

تحولی نو در صنایع خودرو با استفاده از نانوچندسازه مواد تغییرفازدهنده

ایلاز معصومی^۱، عزیز باباپور^{۲*}، محمد شفقتی^۳، فاطمه سلیمانی^۴، کوثر قدیمی^۴ و ملیکا گلگون^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی شیمی، علم و صنعت، تهران، ایران.

۲. استاد گروه مهندسی شیمی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳. دانشجوی دکتری گروه مهندسی شیمی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۴. کارشناس گروه مهندسی شیمی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

دریافت: فروردین ۱۴۰۴ بازنگری: مرداد ۱۴۰۴ پذیرش: مرداد ۱۴۰۴



DOI: 10.30495/JACRI.1404.1202764

چکیده

با پیدایش نوآوری‌های مدرن در انرژی‌های تجدیدپذیر و همچنین، با وجود فشارها و قوانین دولتی و اجتماعی بر شرکت‌ها و صنایع در زمینه کاهش انتشار گاز CO₂ و اتخاذ رفتارهای زیست‌محیطی مناسب، شرکت‌ها و صنایع مجبور به تغییر سیاست‌های خود در این زمینه هستند. به‌ویژه در بخش خودروسازی، شرکت‌ها شروع به اجرای شیوه‌های تولید انرژی پایدار و تجدیدپذیر کرده‌اند. این مقاله، به بررسی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در صنعت خودرو و چالش‌ها و فرصت‌های آن پرداخته است. با توجه به تحول‌های جهانی در زمینه پایداری و کاهش اثرهای منفی زیست‌محیطی، صنعت خودرو به‌سوی استفاده از منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر حرکت کرده است. همچنین، فرایندهای تولید پایدار، تأثیر سیاست‌های دولتی و محیطی در تغییرهای صنعت خودرو و استفاده از مواد تغییرفازدهنده (PCM) برای کاهش مصرف انرژی در خودروها، در این مقاله بررسی شده است. توجه به مدیریت زنجیره تأمین پایدار و نقش آن در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود عملکرد زیست‌محیطی صنعت خودرو نیز بررسی شده است. یکی از راهکارهای جدید در عرصه مواد تغییرفازدهنده استفاده از چندسازه و نانوچندسازه‌های تغییرفازدهنده است. افزودن مواد به تغییرفازدهنده‌ها می‌تواند موجب بهبود عملکرد گرمایی در ذخیره انرژی شود. مواد تغییرفازدهنده به‌طور معمول از ترکیب‌های آلی مانند موم پارافین و اسیدهای چرب تشکیل شده‌اند. این مواد، به‌دلیل ساختار شیمیایی زنجیره‌ای خود، قابلیت ذخیره گرمای نهان در دماهای مشخص را دارند.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، صنعت خودرو، سامانه‌های حمل و نقل سبز، نانوچندسازه‌ها.

مقدمه

هستند و بر کیفیت آب و هوا در سطح جهانی تأثیر بسیار زیادی دارند [۵]. کاهش ترافیک هوایی و جاده‌ای و همچنین، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی در این دوره به‌دست آمد که منجر به کاهش شدید تولید گازهای گلخانه‌ای برای محیط‌زیست شد. برپایه مدارک و مشاهد‌های ثبت‌شده، یک کاهش ۲۷/۹ درصدی کربن دی‌اکسید در آوریل ۲۰۲۰ در مقایسه با سال پیش از آن به‌دست آمده است. پس از عادی‌شدن شرایط و بازگشایی‌های دوباره، شروع به کار دوباره صنایع، تولید صنعتی با اثرهای مخرب آن بر تغییرهای آب و هوایی دوباره آغاز شد. در اگوست سال ۲۰۲۱، ایالات‌متحده آمریکا گرمای شدیدی را تجربه کرد که منجر به آتش‌سوزی عظیمی شد. سیل در آلمان، بلژیک و چین در اواسط ماه ژوئیه رخ داد. باران‌های سنگین موجب طغیان رودخانه‌ها در اوگاندا و رانش زمین در هند شد. دمای زمین در حال حاضر ۱/۲ درجه بالاتر از سطح مطلوب است و به همین دلیل، اتمسفر گرم‌تر می‌شود و رطوبت بیشتری را حفظ می‌کند، که موجب باران بیشتر نیز می‌شود [۷].

جهانگیری و بیروس یادشده به مردم کمک کرد تا تأثیر نگرش‌ها، رفتارهای افراد و شرکت‌ها را بیشتر درک کنند. به‌این‌ترتیب، افکار عمومی متوجه شد که تغییرهای فردی و جمعی می‌تواند اثرهای مثبتی بر پایداری جهانی داشته باشد [۷]. می‌توان نشان داد که بیش‌ترین تأثیر بر پایداری ناشی از صنایع آلاینده‌ای مانند نساجی، حمل‌ونقل، انرژی الکتریکی، نفت و غیره است [۸]. این صنایع، در سیاست‌گذاری‌های اخیر دولت‌ها مجبور شده‌اند که به شکل پایدارتری عمل کنند، به‌طوری که عملکرد آن‌ها نگرانی‌های زیست‌محیطی را در سرنوشت اهداف آن‌ها قرار دهد. با توجه به سیاست‌های جهانی مانند توافقنامه پاریس و هدف بی‌اثرسازی کربن اتحادیه اروپا، صنعت خودرو مجبور به رعایت قوانین سخت‌گیرانه‌تری نیز است [۹]. زنجیره تأمین خودرو شامل شرکت‌های بسیاری از بخش‌های متفاوت، مانند تولیدکنندگان خودرو و تولیدکنندگان

روندهای رشد جهانی در زمینه فروش خودرو، این صنعت را در سراسر جهان پررونق‌تر و توانمندتر کرده است [۱]. تغییرهای اجتماعی مانند شهرنشینی و اقتصاد چرخشی^۱ و مفاهیم مرتبط با پایداری [۲ و ۳]، بر صنعت خودرو تأثیر می‌گذارند. این تأثیر و همچنین، لزوم تحول صنعت خودرو در بیانیه مدیرعامل شرکت جنرال موتور نیز به این صورت منعکس شده است که «من معتقدم که صنعت خودرو در ۵ تا ۱۰ سال آینده بسیار بیشتر از ۵۰ سال گذشته تغییر خواهد کرد» [۱]. شواهد نشان می‌دهند که صنعت خودرو در حال تجربه وقوع انقلاب دوم، هم در زمینه تولید خودرو و هم در چگونگی استفاده از آن است. این تغییر محتوایی از یک سو به توسعه شهرها و افزایش میزان و تنوع نیازهای روبه‌رشد آن‌ها و همچنین، بالابودن هزینه بهره‌برداری از سوخت‌های فسیلی مرتبط است [۴]. از سوی دیگر، این انقلاب صنعتی مدرن، بر پایه ایجاد تغییر نگرش در مشتری‌ها، متقاضیان خودرو و کاربران دستگاه‌های حمل‌ونقل بنا شده است.

