

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس شهید رجائی

خودروهای برقی و هیبریدی

تألیف

دکتر مصطفی اکبری دکتر حسین رحیمی آسیابری

اعضای هیأت علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای

دکتر آرش محمدی

عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس شهید رجائی

سرشناسه	: اکبری، مصطفی، ۱۳۶۷
عنوان و نام پدیدآور	: خودروهای برقی و هیبریدی / تالیف مصطفی اکبری، حسین رحیمی آسیابریکی، آرش محمدی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری	: ۲۴۴ ص: مصور(رنگی)، جدول.
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۶۵۸۹-۵۴-۳
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: اتومبیل‌های برقی دوگانه Hybrid electric cars اتومبیل‌های برقی دوگانه -- طراحی و ساخت Hybrid electric cars -- Design and construction اتومبیل‌های برقی Electric automobiles
شناسه افزوده	: رحیمی آسیابریکی، حسین، ۱۳۶۸-
شناسه افزوده	: محمدی، آرش، ۱۳۶۰-
شناسه افزوده	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
شناسه افزوده	: Shahid Rajaei Teacher Training University
رده بندی کنگره	: TL ۲۲۱/۱۵
رده بندی دیویی	: ۶۲۹/۲۲۹
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۳۵۷۳۶۰
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیپا



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

عنوان	: خودروهای برقی و هیبریدی
تألیف	: دکتر مصطفی اکبری، حسین رحیمی آسیابریکی، اعضای هیأت علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای / دکتر آرش محمدی، عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
ویراستار علمی	: مهندس صیاد نصیری، عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف
ویراستار ادبی	: دکتر ساغر سلمانی‌نژاد مهرآبادی، دکتر عباس مالیان
نوبت چاپ	: اول - زمستان ۱۴۰۲
انتشارات	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
لیتوگرافی، چاپ	: چاپ حامی
طراح جلد	: عباس مرادی
ناظر چاپ	: محمد معتمدی‌نژاد
کارشناس و صفحه‌آرا	: نیره فیروزی
کارشناس انتشارات	: طاهره کیا
شمارگان	: ۳۰۰ جلد
قیمت	: ۲۴۰.۰۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۶۵۸۹-۵۴-۳
ISBN: 978-622-6589-54-3	

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفان و مترجمان و دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان، کد پستی ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸، صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵، تلفن: (۲۶۳۲) ۹ - ۰۲۲۹۷۰۰۶۰، ۰۲۲۹۷۰۰۷۰.

تلفکس: ۰۲۲۹۷۰۰۴۲، پست الکترونیکی: publish@sru.ac.ir، وب سایت: <http://publish.sru.ac.ir>

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	فصل اول
۱.....	معرفی و تاریخچه خودروهای برقی و هیبریدی
۱-۱-.....	۱-۱- مقدمه
۲-۱-.....	۲-۱- آلودگی هوا
۲-۲-۱-.....	۱-۲-۱- اکسید نیتروژن
۲-۲-۲-۱-.....	۲-۲-۱- مونواکسید کربن
۳-۲-۲-۱-.....	۳-۲-۱- هیدروکربن‌های نسوخته
۳-۲-۱-.....	۴-۲-۱- آلاینده‌های دیگر
۳-۱-.....	۳-۱- گرمایش جهانی
۴-۱-.....	۴-۱- تاریخچه خودروهای برقی
۵-۱-.....	۵-۱- تاریخچه خودروهای هیبریدی
۶-۱-.....	۶-۱- معرفی اجزای خودروهای برقی
۷-۱-.....	۷-۱- معرفی اجزای خودروهای هیبریدی
۱۱.....	فصل دوم
۱۱.....	مبانی برق

