

## ارزیابی فنی و اقتصادی تولید ماده پفزا آزودی کربن آمید

زهره طاهرخانی<sup>۱\*</sup>، امید شجاع<sup>۱</sup>، الهه بهلولبندی<sup>۲</sup>، هادی مؤمنی<sup>۳</sup> و محمود اکبری<sup>۳</sup>

۱. استادیار گروه پژوهشی طراحی فرایندهای شیمیایی، جهاد دانشگاهی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران.
۲. استادیار گروه پژوهشی شیمی کاربردی، جهاد دانشگاهی، دانشکده شیمی، دانشگاه تهران، تهران.
۳. کارشناس ارشد مهندس فرایند مرکز خدمات تخصصی نفت، گاز و پتروشیمی، جهاد دانشگاهی، دانشگاه تهران، تهران.

دریافت: دی ۹۹ بازنگری: دی ۹۹ پذیرش: بهمن ۹۹



10.30495/JACR.2022.691398



20.1001.1.17359937.1401.16.1.5.7

### چکیده

آزودی کربن آمید محبوبترین عامل پفزا شیمیایی برای ساخت اسفنجهای بسیاری است. با توجه به عدم تولید داخلی، آمار بالای واردات و مصرف زیاد این ماده در کشور، احداث واحد تولید آن ضروری به نظر می‌رسد. با این وجود، اتخاذ تصمیم مطمئن نسبت به سرمایه‌گذاری، نیازمند ارزیابی جامع اقتصادی طرح است. در این پژوهش، ارزیابی اقتصادی تولید ماده آزودی کربن آمید انجام و شاخص‌های اقتصادی بررسی شدند. سرمایه ثابت، سرمایه در گردش و سرمایه کل طرح با ظرفیت ۱۰۰۰ تن در سال به ترتیب برابر با ۲۳۰۳۵۰، ۱۱۷۰۴۰ و ۳۴۷۳۹۰ میلیون ریال، برآورد شدند. ارزیابی شاخص‌های اقتصادی طرح مشتمل بر نرخ بازده داخلی (IRR) برابر با ۳۸٪، ارزش خالص فعلی (NPV) برابر با ۱۲۶۷۰۱ میلیون ریال، نرخ برگشت سالیانه ۳۱٪ و دوره بازگشت سرمایه برابر با ۳/۲ سال بیانگر توجیه اقتصادی طرح بود. آنالیز حساسیت IRR نشان داد که به ترتیب درآمد فروش، هزینه سالیانه و هزینه ثابت، بیشترین درجه حساسیت را بر توجیه اقتصادی طرح دارند. همچنین، مهم‌ترین عامل مؤثر بر NPV و نوسان‌های نرخ تنزیل شناسایی شد، به طوری که در دامنه نرخ تنزیل ۲۱ تا ۳۸٪ احداث کارخانه تولید ماده آزودی کربن آمید توجیه اقتصادی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** تهیه آزودی کربن آمید، مطالعه‌های فنی و اقتصادی، طرح سرمایه‌گذاری

### مقدمه

به‌عنوان قلب فرایند تولید یک اسفنج بسیاری، شناخته می‌شود. عامل‌های پفزا برپایه سازوکار آزادسازی گاز در دو خانواده بزرگ شیمیایی و فیزیکی جای می‌گیرند. در عامل‌های فیزیکی، عامل تولید گاز، یک تغییر حالت فیزیکی مانند تبخیر آب است، در حالی که در عامل‌های پفزای شیمیایی، واکنش شیمیایی تولید گاز را به عهده دارد. مزیت

امروزه، اسفنج‌های<sup>۱</sup> بسیاری به‌طور گسترده در صنایع متفاوت مانند زیرسازی، مبلمان و مواد عایق استفاده می‌شوند. این مواد از یک فاز جامد و یک فاز گاز مخلوط‌شده با یکدیگر ساخته شده‌اند. فرایند انبساط با یک عامل پفزا

1. Foam

آمده از این ماده، گاز نیتروژن ۶۵٪، کربن مونوکسید ۲۴٪، کربن دی‌اکسید ۵٪ و آمونیاک ۵٪ است [۸ و ۹]. از این رو، این ماده به دلیل ویژگی خوب، پایداری مناسب، دمای تجزیه بالا و ایجاد مقدار به نسبت بالای گاز در واحد حجم، مورد توجه صنایع بوده و در برآوردن اهداف استفاده از عامل پفزا موفق تر عمل کرده است [۱۰].

این ماده بر پایه دستورالعمل اتحادیه اروپا، دیگر در آن قاره تولید نمی‌شود، بلکه در حال حاضر به طور عمده از آسیا وارد می‌شود. حجم این واردات در حدود ۲۰۰۰۰ تن در سال تخمین زده شده است [۱۰]. چندین فرایند متفاوت برای تولید آزودی کربن امید وجود دارد که همگی بر مبنای اکسایش و کاهش هیدرازودی کربن امید در حضور یک اکسنده است [۱۱]. روش‌های متفاوتی برای تولید هیدرازودی کربن امید در مقاله‌ها ارائه شده است. برخی از این روش‌ها به شرح زیر هستند:

۱. واکنش هیدرازین یا نمک‌های آن با اوره در حضور اسیدهای غیراکسیدکننده [۱۲].
۲. واکنش هیدرازین یا نمک‌های آن با اوره در حضور یک قلیا و جدا کردن آمونیاک تولید شده از مخلوط واکنش [۱۳].
۳. واکنش یک کتازین با اوره در حضور یک اسید غیراکسیدکننده [۱۳].
۴. واکنش یک کتازین با اوره در حضور یک قلیا و جدا کردن آمونیاک تولید شده و کتون و کتازین آب‌کافت نشده از واکنش [۱۴] و
۵. واکنش اوره با سمی کربازید [۱۵].

این ماده در حال حاضر در داخل کشور تولید نمی‌شود و نیاز داخلی آن با واردات تأمین می‌شود. نگاهی به مقدار واردات این ماده به ایران، نشانگر مصرف بالای آن در کشور است که عامل محرکی برای تدوین دانش فنی ساخت این فرآورده است. از سوی دیگر، در سال‌های اخیر با توسعه

بزرگ عامل‌های پفزای شیمیایی، آسانی ترکیب این مواد با بسپارها و عدم نیاز به تجهیزهای ویژه و پیچیده برای نگهداری است که منجر به کاهش هزینه تولید اسفنج‌های بسپاری می‌شود [۱ و ۲]. امروزه، عامل‌های پفزای شیمیایی متفاوتی در صنایع بسپاری استفاده می‌شوند. پودر فوکو یا آزودی کربن امید با فرمول مولکولی  $\text{NH}_2\text{CONNCONH}_2$  محبوب‌ترین عامل پفزای شیمیایی برای ساخت اسفنج بسپاری است. این ماده به عنوان قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین عامل پفزا، پودر بلوری به رنگ زرد روشن و با اندازه ذره‌های متوسط است که در صنایع لاستیک و پلاستیک و ورق‌های اتیلن‌وینیل استات استفاده می‌شود و قابلیت کاربرد در طیف گسترده‌ای از بسپارها مانند پلی‌پروپیلن، پلی‌استایرن، اکریلوبوتادین استایرن، پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌وینیل کلرید را دارد.

