

آنالیز چاه تا چرخ خودرو سواری و موتورسیکلت برقی در کشور و مقایسه با انواع درون سوز

زهرا صبوری

کارشناس ارشد مهندسی برق

zsabouri۹۲@gmail.com

مهدیه علی بخشی

کارشناس ارشد مهندسی برق

malibakhshi@nri.ac.ir

محمد اسکویی

کارشناس ارشد مهندسی برق

moskuoe@nri.ac.ir

چکیده

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۹/۲

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۴/۱۸

کلمات کلیدی:

آنالیز چاه تا چرخ- خودرو

برقی- خودرو فسیلی -

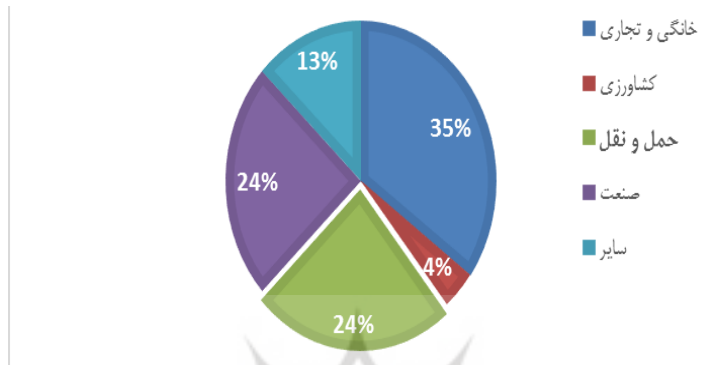
انرژی الکتریکی

مصرف بالای انرژی در ایران به همراه میزان بالای نشر آلاینده‌های هوا (آلاینده‌های محلی و گازهای گلخانه‌ای) از جمله مشکلات اصلی در بخش حمل‌ونقل ایران است. اخیراً در کشورهای پیشرفته دنیا، استفاده از خودروهای کم مصرف و با آلاینده‌گی کم در کنار استفاده از سوخت مخلوط شده با اتانول یا استفاده از خودروهای هیبریدی و برقی، به عنوان روش‌هایی برای مقابله با مشکلات بخش انرژی در دستور کار قرار گرفته است. در کشور ما با توجه به اینکه بیشتر برق تولیدی از سوختن منابع فسیلی به دست می‌آید برخی بر این باورند که استفاده از خودروهای برقی انتشار زیاد آلاینده‌ها را به همراه خواهد داشت. لذا در این مقاله به آنالیز چاه تا چرخ برای انواع خودرو (درون سوز، برقی و هیبریدی) در کشور پرداخته شده است. در بحث خودرو برقی، میزان مصرف انرژی و انتشار آلاینده در تولید باتری لیتیوم یون نیز مد نظر قرار گرفته است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

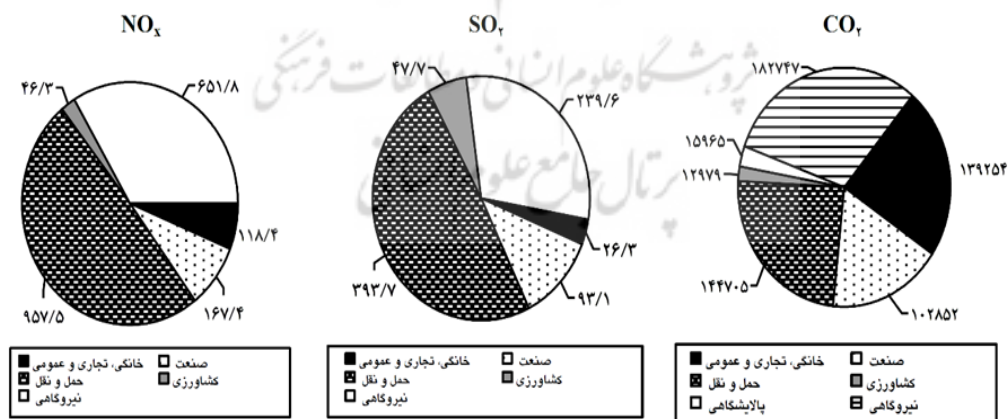
۱ مقدمه

کیفیت پایین سوخت و عدم برنامه‌ریزی مناسب در بخش انرژی و حمل و نقل کشور در کنار تکنولوژی ساخت قدیمی خودروهای داخلی، باعث شده خودروهای داخل کشور بسیار پرمصرف و با آلاینده‌گی بالا باشند. این امر علاوه بر معضلاتی مانند آلودگی هوا و مصرف بالای انرژی، کشور را از منابع ارزی که می‌تواند عایدش شود محروم می‌کند. مصرف انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی کشور در نمودار شکل ۱ مشاهده می‌شود. سهم بخش حمل و نقل از کل انرژی مصرف شده در کشور حدود یک چهارم محاسبه شده است. فرآورده‌های اصلی مورد استفاده در این بخش عبارتند از: بنزین، نفت‌گاز (گازوئیل)، CNG و سوخت هوایی.



شکل ۱- سهم بخش‌های مختلف اقتصادی از مصرف کل انرژی در کشور در سال ۹۵ (ماخذ ترازنامه هیدروکربوری سال ۱۳۹۵) [۱]

در گزارش ارائه شده توسط مرکز پژوهش‌های مجلس، دلیل بالا بودن مصرف در بخش حمل و نقل، بالا بودن میانگین سنی ناوگان حمل و نقل عنوان شده است. عمر ناوگان از متوسط جهانی بیشتر است و با گذشت زمان بهره‌وری بخش حمل و نقل نسبت به معیار جهانی پایین تر آمده است. به علاوه میزان انتشار آلاینده‌ها در بخش‌های مختلف در سال ۹۶ در ترازنامه انرژی ارائه شده است [۲]. شکل ۲ میزان انتشار آلاینده‌های SO_2 ، CO_2 و NO_x از بخش‌های مختلف انرژی در سال ۹۶ را نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد بیشترین سهم در انتشار آلاینده‌ها در کشور مربوط به بخش حمل و نقل می‌باشد.



شکل ۲- میزان انتشار آلاینده‌های SO_2 ، CO_2 و NO_x از بخش‌های مختلف انرژی در سال ۹۶

در این میان، تغییر استراتژی در استفاده از خودروهای برقی به جای خودروهای درون سوز، یکی از بهترین راه‌حل‌ها برای رفع مشکلات ذکر شده است. موضوع این جایگزینی در کشور از دیدگاه انرژی مصرفی و آلاینده‌های تولیدی از چاه تا چرخ قابل بررسی می‌باشد.

