خواهند بود (در صورتی که حداقل نرخ جاذب سرمایه‌گذار را ۱۵ درصد ارزی در نظر بگیریم، تمامی طرح‌ها اقتصادی خواهند بود). از سوی دیگر با تکمیل زنجیره ارزش متانول، مقدار نرخ بازده داخلی این طرح‌ها و میزان ارزش خالص فعلی آن‌ها افزایش قابل توجهی را داشته است. بعلاوه نتایج نشان می‌دهد که اگرچه فروش صادراتی و عدم دریافت تخفیف در نرخ خوراک، مقداری نرخ بازده داخلی این طرح‌ها را کاهش می‌دهد، اما همچنان همه طرح‌های مذکور در حالت فروش صادراتی نیز از اقتصاد بسیار مناسبی برخوردار خواهند بود.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

جدول۷. نتایج شاخص‌های ارزیابی اقتصادی طرح‌های مختلف

طرح	ارزش خالص فعلی طرح (NPV)- میلیون دلار	نرخ بازده داخلی (IRR)- درصد
متانول	۴۰۶	۱۶/۹۲
MTP- مصرف داخلی	۲۰۱۲	۲۹/۹۵
MTP- صادراتی	۱۶۴۵	۲۶/۶
MTO- مصرف داخلی	۲۱۷۱	۳۷/۲۱
MTO- صادراتی	۱۸۰۰	۳۳/۱۴
GTO- مصرف داخلی	۲۳۷۷	۲۸/۳۸
GTO- صادراتی	۲۲۶۲	۲۷/۵۷

*محاسبات نویسنده

علاوه بر این، جدول شماره ۸، نتایج بررسی حساسیت هر یک از طرح‌ها نسبت به تغییرات در سرمایه‌گذاری ثابت طرح، هزینه‌های عملیاتی طرح و درآمد حاصل از فروش طرح را ارائه می‌دهد. ذکر این نکته ضروری است که نتایج حاصل از تحلیل حساسیت با فرض تغییر تنها یک متغیر و ثابت بودن سایر متغیرهای اثرگذار بر جریان نقدی طرح مورد ارزیابی قرار گرفته اند. این در حالی است که در دنیای واقعی، معمولا همبستگی قابل توجهی بین درآمدها و هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری طرح دیده می‌شود و این مسئله می‌تواند بر نتایج ارزیابی طرح اثرگذار باشد. لازم بذکر است که به منظور رعایت اختصار، در مقایسه طرح‌ها، صرفا حالات مربوط به مصرف داخلی مدنظر قرار داده شده است، اما نتایج حاصل قابلیت تعمیم به پروژه‌ها در حالت صادراتی نیز دارد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

جدول ۸. نتایج تحلیل حساسیت نرخ بازده داخلی طرح برای تغییرات مختلف در پارامترهای طرح

سناریو تامین خوراک	متغیر	IRR (%)								
		-٪۴۰	-٪۲۵	-٪۱۵	-٪۱۰	٪۰	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۵	٪۴۰
متانول	Capex	۲۵/۶۶	۲۱/۵۳	۱۹/۴۳	۱۸/۵۲	**۱۶/۹۲**	۱۵/۵۵	۱۴/۹۴	۱۳/۸۲	۱۲/۳۹
	Opex	۳۳/۲۳	۲۷/۶۳	۲۳/۶	۲۱/۴۷	**۱۶/۹۲**	۱۱/۸۱	۸/۸۹	۱/۳۷	ندارد
	نرخ فروش	ندارد	ندارد	۱۰/۵۶	۷/۹۶	**۱۶/۹۲**	۲۴/۱۴	۲۷/۳۹	۳۳/۴۱	۴۱/۵
MTP مصرف داخلی	Capex	۴۳/۴۹	۳۷/۱	۳۳/۸۴	۳۲/۴۳	**۲۹/۹۵**	۲۷/۸۳	۲۶/۸۸	۲۵/۱۷	۲۲/۹۸
	Opex	۳۹/۴۸	۳۶/۰۶	۳۳/۶۸	۳۲/۴۶	**۲۹/۹۵**	۲۷/۳۲	۲۵/۹۶	۲۳/۱۴	۱۸/۶
	نرخ فروش	۱/۲	۱۵/۰۷	۲۱/۵۸	۲۴/۵۱	**۲۹/۹۵**	۳۴/۹۲	۳۷/۲۸	۴۱/۷۵	۴۷/۹۶
MTO مصرف داخلی	Capex	۵۲/۹۷	۵۶/۴۵	۴۱/۷۷	۴۰/۱۲	**۳۷/۲۱**	۳۴/۷۲	۳۳/۶۱	۳۱/۵۹	۲۹
	Opex	۵۱/۴۳	۴۶/۳۹	۴۲/۸۵	۴۱/۰۱	**۳۷/۲۱**	۳۳/۲۱	۳۱/۱۲	۲۶/۷۴	۱۹/۵۴
	نرخ فروش	-۱/۳۸	۱۸/۰۸	۲۶/۵۱	۳۰/۲۸	**۳۷/۲۱**	۴۳/۵	۴۶/۴۵	۵۲/۰۲	۵۹/۷
GTO مصرف داخلی	Capex	۴۱/۶۱	۳۵/۳۴	۳۲/۱۷	۳۰/۷۹	**۲۸/۳۸**	۲۶/۳۲	۲۵/۴	۲۳/۷۴	۲۱/۶۲
	Opex	۳۶/۳۲	۳۳/۴۶	۳۱/۴۷	۳۰/۴۶	**۲۸/۳۸**	۲۶/۲۲	۲۵/۱	۲۲/۸۱	۱۹/۱۵
	نرخ فروش	۶/۱۵	۱۶/۱۲	۲۱/۴	۲۳/۸۳	**۲۸/۳۸**	۳۲/۵۹	۳۴/۶	۳۸/۴۳	۴۳/۸۱