پایداری موضوع جدیدی نیست. بیش از ۴۰ سال است که پژوهشگران در مورد تأثیر نگرش‌های فردی و جمعی بر محیط‌زیست هشدار می‌دهند. در طول سال ۲۰۲۰ و نیمه اول سال ۲۰۲۱، درحالی‌که جهان از تأثیر جهان‌گیری COVID19 رنج می‌برد، مسائل پایداری بیشتر آشکار شدند. در طول دوره قرنطینه مرتبط با این ویروس، بسیاری از مردم جهان در خانه‌های خود ماندند، و به همین دلیل، تولید صنعتی جهانی کاهش یافت و برخی از شرکت‌ها کار خود را متوقف کردند. در اثر این تحول اجتماعی، کیفیت هوا در بسیاری از کشورها بهبود محسوسی پیدا کرد [۵ و ۶]. به‌بیان‌دیگر، این جهانگیری، انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد. این کاهش بیشتر مربوط به سه کشور ایالات‌متحده آمریکا، چین و هند بود، یعنی کشورهایی که مسئول انتشار به‌طور تقریبی ۶۰ درصد کربن دنیا

1. Circular economy

2. Goal of carbon neutrality of the European Union

تمایل به تولید ماشین پاک‌تر همراه با توسعه فناوری است. به دلیل افزایش مصرف انرژی مربوط به احتراق سوخت‌های فسیلی و افزایش قیمت‌های انرژی متداول، برنامه‌های بهره‌وری انرژی، شامل عایق گرمایی ساختمان‌ها تا دستگاه‌های تأمین انرژی مدرن، توسعه چشمگیری یافته‌اند. بهبود در بهره‌وری انرژی تولید منجر به کاهش مصرف انرژی کلی به مقدار ۱۲/۴ درصد در طول دهه گذشته شده است.

منابع انرژی تجدیدپذیر به منابعی گفته می‌شود که از طبیعت به دست می‌آیند و به گونه‌ای پیوسته قابل تجدید هستند. این منابع شامل انرژی خورشیدی، بادی، آبی، زمین‌گرمایی و زیست‌توده می‌شوند [۱۸]. برخلاف منابع فسیلی مانند نفت و گاز، این منابع تأثیرهای زیست‌محیطی کمتری دارند و به کاهش آلودگی هوا و تغییرهای اقلیمی کمک می‌کنند. استفاده از این انرژی‌ها به‌طور فزاینده‌ای در حال گسترش است، زیرا آن‌ها پاک‌تر و پایدارتر هستند.

شکل ۱ پیش‌بینی تولید برق از منابع متفاوت تا سال ۲۰۵۰ میلادی را برپایه آمار EIA^۳، نشان می‌دهد. این نمودارها نشان‌دهنده سهم منابع متفاوت انرژی از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق جهانی هستند. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، سهم منابع تجدیدپذیر (مانند انرژی خورشیدی، بادی و آبی) در حال افزایش است که این روند می‌تواند به بهبود کیفیت هوا و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت خودرو و حمل‌ونقل کمک کند [۱۹].

فرصت‌های متفاوت منابع انرژی تجدیدپذیر در زمینه‌های متفاوت توسعه پایدار شامل دستیابی و امنیت انرژی، توسعه اقتصادی و اجتماعی، تغییرهای آب‌وهوایی و کاهش اثرهای زیست‌محیطی و سلامت می‌شود. این منابع انرژی نه تنها به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود کیفیت هوا کمک می‌کنند، بلکه در صنعت خودرو نیز نقش حیاتی در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و توسعه فناوری‌های پایدار ایفا

قطعه‌های پلاستیکی، لاستیکی، آهنی، شیشه‌ای، منسوجات و قطعه‌ها و مدارهای الکترونیکی است. شرکت‌های خودروسازی در اروپا یک دستورکار برای بازیافت، استفاده دوباره و بازیابی مواد خود دارند، یعنی دستورکار ELV (دستورکاری در مورد پایان عمر وسایل نقلیه)^۱ [۱۰]. به این دلایل، زنجیره تأمین خودرو در حال تغییر منابع و مواد مورداستفاده برای اجرای دستورالعمل‌های دولتی و دستیابی به اهداف پایداری تعیین شده است. این تغییرها بر سازمان زنجیره تأمین خودرو تأثیر می‌گذارند. نوآوری در منابع، مواد و فرایندها، راه‌حل کلیدی برای تحقق دستورالعمل‌های دولتی و سایر دستورالعمل‌های نظارتی هستند [۱۱]. با سیاست‌های جدید و ضرورت بازنگری در زنجیره تأمین، انواع متعددی از زنجیره تأمین به‌عنوان راه‌حلی برای مسائل پایداری ارائه شده است،

بخش حمل و نقل یکی از مهم‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای^۲ (GHG) است. به‌طور خاص‌تر، انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول چرخه عمر تولید به‌وجود می‌آید. شرکت‌های خودروسازی مجبور به توسعه اتومبیل‌های هوشمندتر و امن‌تر، و همچنین، پاک‌تر هستند. شرکت‌ها تحت فشار هستند تا فعالیت‌های سبز مانند دستگاه‌های مدیریت زیست‌محیطی، و مدیریت زنجیره تأمین سبز را آغاز کنند. شواهد نشان می‌دهد که تولیدکنندگان وسایل نقلیه اروپایی به‌طور پیوسته اثرهای زیست‌محیطی تولید وسایل نقلیه را کاهش داده‌اند [۱].

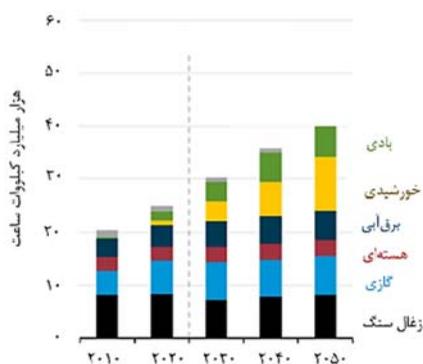
تولید قطعه‌های خودرو یک فرایند پیچیده است و به یکی از بخش‌های صنعتی با بیش‌ترین مصرف انرژی تعلق دارد. انرژی در بسیاری از فرایندها در تولید خودرو، به‌طورمستقیم یا غیرمستقیم ایفای نقش می‌کند. خط پرس، پوسته و بدنه، تجهیزات جابه‌جایی مواد، سامانه رنگ‌کاری، ریخته‌گری، هم‌گذاری و بازرسی، همه به انرژی ورودی نیاز دارند. افزون‌براین، انرژی در گرمایش فضا، کاربردهای مربوط به بخار و در بخش پخت کوره‌ای نیز به کار می‌رود [۱۷].