۱-۲-۱-۱	مقدمه	۱۱
۱-۲-۲-۱	مبانی مدارهای الکتریکی	۱۱
۱-۲-۲-۱-۱	بار الکتریکی	۱۱
۱-۲-۲-۲	جریان الکتریکی	۱۲
۱-۲-۲-۳	پتانسیل الکتریکی	۱۳
۱-۲-۲-۴	رساناها و عایق‌ها	۱۴
۱-۲-۲-۵	قانون اهم	۱۶
۱-۲-۲-۶	توان الکتریکی	۱۷
۱-۲-۲-۷	ترکیب مقاومت‌ها	۱۷
۱-۲-۳	اجزای الکتریکی و الکترونیکی موجود در مدارها	۱۹
۱-۳-۱	خازن	۱۹
۱-۳-۲	دیود	۲۰
۱-۳-۳	مقاومت	۲۱
۱-۳-۴	ترانزیستور	۲۳
۱-۳-۵	کلید	۲۴
۱-۳-۶	فیوز	۲۵
۱-۴	اصول الکترومغناطیس	۲۵
۱-۴-۱	قانون فارادی	۲۷
۱-۴-۲	قانون لنز	۲۷
۱-۴-۳	ترانسفورماتور	۲۸
۱-۴-۴	رله	۳۰
۱-۴-۵	سولنوئید	۳۱
۳۳	فصل سوم	
۳۳	باتری‌های الکتریکی	
۳-۱-۱	مقدمه	۳۳
۳-۲	معرفی باتری	۳۴
۳-۳	متغیرهای عملکردی باتری	۳۶
۳-۳-۱	ولتاژ باتری	۳۶
۳-۳-۲	ظرفیت باتری	۳۶
۳-۳-۳	نرخ شارژ و تخلیه (C-rate)	۳۷

۳۸	۴-۳-۳- انرژی مخصوص
۳۸	۵-۳-۳- چگالی انرژی
۳۸	۶-۳-۳- توان مخصوص
۳۹	۷-۳-۳- تخلیه خود به خودی
۳۹	۸-۳-۳- شرایط دمایی باتری
۳۹	۴-۳- انواع سلول‌ها
۴۲	۵-۳- انواع باتری‌ها
۴۲	۱-۵-۳- باتری‌های سرب-اسید
۴۵	۲-۵-۳- باتری‌های نیکلی
۴۸	۳-۵-۳- باتری‌های سدیمی
۵۰	۴-۵-۳- باتری‌های لیتیومی
۵۸	۵-۵-۳- مقایسه انواع باتری‌ها
۶۰	۶-۳- عمر باتری
۶۱	۱-۶-۳- تعریف وضعیت سلامت باتری
۶۲	۲-۶-۳- تعریف وضعیت شارژ
۶۳	۳-۶-۳- تعریف وضعیت کارکرد
۶۴	۴-۶-۳- مکانیسم‌های فرسودگی باتری و عوامل آن
۷۱	۷-۳- مجموعه باتری
۷۲	۱-۷-۳- اجزای مجموعه باتری ولتاژ بالا
۸۴	۸-۳- سیستم خنک‌کاری و گرمایش باتری
۸۷	۱-۸-۳- سیستم‌های خنک‌کاری با هوا
۸۹	۲-۸-۳- سیستم‌های خنک‌کاری با مایع
۹۱	۳-۸-۳- کنترل چگالش و رطوبت داخلی باتری
۹۱	۹-۳- شارژر باتری
۹۱	۱-۹-۳- طبقه‌بندی انواع مختلف شارژر در سطوح مختلف توان
۹۴	۱۰-۳- مقایسه باتری‌های مناسب برای خودروهای برقی و هیبریدی
۹۶	۱۱-۳- مثال‌های کاربردی
۹۶	۱-۱۱-۳- خودرو e-Golf
۹۹	۲-۱۱-۳- خودروی Honda Civic Hybrid
۱۰۰	۳-۱۱-۳- خودروی نیسان لیف

فصل چهارم	۱۰۳
موتورهای الکتریکی	۱۰۳
۱-۴- مقدمه	۱۰۳
۲-۴- موتورهای جریان مستقیم (DC)	۱۰۵
۱-۲-۴- اصول عملکرد موتور جریان مستقیم	۱۰۶
۲-۲-۴- اجزای موتور جریان مستقیم	۱۰۸
۳-۲-۴- انواع موتورهای جریان مستقیم	۱۱۱
۴-۲-۴- درایوهای موتور جریان مستقیم	۱۱۶
۳-۴- موتورهای الکتریکی جریان متناوب (AC)	۱۱۷
۱-۳-۴- موتورهای سنکرون مغناطیس دائم	۱۱۷
۲-۳-۴- موتورهای القائی	۱۱۹
۴-۴- مشخصه گشتاور-سرعت موتور الکتریکی	۱۲۶
۵-۴- بازده موتور	۱۲۷
۶-۴- موتورهای القایی مناسب در خودروهای برقی	۱۲۹
فصل پنجم	۱۳۵
خودروهای برقی	۱۳۵
۱-۵- مقدمه	۱۳۵
۲-۵- تعریف خودروی برقی	۱۳۵
۳-۵- مزایا و معایب خودروهای برقی	۱۳۶
۱-۳-۵- انگیزه ساخت خودروی برقی	۱۳۶
۲-۳-۵- سکوت الکتریکی	۱۳۷
۳-۳-۵- گشتاور خودروهای برقی	۱۳۷
۴-۳-۵- محدودیت‌های خودروی برقی	۱۳۸
۵-۳-۵- خطر آتش‌سوزی	۱۳۸
۴-۵- آرایش خودروهای برقی	۱۳۸
۱-۴-۵- آرایش با توجه به محور محرک	۱۳۹
۲-۴-۵- آرایش با توجه به نحوه توزیع نیرومحرکه الکتریکی	۱۴۴
۵-۵- اجزای خودرو برقی	۱۵۶
۱-۵-۵- سیستم پیشرانه خودروی برقی	۱۵۷
۲-۵-۵- واحد کنترل	۱۵۸