این ماده برای نخستین بار در سال ۱۹۸۲ ساخته شد و در دهه ۱۹۳۰ به عنوان یک عامل پف‌دهنده در تولید پلی‌وینیل کلرید به دنیا معرفی شد. سپس، استفاده از آن در طول دهه ۱۹۷۰ با افزایش تولید فرآورده‌های بسپاری، به طور چشمگیری افزایش یافت [۳ و ۵]. در عامل‌های پفزای شیمیایی، دمای تجزیه و مقدار گاز به دست آمده از آن، مهم‌ترین مشخصه هستند. عامل‌های پفزا پیش از آزاد کردن گاز به طور یکنواخت در بسپار پراکنده می‌شوند. اگر دمای تجزیه عامل پفزا نزدیک به دمای فرایند بسپار باشد، آزاد شدن زودرس گاز منجر به انبساط پیش از موعد بسپار خواهد شد. از سوی دیگر، دمای بالای تجزیه، آزاد شدن گاز را محدود می‌کند [۶ و ۷]. آزودی-کربن امید به طور معمول در گستره دمایی ۲۰۰ تا  $250^\circ\text{C}$  تجزیه می‌شود و از خود گاز متصاعد می‌کند. مقدار گاز تولید شده، تابعی از زمان و دما است و با افزایش دما، حجم و سرعت تولید گاز افزایش می‌یابد.

این ماده بیشترین بازده تولید گاز را در بین تمام عامل‌های پفزا دارد (۲۳۰ ml.g در دمای  $120^\circ\text{C}$ ). گازهای به دست

## بخش تجربی

مواد

اوره و هیدروژن پراکسید (۳۰٪) از شرکت مرک خریداری شدند. سولفوریک اسید از شرکت دکتر مجلی تهیه شد و هیدرازین نیز فرآورده شرکت سیگما-آلدريج با خلوص آزمایشگاهی بود.

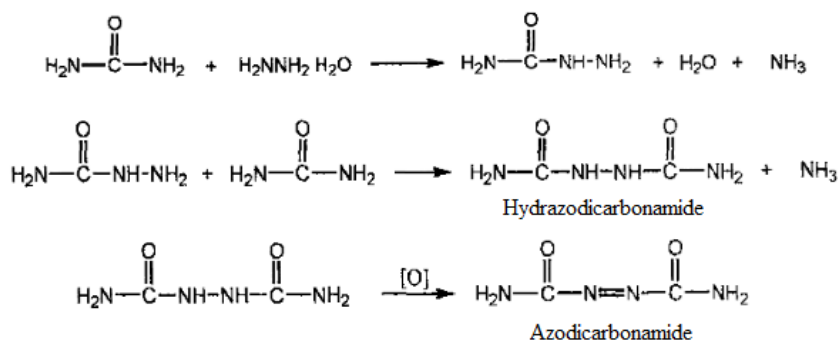
### تهیه آزودی کربن آمید

برای تولید آزودی کربن آمید، در ابتدا هیدرازودی کربن آمید از واکنش اوره با هیدرازین تهیه و در ادامه با فرایند اکسایش و کاهش کاتالیستی به آزودی کربن آمید تبدیل می‌شود [۱۷]. در این روش، مخلوطی از ۲ گرم هیدرازین، ۲/۷ گرم اوره و ۳ گرم آب در شرایط بازروانی قرار می‌گیرد. سپس، ۲/۳ گرم از هیدرازودی کربن آمید تولیدی در مقداری آب حل می‌شود تا تعلیق تشکیل شود، سپس به تعلیق به-دست آمده، مقداری سولفوریک اسید افزوده می‌شود تا pH آن به کمتر از ۲ برسد. در ادامه مخلوط واکنش به حمام آب با دمای ۶۰°C منتقل و به آن ۰/۶ مول کاتالیست افزوده می‌شود. همچنین ۰/۹ مول آب اکسیژنه در مدت ۳۰ دقیقه، طی چند مرحله به مخلوط واکنش افزوده و در انتها پس از گذشت ۳۰ دقیقه از افزودن اکسنده، رسوب‌های زرد رنگ آزودی کربن آمید تشکیل می‌شود [۱۶ و ۱۷]. واکنش‌های مربوط به تولید آزودی کربن آمید در شکل ۱ ارائه شده‌اند. مشخصه‌های فرآورده تولیدشده و تأثیر عامل‌های متفاوت در تشکیل آزودی کربن آمید توسط بهلول‌بندی و همکارانش بررسی شده است [۱۶ و ۱۷]. همچنین، برپایه پژوهش‌های انجام شده توسط بهلول‌بندی و همکارانش [۱۶ و ۱۷]، دانش فنی تولید ماده آزودی کربن آمید در کشور به‌دست آمده و مبنای مطالعه‌های اقتصادی این پژوهش برای برآورد سرمایه مورد نیاز و شاخص‌های اقتصادی قرار گرفته است.

چشمگیر صنایع پلاستیک و بسیار به‌ویژه صنایع تولید اسفنج در کشور، لزوم دستیابی به دانش فنی و تولید صنعتی این ماده برای رفع عدم وابستگی به واردات و تأمین نیاز واحدهای مصرف‌کننده داخلی بیش از پیش مشخص شده است.

بهلول‌بندی و همکارانش [۱۶ و ۱۷] آزودی کربن آمید را با فرایند کاتالیستی تولید و به دانش فنی ساخت آن دست پیدا کرده‌اند. با این وجود، اتخاذ تصمیم درست نسبت به احداث یک واحد صنعتی، نیازمند بررسی جامع و کامل فنی و اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در آن طرح است، به‌گونه‌ای که شناسایی و مطالعه معیارهای اقتصادی و سودآوری طرح، با اهمیت‌ترین بخش یک سرمایه‌گذاری هستند [۱۸ و ۱۹].

