مجله پژوهش و کاربرد در مکانیک دوره ۱۳ شماره۴ سال ۱۴۰۲ (۲۰۲۳) ۱۵-۱

JMRA
مجله پژوهش و کاربرد در مکانیک

انواع خودروهای برقی؛ ویژگی‌ها، مقایسه هزینه سوخت، مالکیت و آلایندگی و چالش‌ها

نیما راسخ صالح[۱و*]، حسین افشار[۲و **]

[۱و۲]استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، کد پستی ۱۸۶۶۱۱۳۱۱۸

***نویسنده مخاطب: Nima_Saleh20@yahoo.com، **ho_afshar@yahoo.com**

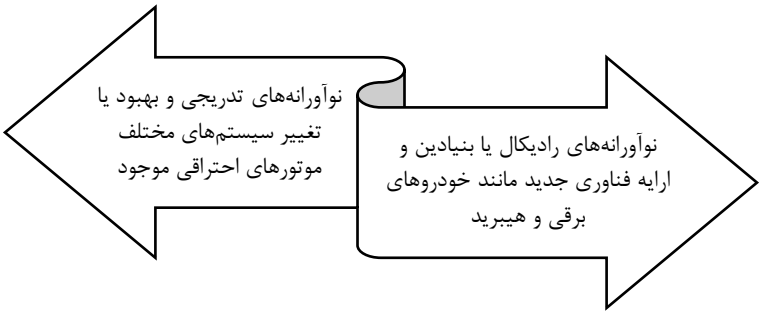
چکیده

در این مقاله با نگاه صنعتی کارشناسانه به انواع خودروهای برقی، واژه شناسی، اجزای اصلی، مقایسه انواع خودرو برقی و هیبریدی از مناظر مختلف، مقایسه هزینه‌ها نسبت به خودروهای دارای موتورهای احتراق داخلی و مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو مانند آلایندگی مواد خام باتری‌ها و بازیافت آن‌ها پرداخته شده است. همچنین میزان گاز دی اکسید کربن خروجی از خودروهای هیبرید، بنزین سوز، گازوییل سوز و LPG سوز، در بازه سرعت متداول خودروها، با مطالعه مراجع مختلف و تجمیع اطلاعات پراکنده آن‌ها در قالب یک دیاگرام کاربردی، ارائه شده است.

واژگان کلیدی: خودروهای برقی و هیبرید، انواع و مقایسه، چالش‌ها

۱. مقدمه

خودروهای برقی و هیبرید را می‌توان به عنوان نوآورانه‌های بنیادین یا رادیکال در کاهش آلایندگی خودروها برشمرد. تا دو دهه قبل، جهت افزایش راندمان و کاهش آلایندگی گازهای خروجی از خودورها، تکیه بر مسیر بهبود تدریجی فناوری‌های موجود در موتور احتراقی بود ولی با رشد صنایع گوناگون و تلفیق بیش‌تر مهندسی مکانیک و برق، نگرشی جدید برای طراحی و تولید خودروهای برقی و هیبریدی مورد توجه قرار گرفت.

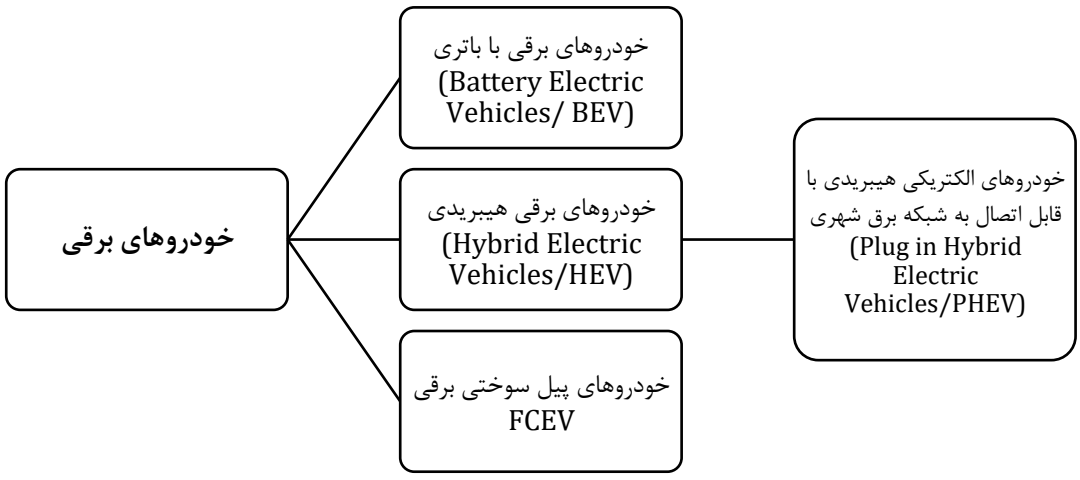


شکل ۱. مسیرهای متفاوت بهبود خودورها [1]

با توجه به سوگیری خودروسازان به طراحی و ساخت خودروهای برقی و هیبریدی و نیز عزم ایران بر تولید و واردات هم‌زمان خودروهای برقی و هیبریدی [2] و بر مبنای سیاست کلان وزارت صمت [3]، در این مقاله با نگاه صنعتی کارشناسانه به انواع خودروهای برقی، واژه شناسی، مقایسه انواع خودرو برقی و هیبریدی، اجزای اصلی، زیرساخت‌های لازم، مقایسه هزینه‌ها نسبت به خودروهای دارای موتورهای احتراق داخلی و مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو مانند آلایندگی مواد خام باتری‌ها و بازیافت آن‌ها پرداخته شده است. روش انجام کار، تحلیل کیفی بوده که از روش فراتحلیل، ذیل تحلیل مضمون[1] استفاده شده است.