این مقاله با هدف توسعه خودروهای پاک در کشور، به بررسی میزان انرژی مصرفی و آلاینده تولید شده در انواع خودرو در پروسه چاه تا چرخ می‌پردازد.

در ادامه به ارائه مفاهیم عمده در خصوص آنالیز چاه تا چرخ به تفکیک مراحل، انواع آلاینده‌های منتشر شده و اثرات مخرب آنها پرداخته و پس از آن آنالیز چاه تا چرخ در دنیا برای انواع سوخت مصرفی در خودروها (درون سوز و خودروی برقی) با توجه به مقالات ارائه می‌گردد. در نهایت آنالیز چاه تا چرخ برای انواع سوخت در داخل کشور با استفاده از داده‌های ترازنامه انرژی [۲] ترازنامه هیدروکربوری [۱] و دیگر مراجع معتبر ارائه می‌شود. لازم به ذکر است که در آنالیز چاه تا چرخ برای خودروی برقی و هیبریدی، میزان انرژی مصرفی و آلاینده‌های منتشر شده در تولید باتری لیتیوم یون نیز لحاظ شده است.

۲. مبانی آنالیز چاه تا چرخ انواع خودرو

تجزیه و تحلیل "چاه تا چرخ" (WTW)^۱ نوعی از تجزیه و تحلیل چرخه عمر است که برای ارزیابی میزان انرژی مصرفی و گازهای گلخانه‌ای تولید شده در بخش حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دو معیار به نوعی بیان‌گر استفاده بهینه، کارایی و در نهایت صرفه‌جویی در مصرف انرژی است. این تجزیه و تحلیل به دو مرحله زیر تقسیم می‌شود:

۱. تجزیه و تحلیل چاه نفت به مخزن سوخت (WTT)^۲ وسیله نقلیه

۲. تجزیه و تحلیل مخزن سوخت وسیله نقلیه به چرخ وسیله نقلیه (TTW)^۳

منظور از چاه نخستین گام در تولید انواع سوخت، که همان استخراج سوخت فسیلی از چاه (نفت یا گاز) است می‌باشد. منظور از چرخ نیز آخرین گامی است که طی آن انرژی سوخت به انرژی مکانیکی در چرخ وسیله نقلیه تبدیل شده و منجر به حرکت آن می‌شود بر این اساس آنالیز چاه تا چرخ برای هر نوع سوخت شامل موارد زیر است:

• محاسبات انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد انرژی از سوخت مورد نظر (از مرحله استخراج منبع اولیه انرژی تا پمپاژ به مخزن سوخت وسیله نقلیه)

• محاسبه انرژی مصرف شده توسط انواع وسیله نقلیه

• محاسبه گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در روند یک واحد انرژی از سوخت مورد نظر (از مرحله استخراج منبع اولیه انرژی تا پمپاژ به مخزن سوخت وسیله نقلیه)

• محاسبه آلاینده‌های تولید شده در روند مصرف سوخت توسط وسیله نقلیه

شکل ۳ به طور خلاصه اما کامل، تمامی مواردی که در آنالیز چاه تا چرخ برای انواع خودرو، که لازم است در این آنالیز لحاظ گردد را نشان می‌دهد. در مرحله چاه تا مخزن سوخت (WTT)، ابتدا در بخش استخراج مواد اولیه با توجه به نوع خودرو و سوخت مصرفی، استخراج نفت خام، گاز طبیعی، ذغال سنگ و همچنین منابع تجدید پذیر مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه با استفاده از تانکرها و خط لوله، این مواد استخراج شده به پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌ها، جهت تولید سوخت (بنزین، گازوئیل، گاز و برق) منتقل می‌شوند. سپس سوخت‌های تولیدی به ایستگاه‌های سوخت‌رسانی به انواع خودرو منتقل می‌شوند. در تمامی این مراحل میزان مصرف انرژی، و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برر سی می‌شود. آنالیز مخزن سوخت تا چرخ (TTW) به بررسی میزان مصرف انرژی از مخزن سوخت (تانک) تا چرخ خودرو (عملکرد خودرو) و همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در هنگام کار وسایل نقلیه می‌پردازد.

^۱ Well to Wheel

^۲ Well to Tank

^۳ Tank To Wheel

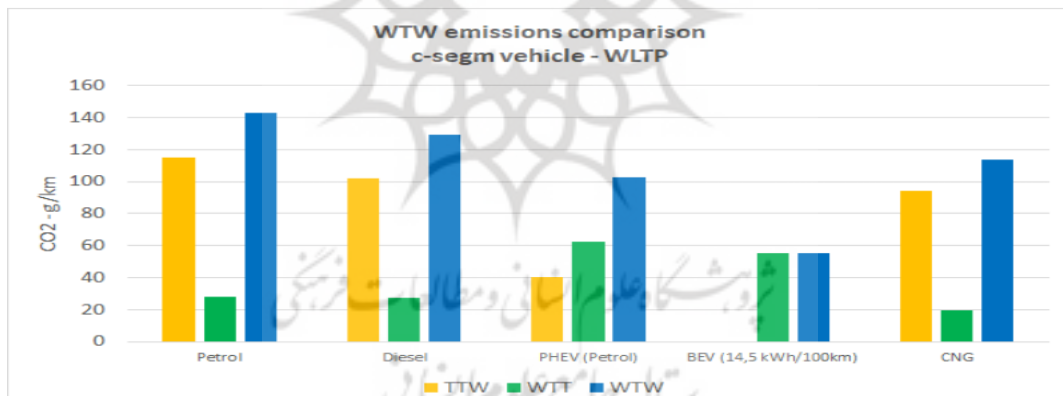
دی‌اکسیدکربن، متان، دی‌اکسید نیتروژن، ازن تروپوسفری و کلروفلوئوروکربن‌ها مجموعاً به عنوان گازهای گلخانه‌ای (GHG^۴) نامیده می‌شوند. برای سنجش میزان گازهای گلخانه‌ای از مفهوم CO₂ معادل استفاده می‌شود [۵]. شاخص میزان انتشار CO₂ معادل، از ترکیب وزنی انتشار سه آلاینده با مقادیر موسوم به پتانسیل گرمایش جهانی (GWP^۵) به دست می‌آید که مقادیر آن به شرح جدول ۱ است. لازم به ذکر است تمرکز آنالیز چاه تا چرخ از نظر آلاینده‌گی، بر انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در خصوص آلاینده‌های محلی، از آنجا که آلاینده‌گی خودروبرقی مربوط به تولید برق نیروگاه و در خارج از نواحی شهری است، لذا در مقایسه با خودرو درون‌سوز مزیت ذاتی دارد.