با توجه به موارد فوق، در این پژوهش به بررسی فنی-اقتصادی احداث کارخانه تولید ماده آزودی کربن آمید در سه بخش مطالعه‌های فنی (فناوری ساخت)، وضعیت عرضه و تقاضا و بررسی شاخص‌های اقتصادی پرداخته شد. به این منظور پس از بررسی فناوری و مراحل متفاوت ساخت آزودی کربن آمید، وضعیت عرضه و تقاضای این فرآورده بررسی و سپس با محاسبه سرمایه ثابت، هزینه سالیانه، سرمایه در گردش و سرمایه کل مورد نیاز، شاخص‌های اقتصادی طرح تولید ماده آزودی کربن آمید با ظرفیت ۱۰۰۰ تن در سال پیش‌بینی شد. در ادامه، با تحلیل حساسیت، عامل‌های مهم و تأثیرگذار بر نرخ بازده داخلی و ارزش فعلی خالص طرح مشخص شد. در واقع هدف از این پژوهش، تحلیل توجیه اقتصادی تولید ماده آزودی کربن آمید و ارائه شرایط مناسب برای دستیابی به حالت‌های توجیه‌پذیر طرح است.



شکل ۱ واکنش تهیه ماده پفزا آزودی کربن آمید

### بخش نظری

اتخاذ تصمیم مناسب برای سرمایه‌گذاری در طرح‌های صنعتی بر مبنای بررسی امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و تجاری استوار است. این مطالعه‌ها همه عوامل مؤثر در تولید فرآورده را شناسایی کرده است و تأثیر آن‌ها را بر شاخص‌های اقتصادی طرح معرفی می‌کند. در واقع امکان‌سنجی برای دانش فنی موجود، هزینه سرمایه‌گذاری، درآمد فروش و بازده سرمایه‌گذاری را با دقت بالایی تخمین می‌زند و به سرمایه‌گذار در انتخاب محل سرمایه‌گذاری کمک می‌کند. مطالعه اقتصادی هر طرح شامل تحلیل و بررسی ملزوم‌های مورد نیاز طرح و پیامدها و نتیجه‌های مالی مورد انتظار است. از این رو، برای فراهم آوردن داده‌های (اطلاعات) اولیه برای بررسی اقتصادی طرح تولید ماده آزودی کربن آمید، از داده‌های و اعلام‌های انجام‌شده از شرکت‌های متفاوت (تولیدکننده مواد شیمیایی، سازندگان تجهیزها و...) و شرکت شهرک‌های صنعتی استفاده شد. بدین ترتیب هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت طرح برپایه موارد زیر برآورد شدند:

- زمین (شامل زمین سالن‌های تولید و انبار، زمین ساختمان اداری و خدماتی، زمین محوطه و زمین توسعه طرح)،

- ساختمان‌سازی (شامل سوله خط تولید، انبارها، ساختمان اداری، خدماتی و عمومی، ساختمان تاسیسات، محوطه‌سازی، خیابان‌کشی، پارکینگ و فضای سبز و دیوارکشی)،
- ماشین‌آلات و تجهیزهای خط تولید (شامل واکنشگاه، مخزن، خشک‌کن و...)
- تاسیسات (شامل سرمایش و گرمایش، اطفاء حریق و تاسیسات آب و فاضلاب)،
- لوازم اداری و خدماتی (شامل رایانه، تجهیزهای اداری، میز و صندلی و فتوکپی)،
- حق انشعاب (شامل تلفن، آب، برق و گاز) و
- هزینه‌های پیش از بهره‌برداری (شامل مطالعه‌های اولیه و اخذ مجوزهای لازم، آموزش پرسنل و راه‌اندازی آزمایشی).
- جزئیات مربوط به هزینه متغیر (با توجه به ظرفیت تولید) مواد اولیه مستقیم، نیروی انسانی، آب، برق، سوخت و ارتباطات، هزینه تعمیر و نگهداری (ماشین‌آلات، تجهیزها و ساختمان‌ها)، هزینه استهلاک (ماشین‌آلات، تجهیزها و ساختمان‌ها)، هزینه فروش، تسهیلات دریافتی و بیمه کارخانه نیز برآورد شد.
- پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، ارزیابی اقتصادی طرح با روش هزینه-فایده صورت گرفته و معیارهای ارزیابی طرح

تخمین زده می‌شود. کلیه جداول مالی مشتمل بر سرمایه ثابت، هزینه سالیانه، سرمایه در گردش و سرمایه کل تهیه شده و سپس به منظور محاسبه شاخص‌های اقتصادی طرح (قیمت تمام‌شده فرآورده، سود سالیانه، دوره بازگشت سرمایه، نقطه سربه‌سری، ارزش افزوده خالص داخلی و ...) برنامه تولید تعیین شدند.

انتخاب برنامه تولید مناسب برپایه ظرفیت طرح، نیاز بازار، مقدار واردات و نیازهای داخلی مشخص می‌شود. زیرا ظرفیت‌های کم تولید ممکن است منجر به غیراقتصادی شدن طرح شود و ظرفیت تولید زیاد نیز نیاز به سرمایه اولیه بالا دارد. بنابراین، انتخاب ظرفیت بهینه از اهمیت بالایی برخوردار است. ظرفیت این طرح بر پایه آمار واردات و نیاز کشور برابر با ۱۰۰۰ تن در سال برای دوره بهره برداری ۱۰ ساله و بر مبنای تولید در ۳ شیفت کاری ۸ ساعته برپایه جدول ۱ در نظر گرفته شد. برپایه پیش‌بینی‌های انجام شده انتظار می‌رود، دوره اجرای کامل طرح یک سال به درازا کشیده و طی سال اول طرح به ۵۰٪ ظرفیت نهایی تولید برسد.

جدول ۱ برنامه سالیانه تولید

شرح	ظرفیت سالیانه (تن)	قیمت فروش هر تن (میلیون ریال)	کل ارزش فروش (میلیون ریال)
آزودی کربن آمید	۱۰۰۰	۸۳۰	۸۳۰۰۰۰

برای ارزیابی اقتصادی طرح‌های سرمایه‌گذاری، معیارهای متفاوتی در نظر گرفته می‌شود، ارزش فعلی خالص ( $NPV^1$ )، نرخ بازده داخلی ( $IRR^2$ ) و دوره بازگشت سرمایه از مهم‌ترین معیارها هستند که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفتند.

- روش ارزش فعلی خالص ( $NPV$ )

ارزش فعلی خالص یا  $NPV$  یکی از معیارهای مهم ارزیابی طرح‌های سرمایه‌گذاری اقتصادی است. این معیار در واقع، معادل مجموع ارزش فعلی کلیه جریان‌های نقدی مرتبط با طرح است و برپایه معادله ۱ محاسبه می‌شود [۲۰ و ۲۱].

$$NPV = \sum_{n=1}^T \frac{CF_n}{(1+i)^n} - I_0 \quad (1)$$

در معادله ۱،  $n$  طول عمر طرح،  $i$  نرخ تنزیل،  $CF_n$  جریان‌های نقدی و  $I_0$  هزینه سرمایه‌گذاری در سال صفر است. اگر ارزش فعلی خالص دارای مقدار مثبت باشد، طرح اقتصادی و در حالت منفی، طرح غیر اقتصادی است.