*محاسبات نویسنده

نتایج حاصل از بررسی حساسیت نرخ بازده داخلی طرح به تغییرات در متغیرهای طرح نشان می‌دهد که با فرض حداقل نرخ جاذب ۱۵درصد ارزی برای سرمایه‌گذار، افزایش تا ۴۰ درصدی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی نیز، اقتصاد طرح‌های پایین‌دستی متانول شامل MTP، MTO و GTO را تضمین می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که با وجود حساسیت نتایج طرح‌ها به تغییرات در هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی، میزان حساسیت نتایج این طرح‌ها نسبت به تغییرات در درآمد و یا به عبارتی دیگر، نرخ فروش محصولات بیشتر خواهد بود و مقدار نرخ بازده داخلی، نوسانات بیشتری نسبت

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

به تغییرات در نرخ فروش دارد. از جهت دیگر می‌توان دید که میزان حساسیت نتایج طرح نسبت به تغییرات این سه عامل، با تکمیل زنجیره ارزش متانول به محصولات پایین‌دستی کاهش می‌یابد و ازین جهت، تکمیل زنجیره ارزش متانول سبب پایداری اقتصادی بیشتر طرح‌های سرمایه‌گذاری در این زمینه خواهد بود.

مقایسه طرح‌های ناسازگار و انتخاب طرح برتر

با وجود بالاتر بودن نرخ بازده داخلی طرح MTO در مقایسه با سایر طرح‌ها، نمی‌توان نتیجه‌گیری نمود که طرح مذکور دارای بهترین شرایط اقتصادی برای سرمایه‌گذاری خواهد بود. به عبارتی با توجه به بالاتر بودن حجم سرمایه‌گذاری در برخی از طرح‌ها، برتر بودن نرخ بازده داخلی آن‌ها موید برتر بودن طرح به طور کلی نخواهد بود. به همین سبب، ارزیابی و مقایسه نهایی۴ طرح مورد بررسی و انتخاب طرح برتر، به واسطه تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری اضافی انجام خواهد شد. جدول شماره ۹، خلاصه‌ای از نتایج مقایسه طرح‌های مورد نظر از طریق تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری اضافی را به ازای سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. لازم بذکر است که به منظور رعایت اختصار، در مقایسه طرح‌ها، صرفا حالات مربوط به مصرف داخلی مدنظر قرار داده شده است، اما نتایج حاصل قابلیت تعمیم به پروژه‌ها در حالت صادراتی نیز دارد.

جدول ۹. تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری اضافی برای طرح‌های مورد بررسی به ازای سناریوهای مختلف- MARR=15% (اعداد به درصد)

سناریو	MTP-متانول	MTP-MTO	GTO - MTP	MTO-متانول	GTO-متانول	GTO-MTO
وضع فعلی (اسفند ۱۳۹۹): قیمت گاز طبیعی: ۱۲۱ دلار بر تن، متانول : ۳۱۷ دلار برتن، اتیلن: ۱۰۵۰ دلار بر تن، پروپیلن:۱۲۰۵ دلار برتن، ال پی جی: ۵۳۰ دلار بر تن، بنزین پیرولیز: ۶۰۰ دلار بر تن	۳۴/۶۱ انتخاب MTP	ندارد انتخاب MTO	۲۹/۲۳ انتخاب GTO	۶۶/۶۵ انتخاب MTO	۳۳/۳۲ انتخاب GTO	۱۷/۸۶ انتخاب GTO