۱۵۸.....	سیستم انتقال قدرت خودروی برقی	۳-۵-۵
۱۶۴.....	سیستم تأمین انرژی	۴-۵-۵
۱۶۵.....	سیستم فرمان برقی	۵-۵-۵
۱۶۷.....	ترمز احیاکننده	۶-۵-۵
۱۷۱.....	فصل ششم	
۱۷۱.....	خودروهای هیبریدی	
۱۷۱.....	۱-۶- مقدمه	
۱۷۳.....	۲-۶- خودروهای هیبریدی	
۱۷۳.....	۱-۲-۶- مزایای خودروهای هیبریدی نسبت به خودروهای برقی	
۱۷۴.....	۲-۲-۶- معایب خودروهای هیبریدی نسبت به خودروهای برقی	
۱۷۴.....	۳-۶- ساختارهای مختلف خودروهای هیبریدی	
۱۷۴.....	۴-۶- درصد هیبریداسیون	
۱۷۵.....	۱-۴-۶- قوای محرکه میکرو هیبرید	
۱۷۶.....	۲-۴-۶- قوای محرکه هیبرید متوسط	
۱۷۶.....	۳-۴-۶- قوای محرکه هیبرید کامل	
۱۷۶.....	۴-۴-۶- خودروهای هیبرید با قابلیت شارژ از بیرون PHEV	
۱۷۷.....	۵-۶- آرایش‌های مختلف خودروهای هیبریدی	
۱۷۷.....	۱-۵-۶- خودروهای هیبریدی سری	
۱۸۱.....	۲-۵-۶- خودروهای هیبریدی موازی	
۱۹۶.....	۳-۵-۶- خودروهای الکتریکی هیبرید سری- موازی یا تقسیم توان	
۱۹۹.....	۴-۵-۶- آرایش هیبرید مرکب	
۲۰۰.....	۶-۶- اجزای مختلف خودروی هیبریدی	
۲۰۱.....	۱-۶-۶- موتور احتراق داخلی	
۲۱۱.....	فصل هفتم	
۲۱۱.....	طراحی خودروهای برقی و هیبریدی	
۲۱۱.....	۱-۷- مقدمه	
۲۱۱.....	۲-۷- نمودار گشتاور-سرعت موتورهای کشنده	
۲۱۵.....	۳-۷- معادلات حرکت در خودرو	
۲۱۷.....	۴-۷- طراحی اجزای خودروی برقی	
۲۱۷.....	۱-۴-۷- بیشینه سرعت	

