

به نام خداوند جان و خرد

وزارت نیرو  
معاونت برق و انرژی  
دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی

عنوان گزارش:

**توسعه بخش حمل و نقل کشور:**  
مقایسه فنی، اقتصادی و زیست محیطی انواع خودروهای  
سبک سواری

تهیه‌کننده:  
وحید آریان‌پور

فروردین ۱۳۹۴

## فهرست مطالب

### صفحه

### عنوان

..... ۴	..... ۱. مقدمه
..... ۵	..... ۲. روش انجام مطالعه
..... ۷	..... ۱-۲. محاسبه راندمان انرژی
..... ۹	..... ۲-۲. محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای
..... ۱۰	..... ۳. تحلیل چاه تا تانک
..... ۱۰	..... ۱-۳. سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام
..... ۱۰	..... ۱-۱-۳. محاسبه راندمان انرژی در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام
..... ۱۲	..... ۲-۱-۳. محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام
..... ۱۲	..... ۲-۳. سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از زغال‌سنگ
..... ۱۳	..... ۱-۲-۳. محاسبه راندمان انرژی در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از زغال‌سنگ
..... ۱۵	..... ۲-۲-۳. محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از زغال‌سنگ
..... ۱۵	..... ۳-۳. سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی
..... ۱۶	..... ۱-۳-۳. محاسبه راندمان انرژی در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی
..... ۱۹	..... ۲-۳-۳. محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی
..... ۲۰	..... ۴-۳. سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده
..... ۲۰	..... ۱-۴-۳. محاسبه راندمان انرژی در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده
..... ۲۲	..... ۲-۴-۳. محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده
..... ۲۴	..... ۵-۳. سیستم عرضه برق
..... ۲۴	..... ۱-۵-۳. محاسبه راندمان انرژی در سیستم عرضه برق
..... ۲۶	..... ۲-۵-۳. محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم عرضه برق
..... ۲۷	..... ۴. تحلیل تانک تا چرخ
..... ۲۸	..... ۵. تحلیل چاه تا چرخ
..... ۲۹	..... ۱-۵. اطلاعات فنی و زیست محیطی
..... ۳۳	..... ۶. نتایج
..... ۳۳	..... ۱-۶. مصرف انرژی
..... ۳۴	..... ۲-۶. انتشار گازهای گلخانه‌ای
..... ۳۵	..... ۳-۶. هزینه مصرف سوخت
..... ۳۶	..... مراجع

## فهرست نمودارها

صفحه	عنوان
۵	شکل ۱- مراحل مختلف رویکرد LCA برای تکنولوژی‌های انرژی
۶	شکل ۲- تحلیل چاه تا چرخ
۱۰	شکل ۳- سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام
۱۳	شکل ۴- سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از زغال سنگ
۱۶	شکل ۵- سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی
۲۰	شکل ۶- سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده
۲۵	شکل ۷- سیستم عرضه انواع سوخت‌های استفاده شده در نیروگاه‌های کشور
۲۶	شکل ۸- عرضه انرژی الکتریکی
۲۹	شکل ۹- زنجیره چاه تا چرخ
۳۴	شکل ۱۰- مقایسه مصرف انرژی اولیه و نهایی در سال سی‌ام (منظور از lge لیتر معادل بنزین می‌باشد)
۳۵	شکل ۱۱- انتشار گازهای گلخانه‌ای (از چاه تا چرخ) به وسیله انواع خودروها در سال سی‌ام
۳۶	شکل ۱۲- متوسط هزینه سوخت به ازای واحد مسافت طی شده در سال سی‌ام

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۹.....	جدول ۱- ضرائب معادل‌سازی انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای.....
۱۱.....	جدول ۲- راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام.....
۱۲.....	جدول ۳- انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام.....
۱۴.....	جدول ۴- راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از زغال سنگ.....
۱۵.....	جدول ۵- انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از زغال سنگ.....
۱۷.....	جدول ۶- راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی.....
۱۹.....	جدول ۷- انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی.....
۲۱.....	جدول ۸- راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده.....
۲۴.....	جدول ۹- انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده.....
۲۵.....	جدول ۱۰- راندمان در زنجیره عرضه سوخت‌های به کار رفته در نیروگاه‌های کشور.....
۲۶.....	جدول ۱۱- راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه الکتریسیته در کشور.....
۳۰.....	جدول ۱۲- اطلاعات فنی و زیست محیطی زنجیره تولید و مصرف مسیرهای منتخب در افق سه ساله.....

## ۱. مقدمه

حمل و نقل یکی از مهمترین بخش‌های مصرف کننده انرژی در کشور ما می‌باشد. جابه‌جایی مسافر به وسیله خودروهای سبک سواری سهم عمده‌ای از کل مصرف انرژی در این بخش را به خود اختصاص داده است. از این رو تمرکز بسیاری از مطالعات بین‌المللی بر کنترل و کاهش مصرف انرژی این بخش می‌باشد. خودروهای سبک سواری و سوخت‌های جایگزین از پتانسیل قابل توجهی در زمینه کاهش مصرف انرژی و نگرانی‌های زیست محیطی برخوردار می‌باشند. به همین دلیل، پیش‌بینی روند توسعه تکنولوژی‌های نوظهور و سوخت‌های جایگزین در آینده و اثرات متقابل آنها بر منابع انرژی و محیط زیست اهمیت زیادی دارد. این پیش‌بینی‌ها بایستی در یک برنامه‌ریزی بلند مدت و با استفاده از یک رویکرد تحقیقاتی یکپارچه که در برگیرنده زنجیره تولید سوخت و مصرف آن در تکنولوژی خودرو می‌باشد مورد توجه قرار گیرند.

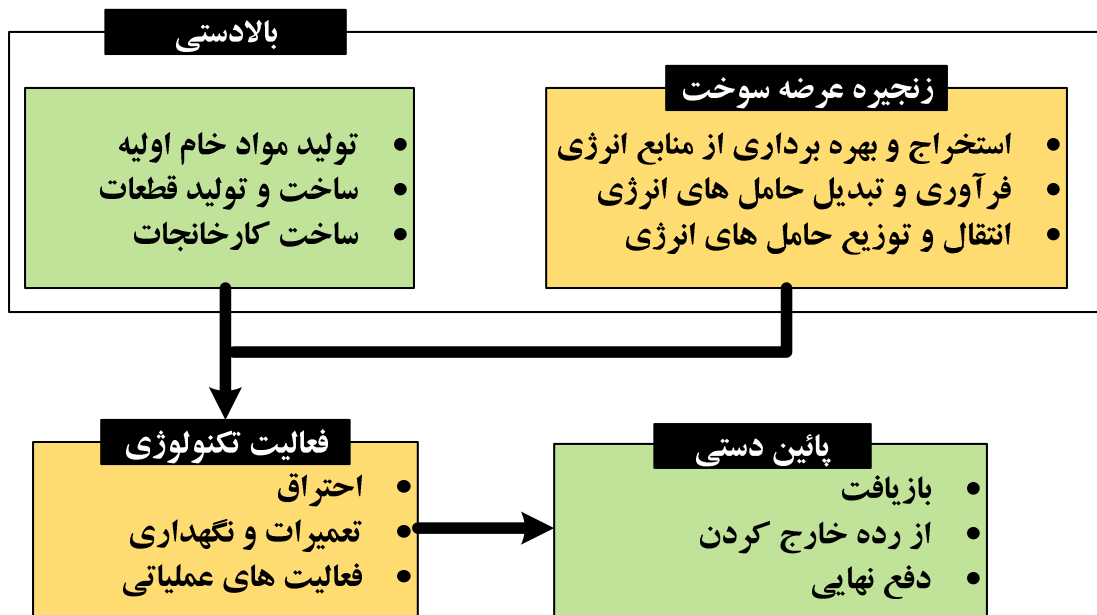
از دیدگاه مصرف انرژی یا راندمان انرژی روشی تحت عنوان برآورد مصرف انرژی از چاه تا چرخ برای سوخت‌های مختلف مصرفی در حمل و نقل متداول بوده که تعیین کننده استراتژی مصرف سوخت و انتخاب نوع تکنولوژی موتور خودرو می‌باشد. این روش علمی و تجربی در حقیقت هدفی را دنبال می‌کند که به منافع ملی توجه دارد. در این روش منافع تولید کننده، توزیع کننده یا منافع صنعت خودرو به تنهایی مطرح نیست، بلکه استاندارد راندمان انرژی از دیدگاه تبدیل به کار مفید در طول زنجیره تولید و مصرف سوخت شامل مراحل نظیر استخراج، انتقال اولیه، فرآوری و تبدیل، انتقال ثانویه، توزیع و نهایتاً مصرف آن در موتور خودرو و تبدیل به کار مفید در چرخ‌ها مد نظر قرار می‌گیرد. در برآورد راندمان انرژی در زنجیره تولید، میزان مصرف انرژی در مراحل فوق‌الذکر برای هر سوختی محاسبه شده و به وسیله آن میزان مصرف انرژی در هر کیلومتر مسافت طی شده محاسبه می‌گردد. این روش، یک روش تحلیلی برای ارائه سیاست راهبردی و تبیین نقشه راه تولید وسائط حمل و نقل جاده‌ای نیز محسوب گشته و قابلیت تعیین نوع خودرو و میزان تولید آن در افق بلندمدت با تکیه بر منافع ملی را دارد.

هدف این مطالعه بررسی زنجیره تولید و مصرف انواع حامل‌های انرژی که در بخش حمل و نقل جاده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند از منظر فنی، اقتصادی و زیست محیطی می‌باشد. بر این اساس، ابتدا فرضیات و روش‌های محاسباتی در قالب روش‌شناسی تحلیل سیستم عرضه و مصرف انواع حامل‌های انرژی بر شمرده می‌شوند تا نحوه برآورد راندمان انرژی در طول زنجیره تولید و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای این حامل‌ها تبیین گردد. سپس محاسبه و ارزیابی این پارامترها در زنجیره عرضه یعنی از چاه تا تانک، محاسبه آنها در تکنولوژی‌های مصرف یعنی از تانک تا چرخ و در ادامه مجموع این دو بخش با عنوان از چاه تا چرخ صورت

می‌پذیرد. در انتها هم رتبه‌بندی مسیرهای گوناگون تولید و مصرف انواع حامل‌ها از لحاظ فنی، اقتصادی و زیست محیطی ارائه می‌گردد.

## ۲. روش انجام مطالعه

به موازات افزایش آگاهی‌های زیست محیطی، جوامع بشری با حساسیت بیشتری اثرات صنایع و فعالیت‌های تجاری مختلف بر محیط زیست را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. در پاسخ به چالش‌های زیست محیطی، بسیاری از صنایع به سراغ تکنولوژی‌ها و فرآیندهای با آلاینده‌گی کمتر رفته‌اند و شرکت‌های مختلف با اتخاذ روش‌ها و استراتژی‌های گوناگون، سعی در کاهش اثرات منفی بر محیط زیست دارند. یکی از این روش‌ها، استفاده از رویکرد "ارزیابی چرخه حیات" یا "LCA" می‌باشد. LCA ابزاری برای تجزیه و تحلیل اثرات زیست محیطی محصولات در همه مراحل چرخه عمر آنها می‌باشد. مطابق شکل (۱)، در این رویکرد که گاهی با عنوان "از گهواره تا گور"<sup>۲</sup> از آن یاد می‌شود، استخراج منابع تا تولید مواد، تولید قطعات و تولید نهایی محصول و استفاده از محصول تا مدیریت پس از دفع آن شامل بازیافت، استفاده مجدد و دفع نهایی در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر اثرات زیست محیطی محصول مورد نظر در تک تک مراحل مزبور در نظر گرفته می‌شود.



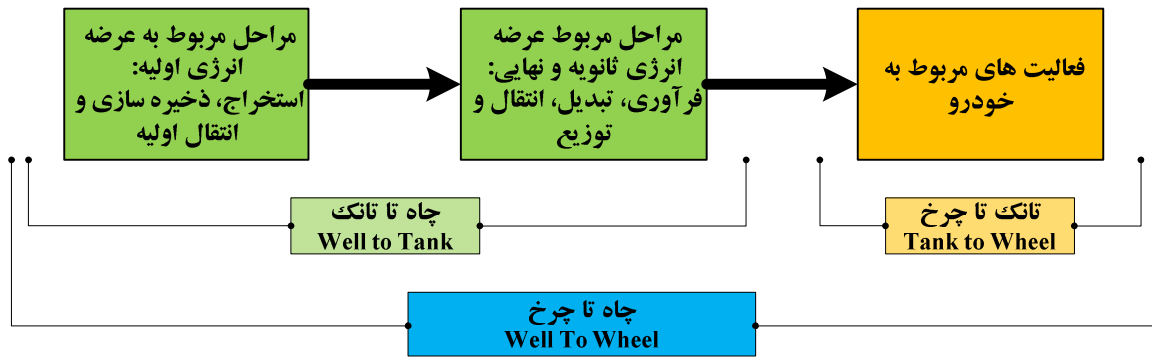
شکل ۱- مراحل مختلف رویکرد LCA برای تکنولوژی‌های انرژی [۱]

<sup>1</sup> Life Cycle Assessment

<sup>2</sup> Gradle to Grave

در این مطالعه هدف اصلی، تمرکز بر زنجیره عرضه انرژی و انواع تکنولوژی‌های خودروهای جایگزین می‌باشد. بر این اساس، برآورد دقیق راندمان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای نیازمند تجزیه و تحلیل کل زنجیره تولید و مصرف آن می‌باشد. چنین رویکردی در بخش حمل و نقل، با عنوان تحلیل "از چاه تا چرخ یا <sup>1</sup>WTW" یاد می‌گردد.

شکل (۲) تحلیل WTW را در بخش حمل و نقل جاده‌ای را نشان می‌دهد. در این شکل دو قسمت مجزا در نظر گرفته شده تا مقایسه بهتری بین زنجیره تولید سوخت‌های مختلف (<sup>2</sup>WTT) و تکنولوژی موتور خودروها (<sup>3</sup>TTW) با یکدیگر صورت پذیرد. WTT با استخراج مواد خام اولیه آغاز شده و پس از فرآوری و تولید انواع سوخت‌ها، به انتقال و توزیع آنها ختم می‌گردد. TTW نیز مجموعه فعالیت‌های خودرو را تحت پوشش قرار می‌دهد.



شکل ۲- تحلیل چاه تا چرخ [۲]

در ادامه نحوه محاسبه راندمان انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل زنجیره عرضه و تقاضا تشریح می‌گردد.

<sup>1</sup> Well-to-Wheel (WTW)

<sup>2</sup> Well-to-Tank (WTT)

<sup>3</sup> Tank-to-Wheel (TTW)

## ۲-۱. محاسبه راندمان انرژی

راندمان انرژی در هر مرحله از زنجیره تولید به صورت محتوای انرژی حامل انرژی خروجی نسبت به مجموع محتوای انرژی حامل‌های انرژی ورودی (مواد خام ورودی و انرژی مصرفی) تعریف می‌شود. این مقادیر در اکثر موارد از منابع معتبر استخراج و با استفاده از نسبت مذکور محاسبه شده است. ذکر این نکته ضروری است با توجه به این که اکثر روش‌های تولید در حال حاضر در کشور ما وجود نداشته و برخی دیگر نیز تکنولوژی‌های وارداتی هستند (نظیر تولید زیست سوخت‌ها و سوخت‌های سنتز)، در بسیاری از موارد ناگزیر به استفاده از اطلاعات بین‌المللی می‌باشیم. اما در عین حال تلاش شده تا محاسبات با توجه به واقعیت موجود در کشور تعدیل گردند.