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

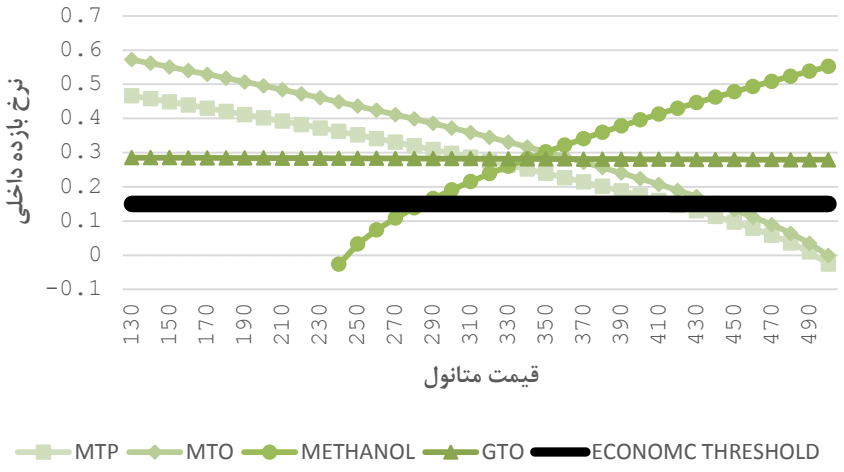
سناریو	MTP-متانول	MTP-MTO	GTO - MTP	MTO-متانول	GTO-متانول	GTO-MTO
بدبینانه: قیمت گاز طبیعی: ۹۲ دلار بر تن، متانول : ۲۰۰ دلار برتن، اتیلن: ۷۵۰ دلار بر تن، پروپیلن:۸۵۰ دلار برتن، ال پی جی: ۳۸۰ دلار بر تن، بنزین پیرولیز: ۴۵۰ دلار بر تن	۵۳/۳۷ انتخاب MTP	۵/۰۸ انتخاب MTO	ندارد انتخاب MTP	۹۵/۶۳ انتخاب MTO	۲۹/۱۹ انتخاب GTO	ندارد انتخاب MTO
محتمل: قیمت گاز طبیعی: ۱۱۰ دلار بر تن، متانول : ۲۵۰ دلار برتن، اتیلن: ۸۵۰ دلار بر تن، پروپیلن:۱۰۰۰ دلار برتن، ال پی جی: ۴۴۰ دلار بر تن، بنزین پیرولیز: ۵۰۰ دلار بر تن	۵۶/۷۳ انتخاب MTP	۲/۹۷ انتخاب MTO	ندارد انتخاب MTP	۱۰۱/۰۶ انتخاب MTO	۳۷/۵۴ انتخاب GTO	-۶/۲۸ انتخاب MTO
خوشبینانه: قیمت گاز طبیعی: ۱۲۸ دلار بر تن، متانول : ۳۸۰ دلار برتن، اتیلن: ۱۲۰۰ دلار بر تن، پروپیلن:۱۴۵۰ دلار برتن، ال پی جی: ۶۰۰ دلار بر تن، بنزین پیرولیز: ۷۰۰ دلار بر تن	۶۳/۲۳ انتخاب MTP	ندارد انتخاب MTO	۴۷/۴۶ انتخاب GTO	۱۱۶/۵۶ انتخاب MTO	۵۸/۵۶ انتخاب GTO	۳۱/۲۹ انتخاب GTO

*محاسبات نویسنده

همانگونه که از نتایج جدول مشخص است، با درنظر گرفتن سناریوی وضع فعلی و حداقل نرخ جاذب ۱۵ درصدی، طرح GTO در مقایسه با سایر طرح‌ها بهترین بازدهی مازاد را نشان می‌دهد و بازدهی بهتری نسبت به دو طرح MTP و MTO نشان می‌دهد. مشابه این نتیجه را می‌توان در سناریوی خوشبینانه برای قیمت محصولات آتی دید. این مسئله نشان می‌دهد که در شرایط تورمی در بازار کامودیتی‌ها و قیمت بالای محصولات تولیدی این طرح‌ها، احداث واحد GTO می‌تواند بهترین نتایج اقتصادی را در پی داشته باشد. از سوی دیگر در سناریوهای با قیمت پایین‌تر جهانی برای محصولات ذکر شده می‌توان مشاهده نمود که طرح‌های MTP و MTO از وضعیت اقتصادی بهتری نسبت به طرح GTO برخوردار هستند.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

به منظور تحلیل بهتر نتایج حاصل از نرخ بازده داخلی و نرخ بازده داخلی اختلاف طرح‌ها، به تفکیک قیمت متانول سی اف آر صادراتی در محدوده ۱۳۰ تا ۵۰۰ دلار برای هر تن در هر یک از سناریوهای مختلف محاسبه شده است. نمودار شماره ۱۱، روند تغییرات نرخ بازده داخلی هر یک از طرح‌ها را به ازای سناریو وضعیت فعلی و با شرط تثبیت مقادیر سایر متغیرهای موجود در مدل، برای قیمت‌های مختلف متانول را نشان می‌دهد. همانگونه که از نتایج قابل مشاهده است، در سناریو وضعیت فعلی، طرح تولید متانول با ظرفیت ۱۶۵۰ هزار تن در سال، در قیمت‌های کمتر از ۲۴۰ دلار برای هر تن به صورت سی اف آر، فاقد نرخ بازده داخلی است. از جهت دیگر، در قیمت‌های ۲۹۰ دلار برای هر تن و بالاتر از آن نیز، طرح تولید متانول نیز به تنهایی برای سرمایه‌گذاری با حداقل نرخ بازده جاذب ۱۵ درصد اقتصادی خواهد بود. از جهت دیگر، طرح‌های MTP و MTO نیز به ترتیب در نرخ‌های متانول کمتر از ۴۱۰ و ۴۴۰ دلار در هر تن از حداقل بازده داخلی مطلوب ۱۵ درصد برخوردار هستند. با بررسی نمودار مربوط به طرح GTO می‌توان دید با توجه به عدم تاثیرگذاری قیمت متانول بر اقتصاد چنین طرحی و با توجه به اینکه در تحلیل نمودار زیر، تغییرات قیمت متانول با فرض ثبات سایر پارامترهای مدل ارائه شده است، تغییر محسوسی در نتایج اقتصادی این طرح به ازای مقادیر مختلف قیمت متانول نمی‌توان دید.