- نرخ بازده داخلی ( $IRR$ )

نرخ بازده داخلی یکی دیگر از معیارهای مهم ارزیابی طرح‌های سرمایه‌گذاری است. این معیار در واقع، نرخ تنزیلی است که به ازای آن ارزش فعلی خالص طرح برابر با صفر می‌شود. در واقع زمانی که ارزش فعلی خالص مثبت است، نرخ بازده داخلی طرح از نرخ بازدهی قابل قبول برای سرمایه‌گذاری بیشتر است [۲۰ و ۲۱].

- دوره بازگشت سرمایه

شاخص دوره برگشت سرمایه نیز از معیارهای مهم در بررسی اقتصادی طرح سرمایه‌گذاری است. این معیار بیانگر مدتی است که هزینه سرمایه‌گذاری از طریق جریان‌های نقدی ورودی برگشت داده می‌شود. در این معیار به جریان‌های نقدی ورودی پس از دوره برگشت سرمایه، توجه نمی‌شود [۲۰ و ۲۱].

1. Net present value

2. Internal rate of return

## نتیجه‌ها و بحث

مطالعه‌های بازار (وضعیت عرضه و تقاضا)

جدول ۲ سرمایه‌گذاری ثابت طرح

ردیف	عنوان هزینه	هزینه	
		میلیون ریال	یورو
۱	زمین	۴۰۰۰	-
۲	ساختمان‌سازی	۱۱۰۰۰	-
۳	تأسیسات	۲۰۰۰	-
۴	لوازم و تجهیزهای اداری و خدماتی	۵۰۰	-
۵	ماشین‌آلات تولیدی	۱۹۰۰۰۰	-
۶	حق انشعاب	۱۰۰۰	-
۷	پیش‌بینی نشده (۱۰ درصد)	۲۰۸۵۰	-
۸	هزینه‌های پیش از بهره‌برداری	۱۰۰۰	-
مجموع (میلیون ریال)		۲۳۰۳۵۰	

با توجه به نیاز روز افزون و کاربردهای مؤثر ماده آزودی کربن آمید، نیاز کشور به این فراورده در حال افزایش است. با توجه به عدم تولید صنعتی این فراورده در کشور و همچنین، به‌منظور رفع نیازهای کنونی و آینده داخلی و در مراحل بعد صادرات فراورده به سایر کشورها، برای ورود ارز به داخل کشور، نیاز به سرمایه‌گذاری در این بخش است.

با توجه به آمار وزارت صنایع و معادن، فعالیت هیچ واحد تولیدی در خصوص تولید ماده آزودی کربن آمید در کشور گزارش نشده است. همچنین، برپایه آمار اعلام شده از اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران مشاهده می‌شود که مقدار واردات آزودی کربن آمید در سال ۱۳۹۷ برابر با ۱۱۰۰ تن و ارزش ۳۰۸۶۸۳۷ دلار بوده است [۲۲]. با توجه به آمار واردات مرتبط به این ماده و با در نظر گرفتن نرخ رشد مصرف ده درصدی این فراورده، پیش‌بینی می‌شود مقدار نیاز به این فراورده در ۵ سال آتی، به بیش از ۱۴۰۰ تن برسد که نشان‌دهنده اهمیت بیش از حد و نیاز روز افزون به این فراورده در داخل کشور است.

## برآورد سرمایه ثابت طرح

سرمایه ثابت به آن گروه از دارایی‌ها اطلاق می‌شود که طبیعتی ماندگار دارند و در جریان عملیات واحد تولیدی از آن‌ها استفاده می‌شود. این دارایی‌ها شامل زمین، ساختمان، لوازم اداری، ماشین‌آلات تولید، تأسیسات جانبی و... است. جدول ۲ سرمایه‌گذاری ثابت طرح را برای واحد تولیدی آزودی کربن آمید نشان می‌دهد (جدول ۲).

هزینه زمین مشتمل بر زمین سالن‌های تولید و انبار، زمین ساختمان‌های اداری، خدماتی و عمومی، تأسیسات، زمین برابر با ۴۰۰۰ میلیون ریال و نیز هزینه ساختمان‌سازی شامل سوله خط تولید، انبارها، ساختمان‌های اداری، خدماتی و عمومی، تأسیسات، محوطه‌سازی، خیابان‌کشی، پارکینگ و فضای سبز دیوارکشی برابر با ۱۱۰۰۰ میلیون ریال تخمین زده شد.

در این طرح، تأمین کلیه ماشین‌آلات و تجهیزهای مورد نیاز تولید، تأسیسات و ... برپایه توانمندی شرکت‌های داخلی انجام می‌شود. هزینه ماشین‌آلات خط تولید شامل واکنشگاه‌ها، مخازن، خشک‌کن و... به همراه نصب و راه اندازی آن‌ها برابر با ۱۹۰۰۰۰ میلیون ریال برآورد شد. همچنین، هزینه تأسیسات و تجهیزهای مورد نیاز تکمیلی شامل تأسیسات برق، تأسیسات سرمایش و گرمایش، تأسیسات اطفاء حریق و تأسیسات آب و فاضلاب برابر با ۲۰۰۰ میلیون ریال است. حق انشعاب خطوط آب، برق، گاز و تلفن نیز ۱۰۰۰ میلیون ریال در نظر گرفته شد. هزینه‌های پیش بهره‌برداری شامل مطالعه‌های اولیه و اخذ

مجوزهای لازم، آموزش پرسنل و راهاندازی آزمایشی برابر با ۱۰۰۰ میلیون ریال برآورد شد.

