فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیستم / شماره ۸۳/ زمستان ۱۴۰۳ / صفحات ۹۷-۶۹

ارزیابی اقتصادی تولید بنزین از تکنولوژی GTL و مقایسه آن با بنزین وارداتی

محمدصادق جوکار[۱]

استادیار پژوهشکده اقتصاد انرژی، موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، ms.jokar@iies.net

محمدحسین گلشن

پژوهشگر پژوهشکده اقتصاد انرژی موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، golshanhosein@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰

چکیده

وضعیت مصرف بنزین در ایران طی سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته است. بر اساس گزارش شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران، مصرف روزانه بنزین در سال ۱۴۰۳ به حدود ۱۱۲ میلیون لیتر رسیده است که افزایش چشمگیری (بیش از ۴۰ درصد) نسبت به سال ۱۳۹۹ را نشان می‌دهد. بر اساس گزارش ها، این میزان مصرف حتی در ایام تعطیلی و با رشد سفرها حتی به ۱۴۰ میلیون لیتر در روز نیز می‌رسد. در مقابل، توان تولید بنزین در کشور با محدودیت‌هایی مواجه است. اگرچه ظرفیت اسمی تولید پالایشگاه‌های کشور حدود ۱۱۰ میلیون لیتر در روز است، اما در عمل تنها بین ۹۸ تا ۱۰۴ میلیون لیتر در روز تولید می‌شود. از سوی دیگر، براساس گزارش‌ها و اظهار نظر مقامات رسمی کشور، میزان ناترازی بنزین طی دو سال اخیر، به رقمی بالغ بر ۶ الی ۱۱ میلیون لیتر در روز رسیده، که این منجر به ارزبری حدود سه میلیارد دلاری در واردات بنزین شده است. راهکارهای متعددی برای مقابله با مشکل ناترازی بنزین بیان شده، که تولید بنزین از گاز طبیعی طی فرایند موسوم به (GTL (Gas To Liquid می‌تواند گزینه مناسبی برای حل این مشکل باشد. فناوری GTL به فرآیندی اطلاق می‌گردد که در آن بتوان گاز طبیعی را به فرآورده‌های با ارزشی از جمله متانول، دی‌متیل‌اتر و سایر فرآورده‌های میان تقطیر (مانند بنزین، گازوئیل و نفت سفید) تبدیل نمود. در این پژوهش به ارزیابی اقتصادی طرح تولید بنزین از تکنولوژی GTL و مقایسه آن با قیمت وارداتی بنزین به جهت مقابله با مشکل ناترازی آن به عنوان یکی از راهکارها، پرداخته شده است. نتایج پژوهش حاضر حاکی از این است که دو عامل مقیاس تولید و نرخ ارز مبنای محاسبه (آزاد و مبادله‌ای) تأثیر بسزایی در شاخص‌های ارزیابی دارد. به این مفهوم که دو عامل مذکور رابطه مستقیمی با شاخص‌های ارزیابی طرح داشته و با افزایش مقیاس واحدهای GTL و همچنین نرخ ارز نرخ بازدهی داخلی و در نتیجه جذابیت سرمایه‌گذاری افزایش می‌یابد. همچنین نرخ بنزین تولیدی حاصل از این طرح در همه مقیاس‌ها در مقایسه با بنزین وارداتی مقرون‌به‌صرفه بوده و در صورت ادامه مشکل ناترازی بنزین در بلند مدت، احداث این واحدها توصیه می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: P۲۸, L۷۱, Q۴۰, O۱۳, M۲۱

کلیدواژه: ارزیابی اقتصادی، فرایند تبدیل گاز به مایع (GTL)، MTG، DTG، بنزین.

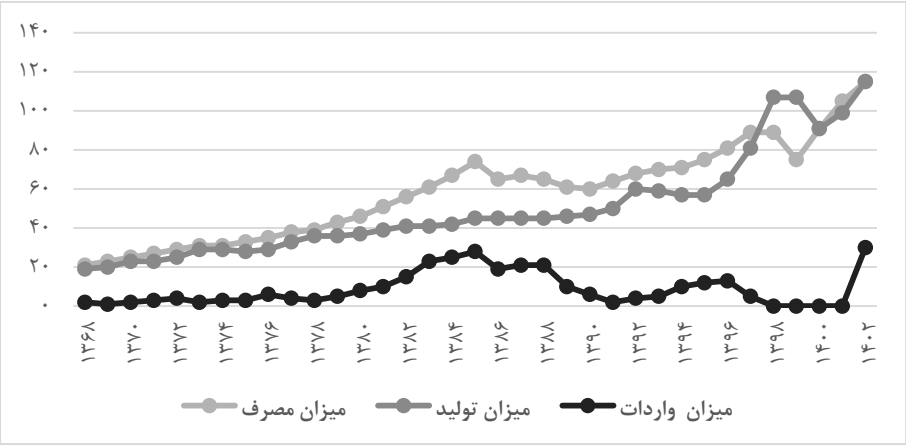
---

۱. نویسنده مسئول

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

۱- مقدمه

وضعیت مصرف بنزین در ایران طی سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته است. بر اساس گزارش شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران، مصرف روزانه بنزین طی حدود دو سال اخیر (۱۴۰۲-۱۴۰۳) به حدود ۱۱۲ میلیون لیتر رسیده که افزایش چشمگیری (بیش از ۴۰ درصد) نسبت به سال ۱۳۹۹ را نشان می‌دهد. بر اساس گزارشات این میزان مصرف در ایام تعطیلی و با رشد سفرها حتی به ۱۴۰ میلیون لیتر در روز نیز می‌رسد. در مقابل، توان تولید بنزین در کشور با محدودیت‌هایی مواجه است. اگرچه ظرفیت اسمی تولید پالایشگاه‌های کشور حدود ۱۱۰ میلیون لیتر در روز است، اما در عمل تنها بین ۹۸ تا ۱۰۴ میلیون لیتر در روز تولید می‌شود. از سوی دیگر، بر اساس گزارش‌ها و اظهار نظر مقامات رسمی کشور، میزان ناترازی بنزین طی دو سال اخیر، به رقمی بالغ بر ۶ الی ۱۱ میلیون لیتر در روز رسیده، که این منجر به ارزبری حدود سه میلیارد دلاری در واردات بنزین شده است. تداوم روند فعلی تولید و مصرف، باعث تعمیق بیشتر ناترازی بنزین تا پایان دولت چهاردهم شده و پیش بینی می‌شود این میزان به روزانه ۴۰ میلیون لیتر برسد که علاوه بر اینکه ارزبری آن، بیشتر از بودجه عمرانی کشور خواهد بود، می‌تواند امنیت انرژی کشور را با مخاطره جدی روبرو نماید. نمودار ۱ میزان مصرف، تولید و واردات بنزین در ایران را طی دوره زمانی ۱۴۰۲-۱۳۶۸ نشان می‌دهد.



نمودار ۱. میزان تولید، مصرف و واردات بنزین در ایران در طی سالیان ۱۳۶۸ الی ۱۴۰۲

(میلیون لیتر در روز)

ماخذ: شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

به‌طورکلی در حوزه افزایش عرضه وکاهش واردات بنزین، چهار راهکار وجود دارد که عبارتند از:

۱. ساخت پالایشگاه و پتروپالایشگاه جدید،

۲. توسعه پالایشگاه‌های کوچک [۱]یا پالایشگاه‌های کوچک‌مقیاس،

۳. تولید بنزین با استفاده از تکنولوژی GTL [۲] و

۴. ارتقای کیفی پالایشگاه‌های فعلی و تبدیل نفت‌کوره به بنزین.

در این مقاله به بررسی و ارزیابی اقتصادی تولید بنزین با استفاده از تکنولولوژی GTL (مورد سوم) پرداخته شده است. فناوری GTL به فرآیندی اطلاق می‌گردد که در آن بتوان گاز طبیعی را به فرآورده‌های با ارزشی از جمله متانول، دی‌متیل‌اتر و سایر فرآورده‌های میان تقطیر (مانند بنزین، گازوئیل و نفت سفید) تبدیل نمود.

فرآیند GTL در سال ۱۹۲۳ توسط دو دانشمند به نام‌های فرانس فیشر [۳] و هانس تروپش [۴] ابداع گردید و به همین دلیل نیز گاهی اوقات به عنوان فرآیند فیشر- تروپش (F-T) از آن یادمی‌شود. در سال‌های اخیر پیشرفت‌های قابل‌توجهی در کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای مورد نیاز برای احداث واحدهای GTL اقتصادی صورت گرفته است، به طوریکه این فناوری را به عنوان یک گزینه اقتصادی برای بهره برداری از ذخایر گازی و همچنین تولید بنزین مطرح ساخته است.

در این پژوهش، علاوه بر بررسی روش‌ها و فرآیندهای تبدیل گاز طبیعی به فرآورده‌های مایع(GTL) ، به بررسی پروژه‌های GTL انجام شده در دنیا طی دهه اخیر پرداخته و در ادامه هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی فرآیندGTL، برآورد و در نهایت ارزیابی اقتصادی تولید بنزین با استفاده از تکنولوژی GTL انجام و با بنزین واردتی مقایسه شده است.

۱. Mini Refinery
۲. Gas to liquid
۳. F-Ficher
۴. H-Tropsh

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

۲- بررسی مطالعات پیشین

فناوری GTL برای تولید بنزین به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای فرآوری نفت خام، می‌تواند مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی فراوانی به دنبال داشته باشد. این فناوری استفاده بهینه‌تر از منابع گاز طبیعی را فراهم کرده و با کاهش آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای، نقش مهمی در حفاظت از محیط زیست ایفا می‌نماید. علاوه بر این، به دلیل کیفیت بالاتر بنزین تولیدی و امکان تنوع‌بخشی به منابع انرژی، این فناوری می‌تواند در کاهش وابستگی به نفت خام و ثبات بازار سوخت نیز نقش‌آفرین باشد.