جدول ۱- وزن انواع آلاینده‌ها در محاسبه معادل دی‌اکسیدکربن معادل [۶]

شاخص GWP	نوع آلاینده
۱	CO ₂
۲۱	CH ₄
۳۱۰	N ₂ O

۳- مقایسه آنالیز چاه تا چرخ انواع خودرو در کشورهای مختلف دنیا

در آنالیز چاه تا چرخ منتشر شده در مرجع [۷]، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در انواع خودرو به صورت شکل ۵ استخراج شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود میزان انتشار CO₂ معادل از چاه تا چرخ برای خودروی بنزینی از سایر موارد بیشتر بوده و میزان انتشار آن برابر با ۱۴۰ گرم در هر کیلومتر پیمایش می‌باشد. به ترتیب آلاینده‌گی خودروی دیزلی و خودرو CNG در رتبه بعدی از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای چاه تا چرخ قرار دارند. از طرفی خودرو تمام برقی با ۵۵ گرم در هر کیلومتر انتشار CO₂ معادل، کمترین آلاینده‌گی چاه تا چرخ را به خود اختصاص داده است و پس از آن خودرو هیبرید پلاگین کم آلاینده‌ترین خودرو می‌باشد. نکته حائز اهمیت در این شکل، میزان آلاینده‌گی خودرو CNG می‌باشد که نسبت به نوع تمام برقی، دو برابر انتشار GHG را نشان می‌دهد [۷].

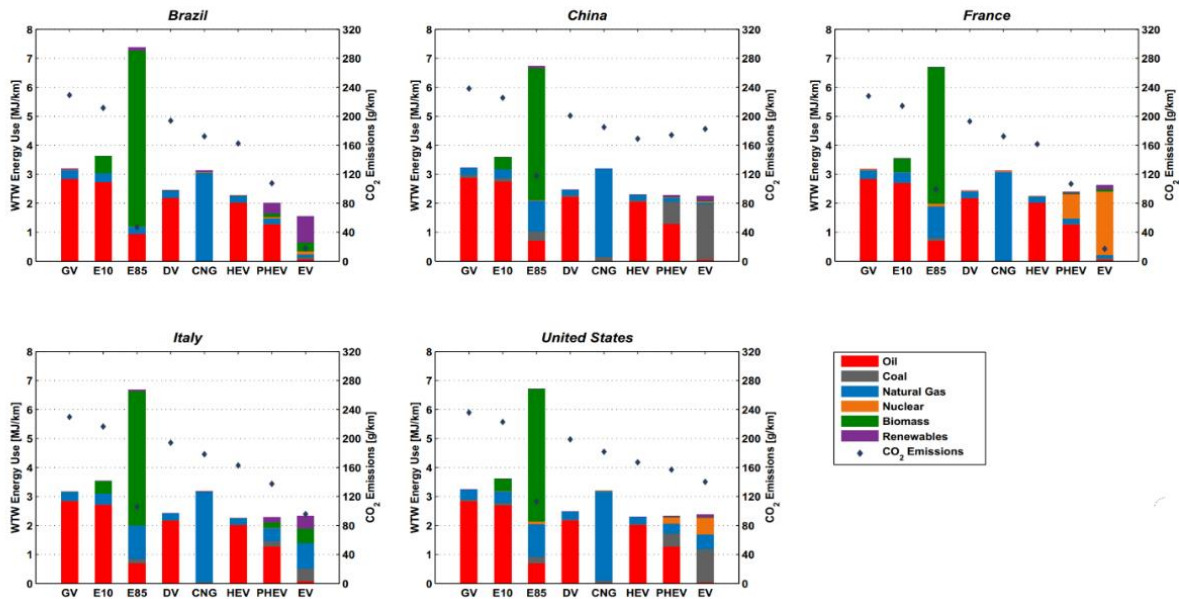


شکل ۵- میزان انتشار آلاینده‌ها در انواع خودرو [۷]

به علاوه شکل ۶ مقایسه انرژی مصرفی و همچنین میزان انتشار CO₂ معادل از چاه تا چرخ در ۵ کشور در انواع خودروهای درون‌سوز، برقی و هیبریدی را در مرجع [۸] نشان می‌دهد.

^۴ GreenHouse Gases

^۵ Global Warming Potential (GWP)



شکل ۶- مقایسه انرژی مصرفی و میزان انتشار CO_2 معادل WTW در ۵ کشور (برزیل، چین، فرانسه، ایتالیا، آمریکا) و در انواع خودروهای درون سوز، برقی و هیبریدی [۸]

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود، به جز خودروی E_{85} (خودروی دوگانه سوز با ۱۵٪ سوخت بنزین و ۸۵٪ سوخت اتانول) انتشار CO_2 معادل در خودروهای بنزینی در تمامی ۵ کشور بررسی شده، بیشتر از دیگر انواع خودرو می باشد. در مورد خودروی تمام برقی، همانطور که در شکل به خوبی نشان داده شده است، در کشور برزیل نسبت به دیگر کشورها که سبد انرژی برق آن بیشتر از نوع تجدید پذیر است، مصرف انرژی و انتشار CO_2 معادل کمتری وجود داشته است. در کشور چین که حجم بیشتری از انرژی برق از ذغال سنگ است میزان انرژی مصرفی و انتشار CO_2 معادل خودروی برقی بیشتر از سایر کشورها می باشد. در فرانسه هم که سبد انرژی برق بیشتر از انرژی هسته ای است، میزان انرژی مصرفی در خودروی برقی بیشتر از سایر کشورها بوده؛ اما از نظر انتشار گازهای گلخانه ای میزان CO_2 معادل بسیار پایین تر از سایر کشورها داشته است.