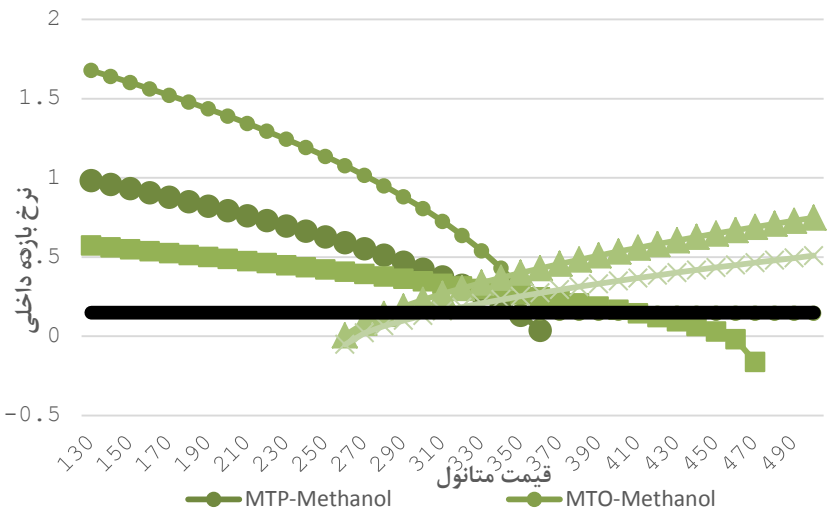
نمودار ۱۱. روند تغییرات نرخ بازده داخلی طرح‌ها به ازای نرخ‌های مختلف متانول در سناریوی پایه

(منبع: محاسبات نویسنده)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

بر این اساس و به منظور تحلیل و مقایسه بهتر برتری طرح‌ها نسبت به هم در قیمت‌های مختلف متانول، در نمودار شماره ۱۲ مقادیر نرخ بازده داخلی اختلاف هر یک از طرح‌ها در سناریوی وضعیت فعلی به ازای قیمت‌های مختلف ارائه شده است. همانگونه که می‌توان از نمودار مشاهده نمود، در برخی از نرخ‌های قیمت متانول، سرمایه‌گذاری اضافی در طرح‌ها فاقد بازدهی سرمایه‌گذاری است. نتایج حاصل از بررسی سرمایه‌گذاری مازاد دو طرح MTP و متانول نشان می‌دهد که در نرخ‌های کمتر از ۳۵۰ دلار برای هر تن متانول، سرمایه‌گذاری در طرح MTP از بازدهی اقتصادی بهتری نسبت به طرح تولید متانول برخوردار است، اما در نرخ‌های بیش از ۳۵۰ دلار، سرمایه‌گذاری در طرح متانول بازدهی اقتصادی بیشتری خواهد داشت. مشابه همین نتیجه برای بررسی تمایز دو طرح MTO و متانول نیز وجود دارد و در نرخ‌های متانول بیش از ۳۵۰ دلار در هر تن، سرمایه‌گذاری در طرح MTO مقرون به صرفه نخواهد بود. مقایسه طرح‌های GTO و متانول نیز نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در طرح‌های GTO در نرخ‌های کمتر از ۴۰۰ دلار برای هر تن متانول اقتصادی تر از سرمایه‌گذاری صرف در طرح تولید متانول خواهد بود. نتایج حاصل از مقایسه دو طرح MTO و MTP نیز نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری مازاد در طرح MTP بازدهی اقتصادی مازادی نخواهد داشت و در تمامی قیمت‌های متانول، طرح MTO برتری دارد. نتایج حاصل از مقایسه طرح GTO با دو طرح MTP وMTO نیز نشان می‌دهد که طرح GTO به ترتیب در قیمت‌های متانول بیش از ۲۸۰ دلار و ۳۰۰ دلار اقتصادی تر از طرح‌های بدیل خود خواهد بود.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]



نمودار ۱۲. روند تغییرات نرخ بازده داخلی اختلاف طرح‌ها به ازای نرخ‌های مختلف متانول در سناریوی پایه (منبع: محاسبات نویسنده)