مطالعات گسترده‌ای در رابطه با فرایند GTL، ارزیابی اقتصادی و به صرفه بودن آن انجام شده است که هر یک بسته به مکان پروژه، مقیاس پروژه و نرخ گاز و سایر شرایط نتایج متفاوتی داشته اند.

۲-۱- مطالعات انجام شده داخلی

احمدخانی و جوان (۱۳۸۲)، در مقاله‌ای با عنوان «بررسی اقتصادی فناوری GTL»، ضمن بررسی آخرین وضعیت اقتصادی صنعت GTL، وضعیت اقتصادی کاربرد این فناوری برای ایران و برنامه‌های کشور را در این رابطه بررسی نمودند. نتایج این پروژه بیان کرد که سودآوری پروژه‌های GTL نیز تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد که عمده‌ترین آنها هزینه سرمایه‌ای، قیمت گاز و قیمت نفت است. اظهار نظر در مورد اینکه پروژه‌های GTL اقتصادی هستند و یا خیر، به عوامل متعددی (به ویژه رویکرد کشور میزبان به پروژه GTL) بستگی دارد. همچنین به عنوان یکی دیگر از نتایج این پژوهش آنها بیان داشتند که فناوری GTL ایران را قادر می‌سازد تا بدون مواجه با چالش‌های پیشروی خطوط لوله (تنش‌های سیاسی، تعرفه) و محدودیت‌های بازاری پیشرو در بازار LNG نسبت به کسب درآمد ارزی از منابع گازی خود اقدام نماید. مهمتر آنکه مشتریان فرآورده‌های GTL واحدهای سیاسی (کشورها) نبوده بلکه فرآورده‌های آن به صورت تک محموله در بورس‌های نفتی معامله می‌شود.

سلیمی‌فر و حسینی (۱۳۹۱)، ارزیابی اقتصادی احداث واحدهای تبدیل گاز به فراورده‌های مایع (GTL) پس از قانون هدفمندی یارانه‌ها در ایران را انجام دادند. بدین منظور با طراحی چند سناریو (با توجه به مقیاس و ظرفیت کارخانه، هزینه سرمایه،

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

قیمت نفت خام و احداث با و بدون پالایشگاه گاز) به بررسی این طرح پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از فناوری GTL توجیه داشته و با کاهش هزینه سرمایه‌ای و هزینه عملیاتی و افزایش قیمت نفت خام و درآمد فروش، سودآوری پروژه بیش‌ترخواهد شد.

خراسانی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به مقایسه ارزیابی اقتصادی صادرات LNG و GTL برای ایران پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از هر دو فناوری توجیه داشته و کاهش هزینه سرمایه‌ای و هزینه عملیاتی و افزایش درآمد فروش، سودآوری پروژه را بیش‌ترخواهد کرد. به علاوه پروژه صادراتGTL نسبت به‌پروژه صادرات LNG از توجیه اقتصادی بالاتری برخوردار است.

سالاری و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی به ارزیابی اقتصادی احداث واحد تبدیل گاز طبیعی به فرآورده‌های مایع در منطقه ویژه اقتصادی سرخس پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که پروژه صرفاً در حالت حداکثر قیمت پیش‌بینی شده برای هر بشکه نفت خام، توجیه دارد. هم چنین دیگر نتایج تحقیق نشان داد که اگر هزینه خوراک واحد تولیدی به قیمت مصرف کننده مورد محاسبه قرار گیرد، پروژه حتی در مقیاس کوچک و با هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری نیز سودآور خواهد بود.

جعفری و سلطانی (۱۳۹۵)، پژوهشی تحت عنوان«شبیه سازی واحد GTL جهت بازیابی گازهای دورریز فلرینگ پالایشگاه‌ها» را به انجام رساندند. نتایج این پژوهش نشان داد که با جمع آوری گازهای فلر، امکان استحصال ۶۶۱ بشکه در روز GTL خواهد بود که ارزش اقتصادی این میزان بشکه GTL معادل ۱۶۸۰ دلار است.

عظیمی‌فر و باقری (۱۳۹۷)، به مرور فناوری و مجتمع‌های GTL در دنیا و بررسی اقتصادی و امکان سنجی بهره‌گیری از این فناوری در ایران پرداخته و به این نتیجه رسیدند که این فناوری با توجه به ماهیت رقابتی محصولات آن با فرآورده‌های حاصل از پالایش نفت خام و هزینه سرمایه‌گذاری بیشتر نسبت به پالایشگاه نفت مورد اقبال کمتری قرار گرفته است. همچنین با توجه به تحریم‌های خارجی و نبود امکان تأمین سرمایه و دانش فنی از خارج از کشور، امکان توسعه این صنعت در کشور مقرون به‌صرفه نمی‌باشد و با توجه به حجم بالا و پراکندگی گازهای مشعل در کشور، واحدهای Mini-GTL را توصیه نموده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

دانشی و دستخوان (۱۴۰۳)، در پژوهش خود با عنوان «ارزیابی طرح تبدیل متانول به بنزین (MTG)؛ عبور از بحران مازاد متانول و ناترازی بنزین»، به ارزیابی اقتصادی این طرح به منظور راه حلی برای عدم تنوع در بازار صادرات متانول و ریسک‌های ناشی از آن پرداختند.

نتایج این تحقیق بیانگر عدم جذابیت اقتصادی طرح با قیمت‌های متانول و سبد محصولات، در زمان انجام پژوهش بود. همچنین آنالیز حساسیت اقتصاد طرح MTG نشان داد که در روندهای افزایشی قیمت نفت، اقتصاد این طرح بهبود یافته و می‌توان MTG را به عنوان یکی از گزینه‌های موجود اقتصادی برای رفع معضل مازاد متانول مدنظر قرار داد.

۲-۲- مطالعات انجام شده خارجی

عبدالکریم[۱] و همکاران (۲۰۰۹)، نقش فناوریGTL به عنوان گزینه‌ای برای بهره‌برداری از منابع گاز طبیعی را بررسی نمودند. یافته‌های تحقیق آنها نشان می‌دهد فناوری GTL نه تنها ارزش افزوده را بالا می‌برد، بلکه می‌تواند محصولاتی تولید کند که می‌توانند به‌عنوان محصولات برتر با ویژگی‌های پاک‌سوز، فروخته یا در پالایشگاه ترکیب شوند. سوخت‌های دیزل تولید شده توسط این فرآیند به جهت داشتن عدد ستان بالاتر دارای چگالی انرژی قابل مقایسه با دیزل معمولی هستند. این محققان در بخش دیگری از نتایج آنها اعلام داشتند که علیرغم اینکه هزینه تولید سوخت GTL به سبب استفاده از کاتالیزورهای بهتر، افزایش مقیاس و طراحی کارخانه کاهش یافته، اما در مقابل هزینه‌های حمل و نقل و توزیع در مقایسه با سوخت‌های تولید شده در پالایشگاه کمی بالاتر است.

رامبرگ[۲] و همکاران(۲۰۱۷) در پژوهشی با عنوان «قابلیت اقتصادی فناوری تبدیل گاز به مایع و رابطه قیمت نفت خام و گاز طبیعی» قابلیت حیات یک فناوری گاز به مایع (GTL) را بررسی و بیان می‌کنند که چگونه نفوذ GTL می‌تواند تکامل نسبت قیمت نفت خام به گاز طبیعی را شکل دهد. این نتایج نشان داد که نفوذ GTL تنها

۱. Maha Abdel-Kreem
۲. David J. Ramberg

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

تحت فرضیات بسیار شدید، تأثیر دارد. با استفاده از برآوردهای متعارف هزینه‌ها و کارایی، فناوری GTL برای افزایش رقابت مستقیم بین محصولات نفت خام و گاز طبیعی به عنوان سوخت در حمل و نقل بسیار گران است.

الصبحی[۱] و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی فنی- اقتصادی و زیست محیطی بنزین تولید شده از فرآیندهای GTL وMTG» به شبیه‌سازی دقیق برای دو مسیر استفاده از گاز طبیعی یعنی GTL و MTG به منظور کمک به تصمیم‌گیرندگان در صنعت پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که ارزیابی اقتصادی و زیست محیطی دو مسیر تولید فرآورده بنزین مطلوب است. همچنین بازده کلی بالاتر برای فرآیند MTG با ارزش اقتصادی خالص حدود ۵۶۸ دلار به ازای هر تن بنزین تولیدی و معادل ۰/۲ تن CO_2 منتشر شده به ازای هر تن محصول است. علاوه بر این، افزایش درصد متانول فرآوری شده به بنزین نشان‌دهنده سودآوری خالص اقتصادی بیشتر، اما با افزایش میزان انتشار CO_2 است. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت فرآیند MTG است و می‌تواند برای شناسایی درصد بهینه متانول فرآوری‌شده به بنزین به عنوان یک مبادله بین منافع اقتصادی و زیست‌محیطی مورد مطالعه قرار گیرد.

جعفری[۲] و همکاران (۲۰۲۱)، با هدف تبدیل گاز فلر به دی‌متیل‌اتر (DME) برای تولید بنزین، گاز مایع (LPG) و هیدروژن، به شبیه سازی و ارزیابی اقتصادی فرآیند این فرایند FGTG[۳] پرداختند. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که استفاده از فرآیند FGTG با تولید مستقیم DME (سناریوی دوم) به جای فرآیند FGTG با تولید غیرمستقیم DME (سناریوی اول)، فروش محصول و سود عملیاتی را حدود ۵۵ درصد و ۶۵ درصد افزایش می‌دهد و همچنین هزینه کل سرمایه و هزینه آب و برق به ترتیب حدود ۳۰ درصد و ۵۰ درصد کاهش یافته است. در نهایت، ROR مورد نظر در فرآیند FGTG با تولید مستقیم DME و تولید غیر مستقیم آن به ترتیب، ۵۲ درصد و ۳۳ درصد در سال است و POP برای سناریوی دوم تقریباً ۱٫۱ سال زودتر از سناریوی اول است.

