



## امکان‌سنجی فنی - اقتصادی استفاده از متانول به‌عنوان افزونه سوختی در بنزین ایران

یاسین جوادی<sup>1\*</sup>، حسن حیدری<sup>2</sup>، امین حسنی<sup>3</sup>، عباس ملکی<sup>4</sup>

- 1- کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
  - 2- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
  - 3- دکتری تخصصی مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
  - 4- استاد دانشکده مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
- \* Yasin\_javadi@energy.sharif.edu، ۱۴۵۸۸۸۹۶۹۴، تهران

### چکیده

این پژوهش به بررسی امکان‌سنجی فنی و اقتصادی استفاده از متانول به‌عنوان افزونه سوختی در بنزین ایران می‌پردازد؛ راهکاری که برای کاهش ناترازی سوخت کشور پیشنهاد شده است. در ابتدا با مرور تجربه سایر کشورها و تحلیل ظرفیت داخلی، نشان داده شد ایران با تولید سالانه بیش از ۱۲ میلیون تن متانول از توان لازم برای اجرای این راهکار برخوردار است. نتایج تحقیق بیانگر آن است که افزودن متانول در نسبت‌های پایین حدود ۳ درصد حجمی می‌تواند ضمن افزایش عدد اکتان سوخت، انتشار برخی آلاینده‌ها را کاهش داده و سالانه تا ۱.۶ میلیارد دلار صرفه‌جویی ارزی ایجاد کند. با این حال، چالش‌های فنی همچون افزایش فشار بخار، تشکیل فاز دوم در دماهای زیر صفر و خوردگی قطعات سیستم سوخت‌رسانی مطرح است که مدیریت آن نیازمند انتخاب مواد مقاوم، افزودنی‌های مناسب و اصلاح فرمولاسیون سوخت است. در بخش تجربی، سه نمونه بنزین داخلی با ۳ درصد حجمی متانول مخلوط و تغییرات فشار بخار و پایداری فازی آن‌ها در دماهای مختلف ارزیابی شد که نتایج از تشکیل دو فاز در دماهای پایین حکایت داشت. در مجموع، اگرچه اختلاط متانول در مقیاس محدود می‌تواند وابستگی به واردات بنزین را کاهش دهد، اما تحقق آن مستلزم همکاری صنایع پتروشیمی و خودروسازی، نهادهای سیاست‌گذار و تدوین استانداردهای فنی جدید است.

**کلیدواژه‌ها:** امکان‌سنجی، اختلاط، متانول، بنزین، سوخت‌های ترکیبی، ارزیابی فنی، تحلیل اقتصادی

## Technical-economic feasibility of using methanol as a fuel additive in iran's gasoline

Yasin javadi<sup>1\*</sup>, hassan Heidari<sup>2</sup>, Amin Hassani<sup>3</sup>, Abbas Maleki<sup>4</sup>

1. MSc in Energy Systems Engineering, Faculty of Energy Systems Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
  2. MSc in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
  3. PhD in Energy Systems Engineering, Faculty of Energy Systems Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
  4. Professor, Faculty of Energy Systems Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
- P.O.B. 1458889694 Tehran, Iran, Yasin\_javadi@energy.sharif.edu

Received: 01 March 2025 Accepted: 13 May 2025

### Abstract

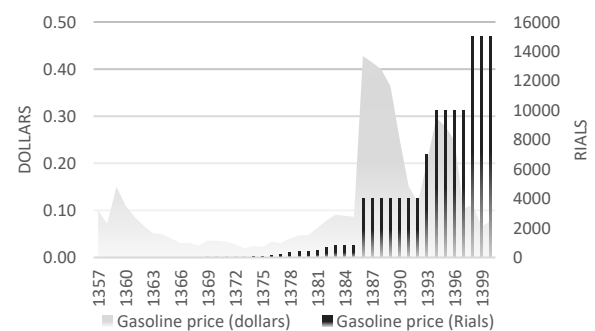
This study examines the technical and economic feasibility of using methanol as a gasoline additive in Iran, proposed as a solution to reduce the country's fuel supply imbalance. Initially, by reviewing international experiences and analyzing domestic capacity, it is shown that Iran, with an annual production of over 12 million tons of methanol, has sufficient potential to implement this approach. The findings indicate that adding methanol at low blending ratios of about 3% by volume can increase the fuel's octane number, reduce certain pollutant emissions, and generate annual foreign currency savings of up to USD 1.6 billion. However, there are technical challenges, such as higher vapor pressure, phase separation at sub-zero temperatures, and corrosion of fuel system components, which require mitigation through the selection of resistant materials, suitable additives, and optimized fuel formulation. In the experimental part, three domestic gasoline samples were blended with 3% methanol, and their vapor pressure and phase stability were evaluated at different temperatures, revealing phase separation issues at low temperatures. Overall, while limited methanol blending can reduce

dependence on gasoline imports, its successful implementation depends on coordinated collaboration among the petrochemical and automotive industries, policymakers, and the development of new technical standards.

**Keywords:** Feasibility Study, Methanol Blending, Gasoline, Mixed Fuels, Technical Evaluation, Economic Analysis

## 1- مقدمه

در طول دهه گذشته، تقاضای بنزین سالانه ۳.۹ درصد رشد داشته و انتظار می‌رود که تا سال ۱۴۲۰ این روند افزایشی ادامه داشته باشد. رشد سریع تقاضای بنزین و مشکلات افزایش ظرفیت پالایشگاه‌ها، نگرانی‌هایی جدی برای تأمین نیازهای بنزین ایجاد کرده است. شکل 1 قیمت بنزین در کشور برحسب ریال و دلار را نشان می‌دهد. باتوجه به سرکوب قیمت بنزین و در نتیجه عدم صرفه تولید آن توسط پالایشگاه‌ها بدون یارانه دولتی، افزایش تولید بنزین در کشور روند کندی را تجربه می‌کند و توانایی رشد به میزان مصرف را ندارد. به همین دلیل دولت ایران مجبور به واردات بنزین به میزان بیش از 3 میلیارد دلار شد.



شکل 1 قیمت بنزین بر حسب دلار (نرخ دلار تالار یکم بانک مرکزی) و ریال از سال 1353 تا پایان 1400

دو دسته کلی از راهکارهای برای اصلاح ناترازی بنزین در ایران وجود دارد؛ راهکارهای قیمتی و راهکارهای غیرقیمتی. برای اصلاح ناترازی بنزین در ایران با روش‌های قیمتی، سیاست‌گذاران با چالش‌های متعددی در زمینه‌های سیاسی و اجتماعی روبرو هستند. برخی از این چالش‌ها عبارتند از:

- اعتراضات اجتماعی و نگرانی از واکنش‌های عمومی
- عدم اعتماد عمومی به اجرای سیاست‌های اصلاحی
- تضاد منافع بین سیاست‌گذاران و گروه‌های قدرت
- مشکلات زیرساختی در زمینه توسعه حمل‌ونقل عمومی
- فقدان یک برنامه جامع برای استفاده از درآمدهای حاصل از اصلاح قیمت‌ها
- فشارهای سیاسی و انتخابات آینده

باتوجه به این چالش‌ها، اصلاح قیمت بنزین و سیاست‌گذاری در به‌کارگیری انرژی نیازمند ارائه راهکارهای غیرقیمتی برای مدیریت ناترازی بنزین در کوتاه‌مدت و میان‌مدت خواهند بود. یکی از راهکارهای پیشنهاد شده توسط برخی کارشناسان و صاحب‌نظران جهت کاهش ناترازی بنزین، اختلاط آن با

متانول است. به‌کارگیری این روش نیازمند بررسی ابعاد فنی، اقتصادی و زیرساختی در کشور است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که استفاده از متانول به‌عنوان افزودنی سوخت می‌تواند راهکار مناسبی برای کاهش وابستگی به بنزین خالص باشد [22]. این پژوهش‌ها تأکید دارند که متانول قادر است عدد اکتان را بهبود بخشد، اما چالش‌های فنی نیاز به توجه ویژه دارد که در ادامه این پژوهش به آن پرداخته می‌شود.