۴. آنالیز چاه تا چرخ برای انواع خودرو در کشور (WTW)

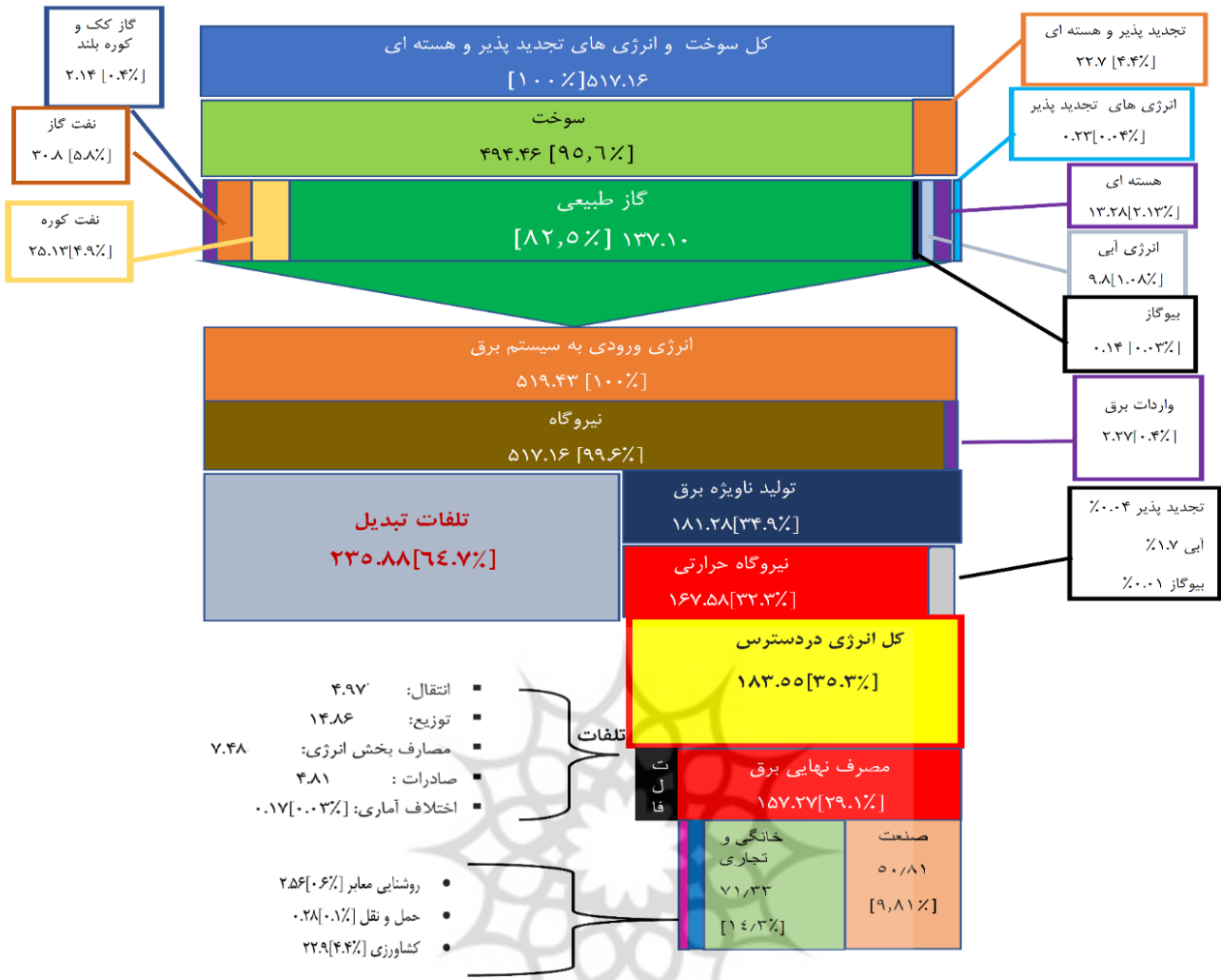
در ادامه آنالیز چاه تا چرخ انواع خودرو سواری و موتورسیکلت در ۲ بخش چاه تا تانک و تانک تا چرخ بررسی و ارائه می شود.

۴-۱ آنالیز چاه تا تانک برای انواع خودرو در کشور (WTT)

آنالیز چاه تا تانک برای خودروهای درون سوز شامل محاسبه انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه ای برای مراحل استخراج، پالایش و انتقال بنزین تا جایگاه سوخت و باک خودرو می باشد. در خودرو برقی نیز آنالیز چاه تا تانک شامل استخراج و پالایش انواع سوخت نیروگاه ها، تولید برق و انتقال و توزیع آن تا مصرف کننده می باشد.

• آنالیز چاه تا تانک خودرو برقی در کشور

انرژی مصرفی از جریان تولید، انتقال و توزیع و در نهایت و وضعیت مصرف برق در کشور مطابق با ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۶ به صورت خلاصه در شکل ۷ نشان داده شده است [۲].



شکل ۷- جریان منابع و مصارف برق کشور در سال ۱۳۹۶ [۲]

مطابق با آن مقدار انرژی وارد شده به شبکه برق مطابق با شکل ۷ معادل ۵۱۷ میلیون بشکه نفت خام بوده که انرژی معادل آن به تراوات ساعت و گیگاژول به صورت روابط (۱) و (۲) محاسبه می شود. نتایج محاسبه در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین میزان انرژی مصرفی برای تولید هر کیلووات ساعت برق طبق رابطه ۳ محاسبه می شود.

$$E_{Wh} = 519 * 10^6 * 1.7 MWh = 882 TWh \quad (1)$$

$$E_{Gj} = 519 * 10^6 * 6.12 Gj = 3175 * 10^6 GJ \quad (2)$$

$$E = 3175 * 10^6 / 266 * 10^6 = 11.9 Mj/kWh \quad (3)$$

جدول ۲ - مقادیر انرژی ورودی به شبکه برق و مصرف نهایی آن [۹]

تبدیل واحد	بشکه نفت خام	مگا وات ساعت	گیگا ژول
کل انرژی ورودی به سیستم برق	۱ میلیون	۸۸۲ میلیون	۶,۱۱۷ میلیون

مصرف نهایی برق	۱۵۷ میلیون	۲۶۶ میلیون	۹۶۰ میلیون
----------------	------------	------------	------------

میانگین شاخص انتشار آلاینده‌های نیروگاهی در سال ۱۳۹۶ در کشور در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به مطالب عنوان شده، بازده شبکه برق در سال ۹۶ حدود ۲۹,۹ درصد و انرژی مصرفی برای هر کیلو وات ساعت معادل ۱۱,۹ مگاژول بوده است. همچنین میزان انتشار آلاینده‌ها هم معادل ۶۴۶ گرم CO₂ معادل در هر کیلووات ساعت می باشد [۲].