۱. S.A. Al-Sobhi
۲. M.Jafari
۳. Flare Gas to Gasoline

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

برید[۱] و همکاران (۲۰۲۴)، به بررسی فناوری GTL در پالایشگاه‌های بسیار کوچک[۲] پرداختند و دیدگاهی در مورد پیامدهای سیاسی و اجتماعی ارائه نمودند. در این پژوهش بر لزوم کاهش گازهای گلخانه‌ای و اهمیت توسعه انرژی‌های کم‌کربن مانند گاز طبیعی در تحقق اهداف توسعه پایدار و توافق پاریس تأکید شده است. این پژوهش نشان می‌دهد که فناوری‌های میکروپالایشگاه GTL می‌توانند گاز متان را به سوخت‌های با ارزش و کم‌انتشار تبدیل کنند و همچنین این فناوری‌ها به کاهش گازهای فلر و استفاده از گازهای بلااستفاده کمک می‌کنند. با این حال هزینه‌های بالا، نیاز به کاتالیزورهای کارآمد و بهینه‌سازی انرژی همچنان موانعی در مسیر تجاری‌سازی سریع این فناوری‌ها هستند. در نهایت اعلام داشتند که به منظور بهبود کارایی و سیاست‌های حمایتی مطالعات بیشتری لازم است.

۳- معیارهای ارزیابی پروژه

معیارهای ارزیابی پروژه توجیه‌پذیری اقتصادی- مالی یک پروژه را مشخص می‌کنند. این معیارها خود به دو دسته تنزیلی و غیرتنزیلی تقسیم بندی می‌شوند. در روش معیارهای غیر تنزیلی، عامل زمان و ارزش زمانی در محاسبات اهمیتی ندارند. مهم‌ترین معیار در این روش، دوره بازگشت سرمایه[۳] (PBP)، می‌باشد. در مقابل در روش‌های تنزیلی، ارزش زمانی پول را در نظر می‌گیرند. از مهمترین روش‌های ارزیابی معیارهای تنزیلی می‌توان به نرخ بازده داخلی[۴] (IRR)، خالص ارزش فعلی (NPV)[۵] اشاره نمود.

۳-۱- دوره بازگشت سرمایه (PBP)

دوره بازگشت سرمایه، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا خالص جریانات نقدی تجمعی پروژه صفر شود. بعبارتی مدت زمانی است که طول می‌کشد تا سرمایه‌گذاری

۱. D.Braide
۲. Microrefinery
۳. Pay Back Period
۴. Internal Rate of Return
۵. Net present value

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

اولیه در پروژه با عایدات آن برابر شود. به بیان ساده‌تر مدت زمانی است که هزینه‌های پروژه به سرمایه‌گذاران برگردد.

در این روش معیار ارزیابی طرح، کوتاهی و بلندی زمان بازگشت سرمایه است. طرح‌های با دوره بازگشت سرمایه کوتاه‌تر جذابیت بیشتری نسبت به طرح‌هایی با دوره بازگشت بلندتر دارند.

۳-۲- خالص ارزش فعلی (NPV)

در این روش، جریان نقدینگی بر اساس زمان وقوع به نرخ روز تنزیل می‌شود. به این ترتیب در جریان نقدینگی، ارزش زمانی مبالغ ورودی و خروجی طرح نیز لحاظ می‌گردد.

$$\text{ارزش خالص فعلی}(NPV) = \sum_{۱}^{n} \frac{Rt}{(i+۱)^t}$$

n: طول دوره سرمایه‌گذاری

Rt : حاصل جمع دریافت یا پرداخت مالی در دوره (t)

t : سال یا دوره محاسبه

i : نرخ تنزیل، تورم یا سود مورد انتظار

در محاسبه شاخص **NPV** در واقع سرمایه‌گذاری در طرح یا پروژه با سرمایه‌گذاری در یک بازار با نرخ سود سالانه **i** که همان نرخ تنزیل می‌باشد و به نوعی حداقل نرخ مورد انتظار از سرمایه‌گذاری است، مقایسه می‌گردد. بر این اساس در صورتیکه عدد محاسبه شده برای این شاخص در یک طرح یا پروژه و براساس نرخ تنزیل تعیین شده، منفی گردد، این طرح دارای نرخ سود سالانه کمتر از i می‌باشد و لذا توجیه پذیر نخواهد بود. همچنین درصورتیکه این رقم صفر و یا مثبت گردد به این معناست که طرح دارای نرخ بازدهی حداقل معادل نرخ تنزیل (نرخ مورد انتظار از سرمایه‌گذاری) می‌باشد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

۳-۳- نرخ بازده داخلی (IRR)

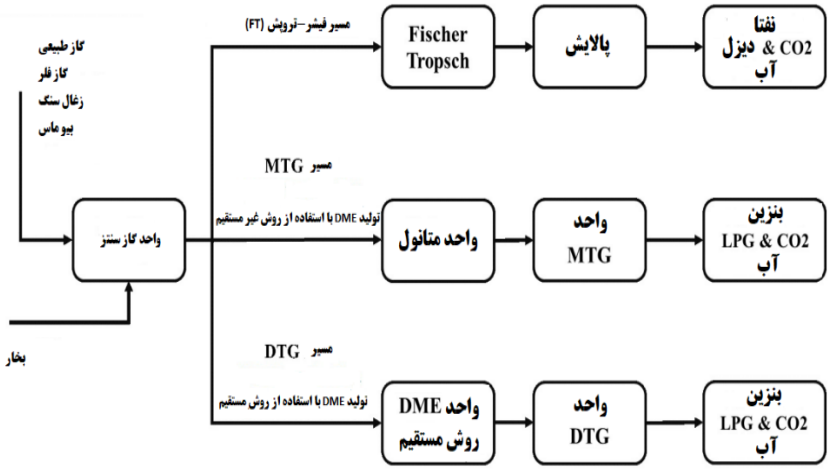
نرخ بازده داخلی نرخی است که ارزش خالص فعلی (NPV)، تمام وجوه نقدی و دریافتی یک سرمایه‌گذاری را به صفر می‌رساند. بر این اساس، اگر سودها و هزینه‌های نقدی یک سرمایه‌گذاری را با در نظر گرفتن ارزش زمانی آن‌ها در طول عمر سرمایه‌گذاری محاسبه کنیم، نرخی که ارزش خالص فعلی(NPV) آن‌ها برابر با صفر می‌شود، به‌عنوان IRR شناخته می‌گردد. اگر IRR بیشتر از نرخ بازده موردانتظار یا هزینه سرمایه باشد، پروژه یا سرمایه‌گذاری معقول و قابل‌قبول تلقی می‌شود.

۴- روش‌های تبدیل گاز طبیعی به فراورده‌های نفتی

سه روش سنتزی مرسوم برای تولید بنزین از گاز عبارتند از:

۱. فرآیند فیشر-تروپش(FT)
۲. تبدیل DME به بنزین (DTG) و
۳. تبدیل متانول به بنزین(MTG) (Wan et al. ۲۰۱۸).

روش‌های مصنوعی تولید بنزین در شکل ۱ نشان داده شده است. در فرآیند MTG وDTG، گزینش پذیری برای تولید بنزین تقریبا ۸۰ درصد است. در مقابل، در فرآیندFT، تقریباً ۳۰ درصد و باقیمانده، تولید هیدروکربن‌های مایع سنگین است (Materazzi and Holt, ۲۰۱۹).



شکل ۱. روش سنتز بنزین: فیشر-تروپش(FT)، متانول به بنزین (MTG) و DME به بنزین(DTG)

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

۴-۱- تبدیل گاز به فرآورده‌های نفتی با استفاده از روش فیشر-تروپش F-T

۴-۱-۱- فرایند

فرآیندGTL با استفاده از روش فیشر تروپش به طور خالص شامل سه مرحله است:

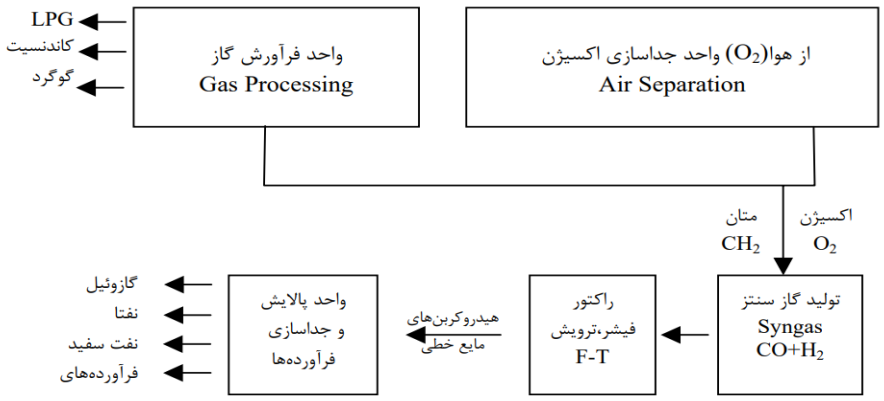
۱) تولید گاز سنتز(Gas Synthesis): در این مرحله با استفاده از روش‌های موجود همچون تغییر مولکولی با بخار(Steam)، اکسیداسیون جزئی (Partial Oxidation)، ریفورمینگ خودگرمایی (Auto Thermal Reforming)، متان و اکسیژن ترکیب شده و گاز سنتز درست می‌شود. در واقع، گاز سنتز ترکیبی از هیدروژن و اکسیدکربن است (۲H+CO) که معمولا حاوی مقادیر کمی از بخارآب ودی اکسیدکربن نیز می‌باشد.