1. Directive on end-of-life vehicles (ELV)

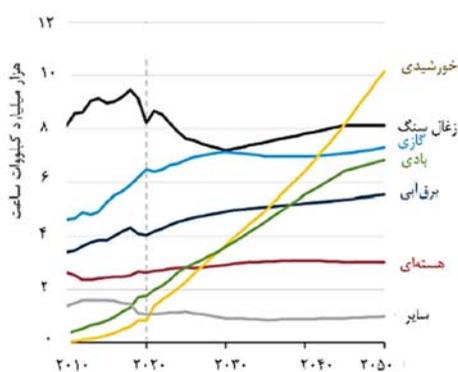
2. Greenhouse gas (GHG)

3. Energy industry alliance (EIA)

زیست‌محیطی، ارتقا بهره‌وری انرژی و ایجاد فرصت‌های شغلی جدید در مناطق متفاوت، قابلیت‌های زیادی دارند [۲۰].



می‌کنند. به‌ویژه در زمینه انتقال به دستگاه‌های حمل‌ونقل پایدار، انرژی‌های تجدیدپذیر از راه کاهش اثرهای



شکل ۱ پیش‌بینی تولید برق از منابع متفاوت تا سال ۲۰۵۰ میلادی برپایه آمار EIA [۱۹] (دارای مجوز از ناشر مربوط)

همچنین، کاربردهای فعلی و قابلیت‌های آینده انرژی‌های تجدیدپذیر در زنجیره تأمین صنعت خودرو، در این پژوهش بررسی شده است.

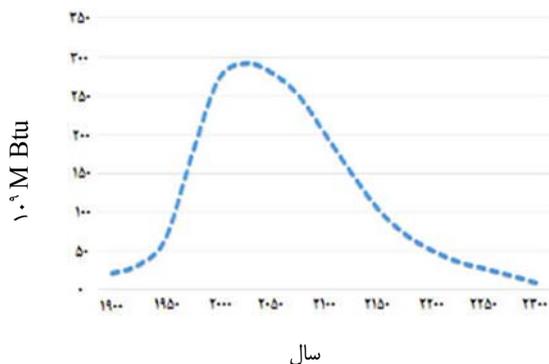
حمل‌ونقل در یک سامانه انرژی تجدیدپذیر

یک اقتصاد تجدیدپذیر ایده‌آل یک راه‌حل پایدار برای چالش‌های ناشی از تغییرهای آب‌وهوایی، امنیت انرژی، پایداری و آلودگی ارائه می‌دهد. به نظر می‌رسد که تغییر سامانه حمل‌ونقل کنونی یکی از سخت‌ترین جنبه‌های چنین انتقال تجدیدپذیری باشد. این مطالعه [۲۲]، فناوری‌ها و سامانه‌هایی را بررسی می‌کند که به‌عنوان جایگزین حمل‌ونقل مبتنی بر سوخت‌های فسیلی پیشنهاد یا اثبات شده‌اند، و چشم‌انداز آن‌ها برای ورود به عصر پس از کربن، هم از نقطه‌نظر فناوری و هم از نظر انرژی موردتأیید بوده است.

برخی از چالش‌های اصلی که اقتصاد جهان کنونی با آن مواجه است امنیت انرژی، پایداری، آلودگی و اثرهای تغییر آب و هوا است. برخی از نویسندگان و سازمان‌ها از انتقال به یک اقتصاد مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌عنوان راهی برای رسیدن به یک راه‌حل نهایی و پایدار برای این چالش‌ها دفاع کرده‌اند [۲۳ و ۲۴].

منابع انرژی تجدیدپذیر سهم بسزایی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند که این مساله تأثیر مثبتی بر بهبود وضعیت آب‌وهوا دارد. منابع انرژی تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۴، ۲۴ درصد از تولید برق جهان را به خود اختصاص داده بود. به‌طورخاص‌تر، ظرفیت تجمعی نصب برق تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۴ در سراسر جهان ۸ درصد افزایش یافت (از ۱۵۷۹ گیگاوات به ۱۷۱۲ گیگاوات) [۲۱]. از سوی دیگر، ۱۳/۵ درصد از مصرف انرژی جهان توسط انرژی تجدیدپذیر (از جمله زیست-توده^۱) پوشش داده شده است.

از دید مصرف و تولید، منابع انرژی تجدیدپذیر در حال یافتن جایگاهی بی‌همتا در صنعت خودرو هستند. از آنجاکه شرکت‌های خودروسازی تمایل به توسعه وسایل نقلیه سازگار با محیط‌زیست و معرفی فرایندهای تولید پایدار دارند، فضای خفته بیشتری برای منابع انرژی تجدیدپذیر وجود دارد. برای مثال، شرکت‌های نوآرانه خودروسازی در آلمان در پژوهش‌های انرژی پایدار به‌عنوان بخشی از راهبردهای پایه‌ای خود سرمایه‌گذاری می‌کنند. به‌طورخلاصه، این مطالعه به بررسی پژوهش‌های انرژی پاک و نوآوری‌های اخیر در فناوری‌های مرتبط با منابع انرژی تجدیدپذیر در صنعت خودرو می‌پردازد.



شکل ۲ نمودار انرژی سوخت فسیلی جهان [۲۵]

حمل و نقل در اقتصاد جهانی شده کنونی، نکته‌ای اساسی است زیرا امکان تبادل کالاها، ارتباط بین شهروندان و یکی از دلایل حاشیه‌نشینی در شهرها را فراهم می‌آورد. با این حال، یکی از مشکل‌های عمده ناشی از تحول سامانه حمل و نقل جهانی، وابستگی زیاد به سوخت‌های فسیلی است. به طور خاص، نفت تأمین‌کننده اصلی انرژی در محتوای انرژی حمل و نقل است. بیش از ۹۴ درصد کل تقاضای انرژی برای حمل و نقل مربوط به نفت، ۳ درصد گاز طبیعی و سایر سوخت‌ها، ۲ درصد مربوط به سوخت‌های زیستی و ۱ درصد مربوط به الکتریسیته، است [۲۷]. این ارقام کلی را می‌توان با در نظر گرفتن حالت‌های حمل و نقل یا استفاده از حمل و نقل (توسط مسافران یا بار) تجزیه و تحلیل کرد. در رابطه با حمل و نقل مسافران، وسایل نقلیه سبک^۱ (LDVها) حدود نیمی از کل انرژی حمل و نقل را مصرف کرده‌اند. حمل و نقل سبک در سال ۲۰۰۹ به طور تقریبی ۴۵ درصد از کل انرژی حمل و نقل را مصرف کرد و بیش از نیمی از آن را وسایل نقلیه سنگین^۲ (HDV) مصرف کردند. اگر سوخت‌ها به عنوان حامل‌های اصلی انرژی حمل و نقل در یک اقتصاد تجدیدپذیر حفظ شوند، سنتز این سوخت‌ها با الکتریسیته به طور نامتناسبی بخش بزرگی از انرژی ثانویه را مصرف خواهد کرد [۲۸]. افزون‌براین، این مساله نشان می‌دهد که یک اقتصاد

انرژی‌های تجدیدپذیر در حال حاضر فناوری‌های اثبات‌شده‌ای هستند که توسعه سریعی را تجربه می‌کنند و امکان تولید کربن صفر را دارند. این ویژگی اخیر، آن‌ها را در زمینه تغییرهای آب‌وهوایی مناسب می‌سازد، که به احتمال مهم‌ترین چالشی است که جامعه جهانی با آن مواجه است.

همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که منابع انرژی فسیلی جهان تا پس از سال ۲۳۰۰ به اتمام خواهند رسید. این مساله تأکید بیشتری بر لزوم استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌کند. بنابراین، گام‌های مهمی در حال برداشته شدن برای افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور مواجهه با چالش‌های تغییرهای آب‌وهوایی، امنیت انرژی و پایداری است [۲۰]. در این مدت، هرگونه انتقال انرژی تجدیدپذیر به احتمال با استفاده هوشمندانه از سوخت‌های فسیلی، به‌ویژه گاز طبیعی، پشتیبانی خواهد شد که یک منبع کم‌کربن قابل توزیع است و می‌تواند انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین را تکمیل کند. با این حال، در درازمدت، اقتصاد جهانی باید به طور کامل با توجه به برخی از مطالعه‌های ذکر شده، تجدیدپذیر شود. در این راستا، به بازسازی عمده زیرساخت‌ها و یک سیاست هماهنگ بین‌المللی نیاز است که بین ۴۰ تا ۵۰ سال طول می‌کشد. اگرچه چنین انتقالی برای جلوگیری از تغییرهای آب‌وهوایی فاجعه‌بار ضروری است، دولت‌ها هنوز از چنین ابتکار عمل و سیاست هماهنگ پشتیبانی نکرده‌اند [۲۵]. در چنین انتقالی، تبدیل سامانه حمل و نقل کنونی به نظر می‌رسد یکی از سخت‌ترین جنبه‌های آن باشد. در حال حاضر، حمل و نقل جهانی هنوز هم به شدت به سوخت‌های فسیلی (به طور عمده نفت) وابسته است که انتظار می‌رود در چند دهه این وابستگی کاهش یابد [۲۶]. افزون‌براین، حمل و نقل جهانی بخش چشمگیری از گازهای گلخانه‌ای، آلودگی در مناطق کلان‌شهری را تولید می‌کند و نیز هر ساله موجب میلیون‌ها حادثه می‌شود.

1. Light duty vehicles (LDV)

2. Heavy duty vehicles (HDV)

لیتیم، نیکل و پلاتین استفاده می‌کند. سه فلز آخر به‌طور عمده در بخش حمل‌ونقل استفاده خواهند شد. آخرین فلز در سلول‌های سوختی استفاده می‌شود، که گزینه بهتری نسبت به باتری برای موتورهای است که به استقلال و قدرت بالا نیاز دارند.

استفاده مستقیم موتورهای از الکتریسیته، روشی ارزان‌تر و کارآمدتر برای تولید حرکت است و ممکن است گسترش خود را در حمل‌ونقل زمینی در آینده افزایش دهد. البته، هواپیما و دیگر انواع وسایل حمل‌ونقل که قادر به دریافت انرژی از شبکه برق نیستند، در این روال قرار نمی‌گیرند. حمل‌ونقل زمینی الکتریکی، بسیار کارآمد برای حمل‌ونقل بار و مسافر با خودرو، قطار و دستگاه‌های مترو هستند. این روند برای حمل‌ونقل بین شهرها و نواحی کلان‌شهری مناسب به‌نظر می‌رسد، زیرا شبکه برق در چنین مناطقی دارای تراکم کافی است. استفاده گسترده از این سامانه‌ها، امکان به‌کارگیری خودروهای الکتریکی (EV) را تنها برای حمل‌ونقل فاصله کوتاه بین شهرها و جمعیت‌هایی که با حمل‌ونقل عمومی خدمات‌رسانی نمی‌شوند، فراهم می‌کند [۲۴].

برپایه گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA^۲)، در حدود ۱۱۱۷ میلیون وسیله نقلیه سبک (LDV) (که ۱۳۰ میلیون وسیله نقلیه تجاری سبک را شامل می‌شود) و ۶۶۹ میلیون وسیله نقلیه دوچرخ در سال ۲۰۱۵ در حال کار بودند. تعداد کامیون‌های حمل بار متوسط و بالا در سال ۲۰۱۵ به ترتیب ۳۲ و ۲۴ میلیون بود [۳۰]. تعداد وسایل نقلیه تجاری که از سلول‌های سوختی استفاده خواهند کرد به وزن آینده قطار برای حمل‌ونقل از راه دور بسیار وابسته است. ما فرض می‌کنیم که این عدد تنها ۱۰ درصد از تعداد وسایل نقلیه و کامیون‌های تجاری سبک خواهد بود، زیرا با این درصد، ۵۹ درصد از ذخایر موجود، باید در الکترودهای سلول سوختی استفاده شود. تقاضای جهانی برای پلاتین در دهه‌های اخیر بیش‌ازحد رشد کرده است و انتظار می‌رود که این روند با استقرار وسایل نقلیه پیل سوختی

به‌طور کامل تجدیدپذیر، ممکن است با مشکل‌های جدی در رشد فراتر از تولید برق مواجه شود. عرضه و زیست‌توده که به‌طور پایدار در دسترس خواهد بود، برای تأمین همزمان تقاضای انرژی، تقاضای متان در تولید آمونیاک (برای کشاورزی) و تولید ترکیبی هیدروکربن‌ها و الفین‌ها برای اندازه فعلی صنعت پتروشیمی کافی نخواهد بود. بنابراین، در چنین فرمانه‌ای^۱، هیدروکربن‌ها کمیاب و گران خواهند بود و هرگونه استفاده مستقیم از شبکه توسط بخش حمل‌ونقل، در صورت امکان، اقتصادی‌ترین گزینه خواهد بود. بنابراین، عاقلانه به‌نظر می‌رسد که سامانه حمل‌ونقل را به سمت استفاده مستقیم و هوشمندانه از برق تولیدشده از انرژی‌های تجدیدپذیر، توجیه و بازسازی کنیم. تجزیه و تحلیل زیر نشان می‌دهد که حمل‌ونقل زمینی تا حد زیادی ممکن است از این روند پیروی کند، ولی حمل‌ونقل هوایی و دریایی ممکن است به‌طور عمده از سوخت‌های تولیدشده از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده کنند.

گیلبرت و پرل [۲۸] مجموعه‌ای از تغییرها را پیشنهاد کرده‌اند که باید در سامانه حمل‌ونقل فعلی در پیگیری راهبردهای انتقال اجرا شوند که می‌تواند افراد و بارهای بیشتری را بدون نفت جابه‌جا کند، پیش از اینکه برای جلوگیری از بحران انرژی جهانی خیلی دیر شود. این نویسندگان به‌احتمال بر نقشی که استفاده هوشمندانه از سوخت‌های فسیلی می‌تواند در انتقال حمل‌ونقل داشته باشد، تأکید می‌کنند. این تنها دلیل برای لزوم تغییر کامل روش‌های حمل‌ونقل نیست. همان‌گونه که توسط اسونسون [۲۸] تأکید شد، تعویض مستقیم ناوگان فعلی موتورهای احتراق داخلی با ناوگان وسایل نقلیه بزرگ با موتورهای الکتریکی، وضع اسفناک موجود را در شهرهای مدرن ادامه‌دار خواهد کرد که پر از اتومبیل و برای عابران پیاده خطرناک است.