۲۱۸	۲-۴-۷- شیب‌پیمایی
۲۱۹	۳-۴-۷- شتاب‌گیری
۲۲۱	۵-۴-۷- طراحی سامانه باتری
۲۲۲	۵-۷- طراحی اجزای خودروی هیبریدی سری
۲۲۲	۱-۵-۷- طراحی توان موتور احتراقی/ ژنراتور
۲۲۴	۲-۵-۷- طراحی باتری
۲۲۷	فصل هشتم
۲۲۷	ایمنی خودروهای برقی و هیبریدی
۲۲۷	۱-۸- مقدمه
۲۲۸	۲-۸- عایق الکتریکی
۲۲۸	۳-۸- قابلیت مقاومت ولتاژ بالا
۲۲۸	۴-۸- قطع‌کن اتوماتیک ولتاژ بالا
۲۲۸	۱-۴-۸- ورودی‌های معمول در قطع‌کن اتوماتیک
۲۲۹	۲-۴-۸- دیگر نکات سیستم قطع‌کن اتوماتیک
۲۲۹	۵-۸- خود قفل‌ها
۲۲۹	۱-۵-۸- تخلیه باس ولتاژ خطرناک
۲۳۰	۲-۵-۸- قفل پوشش دسترسی به سیستم‌های ولتاژ بالا
۲۳۰	۳-۵-۸- حلقه خودقفل ولتاژ خطرناک (HVIL)
۲۳۰	۴-۵-۸- قفل شارژ
۲۳۰	۸-۶- نظارت بر خطا
۲۳۱	۷-۸- نشئی مایعات خطرناک
۲۳۱	۸-۸- نشئی گازهای خطرناک
۲۳۱	۹-۸- غوطه‌وری خودرو در آب
۲۳۱	۱۰-۸- تطابق الکترومغناطیسی و حالت گذرای الکتریکی
۲۳۱	۱۱-۸- نشانه‌گذاری
۲۳۲	۱۲-۸- ارتباطات در حین شارژ
۲۳۲	۱۳-۸- ایمنی مکانیکی
۲۳۳	۱۴-۸- میزان شارژ سامانه ذخیره انرژی قابل شارژ (RESS)
۲۳۴	۱۵-۸- باتری‌های ولتاژ بالا
۲۳۵	۱۶-۸- شرایط استفاده از خودرو

۲۳۵.....	شرایط اضطراری
۲۳۵.....	تعمیرات
۲۳۷.....	پیوست: شرایط و الزامات ایمنی خودروهای برقی
۲۳۸.....	۱- استاندارد UL
۲۳۹.....	۱-۱- استانداردهای UL در زمینه باتری خودروی برقی
۲۳۹.....	۱-۲- استانداردهای UL در زمینه شارژ خودروی برقی
۲۳۹.....	۲- استانداردهای BS-EN در زمینه ایمنی خودروی برقی
۲۴۰.....	۳- استاندارد DIN EN در زمینه ایمنی خودروی برقی
۲۴۰.....	۴- استانداردهای SAE در زمینه ایمنی خودروی برقی
۲۴۳.....	مراجع

فصل اول

معرفی و تاریخچه خودروهای برقی و هیبریدی

۱-۱- مقدمه

توسعه وسایل نقلیه به علت اختراع موتورهای احتراق داخلی^۱، یکی از بزرگ‌ترین دستاوردهای فناوری مدرن است. با برآوردن بسیاری از نیازهای مردم برای حمل‌ونقل در زندگی روزمره، خودروها به رشد جامعه مدرن کمک زیادی کرده‌اند. توسعه سریع صنعت خودرو، برخلاف هر صنعت دیگر، جامعه انسانی را از حالت ابتدایی به یک جامعه صنعتی مدرن توسعه داده است. صنعت خودرو و سایر صنایع وابسته ستون اصلی اقتصادند و بیشترین سهم در اشتغال افراد را دارند. با این حال، تعداد زیاد اتومبیل‌ها در سراسر جهان باعث بروز مشکلات جدی برای محیط‌زیست، زندگی انسان‌ها، آلودگی هوا، گرم شدن کره زمین و کاهش سریع منابع نفتی شده است. در دهه‌های اخیر، فعالیت‌های تحقیق و توسعه مربوط به حمل‌ونقل، بیشتر در زمینه توسعه خودروهایی با بازده بالا و آلودگی اندک بوده است. تاکنون وسایل نقلیه الکتریکی، خودروهای هیبریدی^۲ و سلول‌های سوختی^۳ به منظور جایگزینی با موتورهای احتراق داخلی پیشنهاد شده است.

¹ Internal Combustion Engine

² Hybrid Electric Vehicle

³ Fuel Cell

در این فصل ابتدا مشکلات ناشی از استفاده سوخت‌های فسیلی^۴ نظیر آلودگی هوا و گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد، سپس به‌طور اختصار به بررسی تاریخچه توسعه وسایل نقلیه الکتریکی و خودروهای هیبریدی پرداخته می‌شود.