#### برآورد هزینه‌های سالیانه

افزون بر سرمایه‌گذاری موردنیاز برای احداث و راهاندازی واحد، تولید فراورده به‌صورت سالیانه نیز هزینه‌های متفاوتی را در بر خواهد داشت. این هزینه‌ها شامل تهیه مواد اولیه، نیروی انسانی، انرژی مصرفی، هزینه استهلاک تجهیزات، ماشین‌آلات و ساختمان‌ها، هزینه تعمیر و نگهداری، هزینه‌های فروش فراورده‌ها، هزینه تسهیلات دریافتی، بیمه و... است. در جدول ۳ هزینه‌های سالیانه هریک از این موارد برآورد شده است. لازم به ذکر است، در این طرح، تولید سالیانه بر پایه تعداد ۳ شیفت کاری ۸ ساعته برای ۲۷۰ روز کاری محاسبه شده است. در رابطه با نیروی انسانی، مبنای حقوق سالیانه بر پایه مجموع ۱۴ ماه حقوق در سال و ۲۳ درصد حق بیمه محاسبه شده و برابر با ۴۰۰۰ میلیون ریال تخمین زده شد. نرخ استهلاک مشتمل بر ساختمان‌ها، محوطه و... (۷ درصد)، ماشین‌آلات خط تولید (۱۰ درصد)، تاسیسات (۱۰ درصد) و لوازم و تجهیزهای اداری و خدماتی (۱۶ درصد) برابر با ۲۰۰۵۰ میلیون ریال محاسبه شد. همچنین، هزینه تعمیر و نگهداری شامل ساختمان‌ها، محوطه و... (۵ درصد)، ماشین‌آلات خط تولید (۱۰ درصد)، تاسیسات (۱۰ درصد) و لوازم و تجهیزهای اداری و خدماتی (۱۳ درصد) است که مقدار آن ۱۹۸۱۵ تخمین زده شد. هزینه دریافت تسهیلات و بازپرداخت آن به صورت سود سالیانه به بانک‌ها یا موسسه‌های مربوط برای این طرح برابر با ۴۶۱۵۰ میلیون ریال برآورد شد. جمع‌بندی جدول ۳ نشان می‌دهد که هزینه‌های سالیانه تولید ۱۰۰۰ تن ماده آزو دی کربن آمید برابر با ۷۲۲۲۰۶ میلیون ریال است. هزینه سالیانه به دو بخش هزینه‌های ثابت و متغیر تقسیم می‌شود که در جدول ۴ ارائه شده است. هزینه‌های متغیر با مقدار تولید فراورده متناسب هستند و با افزایش مقدار تولید،

افزایش و با کاهش آن کاهش می‌یابد. در حالی که هزینه‌های ثابت، مستقل از مقدار تولید واحد احداثی است و با کاهش یا افزایش مقدار تولید و فروش تغییر نمی‌کند و باید بدون توجه به فعالیت یا عملکرد شرکت پرداخت شود. تخمین هزینه‌های ثابت و متغیر طرح، امکان برآورد شاخص‌های اقتصادی را در بخش‌های بعدی فراهم می‌کند.

جدول ۳ هزینه‌های سالیانه

ردیف	شرح	هزینه سالیانه (میلیون ریال)
۱	مواد اولیه	۵۷۸۸۲۸
۲	نیروی انسانی	۴۰۰۰
۳	آب، برق، تلفن و سوخت	۱۰۰۰
۴	استهلاک ماشین‌آلات، تجهیزات و ساختمان‌ها	۲۰۰۵۰
۵	تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات، تجهیزات و ساختمان	۱۹۸۱۵
۶	هزینه تسهیلات دریافتی	۴۶۱۵۰
۷	هزینه‌های فروش (۲ درصد کل فروش)	۱۶۶۰۰
۸	هزینه بیمه کارخانه (۰/۲ درصد)	۱۳۷۳
۹	هزینه‌های متفرقه و پیش‌بینی‌نشده تولید (۵ درصد)	۳۴۳۹۰
	مجموع (میلیون ریال)	۷۲۲۲۰۶

#### برآورد سرمایه در گردش مورد نیاز طرح

سرمایه در گردش به نقدینگی‌ای گفته می‌شود که برای تهیه مواد و ملزومات مورد نیاز در جریان تولید، هزینه می‌شود و به طور کلی شامل سرمایه‌ای است که باید همه هزینه‌های جاری واحد تولیدی را پوشش دهد و لازم است در هر زمان در دسترس باشد. مقدار سرمایه در گردش بستگی به توان بازرگانی و مدیریتی واحد تولیدی دارد. برای مثال، اگر امکان دسترسی سریع به مواد اولیه در هر زمان وجود داشته باشد، نیاز کمتری به سرمایه برای تهیه آن است و برعکس، در صورت طولانی‌بودن فرایند دسترسی به آن‌ها، سرمایه در گردش برای خرید افزایش می‌یابد، زیرا لازم است مواد مورد نیاز برای زمان بیشتری سفارش داده شود. به‌طور

باشد دوازده ماه در نظر گرفته شد تا ریسک توقف خط تولید به علت فقدان مواد اولیه کاهش یابد. جدول ۵ سرمایه در گردش طرح تولید ماده آزودی کربن آمید را نشان می‌دهد.

معمول کمیته سرمایه در گردش موردنیاز، معادل ۲۰ الی ۲۵ درصد کل هزینه‌های جاری سالیانه واحد تولیدی (معادل هزینه‌های ۲ الی ۳ ماه) است. این مسأله برای مواد اولیه خارجی که ممکن است فرایند سفارش و خرید آن طولانی

جدول ۴ هزینه ثابت و متغیر تولید

ردیف	شرح	هزینه		هزینه ثابت		هزینه متغیر	
		درصد	(میلیون ریال)	درصد	(میلیون ریال)	درصد	(میلیون ریال)
۱	مواد اولیه و بسته‌بندی	۰	۵۷۸۸۲۸	۰	۵۷۸۸۲۸	۱۰۰	۵۷۸۸۲۸
۲	حقوق و دستمزد کارکنان	۷۰	۴۰۰۰	۲۸۰۰	۱۲۰۰	۳۰	۱۲۰۰
۳	آب، برق، تلفن و سوخت	۲۰	۱۰۰۰	۲۰۰	۸۰۰	۸۰	۸۰۰
۴	استهلاک	۲۰	۲۰۰۵۰	۴۰۱۰	۱۶۰۴۰	۸۰	۱۶۰۴۰
۵	تعمیرات و نگهداری	۱۰۰	۱۹۸۱۵	۱۹۸۱۵	-	۰	-
۶	هزینه تسهیلات دریافتی	۱۰۰	۴۶۱۵۰	۴۶۱۵۰	-	۰	-
۷	هزینه فروش	۰	۱۶۶۰۰	۰	۱۶۶۰۰	۱۰۰	۱۶۶۰۰
۸	بیمه کارخانه	۱۰۰	۱۳۷۳	۱۳۷۳	-	۰	-
۹	پیش‌بینی نشده	۳۵	۳۴۳۹۰	۱۲۰۳۶	۲۲۳۵۴	۶۵	۲۲۳۵۴
	مجموع (میلیون ریال)	-	۷۲۲۲۰۶	۸۶۳۸۴	۶۳۵۸۲۲	-	۶۳۵۸۲۲

برای برآورد سرمایه در گردش، هزینه حقوق و مزایا، انرژی، تعمیرات و نگهداری و همچنین، استهلاک معادل با ۳ ماه منظور شده است. همچنین، هزینه‌های فروش، بیمه و پیش‌بینی نشده نیز برابر با ۳ ماه در نظر گرفته شدند. با توجه به فرضیه‌های فوق، سرمایه در گردش مورد نیاز برای انجام مطلوب جریان تولید آزودی کربن آمید برابر با ۱۱۷۰۴۰ میلیون ریال محاسبه شده است.