با توجه به گزارش گارسیا-اولیولارس و همکارانشان [۲۴] اقتصاد آینده که مبتنی بر REها است، از ذخایر فعلی مس،

1. Scenario

2. International Energy Agency (IEA)

در اقتصاد به‌طور کامل تجدیدپذیر آینده مفید باشند. یکی دیگر از راهکارها، سامانه حمل‌ونقل پیوسته خودکار خورشیدی (SANE^۳) است، یک سامانه جدید که در حال حاضر در فاز نمونه اولیه قرار دارد [۲۹]. این سامانه شبیه به یک شبکه شهری از قطارها/ترامواها است، ولی با این مزیت که ساختار پشتیبان با کمک صفحه‌های فتوولتائیک که قادر به تولید ۱ مگاوات برق در هر مایل از خط هستند، برای موتورهای کابین مرتفع^۴ برق تولید می‌کند.

استفاده از انرژی تجدیدپذیر در صنایع خودرو

مفهوم پایداری در ارتباط با دستگاه‌های بوم‌شناسی و اقتصادی در دهه ۱۹۷۰ استفاده شد. سپس، در بسیاری از حوزه‌ها، مانند صنعت تولید وسیله نقلیه نیز به‌کارگرفته شد. تولید پایدار ممکن است به‌عنوان روشی توصیف شود که مشکل‌های طراحی فرآورده و فرایند را با مسائل تولید، ترکیب می‌کند. شیوه‌های تولید پایدار، کیفیت عملیات صنعتی را بهبود می‌بخشد، وفاداری مشتریان را افزایش می‌دهد و روش‌های نوینی برای مدیریت صنایع پیشنهاد می‌کند. با تأکید روبه‌رشد بر توسعه پایدار در سراسر جهان، بسیاری از مشتریان به‌طور ویژه به دنبال شرکت‌هایی با شیوه‌های تولید مسئولانه‌تری در قبال مسائل زیست‌محیطی هستند [۳۳]. این نوع تولید، ضایعات را به کمینه می‌رساند و اثرهای مخرب زیست‌محیطی کمتری دارد. برنامه‌ریزی و نظارت بر آلودگی زیست‌محیطی از راه شناسایی، کمی‌سازی، اندازه‌گیری و واپایش پیوسته عامل‌های پایداری زیست‌محیطی، صورت می‌پذیرد.

تولید پایدار برای کاهش ضایعات، مواد خام، الکتریسیته، کاغذ، سوخت بسته‌بندی و دیگر منابع مورد نیاز است و در حقیقت، یک رویکرد جدید برای کاهش تولید ضایعات (به‌طور مثال از طریق بازیافت مواد) و یا کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و آلوده‌کننده محیط‌زیست (برای مثال، از راه استفاده از

بدتر نیز شود. استفاده مستقیم از سایر سوخت‌ها، مانند متان، در حال پژوهش است ولی مشخص نیست که آیا هیچ‌کدام از سوخت‌ها به مرحله استفاده تجاری خواهند رسید یا نه.

خودروهای برقی سبک و حمل‌ونقل عمومی

ناوگان کنونی موتورسیکلت‌ها و پاروک^۱ها را می‌توان با ناوگان مشابه موتورسیکلت‌های الکتریکی، پاروک‌های الکتریکی جایگزین کرد که با باتری‌های قابل باردار شدن کار می‌کردند. این وسایل نقلیه سبک از نظر انرژی بسیار کارآمدتر از ماشین‌های با ظرفیت کم در کیلووات ساعت برای هر مسافر هستند و همچنین، در باتری‌های کوچک‌تر خود به نیکل و لیتیم کمتری نیاز دارند [۳۱].

وسایل نقلیه الکتریکی تک‌چرخ نیز فناوری‌های جدیدی هستند که ممکن است برای حمل‌ونقل شخصی در شهرها مفید باشند. دوچرخه‌ها، ماشین‌های کوچک برقی، اسکیت‌های الکتریکی ویژگی‌هایی مانند وزن و توان مصرفی کم (در مقایسه با خودروی معمولی)، سرعت کم و اندازه کوچک را دارند.

سامانه‌های دوچرخه‌های همگانی در حال حاضر در بسیاری از شهرهای جهان (۴۰۰ سامانه فعال در اروپا در سال ۲۰۱۲) اجرا شده‌اند و به‌عنوان یک ابزار منظم حمل‌ونقل توسط افرادی که در شهر زندگی می‌کنند، به‌کارگرفته می‌شوند. باین‌حال، چنین سامانه‌های همگانی باید با سیاست‌های پژوهش‌های محلی (شهر)، منطقه‌ای و ملی حمایت شوند تا تأثیر گسترده‌ای بر عادات شهروندان با توجه به استفاده از وسایل نقلیه سیار مبتنی بر سوخت‌های فسیلی معاصر، داشته باشد.

حمل‌ونقل سریع اتوبوس (BRT^۲) یک سامانه شناخته شده است که می‌تواند برای اتوبوس‌های الکتریکی در طرح‌های طراحی شهری آینده استفاده شود [۳۲]. اتومبیل‌های کابلی و کابین‌های الکتریکی فناوری‌های دیگری هستند که می‌توانند

1. Scooter

2. Bus rapid transit

3. Solar-powered automated nonstop elevated transit

4. Elevated cabin motors

محیط‌زیست از راه قوانین زیست‌محیطی و نیاز به مواد تجدیدپذیر و بازیافت‌پذیر بر صنعت خودروسازی تأثیر می‌گذارد. این قوانین موجب نوآوری در طراحی خودروها و حرکت به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای با مصرف پایین‌تر می‌شود. از سوی دیگر، صنعت خودروسازی با تولید آلاینده‌ها، زباله‌ها و فشار به منابع طبیعی، آسیب‌هایی به محیط‌زیست وارد می‌کند [۳]. محدودیت‌های زیست‌محیطی می‌توانند موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش رقابت‌پذیری صنعت خودروسازی شوند. این آرمان با بهبود فرایندهای تولید و کاهش مصرف منابع، امکان‌پذیر است. این بازخورد موجب تحول صنعت به سمت تولید خودروهای سازگار با محیط‌زیست و کاهش اثرهای منفی آن‌ها بر تغییرهای اقلیمی و کیفیت هوا می‌شود.