۲. انواع خودروهای برقی Electric Vehicles/ EV

خودروهای برقی بر اساس منبع تغذیه به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند [4]:

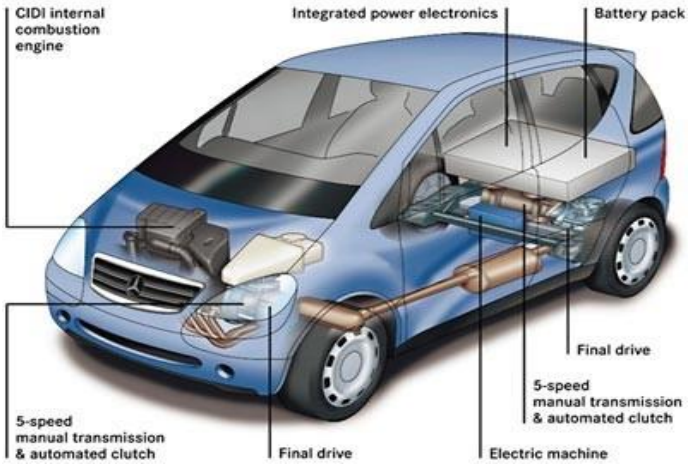


شکل ۲. دسته بندی خودروهای برقی [4]

1 Thematic analysis

در زیر به معرفی هر یک از این سه دسته پرداخته شده است:

۱- خودروهای برقی با باتری *(Battery Electric Vehicles/ BEV)* : این خودروها دارای موتور برقی به همراه باتری هایی برای تأمین انرژی برقی بوده و از انرژی باتری ها هم به عنوان نیروی محرکه موتور برقی خودرو و هم برای تأمین انرژی لازم برای سایر تجهیزات استفاده می شود .باتری ها می توانند هم از طریق اتصال به شبکه برق و هم از طریق انرژی ترمز و حتی از منابع برقی غیرشبکه نظیر پیل های خورشیدی شارژ شوند. در شکل زیر، خودروی برقی نوع۱ و قسمت‌های اصلی آن دیده می‌شود. در بخش عقبی، باتری‌ها، درایو متصل به دیفرانسیل و در بخش جلویی موتور احتراق داخلی قرار دارد.



شکل ۳. خودروی برقی هیبرید باتری دار [5]

۲-خودروهای برقی هیبریدی *(Hybrid Electric Vehicles/HEV)* و خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه برق شهری *(Plug in Hybrid Electric Vehicles/PHEV)*. این خودروها دارای موتور سوختی و موتور برقی با باتری با قابلیت ذخیره انرژی از موتور سوختی و ترمز خودرو هستند و باتری ها در زمان مورد نیاز به کمک خودرو می آیند تا نیروی کمکی تولید کنند یا در سرعت های پایین، با خاموش شدن موتور سوختی، نیروی محرکه خود را تأمین نمایند . برای از بین بردن معایب خودروهای برقی هیبریدی از خودروهای الکتریکی هیبریدی با قابل اتصال به شبکه PHEV طراحی شده اند که قابل شارژ از شبکه بوده و در نتیجه نیاز به باتری های بیش‌تری نسبت به آن‌ها دارند.

۳-خودروهای پیل سوختی برقی (*Fuel Cell Electric Vehicles/* FCEV): خودروهای پیل سوختی به دو دسته خودروهای پیل سوختی ساده و خودروهای هیبریدی برقی پیل سوختی تقسیم بندی می‌شوند. در خودروهای

پیل سوختی ساده، خود پیل و توده سوختی آن به عنوان منبع تولید توان بوده و هیچ گونه باتری کمکی در آن استفاده نمی‌شود. خودروهای هیبریدی پیل سوختی هم اساساً یک خودروی هیبریدی برقی است که به پیل سوختی مجهز شده است. این نوع از خودروها به طور همزمان از بیش‌ترین بازده انرژی پیل سوختی و توان بالا و امکان راه اندازی سریع باتری ها استفاده می‌کنند.

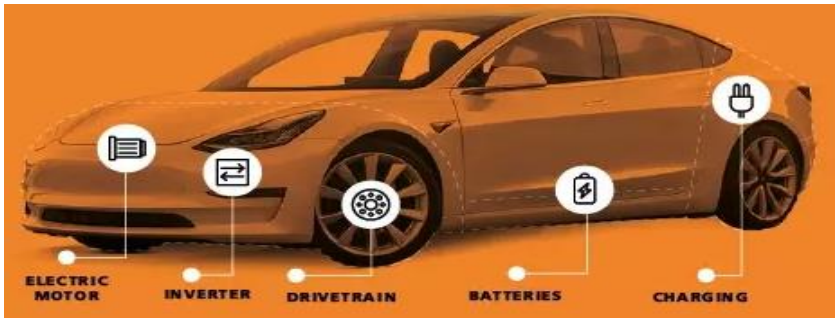
جدول ۱. فهرست اختصارات و تعاریف در واژه شناسی خودروهای برقی [4]