فرضیات مراحل انتقال و توزیع بر مبنای محتمل‌ترین حالت و با در نظر گرفتن شرایط جغرافیایی، موقعیت ذخائر نفت و گاز (اکثراً جنوب ایران) و فواصل بین محل تولید و مصرف محاسبه شده‌اند. مطابق اطلاعات ترازنامه انرژی در سال ۱۳۹۱ خوراک نفت خام پالایشگاه‌ها معادل ۶۵۷.۳ میلیون بشکه و میزان کارکرد خطوط لوله نفت خام ۳۲۲۲۹/۱ میلیون تن- کیلومتر (tkm) بوده است. بنابراین متوسط انتقال نفت خام در کشور حدود ۳۵۸ کیلومتر بوده است.

$$\text{Average of Pipeline Transportation of Crude Oil} = \frac{32229.1 * 10^6 \frac{\text{tkm}}{\text{year}}}{657.3 * 10^3 \frac{\text{bbl}}{\text{year}} * 159 \frac{\text{lit}}{\text{bbl}} * 0.86 \frac{\text{ton}}{1000 \text{ lit}}} = 358 \text{ km}$$

همچنین حدود ۸۵ درصد از فرآورده‌های نفتی در کشور در سال ۱۳۹۱ به وسیله خطوط لوله و تانکرهای جاده‌پیما حمل شده است که عملکرد انتقال به وسیله خطوط لوله برابر ۲۳۷۷۳ میلیون تن- کیلومتر و به وسیله تانکرهای جاده‌پیما ۸۸۷۵ میلیون تن- کیلومتر بوده است. از طرفی میزان تولید بنزین، گازوئیل به ترتیب معادل ۵۴۲۴۳، ۹۳۵۹۵ متر مکعب در روز بوده است. از آنجایی که این فرآورده‌ها حدود ۸۰ درصد از کل محصولات حمل شده از پالایشگاه با خط لوله می‌باشد مطابق محاسبات متوسط انتقال فرآورده‌های مزبور با خطوط لوله در کشور حدود ۵۰۰ کیلومتر و با تانکرهای جاده‌پیما حدود ۲۰۰ کیلومتر خواهد شد. به ترتیب برای فرآورده‌های نفتی داریم:

$$\text{Gasoline Production} = 54243 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} * 1000 \frac{\text{lit}}{\text{m}^3} * \frac{0.74\text{kg}}{\text{lit}} * \frac{\text{ton}}{1000\text{kg}} * 365 \frac{\text{day}}{\text{year}} = 14.65 \frac{\text{million ton}}{\text{year}}$$

$$\text{Diesel Oil Production} = 93595 \frac{\text{m}^3}{\text{day}} * 1000 \frac{\text{lit}}{\text{m}^3} * \frac{0.83\text{kg}}{\text{lit}} * \frac{\text{ton}}{1000\text{kg}} * 365 \frac{\text{day}}{\text{year}} = 28.35 \frac{\text{million ton}}{\text{year}}$$



بنابراین مجموع تولید حامل‌های فوق حدود چهل و سه میلیون تن در سال خواهد بود. متوسط انتقال با خطوط لوله و تانکرهای جاده‌پیما به صورت ذیل محاسبه خواهند شد:

$$\text{Average of Pipeline Transportation of Oil Products} = \frac{23773 * 10^6 \frac{tkm}{year}}{43.0 * 10^6 \frac{ton}{year}} * 0.8 = 442 km$$

$$\text{Average of Tanker Transportation of Oil Products} = \frac{8875 * 10^6 \frac{tkm}{year}}{43.0 * 10^6 \frac{ton}{year}} = 206 km$$

بر این اساس، مجموعاً متوسط انتقال نفت خام (۳۰۰ کیلومتر با خط لوله) و فرآورده‌های نفتی که در این مطالعه مد نظر هستند یعنی، بنزین و گازوئیل (۵۰۰ کیلومتر خط لوله و ۲۰۰ کیلومتر تانکر) حدود ۱۰۰۰ کیلومتر می‌باشد. علاوه بر این متوسط انتقال و توزیع برای سایر حامل‌های انرژی معادل ۱۰۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده تا از یک سو با شرائط جغرافیایی کشور انطباق خوبی نشان دهد و از سوی دیگر مقایسه بین حامل‌های انرژی در شرائط یکسان صورت پذیرد. همچنین با توجه به این که عمده تلفات و مصرف انرژی در بخش تبدیل و فرآوری اتفاق می‌افتد، وجود خط‌های اندک در فرضیات مراحل انتقال و توزیع (که خود سهم اندکی در کاهش راندمان انرژی دارند) منجر به بروز انحراف ناچیزی در محاسبات راندمان زنجیره عرضه انرژی خواهد شد.

در مورد حامل‌های انرژی که از منابع تجدیدپذیر تولید می‌گردند (زیست سوخت‌ها) با در نظر گرفتن پراکندگی محصولات کشاورزی در سرتاسر کشور و الگوهای مشابه در کشورهای پیشرو نظیر برزیل و ایالات متحده آمریکا، از سناریوی تولید و توزیع پراکنده استفاده شده است. بر این اساس حمل محصولات کشاورزی تا شعاع ۵۰ کیلومتر و توزیع سوخت‌های زیستی با تانکر تا شعاع ۲۵۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است.

## ۲-۲. محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای

در این بخش محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل  $\text{CO}_2$ ،  $\text{CH}_4$  و  $\text{N}_2\text{O}$  ارائه می‌شود. این برآوردها با در نظر گرفتن ضرائب تبدیل مندرج در جدول (۱)، به صورت مجموع میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای گزارش می‌شود. به عنوان نمونه، مطابق اطلاعات مرجع شماره [۳]، اثرات گلخانه‌ای گاز متان ( $\text{CH}_4$ ) ۲۳ برابر بیشتر از اثرات گلخانه‌ای دی اکسید کربن می‌باشد. در این مطالعه، از اطلاعات مرجع شماره [۳] برای ضریب معادل‌سازی کربن استفاده شده است.

جدول ۱- ضرائب معادل‌سازی انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای

نوع گاز	ضریب معادل‌سازی کربن [۳] (t CO <sub>2eq</sub> /t)	ضریب معادل‌سازی کربن [۴] (t CO <sub>2eq</sub> /t)
CO <sub>2</sub>	۱	۱
CH <sub>4</sub>	۲۳	۲۵
N <sub>2</sub> O	۲۹۶	۲۹۸

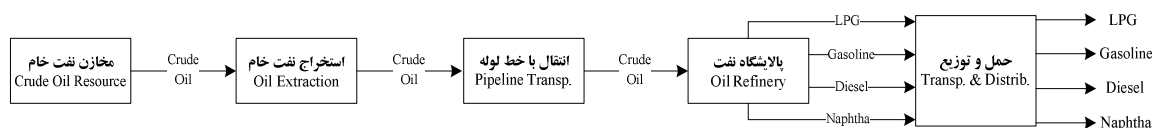
انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل زنجیره، برابر مجموع انتشار آنها در هر مرحله از زنجیره تولید و مصرف سوخت‌های مختلف می‌باشد.

### ۳. تحلیل چاه تا تانک

مسیرهای مختلفی برای تولید انواع سوخت‌های قابل استفاده در بخش حمل و نقل جاده‌ای وجود دارد. این سوخت‌ها می‌توانند از انواع منابع یعنی نفت خام، گاز طبیعی، زغال سنگ و زیست توده تولید شده و انرژی مورد نیاز برای استفاده در بخش حمل و نقل را فراهم نمایند. در حال حاضر رایج‌ترین این سوخت‌ها عبارتند از بنزین و گازوئیل که در رقابت با سوخت‌های جایگزین شامل CNG، LNG، LPG، نفتا، هیدروژن، متانول، دی‌متیل اتر، دیزل سنتز، بیواتانول، بیودیزل و الکتروسیسته بوده و در مجموع می‌توانند در کنار صیانت از منابع فسیلی منجر به ایجاد تنوع در سبد سوخت و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز گردند.

#### ۳-۱. سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام

در شکل (۳) سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام ملاحظه می‌شود. مطابق این شکل، نفت خام پس از استخراج از مخازن نفتی با خطوط لوله به پالایشگاه انتقال یافته و پس از تولید انواع فرآورده‌های نفتی که در بخش حمل و نقل جاده‌ای کاربرد دارند یعنی LPG، بنزین، دیزل و نفتا با خطوط لوله و تانکرهای جاده‌پیما تا جایگاه‌های عرضه سوخت منتقل می‌گردد. شایان ذکر است، عدم نمایش سایر فرآورده‌های نفتی در خروجی پالایشگاه‌ها در این شکل به دلیل عدم کاربرد آنها در بخش حمل و نقل می‌باشد.



شکل ۳- سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام

#### ۳-۱-۱. محاسبه راندمان انرژی در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام

محاسبه راندمان انرژی در تک تک مراحل زنجیره عرضه فرآورده‌های نفتی و همچنین در کل زنجیره در جدول (۲) ملاحظه می‌گردد.

جدول ۲- راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام

منبع	نوع سوخت	راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک (%)		
		استخراج <sup>(۱)</sup>	پالایش و فرآوری <sup>(۲)</sup>	انتقال و توزیع <sup>(۳)</sup>
نفت خام	بنزین	۹۷/۶	۹۲/۶	۹۸/۲
	گازوئیل	۹۷/۶	۹۰/۹	۹۸/۲
	نفتا	۹۷/۶	۹۵/۱	۹۸/۲
	LPG	۹۷/۶	۹۲/۰ <sup>(۳)</sup>	۹۷/۸ <sup>(۵)</sup>

(۱) در ازای استخراج هر مگاژول نفت خام، ۱/۰۲۵ مگاژول انرژی (مجموع نفت خام ورودی و انرژی مصرفی) مصرف می‌شود [۶، ۷ و ۱۰]. نسبت این مقادیر

$$\left(\frac{1 \text{ MJ}}{1.025 \text{ MJ}}\right) = 97.6\%$$

(۲) برای تولید هر مگاژول بنزین، گازوئیل و نفتا به ترتیب ۱/۰۸، ۱/۱۰ و ۱/۰۵۱ مگاژول نفت خام و انرژی در پالایشگاه مصرف می‌شود [۶ و ۱۰]. به عنوان

$$\text{نمونه نسبت } \frac{1 \text{ MJ}}{1.08 \text{ MJ}} = 92.6\%$$

(۳) در ازای تولید هر مگاژول LPG، ۱/۰۸۷ مگاژول انرژی (مجموع نفت خام ورودی و انرژی مصرفی) مصرف می‌شود [۱۱]. نسبت این مقادیر

$$\text{معادل راندمان انرژی در فرآیند تولید LPG در نظر گرفته می‌شود.} \left(\frac{1 \text{ MJ}}{1.087 \text{ MJ}}\right) = 92.0\%$$

(۴) انتقال و توزیع بنزین، گازوئیل و نفتا شامل چهار مرحله می‌باشد. این چهار مرحله عبارتند از: انتقال نفت خام به وسیله خطوط لوله تا پالایشگاه (۳۰۰

کیلومتر)، انتقال فرآورده تا نزدیک محل مصرف با خط لوله (۵۰۰ کیلومتر)، حمل فرآورده تا جایگاه سوخت با تانکرهای مخصوص (۲۰۰ کیلومتر) و توزیع

آن در جایگاه. مطابق محاسبات ذیل راندمان انرژی برای انتقال و توزیع بنزین، گازوئیل و نفتا معادل  $98.2 = \frac{1}{1.0041} * \frac{1}{1.0058} * \frac{1}{1.0044} * \frac{1}{1.0034}$

نظر گرفته می‌شود [۶، ۸ و ۱۰].

$$\text{Pipline Transportation of Crude Oil: } 0.55 \frac{\text{MJ}}{\text{tkm}} * 300 \text{ km} * \frac{\text{ton}}{39800 \text{ MJ}} = 0.0041 \frac{\text{MJ}_{\text{Energy}}}{\text{MJ}_{\text{Crude Oil}}}$$

$$\text{Pipline Transportation of Oil Products: } 0.50 \frac{\text{MJ}}{\text{tkm}} * 500 \text{ km} * \frac{\text{ton}}{43000 \text{ MJ}} = 0.0058 \frac{\text{MJ}_{\text{Energy}}}{\text{MJ}_{\text{Oil Products}}}$$

$$\text{Road Transportation of Oil Products: } 0.94 \frac{\text{MJ}}{\text{tkm}} * 200 \text{ km} * \frac{\text{ton}}{43000 \text{ MJ}} = 0.0044 \frac{\text{MJ}_{\text{Energy}}}{\text{MJ}_{\text{Oil Products}}}$$

$$\text{Distribution of Oil Products: } 0.0034 \frac{\text{MJ}_{\text{Energy}}}{\text{MJ}_{\text{Oil Products}}}$$

(۵) مراحل انتقال و توزیع LPG عبارتند از: انتقال نفت خام به وسیله خطوط لوله تا پالایشگاه (۳۰۰ کیلومتر)، حمل LPG از پالایشگاه تا محل مصرف با

تانکرهای مخصوص تا شعاع ۷۰۰ کیلومتری  $\left(\frac{\text{MJ}_{\text{Energy}}}{\text{MJ}_{\text{LPG}}}\right) = 0.0143 \frac{\text{ton}}{46000 \text{ MJ}} * 700 \text{ km} * 0.94 \frac{\text{MJ}}{\text{tkm}}$  و سپس توزیع در جایگاه‌های مخصوص

[۱۰-۱۲]. بنابراین راندمان انرژی برای انتقال و توزیع LPG معادل  $97.8 = \left(\frac{1}{1.0041}\right) * \left(\frac{1}{1.0143}\right) * \left(\frac{1}{1.0034}\right)$  در نظر گرفته می‌شود.

(۶) از حاصل ضرب راندمان‌های زنجیره چاه تا تانک محاسبه شده است. به عنوان نمونه برای بنزین  $88.8\% = (0.976 * 0.926 * 0.982)$  می‌باشد.

### ۳-۱-۲. محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال

#### از نفت خام

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تک تک مراحل زنجیره عرضه فرآورده‌های نفتی و همچنین در کل زنجیره در جدول (۳) ملاحظه می‌گردد.

#### جدول ۳- انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از نفت خام

انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک $gCO_{2eq}/MJ_{Out}$				نوع سوخت	منبع
کل زنجیره <sup>(۴)</sup>	انتقال و توزیع <sup>(۳)</sup>	پالایش و فرآوری <sup>(۲)</sup>	استخراج <sup>(۱)</sup>		
۱۲/۵	۱/۹	۷/۰	۳/۶	بنزین	نفت خام
۱۴/۱	۱/۹	۸/۶	۳/۶	گازوئیل	
۹/۹	۱/۹	۴/۴	۳/۶	نفتا	
۱۳/۳	۲/۷	۷/۰	۳/۶	LPG	

(۱) بیانگر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند استخراج نفت خام می‌باشد [۱۱ و ۷،۹].

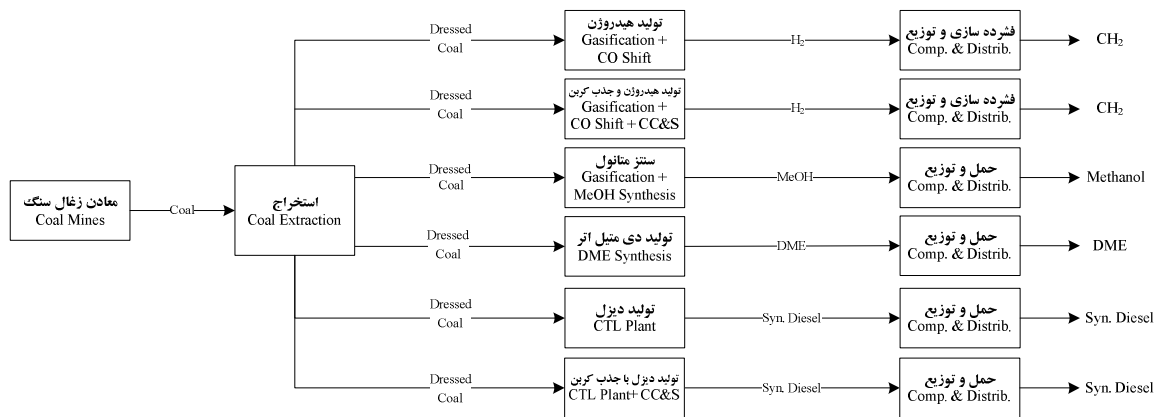
(۲) بیانگر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند پالایش نفت خام به منظور تولید انواع فرآورده‌های نفتی می‌باشد [۱۱ و ۷،۹].

(۳) انتقال نفت خام  $gCO_{2eq}/MJ_{Out}$  ۰،۹، حمل و توزیع بنزین، دیزل و نفتا  $gCO_{2eq}/MJ_{Out}$  ۱/۰ و حمل و توزیع LPG منجر به انتشار  $gCO_{2eq}/MJ_{Out}$  ۱/۸ می‌گردد [۱۱ و ۹].

(۴) مجموع گازهای گلخانه‌ای منتشر شده شامل دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن در سیستم عرضه، به ازای هر مگاژول سوخت تولیدی می‌باشد [۹ و ۷].

### ۳-۲. سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از زغال سنگ

در شکل (۴) سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از زغال سنگ ملاحظه می‌شود. در این سیستم فرض شده زغال سنگ پس از استخراج از معادن در همان محل معادن به سایر حامل‌های انرژی که در بخش حمل و نقل جاده‌ای کاربرد دارند، یعنی هیدروژن، متانول، دی متیل اتر و دیزل (CTL) تبدیل شده و سپس تا محل توزیع انتقال می‌یابند.