۲) تولید هیدروکربن‌های خطی: در این مرحله گاز سنتز تحت فشار اتمسفر، در درجه حرارت۱۰۰ الی ۳۰۰ درجه سانتیگراد و درمجاورت کاتالیزورهای فلزی چون آهن، کبالت، نیکل، رتنیوم[۱] و یا رودیم [۲]به صورت هیدروکربن‌های خطی در می‌آید، که البته علاوه بر آن بخارآب و مونواکسید کربن نیز در این مرحله تولید می‌شود.

۳) مرحله پالایش و بهبود کیفیت هیدروکربن‌های خطی: در این مرحله، با استفاده از فرآیندهای مشابه پالایش نفت‌خام همچون هیدروکراکینگ، ایزومراسیون، ریفورمینگ کاتالیزوری و آلکیلاسیون[۳]، محصولاتی چون گازوئیل، نفتا[۴]، نفت سفید[۵] و فرآورده‌های ویژه [۶]همچون روانکارها و پارافین حاصل می‌شود[۱].

۱. Ruthenium
۲. Rhodium
۳. Alkylation
۴. Naphtha
۵. Kerosene
۶. Products Special

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]



شکل ۲. فرآیند سه مرحله‌ای تبدیل گاز به فرآورده‌های میان تقطیری و ویژه

ماخذ: Conoco Gas Solution , Conoco website

لازم ذکر است که فرآورده‌های نهایی بدست آمده از این فرآیند اکثراً معادل فرآورده‌های نفتی حاصل از برج تقطیر پالایشگاه‌های نفت خام است که در دامنه C۱۰ تا C۲۰ قرار دارند و اصطلاحاً به آن‌ها فرآورده‌های میان تقطیری گفته می‌شود، از همین روی بعضاً واژه liquid to Gas با استفاده از روش FT را تبدیل گاز به فرآورده‌های میان تقطیری می‌گویند.

۴-۱-۲- ترکیب محصولات به صورت درصدی در فرآیند فیشر-تروپش:

- دیزل (گازوئیل): حدود ۷۵-۷۰ درصد
- نفت سفید (کروزن): حدود ۱۵-۱۰ درصد
- نفتا: حدود ۱۰-۵ درصد
- موم‌های پارافینی و محصولات سنگین‌تر: حدود ۱۰-۵ درصد
- محصولات جانبی (گازهای سبک و آب): مقادیر کم، کمتر از ۵ درصد

لازم به ذکر است که ترکیب محصولات ممکن است بسته به نوع کاتالیست، دما، فشار، و پیکربندی راکتور تغییر کند. مثلاً، برخی از واحدهای فیشر-تروپش ممکن است موم‌های بیشتری تولید کنند که می‌توانند به محصولات ارزشمند دیگری مانند روغن‌های روانکار تبدیل شوند.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

همچنین باید گفت که با تغییراتی در راکتور FT و مرحله ارتقاء کیفیت، می‌توان بنزین نیز تولید کرد ولی کارایی فرآیند فیشر-تروپش برای در تبدیل گاز به بنزین پائین است.

۴-۱-۳- مزایا و معایب روش فیشر-تروپش

مزایا: قابلیت تولید انواع هیدروکربن‌ها با ساختارهای مختلف، انعطاف‌پذیری در تولید ترکیب محصول مطلوب، فرآیند پایدار و تولید آلودگی کم.

معایب: هزینه‌های بالا برای تجهیزات و فرآیند، زمان‌بر بودن فرآیند، نیاز به کاتالیست‌های خاص که ممکن است هزینه‌بر باشند.

۴-۲- تبدیل غیر مستقیم دی‌متیل اتر به بنزین(IMTG)[۱]

در روش غیرمستقیم، دی‌متیل اتر ابتدا به متانول و سپس متانول به بنزین تبدیل می‌گردد. این روش به دلیل جداسازی مراحل تبدیل و استفاده از شرایط مختلف عملیاتی، انعطاف‌پذیری بیشتری دارد.

۴-۲-۱- فرایند

مرحله اول: تبدیل دی‌متیل اتر به متانول: در این مرحله، دی‌متیل اتر در حضور آب و یک کاتالیست اسیدی (معمولاً زئولیت H-ZSM-۵ یا آلومینا) به متانول و آب تبدیل می‌شود. این کاتالیست‌ها با ایجاد محیطی اسیدی، واکنش‌های تبدیل و تولید اولفین‌ها را تسریع می‌کنند. این واکنش معمولاً در دماهای پایین‌تر (بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد) و فشارهای نسبتاً بالا انجام می‌شود.

مرحله دوم: تبدیل متانول به بنزین[۲](MTG): متانول تولید شده در مرحله اول سپس به بنزین تبدیل می‌شود. این مرحله شامل چند واکنش متوالی است:

واکنش دیمریزاسیون متانول به دی‌متیل اتر: متانول به دی‌متیل اتر و آب تبدیل می‌شود.

$$H_۲o + ۳CH_۳OCH \Rightarrow ۲CH_۳OH$$

۱. Indirect Methanol To Gasoline

۲. Methanol to Gasoline

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

واکنش‌های تولید اولفین‌ها: دی‌متیل اتر در حضور کاتالیست‌های زئولیتی (مانند ZSM-۵) به اولفین‌های کوچک (اتیلن، پروپیلن) تبدیل می‌شود.

پلیمریزاسیون و آروماتیزاسیون: اولفین‌ها به ترکیبات هیدروکربنی سنگین‌تر و آروماتیک تبدیل می‌شوند که در نهایت منجر به تولید بنزین می‌شود.

۴-۲-۲- ترکیب محصولات به صورت درصدی در فرآیند IMTG

- بنزین: حدود ۸۵-۷۰ درصد
- هیدروکربن‌های سنگین: حدود ۱۵-۵ درصد
- نفت سفید و دیگر هیدروکربن‌های مایع: حدود ۱۰-۵ درصد
- محصولات جانبی (آب، گازهای سبک): حدود ۱۵-۱۰ درصد

۴-۲-۳ مزایا و معایب روش غیرمستقیم

مزایا: کنترل بهتر ترکیب محصولات نهایی (انعطاف‌پذیری بیشتر در نوع محصول نهایی)، امکان بهینه‌سازی هر مرحله به طور جداگانه و دمای عملیاتی پایین‌تر.

معایب: زمان فرآیند طولانی‌تر، پیچیدگی بیشتر و نیاز به تجهیزات بیشتر نسبت به روش مستقیم.

۴-۳- تبدیل مستقیم دی‌متیل اتر به بنزین(DTG)

در روش مستقیم، دی‌متیل اتر به‌طور مستقیم به بنزین تبدیل می‌شود. این روش شامل چند مرحله واکنش شیمیایی است که تحت شرایط خاص (دما و فشار) و با حضور کاتالیست‌های مناسب صورت می‌گیرد.

۴-۳-۱- فرایند مرحله اول: تبدیل دی‌متیل اتر (DME) به اولفین‌ها(Olefins)

این مرحله شامل واکنش دی‌متیل اتر در دما و فشار بالا (به طور معمول بین ۳۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد و فشارهای متوسط) در حضور کاتالیست‌های زئولیتی مانند ZSM-۵ است. این کاتالیست به دلیل ساختار متخلخل و ویژگی‌های اسیدی، امکان واکنش‌های متعدد مانند پلیمریزاسیون، آروماتیزاسیون و کراکینگ را فراهم می‌کند در

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

نتیجه این فرآیند، دی‌متیل‌اتر به مولکول‌های کوچکتری مانند اتیلن، پروپیلن و سایر اولفین‌ها تجزیه می‌شود.

مرحله دوم: پلیمریزاسیون اولفین‌ها به ترکیبات هیدروکربنی سنگین‌تر

اولفین‌های تولید شده سپس در حضور همان کاتالیست زئولیتی به ترکیبات هیدروکربنی سنگین‌تر مانند بنزین تبدیل می‌شوند. این مرحله شامل واکنش‌های پلیمریزاسیون و آروماتیزاسیون است که منجر به تولید ترکیبات معطر (آروماتیک) و هیدروکربن‌های زنجیره‌ای مانند هگزان و هپتان می‌شود.

مرحله سوم: تثبیت بنزین و جدا کردن محصولات جانبی

محصولات نهایی شامل بنزین، آب و گازهای سبک (مانند متان و اتان) هستند. فرآیندهای مختلفی برای جدا کردن محصولات جانبی (مانند برج‌های تقطیر) استفاده می‌شود تا بنزین خالص‌تری به دست آید.

۴-۳-۲- ترکیب محصولات به صورت درصدی در فرآیند DTG:

- بنزین: حدود ۸۰-۷۰ درصد
- نفتا: حدود ۲۰-۱۵ درصد
- محصولات جانبی (گازهای سبک مانند پروپان و بوتان): حدود ۱۰-۵ درصد

فرآیند MTG به‌طور خاص برای تولید بنزین طراحی شده است، بنابراین درصد بنزین در محصولات آن بسیار بالاست. این فرآیند نیز ممکن است به مقدار کمی گاز مایع (LPG) به عنوان محصول جانبی تولید کند.

۴-۳-۳- مزایا و معایب روش مستقیم

مزایا: روش مستقیم بازدهی بالاتری در تولید بنزین دارد و نسبت به روش‌های غیرمستقیم فرآیند کوتاه‌تر و اقتصادی‌تری است.