۲-۱-۲- آلودگی هوا

در حال حاضر، بیشتر وسایل نقلیه برای به‌دست آوردن نیروی محرکه خود بر احتراق سوخت‌های هیدروکربنی^۵ تکیه می‌کنند. احتراق یک واکنش شیمیایی بین سوخت و هوا است که محصولات احتراق را تولید می‌نماید و باعث آزاد شدن انرژی می‌شود. انرژی احتراق به‌وسیله یک موتور احتراق داخلی به انرژی مکانیکی تبدیل شده و محصولات احتراق در هوا پخش می‌شوند. هیدروکربن یک ماده شیمیایی است که از اتم‌های کربن و هیدروژن تشکیل شده است. در احتراق کامل یک سوخت هیدروکربنی تنها دی‌اکسید کربن و بخار آب تولید می‌شود که به محیط زیست آسیب نمی‌رساند. دی‌اکسید کربن از جمله مواد لازم برای گیاهان است و گیاهان سبز، دی‌اکسید کربن را توسط فتوسنتز به اکسیژن تبدیل می‌کنند؛ اما احتراق سوخت هیدروکربن در موتورهای احتراق داخلی هرگز کامل نیست و علاوه بر دی‌اکسید کربن و بخار آب، محصولات احتراق شامل اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، مونوکسید کربن (CO) و هیدروکربن‌های نسوخته^۶ (HC) تولید می‌شود که برای سلامتی انسان مضر است [۱].

۲-۱-۱- اکسید نیتروژن

اکسید نیتروژن (NO_x) حاصل واکنش نیتروژن و اکسیژن موجود در هوا است. نیتروژن به‌تنهایی گازی بی‌اثر است؛ اما دمای بالا در موتورهای احتراق داخلی شرایط برای تشکیل اکسیدهای نیتروژن را فراهم می‌کند. دمای یکی از پارامترهای بسیار مهم در تشکیل اکسید نیتروژن است. بخش عمده اکسید نیتروژن تشکیل شده، NO است؛ اگرچه مقدار کمی دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) و نیتروز اکسید (N_2O) نیز وجود دارد. NO تشکیل شده در اتمسفر با اکسیژن به فرم NO_2 واکنش می‌دهد. سپس این مولکول توسط اشعه ماوراءبنفش خورشید به NO تجزیه می‌شود و از آنجایی که بسیار واکنش‌پذیر است به غشاء سلول‌های زنده حمله می‌کند. همچنین این مولکول

⁴ Fossil Fuels

⁵ Hydrocarbon

⁶ Unburned Hydrocarbon

با بخار آب درون اتمسفر واکنش داده و اسید نیتریک را تولید می‌کند. این پدیده که باران اسیدی^۷ نامیده می‌شود، مسئول از بین رفتن جنگل‌ها و همچنین آثار تاریخی است.

۱-۲-۲- مونواکسید کربن

مونواکسید کربن به دلیل احتراق ناقص هیدروکربن‌ها و به دلیل کمبود اکسیژن تشکیل می‌شود. این گاز می‌تواند سبب مسمومیت انسان‌ها و حیوان‌ها شود. هنگامی که مونواکسید کربن وارد خون می‌شود، جایگزین اکسیژن در هموگلوبین‌ها شده و سبب کاهش میزان اکسیژن خون می‌گردد. این امر سبب کاهش توانایی جسمی و ذهنی فرد شده و پس از مدتی باعث گیجی او خواهد شد.

۱-۲-۳- هیدروکربن‌های نسوخته

هیدروکربن‌های نسوخته به دلیل احتراق ناقص هیدروکربن‌ها ایجاد می‌شوند. بسته به نوع آن‌ها، هیدروکربن‌های نسوخته می‌توانند برای موجودات زنده خطرناک باشند. بعضی از انواع هیدروکربن‌ها شامل مواد سمی مانند ذرات، بنزن^۸ و ... می‌باشند. همچنین هیدروکربن‌های نسوخته یکی از عوامل تشکیل دود هستند. اشعه ماوراءبنفش خورشید با هیدروکربن‌های نسوخته واکنش می‌دهد و سبب تشکیل اوزون می‌شود. اوزون^۹ مولکولی بی‌رنگ و بسیار خطرناک است که از سه اتم اکسیژن تشکیل شده است.

۱-۲-۴- آلاینده‌های دیگر

ناخالصی‌ها در سوخت باعث انتشار آلاینده‌های دیگری نیز می‌شود. گوگرد یکی از ناخالصی‌هایی است که بیشتر در سوخت‌های دیزل و هواپیما و همچنین در بنزین و گاز طبیعی دیده می‌شود. ترکیب گوگرد (ترکیبات گوگرد مانند هیدروژن سولفید) با اکسیژن، اکسید گوگرد (SO_x) را تولید می‌کند. دی‌اکسید گوگرد (SO_2) محصول اصلی این واکنش است. پس از تماس با هوا، گوگرد تری‌اکسید تشکیل می‌شود که بعد از واکنش آن با آب، اسیدسولفوریک^{۱۰} که دلیل اصلی باران اسیدی است به وجود می‌آید.