شکل ۴- سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از زغال سنگ

### ۳-۲-۱. محاسبه راندمان انرژی در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از زغال سنگ

محاسبه راندمان انرژی در تک تک مراحل زنجیره عرضه انواع حامل‌های انرژی قابل استحصال از زغال سنگ و همچنین در کل زنجیره در جدول (۴) ملاحظه می‌گردد.

جدول ۴- راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از زغال سنگ

راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک (%)				نوع سوخت	منبع
کل زنجیره <sup>(۱۰)</sup>	انتقال و توزیع	فرآوری و تبدیل	استخراج <sup>(۱)</sup>		
۴۲/۳	۹۱/۰ <sup>(۸)</sup>	۵۰/۸ <sup>(۲)</sup>	۹۱/۴	هیدروژن فشرده (CH <sub>2</sub> )	زغال سنگ
۳۶/۱	۹۱/۰ <sup>(۸)</sup>	۴۳/۴ <sup>(۳)</sup>	۹۱/۴	هیدروژن فشرده (CH <sub>2</sub> ) و CC&S	
۵۱/۱	۹۵/۲ <sup>(۹)</sup>	۵۸/۷ <sup>(۴)</sup>	۹۱/۴	متانول (Methanol)	
۵۱/۸	۹۶/۵ <sup>(۹)</sup>	۵۸/۷ <sup>(۵)</sup>	۹۱/۴	دی متیل اتر (DME)	
۵۰/۱	۹۷/۶ <sup>(۹)</sup>	۵۶/۲ <sup>(۶)</sup>	۹۱/۴	دیزل سنتز شده (CTL)	
۴۸/۰	۹۷/۶ <sup>(۹)</sup>	۵۳/۸ <sup>(۷)</sup>	۹۱/۴	دیزل سنتز شده (CTL) و CC&S	

(۱) در ازای استخراج هر مگاژول زغال سنگ، ۱/۰۹۴ مگاژول انرژی (مجموع زغال ورودی به فرآیند، انرژی مصرفی و تلفات) مصرف می‌شود [۱۰ و ۱۱]. نسبت

این دو مقدار، معادل راندمان انرژی در فرآیند استخراج زغال سنگ ( $\frac{1 \text{ MJ}}{1.094 \text{ MJ}} = 91.4\%$ ) در نظر گرفته می‌شود.

(۲) در ازای هر ۱/۹۶۷ مگاژول زغال سنگ و انرژی ورودی به واحد مربوطه، یک مگاژول هیدروژن تولید می‌شود [۱۰]. در مرجع [۱۵]، معادل ۵۱ درصد ذکر شده است.

(۳) در ازای هر ۲/۳۰۳ مگاژول زغال سنگ و انرژی ورودی به واحد مربوطه، یک مگاژول هیدروژن تولید می‌شود [۱۰].

(۴) در ازای هر ۱/۷۳۶ مگاژول زغال سنگ ورودی به فرآیند سنتز متانول و ۰/۰۲۹ مگاژول انرژی مصرفی (برق)، یک مگاژول متانول تولید می‌گردد [۱۰].

بنابراین راندمان انرژی برای تولید متانول معادل  $\frac{1 \text{ MJ}_{\text{MeOH}}}{(1.676+0.029) \text{ MJ}_{\text{Input}}} = 58.7\%$  می‌باشد. در مرجع [۱۳] این مقدار معادل ۵۷ درصد ذکر شده که تطابق خوبی با محاسبات فوق نشان می‌دهد.

(۵) محاسبات مشابه متانول می‌باشد.

(۶) در ازای هر ۱/۷۸ مگاژول زغال سنگ و انرژی ورودی به فرآیند، یک مگاژول دیزل تولید می‌شود [۹]. در مرجع [۱۴]، معادل ۵۶ درصد ذکر شده است.

(۷) در ازای هر ۱/۸۶ مگاژول زغال سنگ و انرژی ورودی به فرآیند، یک مگاژول دیزل تولید می‌شود [۹].

(۸) با فرض انتقال هیدروژن با خط لوله ۱۰۰۰ کیلومتری ( $\frac{\text{MJ}_{\text{Energy}}}{\text{MJ}_{\text{H}_2}} = 0.0074$ ) تا محل عرضه و فشرده‌سازی آن در محل توزیع (حدود ۲ درصد تلفات و ۱/۰۷ مگاژول هیدروژن و برق به ازای هر مگاژول هیدروژن فشرده تولیدی) [۱۰ و ۱۱] راندمان انرژی معادل  $(0.98)_{\text{Loss}} * \left(\frac{1}{1.07}\right) * \left(\frac{1}{1.0074}\right) = 91.0\%$  در نظر گرفته می‌شود.

(۹) تولید حامل‌های انرژی قابل استحصال از زغال سنگ در محل معدن انجام می‌پذیرد. محصولات سنتزی تولید شده شامل متانول، دی متیل اتر و دیزل به وسیله تانک‌های مخصوص تا شعاع ۱۰۰۰ کیلومتر حمل و سپس در جایگاه‌های مخصوص توزیع می‌گردند [۸-۱۰]. راندمان انرژی بر اساس محاسبات ذیل صورت می‌پذیرد:

$$\text{Road Transport of Methanol: } 0.94 \frac{\text{MJ}}{\text{tkm}} * 1000 \text{ km} * \frac{\text{ton}}{19900 \text{ MJ}} = 0.0472 \frac{\text{MJ}_{\text{Energy}}}{\text{MJ}_{\text{Methanol}}} \rightarrow \left(\frac{1}{1.0472}\right) * \left(\frac{1}{1.0034}\right) = 95.2\%$$

$$\text{Road Transport of DME: } 0.94 \frac{\text{MJ}}{\text{tkm}} * 1000 \text{ km} * \frac{\text{ton}}{28400 \text{ MJ}} = 0.0331 \frac{\text{MJ}_{\text{Energy}}}{\text{MJ}_{\text{DME}}} \rightarrow \left(\frac{1}{1.0331}\right) * \left(\frac{1}{1.0034}\right) = 96.5\%$$

$$\text{Road Transport of Syn. Diesel: } 0.94 \frac{\text{MJ}}{\text{tkm}} * 1000 \text{ km} * \frac{\text{ton}}{44000 \text{ MJ}} = 0.0214 \frac{\text{MJ}_{\text{Energy}}}{\text{MJ}_{\text{Syn Diesel}}} \rightarrow \left(\frac{1}{1.0214}\right) * \left(\frac{1}{1.0034}\right) = 97.6\%$$

(۱۰) از حاصل ضرب راندمان‌های زنجیره چاه تا تانک محاسبه شده است. به عنوان نمونه برای متانول  $0.914 * 0.587 * 0.952 = 51.1\%$  می‌باشد.

### ۳-۲-۲. محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال

#### از زغال سنگ

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تک تک مراحل زنجیره عرضه انواع حامل‌های انرژی قابل استحصال از زغال سنگ و همچنین کل زنجیره در جدول (۵) ملاحظه می‌گردد.

جدول ۵- انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از زغال سنگ

انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک $gCO_{2eq}/MJ_{Out}$				نوع سوخت	منبع
کل زنجیره <sup>(۴)</sup>	انتقال و توزیع	پالایش و فرآوری	استخراج <sup>(۱)</sup>		
۲۳۲/۹	۱۲/۹ <sup>(۲)</sup>	۱۹۳	۲۷	هیدروژن فشرده ( $CH_2$ )	زغال سنگ
۴۵/۷	۱۲/۹	۵/۸	۲۷	هیدروژن فشرده ( $CH_2$ ) و CC&S	
۱۳۲	۷ <sup>(۳)</sup>	۹۸	۲۷	متانول (Methanol)	
۱۳۴	۷	۱۰۰	۲۷	دی متیل اتر (DME)	
۱۳۵	۷	۱۰۱	۲۷	دیزل سنتز شده (CTL)	
۴۳	۷	۹	۲۷	دیزل سنتز شده (CTL) و CC&S	

(۱) بیانگر متوسط میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند استخراج زغال سنگ می‌باشد [۹].

(۲) میزان انتشار برای ۱۰۰۰ کیلومتر انتقال هیدروژن با خط لوله  $gCO_{2eq}/MJ_{H_2}$  ۱/۹ و برای فشرده‌سازی و توزیع آن  $gCO_{2eq}/MJ_{H_2}$  ۱۱ می‌باشد.

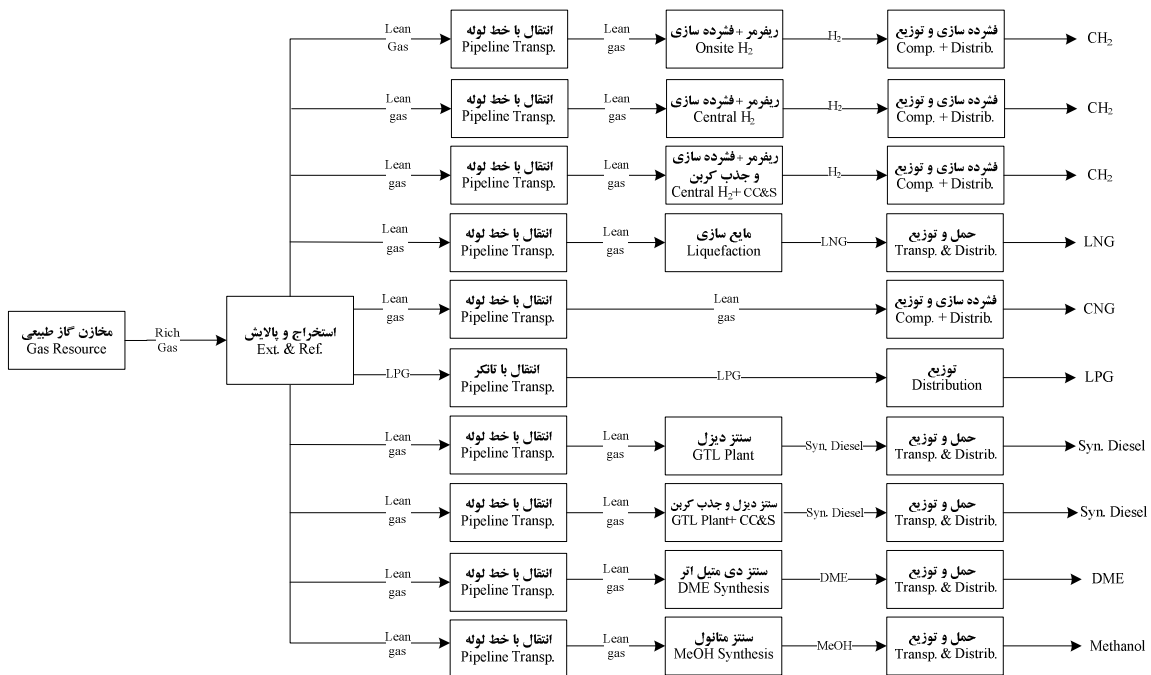
(۳) حدود ۷ برابر انتقال سوخت‌های مایع که در یک مسیر ۱۵۰ کیلومتری حمل می‌شوند فرض شده است.

(۴) مجموع گازهای گلخانه‌ای منتشر شده شامل دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن در سیستم عرضه، به ازای هر مگاژول سوخت تولیدی می‌باشد [۹ و ۷].

### ۳-۳. سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی

در شکل (۵) سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی ملاحظه می‌شود. در این سیستم فرض شده گاز طبیعی پس از استخراج از مخازن گازی و پالایش آن در نزدیکی مخازن، با خطوط لوله در سراسر کشور توزیع شده و سپس حامل‌های انرژی یعنی هیدروژن، LNG، CNG، LPG، دیزل (CTL)، دی متیل اتر و متانول تولید شده و تا محل عرضه سوخت انتقال می‌یابند.





شکل ۵- سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی

### ۳-۱. محاسبه راندمان انرژی در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی

محاسبه راندمان انرژی در تک تک مراحل زنجیره عرضه انواع حامل‌های انرژی قابل استحصال از گاز طبیعی و همچنین در کل زنجیره در جدول (۶) ملاحظه می‌گردد.

جدول ۶- راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی

منبع	نوع سوخت	راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک (%)		
		استخراج <sup>(۱)</sup>	فرآوری و تبدیل	انتقال و توزیع
گاز طبیعی	هیدروژن فشرده (Onsite)	۹۷/۷	۶۸/۲ <sup>(۳)</sup>	۹۰/۹ <sup>(۱۲)</sup>
	هیدروژن فشرده (Central)	۹۷/۷	۷۳/۴ <sup>(۴)</sup>	۹۲/۷ <sup>(۱۳)</sup>
	هیدروژن فشرده CC&S +(Central)	۹۷/۷	۷۰/۷ <sup>(۵)</sup>	۹۲/۷ <sup>(۱۳)</sup>
	گاز طبیعی مایع (LNG)	۹۷/۷	۸۴/۷ <sup>(۶)</sup>	۹۵/۱ <sup>(۱۴)</sup>
	گاز طبیعی فشرده (CNG)	۹۷/۷	۱۰۰ <sup>(۷)</sup>	۹۳/۶ <sup>(۱۵)</sup>
	LPG	۹۵/۰ <sup>(۲)</sup>	۹۹/۷ <sup>(۸)</sup>	۹۷/۷ <sup>(۱۶)</sup>
	دیزل سنتز شده (GTL)	۹۷/۷	۶۵/۰ <sup>(۹)</sup>	۹۹/۰ <sup>(۱۷)</sup>
	دیزل سنتز شده CC&S +(GTL)	۹۷/۷	۶۰/۰ <sup>(۹)</sup>	۹۹/۰ <sup>(۱۷)</sup>
	دی متیل اتر (DME)	۹۷/۷	۷۰/۷ <sup>(۱۰)</sup>	۹۸/۸ <sup>(۱۷)</sup>
	متانول (Methanol)	۹۷/۷	۶۸/۴ <sup>(۱۱)</sup>	۹۸/۵ <sup>(۱۷)</sup>

(۱) در ازای استخراج و پالایش (شیرین‌سازی) هر مگاژول گاز طبیعی، ۱/۰۲۴ مگاژول انرژی (مجموع گاز طبیعی ترش ورودی به فرآیند استخراج و پالایش، انرژی مصرفی و تلفات) مصرف می‌شود [۱۲۷]. نسبت این دو مقدار  $(\frac{1 MJ}{1.024 MJ} = 97.7\%)$  معادل راندمان انرژی در فرآیند استخراج گاز طبیعی در نظر گرفته می‌شود.

(۲) در ازای استخراج هر مگاژول LPG، ۱/۰۵۳ مگاژول انرژی (مجموع LPG و گاز طبیعی ترش ورودی به فرآیند استخراج، انرژی مصرفی و تلفات) مصرف می‌شود [۱۲۹].

(۳) شامل واکنش ریفرمینگ گاز طبیعی برای تولید هیدروژن و فشرده‌سازی اولیه آن از ۰/۵ مگاپاسکال به ۱/۶ مگاپاسکال می‌باشد. در واکنش ریفرمینگ به ازای هر مگاژول هیدروژن تولیدی، ۱/۴۴۰۶ مگاژول گاز طبیعی و ۰/۰۱۶۱ مگاژول برق مصرف می‌گردد. در فشرده‌سازی اولیه به ازای هر مگاژول هیدروژن فشرده تولیدی ۱/۰۰۵۹ مگاژول برق مصرف می‌گردد [۱۲۹]. بنابراین راندمان انرژی در تولید هیدروژن به روش پراکنده (Onsite Production) معادل  $68.2\% = (\frac{1}{1.0059}) * (\frac{1}{1.4406+0.0161})$ ، در نظر گرفته می‌شود.

(۴) شامل واکنش ریفرمینگ گاز طبیعی برای تولید هیدروژن به صورت متمرکز و فشرده‌سازی تا فشار ۲۰ مگاپاسکال می‌باشد. به ازای هر مگاژول هیدروژن تولیدی، ۱/۳۱۵ مگاژول انرژی (گاز طبیعی و برق در واکنش ریفرمینگ) و ۱/۰۳۶ مگاژول برای فشرده‌سازی مصرف می‌گردد [۱۲]. راندمان انرژی معادل  $73.4\% = \frac{1}{1.036} * \frac{1}{1.315}$  می‌باشد.

(۵) شامل واکنش ریفرمینگ گاز طبیعی برای تولید هیدروژن به صورت متمرکز به همراه جذب کربن و فشرده‌سازی تا فشار ۲۰ مگاپاسکال می‌باشد. به ازای هر مگاژول هیدروژن تولیدی، ۱/۳۶۵ مگاژول انرژی (گاز طبیعی و برق در واکنش ریفرمینگ) و ۱/۰۳۶ مگاژول برای فشرده‌سازی مصرف می‌گردد [۱۲]. بنابراین راندمان انرژی معادل  $70.7\% = \frac{1}{1.036} * \frac{1}{1.365}$  می‌باشد.