## 2- متانول؛ از تولید تا مصرف

متانول، متیل الکل، الکل متیلیک، کاربینول یا الکل چوب که ساده‌ترین نوع الکل‌هاست با فرمول شیمیایی  $CH_3OH$  شناخته می‌شود. متانول را می‌توان بر اساس روش‌های تولید آن دسته‌بندی نمود و تفاوت در روش‌های تولید متانول، بر کاربری آن‌ها نیز مؤثر است. در ادامه انواع متانول و کاربردهای بیان می‌شود:

### 1-2- متانول صنعتی

در این نوع متانول به‌طور عمده از فرایند تبدیل گاز طبیعی یا گاز هیدروکربنی مایع به دست می‌آید. کاربردهای آن شامل تولید پلاستیک، رنگ‌ها، رزین‌ها، صابون، محلول‌های ضدیخ، و سایر محصولات شیمیایی است.

### 2-2- متانول اتانولی

این نوع متانول از فرایند تبدیل اتانول به متانول به دست می‌آید. کاربردهای آن شامل استفاده به‌عنوان حلال در شیمی، صنایع رنگ، افزودنی‌های بنزین، و تولید سایر مواد شیمیایی است.

### 3-2- متانول زیستی

این نوع متانول از منابع زیستی؛ مانند بیوگاز، سوخت‌های گیاهی، یا سایر منابع زیستی به دست می‌آید. کاربردهای آن شامل استفاده به‌عنوان سوخت زیستی، حلال و سایر کاربردهای صنعتی است.

متانول نوعی الکل است که بزرگ‌ترین تولیدکنندگان آن کشورهای چین، عربستان و ترینیداد<sup>1</sup> هستند. نرخ تولید متانول در دنیا 106.8 میلیون تن در سال 2021 برآورد شده و ایران در سال 1401، بیش از 12 میلیون تن متانول تولید کرده است [25] که بیش از 11 درصد از کل تولید دنیا را شامل می‌شود.

تولید متانول در ایران بر پایه گاز طبیعی است درحالی‌که کشور چین که بزرگ‌ترین تولیدکننده متانول در دنیاست، این محصول را با پایه زغال‌سنگ تولید می‌کند. بیشترین کاربرد متانول در تهیه پلاستیک، فرمالین برای مصارف خانگی، مواد منفجره، انواع ظروف، دوربین‌های عکاسی، کلید و پرز و انواع چسب‌های صنعتی است. هم‌چنین به‌صورت غیرمستقیم در ارتقای درجه آرام سوزی بنزین و جایگزین کردن آن با سرب به‌عنوان افزونه سوختی جدید کاربرد

<sup>1</sup> ترینیداد (به اسپانیایی: Isla Trinidad) بزرگ‌ترین جزیره کشور ترینیداد و توباگو است. این جزیره جنوبی‌ترین جزیره دریای کارائیب است که ۱۱ کیلومتر با کرانه‌های ونزوئلا فاصله دارد.

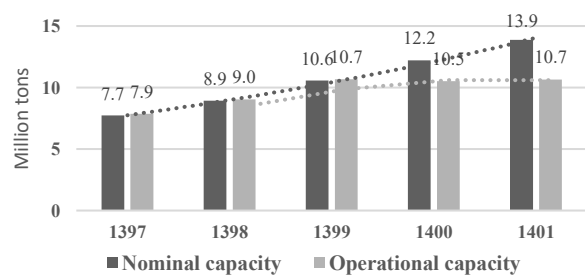
دارد. جدول 1 سهم هر واحد پتروشیمی در سال 1400 در تولید متانول در کشور را نشان می‌دهد.

بر اساس تحلیل‌های اخیر، ایران باتوجه به ظرفیت‌های تولید متانول از گاز طبیعی، پتانسیل تبدیل شدن به یکی از قطب‌های جهانی این صنعت را دارد. این امر می‌تواند پایه اقتصادی محکمی برای برنامه‌ریزی اختلاط متانول با بنزین فراهم کند.

**جدول 1** میزان تولید متانول در کشور بر حسب تن در سال به همراه ظرفیت اسمی و عملکرد

نام پتروشیمی	ظرفیت اسمی (تن بر سال)	عملکرد (تن بر سال)	نرخ بهره‌برداری
زاگرس	3,300	2514.09	76.18%
سبلان	1,650	267.94	16.24%
کیمیای پارس خاورمیانه	1,650	705.06	42.73%
مرجان	1,650	1483.12	89.89%
خارک	1,650	626.63	37.98%
شیراز	84	95.61	113.82%
کاوه	2,310	865.80	37.48%
مجموع	12,294	6,558	59.19%

همان‌گونه که در شکل 2 مشخص است، ظرفیت تولید متانول در ایران در 5 سال اخیر همواره صعودی بوده است. در سال 1398 با بهره‌برداری از واحد متانول بوشهر افزایش بیش از پیش ظرفیت تولید متانول رقم خورده و افزایش ظرفیت در سال‌های 1399 و 1400 هم به ترتیب مربوط به بهره‌برداری از پروژه‌های کیمیای پارس و سبلان است.



**شکل 2** روند توسعه ظرفیت تولید متانول در ایران

نرخ رشد مرکب سالانه یا CAGR در پروژه‌های متانول که با ظرفیت اسمی محاسبه می‌شود، در کشور به 12 درصد می‌رسد و این عدد برای ظرفیت

عملیاتی تولید متانول در کشور 6 درصد است. این نرخ با نسبت تصاعد هندسی، میزان ثابتی برای بازگشت سرمایه در یک دوره زمانی تعیین می‌کند. در واقع، CAGR میزان رشد سرمایه‌گذاری است که در اصطلاح به‌عنوان سود سالانه از آن یاد می‌شود که برای محاسبه آن از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$CAGR = \left( \frac{V_{final}}{V_{begin}} \right)^{1/t} - 1 \quad (1)$$

مقدار نهایی ( $V_{final}$ ) مقدار یک دارایی یا سرمایه‌گذاری در انتهای دوره زمانی خاص است. مقدار ابتدایی ( $V_{begin}$ ) مقدار یک دارایی یا سرمایه‌گذاری در ابتدای دوره زمانی خاص است. زمان ( $t$ ) مدت زمان به سال که سرمایه‌گذاری یا دارایی در طول آن نگهداری شده یا اندازه‌گیری شده است.

این نشان‌دهنده این است که تولید متانول در ایران با سرعت قابل توجهی در حال رشد است. این نرخ رشد قابل توجه می‌تواند یک فرصت سرمایه‌گذاری برای بخش‌های مختلف و سرمایه‌گذاران را نشان دهد، زیرا نشان می‌دهد که صنعت تولید متانول در کشور در حال گسترش است و بازدهی بالقوه‌ای دارد. از این رو، سرمایه‌گذاران ممکن است به دنبال سرمایه‌گذاری در این حوزه باشند تا از رشد و سودآوری بیشتری بهره‌مند شوند. در جدول 2 نیز پروژه‌های توسعه ظرفیت متانول در ایران نیز مشاهده می‌شود.