جدول ۳- میانگین شاخص انتشار آلاینده‌ها در سال ۱۳۹۶ در نیروگاه‌های کشور (گرم بر کیلو وات ساعت) [۵]

C	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	SPM	CO	SO ₃	SO ₂	NO _x
۱۷۴,۸۸۵	۰,۰۲	۰,۰۱۳	۶۴۱,۲۴۵	۰,۰۸۸	۰,۵۴۸	۰,۰۰۷	۰,۸۴۱	۲,۲۸

• آنالیز چاه تا تانک برای سوخت‌های فسیلی در ایران

لازم به توضیح است که برای سوخت بنزین پرو سه چاه تا مخزن سوخت شامل استخراج و پرو سس نفت خام، حمل و نقل نفت خام، پالایش، توزیع و پخش و برای CNG شامل مراحل پروسه استخراج و فرآوری گاز طبیعی، حمل و نقل و توزیع گاز طبیعی توسط خط لوله، تبدیل گاز طبیعی به سی ان جی می باشد که با توجه به ترازنامه هیدروکربوری و ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۶، میزان انرژی مصرفی و آلاینده‌های انتشار یافته در پروسه چاه تا مخزن سوخت برای انواع سوخت (بنزین و CNG) به صورت جدول ۴ می باشد [۱۰].

جدول ۴- میزان انرژی مصرفی و آلاینده‌های انتشار یافته برای بنزین و گاز طبیعی [۱۰]

مرحله	انرژی مصرفی (MJx/MJ f)	انتشار GHG (g/MJf ^۷)
بنزین	۰,۱۴	۱۲,۵
CNG	۰,۱۱۶۴	۱۰,۰۶

به عبارت دیگر بازده تولید بنزین در کشور معادل ۸۶,۵٪ و بازده تولید CNG در کشور معادل ۸۸,۳۶٪ می باشد. لازم به توضیح است که در این جداول، میزان انرژی مصرفی برای تولید هریک از انواع سوخت، بر حسب مگاژول انرژی مصرفی بر مگاژول سوخت نهایی می باشد. به دلیل پایین بودن بازده نیروگاه‌های برق، تولید برق بسیار انرژی بر است. اما سوخت‌های فسیلی از جمله بنزین و گاز طبیعی کمترین میزان انرژی مصرفی را در مرحله چاه تا تانک دارند. در واقع سوخت‌های فسیلی در مرحله تولید از بازدهی بالایی برخوردارند.

• میزان انرژی مصرفی و گاز گلخانه‌ای منتشر شده در تولید باتری

در خصوص برر سی میزان انرژی مصرفی و هم چنین آلاینده‌های منتشر شده در تولید باتری لیتیوم یون، لازم است برر سی‌ها در مراحل مختلف صورت گیرند. این مراحل بطور کلی عبارتند از استخراج مواد اولیه از معدن و پالایش، تولید مواد باتری و تولید سلول و مجموعه پک باتری. در برر سی انرژی مصرفی در تولید باتری لیتیوم یون، بخش استخراج مواد تشکیل دهنده باتری بیشترین سهم را در مصرف

^۶ منظور مگاژول انرژی مصرفی برای تولید هر مگاژول انرژی فسیلی است (در واقع یعنی برای تولید هر مگاژول انرژی در هر مرحله از فرایند تولید، چند مگاژول انرژی مصرف می شود)

^۷ منظور گرم دی اکسید کربن معادل برای تولید هر مگاژول انرژی است. (به بیانی برای تولید هر مگاژول انرژی چند گرم انتشار دی اکسید کربن معادل تولید می شود)

انرژی و همچنین انتشار آلاینده‌ها دارد [۱۱]. حدود ۵۰٪ تولید گازهای گلخانه‌ای مربوط به تولید مواد اولیه باتری (از جمله سلول) است. در جدول ۵ میزان انرژی مصرفی و تولید گازهای گلخانه‌ای برای تولید انواع مختلف باتری لیتیوم یون نشان داده شده است [۱۱].

جدول ۵- انرژی مصرفی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید هر کیلووات ساعت باتری لیتیوم یون NMC_{111} [۱۱]

Chemistry	Cumulative energy demand for battery production (MJ/kWh)	Greenhouse gas battery production, total (kg CO ₂ eq /kWh)
NMC	۱۰۳۰، متوسط ۲۰۰-۵۰۰	۱۶۰، متوسط ۴۰-۲۴۰
LFP	۹۷۰، متوسط ۳۰۰-۲۵۰۰	۱۶۱، متوسط ۳۰-۲۷۰
LMO	۸۱۰، متوسط ۲۰۰-۱۵۰۰	۵۵، متوسط ۵۰-۷۵

برای باتری لیتیوم یون نوع NMC_{111} میزان انرژی مصرفی در هر کیلووات ساعت ۱۰۴۸ مگاژول و میزان انتشار گاز گلخانه‌ای ۱۶۵ گرم برای هر کیلووات ساعت می‌باشد [۱۱].

خلاصه نتایج بدست آمده در خصوص انرژی مصرفی و تولید گاز گلخانه‌ای برای تولید هر واحد سوخت جدول ۶ مشخص شده است.