(۶) شامل فشرده‌سازی، مایع‌سازی و تلفات بارگیری بوده و به ازای هر مگاژول LNG تولید شده، ۱/۱۸ مگاژول انرژی مصرف می‌گردد [۱۲۹].

(۷) فرآوری خاصی برای تولید CNG صورت نمی‌گیرد. از آنجایی که فشرده‌سازی در محل عرضه صورت می‌گیرد، راندمان آن هم در مرحله انتقال و توزیع محاسبه شده است.

(۸) فرآوری LPG، شامل مایع‌سازی بوده و به ازای هر مگاژول LPG تولید شده، ۱/۰۰۲۸ مگاژول انرژی مصرف می‌گردد [۱۲].

(۹) به ازای تولید هر مگاژول دیزل در فرآیندهای GTL و GTL به همراه جذب کربن به ترتیب ۱/۵۳۸ و ۱/۶۶۷ مگاژول انرژی مصرف می‌گردد [۱۲].

(۱۰) به ازای تولید هر مگاژول DME، ۱/۴۰۳۳ گاز طبیعی، ۰/۰۰۴۳ برق و ۰/۰۰۷۸ مگاژول انرژی برای تولید اکسیژن مورد نیاز  $(0.0046 \frac{kgO_2}{MJ_{DME}})$  می‌باشد.

$$\left( \frac{1}{1.4033 + 0.0043 + 0.0078} \right) = 70.7\% \text{ معادل } \left( \frac{1.7 \frac{MJ}{kgO_2}}{0.0078 \frac{MJ_{Energy}}{MJ_{DME}}} \right) \text{ مصرف می‌گردد [۹].}$$

بنابراین راندمان انرژی معادل 70.7% می‌باشد.

(۱۱) به ازای تولید هر مگاژول متانول، ۱/۴۶۳ مگاژول انرژی مصرف می‌گردد [۱۲].

(۱۲) شامل ۱۰۰۰ کیلومتر انتقال گاز طبیعی تا محل تولید هیدروژن به روش پراکنده (انرژی مصرفی معادل ۱/۰۰۷۴ مگاژول به ازای هر مگاژول گاز طبیعی حمل شده)، ۲ درصد اتلاف هیدروژن در جایگاه و ۱/۰۷ مگاژول هیدروژن و برق مصرفی برای افزایش فشار از ۱/۵ مگا پاسکال به ۸۸ مگا پاسکال به ازای هر مگاژول هیدروژن عرضه شده می‌باشد [۱۲].

$$Loss(0.98) * \left( \frac{1}{1.07} \right)_{Compression} * \left( \frac{1}{1.0074} \right)_{Distribution} = 90.9\% \text{ معادل راندمان انرژی می‌باشد [۱۲].}$$

بنابراین راندمان انرژی معادل 90.9% می‌باشد.

(۱۳) شامل ۹۵۰ کیلومتر انتقال گاز طبیعی تا محل تولید هیدروژن به روش متمرکز (انرژی مصرفی تقریباً ۱/۰۰۷۴ مگاژول به ازای هر مگاژول گاز طبیعی حمل شده)، حمل هیدروژن فشرده (۲۰ مگا پاسکال) به وسیله تانکرهای مخصوص تا شعاع ۵۰ کیلومتر  $(0.0226 \frac{MJ}{MJ_{H_2}})$  و ۲ درصد اتلاف هیدروژن در جایگاه و ۱/۰۲۶ مگاژول هیدروژن و برق مصرفی برای افزایش فشار از ۲۰ مگا پاسکال به ۸۸ مگا پاسکال به ازای هر مگاژول هیدروژن عرضه شده می‌باشد [۱۲].

$$\left( \frac{1}{1.0074} \right)_{Pipeline} * \left( \frac{1}{1.0226} \right)_{Tanker} * \left( \frac{1}{1.026} \right)_{Compression} = 92.7\% \text{ معادل راندمان انرژی می‌باشد [۱۲].}$$

بنابراین راندمان انرژی معادل 92.7% می‌باشد.

(۱۴) شامل ۸۰۰ کیلومتر انتقال گاز طبیعی تا محل تولید LNG (انرژی مصرفی تقریباً ۱/۰۰۵۹ مگاژول به ازای هر مگاژول گاز طبیعی حمل شده)، حمل آن با تانکرهای مخصوص از محل تولید تا محل مصرف تا شعاع ۲۰۰ کیلومتری  $(0.0039 \frac{MJ_{Energy}}{MJ_{LNG}})$  و ۰/۵ درصد تلفات انتقال و توزیع در جایگاه‌های مخصوص (۱/۰۲ مگاژول هیدروژن و انرژی مصرفی به ازای هر مگاژول هیدروژن عرضه شده) می‌باشد [۱۲].

$$\frac{1}{1.0059} * \frac{1}{1.0039} * \frac{1}{1.02} * 0.98 = 95.1\% \text{ معادل راندمان انرژی برای انتقال و توزیع LNG در نظر گرفته می‌شود.}$$

بنابراین عدد 95.1% می‌باشد.

(۱۵) شامل انتقال گاز طبیعی با خط لوله در یک مسیر ۱۰۰۰ کیلومتری و فشرده‌سازی در محل عرضه و توزیع آن می‌باشد. به ازای هر مگاژول گاز طبیعی حمل شده ۱/۰۰۷۴ مگاژول گاز طبیعی و انرژی (صرف کار مکانیکی) مصرف می‌گردد [۱۲] و به ازای فشرده‌سازی و عرضه هر مگاژول CNG تولید شده، ۱/۰۶ مگاژول انرژی مصرف می‌گردد [۹].

$$\frac{1}{1.0074} * \frac{1}{1.06} = 93.6\% \text{ معادل راندمان انرژی برای انتقال و توزیع CNG در نظر گرفته می‌شود.}$$

بنابراین عدد 93.6% می‌باشد.

(۱۶) شامل انتقال تا محل مصرف با تانکرهای مخصوص تا شعاع ۱۰۰۰ کیلومتری  $(0.0204 \frac{MJ_{Energy}}{MJ_{LPG}})$  و ۰/۵ درصد اتلاف انتقال و توزیع در جایگاه‌های مخصوص می‌باشد [۱۰-۱۲].

بنابراین راندمان انرژی برای انتقال و توزیع LPG معادل 97.7% می‌باشد  $\left( \frac{1}{1.0204} * \frac{1}{1.0034} \right)$  در نظر گرفته می‌شود.

(۱۷) شامل ۸۰۰ کیلومتر انتقال گاز طبیعی تا محل تولید (انرژی مصرفی تقریباً ۱/۰۰۵۹ مگاژول به ازای هر مگاژول گاز طبیعی حمل شده)، ۲۰۰ کیلومتر حمل جاده‌ای با تانکرهای مخصوص (مطابق محاسبات ذیل) و توزیع در جایگاه (۱/۰۰۳۴ مگاژول سوخت مایع و انرژی مصرفی به ازای هر مگاژول سوخت عرضه شده) می‌باشد [۱۲].

$$Road \ Transport \ of \ Syn. \ Diesel: 0.94 \frac{MJ}{tkm} * 200 \ km * \frac{ton}{44000MJ} = 0.0043 \frac{MJ_{Energy}}{MJ_{Syn \ Diesel}} \rightarrow Eff. = \left( \frac{1}{1.0022} \right) * \left( \frac{1}{1.0043} \right) * \left( \frac{1}{1.0034} \right) = 99.0\%$$

$$Road \ Transport \ of \ DME: 0.94 \frac{MJ}{tkm} * 200 \ km * \frac{ton}{28400MJ} = 0.0066 \frac{MJ_{Energy}}{MJ_{DME}} \rightarrow Eff. = \left( \frac{1}{1.0022} \right) * \left( \frac{1}{1.0066} \right) * \left( \frac{1}{1.0034} \right) = 98.8\%$$

$$Road \ Transport \ of \ Methanol: 0.94 \frac{MJ}{tkm} * 200 \ km * \frac{ton}{19900MJ} = 0.0094 \frac{MJ_{Energy}}{MJ_{Methanol}} \rightarrow Eff. = \left( \frac{1}{1.0022} \right) * \left( \frac{1}{1.0094} \right) * \left( \frac{1}{1.0034} \right) = 98.5\%$$

(۱۸) از حاصل ضرب راندمان‌های زنجیره چاه تا تانک محاسبه شده است.

### ۳-۲. محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تک تک مراحل زنجیره عرضه انواع حامل‌های انرژی قابل استحصال از گاز طبیعی و همچنین کل زنجیره در جدول (۷) ملاحظه می‌گردد.

جدول ۷- انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از گاز طبیعی

انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک $gCO_{2eq}/MJ_{Out}$				نوع سوخت	منبع
کل زنجیره <sup>(۴)</sup>	انتقال و توزیع <sup>(۳)</sup>	پالایش و فرآوری <sup>(۲)</sup>	استخراج <sup>(۱)</sup>		
۱۰۱/۷	۱/۹	۹۶/۴	۳/۴	هیدروژن فشرده (Onsite)	گاز طبیعی
۸۹/۹	۲/۵	۸۴	۳/۴	هیدروژن فشرده (Central)	
۲۸/۴	۲/۵	۲۲/۵	۳/۴	هیدروژن فشرده CC&S +(Central)	
۱۴/۹	۳/۶	۷/۹	۳/۴	گاز طبیعی مایع (LNG)	
۸/۷	۲/۵	۲/۸	۳/۴	گاز طبیعی فشرده (CNG)	
۱۳	۸/۹	۰/۷	۳/۴	LPG	
۲۵/۱	۵/۲	۱۶/۵	۳/۴	دیزل سنتز شده (GTL)	
۱۲/۸	۵/۲	۴/۲	۳/۴	دیزل سنتز شده CC&S +(GTL)	
۱۹/۲	۵/۲	۱۰/۶	۳/۴	دی متیل اتر (DME)	
۲۰/۳	۵/۲	۱۱/۷	۳/۴	متانول (Methanol)	

(۱) بیانگر متوسط میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند استخراج گاز طبیعی می‌باشد [۹].

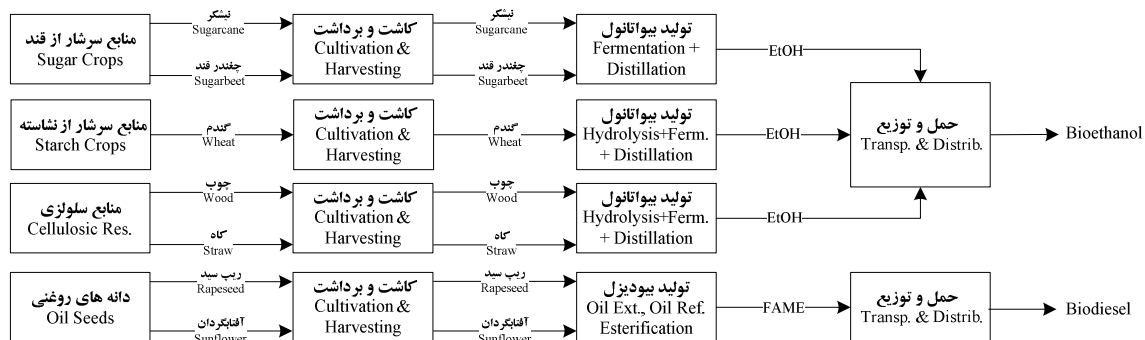
(۲) بیانگر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند تولید انواع حامل‌های انرژی می‌باشد [۹].

(۳) بیانگر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند انتقال و عرضه انواع حامل‌های انرژی می‌باشد [۹].

(۴) مجموع گازهای گلخانه‌ای منتشر شده شامل دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن در سیستم عرضه، به ازای هر مگاژول سوخت تولیدی می‌باشد.

### ۳-۴. سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده

در شکل (۶) سیستم عرضه زیست سوخت‌ها از منابع سرشار از قند، منابع سرشار از نشاسته، منابع سلولزی و دانه‌های روغنی ملاحظه می‌شود. در این سیستم فرض شده محصولات کشاورزی پس از کاشت و برداشت تا محل تولید زیست سوخت‌ها به شعاع ۵۰ کیلومتری به وسیله کامیون حمل شده و پس از تولید بیودیزل و بیواتانول تا محل عرضه سوخت در جایگاه حمل می‌گردد.



شکل ۶- سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده

### ۳-۴-۱. محاسبه راندمان انرژی در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده

#### توده

محاسبه راندمان انرژی در تک تک مراحل زنجیره عرضه زیست سوخت‌ها (بیواتانول و بیودیزل) و همچنین در کل زنجیره در جدول (۸) ملاحظه می‌گردد.

**جدول ۸- راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده**

راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک (%)				نوع سوخت	منبع / محصول
کل زنجیره <sup>(۱۰)</sup>	انتقال و توزیع <sup>(۹)</sup>	فرآوری و تبدیل	کاشت و برداشت <sup>(۱)</sup>		
۴۵/۳ - ۴۷/۸	۹۸/۵	۴۶/۲ - ۴۸/۸ <sup>(۷)</sup>	۹۹/۵	بیواتانول	منابع سرشار از قند / نیشکر
۳۶/۵ - ۴۶/۳	۹۸/۵	۳۷/۹ - ۴۸/۱ <sup>(۳)</sup>	۹۷/۸	بیواتانول	منابع سرشار از قند / چغندر قند
۳۷/۸ - ۴۶/۵	۹۸/۵	۴۰/۲ - ۴۹/۵ <sup>(۴)</sup>	۹۵/۴	بیواتانول	منابع سرشار از نشاسته / گندم
۳۲/۴	۹۸/۵	۳۳/۱ <sup>(۵)</sup>	۹۹/۵	بیواتانول	منابع سلولزی / چوب
۴۱/۵	۹۸/۵	۴۲/۵ <sup>(۶)</sup>	۹۹/۰	بیواتانول	منابع سلولزی / کاه
۵۱/۵	۹۸/۷	۵۴/۳ <sup>(۸)</sup>	۹۶/۱	بیودیزل	دانه‌های روغنی / ریپسید
۵۴/۰	۹۸/۷	۵۷/۵ <sup>(۸)</sup>	۹۵/۱	بیودیزل	دانه‌های روغنی / آفتاب گردان

(۱) به ازای هر مگاژول گیاه تولید شده شامل نیشکر، چغندر قند، گندم، چوب، کاه، ریپسید، آفتاب‌گردان، نخل روغنی و سویا به ترتیب ۰/۰۲۲۶، ۰/۰۰۵۳، ۰/۰۴۸۶، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۴۰۱، ۰/۰۵۱، ۰/۰۰۶۸۶ و ۰/۰۳۷۵ مگاژول انرژی (به صورت دیزل فسیلی) مصرف می‌گردد [۱۶]. به عنوان نمونه راندمان

$$\text{انرژی برای کاشت و برداشت نیشکر، معادل } 99.5\% = \frac{1}{1.0053} \text{، در نظر گرفته می‌شود.}$$

(۲) شامل مراحل تخمیر و تقطیر بوده و به ازای هر مگاژول بیواتانول تولید شده، حداقل ۲/۱۶۳ مگاژول انرژی مصرف می‌شود ( $\frac{1}{2.163} = 46.2\%$ ) [۹]. همچنین به ازای هر مگاژول بیواتانول تولید شده ۰/۱۱۵ مگاژول حرارت نیز تولید شده که می‌تواند در مرحله تقطیر مورد استفاده قرار گیرد [۱۶]. در این

$$\text{حالت راندمان انرژی معادل } 48.8\% = \frac{1}{2.163-0.115} \text{ در نظر گرفته می‌شود.}$$

(۳) شامل مراحل تخمیر و تقطیر بوده و اگر محصولات جانبی به عنوان خوراک دامی مصرف گردد، به ازای هر مگاژول بیواتانول تولید شده، ۲/۶۴ مگاژول چغندر قند، برق و حرارت مصرف می‌گردد. بنابراین راندمان انرژی معادل  $\frac{1}{2.64} = 37.9\%$  می‌باشد. اما اگر محصولات جانبی برای تولید انرژی در خود واحد مصرف گردند، به ازای هر مگاژول بیواتانول تولید شده، ۲/۰۸ مگاژول چغندر قند، برق و حرارت مصرف می‌گردد. بر مبنای این مقادیر راندمان انرژی معادل  $\frac{1}{2.08} = 48.1\%$  می‌باشد [۹].