همچنین توسعه فناوری‌های جدید و روش‌های بهبود یافته در صنعت تولید متانول، افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها را به همراه دارد. این توسعه در فناوری تولید متانول از منابع مختلف انرژی، استفاده از فرایندهای مبتنی بر کاتالیست با بهره‌وری بیشتر و استفاده از منابع غیر فسفیلی نیز ممکن است.

### مصرف متانول در ایران

همان‌طور که در شکل 4 مشاهده می‌شود، مصرف متانول در داخل کشور نسبت به صادرات آن ناچیز است. این مصرف محدودیت‌ها و فرصت‌های خاص خود را دارد و اکثراً به دلیل صادرات، به روی بازارهای خارجی متمرکز است.

### 3- اختلاط بنزین و متانول

اختلاط بنزین با متانول یک موضوع مهم در صنعت سوخت و در سال‌های اخیر، استفاده از متانول به‌عنوان سوخت جایگزین در شبکه حمل‌ونقل و صنعت خودرو مورد توجه بوده است. این ماده می‌تواند به طور مستقیم به بنزین افزوده شود و در موتورهای اشتعال جرقه‌ای استفاده شود. اختلاط متانول با بنزین تا حدی از منوکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته کم می‌کند، اما در مقابل اکسیدهای نیتروژن که کاهش آن‌ها در موتور سخت‌تر از دیگر آلاینده‌ها است، به شدت افزایش می‌یابد.

**جدول 2** پروژه‌های در دست اجرای توسعه ظرفیت تولید متانول در ایران

نام طرح	ظرفیت (هزار تن)	سهام‌دار عمده	پیشرفت فیزیکی تا بهمن 1401	محل طرح	سال بهره‌برداری
آرتا انرژی (فاز 1)	132	بخش خصوصی	97%	اردبیل	1401
آرین متانول	1650	شرکت گروه باختر	5%/89	عسلویه	1401
آبادانا خلیج فارس	1650	شرکت صنایع پتروشیمی خلیج فارس	23%/69	عسلویه	1402
بدر شرق (فاز 1)	1650	شستان	61%/41	چابهار	1403
دنا	1650	شرکت پترو فرهنگ	68%/68	عسلویه	1403

1403	دیر	57%/51	شرکت پترو فرهنگ	1650	سیراف انرژی
1403	عسلویه	92%/34	بخش خصوصی	1000	توسعه صنعت لاوان
1404	چابهار	99%/16	گسترش انرژی پاسارگاد	1650	گسترش صنایع شیمیایی سینا (فاز 1)

#### 4-2- مصرف متانول در چین

مصرف متانول در چین حدود 52 میلیون تن در سال است که نیمی از تقاضای جهانی را شامل می‌شود. 12 میلیون تن از تقاضای چین به صورت واردات از دیگر کشورها تامین می‌شود. با اینکه ظرفیت تولید متانول در چین 101 میلیون تن است، اما به رغم این ظرفیت تولید بالا، ممکن است نیاز به واردات متانول داشته باشد [19،1]. تعدادی از دلایل امن امر عبارتند از:

1- نوع استفاده: یکی از دلایل ممکن برای واردات متانول این است که تقاضا برای نوع خاصی از متانول یا خصوصیت خاصی در بازار وجود داشته باشد که در داخل کشور تولید نشود.

2- کیفیت: در برخی موارد متانول تولید شده در چین، به دلیل مشکلات کیفیتی یا استانداردهای مشخص، برای برخی صنایع مورد استفاده قرار نگیرد و نیاز به واردات متانول باکیفیت بالاتر باشد.

3- عرضه و تقاضا: میزان تقاضا برای متانول در بازار بین‌المللی، ممکن است متفاوت از ظرفیت تولید داخلی چین باشد. در این صورت، برای تأمین نیازهای داخلی، احتمال واردات متانول وجود دارد. باتوجه به اینکه عمده متانول تولیدی در چین، از زغال‌سنگ بوده و ممکن است تقاضا برای انواع دیگری از متانول در این کشور وجود داشته باشد، فلذا واردات متانول ممکن خواهد بود متانول مصرفی در چین به چهار بخش عمده تقسیم می‌شود:

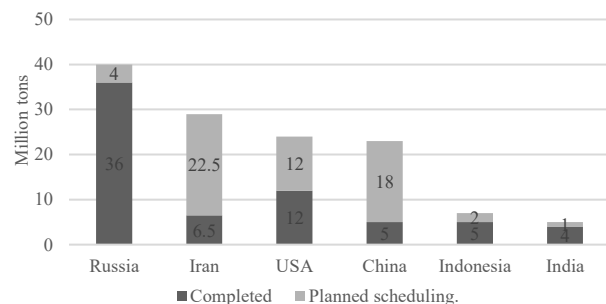
1- صنایع شیمیایی: متانول به‌عنوان یک ماده اولیه مهم در صنایع شیمیایی چین، به‌ویژه در تولید پلیمرها، رنگ‌ها، رزین‌ها، و محصولات شیمیایی دیگر استفاده می‌شود.

2- سوخت: مصرف متانول به‌عنوان سوخت نیز در چین افزایش یافته است. از متانول به‌عنوان یک جایگزین در تولید سوخت‌های الکلی و بیو سوخت‌ها استفاده می‌شود.

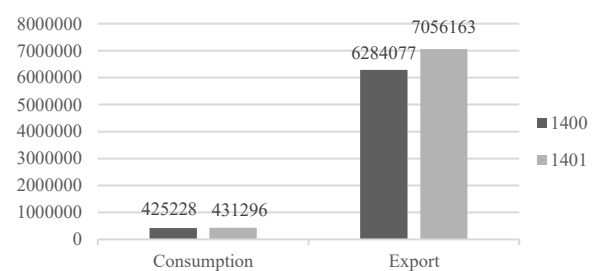
3- الکل صنعتی: متانول در تولید الکل صنعتی و محصولات مشتق شده نیز نقش دارد.

4- صنعت الکترونیک: متانول به‌عنوان یک حلال در صنایع الکترونیک مانند تولید میکروچیپ‌ها و الکترونیک نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

توسعه فعالیت‌های مرتبط با صنعت متانول در چین به‌عنوان یکی از عوامل مهم در توسعه صنعتی و اقتصادی این کشور محسوب می‌شود و نشانگر تنوع و توانمندی در استفاده از این ماده در بخش‌های مختلف است. شکل 8 نشان‌دهنده انواع مصارف متانول در چین است.



شکل 3 برنامۀ افزایش ظرفیت تولید متانول تا 2030



شکل 4 میزان صادرات متانول در سال‌های 1400 و 1401

به‌علاوه، استفاده از متانول در بنزین ممکن است مشکلاتی در سامانه سوخت‌رسانی خودرو، از جمله خطر نشت بنزین و انفجار، ایجاد کند. همچنین، استفاده از متانول می‌تواند به خوردگی بیشتر و سریع‌تر قطعات موتور منجر شود و عملکرد موتور خودرو را تحت‌تأثیر قرار دهد. به همین علت، استفاده از متانول به‌عنوان سوخت، نیازمند توجه مضاعف به جزئیات فنی و ایمنی است.