اتتلاف صنعت انرژی تجدیدپذیر تگزاس (TREIA^۳)

تعریف زیر را در مورد انرژی تجدیدپذیر ارائه کرده است [۳۷]:
«انرژی تجدیدپذیر منبعی است که به‌طور طبیعی احیا می‌شود و یا به‌طور مستقیم از خورشید (زمین‌گرمایی)، فتوالکتریک و فتوشیمیایی) یا به‌طور غیرمستقیم از خورشید (برق‌آبی، باد، و انرژی فتوسنتزی ذخیره‌شده در کارخانه زیست‌توده آلی و مواد زائد، گاز محل دفن زباله) نشأت می‌گیرد.» به‌طور کلی، منابع انرژی تجدیدپذیر گران‌تر از سوخت‌های فسیلی هستند. با این حال، برخی از انواع منابع انرژی پاک به‌دلیل شرایط و عوامل آب‌وهوایی به‌طور پیوسته در دسترس نیستند (مانند انرژی بادی). از سوی دیگر، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر اثرهای زیست‌محیطی فرایندهای تولید و ردپای بوم‌شناختی آن‌ها را کاهش می‌دهد. بنابراین، انگیزه‌های دولتی ویژه، شرکت‌ها را به استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر تشویق می‌کند. برخی از پژوهشگران از افزایش سرمایه‌گذاری شرکتی در توسعه و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر حمایت می‌کنند. به‌طور هم‌زمان، سازمان‌های واپایش‌کننده وضعیت آب‌وهوای

منابع انرژی تجدیدپذیر) است. در سال‌های آینده، یک چارچوب تولید پایدار باید قادر به پاسخگویی به تمام چالش‌های زیست‌محیطی باشد. صنایع باید کالاها را با کمترین مقدار انرژی و منابع ممکن تولید کنند. در بازار رقابتی امروز، تولیدکنندگان می‌توانند فرآورده‌های خود را با ارزان‌ترین، بادوام‌ترین، قابل‌اعتمادترین و همچنین، با بالاترین کیفیت خدمات و پشتیبانی، تولید کنند [۳۴].

تولید پایدار، فعالیت‌های سازگار با محیط‌زیست را برای به کمینه‌رساندن آلودگی تشویق و از نوآوری‌های پایدار در حال ظهور حمایت می‌کند. تولید پایدار که به‌عنوان تولید سبز نیز شناخته می‌شود، با هدف انجام فعالیت‌هایی که بر معماری، طراحی فرایند و کیفیت فرآورده‌ها تأثیر می‌گذارند (که در بخش خودرو به‌شدت رقابتی و انرژی‌بر هستند) در جهت افزایش بهره‌وری و به کمینه‌رساندن ضایعات گام برمی‌دارد [۳۵]. برپایه پژوهش‌ها، ارتباط نزدیکی بین انرژی و ملاحظات زیست‌محیطی در رابطه با پایداری وجود دارد. متداول‌ترین دستورالعمل‌های گزارش پایداری (طرح گزارش جهانی) انرژی را به‌عنوان یک جنبه زیست‌محیطی طبقه‌بندی می‌کند. از آنجاکه زنجیره‌های تأمین خودرو تحت تأثیر قیمت انرژی و محدودیت‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای قرار دارند، این زنجیره‌ها به‌طور فزاینده‌ای ملزم به اجرای راهبردهای کاهش‌دهنده هستند و در نتیجه راه‌حلی را از راه مدیریت فرایند تولید برای کاهش اتلاف در مصرف انرژی دنبال می‌کنند. روندهای اصلی در مدیریت انرژی در بخش خودرو شامل انرژی تجدیدپذیر، دستگاه‌های روشنایی با بازده بالا، دستگاه‌های جایگزین^۱، جداسازی گرمایی^۲ و دستگاه‌های واپایش خودکار برای تجهیزات هستند [۳۶]. تمرکز اصلی پژوهش حاضر، بر منابع انرژی تجدیدپذیر است.

بازخورد بین محیط‌زیست و صنعت خودروسازی به تعامل دوجانبه و تأثیرات متقابل میان این دو حوزه اشاره دارد.

1. Stand-by system

2. Thermal isolation

3. Texas renewable energy industry alliance

جهانی و حاکمیت انرژی از اجرای مؤثر سیاست‌های مبتنی بر منابع انرژی تجدیدپذیر حمایت می‌کنند [۳۸].

در مقاله‌ای [۳۹] مرور جامعی از طراحی برای پایداری در صنعت خودرو ارائه شده است. این مقاله، پایداری در صنعت خودرو را با مرور جامع مطالعه‌های متفاوت و معیارها و مدل‌های متفاوت پایداری مورد استفاده برای تعیین میزان اثرهای زیست‌محیطی بررسی کرده است. معیارها و مطالعه‌ها در این پژوهش، در سه سطح اساسی زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی بررسی شده است. در فاز طراحی برای بهره‌وری انرژی از این پژوهش، آمده است که یک منبع مهم و تأثیرگذار زیست‌محیطی، انرژی مصرف‌شده با یک فرآورده در طول فاز استفاده از آن است.

به غیر از توسعه دستگاه‌های احتراق سوخت پیشرفته برای بهبود بازده گرمایی موتور، کاربردهای مواد سبک جایگزین در قطارهای برقی و ساختارهای وسایل نقلیه برای بهبود اقتصاد سوخت در کل چرخه عمر فرآورده در حال بررسی است. برای مثال، استفاده از آلومینیم به جای فولاد در شاسی خودرو، بهره‌وری سوخت بیشتری را با کاهش کل انرژی استفاده‌شده در چرخه عمر خودرو تضمین خواهد کرد. برای مثال، شرکت خودروسازی BMW، نسبت پلاستیک‌ها را در تولید وسایل نقلیه خود افزایش داده است تا وزن را کاهش دهد و اقتصاد سوخت را بهبود بخشد. تلاش‌هایی برای توسعه طرح‌های کارآمد وسایل نقلیه با استفاده از مواد سبک با چگالی کمتر از فولاد مانند Mg و Al صورت گرفته است. چالش‌های معمول برای این نوع از تلاش‌ها شامل هزینه بالای این مواد (هزینه آن‌ها حدود ۴ تا ۵ برابر هزینه فولاد است) و مشکل‌های مربوط به قابلیت تولید (که به‌طور عمده به قابلیت شکل‌پذیری مربوط است) است [۴۰].

فعالیت‌های تولیدی پایدار در حال تبدیل شدن به هدف اصلی اقتصادهای در حال توسعه هستند. طیف گسترده‌ای از مطالعه‌ها مسائل پایداری را از دیدگاه‌های متفاوت تجزیه و

تحلیل کرده‌اند. در مقاله‌ای [۴۱] شیوه‌های پایدار از دیدگاه تولید در صنعت خودرو در کشور چین بررسی شده است. در مقاله‌ای دیگر [۴۲]، سیاست‌های صنعتی، تجاری و نوآوری مؤثری شناسایی شده است که از راهبردهای اجرای شیوه‌های تولید پایدار حمایت می‌کنند. این مطالعه چارچوبی را برای دستیابی به هدف پژوهش در اقتصاد الجزایر فراهم می‌کند که در آن مسائل پایداری به‌طور ویژه مرتبط هستند. در ابتدا، روش‌های تولید پایدار مشترک در ادبیات موضوع و دیدگاه‌های کارشناسان جمع‌آوری می‌شوند. روش گام تصادفی با بستر ساختار طراحی سیاست‌ها اتخاذ و به‌عنوان وابستگی بین دو سیاست مشخص بیان می‌شود. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که سیاست‌های نوآوری الجزایر، پیاده‌سازی شیوه‌های تولید پایدار را بیش از سیاست‌های تجاری و صنعتی حمایت می‌کند. برای شرکت‌های در حال توسعه و در حال ظهور، دیدگاه‌های مدیریتی برای اجرای فرایند گام تصادفی پیشنهادی برای کاهش نقاط ضعف آن‌ها نسبت به شیوه‌های تولید پایدار مناسب‌تر هستند.