(۴) شامل مراحل هیدرولیز، تخمیر و تقطیر بوده و اگر محصولات جانبی به عنوان خوراک دامی مصرف گردد، به ازای هر مگاژول بیواتانول تولید شده، ۲/۴۹ مگاژول گندم، برق و حرارت مصرف می‌گردد. بنابراین راندمان انرژی معادل  $\frac{1}{2.49} = 40.2\%$  می‌باشد. اما اگر محصولات جانبی برای تولید انرژی در خود واحد مصرف گردند، به ازای هر مگاژول بیواتانول تولید شده، ۲/۰۲ مگاژول گندم، برق و حرارت مصرف می‌گردد. بر مبنای این مقادیر راندمان انرژی معادل  $\frac{1}{2.02} = 49.5\%$  می‌باشد [۹].

(۵) شامل مراحل هیدرولیز، تخمیر و تقطیر بوده و در ازای هر مگاژول اتانول تولیدی، ۲/۸ مگاژول چوب و انرژی و ۰/۰۸ مگاژول برای برش چوب (Wood Chipping) مصرف می‌گردد [۹]. بر این اساس راندمان انرژی معادل  $\frac{1}{2.8} * \frac{1}{1.08} = 33.1\%$  در نظر گرفته می‌شود.

(۶) شامل مراحل هیدرولیز، تخمیر و تقطیر بوده و در ازای هر مگاژول اتانول تولیدی، ۲/۲۴ مگاژول کاه، پوشال و انرژی و ۰/۰۵ مگاژول برای جمع‌آوری آن مصرف می‌گردد [۹]. راندمان انرژی معادل  $\frac{1}{2.24} * \frac{1}{1.05} = 42.5\%$  در نظر گرفته می‌شود.

(۷) شامل چهار مرحله خشک کردن، استخراج روغن نباتی، تصفیه روغن و نهایتاً واکنش ترانس استریفیکاسیون می‌باشد. در ازای هر مگاژول بیودیزل تولیدی، ۱/۸۴ مگاژول گیاه و انرژی مصرف می‌شود [۹]. بر مبنای این مقادیر راندمان انرژی معادل  $\frac{1}{1.84} = 54.3\%$  می‌باشد.

(۸) شامل چهار مرحله خشک کردن، استخراج روغن نباتی، تصفیه روغن و نهایتاً واکنش ترانس استریفیکاسیون می‌باشد. در ازای هر مگاژول بیودیزل تولیدی، ۱/۷۴ مگاژول گیاه و انرژی مصرف می‌شود [۹]. بر مبنای این مقادیر راندمان انرژی معادل  $\frac{1}{1.74} = 57.5\%$  می‌باشد.

(۹) شامل انتقال محصولات کشاورزی تا کارخانه فرآوری تا شعاع ۵۰ کیلومتر ( $\frac{MJ}{MPlant} = 0.0033 * \frac{tkm}{MPlant} * 0.0035 * \frac{MJ}{tkm} = 0.094$ )، حمل بیواتانول یا بیودیزل تولید شده از کارخانه تا جایگاه عرضه تا شعاع ۲۵۰ کیلومتر که برای بیواتانول و بیودیزل به قرار زیر می‌باشد.

$$\text{Bioethanol Transportation: } 0.94 \frac{MJ}{tkm} * 250km * \frac{ton}{26800MJ_{Ethanol}} = 0.0088 \frac{MJ}{MJ_{Ethanol}}$$

$$\text{Biodiesel Transportation: } 0.94 \frac{MJ}{tkm} * 250km * \frac{ton}{36800MJ_{Biodiesel}} = 0.0064 \frac{MJ}{MJ_{Biodiesel}}$$

عرضه سوخت مورد نظر نیز  $0.0034 \frac{MJ}{MJ_{Fuel}}$  مصرف انرژی به همراه دارد [۱۶]. بنابراین راندمان انرژی در انتقال و توزیع بیواتانول و بیودیزل به ترتیب معادل  $98.5\% = \frac{1}{1.0033} * \frac{1}{1.0088} * \frac{1}{1.0034}$  و  $98.7\% = \frac{1}{1.0033} * \frac{1}{1.0066} * \frac{1}{1.0034}$  در نظر گرفته می‌شود. (۱۰) از حاصل ضرب راندمان‌های زنجیره چاه تا تانک محاسبه شده است.

### ۳-۴-۲. محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم عرضه انواع سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده

نگرش‌های گوناگونی برای ارزیابی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع زیست توده وجود دارد. با توجه به اینکه دی اکسید کربن بخش عمده‌ای از گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در اتمسفر را تشکیل می‌دهد، در بسیاری از مطالعات انجام شده با در نظر گرفتن یک رویکرد خوش‌بینانه، یک چرخه "ختی سازی کربن"<sup>۱</sup> را برای کاربرد زیست توده در بخش انرژی در نظر گرفته‌اند [۱۸ و ۱۹]. این گروه معتقدند اگر چه تولید و مصرف زیست سوخت‌ها، گاز دی اکسید کربن را در جو منتشر می‌کند، اما چون دوره کاشت و رشد گیاهانی که از آنها زیست سوخت‌ها تولید می‌گردند دائمی و کوتاه است، به همان اندازه، دی اکسید کربن از جو زمین جذب می‌کنند. اما اخیراً رویکرد فوق به وسیله برخی محققان مورد چالش واقع شده، به نحوی که بر خلاف باور عمومی در مورد چرخه ختی سازی کربن، این گروه بر این باورند که میزان انتشار کربن در زنجیره کاشت و رشد گیاهان برای تولید و مصرف زیست سوخت‌ها در یک نگاه واقع‌بینانه نمی‌تواند صفر یا حتی نزدیک به صفر باشد، اما می‌تواند منجر به کاهش قابل توجهی در میزان انتشار آن در مقایسه با سوخت‌های فسیلی رایج نظیر بنزین و دیزل گردد [۲۰ و ۲۱]. بر اساس این مطالعات، کاهش در میزان انتشار کربن تا حد زیادی به سیستم کاشت و برداشت، فرآیندهای فرآوری و حمل و نقل، وضعیت زمین مورد استفاده، راندمان تولید محصولات کشاورزی و از همه مهم‌تر به افق زمانی مورد مطالعه بستگی دارد. یعنی کاشت مجدد محصولات کشاورزی برای تولید زیست سوخت‌ها در دراز مدت (حدود یکصد سال و به موازات افزایش راندمان تولید) می‌تواند منجر به نزدیک شدن به سناریوی چرخه ختی سازی کربن گردد.

کاهش میزان انتشار کربن در زنجیره تولید و مصرف بیواتانول تولید شده از محصولات کشاورزی شامل گندم، ذرت، چغندر قند و نیشکر در مقایسه با سوخت‌های بنزین به ترتیب ۲۳، ۲۷، ۴۰ و ۷۶ درصد می‌باشد. از طرفی کاهش میزان انتشار کربن در زنجیره تولید و مصرف بیودیزل تولید شده از محصولات کشاورزی شامل

<sup>۱</sup> Carbon Neutral

ریپسید<sup>۱</sup>، سویا و روغن نخل در مقایسه با دیزل فسیلی به ترتیب ۱۱، ۳۱ و ۵۰ درصد می‌باشد. همچنین میانگین وزنی کاهش برای سال ۲۰۰۸ در کشور انگلستان معادل ۲۶ درصد بوده و برای سال ۲۰۱۰ معادل ۴۵ درصد هدف‌گذاری شده بود [۲۰]. از جمله مطالعات دیگر می‌توان به کاهش انتشار ۱۷ تا ۶۲ درصدی کربن در زنجیره تولید و مصرف اتانول (از ذرت) در مقایسه با بنزین اشاره نمود [۲۲] در حالی که یک مطالعه موردی دیگر ۷ تا ۷۷ درصد کاهش انتشار کربن در تولید اتانول از گندم را در مقایسه با بنزین نشان می‌دهد [۲۳]. همان‌طور که ملاحظه می‌شود پراکندگی اطلاعات در این بخش زیاد می‌باشد. اما از آنجا که در مطالعه حاضر، محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تک تک مراحل تولید و مصرف مد نظر می‌باشد، و همچنین برای حفظ یکپارچگی گزارش، با مرجع قرار دادن گزارش‌های مرکز تحقیقات فنی و علمی اتحادیه اروپا که با عنوان "Joint Research Center (JRC)" معرفی و شناخته می‌گردد، و نیز در سایر بخش‌ها هم به آنها استناد شده است، ابتدا مجموع میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره تولید زیست سوخت‌ها محاسبه شده، سپس با کسر یک میزان متوسط<sup>۲</sup> از کل زنجیره، مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای گزارش می‌گردد. این مقدار متوسط معادل  $71/4 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}_{\text{Out}}$  برای تولید بیواتانول و  $75/4 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}_{\text{Out}}$  برای تولید بیودیزل از انواع محصولات کشاورزی در نظر گرفته شده است [۹].

<sup>۱</sup> ریپسید (Rapeseed) نوعی گیاه روغنی است.

<sup>۲</sup> از آن در مراجع با عنوان Explicit Sequestration Credit یاد می‌گردد [۲۱].



**جدول ۹- انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه سوخت‌های قابل استحصال از منابع زیست توده**

انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره چاه تا تانک $gCO_{2eq}/MJ_{Out}$					نوع سوخت	منبع
کل زنجیره <sup>(۳)</sup>	مجموع <sup>(۳)</sup>	انتقال و توزیع <sup>(۱)</sup>	فرآوری <sup>(۲)</sup>	کاشت و برداشت <sup>(۱)</sup>		
-۶۵/۴۷	۵/۹۳	۳/۱۵	-۱۰/۳۱	۱۳/۰۹	بیواتانول	منابع سرشار از قند/ نیشکر
-۴۰/۹۸	۳۰/۴۲	۳/۱۵	۵/۲	۲۰/۸۳	بیواتانول	منابع سرشار از قند / چغندر قند
-۲۰/۱۳	۵۱/۲۷	۳/۱۵	۱۶/۵۴	۳۱/۹۲	بیواتانول	منابع سرشار از نشاسته / گندم
-۴۸/۹۸	۲۲/۴۲	۳/۱۵	۱۲/۳۱	۶/۹۶	بیواتانول	منابع سلولزی / چوب
-۶۱/۷۴	۹/۶۶	۳/۱۵	۳/۴۲	۳/۳۵	بیواتانول	منابع سلولزی / کاه
-۲۹/۵۳	۴۵/۸۷	۱/۵۶	-۶/۹۵	۵۱/۲۶	بیودیزل	دانه‌های روغنی / ریپسید
-۵۱/۲۵	۲۴/۱۵	۱/۵۶	-۵/۴۴	۲۸/۰۳	بیودیزل	دانه‌های روغنی / آفتاب گردان

(۱) مرجع [۹].

(۲) در مواردی که میزان انتشار منفی گزارش شده به دلیل نقش محصولات جانبی در تولید انرژی (برق یا حرارت) می‌باشد که این انرژی در خود واحد برای فرآوری محصول به کار رفته و نیاز واحد برای تأمین انرژی از خارج را مرتفع نموده است.

(۳) مجموع گازهای گلخانه‌ای منتشر شده شامل دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن در سیستم عرضه زیست سوخت‌ها، به ازای هر مگاژول بیواتانول و بیودیزل تولیدی بوده ولی Carbon Credit را شامل نمی‌گردد.

(۴) بیانگر مجموع انتشار در زنجیره و با کسر Carbon Credit از ستون قبلی ( $gCO_{2eq}/MJ_{Out}$ ) ۷۱/۴ برای تولید بیواتانول و  $gCO_{2eq}/MJ_{Out}$  ۷۵/۴ برای تولید بیودیزل، محاسبه شده است.

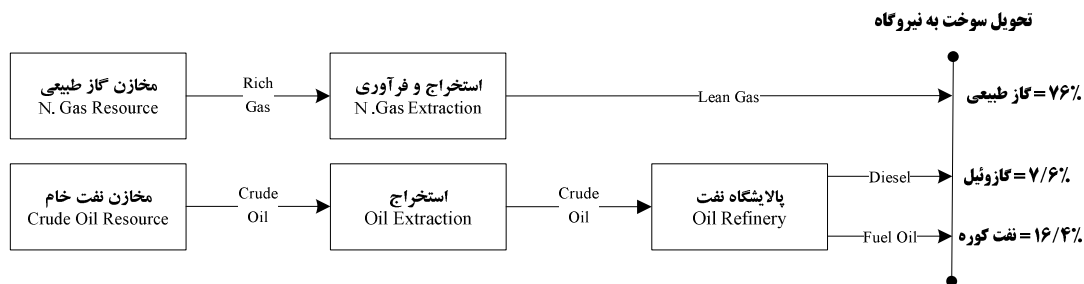
### ۳-۵. سیستم عرضه برق

با توجه به عدم راه اندازی نیروگاه‌های زغال سنگ و زمین گرمایی و نبود تجربه عملیاتی قابل ملاحظه در استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی، زیست توده و هسته‌ای، تنوع نیروگاه‌های کشور نسبتاً پائین می‌باشد. ترکیب سوخت مصرفی (گاز طبیعی، نفت کوره و گازوئیل) در نیروگاه‌های کشور نیز موید این موضوع می‌باشد. بنابراین در این قسمت به جای بررسی کامل سیستم عرضه برق، از یک مدل ساده شده، مبتنی بر وضعیت فعلی در کشور برای برآورد راندمان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌گردد.

### ۳-۵-۱. محاسبه راندمان انرژی در سیستم عرضه برق

طی چند سال اخیر بهترین شرایط از منظر سهم گاز طبیعی در ترکیب سوخت مصرفی در نیروگاه‌های کشور در سال ۱۳۸۷ حادث شده است. در این سال سهم گاز طبیعی، نفت کوره و نفت گاز به ترتیب ۷۶ درصد، ۱۶/۴

درصد و ۷/۶ درصد بوده است [۱۷]. برای محاسبه راندمان انرژی در کل زنجیره، از یک میانگین وزنی بر اساس نسبت سوخت‌های مصرفی موجود استفاده می‌شود. بر این اساس با در نظر گرفتن زنجیره عرضه این سوخت‌ها شامل استخراج، فرآوری و پالایش نفت خام و گاز طبیعی و با استفاده از اطلاعات موجود در جداول (۲) و (۶) و همچنین میانگین وزنی سوخت‌های مصرفی، میانگین وزنی راندمان در فرآیند عرضه سوخت مصرفی تا نیروگاه برق در جدول (۱۰) محاسبه شده است. شایان ذکر است که بخش انتقال سوخت تا نیروگاه با توجه به سهم اندک آن در مصرف انرژی در محاسبات لحاظ نشده است.



شکل ۷- سیستم عرضه انواع سوخت‌های استفاده شده در نیروگاه‌های کشور

جدول ۱۰- راندمان در زنجیره عرضه سوخت‌های به کار رفته در نیروگاه‌های کشور

نوع سوخت	راندمان استخراج (٪) <sup>(۱)</sup>	راندمان پالایش (٪) <sup>(۲)</sup>	سهم در تولید برق (٪)	میانگین وزنی راندمان (٪) <sup>(۳)</sup>
گاز طبیعی	۹۷/۷	۱۰۰	۷۶/۰	۷۴/۳
نفت کوره	۹۷/۴	۹۵/۱	۱۶/۴	۱۵/۲
گازوئیل	۹۷/۴	۹۰/۹	۷/۶	۶/۷
کل میانگین وزنی راندمان در فرآیند عرضه سوخت مصرفی تا نیروگاه				۹۶/۲ <sup>(۴)</sup>

(۱) جزئیات محاسبات در جداول (۲) و (۶) ارائه شده‌اند.

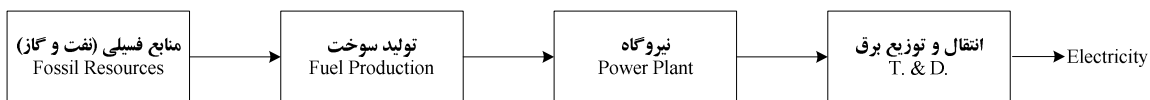
(۲) پالایش (شیرین سازی) گاز طبیعی در محل استخراج بوده و در محاسبات راندمان مرحله استخراج لحاظ شده در حالی که راندمان پالایش نفت خام برای تولید گازوئیل و نفت کوره (که معادل نفتا در نظر گرفته شده) جداگانه محاسبه شده است.

(۳) از حاصل ضرب سه ستون قبلی محاسبه شده است.

(۴) از مجموع ردیف‌های بالایی محاسبه شده است.

مطابق اطلاعات ترانزنامه انرژی و آمار تفصیلی صنعت برق متوسط راندمان نیروگاهی کشور حدود ۳۸ درصد می‌باشد.