اختصار	شکل کامل	مفهوم
EV	Electric Vehicle	خودرو الکتریکی شامل BEV, PEV, HEV, PHEV
BEV	Battery EV	خودرو تمام باتری، بدون بنزین، دارای یک دوشاخه است که می تواند به یک منبع خارجی متصل شود.
PEV	Plug-in EV	هر وسیله نقلیه دارای دوشاخه که از باتری برای ذخیره انرژی تامین شده از منبع خارجی استفاده می کند.
PHEV	Plug-in Hybrid EV	وسیله نقلیه دارای دوشاخه که از باتری برای ذخیره انرژی از یک منبع خارجی استفاده می کند، اما توسط یک موتور بنزینی نیز پشتیبانی می شود.
HEV	1-Hybrid EV 2- Heavy Electric Vehicle	۱-یک خودروی بنزینی که توسط یک باتری کوچک پشتیبانی می شود و نمی توان آن را به منبع خارجی وصل کرد. ۲-برخی اوقات به خودروی الکتریکی سنگین نیز اشاره می‌کند.
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle	خودروی الکتریکی پیل سوختی
ICE	Internal Combustion Engine	موتور احتراق داخلی

۳. اجزا اصلی خودروهای برقی، سازندگان و مدل‌های اصلی [5]

خودروهای الکتریکی به مراتب قطعات متحرک کمتری نسبت به خودروها دارای موتورهای احتراق داخلی دارند که خود یک مزیت است. قطعات اصلی خودروهای الکتریکی عبارتند از:

۱. **موتور/موتور برقی** - نیروی لازم برای چرخاندن چرخ ها را فراهم می کند. این موتور می تواند از نوع DC/AC باشد، با این حال، موتورهای AC رایج‌تر هستند.
۲. **اینورتر:** مبدل جریان DC به AC
۳. **زنجیره محرک** Train Drive: خودروهای برقی دارای یک گیربکس تک سرعته هستند که نیرو را از موتور به چرخ ها می فرستد.
۴. **باتری‌ها** - برق مورد نیاز برای راه اندازی خودروی برقی را ذخیره می‌کند.
۵. **شارژ**- برای شارژ باتری یا نقطه شارژ خودرو



شکل ۴. طرح کلی یک خودروی برقی با اجزا اصلی آن

مهم‌ترین و معروف‌ترین سازندگان خودروهای برقی و محصولات اصلی تجاری سبک، SUV، سدان و نوع فشرده[1] آن‌ها به شرح ذیل است [6]:

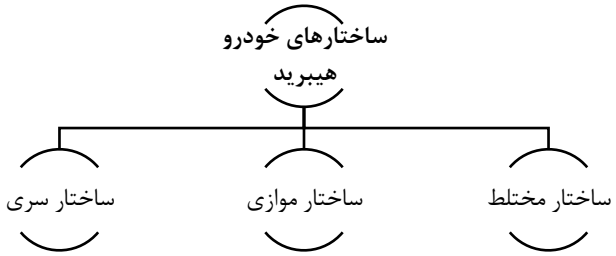
۱. Saturn Vue
۲. Ford Escape
۳. Tesla Road Star
۴. GM's Chevy Volt
۵. Honda
۶. Toyota

[1] Compact EV

شکل ۵. محصولات اصلی خودروهای برقی

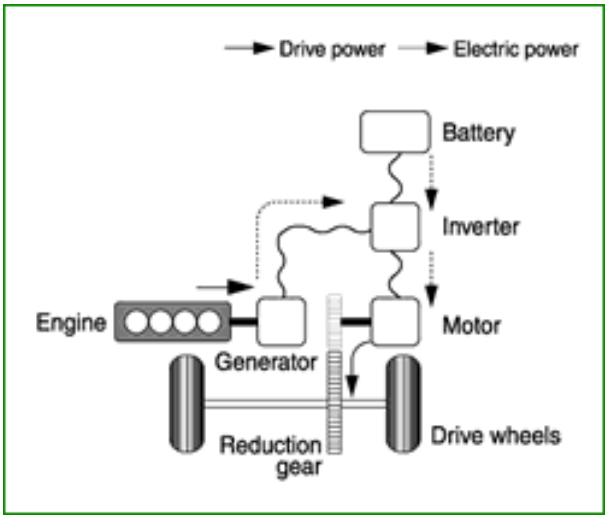
٤. ساختار خودروهای هیبرید [7]

خودروهای هیبرید که تلفیقی از خودروهای با موتور احتراق داخلی و خودورهای برقی هستند، در ۳ ساختار کلی زیر طراحی و ساخته می‌شود:



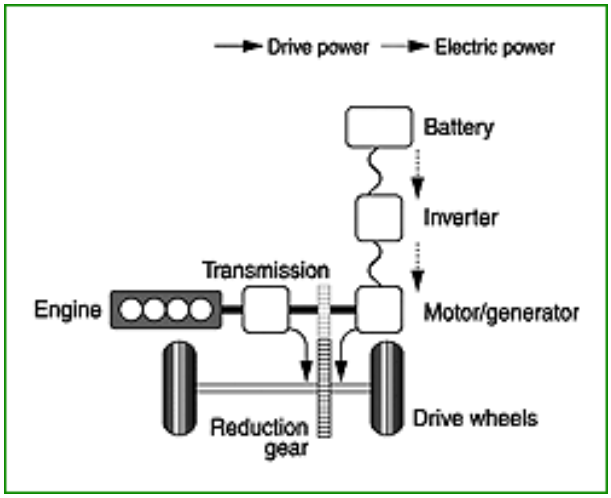
در زیر هر یک از ساختارها توضیح داده می‌شود:

۱-ساختار سری Series: نوع سری: نیرو به صورت سری به چرخ ها جریان می یابد. یک سیستم هیبریدی سری می تواند یک موتور با خروجی کوچک را در منطقه عملیاتی کارآمد به طور نسبتاً ثابتی راه اندازی کند، الکتریسیته را به موتور الکتریکی تولید و عرضه کند و باتری را به طور موثر شارژ کند.



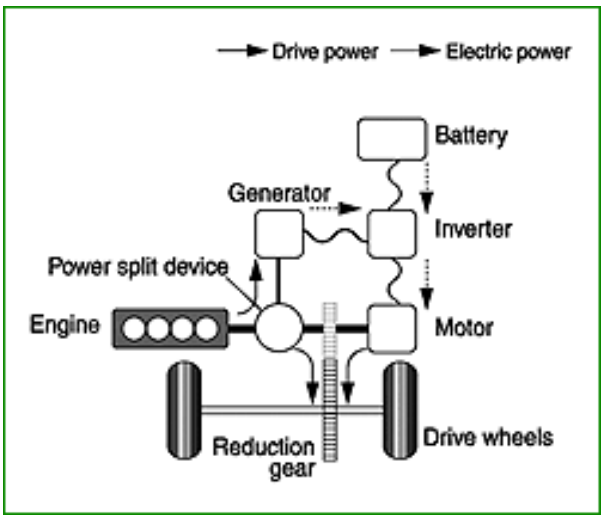
شکل ۶. خودروی برقی ساختار سری

۲- ساختار موازی Parallel : هیبریدی موازی: هم موتور و هم موتور الکتریکی چرخ ها را به حرکت در می‌آورند و نیروی محرکه از این دو منبع را می توان با توجه به شرایط حاکم استفاده کرد.



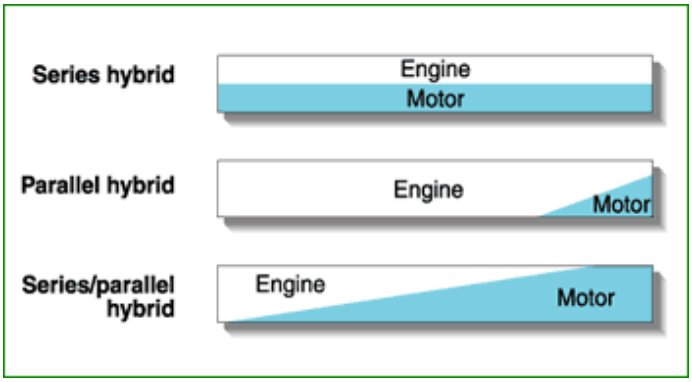
شکل ۷. خودروی برقی ساختار موازی

۳- ساختار مختلط یا سری موازی **Series/parallel hybrid system:** این سیستم‌های سری و موازی را به حداکثر می‌رساند، دو موتور دارد و بسته به شرایط رانندگی، فقط از موتور الکتریکی یا نیروی محرکه موتور الکتریکی و موتور استفاده می‌کند تا به بالاترین سطح راندمان دست یابد. این سیستمی است که در پریوس و استیما هیبریدی استفاده می‌شود.



شکل ۸. خودروی برقی ساختار مختلط سری- موازی

میزان استفاده از موتور احتراقی و موتور الکتریکی در هر یک از ساختارهای خودروی هیبرید در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۹. مقایسه میزان استفاده از موتور احتراقی و موتور الکتریکی در خودروی هیبرید [8]

۵. ویژگی‌ها و مقایسه انواع خودروهای برقی و هیبریدی [9]

ویژگی‌های انواع سه گانه خودروهای برقی ۱-خودروهای برقی با باتری (BEV) ۲-خودروهای برقی هیبریدی (HEV, PHEV) ۳-خودروهای پیل سوختی برقی (FCEV)، از مناظر پنجگانه "۱- نیروی رانشی ۲-سیستم انرژی ۳-منابع انرژی و زیرساخت ۴-ویژگی‌های عمومی ۵-مشکلات و ملاحظات" در جدول پی‌آیند به تفکیک و تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است:

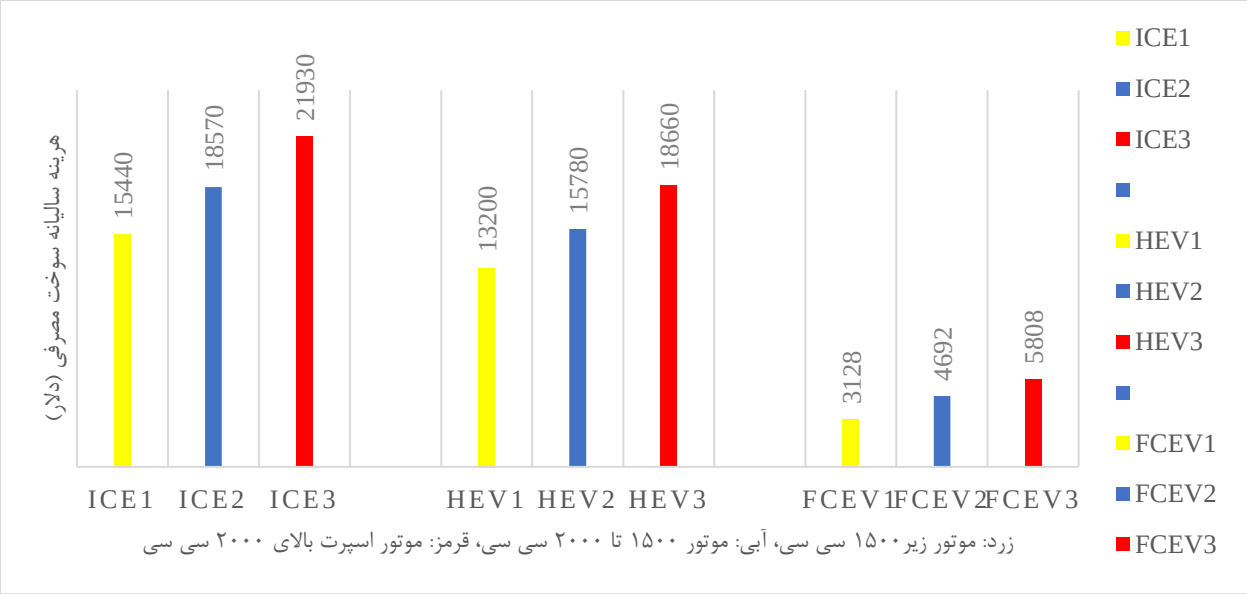
جدول۲. ویژگی‌ها و مقایسه خودروهای برقی و هیبریدی [9]

انواع خودروهای برقی	خودروهای برقی با باتری (BEV)	خودروهای برقی هیبریدی (HEV, PHEV)	خودروهای برقی پیل سوختی (FCEV)
نیروی رانشی	موتور برقی	موتور برقی - موتورهای احتراق داخلی	موتور برقی
سیستم انرژی	باتری - ابرخازن	باتری – ابرخازن- موتور احتراق داخلی کوپل با بخش برقی	سلول‌های سوختی-نیاز به باتری/ابرخازن برای بالا بردن چگالی قدرت برای استارت
منابع انرژی و زیرساخت	امکانات شارژ از شبکه برق	پمپ بنزین - امکانات شارژ از شبکه برق برای هیبرید دو شاخه‌دار	هیدروژن- زیرساخت برای تولید و انتقال هیدروژن
ویژگی‌های عمومی	آلودگی صفر - بی صدا – بازدهی انرژی بالا- عدم وابستگی به نفت خام - دامنه حرکتی نسبتاً کوتاه - هزینه اولیه بالا - قابلیت دسترسی تجاری	آلودگی بسیار پایین- تقریباً بی‌صدا - هزینه سوخت پایین‌تر به نسبت خودروهای دارای موتور احتراق داخلی - دامنه حرکتی بالا - وابستگی به نفت خام) برای هیبریدهای بدون دوشاخه (قیمت بالاتر در مقایسه با خودروهای موتور احتراق داخلی- قابلیت دسترسی تجاری	آلودگی صفر یا آلودگی بسیار پایین- بی‌صدا- بازدهی انرژی بالا - عدم وابستگی به نفت خام (در صورت عدم استفاده از بنزین برای تولید هیدروژن)- دامنه حرکتی مورد قبول- هزینه بالا- در حال توسعه
مشکلات و ملاحظات	باتری و مدیریت باتری - وابستگی کامل به باتری (قابل مقایسه نبودن آن با سوخت‌های فسیلی از نظر ظرفیت و چگالی انرژی)- شارژ- هزینه	مدیریت، بهینه سازی و کنترل منابع چندگانه انرژی - مدیریت و اندازه باتری	هزینه پیل سوختی، قابلیت اطمینان و عمر چرخه – زیرساخت هیدروژن

٦. مقایسه تحلیلی خودروهای هیبریدی از مناظر هزینه سوخت، مالکیت کلی و انتشار گاز گلخانه‌ای

٦،١.مقایسه هزینه سالیانه سوخت مصرفی انواع خودرو برقی، هیبریدی و موتور احتراقی [10]

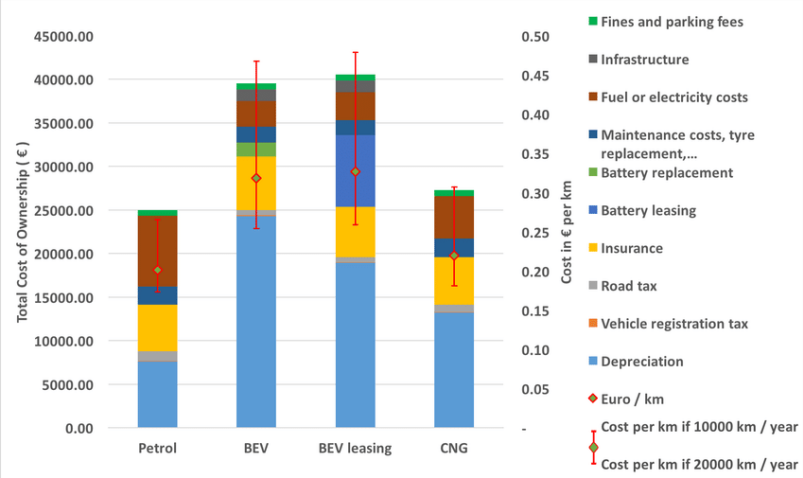
غالب خودروهای هیبریدی در ۳ کلاس موتور، شامل ۱-زیر ۱۵۰۰ سی سی، ۲-موتور ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ سی سی، و ۳-موتور اسپرت بالای ۲۰۰۰ سی سی تولید می‌شوند. هزینه سالیانه سوخت مصرفی خودروهای هیبریدی، خودروهای دارای موتور احتراقی و خودروهای دارای پیل سوختی برقی برای مقایسه آورده شده است:



شکل ۱۰. مقایسه هزینه سالیانه سوخت مصرفی خودروهای هیبریدی، موتور احتراقی و دارای پیل سوختی

۶،۲.مقایسه هزینه‌های کلی مالکیت برای بخش خودروهای شهری [۲۰]

در دیاگرام زیر، هزینه‌های کلی مالکیت TCO (Total Cost of Ownership) برای بخش خودروهای شهری به صورت تجمیع مصرف سوخت، نگهداری، استهلاک زیرساخت مورد نیاز، بیمه، عوارض رجیستر خودرو، عوارض جاده‌ای، تعویض باتری، اجاره (لیزینگ) باتری برای خودروهای بنزینی، برقی باتری، برقی با باتری لیزینگ و CNG آمده است.

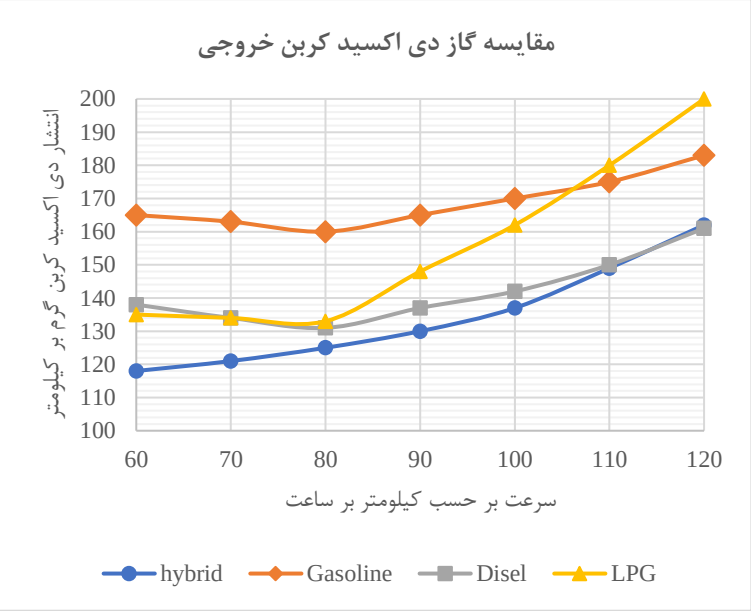


شکل ۱۱. مقایسه TCO برای خودروهای بنزینی، برقی باتری، برقی با باتری لیزینگ CNG [۲۰]

هزینه تملک باتری کمتر از باتری اجاره‌ای است لکن زمان لازم برای شارژ مجدد را باید به این هزینه‌ها نسبت به حالت استفاده از باتری شارژ آماده لیزینگی و زمان لازم اندک برای جایگذاری آن در خشاب مربوط داخل خودرو باید در هزینه‌ها ملحوظ نمود. در واقع، یکی از ضعف‌های خودروهای برقی در مقابل خودروهای موتور احتراقی، زمان زیاد شارژ مجدد نسبت به زمان سوخت گیری است. زمان شارژ مجدد خودروی برقی از ۴ تا ۶ ساعت بوده حال آنکه زمان سوخت گیری بین ۴ تا ۸ دقیقه است.

۶،۳.مقایسه انتشار دی اکسید کربن از خودرو برقی و خودرو با موتور احتراقی بر حسب سرعت [۱۱ تا ۱۶]

در این پژوهش، با مطالعه مراجع مختلف [۱۱ تا ۱۶]، انتشار دی اکسید کربن انواع مختلف خودرو بر حسب سرعت پیمایش استخراج شده است. یکی از موضوعات چالشی در خودروها، میزان تولید گاز CO_2 به عنوان یک گاز گلخانه‌ای در بازه سرعت‌های $60\ to\ 120\ km/h$ است که بیش‌تر خودروها در حال تردد با سرعت مذکور هستند. در شکل زیر، مقایسه‌ای از میزان تولید دی اکسید کربن خودروهای هیبرید، احتراقی گازوییلی، احتراقی گاز مایع و احتراقی بنزینی بر حسب سرعت پیمایش فوق الذکر آمده است. خودروهای هیبرید، دارای کمترین انتشار گاز دی اکسید کربن در بازه سرعت متداول خودروها هستند.