#### 4- مطالعه تطبیقی کشور چین در تولید و مصرف متانول

چین یکی از کشورهای پیشرو در تولید و مصرف متانول است و این صنعت در اقتصاد چین نقش مهمی ایفا می‌کند. متانول به‌عنوان یک الکل متیلی باتوجه به ویژگی‌هایش به‌عنوان یک منبع انرژی و ماده اولیه در صنایع شیمیایی و پتروشیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در زیر به برخی اطلاعات مرتبط با تولید و مصرف متانول در چین اشاره می‌شود:

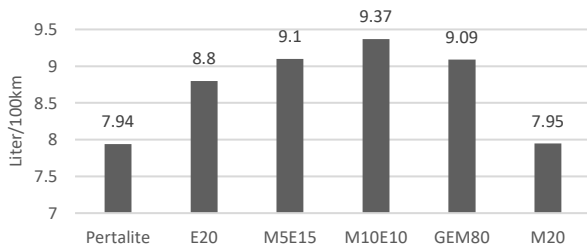
#### 4-1- تولید متانول در چین

چین یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان متانول در جهان است و دارای ظرفیت‌های تولید بسیار بالا است. کارخانه‌های متعددی در سراسر کشور به تولید متانول مشغول هستند. چین از منابع طبیعی مانند زغال‌سنگ و گاز طبیعی به‌عنوان مواد اولیه برای تولید متانول استفاده می‌کند. ظرفیت نامی تولید متانول در چین حدود 101 میلیون تن در سال بوده که فقط 41 میلیون تن آن به صورت عملیاتی در چرخه تولید است [1]. تولید متانول در چین از دو منبع اصلی زغال‌سنگ و گاز طبیعی صورت می‌گیرد که از کل تولید، 75 درصد از زغال‌سنگ و 25 درصد از گاز طبیعی بوده است.

- تشدید خوردگی: تشدید خوردگی در حضور آب، اکسیژن، گوگرد و سایر آلاینده‌ها امکان‌پذیر است.
- تخریب قطعات: خوردگی ممکن است به انسداد مجاری سوخت، تخریب قطعات پلیمری، و بروز مشکلاتی در قطعات از جنس آلومینیوم، تیتانیوم، روی، منیزیم و فولاد گالوانیزه منجر شود [6،7].

#### 4-4- محتوای انرژی:

کاهش محتوای انرژی: محتوای انرژی متانول نصف بنزین است که به معنای نیاز به تعداد دفعات سوخت‌گیری بیشتر برای طی مسافت یکسان (افزایش مصرف سوخت) با فرض ثابت عدد اکتان می‌شود [15،16]. (شکل 6)



شکل 6 محتوای انرژی سوخت‌های مختلف برحسب لیتر بر 100 کیلومتر<sup>1</sup>

#### 4-5- گازهای خروجی اگزوز:

استفاده از متانول در بنزین باعث بهبود عملکرد موتور و افزایش عدد اکتان می‌شود. همچنین، اگر سوختن به طور کامل انجام شود، میزان انتشار منوکسید کربن (CO) و هیدروکربن‌های نسوخته (HC) کاهش می‌یابد. اما در مقابل، دی‌اکسیدکربن (CO<sub>2</sub>) و اکسیدهای نیتروژن (NOx) بیشتری تولید می‌شود. (جدول 4)

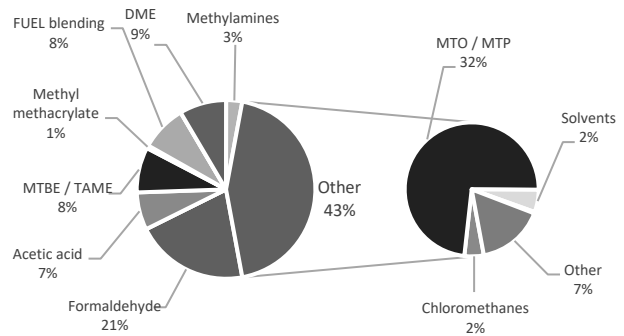
جدول 4- آلاینده‌های سوخت‌های مختلف برحسب گرم بر کیلومتر

Fuel	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	CO2 (g/km)
RON90	1.83	0.67	0.38	183.55
E5M15	1.677	0.595	0.46	212.481
E20	1.435	0.612	0.103	205.85
M20	1.829	0.713	0.38	184.691
E10	1.571	0.548	0.495	219.506
E15 M5	0.932	0.555	0.494	214.184

#### 4-6- قدرت و گشتاور:

افزایش عدد اکتان سبب کاهش ضربه به قطعات موتور و افزایش طول عمر خودرو می‌شود و داشتن قدرت و گشتاور بیشینه مستلزم تزریق حجم سوخت بالاست که با افزایش افزونه، میزان سوخت ورودی در محفظه احتراق کاهش خواهد یافت [13،14].

این موارد نشان‌دهنده چالش‌ها و مسائل مرتبط با استفاده از متانول به‌عنوان افزودنی سوخت در مقابل استفاده سوخت خالص در لایه فنی -



شکل 5 مصرف متانول در چین

#### 4-3- چالش‌های فنی استفاده از متانول به‌عنوان افزودنی سوخت و سوخت

خالص در لایه فنی - اقتصادی و زیست‌محیطی در چین

استفاده از متانول در سوخت، چالش‌هایی را در حوزه فنی خودرو به وجود می‌آورد که جمیع آنها کمک به انصراف چین از استفاده از متانول به‌عنوان سوخت یا افزونه نماید. این چالش‌ها را می‌توان به 6 بخش تقسیم نمود:

#### 4-3-1- جداسازی فازی:

- خاصیت قطبی الکل: متانول به‌عنوان ماده‌ای قطبی و بنزین به‌عنوان ماده‌ای غیرقطبی دارای خواص مختلفی هستند که باعث جداسازی فازها می‌شود.
- میل الکل به جذب آب: میل الکل به جذب آب و تشکیل پیوند هیدروژنی باعث جدا شدن فاز بنزین و الکل شده و ممکن است خورده شدن کف مخازن حاوی سوخت و ایجاد نشی را تسریع کند.
- کاهش عدد اکتان: جدا شدن فاز بنزین ممکن است به کاهش عدد اکتان فاز بنزین منجر شود.

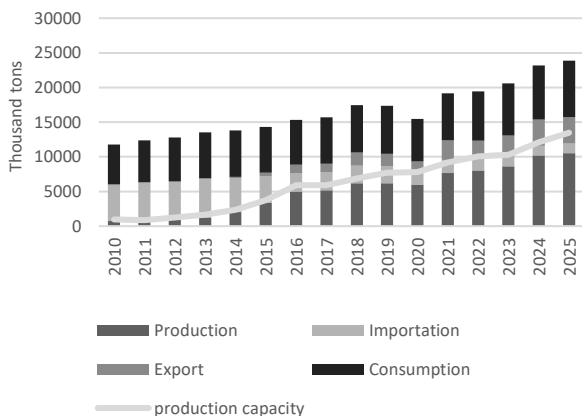
#### 4-3-2- فراریت:

- افزایش RVP: افزایش فشار بخار نسبی (RVP) می‌تواند احتمال تبخیر سوخت را افزایش دهد.
- تأثیر RVP بر سوخت‌ها: RVP برای سوخت‌های Methanol, Gasoline, و M15 به ترتیب 62 kPa، 32 kPa و 84.5 kPa است.
- مشکلات افزایش یا کاهش RVP: RVP خیلی بالا ممکن است باعث انسداد مجاری سوخت‌رسانی و قفل بخار شود، درحالی‌که RVP خیلی پایین ممکن است مشکلاتی را در فرایند استارت (شروع به کار) خودرو ایجاد کند.