همچنین مطابق اطلاعات ترانزنامه انرژی میانگین تلفات در شبکه‌های انتقال و توزیع در کشور به ترتیب معادل ۴/۱ و ۱۵/۹ درصد می‌باشد. در کشورهای پیشرفته مجموع میزان تلفات شبکه انتقال و توزیع به مراتب کمتر می‌باشد (۴ الی ۸ درصد). بنابراین ۱۵/۹ درصد تلفات فقط در بخش توزیع رقم قابل ملاحظه‌ای بوده که البته بخشی از آن فنی بوده و مربوط به فرسودگی شبکه، تجهیزات و طراحی‌های نامناسب شبکه در کشور و همچنین تلفات ذاتی تجهیزات می‌باشد. بخش دیگر تلفات هم مربوط به استفاده غیر مجاز از برق است که به آن تلفات غیر فنی می‌گویند.



شکل ۸- عرضه انرژی الکتریکی

### جدول ۱۱- راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک سیستم عرضه الکتریسیته در کشور<sup>(۱)</sup>

راندمان انرژی در زنجیره چاه تا تانک (%)				نوع سوخت	منبع
کل زنجیره	انتقال و توزیع <sup>(۱)</sup>	تبدیل (نیروگاه)	تولید سوخت		
۳۲/۵	۸۴/۹	۳۸-۴۰	۹۵/۸-۹۶/۲	گاز طبیعی، نفت کوره، گازوئیل، باد و آب	سوخت‌های فسیلی و تجدیدپذیر

(۱) بر مبنای اطلاعات سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ برآورد صورت گرفته است.

(۲) با توجه به اینکه میانگین تلفات در انتقال برق ۴/۱ درصد و در توزیع ۱۱/۵ درصد می‌باشد، راندمان آن معادل  $84.9\% = (1 - 0.115) * (1 - 0.041)$  در نظر گرفته می‌شود.

### ۳-۵-۲. محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم عرضه برق

متوسط میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش تولید برق در کشور حدود  $183/3 \text{ gCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$  می‌باشد. اما باید توجه کرد که این مقدار مربوط به بخش نیروگاهی در کشور بوده و بایستی به طور متوسط  $5/4 \text{ gCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$  به آن برای در نظر گرفتن میزان انتشار در مراحل استخراج و فرآوری اضافه گردد. بنابراین کل میزان انتشار کربن در زنجیره تولید برق از انواع سوخت‌ها در کشور حدود  $188/7 \text{ gCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$  می‌باشد.

<sup>۱</sup>  $(3.4 * 0.76)_{\text{Natural Gas Extraction}} + (12 * 0.24)_{\text{Crude oil Extraction \& Refinery}} = 5.4 \frac{\text{gCO}_2}{\text{MJ}}$

## ۴. تحلیل تانک تا چرخ

تغییرات تکنولوژیکی با دو رویکرد متفاوت در بخش حمل و نقل انجام شده و یا در حال شکل‌گیری می‌باشد. در رویکرد اول شرکت‌های خودروساز با ایجاد تغییرات عمده در موتور خودرو، به منظور کاهش مصرف سوخت، بهبود عملکرد موتور و کاهش میزان انتشار انواع آلاینده‌ها گام‌های موثری را برداشته‌اند؛ در حالی‌که همچنان از سوخت‌های فسیلی به عنوان تنها عامل مولد قدرت بهره می‌برند. نتیجه مستقیم این رویکرد پیدایش دو تکنولوژی تحت عناوین موتورهای بنزینی پیشرفته و موتورهای گازیلی پیشرفته (در مقابل موتورهای بنزینی و گازیلی رایج) می‌باشند.

اما در رویکرد دوم تمرکز بر روی تولید و به کارگیری سوخت‌های جایگزین می‌باشد. این سوخت‌ها عبارتند از: سوخت‌های گاز طبیعی (CNG و LNG)، گاز مایع (LPG)، سوخت‌های زیستی (بیواتانول و بیودیزل)، دیزل سنتز شده، هیدروژن (به صورت مستقیم یا در پیل‌های سوختی) و سایر سوخت‌ها (متانول، دی‌متیل اتر و نفتا) که استفاده از برخی از آن‌ها تجاری شده و برخی دیگر در حال توسعه می‌باشند. استفاده از این سوخت‌ها به دو روش امکان‌پذیر می‌باشد:

- ۱- خودروهای با سوخت ترکیبی<sup>۱</sup> که در آن ترکیب سوخت‌ها در یک مخزن ذخیره می‌شود. E5 (۵ درصد بیواتانول و ۹۵ درصد بنزین)، B20 (۲۰ درصد بیودیزل و ۸۰ درصد گازیلی)، M85 (۸۵ درصد متانول و ۱۵ درصد بنزین)، HCNG (ترکیب هیدروژن و گاز طبیعی فشرده) و سوخت‌های سری P (پنتان و هیدروکربن‌های سنگین‌تر از آن، اتانول و متیل تترا هیدروفوران) مثال‌هایی از این روش می‌باشند.
- ۲- خودروهای دوگانه‌سوز<sup>۲</sup> که دارای دو مخزن جداگانه برای نگهداری دو نوع سوخت متفاوت می‌باشند، مثل نگهداری بنزین و CNG یا بنزین و LPG در دو مخزن مجزا.

از دیگر طرح‌های پیشرفته در جایگزینی سوخت‌های فسیلی، استفاده از الکتریسیته به عنوان عامل تولید قدرت در موتور خودروها می‌باشد. تفکیک تکنولوژی‌های این گروه بر مبنای نحوه تولید و سهم الکتریسیته در تأمین انرژی مورد نیاز خودرو صورت می‌پذیرد که به سه دسته اصلی شامل خودروهای با باتری الکتریکی<sup>۳</sup> (BEVs)، خودروهای هیبریدی<sup>۴</sup> PHEV و خودروهای هیبریدی<sup>۵</sup> HEV طبقه‌بندی می‌شوند. نیروی

<sup>۱</sup> Flexible-Fuel Vehicle (FFV) or Dual Fuel Vehicle

<sup>۲</sup> Bi-Fuel Vehicle

<sup>۳</sup> Battery Electric Vehicles

<sup>۴</sup> Plug-in Hybrid Vehicles

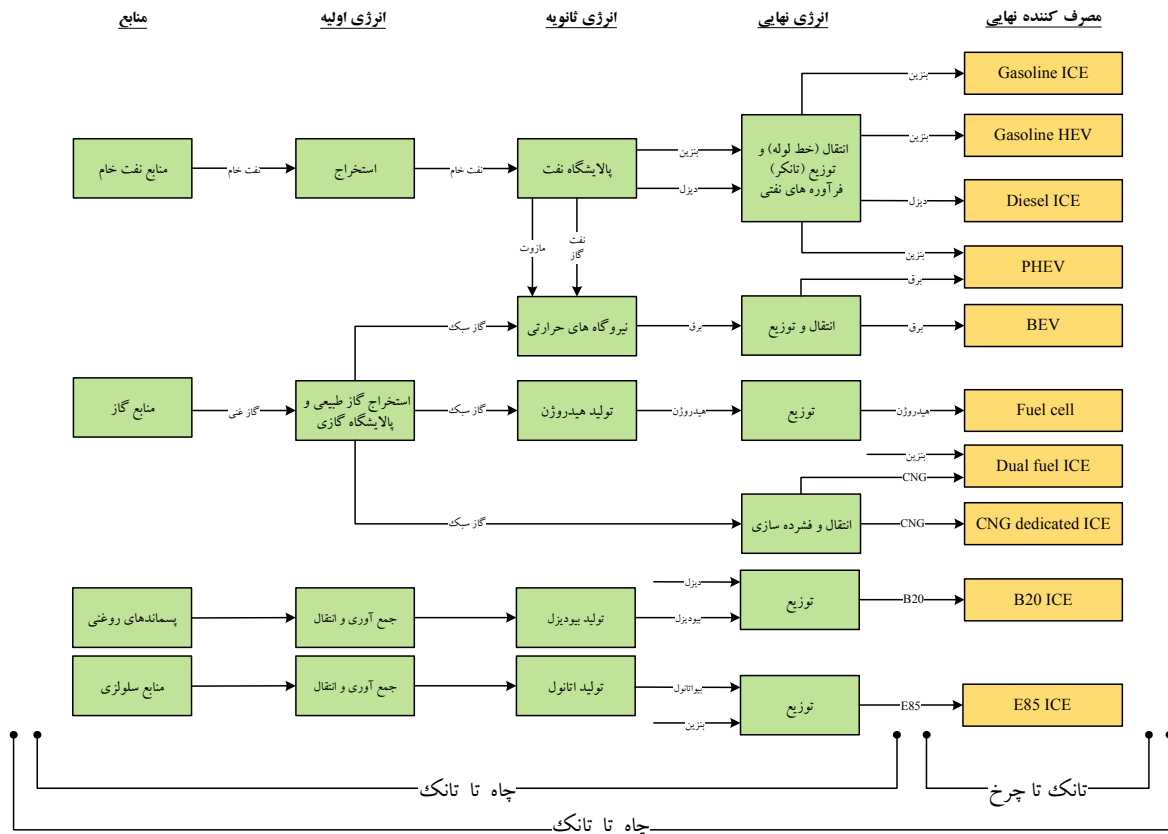
<sup>۵</sup> Hybrid Electric Vehicles

الکتریکی در تکنولوژی‌های هیبریدی PHEV و خودروهای هیبریدی HEV، تنها بخشی از توان لازم برای به حرکت در آوردن خودرو را تأمین می‌نماید و بخش دیگر توسط موتورهای احتراق داخلی تأمین می‌گردد. اما در تکنولوژی با باتری الکتریکی، موتور الکتریکی به تنهایی توان لازم را تولید می‌نماید. همچنین توان الکتریکی می‌تواند توسط پیل‌های سوختی (معمولاً هیدروژنی) نیز تولید شود که این تکنولوژی با عنوان خودروهای پیل سوختی مطرح می‌شود. اطلاعات فنی و زیست محیطی مربوط به این تکنولوژی‌ها در قالب جداول بخش بعد ارائه می‌شوند.

از آنجایی که اکثر فناوری‌های خودروهای سبک جایگزین در حال حاضر در کشور ما وجود ندارند و با فرض آنکه این تکنولوژی‌ها از طریق واردات برای کشور ما قابل دسترس باشند، برای آنکه مبنای مقایسه فناوری‌ها یکسان باشند، از اطلاعات مراجع معتبر بین‌المللی (در اینجا اتحادیه اروپا) استفاده می‌نمائیم.

## ۵. تحلیل چاه تا چرخ

با توجه به تنوع تکنولوژی‌های خودروهای سواری و با در نظر گرفتن زنجیره تولید سوخت آن، می‌توان مسیرهای گوناگون را برای تحلیل چاه تا چرخ با یکدیگر مقایسه نمود. به عنوان نمونه برای تأمین سوخت خودروهای احتراقی دیزلی، می‌توان ۷ مسیر را برای تولید سوخت مورد نیاز آن در نظر گرفت. این مسیرها عبارتند از: تولید دیزل در پالایشگاه نفت، سنتز دیزل در واحدهای GTL معمولی یا همراه با سیستم جذب و ذخیره‌سازی کربن، تولید بیودیزل از انواع دانه‌های روغنی، تولید بیودیزل از پسماندهای روغنی، سنتز دیزل در واحدهای CTL معمولی یا همراه با سیستم جذب و ذخیره‌سازی کربن. یا مثلاً برای تولید هیدروژن مطابق آنچه در بخش (۴) ارائه شد، حداقل ۱۰ مسیر متفاوت تولید وجود دارد. اما در ادامه این گزارش تلاش می‌شود تا ضمن در نظر گرفتن تمامی فناوری‌های متعارف و نوین در بخش مصرف‌کننده نهایی (تکنولوژی خودرو)، صرفاً مسیرهای رایج و مسیری که در حال توسعه بیشتری هستند مد نظر قرار گیرند. بر این اساس، زنجیره چاه تا چرخ مورد مطالعه به تکنولوژی‌ها و مسیرهای موجود در شکل (۹) محدود می‌گردد.



شکل ۹- زنجیره چاه تا چرخ

## ۵-۱. اطلاعات فنی و زیست محیطی

خلاصه اطلاعات فنی و زیست محیطی برای زنجیره چاه تا چرخ در نظر گرفته شده برای این مطالعه (شکل ۸)، در جدول (۱۲) ارائه شده است. شایان ذکر است که فرآیند توسعه فناوری برای کلیه تکنولوژی‌های خودروهای سبک سواری لحاظ شده است. به عنوان نمونه، میزان مصرف بنزین در خودروهای هیبریدی (HEV) از ۵ لیتر در هر ۱۰۰ کیلومتر به ۴/۳ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر کاهش می‌یابد.

در ابتدای جدول، خودروهای سبک سواری موجود در کشور (موتورهای درون‌سوز با سوخت بنزین) جهت مقایسه با فناوری‌های روز دنیا نیز ارائه شده است. این اطلاعات (۷/۹۸ لیتر در هر ۱۰۰ کیلومتر مصرف بنزین) بر مبنای میانگین وزنی مصرف سوخت خودروهای سبک سواری تولید داخل در مرجع شماره [۲۵] استخراج شده است.

جدول ۱۲- اطلاعات فنی و زیست محیطی زنجیره تولید و مصرف مسیرهای منتخب در افق سه ساله

سال	سال	سال	سال	سال	سال	واحد	پارامتر	زنجیره تولید و مصرف (منبع / سوخت / خودرو)
سی ام	بیستم	پانزدهم	دهم	پنجم	اول			
-	-	-	-	-	۷.۹۸	lit/100 km	مصرف سوخت	نفت / بنزین / احتراقی موجود
-	-	-	-	-	۲۵۶.۸	MJ/100 km	مصرف انرژی (TTW)	
-	-	-	-	-	٪۸۸.۸	درصد	راندمان عرضه	
-	-	-	-	-	۲۸۹.۲	MJ/100 km	مصرف انرژی (WTW)	
-	-	-	-	-	۱۲.۵	WTT (gCO2eq/MJ)	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
-	-	-	-	-	۳۲.۱	WTT (gCO2eq/km)		
-	-	-	-	-	۷۳.۴	TTW (gCO2eq/MJ)		
-	-	-	-	-	۱۸۸.۵	TTW (gCO2eq/km)		
-	-	-	-	-	۸۵.۹	WTW (gCO2eq/MJ)		
-	-	-	-	-	۲۲۰.۶	WTW (gCO2eq/km)		
۵.۹	۵.۹	۵.۹	۵.۹	۶.۴	۷.۰	lit/100 km	مصرف سوخت	نفت / بنزین / احتراقی
۱۸۹.۹	۱۸۹.۹	۱۸۹.۹	۱۸۹.۹	۲۰۶.۸	۲۲۳.۷	MJ/100 km	مصرف انرژی (TTW)	
٪۸۸.۸	٪۸۸.۸	٪۸۸.۸	٪۸۸.۸	٪۸۸.۸	٪۸۸.۸	درصد	راندمان عرضه	
۲۱۳.۸	۲۱۳.۸	۲۱۳.۸	۲۱۳.۸	۲۳۲.۹	۲۵۱.۹	MJ/100 km	مصرف انرژی (WTW)	
۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	WTT (gCO2eq/MJ)	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
۲۳.۷	۲۳.۷	۲۳.۷	۲۳.۷	۲۵.۸	۲۸.۰	WTT (gCO2eq/km)		
۷۳.۴	۷۳.۴	۷۳.۴	۷۳.۴	۷۳.۴	۷۳.۴	TTW (gCO2eq/MJ)		
۱۳۹.۳	۱۳۹.۳	۱۳۹.۳	۱۳۹.۳	۱۵۱.۷	۱۶۴.۱	TTW (gCO2eq/km)		
۸۵.۹	۸۵.۹	۸۵.۹	۸۵.۹	۸۵.۹	۸۵.۹	WTW (gCO2eq/MJ)		
۱۶۳.۱	۱۶۳.۱	۱۶۳.۱	۱۶۳.۱	۱۷۷.۶	۱۹۲.۱	WTW (gCO2eq/km)		
۴.۸	۴.۸	۴.۸	۴.۸	۵.۰	۵.۱	lit/100 km	مصرف سوخت	نفت / دیزل / احتراقی
۱۷۲.۳	۱۷۲.۳	۱۷۲.۳	۱۷۲.۳	۱۷۷.۷	۱۸۳.۱	MJ/100 km	مصرف انرژی (TTW)	
٪۸۷.۱	٪۸۷.۱	٪۸۷.۱	٪۸۷.۱	٪۸۷.۱	٪۸۷.۱	درصد	راندمان عرضه	
۱۹۷.۹	۱۹۷.۹	۱۹۷.۹	۱۹۷.۹	۲۰۴.۰	۲۱۰.۲	MJ/100 km	مصرف انرژی (WTW)	
۱۴.۱	۱۴.۱	۱۴.۱	۱۴.۱	۱۴.۱	۱۴.۱	WTT (gCO2eq/MJ)	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
۲۴.۳	۲۴.۳	۲۴.۳	۲۴.۳	۲۵.۱	۲۵.۸	WTT (gCO2eq/km)		
۷۳.۳	۷۳.۳	۷۳.۳	۷۳.۳	۷۳.۳	۷۳.۳	TTW (gCO2eq/MJ)		
۱۲۶.۲	۱۲۶.۲	۱۲۶.۲	۱۲۶.۲	۱۳۰.۲	۱۳۴.۱	TTW (gCO2eq/km)		
۸۷.۴	۸۷.۴	۸۷.۴	۸۷.۴	۸۷.۴	۸۷.۴	WTW (gCO2eq/MJ)		
۱۵۰.۵	۱۵۰.۵	۱۵۰.۵	۱۵۰.۵	۱۵۵.۲	۱۵۹.۹	WTW (gCO2eq/km)		
۴.۳	۴.۳	۴.۳	۴.۳	۴.۶	۵.۰	lit/100 km	مصرف سوخت	نفت / بنزین / HEV
۱۳۷.۳	۱۳۷.۳	۱۳۷.۳	۱۳۷.۳	۱۴۹.۴	۱۶۱.۶	MJ/100 km	مصرف انرژی (TTW)	
٪۸۸.۸	٪۸۸.۸	٪۸۸.۸	٪۸۸.۸	٪۸۸.۸	٪۸۸.۸	درصد	راندمان عرضه	
۱۵۴.۶	۱۵۴.۶	۱۵۴.۶	۱۵۴.۶	۱۶۸.۳	۱۸۱.۹	MJ/100 km	مصرف انرژی (WTW)	
۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	WTT (gCO2eq/MJ)	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
۱۷.۲	۱۷.۲	۱۷.۲	۱۷.۲	۱۸.۷	۲۰.۲	WTT (gCO2eq/km)		
۷۳.۴	۷۳.۴	۷۳.۴	۷۳.۴	۷۳.۴	۷۳.۴	TTW (gCO2eq/MJ)		
۱۰۰.۸	۱۰۰.۸	۱۰۰.۸	۱۰۰.۸	۱۰۹.۷	۱۱۸.۶	TTW (gCO2eq/km)		
۸۵.۹	۸۵.۹	۸۵.۹	۸۵.۹	۸۵.۹	۸۵.۹	WTW (gCO2eq/MJ)		
۱۱۷.۹	۱۱۷.۹	۱۱۷.۹	۱۱۷.۹	۱۲۸.۳	۱۳۸.۸	WTW (gCO2eq/km)		