#### کل سرمایه مورد نیاز طرح

کل سرمایه مورد نیاز برای احداث یک واحد تولیدی شامل دو جزء سرمایه ثابت و سرمایه در گردش است. در طرح تولید ماده آزودی کربن آمید، سرمایه ثابت و سرمایه در گردش به

جدول ۵ سرمایه در گردش

ردیف	شرح	مدت مورد نیاز	ارزش کل (میلیون ریال)
۱	مواد اولیه داخلی	۲ ماه	۹۶۴۷۱
۲	مواد اولیه خارجی	۱۲ ماه	-
۳	حقوق و مزایای کارکنان	۲ ماه	۶۶۷
۴	آب و برق، تلفن و سوخت	۲ ماه	۱۶۷
۵	تعمیر و نگهداری	۲ ماه	۳۳۰۲
۶	استهلاک	۲ ماه	۳۳۴۲
۷	هزینه‌های فروش، بیمه، پیش‌بینی نشده	۳ ماه	۱۳۰۹۱
	مجموع (میلیون ریال)		۱۱۷۰۴۰



۶	سود سالیانه	۱۰۷۷۹۳ میلیون ریال
۷	درصد تولید در نقطه سر به سر	۱۱۸
۸	مقدار فروش در نقطه سر به سر	۹۸۴۶۱۲ میلیون ریال
۹	سود سالیانه به هزینه	۳۱ درصد
۱۰	سود سالیانه فروش کل	۱۳ درصد
۱۱	ارزش افزوده	۲۳۰۳۵۷ میلیون ریال

همان طور که جدول ۷ نشان می‌دهد، قیمت تمام شده واحد کالا برابر با ۷۲۲۲۰۶ ریال و نرخ بازده داخلی (IRR) و ارزش فعلی خالص (NPV) این طرح به ترتیب برابر با ۳۸٪ و ۱۲۶۷۰۱ میلیون ریال گزارش شده است. نرخ بازده داخلی (IRR) و شاخص ارزش فعلی خالص (NPV) از مهم‌ترین معیارهای بررسی اقتصادی یک طرح است. نرخ بازده داخلی ۳۸٪ در رابطه با این طرح در دامنه قابل قبول عرف بین المللی قرار دارد و از نرخ تنزیل ۲۱٪ بزرگتر بوده و نسبت به سرمایه‌گذاری در بانک‌ها و سایر موسسه‌های جذاب‌تر است. همچنین، مقدار مثبت شاخص NPV طرح تولید آزو دی کربن آمید در نرخ تنزیل ۲۱٪ بیانگر توجیه پذیر بودن طرح از نظر این شاخص است.

شاخص دوره برگشت سرمایه نیز یکی از معیارهای مهم در بررسی اقتصادی طرح‌های سرمایه‌گذاری است. در واقع این شاخص بیانگر مدت زمانی است که هزینه سرمایه‌گذاری از محل جریان‌های نقدی ورودی برگشت داده می‌شود. دوره بازگشت سرمایه طرح تولید ماده آزو دی کربن آمید برابر با ۳/۲ سال و درصد برگشت سالیانه سرمایه برابر با ۳۱٪ است که حاکی از توان بالای طرح در بازیافت هزینه‌های سرمایه‌گذاری است.

سود سالیانه برابر با ۱۰۷۷۹۳ میلیون ریال پیش‌بینی شده است. سود به‌دست آمده از طرح سرمایه‌گذاری یکی از شاخص‌های مهم دیگری است که افزایش یا کاهش آن تأثیر بسیاری بر توجیه‌پذیری یک طرح دارد، به‌گونه‌ای که اگر درآمد به‌دست آمده از طرح قابلیت پوشش دهی هزینه‌های آن را نداشته

ترتیب برابر با ۲۳۰۳۵۰ و ۱۱۷۰۴۰ میلیون ریال محاسبه شدند و همچنین، حجم کل سرمایه‌گذاری، بالغ بر ۳۴۷۳۹۰ میلیون ریال پیش‌بینی می‌شود. مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری اجرای طرح برپایه پیش‌بینی‌های انجام‌شده در جدول ۶ نشان داده شده است. لازم به ذکر است برای تأمین سرمایه موردنیاز طرح، معادل ۷۰ درصد سرمایه‌گذاری ثابت از راه تسهیلات بلند مدت و معادل ۵۰ درصد سرمایه در گردش از راه دریافت تسهیلات کوتاه مدت با بهره ۲۱٪ تأمین خواهد شد. در نتیجه، از کل هزینه سرمایه‌گذاری، مبلغ ۲۱۹۷۶۵ میلیون ریال از راه تسهیلات بانکی تأمین و مبلغ ۱۲۷۶۲۵ میلیون ریال نیز از راه سرمایه سهامداران جذب خواهد شد.

جدول ۶ سرمایه‌گذاری کل

ردیف	شرح	ارزش ریالی (میلیون ریال)
۱	سرمایه ثابت	۲۳۰۳۵۰
۲	سرمایه در گردش	۱۱۷۰۴۰
	مجموع (میلیون ریال)	۳۴۷۳۹۰

تخمین شاخص‌های اقتصادی طرح

جدول ۷ شاخص‌های اقتصادی مهم، مانند قیمت تمام‌شده، سود سالیانه، نرخ برگشت سرمایه، مدت زمان بازگشت سرمایه، نرخ بازده داخلی، ارزش فعلی خالص، درصد تولید در نقطه سر به سر، مقدار فروش در نقطه سر به سر، ارزش افزوده و... را برای طرح تولید ماده آزو دی کربن آمید نشان می‌دهد.