مشابه تحلیل‌های فوق برای ارزیابی نرخ بازده داخلی طرح‌ها و نرخ بازده داخلی اختلاف طرح‌ها برای سایر سناریوهای مورد نظر نیز انجام گرفته است که به منظور رعایت اختصار از ارائه آن خودداری شده است. بر این اساس، حداقل نرخ‌های فروش متانول به صورت سی اف آر که بر اساس آن هر یک از طرح‌های مورد بررسی، اقتصادی خواهند بود در قالب جدول شماره ۱۰ ارائه شده است. همانگونه که از نتایج جدول مشخص است، طرح تولید متانول در سطح متانول سی اف آر بالاتر از ۲۶۰ تا ۲۸۰ دلار، با فرض هزینه حمل و نقل ۶۰ دلار برای هر تن به مقصد چین اقتصادی خواهد بود. از جهت دیگر، طرح‌های پایین‌دستی زنجیره متانول در نرخ‌های مختلفی برای سناریوهای مختلف اقتصادی خواهند بود. هرچه اختلاف قیمت محصولات پایین دستی از نرخ متانول افزایش یابد (مانند سناریوهای خوش بینانه و وضعیت فعلی)، طرح‌های پایین دستی در نرخ‌های بالاتر از ۴۰۰ دلار برای هر تن متانول نیز اقتصادی خواهند بود. برعکس و در نرخ‌های پایین محصولات پایین‌دستی، آستانه اقتصادی بودن طرح‌های پایین دستی کمتر خواهد بود. در سناریوهای بدبینانه و محتمل، محدوده قیمتی در حدود بالاتر از ۳۰۰ تا ۳۵۰ دلار برای قیمت متانول، سبب خواهد شد که طرح‌های تکمیل زنجیره متانول اقتصادی نباشند.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

جدول ۱۰. مقایسه آستانه اقتصادی طرح‌ها بر حسب قیمت متانول به ازای سناریوهای مختلف (MARR معادل ۱۵ درصد)

سناریو	MTP	MTO	Methanol
سناریوی وضعیت فعلی	<۴۲۰	<۴۵۰	>۲۸۰
سناریوی بدبینانه	<۲۹۰	<۳۰۰	>۲۶۰
سناریوی محتمل	<۳۴۰	<۳۶۰	>۲۷۰
سناریوی خوش بینانه	۱۳۰-۵۰۰	۱۳۰-۵۰۰	<۲۸۰

*محاسبات نویسنده

بر این اساس به نظر می‌رسد سرمایه‌گذاری در طرح‌های زنجیره پایین‌دستی متانول، در صورت انتظار برای تداوم روند بلندمدت نزولی برای قیمت‌ها در بازار متانول، قطعا ضروری خواهد بود و سرمایه‌گذاری درآن‌ها اجتناب ناپذیر است. به عبارت بهتر، در خوشبینانه‌ترین حالت، در صورتی که این انتظار وجود دارد که قیمت متانول در بلندمدت (افق ۵ تا ۱۰ ساله) در محدوده قیمتی کمتر از ۳۰۰ دلار در هر تن خواهد بود، سرمایه‌گذاری در طرح‌های زنجیره پایین دستی توصیه می‌شود. در صورتی که مفروضات بازار این محصول، به نحو دیگری در نظر گرفته شود، عدم تکمیل این زنجیره با شرایط فعلی از نظر هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی توصیه خواهد شد.

حالت خاص: احداث واحد GTO

تجربه احداث پلنت‌های GTO به خصوص در چین به سبب نوسان قابل توجه قیمت متانول در بازارهای جهانی سبب شده است تا توجه به احداث این دسته از واحدها در سایر نقاط جهان نیز افزایش یابد. نکته حائز اهمیت احداث این دسته از واحدها در این است که سرمایه‌گذار می‌تواند بر اساس شرایط متفاوت قیمتی نسبت به فروش متانول تولیدی خود و یا تزریق آن به واحدهای پایین دستی اقدام نماید. در مقابل حجم سرمایه‌گذاری قابل توجهی که برای زنجیره پایین‌دستی متانول انجام می‌پذیرد و ممکن است بنا به صرفه اقتصادی غیرفعال بماند نیز چالش این دسته از واحدها است. در صورتی که بخواهیم طرح GTO را به نحو دقیق‌تری ارزیابی کنیم، به‌نحوی که دینامیزم موجود در قیمت متانول را به عنوان یک فاکتور اثرگذار در

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

تصمیم‌گیری برای تولید و فروش متانول به صورت مستقیم و یا تولید و تزریق آن به فرآیندهای پایین‌دستی درنظر بگیریم، مسئله مورد بررسی از ابعاد پیچیده‌ای برخوردار خواهد شد. با این وجود، با توجه به این‌که در حال حاضر و در افق میان‌مدت، عمده اتیلن و پروپیلن تولیدی در جهان از فرآیندهایی بدست می‌آیند که درآن‌ها متانول به عنوان خوراک ورودی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، قیمت این محصولات وابستگی قابل توجهی به قیمت متانول نخواهد داشت، اگرچه همبستگی کلی قیمت این محصولات و متانول با قیمت‌های جهانی نفت به طور کلی وجود دارد. با این وجود می‌توان با فرض درنظرگرفتن سناریوهای ذکرشده در بخش پیشین برای قیمت محصولات تولیدی و سناریوهای قیمتی مختلف سالیانه برای متانول، مقدار بازدهی اقتصادی طرح GTO را مورد ارزیابی قرار داد، به نحوی که در صورتی که قیمت متانول از یک محدوده قیمتی فراتر رود، صرفا به تولید و فروش متانول پرداخته شود و در صورتی که قیمت از یک آستانه قیمتی کمتر باشد، متانول تولیدی به طرح‌های پایین‌دستی منتقل شود. بر این اساس، ۱۰۰۰ سناریو مختلف قیمتی برای متانول با فرض در نظر گرفتن توزیع نرمال برای قیمت متانول با میانگین ۲۵۰ دلار در هر تن و انحراف معیار ۷۰ دلار بر تن (بر اساس داده‌های قیمت سالیانه در طی ۱۵ سال اخیر) در نظر گرفته و برای هر سال در افق زمانی ۲۵ ساله پروژه، قیمت متانول برآورد شده است. بر اساس قیمت متانول برآوردشده و حد آستانه ۲۷۰ دلاری برای هر تن متانول (بر اساس محاسبات ارائه شده در بخش قبل)، نرخ بازده طرح‌های موردنظر به ازای سناریوهای مختلف قیمتی محاسبه شده و میانگین، مینیمم و ماکزیمم بازده داخلی حاصل از طرح‌ها ارائه شده‌اند. نتایج حاصل از این تحلیل در قالب جدول شماره ۱۱ قابل مشاهده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