شکل ۱۲. مقایسه گاز دی اکسید کربن موتورهای مختلف بر حسب سرعت پیمایش

۷. ملاحظات و چالش‌های زیست محیطی در توسعه خودروهای برقی [۱۷ تا ۲۰]

اگر چه خودروهای برقی در حال پیمودن مسیر تکاملی خویش هستند و هر روزه تولید و استفاده از آن‌ها بیش‌تر می‌شود، اما نقدها و ملاحظات مختص خود را هم دارد که پاسخ به آن‌ها اجتناب ناپذیر است. برخی سوالات و چالش‌ها که مکرر مورد پرسش منتقدان است به قرار زیر است:

۱. باتری خودروهای الکتریکی به کجا می روند؟ آیا آن‌ها به روشی سازگار با محیط زیست بازیافت می شوند؟
۲. آیا خودروهای الکتریکی واقعا دوستدار محیط زیست و آلایندگی صفر هستند؟
۳. آیا خودروهای برقی سبزتر از خودروهای با سوخت فسیلی هستند؟
۴. آیا خودروهای برقی واقعا برای محیط زیست بهتر هستند؟
۵. اتوهم‌ها و حقایق در مورد خودروهای برقی
۶. احتیاج بیش‌تر انرژی خودروهای برقی برای نسبت به خودروهای موتور احتراقی
۷. باتری‌ها یک بمب ساعتی زیست محیطی به سبب عدم بازیافت باتری لیتیمی

در پس چالش‌های فوق که ممکن است برخی از آن‌ها تلاش خودورسازان با موتورهای احتراقی برای بقاء باشد، در عین حال، ملاحظات جدی ذیل در خصوص اثرات جانبی زیست محیطی خودروهای برقی قابل تامل است:

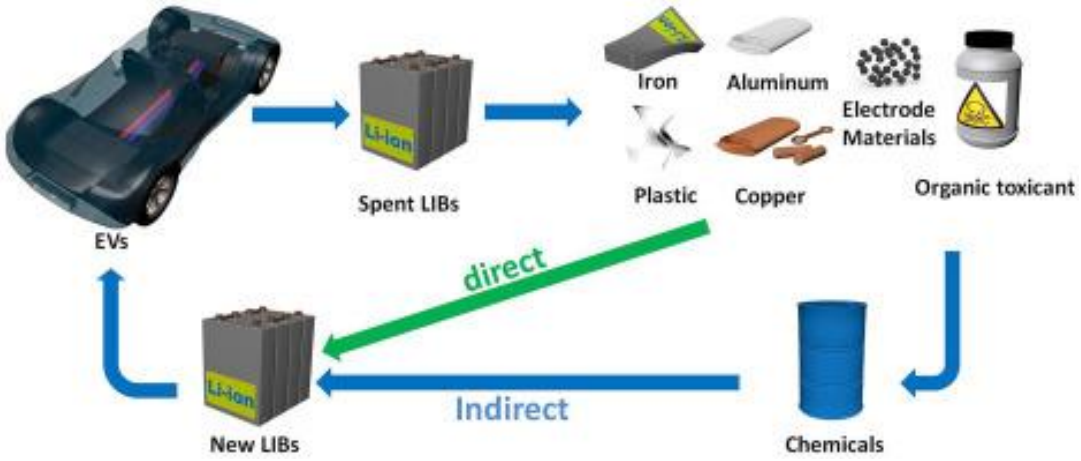
۱- لزوم ایجاد زیرساخت مناسب برای تولید برق با آلایندگی کم‌تر: ۳۸ درصد برق جهان از سوختن زغال‌سنگ که یک سوخت فسیلی و آلوده‌کننده هواست تولید می‌شود و همزمان با افزایش استفاده از خودروهای

برقی بر میزان مصرف برق افزوده خواهد شد. طبق برخی تخمین‌ها، استفاده از خودروهای برقی سبب می‌شوند تا سال ۲۰۴۰ میزان مصرف برق در جهان ۸/ ۶ درصد افزایش یابد که به تبع آلودگی به همراه دارد.

۲-لزوم توجه به آلایندگی مواد خام باتری‌های لیتیومی: کبالت، لیتیوم و عناصر کمیاب؛ تصفیه فلزات از سنگ آن‌ها به انتشار گازهای خطرناک برای محیط‌زیست منجر می‌شود.

۳- لزوم بازیافت باتری‌ها: در آمریکا ۹۹ درصد باتری‌های معمولی بازیافت می‌شوند، ولی میزان بازیافت باتری‌های لیتیومی تنها حدود ۵ درصد است.

۴- لزوم مدیریت مصرف زیاد آب در تولید: در فرآیند استخراج لیتیوم خام، از میزان بالایی از آب‌های زیرزمینی بهره برده می‌شود در نتیجه برای کشاورزان و گله‌داران آب کافی باقی نمی‌ماند. میزان آب مورد استفاده در تولید خودروهای برقی ۵۰ درصد بیش‌تر از آبی است که برای تولید خودروهای متعارف استفاده می‌شود.



شکل ۱۳. لزوم بازیافت باتری‌های لیتیوم یون استفاده شده در EV

۵-آلودگی نزدیک به موتورهای احتراقی و قیمتی بالاتر در شرایط اقلیمی با رطوبت نسبی بالا: خودروی هیبریدی و برقی همیشه دارای مزیت آلایندگی کم‌تر نسبت به موتورهای احتراقی نمی‌باشند. عدم تناسب مصرف برق خودروهای برقی برای زیست بوم‌های بارانی و شرجی که تولید برق در آن‌ها از سوخت زغال سنگ است، خود یک چالش بزرگ است. بنابراین اگر در این مناطق از زغال سنگ برای تولید برق استفاده گردد، خودروی برقی که دارای قیمت بالاتر نسبت به خودروی موتور احتراقی است، در مجموع، به اندازه موتور احتراقی آلودگی دارد.