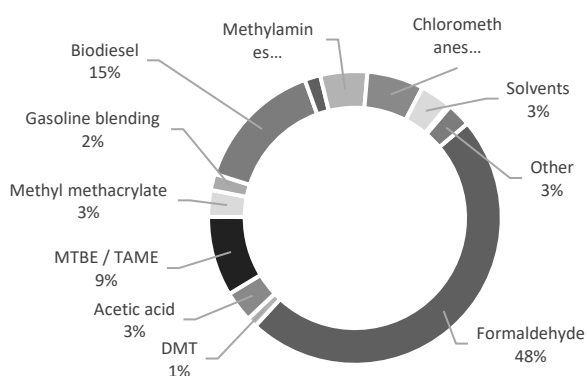
#### 4-3-3- خوردگی:

- خوردگی الکل‌ها: خوردگی الکل‌ها به توانایی برخی الکل‌ها در آسیب رساندن به بافت‌های بیولوژیکی، مواد مختلف یا سطوح خاص اشاره دارد. این خاصیت معمولاً به دلیل واکنش‌پذیری شیمیایی، حلالیت بالا یا توانایی در تجزیه چربی‌ها و پروتئین‌ها ایجاد می‌شود.

<sup>1</sup> این شکل مصرف سوخت معادل برای انجام یک پیمایش ثابت با چند نوع سوخت را مقایسه می‌کند، فلذا به صورت ضمنی می‌توان بیان نمود که محتوای انرژی سوخت‌ها مقایسه می‌شود.



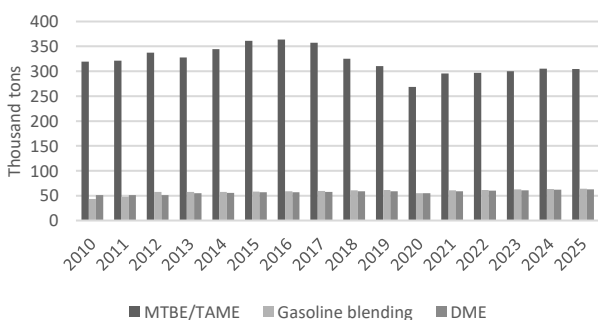
شکل 8 روند تغییرات سالانه عرضه و تقاضای متانول در آمریکا



شکل 9 سهم بخش‌های مختلف در مصرف متانول در کشور آلمان

### 7- مصرف افزونه‌های سوختی در آلمان

همان‌گونه که در شکل 10 مشخص است، در آلمان نیز همانند ایالات متحده، عمدتاً سید مصرفی افزونه‌های سوختی را تشکیل می‌دهد و سهم دیگر افزونه‌ها بسیار کمتر است.



شکل 10 مصرف انواع افزونه‌های سوختی در آلمان

روند مصرف افزونه‌های سوختی در این کشور دارای نوساناتی بوده اما روند کلی عرضه و تقاضای افزونه‌ها در بلندمدت ثابت بوده است. میزان عرضه و تقاضای متانول را از سال 2010 تا کنون در شکل 11 قابل مشاهده است.

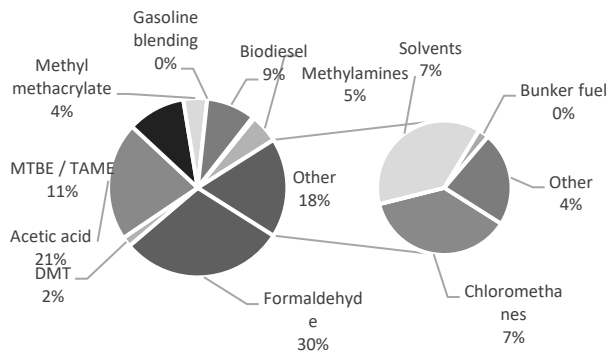
اقتصادی و زیست‌محیطی در چین هستند که تصمیمات سیاست‌گذاری ممکن است در جهت بهبود این مسائل انجام شود. باتوجه به موارد ذکر شده دولت مرکزی چین رویکرد خود را از خودروهای با سوخت متانول به خودروهای الکتریکی تغییر داد؛ اما در این بین برخی استان‌ها همچنان از متانول به صورت خالص و یا در اختلاط با بنزین برای سوخت خودروها استفاده می‌کنند.

### 5- روند مصرف متانول به عنوان افزودنی سوخت در آمریکا

کشور آمریکا رتبه چهارم تولیدکنندگان جهانی متانول در اختیار دارد. ظرفیت عملیاتی تولید این کشور به 7.6 میلیون تن در سال می‌رسد. از سوی دیگر این کشور در مصرف متانول به مقدار 6.7 میلیون تن در سال بعد از چین رتبه دوم را در اختیار دارد و به همین علت، این کشور سالانه 1.9 میلیون تن متانول وارد می‌کند. شکل 7 میزان مصرف متانول بخش‌های مختلف را نشان داده و شکل 8 روند سالانه تغییرات عرضه و تقاضای این کشور را بیان می‌کند.

### 6- روند مصرف متانول به عنوان افزودنی سوخت در آلمان

آلمان به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده متانول در اروپای غربی با میزان مصرف سالانه حدود 4/3 میلیون تن شناخته می‌شود. این مقدار نشان از اهمیت بالای متانول در اقتصاد و صنعت آلمان دارد. ظرفیت عملیاتی تولید متانول در این کشور نیز حدود 3/1 میلیون تن است. با این وجود، آلمان نیاز به واردات حدود 2/2 میلیون تن متانول دارد، که این میزان به عنوان یک نشانه از تعادل میان تقاضا و تولید در بازار متانول در این کشور مطرح می‌شود. واردات متانول نشان از تلاش برای تأمین نیازهای مصرف در حوزه‌های صنعتی و شیمیایی است که به دلیل متنوع بودن کاربردهای متانول، از اهمیت خاصی برخوردار است. در نهایت، این آمارها نمایانگر نقش کلیدی آلمان در بازار متانول اروپا و تأثیرگذاری این ماده در اقتصاد و صنعت این کشور است. شکل زیر مصرف متانول در آلمان را به تفکیک موارد مصرف نشان می‌دهد [10].

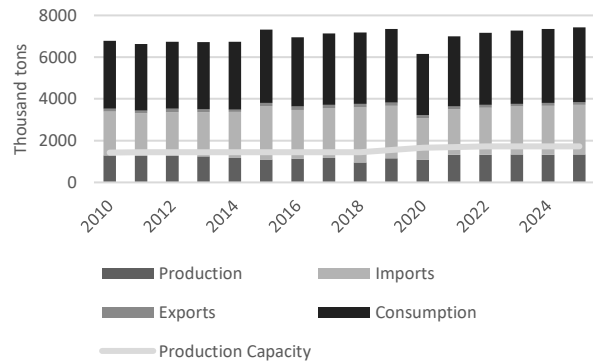


شکل 7 سهم بخش‌های مختلف در مصرف متانول

### 9- بررسی فنی

افزودن متانول به سوخت می‌تواند منجر به افزایش کارایی سوخت و کاهش مصرف سوخت در خودروها شود. متانول به‌عنوان یک منبع انرژی با فشار بخار پایین می‌تواند ترکیبی مناسب ایجاد کرده و احتراق بهینه‌تری فراهم کند. با این حال برای افزودن متانول به سوخت، نیاز به بررسی پایداری شیمیایی و ایمنی سوخت در شرایط مختلف است. همچنین، اثرات افزودن متانول بر قطعات خودرو و سیستم‌های انتقال باید به‌دقت مورد ارزیابی قرار گیرد. به همین منظور اختلاط متانول در سوخت به‌صورت آزمایشی توسط پژوهشگاه صنعت نفت صورت گرفته است. مشخصات سوخت پایه مورد استفاده در جدول 5 قابل مشاهده است.