جدول ۶- مقایسه انواع منابع انرژی در مرحله چاه تا تانک

نوع سوخت	بازده	انرژی مصرفی (مگاژول)	میزان انتشار GHG (گرم)
تولید هر لیتر بنزین	۸۶،۵٪	۴،۸	۴۳۱
تولید هر لیتر CNG	۸۸،۳۶٪	۱،۰۵	۹۱،۴۵
تولید هر کیلو وات ساعت برق	۲۹،۹٪	۱۱،۹	۶۴۶
تولید هر کیلووات ساعت باتری لیتیوم یون نوع NMC_{111}	-	۱۰۴۸	۱۶۵

اکثر تولیدکنندگان باتری لیتیوم یون خودرو، ضمانتی ۵ تا ۸ ساله برای طول عمر باتری خود ارائه می‌دهند. برای مثال، کارخانه نیسان ادعا می‌کند که باتری خودروهای برقی این کارخانه ۸ سال معادل ۱۰۰ هزار مایل یا ۱۶۰ هزار کیلومتر عمر می‌کند. در صورتی که متوسط پیمایش یک خودرو برقی در سال ۲۰،۰۰۰ کیلومتر فرض شود و باتری هر خودرو برقی را ۶۰ کیلووات ساعت و باتری هر خودرو هیبریدی را ۱۰ کیلووات ساعت فرض کنیم، در دوره عمر ۸ سال، میزان انتشار گاز گلخانه‌ای برای طی هر ۱۰۰ کیلومتر مسافت از رابطه (۴) به ترتیب ۶ گرم و ۱ گرم در هر ۱۰۰ کیلومتر به دست می‌آید. برای موتور سیکلت برقی با فرض ۳ کیلووات ساعت باتری و طول عمر ۸ سال، میزان انتشار GHG برای پیمایش ۱۰۰ کیلومتر، معادل ۰،۳ گرم خواهد بود.

$$CO_2 \text{ eq per km} = \frac{C_{battery} \times CO_2 \text{ eq per kwh}}{Y_{battery} \times Legth \text{ per year}} \quad (4)$$

همچنین با همین فرض و رابطه مشابه، انرژی مصرفی به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر پیمایش برای خودرو برقی و هیبریدی به ترتیب معادل ۳۹ مگاژول و ۶،۵ مگاژول به دست می‌آید. با توجه به مطالب عنوان شده و مقادیر جدول ۶، میزان انرژی مصرفی و انتشار گاز گلخانه‌ای برای انواع خودرو در مرحله چاه تا تانک برای ۱۰۰ کیلومتر پیمایش به صورت جدول ۷ بدست می‌آید. همچنین برای موتور سیکلت برقی با فرض مشابه انرژی مصرفی برای پیمایش ۱۰۰ کیلومتر، معادل ۱،۹ مگاژول خواهد بود. لازم به توضیح است که خودروی هیبریدی بصورت ۳۰ درصد احتراقی و ۷۰ درصد برقی در نظر گرفته شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، انواع خودروی برقی (سواری و موتورسیکلت) در

مرحله چاه تا چرخ میزان انرژی بیشتری را نسبت به دیگر خودروهای احتراقی مصرف می‌کنند و این مساله متاثر از بازده نسبی پایین فرایند تولید برق است. لازم به ذکر است تولید برق حرارتی راندمان بسیار پایینی را نسبت به منابع تجدیدپذیر دارد.

جدول ۷- میزان انرژی مصرفی در انواع خودرو در مرحله چاه تا تانک (WTT) در ۱۰۰ کیلومتر پیمایش

انرژی (مگاژول)	میزان سوخت مصرفی در ۱۰۰ کیلومتر	مجموع میزان انرژی مصرفی (مگا ژول) در ۱۰۰ کیلومتر	مجموع میزان انتشار GHG (گرم) در ۱۰۰ کیلومتر
خودروی سواری بنزینی	۸,۴ لیتر	۴۰	۳,۶۲۰
خودروی سواری CNG	۱۱ لیتر	۱۲	۱,۰۰۶
خودروی سواری هیبریدی بنزینی	۲,۵۲ لیتر	۱۵۶	۸۵۴۸
	۱۱,۵۵ کیلو وات ساعت مصرف برق تولید باتری (۱۰ کیلووات ساعت)		
خودروی سواری برقی	۱۶,۵ کیلو وات ساعت مصرف برق تولید باتری (۶۰ کیلووات ساعت)	۲۳۵	۱۰,۶۶۵
	۲,۶ لیتر		
موتورسیکلت بنزینی	۴ کیلو وات ساعت مصرف برق تولید باتری (۳ کیلووات ساعت)	۱۲,۵	۱,۱۲۱
موتورسیکلت برقی	۴ کیلو وات ساعت مصرف برق تولید باتری (۳ کیلووات ساعت)	۴۹,۵	۲,۵۸۴

۴-۲- آنالیز تانک تا چرخ انواع خودرو در کشور (TTW)

مصرف سوخت خودرو پارامتر اصلی تعیین‌کننده میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مرحله TTW است. خودروهای برقی هیچ آلاینده‌ای در مرحله کار خودرو در هوا منتشر نمی‌کنند و در این مرحله فقط از منظر انرژی مصرفی مورد بررسی قرار می‌گیرند. اما خودروهای احتراقی در هنگام کار آلاینده‌های مختلفی را منتشر می‌کنند که لازم است مورد بررسی واقع شوند. لازم به ذکر است اقتصاد سوخت در دنیای واقعی تحت تأثیر عوامل زیادی مانند شرایط ترافیکی و عادات رانندگی راننده قرار دارد. در بررسی ضرایب انتشار آلاینده‌ها برای انواع سوخت، اعداد گوناگونی وجود دارد. نتایج آلاینده‌ها مستخرج ترانزنامه انرژی، در رابطه با بنزین (حاصل از تقسیم کل آلاینده‌های ناشی از سوخت بنزین بر کل بنزین مصرفی در سال ۱۳۹۶) در مقایسه با ضرایب انتشار در اطلاعات حمل و نقل ایران [۱۲] و مرجع خارجی [۱۳] در جدول ۸ نشان داده شده است. (لازم به ذکر است مرجع خارجی [۱۳] ضریب انتشار آلاینده‌ها را برای شهر تهران اعلام نموده است).

جدول ۸- مقایسه ضرایب انتشار GHG بنزین در مراجع مختلف [۱۴]

مراجع	(gr/litr) CO ₂ -eq
مرجع خارجی [۱۳]	۲۳۴۷,۲۴۲
مرجع داخلی [۱۲]	۱۹۲۸,۶
استخراج از مرجع [۲]	۲۴۳۶,۸

مشاهده می‌شود ضریب انتشار آلاینده بنزین در مرجع خارجی [۱۳] به عدد محاسبه شده با اطلاعات ترانزنامه انرژی سال ۱۳۹۶ نزدیک‌تر است. لذا به منظور انجام محاسبات از مرجع [۱۳] استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که داده‌ها در مرجع اصلی به صورت (g/Kgfuel) است که در اینجا برای تسهیل در محاسبات، به (gr/lit) تبدیل شده است (جدول ۹). همچنین به منظور محاسبه CO₂ eq از ضرایب جدول ۱ استفاده شده است. ضرایب انتشار آلاینده مطابق با جدول ۱۰ می‌باشد. [۱۴]