جمهوری چک کشوری است که سابقه‌ای طولانی در صنعت تولید دارد. به‌ویژه بخش تولید وسیله نقلیه یک صنعت پایه‌ای و اصلی در این کشور است. از آنجایی که در عصر مدرن کنونی، صنایع به‌طور جهانی به هم متصل هستند، شبکه‌های تولید خودرو در زنجیره‌های تأمین به شکلی یکپارچه سازماندهی می‌شوند. شرکت‌های خودروسازی چک را می‌توان به شرکت‌های هم‌گذار، کارخانه تولید تجهیزات اساسی (OEM) و تأمین‌کننده طبقه‌بندی کرد. تأمین‌کنندگان بزرگ و بخش OEM، بازار چک و همچنین، بازارهای بین‌المللی را تأمین می‌کنند. پچانکووا^۲ [۱] نشان داد که مزایای مالی ملموس همراه با قوانین مناسب زیست‌محیطی محرک اصلی برای استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر هستند.

صنعت خودرو، به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین و تأثیرگذارترین صنایع در جهان، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر

1. Original equipment manufacturers

2. Pechancová

تمرکز بر چگونگی کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی انجام شده است.

بررسی کاربرد مواد تغییرفازدهنده (PCM) در واپایش دمای داخل خودرو و کاهش مصرف انرژی

استفاده از ماده تغییرفازدهنده (PCM) به‌عنوان راه‌حلی برای واپایش دمای داخل خودرو و کاهش وابستگی به سامانه تهویه مطبوع بررسی شده است. افزایش دما در داخل خودرو، به‌ویژه در ساعات روز (بین ساعت ۱۲ ظهر تا ۲:۳۰ بعدازظهر)، موجب کاهش راحتی سرنشینان و حتی تهدید سلامت آن‌ها می‌شود. برای مقابله با این مشکل، استفاده از سامانه تهویه مطبوع ضروری است، ولی این سامانه‌ها مصرف سوخت را افزایش داده و مشکل‌های زیست‌محیطی به‌دنبال دارند. به همین دلیل، استفاده از ماده تغییرفازدهنده به‌عنوان جایگزینی برای سامانه تهویه مطبوع پیشنهاد شده است.

مواد تغییرفازدهنده طی فرایند ذوب، انرژی گرمایی را جذب کرده و در طی فرایند انجماد این انرژی را آزاد می‌کنند. برای بهره‌برداری مؤثر از این مواد در ذخیره‌سازی انرژی گرمایی، آن‌ها باید ویژگی گرمایی، فیزیکی، شیمیایی و اقتصادی بهینه‌ای داشته باشند. یکی از ویژگی‌های مهم PCMها این است که در یک گستره دمایی مشخص تغییر فاز می‌دهند. این ویژگی موجب می‌شود که با افزایش دمای محیط، PCMها تا رسیدن به نقطه ذوب خود گرم شوند و پس از آن، دما ثابت باقی بماند، حتی با وجود ادامه افزایش دما، زیرا در حال تغییر فاز هستند و در برابر افزایش دما مقاومت می‌کنند. با این حال، یکی از چالش‌های عمده در استفاده از PCMها، رسانایی گرمایی و ظرفیت گرمایی پایین آن‌هاست. برای بهبود این ویژگی‌ها، افزودن نانومواد به PCMها راه‌حل مؤثری است. برای نمونه، افزودن هیدروکسیدهای فلزی مانند منیزیم هیدروکسید، آلومینیم تری‌هیدرات و سیلیکون اکسید به مواد تغییرفازدهنده‌ای مانند پارافین، می‌تواند ظرفیت گرمایی پارافین

حرکت به سمت یک جامعه پایدار داشته باشد. باوجود پژوهش‌های زیاد انجام‌شده در زمینه مدیریت زنجیره تأمین پایدار، مقاله‌های مروری بسیار محدودی وجود دارند که به‌طورجامع جدیدترین پژوهش‌ها در صنعت خودروسازی را بررسی کنند. برای پوشش این شکاف، معصومی و همکارانش [۴۳]، به بررسی ادبیات مدیریت زنجیره تأمین پایدار در صنعت خودرو بین سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ می‌پردازد. یک مرور سامانمند و تجزیه و تحلیل محتوایی برای جمع‌آوری مطالعه‌ها و تجزیه و تحلیل محتوای آن‌ها انجام شد. تجزیه و تحلیل محتوا برپایه مجموعه‌ای از فرایندهای کلیدی کسب‌وکار به‌دنبال روش تابع تعریف مجموعه (IDEF^۱) که یک رویکرد ساختار یافته از تجزیه و تحلیل فرایندهای کسب‌وکار است، استفاده شد.

در پژوهشی دیگر، مطالعه جامع راهبردهای رقابتی اخیر صنعت خودروسازی جهانی با طبقه‌بندی برحسب کشورها، خودروسازان و پژوهشگران صورت پذیرفت [۴۴]. در مجموع، ۵۴ پژوهش مرتبط از مجله‌ها و پایگاه‌های داده متفاوت در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ با جستجوی واژه‌های «رقابتی» و «خودرو» برای به‌روزترین بررسی‌ها، انتخاب شده‌اند. برپایه یافته‌ها، در مجموع ۱۳۳ راهبرد رقابتی وجود دارد. برپایه بررسی و تجزیه و تحلیل ادبیات موضوع، هر سه دسته کشورها، خودروسازان و پژوهشگران، از توسعه فرآورده جدید (NPD^۲) به‌عنوان یک راهبرد رقابتی استفاده می‌کنند.

در حال حاضر سیاست‌ها و اقدامات جدید در سطح جهان به‌طورگسترده برای تشویق استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌کارگرفته می‌شود، ولی هنوز یافتن سازوکار مناسب حمایت از توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر دشوار است، چراکه فناوری‌ها و هزینه‌ها در حال تحول هستند. پژوهش دیگر [۴۵] با هدف مطالعه وضعیت موجود و پیش‌بینی آینده انرژی تجدیدپذیر در بخش‌های متفاوت مانند صنعت، خودرو، تولید برق و همچنین،

1. Integration definition function (IDEF)

2. New product development (NPD)

3. Phase-change materials (PCM)

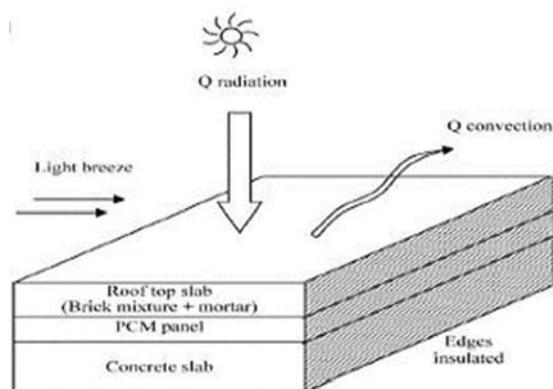
پایداری شیمیایی و فیزیکی (برای افزایش طول عمر ماده) و هزینه و دسترسی آسان باید در نظر گرفته شوند. انتخاب مواد تغییرفازدهنده برپایه ویژگی‌هایی مانند نقطه ذوب، گرمای نهان و پایداری شیمیایی بلند مدت انجام می‌شود که این ویژگی به‌طور مستقیم به ساختار مولکولی مواد مرتبط است [۴۸].