توسعه بخش حمل و نقل جاده‌ای کشور: مقایسه فنی، اقتصادی و زیست محیطی انواع خودروهای سبک سواری

۸.۳	۸.۳	۸.۳	۸.۳	۹.۰	۹.۸	lit/100 km	مصرف سوخت	زیست توده و نفت/ E85/ احتراقی
۱۸۹.۹	۱۸۹.۹	۱۸۹.۹	۱۸۹.۹	۲۰۶.۸	۲۲۳.۷	MJ/100 km	مصرف انرژی (TTW)	
%۶۴.۴	%۶۴.۴	%۶۴.۴	%۶۴.۴	%۶۴.۴	%۶۴.۴	درصد	راندمان عرضه	
۲۹۴.۹	۲۹۴.۹	۲۹۴.۹	۲۹۴.۹	۳۲۱.۱	۳۴۷.۳	MJ/100 km	مصرف انرژی (WTW)	
۶.۱	۶.۱	۶.۱	۶.۱	۶.۱	۶.۱	WTT (gCO2eq/MJ)	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
۱۱.۶	۱۱.۶	۱۱.۶	۱۱.۶	۱۲.۶	۱۳.۶	WTT (gCO2eq/km)		
۳۵.۲	۳۵.۲	۳۵.۲	۳۵.۲	۳۵.۲	۳۵.۲	TTW (gCO2eq/MJ)		
۶۶.۸	۶۶.۸	۶۶.۸	۶۶.۸	۷۲.۷	۷۸.۷	TTW (gCO2eq/km)		
۴۱.۳	۴۱.۳	۴۱.۳	۴۱.۳	۴۱.۳	۴۱.۳	WTW (gCO2eq/MJ)		
۷۸.۴	۷۸.۴	۷۸.۴	۷۸.۴	۸۵.۳	۹۲.۳	WTW (gCO2eq/km)		
۴.۹	۴.۹	۴.۹	۴.۹	۵.۰	۵.۲	lit/100 km	مصرف سوخت	زیست توده و نفت/ B20/ احتراقی
۱۷۲.۳	۱۷۲.۳	۱۷۲.۳	۱۷۲.۳	۱۷۷.۷	۱۸۳.۱	MJ/100 km	مصرف انرژی (TTW)	
%۸۰.۴	%۸۰.۴	%۸۰.۴	%۸۰.۴	%۸۰.۴	%۸۰.۴	درصد	راندمان عرضه	
۲۱۴.۴	۲۱۴.۴	۲۱۴.۴	۲۱۴.۴	۲۲۱.۱	۲۲۷.۹	MJ/100 km	مصرف انرژی (WTW)	
۱۲.۷	۱۲.۷	۱۲.۷	۱۲.۷	۱۲.۷	۱۲.۷	WTT (gCO2eq/MJ)	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
۲۱.۹	۲۱.۹	۲۱.۹	۲۱.۹	۲۲.۶	۲۳.۳	WTT (gCO2eq/km)		
۶۶.۳	۶۶.۳	۶۶.۳	۶۶.۳	۶۶.۳	۶۶.۳	TTW (gCO2eq/MJ)		
۱۱۴.۳	۱۱۴.۳	۱۱۴.۳	۱۱۴.۳	۱۱۷.۸	۱۲۱.۴	TTW (gCO2eq/km)		
۷۹.۰	۷۹.۰	۷۹.۰	۷۹.۰	۷۹.۰	۷۹.۰	WTW (gCO2eq/MJ)		
۱۳۶.۲	۱۳۶.۲	۱۳۶.۲	۱۳۶.۲	۱۴۰.۴	۱۴۴.۷	WTW (gCO2eq/km)		
۶۸.۷	۶۸.۷	۶۸.۷	۶۸.۷	۷۴.۷	۸۰.۸	MJ/100 km	مصرف بنزین	نفت و شبکه برق / بنزین و برق / PHEV
۲۷.۰	۳۰.۰	۳۱.۵	۳۳.۰	۳۴.۵	۳۶.۰	MJ/100 km	مصرف برق	
۹۵.۷	۹۸.۷	۱۰۰.۲	۱۰۱.۷	۱۰۹.۲	۱۱۶.۸	MJ/100 km	کل مصرف انرژی (TTW)	
%۶۰.۷	%۵۸.۱	%۵۵.۲	%۵۱.۹	%۴۹.۰	%۴۶.۰	درصد	راندمان عرضه	
۱۵۷.۷	۱۶۹.۸	۱۸۱.۴	۱۹۵.۷	۲۲۳.۰	۲۵۴.۱	MJ/100 km	مصرف انرژی (WTW)	
۴۴.۸	۴۹.۹	۵۴.۵	۶۰.۲	۶۳.۲	۶۶.۸	WTT (gCO2eq/MJ)	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
۴۲.۹	۴۹.۲	۵۴.۶	۶۱.۲	۶۹.۱	۷۸.۰	WTT (gCO2eq/km)		
۵۲.۷	۵۱.۱	۵۰.۳	۴۹.۶	۵۰.۲	۵۰.۸	TTW (gCO2eq/MJ)		
۵۰.۴	۵۰.۴	۵۰.۴	۵۰.۴	۵۴.۸	۵۹.۳	TTW (gCO2eq/km)		
۹۷.۵	۱۰۱.۰	۱۰۴.۸	۱۰۹.۷	۱۱۳.۴	۱۱۷.۶	WTW (gCO2eq/MJ)		
۹۳.۳	۹۹.۶	۱۰۵.۰	۱۱۱.۶	۱۲۳.۹	۱۳۷.۳	WTW (gCO2eq/km)		
۱۵.۰	۱۶.۷	۱۷.۵	۱۸.۳	۱۹.۲	۲۰.۰	kWh/100 km	مصرف سوخت (برق)	شبکه برق / برق / خودروی برقی
۵۴.۰	۶۰.۰	۶۳.۰	۶۶.۰	۶۹.۰	۷۲.۰	MJ/100 km	مصرف انرژی (TTW)	
%۴۶.۱	%۴۳.۲	%۴۰.۱	%۳۶.۷	%۳۳.۸	%۳۱.۰	درصد	راندمان عرضه	
۱۱۷.۲	۱۳۸.۹	۱۵۷.۳	۱۷۹.۸	۲۰۴.۱	۲۳۲.۲	MJ/100 km	مصرف انرژی (WTW)	
۱۲۷.۰	۱۳۵.۵	۱۴۶.۱	۱۵۹.۴	۱۷۳.۱	۱۸۸.۷	WTT (gCO2eq/MJ)	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
۶۸.۶	۸۱.۳	۹۲.۰	۱۰۵.۲	۱۱۹.۴	۱۳۵.۹	WTT (gCO2eq/km)		
۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	TTW (gCO2eq/MJ)		
۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	TTW (gCO2eq/km)		
۱۲۷.۰	۱۳۵.۵	۱۴۶.۱	۱۵۹.۴	۱۷۳.۱	۱۸۸.۷	WTW (gCO2eq/MJ)		
۶۸.۶	۸۱.۳	۹۲.۰	۱۰۵.۲	۱۱۹.۴	۱۳۵.۹	WTW (gCO2eq/km)		



۵.۸	۵.۸	۵.۸	۵.۸	۶.۴	۶.۹	lit/100 km	مصرف سوخت	گاز/ CNG احتراقی
۱۸۷.۲	۱۸۷.۲	۱۸۷.۲	۱۸۷.۲	۲۰۵.۰	۲۲۲.۸	MJ/100 km	مصرف انرژی (TTW)	
%۹۱.۴	%۹۱.۴	%۹۱.۴	%۹۱.۴	%۹۱.۴	%۹۱.۴	درصد	راندمان عرضه	
۲۰۴.۸	۲۰۴.۸	۲۰۴.۸	۲۰۴.۸	۲۲۴.۳	۲۴۳.۸	MJ/100 km	مصرف انرژی (WTW)	
۸.۷	۸.۷	۸.۷	۸.۷	۸.۷	۸.۷	WTT (gCO2eq/MJ)	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
۱۶.۳	۱۶.۳	۱۶.۳	۱۶.۳	۱۷.۸	۱۹.۴	WTT (gCO2eq/km)		
۵۶.۲	۵۶.۲	۵۶.۲	۵۶.۲	۵۶.۲	۵۶.۲	TTW (gCO2eq/MJ)		
۱۰۵.۳	۱۰۵.۳	۱۰۵.۳	۱۰۵.۳	۱۱۵.۳	۱۲۵.۳	TTW (gCO2eq/km)		
۶۴.۹	۶۴.۹	۶۴.۹	۶۴.۹	۶۴.۹	۶۴.۹	WTW (gCO2eq/MJ)		
۱۲۱.۶	۱۲۱.۶	۱۲۱.۶	۱۲۱.۶	۱۳۳.۱	۱۴۴.۷	WTW (gCO2eq/km)		
۹۳.۶	۹۳.۶	۹۳.۶	۹۳.۶	۱۰۲.۵	۱۱۱.۴	MJ/100 km	مصرف CNG	گاز و نفت/ CNG و بنزین/ احتراقی
۹۴.۹	۹۴.۹	۹۴.۹	۹۴.۹	۱۰۳.۴	۱۱۱.۸	MJ/100 km	مصرف بنزین	
۱۸۸.۵	۱۸۸.۵	۱۸۸.۵	۱۸۸.۵	۲۰۵.۹	۲۲۳.۲	MJ/100 km	کل مصرف انرژی (TTW)	
%۹۰.۱	%۹۰.۱	%۹۰.۱	%۹۰.۱	%۹۰.۱	%۹۰.۱	درصد	راندمان عرضه	
۲۰۹.۳	۲۰۹.۳	۲۰۹.۳	۲۰۹.۳	۲۲۸.۶	۲۴۷.۸	MJ/100 km	مصرف انرژی (WTW)	
۱۰.۶	۱۰.۶	۱۰.۶	۱۰.۶	۱۰.۶	۱۰.۶	WTT (gCO2eq/MJ)	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
۲۰.۰	۲۰.۰	۲۰.۰	۲۰.۰	۲۱.۸	۲۳.۷	WTT (gCO2eq/km)		
۶۴.۹	۶۴.۹	۶۴.۹	۶۴.۹	۶۴.۸	۶۴.۸	TTW (gCO2eq/MJ)		
۱۲۲.۳	۱۲۲.۳	۱۲۲.۳	۱۲۲.۳	۱۳۳.۵	۱۴۴.۷	TTW (gCO2eq/km)		
۷۵.۵	۷۵.۵	۷۵.۵	۷۵.۵	۷۵.۵	۷۵.۴	WTW (gCO2eq/MJ)		
۱۴۲.۳	۱۴۲.۳	۱۴۲.۳	۱۴۲.۳	۱۵۵.۴	۱۶۸.۴	WTW (gCO2eq/km)		
۲.۶	۲.۸	۲.۹	۳.۱	۳.۲	۳.۴	lit/100 km	مصرف سوخت	گاز طبیعی/ هیدروژن/ پیل سوختی
۸۴.۰	۹۰.۷	۹۴.۰	۹۸.۷	۱۰۳.۳	۱۰۸.۰	MJ/100 km	مصرف انرژی (TTW)	
%۶۵.۰	%۶۵.۰	%۶۵.۰	%۶۵.۰	%۶۵.۰	%۶۵.۰	درصد	راندمان عرضه	
۱۲۹.۲	۱۳۹.۵	۱۴۴.۶	۱۵۱.۸	۱۵۹.۰	۱۶۶.۲	MJ/100 km	مصرف انرژی (WTW)	
۱۰.۱.۷	۱۰.۱.۷	۱۰.۱.۷	۱۰.۱.۷	۱۰.۱.۷	۱۰.۱.۷	WTT (gCO2eq/MJ)	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
۸۵.۴	۹۲.۲	۹۵.۶	۱۰۰.۳	۱۰۵.۱	۱۰۹.۸	WTT (gCO2eq/km)		
۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	TTW (gCO2eq/MJ)		
۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	TTW (gCO2eq/km)		
۱۰.۱.۷	۱۰.۱.۷	۱۰.۱.۷	۱۰.۱.۷	۱۰.۱.۷	۱۰.۱.۷	WTW (gCO2eq/MJ)		
۸۵.۴	۹۲.۲	۹۵.۶	۱۰۰.۳	۱۰۵.۱	۱۰۹.۸	WTW (gCO2eq/km)		

## ۶. نتایج

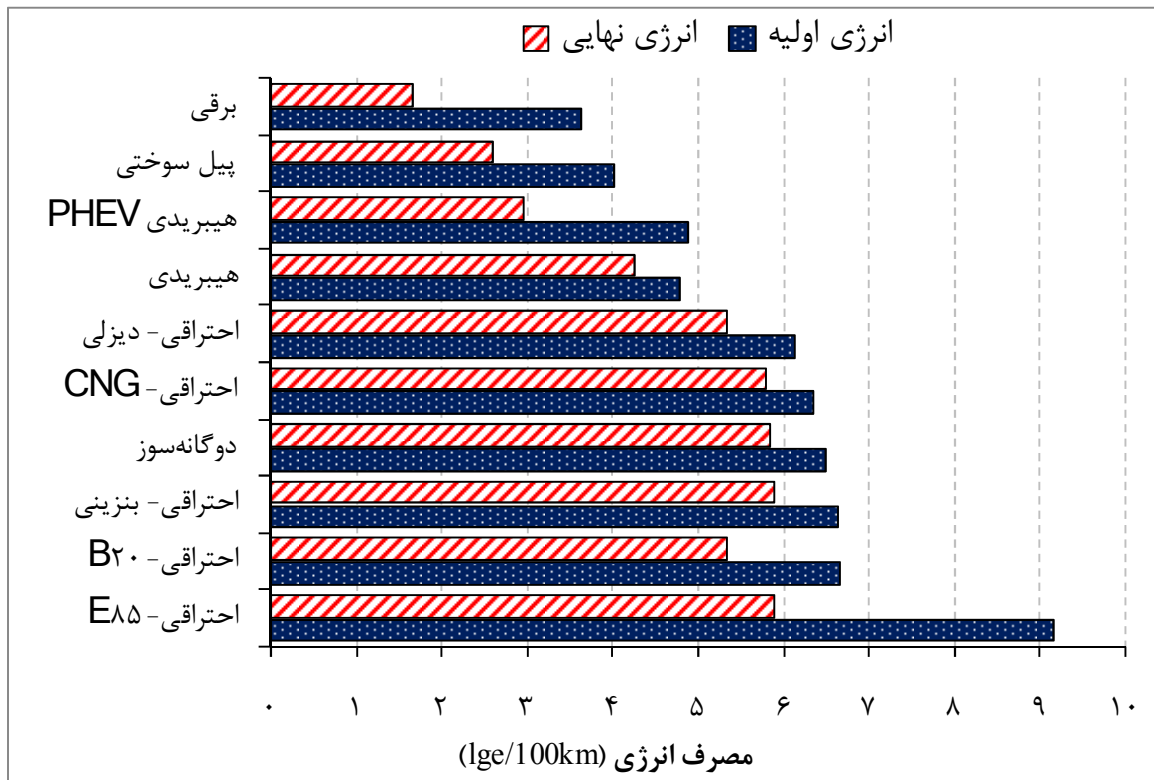
در این بخش، رقابت بین انواع خودروهای جایگزین (که در برگرنده مسیر تولید سوخت نیز خواهد بود) از منظر میزان مصرف انرژی‌های اولیه و ثانویه و همچنین از نظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای با یکدیگر مقایسه می‌گردد.