⁷ Acid Rain

⁸ Benzene

⁹ Ozon

¹⁰ Sulfuric Acid

۱-۳- گرمایش جهانی^{۱۱}

گرم شدن کره زمین با پدیده‌ای که به نام اثر گلخانه‌ای^{۱۲} شناخته می‌شود، آغاز می‌شود. بین جو زمین و اشعه دریافتی از خورشید تعادلی برقرار است. در سال ۱۸۹۶ سوانت آرنیوس^{۱۳} کشف کرد که نور خورشید پس از عبور از اتمسفر به سطح زمین برخورد می‌کند و سپس به سمت بالا منعکس می‌شود. گازهای موجود در جو چیزی در حدود ۹۰ درصد از این گرما را جذب کرده و سطح زمین را گرم نگه می‌دارند. در واقع همین فرآیند مفید باعث شکل گرفتن زندگی در این سیاره شده است.

گرم شدن بیش از حد کره زمین ناشی از فعالیت‌های انسانی، زمانی رخ می‌دهد که مقدار زیادی از انواع خاص گازها به اتمسفر وارد شود. گازهای گلخانه‌ای شناخته‌شده شامل بخار آب، دی‌اکسید کربن، متان (CH_4) و اکسید نیتروژن است که شایع‌ترین آن دی‌اکسید کربن می‌باشد. مقداری از دی‌اکسید کربن موجود در جو بر اثر فعالیت‌های طبیعی به وجود آمده است. تا قبل از انقلاب صنعتی مقدار این گاز در جو چیزی حدود ۲۸۰ قسمت در میلیون (ppm) بوده؛ اما از زمان انقلاب صنعتی سرعت افزایش CO_2 تا ۱۰۰ برابر بیشتر از گذشته شده است. در سال ۲۰۱۳ دانشمندان میزان دی‌اکسید کربن موجود در جو را ۴۰۰ ppm اعلام کردند. دی‌اکسید کربن تقریباً ۸۲ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای ایالات متحده را تشکیل می‌دهد. این گاز با به دام انداختن اشعه مادون قرمز خورشید باعث افزایش بی‌سابقه دمای زمین می‌شود. دی‌اکسید کربن از راه‌های مختلفی وارد جو می‌شود؛ سوزاندن سوخت‌های فسیلی مهم‌ترین دلیل این امر هستند و در درجه دوم جنگل‌زدایی انسان باعث این افزایش می‌شود. با از بین بردن هر درخت، دی‌اکسید کربنی که برای فتوسنتز جذب می‌کند رها شده و به این ترتیب هر سال نزدیک به یک میلیارد تن کربن وارد اتمسفر می‌شود. اما استفاده از سوخت‌های فسیلی اولین علت افزایش دمای کره زمین است. سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده گازهای متصاعد شده از سوختن سوخت‌های فسیلی را عامل ۳۲ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای منتشرشده از آمریکا و ۲۷ درصد از دی‌اکسید کربن آن کشور اعلام کرده است. ایران در سال ۲۰۲۱ میلادی در جایگاه پانزدهم بعد از مکزیک با سهم ۱.۱ درصد از سهم کل تولید دی‌اکسید کربن جهان قرار دارد.

¹¹ Global Warming

¹² Greenhouse Effect

¹³ Svante Arrhenius

۴-۱- تاریخچه خودروهای برقی

اولین خودروی برقی در سال ۱۸۳۰ با استفاده از باتری‌های غیرقابل شارژ ساخته شد. نیم قرن طول کشید تا باتری‌ها برای استفاده در خودروهای برقی تکامل یافتند. در انتهای قرن ۱۹ با تولید انبوه باتری‌های قابل شارژ^{۱۴} خودروهای برقی مورد استقبال قرار گرفتند. در سال ۱۹۲۰ صدها هزار دستگاه خودروی برقی به منظور استفاده به عنوان تاکسی، ون^{۱۵}، خودروی شخصی و اتوبوس تولید شد؛ اما به دلیل ارزانی و در دسترس بودن نفت، موتورهای احتراق داخلی جذابیت بیشتری داشتند. شکل ۱-۱ نمونه‌ای از خودروی تاکسی برقی در شهر نیویورک در سال ۱۹۰۱ را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۱) خودروی تاکسی برقی در شهر نیویورک