جدول ۱۱. میانگین، حداقل و حداکثر بازدهی داخلی طرح GTO

به ازای سناریوهای مختلف قیمتی متانول

سناریو	GTO	
سناریوی وضعیت فعلی	میانگین	٪۲۲/۵۷
	حداقل	٪۱۴/۳۶
	حداکثر	٪۲۷/۸۲
سناریوی بدبینانه	میانگین	٪۱۲/۸۶
	حداقل	٪۱۰/۶۵
	حداکثر	٪۱۶/۵۲
سناریوی محتمل	میانگین	٪۱۷
	حداقل	٪۱۳/۳
	حداکثر	٪۲۱/۲۴
سناریوی خوش‌بینانه	میانگین	٪۲۷/۶۴
	حداقل	٪۱۷/۵۸
	حداکثر	٪۳۵/۱۷

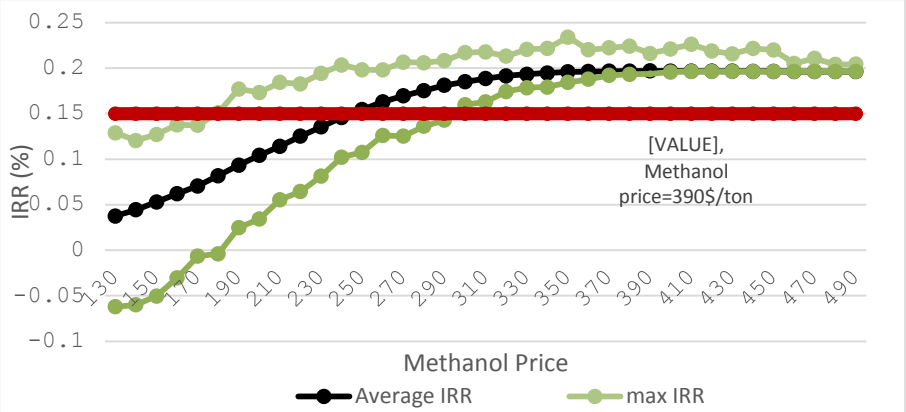
*محاسبات نویسنده

همانگونه که نتایج جدول ۱۱ نشان می‌دهند، نتایج اقتصادی حاصل از واحد GTO نشان می‌دهد که در بدبینانه‌ترین حالت ممکن نیز، میزان نرخ بازده داخلی یک واحد GTO از ۱۰/۵۶ درصد کمتر نخواهد بود. نتایج حاصل از سناریوی بدبینانه نشان می‌دهد که میانگین بازده داخلی طرح GTO معادل ۱۲/۸۶ درصد خواهد بود که تفاوت چندانی با مقدار حداقل این بازده (۱۰/۵۶) و حداکثر آن (۱۶/۵۲) ندارد. بعلاوه نتایج حاصل از احداث این واحد نشان می‌دهد که در سناریوی محتمل، میانگین بازده ۱۷ درصدی و در سناریوی خوش‌بینانه، میانگین بازده ۲۷/۶۴ درصدی بدست خواهد آمد. در خوش‌بینانه‌ترین حالت، مقدار بازده طرح می‌تواند تا سطح بیش از ۳۵ درصد نیز افزایش یابد. به عبارت بهتر می‌توان دید که با بکارگیری واحد GTO، عملا میزان نوسان نتایج اقتصادی کاهش و از جهت دیگر، پایداری نتایج اقتصادی به نحو قابل توجهی افزایش خواهد یافت.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

به منظور ارزیابی اثر مقدار آستانه درنظرگرفته شده برای نرخ متانول که بر اساس آن فروش متانول و یا تولید محصولات پایین دستی انجام می‌شود، نمودار شماره ۱۳، مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر نرخ بازدهی حاصل از ۱۰۰۰ سناریوی مختلف قیمت متانول در قالب قیمت محصولات مرتبط با سناریوی محتمل را نمایش می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار آستانه قیمت متانول برای جابجایی از تولید محصولات پایین‌دستی به تولید صرف متانول، مقدار میانگین، حداقل و حداکثر بازده داخلی طرح GTO افزایش می‌یابد، به‌نحوی‌که بیشینه مقدار میانگین بازده داخلی طرح GTO، در محدوده آستانه ۳۹۰ دلار برای هر تن متانول و بازده داخلی ۱۹/۷ درصدی محقق شده است. با افزایش مقدار حدآستانه از این میزان، مقدار بازده داخلی این طرح کاهش اندکی یافته است. نکته جالب توجه دیگر در این خصوص، کاهش نوسانات نرخ بازده داخلی به ازای افزایش مقدار حد آستانه نرخ متانول است که به دلیل احتمال اندک جابجایی تولید از طرح‌های پایین‌دستی به متانول در مقادیر بالای حد آستانه قیمت در سال‌های مختلف است.