مطالعه تجربی انجام شده توسط تی ساتیش کومار، بی اشوک در سال 2023 برای ارزیابی سازگاری مواد با متانول به‌عنوان یک سوخت آسب‌زا روی اجزای موتور است. نتایج نشان داد که افزایش درصد متانول باعث افزایش خوردگی سطوح فلزی می‌شود و حضور اکسیژن در متانول نیز به افزایش خوردگی فلزات کمک می‌کند. بر اساس نتایج، پیستون مقاومت کمتری نسبت به خوردگی نسبت به حلقه پیستون دارد. همچنین، خوردگی بر سطوح اجزای موتور تحت تأثیر متانول M100 بیشتر است [21،22].



شکل 11 روند تغییرات سالانه عرضه و تقاضای متانول در آلمان

### 8- بررسی فنی و اقتصادی افزودن متانول در سوخت مورد استفاده در ایران

بررسی فنی و اقتصادی افزودن متانول به سوخت بنزین و گازوئیل در ایران، به‌عنوان یک گزینه برای افزایش کارایی سوخت و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، می‌تواند موضوع مهمی باشد چرا که ممکن است چالش‌های احتمالی فنی و اقتصادی پیشروی در این زمینه، سیاست‌گذاران را از این تصمیم منصرف نماید.

جدول 5 مشخصات بنزین پایه مورد استفاده در آزمایشگاه

No	Test	Method	Result						Reproducibility of results
			بنزین سوپر اراک (خط ۱۶)		بنزین یورو ۴ (انبار نفت شمال غرب)		بنزین موتور (پالایشگاه تهران)		
			MeOH 0 vol%	MeOH 3 vol%	MeOH 0 vol%	MeOH 3 vol%	MeOH 0 vol%	MeOH 3 vol%	
1	RVP@ 100°F (kPa)	ASTM D323	56	66.5	57.5	75	53	69.5	±1.2
2	MTBE (vol%)	ASTM D6730	12.4	12	1.7	1.7	<0.1	<0.1	±5%
3	Density @15.5(g/ml)	ASTM D4052	0.7566	0.7577	0.7537	0.754	0.7443	0.7457	±0.0001
4	MeOH (vol%)	ASTM D6730	trace	2.9	trace	2.7	2.9	trace	±5%
5	Olefine (vol%)	ASTM D6730	15.6	15.1	11.1	11	2.1	2	±5%
6	Aromatic (vol%)	ASTM D6730	32.8	32	30.5	30.2	34.6	34.4	±5%
7	Saturates (vol%)	ASTM D6730	36.5	35.9	46.7	45.5	57.3	56.6	±5%
8	Unknown (vol%)	ASTM D6730	2	1.8	6	5.9	2	2.3	±5%
9	C13* (vol%)	ASTM D6730	0.5	0.3	3.8	3.8	4	3.8	±5%
10	Sulfur (ppm)	ASTM D5453	<10	<10	23	22	22	20	2
11	Benzene (vol%)	ASTM D6730	0.2	0.1	0.3	0.3	0.9	0.8	±5%
12	Copper Corrosion	ASTM D130	1a	1a	1a	1a	1a	1a	-

نتایج مشاهدات از دوفازی شدن نمونه‌های مورد آزمایش در دماهای مختلف نشان داده شده است. این نمونه‌ها به مدت 72 ساعت در دماهای مختلف قرار داده شده‌اند و نتایج زیر گزارش شده است.

### 9-1- آزمایش تشکیل مخلوط دوفازی

همان‌گونه که گفته شد، یکی از چالش‌های استفاده از متانول در سوخت، ایجاد ترکیب دوفازی است که به خودرو صدمات جدی وارد می‌آورد. در جدول 6

جدول 6 مشاهدات دوفازی نمونه‌های مختلف بنزین مخلوط با متانول در دماهای طی مدت زمان ۷۲ ساعت

No	Test	بنزین سوپر اراک (خط ۱۶)		بنزین یورو ۴ (انبار نفت شمال غرب)		بنزین موتور (پالایشگاه تهران)	
		MeOH 0 vol%	MeOH 3 vol%	MeOH 0 vol%	MeOH 3 vol%	MeOH 0 vol%	MeOH 3 vol%
		1	Appearance@ 25 °C	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase
2	Appearance@ -05 °C	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase
3	Appearance@ -10 °C	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase

4	Appearance@-15 °C	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	two phase
5	Appearance@-25 °C	Single phase	Single phase	two phase	two phase	two phase	two phase

تبخیر شود، آلاینده‌های مخرب مانند ذرات معلق (PM) و اکسیدهای نیتروژن (NOx) کاهش می‌یابند.

8- کاهش امکان ایجاد نقص در سیستم سوخت: فشار بخار مناسب سوخت می‌تواند از ایجاد نقص و مشکلات در سیستم سوخت خودرو جلوگیری کند. این امر می‌تواند به دوام و عملکرد بهتر کل سیستم سوخت کمک کند. فشار بخار نامناسب معمولاً منجر به عدم کارایی مناسب موتور، خرابی قطعات، افزایش مصرف سوخت و افزایش تولید آلاینده‌های محیط زیستی شود. از این رو، تعیین و نظارت دقیق بر فشار بخار سوخت یکی از جوانب مهم در بهینه‌سازی عملکرد و کاهش آلاینده‌ها در خودروها است و به همین جهت استانداردی برای فشار بخار سوخت‌ها تعیین شده است که در جدول 7 قابل مشاهده است.

میزان فشار بخار و اختلاط دوفازی سوخت‌های همراه با افزونه، ممکن است با درصد‌های مختلف متانول متفاوت باشد، از این رو فشار بخار و نوع اختلاط سوخت و افزونه در دودسته از نمونه‌ها بررسی شده است. جدول 8 نتایج بررسی سوخت پایه با متانول با درصد اختلاط 0 و 3 درصد متانول را نشان می‌دهد

جدول 7 فشار بخار بنزین‌های مختلف براساس کتابچه مشخصات فرآورده‌های نفتی (استاندارد ملی مربوط به فشار بخار بنزین در استانداردهای یورو 4 و یورو 5 به ترتیب با شماره‌های EN 228:2008 و EN 228:2017 شناخته شده و در استاندارد شرکت ملی استاندارد ایران نیز با شماره 4241-2 (تجدید نظر چهارم))

Gasoline Type	Vapor Pressure@1000°F (kPa)							
	Spring		Summer		Fall		Winter	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Reguler	50	62	45	60	50	65	60	70
Euro IV	50	62	45	60	50	65	60	70
Euro V	50	62	45	60	50	65	60	70

جدول 8 بررسی فشار بخار و مشاهدات دوفازی ترکیب درصد‌های مختلف متانول با بنزین پایه