از طرفی با مقایسه انرژی مخصوص سوخت‌های فسیلی و باتری، دلایل موفقیت موتورهای احتراق داخلی به سادگی روشن می‌شود. انرژی مخصوص سوخت‌های مورد استفاده در موتورهای احتراق داخلی متفاوت؛ اما در حدود 9000 W.h/kg می‌باشد. این در حالی است که انرژی مخصوص یک باتری سرب اسید^{۱۶} حدود 30 W.h/kg است. با در نظر گرفتن بازده موتور احتراق داخلی، گیربکس و سیستم انتقال قدرت (به طور معمول حدود ۲۰٪) برای یک خودروی بنزینی، می‌توان

¹⁴ Rechargeable

¹⁵ Van

¹⁶ Lead Acid Battery

۱۸۰۰ وات انرژی مفید (در محور گیربکس) را از بنزین به دست آورد. در حالی که با در نظر گرفتن بازده موتور الکتریکی ۹۰٪، تنها ۲۷ وات انرژی مفید (در محور موتور) می توان از یک باتری سرب اسید اخذ نمود.

برای درک بهتر این موضوع، خوب است بدانیم ۴.۵ لیتر بنزین با وزن تقریبی ۴ کیلوگرم امکان پیمایش مسافت ۵۰ کیلومتر را برای یک خودروی معمولی به ارمغان خواهد آورد. برای طی همان مقدار مسافت با انرژی الکتریکی نیاز به یک باتری با جرم حدود ۲۷۰ کیلوگرم است. برای طی مسافتی دو برابر، موتور بنزینی نیاز به ذخیره سازی ۴.۵ لیتر سوخت بیشتر با یک جرم حدود ۴ کیلوگرمی دارد؛ در حالی که برای انجام این کار در یک خودروی برقی نیاز به یک باتری اضافی ۲۷۰ کیلوگرمی می باشد. لازم به ذکر است که در عمل محدوده پیمایش این وسیله برقی دو برابر نمی شود؛ چراکه برای سرعت بخشیدن ۲۷۰ کیلوگرم باتری و حمل آن در شیبها به مقدار قابل توجهی انرژی اضافی نیاز است. برخی از این انرژی ممکن است دوباره از طریق یک سامانه که در آن موتور به عنوان یک ژنراتور عمل می کند، در هنگام ترمز کردن خودرو و تبدیل انرژی جنبشی خودرو به انرژی الکتریکی، به وسیله ذخیره سازی باتری، بازگردانی شود. در عمل، هنگامی که بازدهی تولید، کنترل، ذخیره سازی باتری و انتقال برق از طریق موتور و کنترل کننده به حساب می آید، کمتر از یک سوم انرژی احتمالاً بازیابی شود.

یکی دیگر از مشکلات عمده با باتریها زمان لازم برای شارژ آنها است. حتی زمانی که برق کافی در دسترس باشد؛ حداقل چند ساعت زمان جهت شارژ کامل نیاز است، در حالی که سوخت گیری ۴۵ لیتر بنزین در یک دقیقه می تواند انجام پذیرد. زمان شارژ برخی از باتریهای جدید به یک ساعت کاهش یافته است؛ اما این هنوز هم به طور قابل توجهی طولانی تر از سوخت گیری یک مخزن بنزین است. پارامتر محدود کننده دیگر در خودروهای برقی گران بودن باتریها است؛ بنابراین خودروهای برقی علاوه بر محدوده پیمایشی کمتر، گران تر از وسایل نقلیه با موتور احتراق داخلی با اندازه و کیفیت ساخت مشابه هستند. به عنوان مثال، ۲.۷ تن باتری سرب اسید که به اندازه ۴۵ لیتر (۱۰ گالن) بنزین انرژی دارد با قیمت امروز حدود ۸۰۰۰ پوند هزینه خواهد داشت. همچنین باتریها عمر محدودی در حدود ۵ سال دارند و به این معنی است که سرمایه گذاری بزرگتری برای نگهداری خودروهای برقی مورد نیاز است. با در نظر گرفتن این عوامل دلایل برتری موتورهای احتراق داخلی بر موتورهای الکتریکی روشن می شود.