نمودار ۱۳. روند تغییرات نرخ بازده داخلی طرح GTO به ازای حدود آستانه مختلف برای قیمت متانول در سناریو محتمل(منبع: محاسبات نویسنده)

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

پس از تصویب آئین‌نامه پیشنهادی وزارت نفت مبنی بر حمایت از صنایع پایین‌دستی پتروشیمی با تاکید بر تکمیل زنجیره ارزش متانول/پروپیلن و با توجه به مازاد ظرفیت

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

قابل توجه واحدهای تولیدکننده متانول در کشور و روند نامطمئن قیمت محصول متانول در بازارهای جهانی، توجه به سرمایه‌گذاری در زنجیره پایین‌دستی متانول با هدف تولید محصولات الفینی در کشور افزایش یافته است. بر این اساس، سه فرآیند پیشنهادی برای تکمیل زنجیره ارزش در این حوزه شامل تولید پروپیلن از متانول (MTP)، تولید الفین از متانول (MTO) و تولید الفین از گاز طبیعی(GTO) مدنظر سرمایه‌گذاران قرارگرفته است. با توجه به جدیدبودن فرآیندهای ذکرشده و عدم تجربه کافی در کشور، بررسی و ارزیابی جنبه‌های فنی، اقتصادی و مالی این فرآیندها و مقایسه آن‌ها با هم و با تولید صرف متانول ضرورتی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. در مقاله حاضر، به ارزیابی فنی، اقتصادی و مالی هر یک از تکنولوژی‌های پیشنهادی پرداخته خواهد شد و تکنولوژی‌های موجود در زنجیره پایین‌دستی متانول به همراه تولید صرف متانول با توجه به شرایط صنعت پتروشیمی کشور و مشوق‌های دولتی مورد مقایسه قرار گرفتند.

برای این منظور، از شاخص‌های مختلف اقتصادی مانند نرخ بازده داخلی و خالص ارزش فعلی و از روش‌هایی مانند تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری اضافی استفاده خواهد شد. بعلاوه با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سناریو و روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو به بررسی سناریوهای مختلف قیمتی برای مواد اولیه و محصولات تکنولوژی‌های مذکور پرداخته شده و با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی به انتخاب نقاط بهینه تولید و استراتژی‌های تغییر در ترکیب تولید در هر یک از تکنولوژی‌های مذکور پرداخته شد. نتایج حاصل از طرح نشان می‌دهد که در سناریوی حفظ شرایط فعلی و با توجه به شرایط تورمی در بازارهای کالایی دنیا طی دو سال اخیر، کلیه طرح‌های مذکور از شرایط مناسبی از نقطه نظر اقتصادی برخوردار خواهند بود. از سوی دیگر با تکمیل زنجیره ارزش متانول، مقدار نرخ بازده داخلی این طرح‌ها و میزان ارزش خالص فعلی آن‌ها افزایش قابل توجهی داشته است. بعلاوه نتایج نشان می‌دهد که اگرچه فروش صادراتی و عدم دریافت تخفیف در نرخ خوراک، مقداری نرخ بازده داخلی این طرح‌ها را کاهش می‌دهد، اما همچنان همه طرح‌های مذکور در حالت فروش صادراتی نیز از اقتصاد بسیار مناسبی برخوردار خواهند بود. نتایج حاصل از مقایسه طرح‌ها نشان می‌دهد که طرح تولید متانول در سطح متانول سی اف آر بالاتر از ۲۶۰ تا ۲۸۰ دلار، با

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

فرض هزینه حمل و نقل ۶۰ دلار برای هر تن به مقصد چین اقتصادی خواهد بود. از جهت دیگر، هرچه اختلاف قیمت محصولات پایین دستی از نرخ متانول افزایش یابد، طرح‌های پایین دستی در نرخ‌های بالاتر از ۴۰۰ دلار برای هر تن متانول نیز اقتصادی خواهند بود. برعکس و در نرخ‌های پایین محصولات پایین‌دستی، آستانه اقتصادی بودن طرح‌های پایین دستی کمتر خواهد بود. بر این اساس، سرمایه‌گذاری در طرح‌های زنجیره پایین‌دستی متانول، در صورت انتظار برای تداوم روند بلندمدت نزولی برای قیمت‌ها در بازار متانول، قطعا ضروری خواهد بود و سرمایه‌گذاری در آن‌ها اجتناب ناپذیر است.