### ۶-۱. مصرف انرژی

مقایسه مصرف انرژی اولیه و نهایی در سال سی‌ام به وسیله تکنولوژی‌های مختلف در نمودار (۱۰) انجام شده است. به منظور مقایسه در این شکل از واحد لیتر معادل بنزین استفاده شده است. مطابق این نمودار، با وجودی که خودروهای رایج بنزینی تا حدود ۱۵ درصد پتانسیل بهبود در عملکرد و راندمان مصرف انرژی برای آنها در نظر گرفته شده است، بازهم در درازمدت استفاده از آنها برای تأمین تقاضا بیشترین میزان مصرف انرژی نهایی را در مقایسه با سایر تکنولوژی‌های جایگزین به خود اختصاص خواهند داد. خودروهای احتراق درونی با سوخت گاز طبیعی (CNG) و بیواتانول نیز از منظر مصرف انرژی نهایی مشابه خودروهای بنزینی خواهند بود. در میان خودروهای احتراقی، موتورهای دیزلی تا حدود ۱۰ درصد در میزان مصرف سوخت صرفه‌جویی ایجاد خواهند کرد. اما تغییرات فناوری و حرکت به سمت خودروهای هیبریدی معمولی (HEV)، هیبرید PHEV، پیل سوختی و خودروی برقی در مقایسه با خودروهای رایج بنزینی به ترتیب ۲۸ درصد، ۵۰ درصد، ۵۶ درصد و ۷۲ درصد در میزان مصرف نهایی سوخت صرفه‌جویی ایجاد می‌نماید.

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، فناوری‌های نوظهور نظیر خودروهای برقی پتانسیل چشمگیری در کاهش میزان مصرف انرژی نهایی در مقایسه با خودروهای احتراقی ایجاد می‌نمایند. ریشه اصلی این تفاوت در بالاتر بودن راندمان موتورهای الکتریکی (حدود ۸۰ درصد) در مقایسه با راندمان موتورهای احتراق درونی (حدود ۱۵ درصد) می‌باشد. اما یک رویکرد واقع‌بینانه‌تر ایجاب می‌نماید تا مقایسه مصرف انرژی در زنجیره چاه تا چرخ برای تکنولوژی‌های گوناگون با هم مقایسه شود. این مقایسه نیز در شکل (۱۰) ارائه شده است. دلیل نزدیک‌تر شدن مصرف انرژی اولیه خودروهای الکتریکی و خودروهای احتراق درونی در این نمودار، بالاتر بودن راندمان تولید فرآورده‌های نفتی (حدود ۹۰ درصد) در مقایسه با راندمان تولید برق (حداکثر ۵۰ درصد) می‌باشد. با این وجود، حرکت به سمت فناوری‌های نوین هیبریدی معمولی (HEV)، هیبرید PHEV، پیل سوختی و خودروی برقی در مقایسه با خودروهای رایج بنزینی پیشرفته به ترتیب ۲۶ درصد، ۲۸ درصد، ۴۰ درصد و ۴۵ درصد در

میزان مصرف انرژی اولیه صرفه‌جویی ایجاد می‌نماید. رشد چشمگیر مصرف انرژی اولیه در خودروهایی که از بیواتانول بهره می‌برند (E85) ناشی از پائین بودن راندمان تبدیل منابع سلولزی به اتانول می‌باشد.

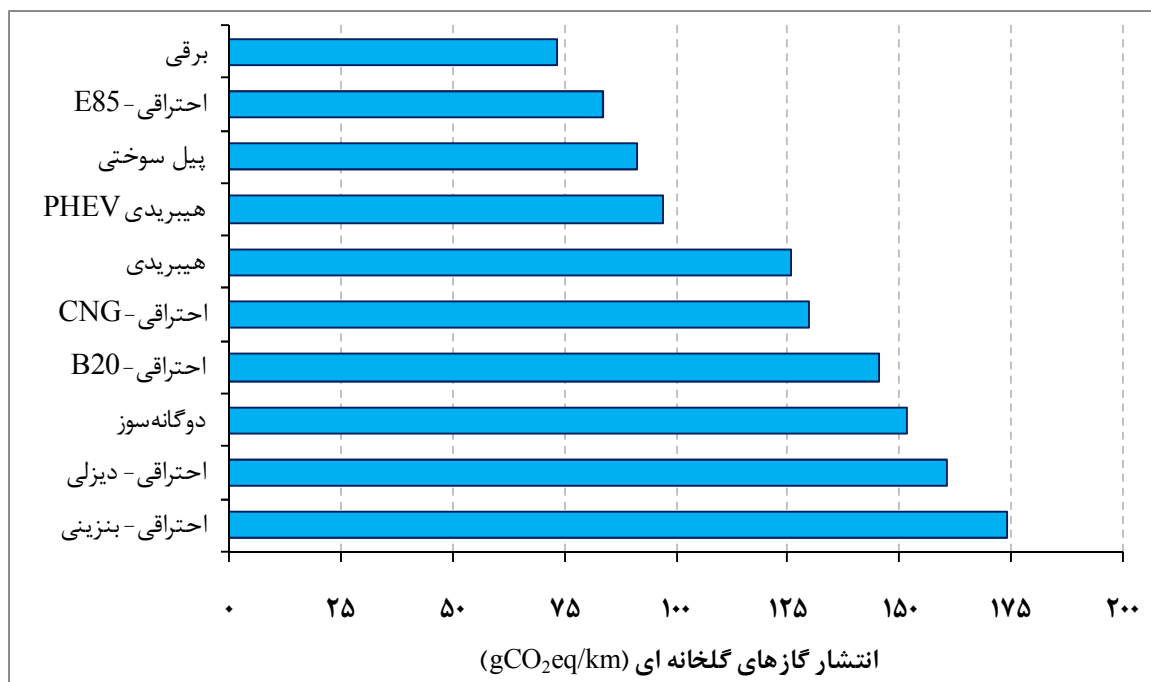


شکل ۱۰- مقایسه مصرف انرژی اولیه و نهایی در سال سی‌ام (منظور از lge لیتر معادل بنزین می‌باشد)

## ۲-۶. انتشار گازهای گلخانه‌ای

پارامتر دیگری که می‌تواند مبنای مقایسه مسیرهای مختلف قرار گیرد، محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای مستقل از تقاضا می‌باشد (میزان انتشار به ازای هر کیلومتر مسافت طی شده). این شاخص در نمودار (۱۱) ارائه شده است. در محاسبات مربوط به این شکل سقف پتانسیل توسعه فناوری برای تمامی مسیرهای تولید سوخت و خودروهای مختلف لحاظ شده است. نتایج این نمودار حاکی از آن است که خودروهای برقی و خودروهای احتراقی با سوخت E85 (۸۵ درصد حجمی بیواتانول و مابقی بنزین) بهترین گزینه‌های تکنولوژیکی از منظر انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای واحد مسافت طی شده می‌باشند. کمتر بودن میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی در خودروهای برقی به خاطر پتانسیل قابل ملاحظه در افزایش راندمان نیروگاه‌های برق، پتانسیل کاهش تلفات خطوط انتقال و توزیع برق و پتانسیل بهبود تکنولوژی در موتورهای الکتریکی می‌باشد. یعنی برآیند

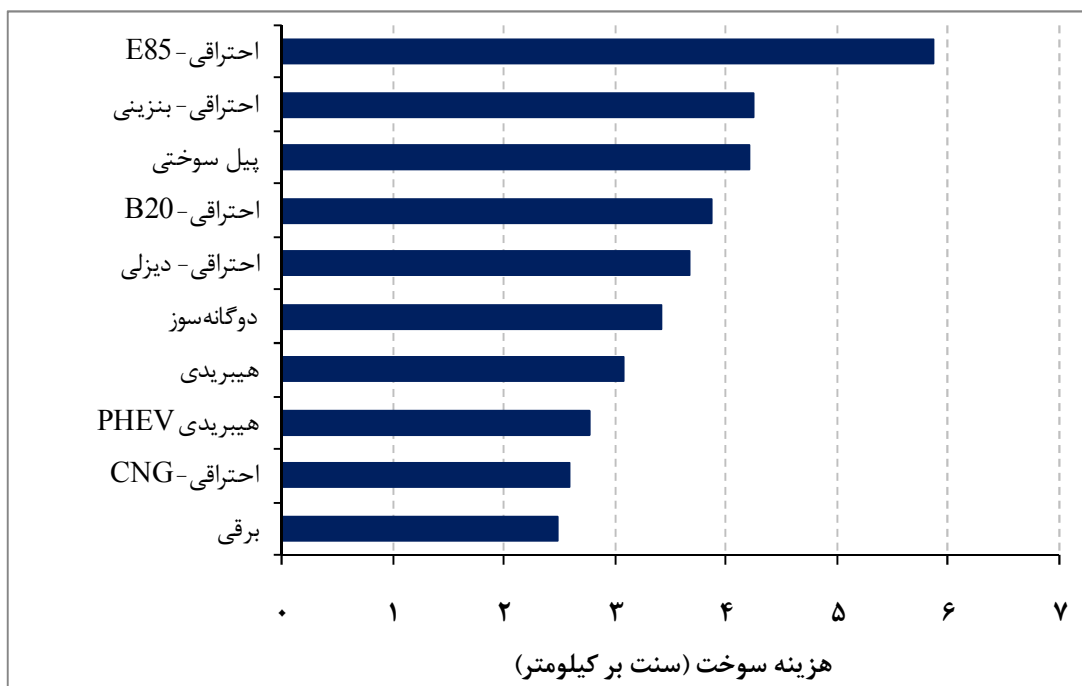
اثرات این سه پارامتر منجر به کاهش شدید انتشار در مقایسه با سایر مسیرها می‌گردد. در نقطه مقابل، خودروهای متعارف کنونی یعنی خودروهای احتراقی با سوخت بنزین و دیزل بیشترین میزان انتشار را به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع خودروهای برقی، احتراقی با سوخت بیواتانول (E85) و پیل سوختی به ترتیب ۵۸، ۵۲ و ۴۸ درصد از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با خودروهای بنزینی متعارف خواهند کاست. از طرفی استفاده از CNG بین ۱۳ تا ۲۵ درصد از میزان انتشار در مقایسه با خودروهای بنزینی متعارف خواهد کاست.



شکل ۱۱- انتشار گازهای گلخانه‌ای (از چاه تا چرخ) به وسیله انواع خودروها در سال سی‌ام

### ۳-۶. هزینه مصرف سوخت

مقایسه هزینه سوخت به ازای واحد مسافت طی شده به وسیله تکنولوژی‌های مختلف در نمودار (۱۲) ارائه شده است. علی‌رغم بالا بودن هزینه برق در مقایسه با حامل‌های انرژی فسیلی، خودروهای برقی به دلیل مصرف بسیار پایین، بهترین گزینه تکنولوژیکی از منظر هزینه مصرف سوخت محسوب می‌شود. در میان سوخت‌های فسیلی، سی‌ان‌جی بهترین گزینه از لحاظ کاهش هزینه سوخت خواهد بود. در نقطه مقابل، خودروهای متعارف بنزینی و خودروهای با سوخت بیواتانول بیشترین هزینه سوخت را به خود اختصاص می‌دهند.



شکل ۱۲ - متوسط هزینه سوخت به ازای واحد مسافت طی شده در سال سی‌ام

## مراجع

- [1] National Renewable Energy Laboratory (NREL), Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation, ([http://www.nrel.gov/analysis/sustain\\_lcah.html](http://www.nrel.gov/analysis/sustain_lcah.html), Accessed: Sep. 2014)
- [2] Norman Brinkman and et al., Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle Systems- A North American Study of Energy Use, Greenhouse Gas Emissions, and Criteria Pollutant Emissions, May 2005.
- [3] Houghton, J., T A.: Climate Change 2001 - The Scientific Bases; Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; published for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- [4] Argonne National Laboratory, Life-Cycle Assessment of Energy and Greenhouse Gas Effects of Soybean- Derived Biodiesel and Renewable Fuels, March 2008.

[۵] وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱.

- [6] European Commission Joint Research Center (JRC), Well-To-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, WELL-to-TANK Report Version 2c, March 2007.
- [7] Raj Choudhury and et al, GM Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems- A European Study – Results, Sep. 2002.
- [8] European Commission Joint Research Center (JRC), Well-To-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, WELL-to-TANK Report Version 2c, WTT Appendix 1: Description of Individual Processes and Detailed Input Data, March 2007.
- [9] European Commission Joint Research Center (JRC), Well-To-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, WELL-to-TANK Report Version 2c, WTT Appendix 2: Description and Detailed Energy and GHG Balance of Individual Pathways, March 2007.
- [10] European Commission Joint Research Center (JRC), Well-To-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, WELL-to-TANK Report Version 2c, WTT Appendix 4: Available at: <http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/Input%20data%20OIL%20&%20COAL%20181108.xls>, Accessed June 2011.
- [11] Christoph Stiller and et al, CNG and LPG for Transport in Germany Environmental Performance and Potentials for GHG Emission Reductions Until 2020, Sep. 2010.
- [12] European Commission Joint Research Center (JRC), Well-To-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, WELL-to-TANK Report Version 2c, WTT Appendix 4: Available at: <http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/Input%20data%20NG%20181108.xls>, Accessed June 2011.
- [13] Katofsky, R. E., The Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, The Production of Fluid Fuels from Biomass, June 1993.
- [14] Gray D. and Tomlinson G., Technical Report for the U.S. Department of Energy (DOE) under a Subcontract with Concurrent Technology Corporation, Coproduction: A Green Coal Technology, March 2001.
- [15] Foster Wheeler, Decarbonisation of Fossil Fuels, Prepared for the Executive Committee of the IEA Greenhouse Gas R&D Program, March 1996.
- [16] European Commission Joint Research Center (JRC), Well-To-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, WELL-to-TANK Report Version 2c, WTT Appendix 4: Available at: [http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/Input\\_data\\_BIO%20181108.xls](http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/Input_data_BIO%20181108.xls), Accessed June 2011.

[۱۷] شرکت مادر تخصصی توانیر، آمار تفصیلی صنعت برق ایران- تولید نیروی برق در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲.

- [18] Publicly Available Specification 2050. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. London: BSI British Standards. ISBN 978 0 580 50978 0; 2008. 29 October 2008.
- [19] European Commission. Commission Decision of 18 July 2007 establishing guidelines for the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council (notified under document number C(2007) 3416) (2007/589/EC) July 2007; 2007.
- [20] RTFO. January Carbon and sustainability reporting within the renewable transport fuel obligation: requirements and guidance. London: United Kingdom Department for Transport; 2008. January 2008.
- [21] Eric Johnson, Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right, 2008.
- [22] Adam J. Liska and Kenneth G. Cassman, Life-Cycle Energy Efficiency & GHG Balance of Corn-Ethanol: BESS Model Analysis, July 2008.
- [23] Jeremy Woods, Gareth Brown and Alexander Estrin, Bioethanol Greenhouse Gas Calculator, Oct. 2005.

[۲۴] وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، پیش‌بینی بلندمدت تقاضای انرژی در ایران، ۱۳۹۱.

[۲۵] شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، کتاب اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور در سال ۱۳۹۰.