جدول ۷ شاخص‌های اقتصادی طرح

ردیف	شرح	ارزش کل
۱	قیمت تمام‌شده واحد کالا	۷۲۲۲۰۶ ریال
۲	نرخ بازده داخلی (IRR)	۳۸٪
۳	ارزش فعلی خالص (NPV)	۱۲۶۷۰۱
۴	درصد برگشت سالیانه سرمایه	۳۱
۵	مدت زمان بازگشت سرمایه	۳/۲ سال

نشریه پژوهش‌های کاربردی در شیمی (JARC)

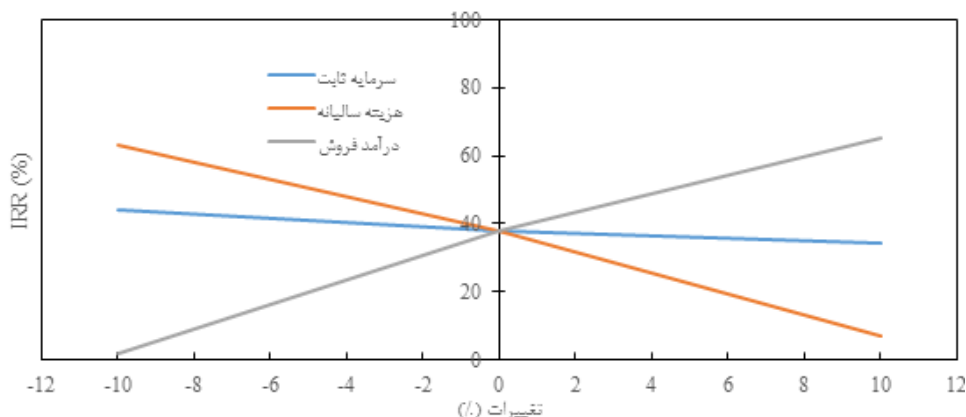
سال شانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱

کمک می‌کند. در واقع می‌توان گفت، تحلیل حساسیت، تکرار محاسبه‌های یک فرایند با تغییر متغیرهای ورودی و بررسی تأثیر آن بر نتیجه‌ها است که تعیین‌کننده حساسیت طرح و توجیه‌پذیری آن در شرایط متفاوت است. شکل ۲ نتیجه‌های به‌دست آمده از تحلیل حساسیت نرخ بازده داخلی (IRR) را نسبت به تغییر در هزینه سرمایه ثابت، هزینه سالیانه و درآمد فروش نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در صورت نوسان ۱۰٪ سرمایه ثابت به صورت افزایشی یا کاهش، نرخ بازده داخلی طرح، در دامنه ۳۴ تا ۴۴٪ تغییر می‌کند که در مقدار پایین آن (۳۴٪) نیز، طرح همچنان توجیه اقتصادی دارد. با کاهش هزینه سالیانه به مقدار ۱۰٪، IRR به ۶۳٪ می‌رسد، در حالی که با افزایش آن به مقدار ۱۰٪، IRR به ۷٪ تغییر خواهد کرد.

باشد، سرمایه‌گذاری در آن، توجیه‌پذیر نخواهد بود. همچنین، متوسط سالیانه ۲۳۰۳۵۷ میلیون ریال ارزش افزوده خالص، قابلیت طرح در به‌کارگیری صحیح مواد اولیه موجود در کشور و تولید کالایی با ارزش افزوده بالا را نشان می‌دهد. به‌طور کلی نتیجه‌های به‌دست آمده از این مطالعه حاکی از آن است که طرح تولید سالیانه ۱۰۰۰ تن ماده آزودی‌کربن امید به لحاظ مناسب‌بودن شاخص‌های اقتصاد مهندسی از توجیه مطلوبی برخوردار است.

#### تحلیل حساسیت شاخص اقتصادی IRR

تحلیل حساسیت یکی از بخش‌های مهم مطالعه‌های اقتصادی در طرح‌های سرمایه‌گذاری است. به‌گونه‌ای که تأثیر عامل‌های بحرانی را بر شاخص‌های اقتصادی بررسی و به سرمایه‌گذاران در شناخت بهتر و تصمیم‌گیری درست



شکل ۲ تحلیل حساسیت نرخ بازده داخلی

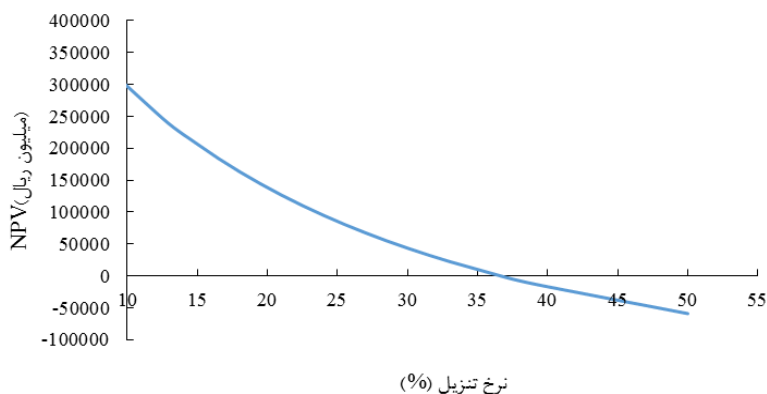
دارد، به‌طوری‌که حساسیت نسبت به درآمد فروش درجه بیشتری دارد، سپس، هزینه‌های سالیانه با فاصله کمی در رتبه دوم و سرمایه ثابت در رتبه سوم قرار دارد.

نرخ تنزیل یکی از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر طرح‌های سرمایه‌گذاری است که متناسب با نرخ بازار تغییر می‌کند و می‌تواند بر شاخص‌های اقتصادی به ویژه ارزش فعلی خالص

بررسی نمودار شکل ۲ نشان می‌دهد که حد بالای تغییرهای هزینه سالیانه برای اقتصادی‌شدن طرح برابر با ۵٪ است. در مورد تغییرهای مربوط به درآمد فروش نیز مشاهده می‌شود که با تغییر درآمد از ۱۰٪ -۱۰٪ به ۱۰٪ +۱۰٪، مقدار IRR از ۲٪ به ۶۵٪ تغییر خواهد داشت. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که نرخ بازده داخلی نسبت به سه متغیر بررسی‌شده حساسیت

که بیانگر توجیه اقتصادی طرح است. در نتیجه با توجه به نرخ تنزیل در نظر گرفته شده در این طرح (۲۱٪) و همچنین، مقدار IRR برابر با ۳۸٪، ارزش فعلی خالص در این بازه مثبت بوده و طرح توجیه اقتصادی دارد.