نتایج حاصل از ارزیابی طرح GTO با بکارگیری شبیه‌سازی مونت‌کارلو و بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با بکارگیری واحد GTO، عملا میزان نوسان نتایج اقتصادی کاهش و از سوی دیگر، پایداری نتایج اقتصادی به نحو قابل توجهی افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر، با افزایش مقدار آستانه قیمت متانول برای جابجایی از تولید محصولات پایین‌دستی به تولید صرف متانول، مقدار بازده داخلی طرح GTO افزایش می‌یابد، به‌نحوی‌که بیشینه مقدار میانگین بازده داخلی طرح GTO، در محدوده آستانه ۳۹۰ دلار برای هر تن متانول و بازده داخلی ۱۹/۷ درصدی محقق شده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

منابع

- ابراهیمی، ع. ا. (۱۳۹۳). مروری بر اقتصاد فناوری‌های هدفمند تولید پروپیلن وموقعیت فرآیندMTP. بسپارش، ۹۱-۹۷.
- بدخشان، ا.، پیشوایی، م.، & صاحبی، ه. (۱۳۹۵). یک مدل بهینه‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی برای برنامه‌ریزی یکپارچه جریان‌های مالی و فیزیکی در زنجیره تأمین، چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۳۱-۵۱.
- تصویب نامه هیئت وزیران. (۱۳۹۹). حمایت از توسعه صنایع پایین دستی پتروشیمی با تاکید بر زنجیره ارزش متانول/پروپیلن. دولت جمهوری اسلامی ایران.
- قاسمی، ع.، محمدی، ت.، توکلیان، ح.، & صادقین، ع. (۱۳۹۹). همبستگی پویا بین بازار نفت با بازارهای مالی، صنایع نفتی و پتروشیمی در ایران. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱-۳۴.
- مرکز پژوهشهای مجلس شورای اسلامی. (۱۳۹۸). ارزیابی اقتصادی روش مستقیم تولید پروپیلن از خوراک متانول و گاز طبیعی.
- مرکز مطالعات زنجیره ارزش. (۱۳۹۹). نگاهی تحلیلی به روند تولید اتیلن و پروپیلن در مناطق مختلف دنیا.
- مرکز مطالعات زنجیره ارزش در صنعت نفت و گاز. (۱۳۹۶). تجزیه و تحلیل فنی و اقتصادی فرآیندهای تولید پروپیلن.
- نایب، س.، هادی نژاد، م.، & شمس صفا، ف. (۱۳۹۴). تأثیر خبر افزایش قیمت خوراک پتروشیمی بر شاخص بازار سهام تهران. فصلنامه اقتصاد مالی، ۱۱۹-۱۳۴.
- ورهرامی، و.، عرب مازار، ع.، & حمزه، ف. (۱۳۹۸). مقایسه اثر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر صادرات محصولات منتخب صنعت پتروشیمی (اوره، پلی اتیلن، متانول، پروپان). فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۹۹-۱۳۹.
- Daniel F. Rodr´ıguez-Vallejo, G. G.-G. (2020). What is the True Cost of Producing Propylene from Methanol? The Role of Externalities. ACS Sustainable Chemistry & Engineering.
- Erdöl Erdgas Kohle. (2002). Methanol To Propylene MTP - Lurgi´s Way.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

- Innosight Solutions. (2020). Priliminary Feasibility Study Report: Methanol Diversification Project. Parsian Oil and Gas Development Group Company.
- Nexant Thinking. (2016). on Purpose Propylene in an Era of Uncertainty .
- TecnimontConsulting Group. (2019). Feasibilty Study of Badre-Shargh Petrochemical Complex.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

Feasibility Study of Methanol to Propylene Technology and comparison with alternative technologies based on the capacity of the Law on Protection of Downstream Petrochemical Industries

Hossein Dastkhan[1]
Assistant Professor, Department of Financial Engineering, Faculty of Financial Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran, hdastkhan@khu.ac.ir

Received: 2021/10/10 Accepted: 2022/04/06

Abstract

According to the proposed regulation of the Ministry of Petroleum to support downstream petrochemical industries with emphasis on completing the value chain of methanol / propylene and due to the significant overcapacity of methanol production units in Iran and the uncertain trend in methanol price in global markets, methanol downstream projects has attracted the attention of many investors. Accordingly, in this paper, due to the novelty of the technologies and the lack of experience in Iran, three proposed technologies are considered including methanol to propylene (MTP), methanol to olefin (MTO) and gas to olefin (GTO). They have been evaluated and analyzed technically, economically and financially and the results have been compared with each other and with the methanol production plant alone. In addition, using scenario analysis and Monte Carlo simulation method, it has studied different price scenarios for inputs and products of the mentioned technologies. The results show that in the scenario of maintaining the current situation and considering the inflationary conditions in the world commodity markets during the last two years, all the mentioned plants will have suitable conditions from an economic point of view. On the other hand, with the completion of the methanol value chain, the amount of internal rate of return of these projects and their net present values has increased significantly. The results of the comparison of the technologies show that the methanol production plan is economical at the CFR methanol price higher than $ 260 to $ 280, assuming a shipping cost of $ 60 per ton to China. On the other hand, as the price difference between downstream products and methanol increases, downstream plants at prices above $ 400 per ton of methanol will also be economical.

JEL Classification: Q40, G31, C63.

Keywords: Petrochemical Industry, Propylene, Feasibilty Study, Incremental IRR, Monte-carlo Simulation.

1. Corresponding Author

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]