معایب: به دما و فشار بالاتری نیاز دارد و همچنین ممکن است منجر به تولید محصولات جانبی ناخواسته‌ای شود که باید جدا و تصفیه شوند.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

۵- پروژه‌های GTL انجام شده در دهه اخیر

جدول ۲ شامل اطلاعات مربوط به تعدادی از پروژه‌های GTL است که از سال ۲۰۱۰ تاکنون در جهان انجام شده‌اند. این جدول شامل نام پروژه، کشور، سال تکمیل، هزینه‌های سرمایه‌ای (CAPEX)، ظرفیت تولید (بشکه در روز) و هزینه‌های عملیاتی (OPEX) است:

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

جدول ۲. برخی از پروژه‌های GTL انجام شده از سال ۲۰۱۰ تا کنون در کشورهای جهان

نام پروژه	کشور	سال تکمیل	ظرفیت تولید (بشکه در روز)	CAPEX (دلار)	OPEX (هزینه عملیاتی سالانه)
Escravos GTL	نیجریه	۲۰۱۴	۳۳،۰۰۰	حدود ۱۰ میلیارد	حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلیون دلار
Shchekino GTL (Shchekinoazot)	ازبکستان	۲۰۱۶	۱۳،۵۰۰	حدود ۷۰۰ میلیون	حدود ۵۰ میلیون دلار در سال
Uzbekistan GTL (UzGTL)	روسیه	۲۰۲۱	۳۸،۰۰۰	حدود ۳،۶ میلیارد	حدود ۱۵۰ میلیون دلار
Pearl GTL	قطر	۲۰۱۱ ارتقا تا ۲۰۲۳	۱۴۰۰۰۰	حدود ۱۹ میلیارد	حدود ۱ میلیارد دلار
Oryx GTL	قطر	۲۰۲۳	۰۰۰،۳۴	حدود ۱ میلیارد	حدود ۵۰ تا ۶۰ میلیون دلار در سال
Mossel Bay GTL (PetroSA)	آفریقای جنوبی	۲۰۲۳	۰۰۰،۳۶	اولیه ۲ میلیارد (۱۹۹۲)، به‌روزرسانی‌ها بعد از ۲۰۱۰	حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیون دلار در سال
Bintulu GTL	مالزی	۲۰۲۳	۱۴،۷۰۰	اولیه ۱،۵ میلیارد	حدود ۷۵ تا ۱۰۰ میلیون دلار در سال

۶- ارزیابی اقتصادی

همانطور که در بخش ۴ توضیح داده شد، روش‌های IMTG و DTG به طور خاص برای تولید بنزین طراحی شده اند. با این حال علیرغم این که از روش DTG درصد بنزین کمتری نسبت به روش IMTG حاصل می‌شود، اما دارای مزایایی است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود:

- به طور کلی استفاده از روش DTG سبب کاهش مراحل لازم برای تبدیل به محصولات نهایی و در نتیجه آن کاهش هزینه‌ها می‌شود.
- بنزین حاصل از روش DTG دارای کیفیت و کمیت بالاتری است که به راحتی می‌تواند در موتورهای احتراق داخلی استفاده شود.
- DTG فرآیند ساده‌تر و کارآمدتری نسبت به IMTG دارد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

با توجه به توضیحات و برتری روش DTG نسبت به IMTG، در این پژوهش، ارزیابی اقتصادی با استفاده از روش DTG انجام شده است.

۶-۱- هزینه‌های سرمایه‌گذاری

هزینه سرمایه‌گذاری برای واحدهای تبدیل گاز به فرآورده‌های مایع (GTL) به عوامل مختلفی بستگی دارد که در زیر شرح داده می‌شود.

۶-۱-۱- عوامل کلیدی موثر بر هزینه‌های سرمایه‌ای (CAPEX) برای کارخانه‌هایGTL

ظرفیت و مقیاس کارخانه:

- اندازه کارخانه :کارخانه‌های بزرگ‌تر از اقتصاد مقیاس بهره‌مند می‌شوند و هزینه تولید هر واحد را کاهش می‌دهند، اما نیاز به سرمایه‌گذاری‌های اولیه بیشتری دارند. کارخانه‌های کوچک‌تر ممکن است CAPEX کمتری داشته باشند، اما هزینه‌های عملیاتی بالاتری داشته باشند.
- ظرفیت تولید: ظرفیت تولید که به بشکه در روز (bpd) اندازه‌گیری می‌شود، به‌طور قابل‌توجهی CAPEX را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کارخانه‌های GTL معمولی از مقیاس کوچک (۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ بشکه در روز) تا مقیاس بزرگ (۵۰۰۰۰+ بشکه در روز) متغیر هستند.

مکان:

- نزدیکی به ذخایر گاز: کارخانه‌ای که به ذخایر گاز طبیعی نزدیک‌تر باشد، هزینه‌های حمل‌ونقل خوراک کمتری داشته و در نتیجه CAPEX کمتری خواهد داشت.
- زیرساخت: دسترسی به زیرساخت‌های موجود (مانند خطوط لوله، جاده‌ها، بنادر، تاسیسات) می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر CAPEX داشته باشد.
- محیط سیاسی و نظارتی: قوانین محلی، مالیات‌ها، عوارض وارداتی بر تجهیزات، و هزینه‌های رعایت قوانین زیست‌محیطی در مناطق مختلف متفاوت بوده و می‌توانند CAPEX را تحت تأثیر قرار دهند.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

فناوری و فرآیند:

- نوع فناوری :GTL دو فناوری اصلی، سنتز فیشر-تروپش (FT) و متانول به بنزین (MTG) هستند. فیشر-تروپش بیشتر رایج است، اما به دلیل پیچیدگی راکتورها و کاتالیست‌ها می‌تواند گران‌تر باشد.
- طراحی فرآیند :طراحی کارخانه، مانند پیکربندی یک‌قطار در مقابل چندقطار، بر CAPEX تأثیر می‌گذارد. فناوری‌های پیشرفته مانند راکتورهای FT فشرده یا کارخانه‌های مدولار ممکن است CAPEX را کاهش دهند.

کیفیت خوراک:

- ترکیب گاز: خلوص و ترکیب خوراک گاز طبیعی، پیچیدگی فرآیند پیش‌تصفیه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. سطوح بالاتر ناخالصی‌ها مانند گوگرد یا (CO۲) نیاز به تجهیزات اضافی داشته و CAPEX را افزایش می‌دهد.

هزینه‌های مواد و ساخت:

- هزینه مواد: نوسانات قیمت فولاد، بتن و سایر مصالح ساختمانی می‌تواند بر CAPEX تأثیر بگذارد.
- هزینه‌های نیروی کار: به‌طور گسترده‌ای براساس مکان و در دسترس بودن نیروی کار ماهر برای وظایف تخصصی مانند جوشکاری، لوله‌کشی و مدیریت کاتالیست متفاوت است.

هزینه‌های EPC (مهندسی، خرید و ساخت):

- طراحی مهندسی و مدیریت پروژه: طراحی مهندسی دقیق، خرید تجهیزات و خدمات مدیریت ساخت، از مؤلفه‌های اصلیCAPEX هستند.
- هزینه‌های احتیاطی: معمولاً پروژه‌ها یک بودجه احتیاطی برای پوشش هزینه‌های غیرمترقبه دارند که بسته به مرحله پروژه و پروفایل ریسک از ۵ تا ۳۰ درصد از کل CAPEX متغیر است.

به طور کلی سرمایه‌گذاری به ازای هر بشکه محصول نهایی، در برآورد هزینه سرمایه‌گذاری واحد GTL نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کند. براساس بررسی‌های مختلف

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

هزینه سرمایه‌گذاری بر مبنای اندازه و ظرفیت واحد به شرح زیر در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. هزینه سرمایه‌گذاری برای احداث واحدهای GTL بر مبنای اندازه واحد

اندازه واحد	ظرفیت (بشکه در روز)	هزینه سرمایه‌گذاری(دلار به ازای هر بشکه)
کوچک	تا ۱۰۰۰۰	۸۵۰۰۰
متوسط	بین ۱۰۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰	۷۵۰۰۰
بزرگ	بیش از ۳۵۰۰۰	۶۰۰۰۰

ماخذ: Department of Industry, Science & Resources of Gaffney, Cline & Associates

۶-۱-۲- هزینه خرید دانش فنی

در طرح‌های صنعتی عموما بین ۵ تا ۱۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری به هزینه خرید دانش فنی طرح اختصاص می‌یابد. در این مطالعه این هزینه به میزان حداکثر و معادل ۱۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری واحد تبدیل گاز به فرآورده‌های نفتی برآورد می‌شود.

۶-۲- مفروضات پروژه

در جدول ۴ بعضی فروضات نظیر دوره ساخت، دوره بهره برداری، نرخ تنزیل، نرخ دلار وجهت محاسبه و ارزیابی اقتصادی طرح آمده است.

جدول ۴. مفروضات طرح

ردیف	عنوان	توضیحات
۱	دوره ساخت	۴ سال
۲	دوره بهره‌برداری	۲۰ سال
۳	نرخ تنزیل ارزی کل سرمایه‌گذاری	۱۰ درصد
۴	نرخ دلار	۶۰۰ هزار ریال
۵	دوره استهلاک	۲۰
۶	نرخ اسقاطی	۵ درصد
۷	نرخ تنزیل	۱۰ درصد
۸	ارزش اسقاط در پایان پروژه	۰
۹	تعداد روزهای عملیاتی در سال	۳۳۰
۱۰	تخصیص سرمایه‌گذاری به طور سالانه	۲۵ درصد

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

طول دوران ساخت پروژه‌های GTL در دنیا بین ۲ الی ۵ سال می‌باشد، که در اینجا این زمان ۴ سال در نظر گرفته شده است. مدت زمان بهره‌برداری طرح نیز به میزان ۲۰ سال لحاظ شده است.

همچنین نرخ تنزیل عموما در پروژه‌ها بین ۵ الی ۱۰ درصد در نظر گرفته می‌شود اما با توجه به بالا بودن این نرخ در ایران، ۱۰ درصد لحاظ شده است.

۶-۳- درآمدهای حاصل از فروش فرآورده‌های اصلی طرح

برآورد قیمت محصولات جانبی

فرآورده‌های حاصل در روش DTG به طور عمده شامل بنزین، نفتا و LPG می‌باشد. درصد ترکیب این محصولات همانطور که در قسمت ۲,۳,۲ شرح داده شد، شامل ۷۵ درصد بنزین، ۲۰ درصد نفتا و ۵ درصد LPG در نظر گرفته شده است.