جدول ۹- تبدیل کیلوگرم به لیتر

نوع سوخت	جرم یک لیتر سوخت (Kg)
بنزین	۰,۷۳
گازوئیل	۰,۸۵
CNG	۰,۷۱۴

جدول ۱۰- ضرایب انتشار برای انواع خودرو (gr/lit) [۱۳]

موتور سیکلت	سواری		
	بنزین	CNG	بنزین
آلاینده			
CO ₂ -eq	۲۴۱۳,۴	۲۴۳۷,۳۱	۲۳۴۷,۲۴
SO ₂	-	-	۱,۰۹۵
Nox	۱,۹۹	۱۳,۵۷	۱۹,۷۱
PM _{۱۰}	۰,۴۴	-	۰,۴۴
CO	۵۳۲,۹	۲۵,۷۸	۴۰۱,۵
HC	۳۸۶,۹	۳,۲۱	۴۵,۹۹

در خصوص محاسبه میزان انرژی مصرفی در انواع خودرو، به چگالی انرژی منابع سوخت نیاز می‌باشد که در محاسبات برای بنزین ۳۴,۲ و برای CNG ۹، مگاژول بر لیتر لحاظ شده است. همچنین هر کیلووات ساعت برق معادل ۳,۶ مگاژول انرژی است. در این آنالیز میزان انرژی مصرفی و آلاینده‌های انتشار یافته در زمان کار انواع خودرو با در نظرگیری میزان مصرف سوخت هر خودرو در پیمایش ۱۰۰ کیلومتری در روز، به صورت جدول ۱۱ بدست آمده است.

جدول ۱۱- میزان مصرف انرژی و انتشار GHG انواع خودرو از تانک به چرخ

مجموع انتشار GHG (kg/۱۰۰km)	مجموع مصرف انرژی (Mj/۱۰۰km)	مصرف سوخت در ۱۰۰ کیلومتر	
۱۹,۷	۲۸۷	۸,۴ لیتر	خودروی سواری بنزینی
۲۶,۸۱	۹۹	۱۱ لیتر	خودروی سواری CNG
۵,۸۷	۱۲۵,۱	۲,۵۲ لیتر	خودروی سواری هیبریدی (بنزین / برق)
		۱۱,۵۵ کیلووات ساعت	
۰	۵۹,۴	۱۶,۵ کیلو وات ساعت	خودروی سواری برقی
۶,۲۸	۸۱,۹۲	۲,۶ لیتر	موتور سیکلت بنزینی
۰	۱۴,۴	۴ کیلووات ساعت	موتور سیکلت برقی

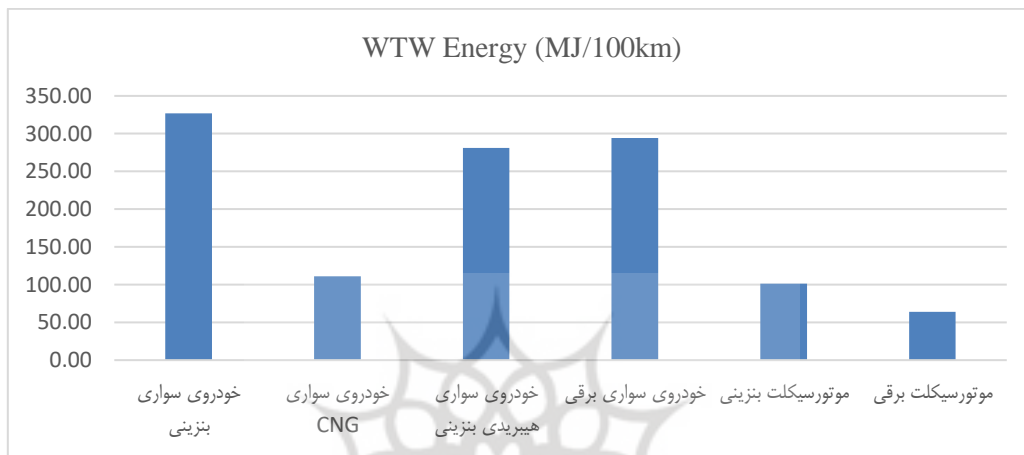
۴-۳- نتایج آنالیز چاه تا چرخ انواع خودرو در کشور (WTW)

میزان مصرف انرژی در فرایند WTW در جدول ۱۲ و شکل ۸ و میزان انتشار آلاینده‌ها در جدول ۱۳ و شکل ۹ ارائه شده و نتایج زیر بدست آمد:

- خودروی سواری نوع بنزینی نسبت به نوع برقی و CNG در آنالیز چاه تا چرخ میزان انرژی بیشتری مصرف می‌کند.
- انتشار گازهای گلخانه‌ای در آنالیز چاه تا چرخ در مورد خودروی سواری و موتور سیکلت برقی بسیار کمتر از انواع دیگر خودرو و موتور سیکلت می‌باشد.
- خودروهای گاز سوز علیرغم صرف انرژی معادل کمتر و انتشار آلاینده‌های محلی بسیار کمتر نسبت به نوع بنزینی، انتشار گاز گلخانه‌ای بیشتری نسبت به نوع بنزینی دارند.