در قرن نوزدهم، راهکارهایی برای غلبه بر محدودیت ذخیره انرژی در باتری به کار گرفته شد. اولین راهکار، تأمین انرژی الکتریکی از طریق ریل‌های تأمین^{۱۷} انرژی الکتریکی برای اتوبوس‌ها، بود. این طرح در قرن بیست و یک به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت و امکان استفاده از اتوبوس‌های غیرآلاینده و کم‌صدا را در شهرها فراهم می‌کرد. از اصلی‌ترین معایب این طرح می‌توان به گران بودن خطوط انتقال نیرو و همچنین ایجاد منظره بد حاصل از خطوط در سطح شهر اشاره کرد. در حال حاضر بیشتر ترامواها و سامانه‌های اتوبوس‌رانی که از این طرح استفاده می‌کردند، از بین رفته‌اند.

علی‌رغم مشکلات بالا، از اوایل قرن بیستم به طور پیوسته از خودروهای برقی استفاده می‌شود. آن‌ها مزایای خاصی نسبت به موتورهای احتراق داخلی دارند. عمدتاً هیچ‌گونه انتشار آلاینده در محیط ندارند و بی‌صدا هستند که باعث می‌شود این خودروها ایده‌آل برای محیط‌هایی مانند انبارها، داخل ساختمان‌ها و در زمین‌های گلف که در آن آلودگی و سروصدا مجاز نیست، باشند. یک استفاده محبوب از خودروهای برقی برای دستگاه‌های حمل‌ونقل سالمندان و معلولان است. در اروپا و ایالات متحده این نوع وسیله نقلیه که در شکل ۱-۲ نشان داده شده، یکی از رایج‌ترین وسایل نقلیه است. این وسیله می‌تواند در پیاده‌روها، مغازه‌ها و در بسیاری از ساختمان‌ها حرکت کند. آن‌ها همچنین توانایی‌های خود را در هنگام توقف و شروع، زمانی که موتورهای احتراق داخلی بازده کمی دارند و آلاینده زیادی تولید می‌کنند، حفظ می‌نمایند.

در نیمه دوم قرن بیستم تغییراتی سبب جذاب شدن خودروهای برقی شد. اولاً نگرانی‌های فزاینده در مورد محیط‌زیست هم از لحاظ انتشار کلی دی‌اکسید کربن و هم انتشار آلاینده‌های خودرو که باعث شد شهرهای شلوغ محل خوشایندی برای زندگی نباشند. از سوی دیگر، پیشرفت‌های فنی زیادی در طراحی خودروهای برقی مانند باتری‌های قابل شارژ، موتورها و کنترل‌کننده‌ها صورت گرفت.

مسائل زیست‌محیطی می‌تواند عامل تعیین‌کننده در توسعه وسایل نقلیه برقی برای استفاده در شهرها باشد. به‌عنوان مثال بنزین سرب‌دار^{۱۸} ممنوع شده و تلاش در برخی از شهرها برای به‌کارگیری وسایل نقلیه بدون آلاینده است. کالیفرنیا سازندگان وسایل نقلیه موتوری را تشویق کرده تا خودروهای برقی تولید کنند. ماهیت نسبتاً پیچیده مقررات در این ایالت به تحولات بسیار جالب در توسعه سلول سوختی، باتری و خودروی هیبریدی و برقی منجر شده است. وسایل نقلیه

¹⁷ Supply Rails

¹⁸ Leaded Petrol

برقی لزوماً مقدار کلی مصرف انرژی را کاهش نمی‌دهند. آن‌ها با استفاده از انرژی تولیدشده در نیروگاه‌ها کار می‌کنند؛ بنابراین مشکلات را به نیروگاه‌ها منتقل می‌نمایند. نیروگاه می‌تواند از انواع مختلف سوخت استفاده کند و انتشار آلاینده‌ها را به شیوه کنترل‌شده، انجام دهد. همچنین می‌توان برخی یا تمام انرژی را از منابع انرژی جایگزین مانند آب، باد و یا جزر و مد که بدون آلاینده است، به‌دست آورد.



شکل ۱-۲) ویلچر برقی مخصوص سالمندان و معلولان

۵-۱- تاریخچه خودروهای هیبریدی

برای شناخت بیشتر وسایل حمل‌ونقل هیبریدی چند مثال می‌تواند مؤثر باشد. یک قایق بادبانی مجهز به موتور دیزلی یک وسیله هیبریدی است که از نیروی باد و موتور دیزل بهره می‌برد. یک موتورگازی که هم با پا زدن و هم با موتور بنزینی حرکت می‌کند، یک وسیله هیبریدی است. یک دوچرخه الکتریکی یک وسیله هیبریدی است که از قدرت موتور الکتریکی و پای دوچرخه‌سوار بهره می‌برد.