قیمت بنزین

در جدول زیر میانگین قیمت بنزین به صورت سالانه طی سال‌های ۲۰۰۴ الی ۲۰۲۳ آمده است. در این جا مبنای قیمت میانگین ۲۰ ساله، مبنای محاسبه در نظر گرفته شده است.

جدول ۵. قیمت‌های خرده‌فروشی بنزین در ایالات متحده (همه درجه‌ها همه فرمولاسیون‌ها)

(دلار در هر گالن)

سال	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳
قیمت	۱,۸۹۵	۲,۳۱۴	۲,۶۱۸	۲,۸۴۳	۳,۲۹۹	۲,۴۰۶	۲,۸۳۵	۳,۵۷۶	۳,۶۸	۳,۵۷۵
سال	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲	۲۰۲۳
قیمت	۳,۴۳۷	۲,۵۲	۲,۲۵	۲,۵۲۸	۲,۸۱۳	۲,۶۹۱	۲,۲۵۸	۳,۱	۴,۰۵۹	۳,۶۳۵
میانگین										۲,۹۱۶۶

قیمت نفتا

میانگین قیمت نفتا طی سالیان گذشته، مشابه سایر محصولات نفتی، متغیر بوده است. بر اساس داده‌های اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده(EIA) ، قیمت‌های لحظه‌ای نفتا، مانند سایر سوخت‌ها، تحت تأثیر روندهای بازار جهانی، تقاضا و عوامل عرضه قرار

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

می‌گیرد. بر اساس میانگین قیمت نفتا طی یک سال گذشته (سپتامبر ۲۰۲۳ الی سپتامبر ۲۰۲۴)، ۶۵۷,۹ دلار در تن بوده است.

در این پژوهش، این مقدار ۶۵۰ دلار در تن منظور گردیده است.

قیمت LPG

میانگین قیمت LPG (گاز مایع) در ایالات متحده در ۲۰ سال گذشته متغیر بوده است. بر اساس داده‌های اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده (EIA)، قیمت‌ها معمولاً بین حدود ۱ دلار تا بیش از ۳ دلار در هر گالن نوسان داشته‌اند. این نوسانات به عوامل مختلفی مانند تقاضا، مشکلات زنجیره تأمین، و قیمت جهانی نفت بستگی دارد. در این مطالعه قیمت LPG، ۲,۵ دلار در هر گالن در نظر گرفته شده است.

جدول ۶. میزان در آمد حاصل از فروش فراورده‌ها در طرح GTL با مقیاس کوچک

واحد GTL ظرفیت ۱۰۰۰۰ بشکه	درآمد حاصل از واحد GTL با مقیاس کوچک								
	ردیف	محصول نهایی	درصد در هر بشکه	قیمت بر حسب یک بشکه	مقدار محصول (بشکه در روز)	مقدار محصول (بشکه در سال)	درآمد روزانه (دلار در روز)	درآمد سالانه (دلار)	مجموع درآمد طی ۲۰ سال
	۱	بنزین	۷۵	۱۲۲	۷,۵۰۰	۲,۴۷۵,۰۰۰	۹۱۸,۷۲۹	۳۰۳,۱۸۰,۵۷۰	۶,۰۶۳,۶۱۱,۴۰۰
	۲	نفتا	۲۰	۷۲	۲,۰۰۰	۶۶۰,۰۰۰	۱۴۴,۴۴۴	۴۷,۶۶۶,۶۶۷	۹۵۳,۳۳۳,۳۳۳
	۳	LPG	۵	۱۰۵	۵۰۰	۱۶۵,۰۰۰	۵۲,۵۰۰	۱۷,۳۲۵,۰۰۰	۳۴۶,۵۰۰,۰۰۰
	جمع		۱۰۰		۱۰,۰۰۰	۳,۳۰۰,۰۰۰	۱,۱۱۵,۶۷۳	۳۶۸,۱۷۲,۲۳۷	۷,۳۶۳,۴۴۴,۷۳۳

جدول ۷. میزان در آمد حاصل از فروش فراورده‌ها در طرح GTL با مقیاس متوسط

واحد GTL ظرفیت ۳۰۰۰۰ بشکه	درآمد حاصل از واحد GTL با مقیاس متوسط								
	ردیف	محصول نهایی	درصد در هر بشکه	قیمت بر حسب یک بشکه	مقدار محصول (بشکه در روز)	مقدار محصول (بشکه در سال)	درآمد روزانه (دلار در روز)	درآمد سالانه (دلار)	مجموع درآمد طی ۲۰ سال
	۱	بنزین	۷۵	۱۲۲	۷,۵۰۰	۷,۴۲۵,۰۰۰	۲,۷۵۶,۱۸۷	۹۰۹,۵۴۱,۷۱۰	۱۸,۱۹۰,۸۳۴,۲۰۰
	۲	نفتا	۲۰	۷۲	۲,۰۰۰	۱,۹۸۰,۰۰۰	۴۳۳,۳۳۳	۱۴۳,۰۰۰,۰۰	۲,۸۶۰,۰۰۰,۰۰۰
	۳	LPG	۵	۱۰۵	۵۰۰	۴۹۵,۵۰۰	۱۵۷,۵۰۰	۵۱,۹۷۵,۰۰۰	۱,۰۳۹,۵۰۰,۰۰۰
	جمع		۱۰۰		۳۰,۰۰۰	۹,۹۰۰,۰۰۰	۳,۳۴۷,۰۲۰	۱,۱۰۴,۵۱۶,۷۱۰	۲۲,۰۹۰,۳۳۴,۲۰۰

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

جدول ۸. میزان در آمد حاصل از فروش فراورده‌ها در طرح GTL با مقیاس بزرگ

واحد GTL ظرفیت ۵۰۰۰۰ بشکه	درآمد حاصل از واحد GTL با مقیاس بزرگ								
	ردیف	محصول نهایی	درصد در هر بشکه	قیمت بر حسب یک بشکه	مقدار محصول (بشکه در روز)	مقدار محصول (بشکه در سال)	درآمد روزانه (دلار در روز)	درآمد سالانه (دلار)	مجموع درآمد طی ۲۰ سال
	۱	بنزین	۷۵	۱۲۲	۳۷,۵۰۰	۱۲,۳۷۵,۰۰۰	۴,۵۹۳,۶۴۵	۱,۵۱۵,۹۰۲,۸۵۰	۳۰,۳۱۸,۰۵۷,۰۰۰
	۲	نفتا	۲۰	۷۲	۱۰,۰۰۰	۳,۳۰۰,۰۰۰	۷۲۲,۲۲۲	۲۳۸,۳۳۳,۳۳۳	۴,۷۶۶,۶۶۶,۶۶۷
	۳	LPG	۵	۱۰۵	۲,۵۰۰	۸۲۵,۰۰۰	۲۶۲,۵۰۰	۸۶,۶۲۵,۰۰۰	۱,۷۳۲,۵۰۰,۰۰۰
		جمع	۱۰۰		۵۰,۰۰۰	۱۶,۵۰۰,۰۰۰	۵,۵۷۸,۳۶۷	۱,۱۰۴,۵۱۶,۷۱۰	۳۸,۸۱۷,۲۳۶,۶۶۷

۶-۴- نتایج امکان‌سنجی مالی طرح

در جدول ۹ مقادیر نرخ بازده داخلی ارزش خالص فعلی، دوره بازگشت سرمایه و قیمت بنزین بر مبنای اندازه و ظرفیت واحد GTL محاسبه و درج گردیده است. همانطور که مشاهده می‌گردد با افزایش ظرفیت واحد GTL ضمن افزایش سودآوری پروژه، از قیمت بنزین تولیدی کاسته شده و این مقدار برای واحد بزرگ حدود ۲۸۶۰۰ تومان برآورد می‌شود.

جدول ۹. میزان هزینه بهره برداری طرح

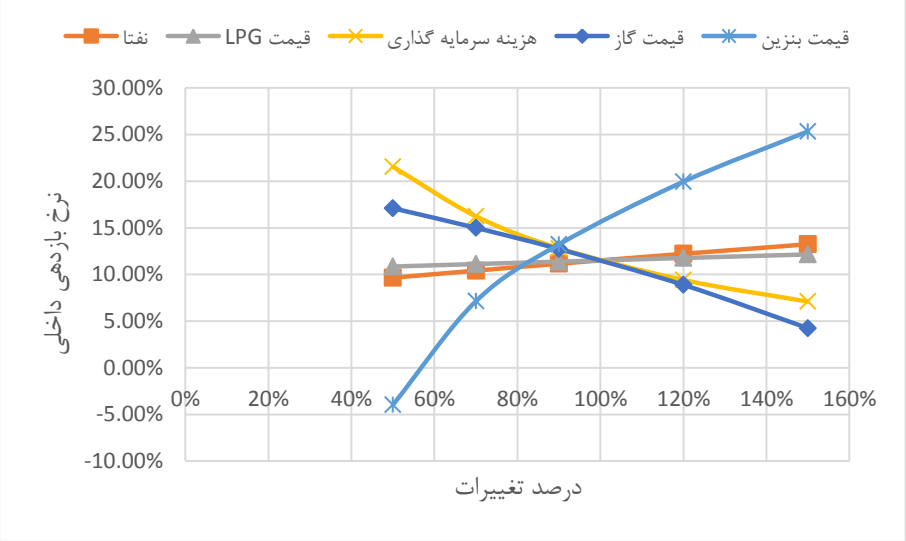
اندازه و ظرفیت واحد	IRR		NPV $	NPB	DPB	قیمت هر لیتر بر حسب دلار	قیمت هر لیتر بنزین بر حسب تومان
واحد کوچک با ظرفیت ۱۰۰۰۰ بشکه در روز	نرخ ارز مبادله‌ای	٪۱۱/۵۱	۱۰۷,۶۸۸,۹۹۳	۷	۱۵	۰/۵۹۷	۲۶۴۴۱
	نرخ ارز آزاد	٪۱۴/۵۸	۳۴۶,۸۹۵,۲۰۸	۵	۱۰	۰/۵۲۴۳	۳۱۴۵۹
واحد متوسط با ظرفیت ۳۰۰۰۰ بشکه در روز	نرخ ارز مبادله‌ای	٪۱۳/۰۷	۵۹۸,۵۲۷,۷۸۵	۶	۱۲	۰/۵۸۲	۲۵۷۸۴
	نرخ ارز آزاد	٪۱۶/۳۴	۱,۳۱۶,۱۴۶,۴۳۱	۵	۸	۰/۵۰۹۵	۳۰۵۶۹
واحد بزرگ با ظرفیت ۵۰۰۰۰ بشکه در روز	نرخ ارز مبادله‌ای	٪۱۶/۸۴	۱,۹۱۱,۲۴۸,۵۵۵	۵	۷	۰/۵۴۹	۲۴۳۲۲
	نرخ ارز آزاد	٪۲۰/۳۹	۳,۰۹۵,۹۹۶,۳۱۹	۴	۶	۰/۴۷۷۲	۲۸۶۳۰