جدول ۱۲- میزان مصرف انرژی در فرایند چاه تا چرخ برای انواع خودرو

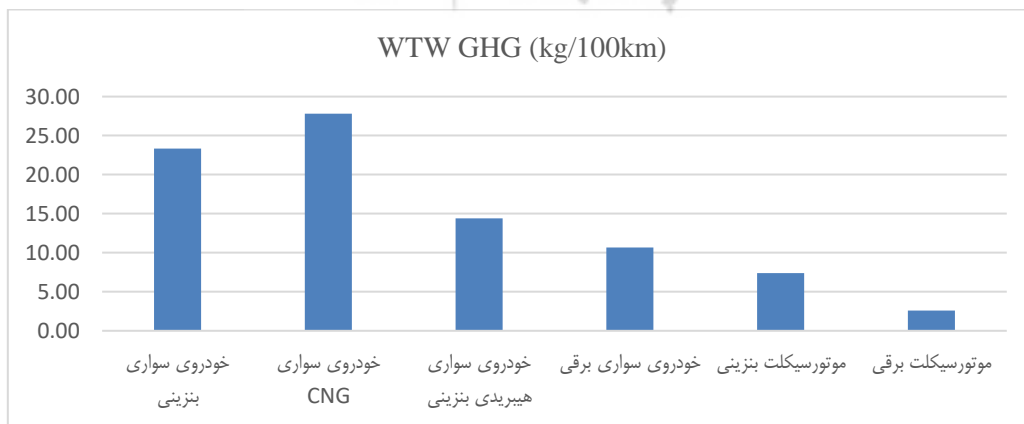
انرژی (مگاژول)	WTT (MJ/۱۰۰km)	TTW (MJ/۱۰۰km)	WTW (MJ/۱۰۰km)
خودروی سواری بنزینی	۴۰	۲۸۷	۳۲۷
خودروی سواری CNG	۱۲	۹۹	۱۱۱
خودروی سواری هیبریدی بنزینی	۱۵۶	۱۲۵,۱	۲۸۱
خودروی سواری برقی	۲۳۵	۵۹,۴	۲۹۴
موتورسیکلت بنزینی	۱۲,۵	۸۸,۹۲	۱۰۱
موتورسیکلت برقی	۴۹,۵	۱۴,۴	۶۴



شکل ۸- میزان انرژی مصرفی برای انواع خودرو از چاه تا چرخ

جدول ۱۳- میزان انتشار GHG در فرایند چاه تا چرخ برای انواع خودرو

انرژی (مگاژول)	WTT GHG (Kg/۱۰۰km)	TTW GHG (Kg/۱۰۰km)	WTW GHG (Kg/۱۰۰km)
خودروی سواری بنزینی	۳,۶۲	۱۹,۷	۲۳,۳۲
خودروی سواری CNG	۱,۰۱	۲۶,۸۱	۲۷,۸۲
خودروی سواری هیبریدی بنزینی	۸,۵۵	۵,۸۷	۱۴,۴۲
خودروی سواری برقی	۱۰,۶۷	۰	۱۰,۶۷
موتورسیکلت بنزینی	۱,۱۲	۶,۲۸	۷,۴
موتورسیکلت برقی	۲,۵۸	۰	۲,۵۸



شکل ۹- میزان دی اکسیدکربن معادل انتشار یافته در مرحله چاه تا چرخ انواع خودرو

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله به آنالیز چاه تا چرخ انواع خودرو از دو منظر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخته شد. در خصوص خودروهای برقی و هیبریدی زنجیره ارزش باتری لیتیوم یون که پرکاربردترین باتری برای استفاده در خودروهای برقی می‌باشد نیز در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که خودروی سواری نوع بنزینی نسبت به نوع برقی و CNG در آنالیز چاه تا چرخ میزان انرژی بیشتری مصرف می‌کند. همچنین دی‌اکسیدکربن معادل در آنالیز چاه تا چرخ در مورد خودروی برقی بسیار کمتر از خودروی سواری بنزینی و CNG می‌باشد.

نکته مهمی که باید به آن اشاره کرد این است که، خودروی برقی می‌تواند میزان انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای را در مقایسه با خودروهای درون سوز تا حد بیشتری نیز کاهش دهد و میزان کاهش به سطح اقتصاد سوخت و شدت انتشار کربن شبکه برق بستگی دارد. و هر چه منابع تامین برق از سمت سوخت های فسیلی به سمت انرژی پاک پیش رود این کاهش انتشار آلاینده چشمگیرتر خواهد بود. با توجه به اینکه استفاده از سوخت هیدروژنی برای تغذیه خودرو بحث جدیدی است و در سال های اخیر مورد بحث ها و آنالیزهای زیادی در دنیا واقع شده این مهم هم با در نظرگیری انواع روش تولید سوخت هیدروژن می‌تواند در کارهای بعدی مورد بررسی قرار بگیرد.

سیاسگذاری

این تحقیق در مرکز توسعه فناوری خودروبرقی پژوهشگاه نیرو و تحت حمایت مالی آن مرکز انجام شده است که به این وسیله مراتب قدردانی از آن به عمل می‌آید.

منابع

- [۱] ترازنامه هیدروکربوری - وزارت نفت - ۱۳۹۴
- [۲] ترازنامه انرژی ۱۳۹۶
- [۳] Qun Wang, Mianqiang Xue, Bin-Le Lin, Zhongfang Lei, Zhenya Zhang "Well-to-wheel analysis of energy consumption, greenhouse gas and air pollutant emissions of hydrogen fuel cell vehicle in China" ELSEVIOR ۲۰۲۰
- [۴] Richard Schmuch, Ralf Wagner, Gerhard Hörpel, Tobias Placke & Martin Winter "Performance and cost of materials for lithium-based rechargeable automotive batteries" Nature Energy volume ۳, pages ۲۶۷-۲۷۸ (۲۰۱۸)
- [۵] Transportation Cost and Benefit Analysis II - Air Pollution Costs Victoria Transport Policy Institute (www.vtpi.org) - ۲۰۲۰
- [۶] Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, ۲۰۱۳: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In : Climate Change ۲۰۱۳
- [۷] <https://gmobility.eu/what-is-well-to-wheel/> ۲۰۱۹
- [۸] A multi-dimensional well-to-wheels analysis of passenger vehicles in different regions : Primary energy consumption, CO₂ emissions, and economic cost" ELSEVIOR ۲۰۱۶
- [۹] <https://kitset.ir/conversion/energy-converter/barrel-of-oile-quivalent-us-to-gigajoule#input-content>
- [۱۰] نوید کلانتری، علی یزدی‌زاده، نو شین سعادت‌خواه، تجزیه و تحلیل چرخه عمر چاه تا چرخ در بخش حمل و نقل ایران، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، ۱۳۹۲
- [۱۱] Mia Romare, Lisbeth Dahllöf, IVL Swedish Environmental Research Institute "The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries", IVL Swedish Environmental Research Institute ۲۰۱۷
- [۱۲] [اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور "سال ۱۳۹۰"، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی.
- [۱۳] H. Farzaneh, J. A. Puppim de Oliveira, B. McLellan and H. Ohgaki, "Towards a Low Emission Transport System : Evaluating the Public Health and Environmental Benefits", Energies, ۲۰۱۹.
- [۱۴] "هزینه اجتماعی آلاینده های منتشر شده توسط انواع خودرو" اولیا خلعتبری، مرکز توسعه فناوری خودروهای برقی، پژوهشگاه نیرو ۱۴۰۱