(NPV) تأثیر جدی بگذارد. تحلیل حساسیت ارزش فعلی خالص طرح نسبت به تغییرهای نرخ تنزیل در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، ارزش فعلی خالص طرح به ازای نرخ های تنزیل کمتر از ۳۸٪، مثبت است



شکل ۳ تحلیل حساسیت ارزش فعلی خالص

طرح نشان داد که نرخ بازده داخلی در طرح حاضر بالاترین حساسیت را نسبت به درآمد فروش داشته و هزینه های سالیانه و ثابت در رتبه های بعدی قرار دارند. مقدار ارزش فعلی خالص تا نرخ تنزیل ۳۸٪ مقدار مثبتی است و طرح در دامنه نرخ تنزیل ۲۱ تا ۳۸٪ د توجیه مطلوب اقتصادی دارد. در نتیجه، با توجه به توجیه اقتصادی طرح و مصرف بالای ماده آزودی کربن آمید به عنوان مهم ترین عامل پفزا در کشور، احداث واحد تولیدی آن بر مبنای دانش فنی متخصصین داخلی ضروری است و عدم سرمایه گذاری در این زمینه باموجب وابستگی بیشتر به کشورهای خارجی و عدم پیشرفت برخی صنایع کشور می شود.

## نتیجه گیری

بررسی فنی و اقتصادی طرح تولید ماده آزودی کربن آمید با ظرفیت تولید سالیانه ۱۰۰۰ تن انجام شد. بررسی شاخص های اقتصادی طرح نشان داد که احداث یک واحد تولید ماده آزودی کربن آمید با ظرفیت ۱۰۰۰ تن در سال و حجم سرمایه گذاری ۳۴۷۳۹۰ میلیون ریال، نرخ برگشت سالیانه ۳۱٪ و دوره بازگشت سرمایه ۳/۲ سال، توجیه اقتصادی دارد و ایجاد واحد تولیدی افزون بر کاهش مقدار واردات این ماده، مانع از خروج ارز از کشور نیز می شود. همچنین، نرخ بازده داخلی ۳۸٪ و ارزش خالص فعلی ۱۲۶۷۰۱ میلیون ریال حاکی از توجیه اقتصادی بالای طرح در بازگرداندن سرمایه ثابت است. همچنین، تحلیل حساسیت

## مراجع

- [1] Cullen, J.; Scott, F.J.; J. Chem. Educ. 95, 419-422, 2018.

- [2] Yousaf, Z.; Smith, M.; Potluri, P.; Parnell, W.; Compos. Part B: Eng. 186, 107764, 2020.
- [3] Stehr, J.; Int. Polym. Sci. Tech. 43, 1-10, 2016.
- [4] Charoeythornkhajhornchai, P.; Samthong, C.; Boonkerd, K.; Somwangthanaroj, A.; J. Cell. Plast. 53, 287-303, 2017.
- [5] Zauzia, N.S.A; Ariffa, Z.A.; Khimia, S.R.; Mater. Today: Proceeding. 17, 1001-1007, 2019.
- [6] Zavih, T.K.; Khanli, H.H.; Sarabi, F.; Iran. J. Polym. Sci. Technol. 20, 3-9, 2007.
- [7] Lopez-Gonzalez, E.; Salmazo, L.O.; Lopez-Gil, A.; Rodriguez-Perez, M.A.; Polym. Eng. Sci. 59, 791-798, 2019.
- [8] Lee, S.T.; "Polymeric Foams: Innovations in Processes, Technologies, and Products", CRC Press, Boca Raton, 2017.
- [9] Che, W.; Sun, L.; Zhang, Q.; Zhang, D.; Ye, D.; Tan, W.; Wang, L.; Dai, C.; J Food Sci. 82, 2516-2525, 2017.
- [10] Arts, J.; Kimber, J.; Regul. Toxicol. Pharmacol. 89, 268-278, 2017.
- [11] Nyssen, R.; "Process for the preparation of azodicarbonamide", EP1900725A2, 2005.
- [12] Ahmadi Aval, P.; Bohloulbandi, E.; Khavari, A.; Mohamadi, H.; Int. J. New Chemistry 9(1), 14-20, 2020.
- [13] Ohno, S.; Kazuta, T.; Iwata, T.; US Patent 4176135, 1979.
- [14] Brown, R.W.; Hunter, B.A.; Barrows, F.H.; US Patent 3969466, 1976.
- [15] Lee, C.H.; Han, S.J.; US Patent 20050107566A1, 2002.
- [16] Bohloulbandi, E.; Ahmadi Aval, P.; Amiri, Z.; Int. J. New Chem. 8(2), 164-172, 2021
- [17] Bohloulbandi, E.; Ahmadi Aval, P.; Int. J. New Chem. 8(3), 356-364, 2021.
- [18] Criscuoli, A.; Basile, A.; Drioli, E.; Loiacono, O.; J. Membr. Sci. 181, 21-27, 2001.
- [19] Lee, U.; Kim, J.; Chao, S.; Han, C.; Chem. Eng. Process. 119, 62-72, 2017.
- [20] Torrik, E.; Nejati, E.; Soleimani, M.; Asia-Pac. J. Chem. Eng. 9, 759-767, 2014.
- [21] Abolhasani, A.; Bahraminia, E.; "Evaluation of economic plans (field of economics)", First Edition, Payame Noor University, Tehran, 1393.
- [22] Tehran Chamber of Commerce, Industries, Mines and Agriculture, Export Statistics and Charts, 1397, <http://www.tccim.ir/>.

## Technical and economical evaluation of azodicarbonamide production as blowing agent

Zohre Taherkhani<sup>1,\*</sup>, Omid Shojaei<sup>1</sup>, Elaheh Bohloulbandi<sup>2</sup>, Hadi Momeni<sup>3</sup>,  
Mahmood Akbari<sup>3</sup>

1. Assistant Prof. of Chemical Process Design Research Group, ACECR, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Assistant Prof. of Applied Chemistry Research Group, ACECR, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Senior Process Engineer of Oil, Gas and Petrochemical Technical Center (OGPC), ACECR, University of Tehran, Tehran, Iran.

**Abstract:** Azodicarbonamide is the most popular chemical blowing agent for producing polymer foams. Due to the lack of internal production and high imports and high consumption of this material in the country, the construction of its production unit seems necessary. However, making a confident decision about construction and financial investment requires a comprehensive economic analysis. In this study, the economic evaluation of azodicarbonamide production was performed and economic indicators were investigated. Capital expense (CAPEX), operating expense (OPEX), and total expense of the project with a capacity of 1000 tons per year were estimated equal to 230350, 117040 and 347390 million Rials, respectively. The analysis of the economic indicators of the project including the internal rate of return (IRR) of 38%, net present value of (NPV) 126701 million rials, rate of return of 31% and payback period of 3.2 years showed the economic justification of the project. IRR sensitivity analysis indicated that sales revenue, operating expense, and capital expense have the highest degree of sensitivity to the economic justification of the project, respectively. Also, the most important factor affecting the NPV was the discount rate fluctuations, so that in the ranges of 21% -38% discount rate, the project is economically justified.

**Keywords:** Synthesis of Azodicarbonamide, Economic analysis, Investment project