نرخ ارز مبادله‌ای ۴۴۳۰۰ تومان و نرخ ارز آزاد ۶۰۰۰۰ تومان لحاظ گردیده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

۷- تحلیل حساسیت

در این قسمت آنالیز حساسیت برای نرخ بازده داخلی در صورت تغییر پارامترهای اصلی از جمله تغییر در نرخ خوراک گاز طبیعی، قیمت فرآورده‌ها شامل بنزین، نفتا، LPG و همچنین هزینه سرمایه‌گذاری مورد ارزیابی قرار گرفته اند. همانطور که مشخص است با افزایش نرخ فرآورده‌ها علی الخصوص بنزین (به عنوان بیشترین محصول تولیدی، IRR افزایش یافته و در مقابل با افزایش هزینه‌های گاز طبیعی و سرمایه‌گذاری نرخ بازدهی داخلی کاهش یافته به طوری که حتی در واحدهای بزرگ مقیاس نیز طرح از توجیه اقتصادی برخوردار نخواهد بود. مطابق ارزیابی‌های اقتصادی صورت گرفته (نمودار۲)، اقتصاد این طرح بیشترین وابستگی را به ترتیب نسبت به قیمت بنزین، هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه گاز طبیعی، قیمت نفتا و در نهایت قیمت LPG دارد.



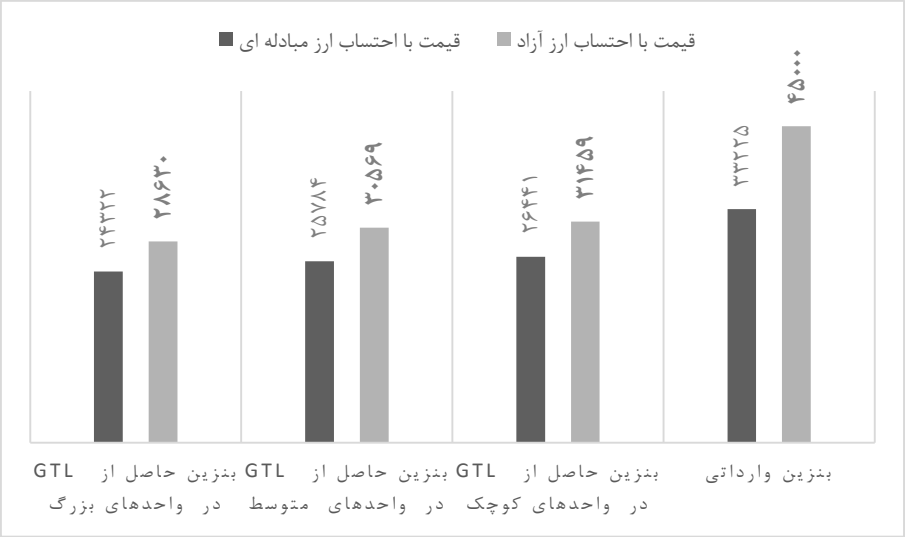
نمودار ۲. آنالیز حساسیت اقتصاد طرح نسبت به متغیرهای کلیدی

۸- مقایسه بنزین وارداتی با بنزین‌های حاصل از فناوری GTL

علیرغم اینکه آمار دقیق و قطعی از قیمت واردات بنزین وجود ندارد اما بر اساس آخرین گزارشات و اظهار نظرهای مسئولین ذیربط، این قیمت حدود ۳۸ هزار الی ۴۰ هزار تومان برآورد شده است. همچنین بر اساس اسناد منتشر شده وزارت نفت، حجم واردات بنزین ایران در سال گذشته ۴ میلیارد و ۱۵ میلیون لیتر به ارزش ۳ میلیارد و ۱۱

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

میلیون دلار بوده است. که بدین ترتیب ارزش هر لیتر بنزین وارداتی ۷۵ سنت تعیین می‌گردد که بر مبنای دلار بازار آزاد (۶۰ هزار تومان)، این رقم ۴۵ هزار تومان و بر مبنای ارز مبادله‌ای ۳۳۲۲۵ تومان برآورد می‌شود.



نمودار ۳. مقایسه بنزین حاصل از فناوری GTL با بنزین وارداتی بر مبنای نرخ ارز آزاد و نرخ مبادله ای

۹- نتایج

مشکل ناترازی بنزین طی سال‌های اخیر به یکی از معضلات جدی در کشور تبدیل شده و به ناچار دولت‌ها را مجبور به واردات میزان زیادی بنزین در سال نموده است. تداوم روند فعلی علاوه بر میزان ارزبری بالا، می‌تواند مشکلات جدی در تامین سوخت کشور، علی‌الخصوص در صورت تشدید تحریم‌ها یا مناقشات بین‌المللی را به همراه داشته باشد. استفاده از فناوری GTL به عنوان یکی از راهکارهای افزایش عرضه و کاهش واردات بنزین در بلندمدت می‌تواند وابستگی به واردات بنزین از خارج را کاهش دهد و موجب بهبود امنیت انرژی شود. این امر به خصوص در شرایط تحریم‌های اقتصادی یا تغییرات در قیمت‌های جهانی بنزین اهمیت دارد. به علاوه بنزین حاصل از روش GTL، به دلیل داشتن مقادیر کمتر گوگرد، خلوص بالاتر و آلایندگی کمتری نسبت به بنزین‌های تولید شده از پالایشگاه نفت دارند. در زیر و به صورت خلاصه مهم‌ترین نتایج این پژوهش ارائه شده‌اند.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

- طبق نتایج ارزیابی (جدول شماره ۹)، دو عامل مقیاس تولید و نرخ ارز مبنای محاسبه (آزاد و مبادله ای)، رابطه مستقیمی با شاخص‌های ارزیابی طرح داشته به این مفهوم که در مقیاس‌های کوچک‌تر، به دلیل کاهش نرخ بازدهی داخلی، جذابیت سرمایه‌گذاری کمتر شده و همچنین در نرخ‌های ارز مبادله‌ای در مقایسه با نرخ ارز آزاد، به دلیل کاهش ارزش خالص فعلی و نرخ بازدهی داخلی، بازدهی سرمایه‌گذاری طرح کاهش یافته و به تبع آن از جذابیت سرمایه‌گذاری کاسته می‌شود.

- همانطور که در نمودار ۳ نشان داده شد، قیمت بنزین حاصل از روش GTL در هر سه واحد (کوچک-متوسط- بزرگ) ارزان‌تر از بنزین وارداتی است. با این تفاوت که در واحدهای بزرگ GTL، نرخ بازدهی داخلی از میزان بالاتری برخوردار بوده و بازگشت سرمایه نیز زودتر اتفاق خواهد افتاد.

- احداث واحدهای GTL در صورتی توصیه می‌شود که مشکل ناترازی بنزین تداوم داشته باشد و امکان تامین سوخت مورد نیاز کشور از طریق فرآیندهای فشار افزایی و افزایش تولید، احداث پالایشگاها و راه‌های جایگزین فراهم نباشد. بدیهی است در صورت حل این بحران با استفاده از روش‌های فنی یا قیمتی، طرح مزیت قابل توجهی نخواهد داشت.

- ایجاد این طرح منوط به عرضه پایدار و مسمتر گاز طبیعی می‌باشد. با توجه به مشکل ناترازی گاز در کشور علی الخصوص در فصول سرد باید تدبیری برای تامین خوراک واحدهای GTL نمود.

- به منظور تامین ارزان‌تر گاز، می‌توان از گازهای مشعل به عنوان خوراک در واحدهای کوچک GTL استفاده نمود. بدیهی است میزان سودآوری طرح با تامین خوراک ارزانتر افزایش خواهد یافت.

- این طرح می‌تواند مزایای دیگری همچون ایجاد اشتغال، کاهش آلودگی زیست محیطی، امنیت انرژی، کاهش وابستگی به نفت را داشته باشد که می‌تواند در تصمیم‌گیری برای احداث این گونه واحدها حائز اهمیت باشد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

۱۰- پیشنهادات

- **درج ارزش زیست‌محیطی در قیمت‌گذاری:** پیشنهاد می‌شود ارزش زیست‌محیطی تولید بنزین از GTL در تعیین قیمت بنزین، مد نظر قرار گیرد. بدیهی است لحاظ نمودن ارزش زیست محیطی، موجب بازدهی و سودآوری بیشتر طرح خواهد شد.