No	Test	بنزین سوپر اراک		بنزین یورو 4		بنزین موتور	
		(خط ۱۶)		(انبار نفت شمال غرب)		(پالایشگاه تهران)	
		MeOH 0 vol%	MeOH 3 vol%	MeOH 0 vol%	MeOH 3 vol%	MeOH 0 vol%	MeOH 3 vol%
1	RPV@100°F (kPa)	56.0	71.0	57.5	78.5	53.0	72.0
2	Appearance@20°C	شفاف و یکنواخت	شفاف و یکنواخت	شفاف و یکنواخت	شفاف و یکنواخت	شفاف و یکنواخت	شفاف و یکنواخت
3	Increasing of Reserch Octane Number	0.0	1.3	0.0	2.3	0.0	2.9
1	RPV@100°F (kPa)	56.0	66.5	57.5	75.0	53.0	69.5
2	Appearance@20°C	شفاف و یکنواخت	شفاف و یکنواخت	شفاف و یکنواخت	شفاف و یکنواخت	شفاف و یکنواخت	شفاف و یکنواخت
3	Increasing of Reserch Octane Number	0	0.7	0	1.4	0	1.9

استفاده از متانول به‌عنوان افزودنی سوخت در ایران، به دلیل تولید بالای این ماده و مزایای اقتصادی بالقوه آن، مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، بررسی‌های فنی و اقتصادی نشان می‌دهند که این انتخاب، چالش‌ها و محدودیت‌هایی را به همراه دارد که باید به‌دقت مورد ارزیابی قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که مزایای آن بیشتر از معایب است.

#### 11-1- چالش‌های فنی استفاده از متانول

استفاده از متانول به‌عنوان افزودنی در سوخت بنزین، علی‌رغم برخی مزایای بالقوه نظیر افزایش اکتان و کاهش انتشار برخی آلاینده‌ها، با چالش‌های فنی متعددی همراه است [25، 26]. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که افزودن متانول می‌تواند منجر به خوردگی قطعات فلزی و پلاستیکی سیستم سوخت‌رسانی و بخش‌های موتور شود. این خوردگی که به‌ویژه در شرایط حضور آب تشدید می‌شود، می‌تواند عملکرد خودرو را تحت تأثیر قرار دهد و به خرابی‌های جدی منجر شود.

دیگر مطالعات آزمایشگاهی نیز تأیید می‌کنند که افزودن بیش از 5 درصد متانول بدون اصلاح مواد قطعات، به ویژه در حضور رطوبت، موجب خوردگی قابل توجه در سیستم سوخت‌رسانی می‌شود. این یافته لزوم به‌کارگیری فناوری‌های مقاوم‌سازی را پررنگ می‌کند [22].

#### 11-2- مشکلات دوفازی شدن سوخت

یکی از مسائل مهم در استفاده از متانول در سوخت، تمایل آن به تشکیل مخلوط دوفازی است. این ویژگی، به‌ویژه در دماهای پایین، می‌تواند پایداری سوخت را کاهش داده و باعث اختلال در سیستم‌های سوخت‌رسانی شود. نتایج نشان می‌دهد که اختلاط متانول در درصدهای پایین نیز در دماهای زیر صفر می‌تواند موجب تشکیل دو فاز شود و خطر نشست و مشکلات فنی را افزایش دهد.

#### 11-3- مسائل مربوط به فشار بخار و احتراق

بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که افزودن متانول به بنزین می‌تواند فشار بخار سوخت را افزایش دهد. این امر ممکن است به مشکلاتی نظیر قفل بخار و اختلال در فرایند تبخیر در سیستم سوخت‌رسانی منجر شود که در نهایت عملکرد موتور و راندمان خودرو را تحت تأثیر قرار خواهد داد. کنترل دقیق این مسئله نیازمند اقدامات ویژه و بهبود زیرساخت‌های فنی است.

با این حال دیگر مطالعات نشان می‌دهند که با بهینه‌سازی نسبت اختلاط و استفاده از کاتالیست‌های مدرن می‌توان اثرات منفی آن را کنترل کرد.

#### 11-4- لزوم تغییرات ساختاری در خودروها

برای جلوگیری از آثار منفی استفاده از متانول، ضروری است که تغییرات ساختاری در سیستم‌های خودروها اعمال شود. این تغییرات شامل استفاده از مواد مقاوم در برابر خوردگی و بهینه‌سازی طراحی بخش‌های مرتبط با سوخت‌رسانی است. اجرای این اقدامات نیازمند همکاری نزدیک بین صنعت خودروسازی و بخش‌های مرتبط با تولید سوخت است تا راه‌حل‌های مؤثری برای کاهش آسیب‌های احتمالی و بهبود کارایی سوخت توسعه یابد. این امر نیازمند سرمایه‌گذاری در صنایع خودروسازی و صرف هزینه جهت بهبود عملکرد خودروهای مورد استفاده در کشور است. امکان‌سنجی پیاده‌سازی این تغییرات و هزینه‌های مرتبط با آن نیازمند پژوهشی جداگانه است.

همان‌گونه که در جدول 8 مشاهده می‌شود، در برخی موارد، فشار بخار سوخت از فشار بخار استاندارد بالاتر رفته است. بیشترین میزان تجاوز از حد استاندارد نیز مربوط به بنزین یورو 4 انبار نفت شمال و با اختلاط 3 درصدی متانول است که فشار بخار آن 78.5 kPa است که از حداقل فشار بخار میان حداکثر فشار بخارهای فصول مختلف (60 kPa در تابستان) به میزان 18.5 kPa بیشتر است.

#### 10- بررسی اقتصادی

افزودن متانول به سوخت باید از نظر هزینه تولید اقتصادی باشد. هزینه تولید که شامل فرایند تولید متانول، حمل‌ونقل و توزیع است، باید با هزینه تمام شده سوخت مورد استفاده فعلی در مقایسه قرار گیرد. در ضمن، افزودن متانول به سوخت می‌تواند باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مواد آلاینده شود که این موضوع به لحاظ اقتصادی نیز اهمیت دارد؛ زیرا کاهش انتشارات ممکن است به افزایش میزان تولید سوخت‌های سبز و پایدار منجر شود. بررسی و محاسبه کاهش انتشارات ناشی از استفاده افزونه قابل‌محاسبه است؛ اما در این بررسی لحاظ نشده است.

میزان متانول لازم جهت اختلاط در سناریوهای مختلف در جدول 9 قابل‌مشاهده است. بسته به نوع سوخت و میزان اختلاط بنزین و متانول، هزینه تمام شده و صرفه‌جویی شده متفاوت خواهد بود. در جدول ذیل، صرفه‌جویی روزانه در بنزین مصرفی، صرفه‌جویی سالانه و متانول موردنیاز جهت تولید بنزین موردنیاز برای هر سناریو قابل‌مشاهده است [25].

برای بررسی میزان صرفه‌جویی شده و متانول مورد نیاز، چهار سناریو از سوخت مصرفی با درصدهای مختلف متانول (3، 5، 10 و 15 درصد) در نظر گرفته شده است. میزان بنزین مصرفی در کشور نیز به طور متوسط روزانه 110 میلیون لیتر تخمین زده شده است. همچنین اختلاف قیمت متانول و بنزین نیز حدود 40 سنت در نظر گرفته شده است.