۸. بحث و نتیجه گیری

در این مقاله، پس از ارایه تقسیم بندی انواع خودروی برقی، اجزای اصلی، انواع مکانیزم خودروی هیبرید به مقایسه ویژگی‌های مختلف انواع خودور برقی، هزینه‌های مصرف سوخت و هزینه‌های کلی مالکیت پرداخته شده است. همچنین در این پژوهش، با مطالعه و آنالیز مراجع مختلف در خصوص انتشار دی اکسید کربن خودروها، میزان آن بر حسب سرعت پیمایش خودرو در بازه ۶۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت برای خودروی برقی، بنزین سوز، گازوییل سوز و LPG سوز از داده‌های پراکنده استخراج گردیده و در یک نمودار تجمیع شد. ملاحظه شد که خودروی برقی کمترین آلایندگی را در این بازه دارد. همچنین به مهم‌ترین چالش‌ها و ملاحظات زیست محیطی مربوط به خودروهای برقی پرداخته شد.

۹. منابع

[1] J. Tidd and J. Bessant, Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change, JOHN WILEY AND SONS INC, 4th Edition 2011.

[2] م. بشیری, م. ت. بطحایی, م. حبیبی دوست و م. ا. رحیمی, "سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری زیرساخت خودروی برقی," وزارت نیرو, تهران, ۱۳۹۴.

[3] م. قانع, "واردات خودروهای برقی در اولویت وزارت صمت؛" دیجیاتو، رسانه نسل فردا, تهران, ۱۴۰۲.

[4] J. McLaren, J. Miller, E. O'Shaughnessy, E. Wood and E. Shapiro, "Emissions Associated with Electric Vehicle Charging: Impact of Electricity Generation Mix, Charging Infrastructure Availability, and Vehicle Type," National Renewable Energy Laboratory, 2016.

[5] J. Singh Shaktawat, "The Main Components of Electric Vehicles," 2021. [Online]. Available: https://yocharge.com/ev/components/.

[6] S. Betz, "36 Electric Car Companies Shaping the Future of Travel," 2023. [Online]. Available: https://builtin.com/transportation-technology/electric-car-companies.

[7] M. SPECHT, "Series vs Parallel vs Series/Parallel Drivetrains," 2014 updated 2018. [Online]. Available: https://www.ucsusa.org/resources/all-about-drivetrains.

[8] J. Clifford, "Toyota hybrid – how does it work?," Toyota, 2020. [Online]. Available: https://mag.toyota.co.uk/how-does-toyota-hybrid-work/.

[9] ع. ه. لاسکی, "مقایسه زیست محیطی و اقتصادی خودروهای الکتریکی و هیبریدی با بنزینی "*نشریه علمی تخصصی شبک*, pp. 53-58, سال ششم، شماره ۶ پیاپی: ۳۷، بهمن ۱۳۹۹ .

[10] N. Tanaka, "Technology Roadmap; Electric and plug-in hybrid electric vehicles," International Energy Agency, 2010.

[11] Anair, Don, and Amine Mahmassani. 2012. *State of Charge: Electric Vehicles' Global Warming Emissions and Fuel-Cost Savings across the United States*. Cambridge, MA: Union of Concerned Scientists. http://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/clean_vehicles/electric-car-global-warming-emissions-report.pdf.

[12] Brinkman, Gregory, Jennie Jorgensen, Ali Ehlen, and James H. Caldwell. 2015. *Low Carbon Grid Study: Analysis of a 50% Emission Reduction in California*. NREL/TP-6A20-64884. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. http://www.nrel.gov/docs/fy16osti/64884.pdf.

[13] EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2014. "Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle." EPA-420-F-14-040a. Washington, D.C., Environmental Protection Agency. https://www3.epa.gov/otaq/climate/documents/420f14040a.pdf

[14] EPRI (Electric Power Research Institute). 2015. *Environmental Assessment of a Full Electric Transportation Portfolio: Volumes 2: Greenhouse Gas Emissions.* Report 3002006876. http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?productId=000000003002006876

[15] Nealer, R., D Reichmuth, D. Anair. 2015. *Cleaner Cars from Cradle to Grave: How Electric Cars Beat Gasoline Cars on Lifetime Global Warming Emissions*. Union of Concerned Scientists. www.ucsusa.org/EVlifecycle.

[16] Parks, K., P. Denholm, and T. Markel. 2007. *Costs and Emissions Associated with Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charging in the Xcel Energy Colorado Service Territory*. NREL/TP-640-41410. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/41410.pdf.

[17] How electric vehicles help to tackle climate change, https://earthjustice.org/.
Ten things to know about electric vehicles, https://earthjustice.org

[18] Are Electric Cars the Answer? https://givingcompass.org/article

[19] Are Electric Cars Really Greener?, https://youmatter.world/en/are-electric-cars-eco-friendly-and-zero-emission-vehicles-26440/

[20] How expensive are electric vehicles? A total cost of ownership analysis, Kenneth Lebeau, Philippe Lebeau, Cathy Macharis, Joeri Van Mierlo, Barcelona, Spain, November 17-20, 2013