- **تشویق بخش خصوصی جهت سرمایه‌گذاری برای احداث واحدهای GTL:** به طوری کلی دولت به عنوان نهاد حاکمیتی می‌تواند از طریق اعطاء یارانه، تخفیف خوراک در سال‌های ابتدایی راه‌اندازی طرح، معافیت‌های مالیاتی، تسهیل مقررات، ایجاد زیر ساخت و مواردی از این دست به بخش خصوصی، موجب ایجاد انگیزه لازم برای سرمایه‌گذاری سرمایه گذران داخلی و خارجی در احداث این واحدها شود.

- **تعامل با صنعت و تکمیل زنجیره ارزش:** ایجاد هم‌افزایی با صنایع دیگر نظیر پتروشیمی‌ها می‌تواند علاوه برکاهش هزینه‌ها، به تکمیل زنجیره ارزش و افزایش ارزش‌افزوده کمک نماید.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

Studies and Economic Evaluation of Gasoline Production From GTL Technology

Mohammad sadegh Jokar [١]

Assistant Professor, Energy Economics Department, Institute for International Energy Studies (IIES), Tehran- Iran, (ms.jokar@iies.net)

Mohammad Hosein Golshan

Researcher at Institute of International Energy Studies, (golshanhosein@gmail.com)

Received: ٢٠٢٤/٠٨/٢٦ **Accepted: ٢٠٢٤/١١/٣٠**

Abstract

The state of Gasoline consumption in Iran has grown significantly in the following years. According to the report of Iran's National Company for Refining and Distribution of Petroleum Products, the daily consumption of gasoline in ٢٠٢٤ has reached about ١١٢ million liters, which shows an increase of more than ٤٠٪ compared to ٢٠١٦. According to reports, this amount of consumption reaches ١٤٠ million liters per day even during holidays and with the growth of trips. On the other hand, there is a limited capacity to produce gasoline in the country. The nominal production complexes of the refinery produce about ١١٠ million liters per day, but in practice it is only between ٩٨ and ١٠٤ million liters per day. On the other hand, according to the reports and comments of the country's official authorities, the amount of gasoline shortage has reached ٦ to ١١ million liters per day in the last two years, which leads to a foreign exchange loss of about three million dollars in imports. . is Several solutions have been stated to deal with the problem of Natrazi Ben, the production of natural gas by the process known as GTL (Gas to Liquid) can be a suitable option to solve this problem. GTL technology refers to a process in which natural gas is converted into valuable products such as methanol, dimethyl ether and other intermediates (such as gasoline, diesel and kerosene). In this research, the economic evaluation of the gasoline production plan using GTL technology and its comparison with the imported price in order to deal with the problem of gasoline imbalance as one of the solutions has been paid. The results of this research indicate that it produces a factor, which means that two factors that have two factors are evaluated according to the values of the plan and by increasing the value, it significantly affects the evaluation indices. GTL units as well as internal rate of return assessment and thus investment attractiveness increases. Also, the price of gasoline produced from this project is affordable in all cases compared to the produced gasoline, and if the problem of gasoline imbalance continues in the long term, it is recommended to build these units.

---

١. Corresponding Author

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

JEL Classification: P۲۸, L۷۱, Q۴۰, O۱۳, M۲۱.

Keywords: economic evaluation, gas to liquid conversion (GTL), MTG, DTG, gasoline.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

منابع

- احمدخانی، علیرضا؛ جوان، افشین(۱۳۸۲)، بررسی اقتصادی فن آوری GTL، نشریه انرژی ایران، سال هشتم، شماره ۱۸
- توانپورپاوه، مصطفی؛ کاظمی، خلیل؛ فرمد، مجید(۱۳۸۷)، ارزیابی فنی - اقتصادی احداث واحدهای تولید فرآورده‌های GTL در کشور، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۱۵، ۱۶۶-۱۴۳
- خلیلی عراقی، سید منصور؛ وطنی، علی؛ کسرائی، زینب؛ حاجی حیدری، آمنه (۱۳۸۷). ارزیابی اقتصادی تولید فرآورده‌های حاصل از فن آوری تبدیل گاز به مایع (GTL) در ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، دوره۵، شماره ۱۸، صفحات ۳۴-۱.
- سلیمی فر، مصطفی؛ حسینی سید حامد(۱۳۹۱). ارزیابی اقتصادی احداث واحد تبدیل گاز به فرآورده‌های مایع پس از اجرای قانون هدفمندی رایانه‌ها در ایران. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، دوره ۹، شماره ۳۲، صفحات ۲۴-۱.
- خراسانی، نسرین؛ مهدوی عادلی، محمدحسین؛ سیفی، احمد(۱۳۹۴). مقایسه‌ی ارزیابی اقتصادی صادراتLNG وGTL برای ایران، فصل نامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال دهم، شماره ۴۴، بهار۱۳۹۴، صفحات۲۳۲-۲۰۱
- ابراهیمی سالاری، تقی؛ مهدوی عادلی، محمدحسین؛ حسینی، سید حامد؛ حسینی، سید مهدی(۱۳۹۴). ارزیابی اقتصادی احداث واحد تبدیل گاز طبیعی به فرآورده‌های مایع در منطقه ویژه اقتصادی سرخس، فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال‌یازدهم، شماره ۴۷، زمستان۱۳۹۴، صفحات۱۱۹-۹۵.
- عظیمی‌فر، محمد صادق؛ باقری بیگی، امیرحسین(۱۳۹۷). تبدیل گاز طبیعی به مایع (GTL)؛ مروری بر تکنولوژی، پروژه ها، اقتصاد و آینده، ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۵۵، صفحات ۲۳-۲۰.
- دانشی، محمد سعید، دستخوان، حسین (۱۴۰۳). ارزیابی طرح تبدیل متانول به بنزین (MTG)؛ عبور از بحران مازاد متانول و ناترازی بنزین، فصلنامه مطالعات اقتصادانرژی، سال بیستم، شماره۷۳، صفحات ۱۸۶-۱۴۹.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

- Dong Lichun, Wei Shun'an, Tan Shiyu and Zhang Hongjing (۲۰۰۸), GTL or LNG: Which is the best way to monetize "stranded" natural gas?., Petroleum Science, , Vol. ۵,No. ۳۸۸-۳۹۴ .
- DOI: ۱۰,۱۰۰۷/s۱۲۱۸۲-۰۰۸-۰۰۶۳-۸
- N. Ejiofor, S. L. Patil, G. A. Chukwu, D. Reynolds, S. Khataniar, A. Y. Dandekar(۲۰۰۸), Economic Appraisal of Transporting Gas-to-Liquids Products through the Trans-Alaska Pipeline System (TAPS), Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy Volume ۳, ۲۰۰۸ -Issue ۲.
- DOI: ۱۰,۱۰۸۰/۱۵۵۶۷۲۴۰۶۰۱۰۵۷۱۶۴
- Maha Abdel-Kreem, M. Bassyouni, Shereen, M.-S. Abdel-Hamid and Hussein Abdel-Aal(۲۰۰۹), The Role of GTL Technology as an Option to Exploit Natural Gas Resources, The Open Fuel Cells Journal, Volume ۲, ۵-۱۰
- Menon, Manu ۲۰۱۶, "Comparative Study of Gas to Liquids (GTL) Technology for Monetising Marginal Reserves and Wasted Flared Gas." Paper presented at the Offshore Technology Conference Asia, Kuala Lumpur, Malaysia .
- DOI: ۱۰,۴۰۴۳/۲۶۴۷۳-MS
- David J. Ramberg, Y.H. Henry Chen, Sergey Paltsev, John E. Parsons(۲۰۱۷), The economic viability of gas-to-liquids technology and the crude oil–natural gas price relationship. Energy Economics, Volume ۶۳, March ۲۰۱۷, Pages ۱۳-۲۱ .
- https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.eneco.۲۰۱۷,۰۱,۰۱۷
- Ekwueme S.T. et al. (۲۰۱۹). "Economics of Gas-to-Liquids (GTL) Plants," Petroleum Science and Engineering, ۳(۲): ۸۵-۹۳.
- MINI-GTL TECHNOLOGY BULLETIN, Volume ۸, December ۲۰۲۰, World Bank GGFR.
- Saad A. Al-Sobhi, Ahmed AlNouss, Mohammad Alhamad ۲۰۲۱, Techno-economic and environmental assessment of Gasoline produced from GTL and MTG processes, Computer Aided Chemical Engineering, Volume ۵۰,Pages ۱۸۲۷-۱۸۳۲

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]

- https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/B۹۷۸-۰-۳۲۳-۸۸۵۰۶-۵,۵۰۲۸۳-۷
- Mostafa Jafari, Ali Vatani, Mohammad Shahab Deljoo, Amirhossein Khalili-Garakanim ۲۰۲۱, Techno-Economic Analysis of Flare Gas to Gasoline (FGTG) Process through Dimethyl Ether Production, JOURNAL OF GAS TECHNOLOGY, Volume ۶,Issue ۲, Pages ۲۸-۴۴.
- DOR: ۲۰,۱۰۰۱,۱,۲۵۸۸۵۵۹۶,۲۰۲۱,۷,۲,۳,۵
- Kaveh Zayer Kabeh, Ramin Haghighi Khoshkhoo ۲۰۲۱, Economic feasibility of small-scale gas to liquid technology in reducing flaring in Iran and case study of implementing the technology at the third South Pars refinery, Energy Equip. Sys, Vol. ۹,No. ۴, ۳۱۷-۳۳۰.
- DOI: ۱۰,۲۲۰۵۹/EES.۲۰۲۱,۲۴۸۶۲۳
- BP Stats Review of World Energy(۲۰۲۲), Full-Report. Available online at http://www.bp.com.
- Deborah Braide, Christopher Panaritis, Gregory Patience, Daria Camilla Boffito(۲۰۲۴), The economic viability of gas-to-liquids technology and the crude oil–natural gas price relationship, Fuel journal, Volume ۳۷۵, ۱۳۲۳۸۵.
- DOI: ۱۰,۱۰۱۶/j.fuel.۲۰۲۴,۱۳۲۳۸۵

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-01-22]