جدول 9 صرفه‌جویی ارزی ناشی از اختلاط متانول با بنزین و متانول مورد نیاز برای اجرای هز سناریو باتوجه‌به مصرف سالانه بنزین

متانول مورد نیاز (میلیون تن در سال)	صرفه‌جویی سالانه (دلار)	صرفه‌جویی سالانه (میلیون لیتر)	صرفه‌جویی روزانه (میلیون لیتر)	سناریو
0.95	481	1204	3/3	M3
1.59	802	2007	5/5	M5
3.18	1606	4015	11	M10
4.77	2408	6022	16.5	M15

دیگر برآوردهای اقتصادی اخیر حاکی از آن است که اختلاط 10٪ متانول می‌تواند سالانه تا 1.6 میلیارد دلار صرفه‌جویی ارزی برای ایران به همراه داشته باشد. این رقم باتوجه‌به ظرفیت‌های داخلی می‌تواند افزایش یابد.

#### 11- نتیجه‌گیری

- [18] Khalid Y. Al-Qahtani and Ali Elkamel. "Planning and Integration of Refinery and Petrochemical Operations." *Wiley-VCH*.
- [19] Teruo Yamauchi and Takao Sasayama. "The Effect of Methanol-Gasoline Mixing Ratio on Performance of Internal Combustion Engines." *International Congress and Exposition*, 2 March 1990.
- [20] Chi-Jen Yang, Robert B. Jackson. "China's Growing Methanol Economy and Its Implications for Energy and the Environment." *Energy Policy*, 2 December 2011.
- [21] T. Sathish Kumar, B. "Material compatibility of SI engine components towards corrosive effects on methanol-gasoline blends for flex fuel applications." *Ashok*. 15 February 2023.
- [22] Zhang, Y., Li, X. and Wang, J. (2023) 'Recent advances in methanol-gasoline blends as alternative fuels for internal combustion engines', *Journal of Cleaner Production*, 402, p. 136789.
- [23] Rahimi, T., Karimi, I. and Latifi, A. (2022) 'Economic and environmental assessment of methanol blending in gasoline: A case study of Iran', *Energy Policy*, 168, p. 113102.
- [24] Kumar, T.S. and Ashok, B. (2023) 'Material compatibility of SI engine components towards corrosive effects of methanol-gasoline blends for flex fuel applications', *Fuel Processing Technology*, 241, p. 107623.
- [25] Li, H., Chen, W. and Zhang, Q. (2022) 'Phase separation and cold-start challenges in methanol-gasoline blends', *Applied Energy*, 306, p. 118004.
- [26] Smith, R., Johnson, E. and Brown, M. (2023) 'Methanol as a sustainable fuel additive: Global trends and future prospects', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 172, p. 113045.
- [27] Wang, C., Liu, Y. and Huang, H. (2022) 'Impact of methanol blending on emissions and engine performance in modern vehicles', *Environmental Science & Technology*, 56(4), pp. 2345-2356.
- [28] Mohammadi, A., Alizadeh, M. and Farsi, M. (2023) 'Techno-economic analysis of methanol production from natural gas in Iran', *Energy Conversion and Management*, 276, p. 116543.
- [29] Chen, L., Yang, J. and Wu, K. (2022) 'Comparative study of methanol and ethanol as gasoline additives', *Fuel*, 310, p. 122301.
- [30] International Energy Agency (IEA) (2023) Policy Recommendations for Methanol Adoption in Developing Countries. Paris: IEA Publications.
- [31] Johnson, E., Davis, P. and Green, T. (2022) 'Lifecycle assessment of methanol-blended fuels: Environmental and energy perspectives', *Journal of Industrial Ecology*, 26(3), pp. 789-802.
- بالین حال، باتوجه به یافته‌های جهانی، سهم متانول در سوخت‌های ترکیبی تا ۲۰۳۰ به ۱۵ درصد خواهد رسید. برای تحقق این هدف در ایران، تدوین سیاست‌های حمایتی مانند استانداردهای فنی و یارانه‌های تولید ضروری است و نیازمند سیاست‌گذاری بلندمدت است [31].

## 12- منابع

- [1] Methanol fuel in China. *China Association of Alcohol and Ether Fuel and Automobiles (CAAEEFA)*. March 2021.
- [2] *Methanex Corporation Annual Information Form*. Methanex. March 2017.
- [3] Taher Rahimi, Ibrahim Karimi Saleh, Abbas Latifi, Zahra Hassankhani Majd. "Methanol as a Fuel for Light Vehicles" *Research Institute of Science and Technology*, Maham.
- [4] Genia Kostka, William Hobbs. "Embedded Interests and the Managerial Local State: the Political Economy of Methanol Fuel-Switching in China", *Journal of Contemporary China*, 2 November 2012.
- [5] Abigail Martin, Jane O'Malley. "Compatibility of Methanol Fuel Blends with Gasoline Vehicles and Engines in Indonesia" *The International Council on Clean Transportation*, December 2021.
- [6] S. Babazadeh Shayan, S. M. Seyedpour, F. Ommi, S. H. Moosavy, and M. Alizadeh. "Impact of Methanol-Gasoline Fuel Blends on the Performance and Exhaust Emissions of a SI Engine" *International Journal of Automotive Engineering*, July 2011.
- [7] Mohamad Rifal, Nazaruddin Sinaga. "Impact of Methanol-Gasoline Fuel Blend on The Fuel Consumption and Exhaust Emission of A SI Engine". *The 3rd International Conference on Advanced Materials Science and Technology (ICAMST 2015)*, April 2016.
- [8] "Innovation Outlook Renewable Methanol". *International Renewable Energy Agency*, 2021.
- [9] Eelco Dekker. "Renewable Methanol Trends and Developments" *Methanol Institute*, 21 October 2019.
- [10] Market Analytics: Methanol and Derivatives - 2020. *Nexant*, 2020.
- [11] Ronald Smith, "Process Economics Program Report 282 Methanol to Gasoline", December 2011.
- [12] Charles Gray Jr., Jeff Alson. "The Environmental Impacts of the Use of Methanol as a Motor Vehicle Fuel", *First International Conference on Fuel Methanol*, 10 May 1983.
- [13] Askar Adika Agama, Bambang Sugiarto, Mokhtar, Anis Sukmono, Kevan Jeremy Igorio, Muhammad Her Perwito Fathoni, Fadhel Muhammad. "The Emission Effect of Utilization of Gasoline, Ethanol, and Methanol (GEM) Blend in Passenger Car." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023.
- [14] M. Abu-Zaid, O. Badran, and J. Yamin. "Energy & Fuels," Effect of Methanol Addition on the Performance of Spark Ignition Engines", Vol. 18, No. 2, 1 March 2004.
- [15] Zhao Zhang, Mingsheng Wen, Yanqing Cui, Zhenyang Ming, Tongjin Wang, Chuanqi Zhang, Jeffrey Dankwa Ampah, Chao Jin, Haozhong Huang, and Haifeng Liu. "Effects of Methanol Application on Carbon Emissions and Pollutant Emissions Using a Passenger Vehicle", *Advanced Combustion and Combustion Diagnostic Techniques*, 7 March 2022.
- [16] Somiari, Ibubeleye. "Co-production of Acetic Acid and Hydrogen/Power from Natural Gas with Zero Carbon Dioxide Emissions." *UCLA Electronic Theses and Dissertations*, 2017.
- [17] Manal Amine, Y. Barakat. "Properties of Gasoline-Ethanol-Methanol Ternary Fuel Blend Compared with Ethanol-Gasoline and Methanol-Gasoline Fuel Blends." *Egyptian Journal of Petroleum*, 14 September 2019.