استفاده از مواد تغییرفازدهنده (PCM) در دستگاه‌های تهویه خودروها می‌تواند به‌طور مؤثری دمای داخلی خودرو را واپایش کند و نیاز به دستگاه‌های تهویه مطبوع را کاهش دهد. این امر نه تنها راحتی سرنشینان را حفظ می‌کند، بلکه به کاهش مصرف سوخت و آلودگی زیست‌محیطی نیز کمک می‌کند [۴۹]. در خودروها، تابش خورشید بیشتر بر روی پوشش بالای خودرو وارد می‌شود که موجب افزایش دما و کاهش راحتی گرمای سرنشینان می‌شود. به‌منظور کاهش این مشکل، به‌طور معمول از سامانه تهویه مطبوع برای استخراج گرما استفاده می‌شود. ولی این سامانه‌ها مصرف سوخت را افزایش داده و به آلودگی محیط زیست می‌انجامد. شکل ۳ چگونگی نصب مواد تغییرفازدهنده (PCM) در سقف یک ساختمان را نشان می‌دهد. در این سامانه، PCM‌ها به‌عنوان ذخیره‌کننده گرما عمل و انرژی تابشی خورشید را جذب می‌کنند. سپس، در هنگام شب یا کاهش دما، این گرما به محیط داخلی منتقل می‌شود. این فناوری می‌تواند برای استفاده در خودروها، به‌ویژه در سقف یا بدنه خودروها مشابه‌سازی شود. صفحه‌های PCM در خودرو می‌توانند گرمای تابشی خورشید را در طول روز جذب و در شب یا زمانی که دما کاهش می‌یابد، این انرژی ذخیره‌شده را به داخل خودرو منتقل کنند و در نتیجه نیاز به استفاده پیوسته از سامانه تهویه مطبوع خودرو کاهش می‌یابد. این سامانه PCM در خودروها همچنین، می‌تواند به کاهش مصرف سوخت و کاهش آلودگی زیست‌محیطی کمک کند، به‌ویژه زمانی که خودرو در معرض تابش خورشید قرار دارد [۵۰].

را افزایش داده و در عین حال از خطر آتش‌سوزی ناشی از آن جلوگیری کند، چرا که پارافین یک ماده اشتعال‌پذیر است [۴۶]. در فرایند تغییر فاز، انتقال انرژی گرمایی منجر به افزایش انرژی جنبشی مولکول‌های پارافین می‌شود. با رسیدن به دمای ذوب، ساختار بلوری بدون افزایش دما شکسته می‌شود. این فرایند یکی از ویژگی‌های خاص مواد تغییرفازدهنده است که در آن انرژی در طول انتقال فاز جذب یا آزاد می‌شود [۴۷].

ماده تغییرفازدهنده یک ماده ذخیره‌کننده گرمای نهان است که در هنگام تغییر فاز، انرژی گرمایی را جذب یا آزاد می‌کند. این مواد می‌توانند دمای خود را در طی فرایند تغییر فاز به‌طور تقریبی ثابت نگه‌دارند و قادرند ۵ تا ۱۴ برابر بیشتر از مواد معمولی مانند آب، گرما ذخیره کنند. مواد آلی PCM به‌طور کلی به دو گروه پارافین و غیرپارافین تقسیم می‌شوند. پارافین‌ها ترکیبی از آلکن‌های زنجیره‌ای مستقیم هستند که در هنگام ذوب و انجماد مقادیر زیادی گرمای نهان آزاد می‌کنند. این مواد از نظر شیمیایی ویژگی مناسبی دارند، ولی از نظر ویژگی‌های گرمایی نسبت به مواد غیرپارافین ضعیف‌ترند. از طرف دیگر، مواد غیرپارافین شامل چربی‌های اشباع و اسیدهای چرب هستند که گرمای نهان بالایی دارند و از نظر گرمایی بسیار کارآمد هستند، ولی هزینه بالای آن‌ها (۲ تا ۲/۵ برابر بیشتر از پارافین‌ها) یکی از محدودیت‌های استفاده از این مواد است. مواد معدنی PCM به دو گروه هیدرات‌های نمکی و فلزها تقسیم می‌شوند. هیدرات‌های نمکی ترکیبی از نمک‌های معدنی و آب هستند که در فرایندهای تغییرفازدهنده خود انرژی زیادی ذخیره و آزاد می‌کنند. این مواد از نظر ویژگی گرمایی عملکرد خوبی دارند، ولی در زمینه پایداری شیمیایی ضعیف‌تر از مواد آلی هستند. فلزها نیز رسانندگی گرمایی بالایی دارند، ولی به‌دلیل وزن زیاد و هزینه بالا، برای استفاده در دستگاه‌های PCM مناسب نیستند. به‌منظور انتخاب PCM مناسب برای دستگاه‌های گرمایی خودرو، ویژگی‌هایی مانند گرمای نهان بالا (برای کاهش ابعاد سامانه ذخیره‌سازی)، رسانندگی گرمایی بالا،

صنعتی و پژوهش‌هایی مانند الکترونیک، مواد چندسازه‌ای، ذخیره انرژی، و نانوفناوری استفاده می‌شوند. برای دستیابی به پیوند مؤثر با بستر بسیار، نانومواد تحت عملیات اصلاح شیمیایی با نیتریک و سولفوریک اسید قرار می‌گیرند که منجر به وارد شدن گروه‌های عاملی مانند کربوکسیلیک و هیدروکسیل به ساختار آن‌ها می‌شود. این گروه‌ها توانایی تشکیل پیوندهای کووالانسی یا هیدروژنی با گروه‌های آمینی یا هیدروکسیلی موجود در ساختار بسیار یا PCM را دارند که موجب افزایش یکنواختی، رسانندگی گرمایی و پایداری مکانیکی نانوجندسازه می‌شود. کاربرد این مواد در اجزای داخلی خودرو مانند صندلی‌ها، داشبورد و سقف، با هدف کاهش نوسان‌های گرمایی و بهبود آسایش گرمایی سرنشینان صورت می‌گیرد. داده‌های تجربی به دست آمده از تحلیل گرمایی صندلی خودرو با و بدون استفاده از PCM نشان می‌دهد که وجود این مواد موجب محدود شدن نوسان‌های دمایی و حفظ دما در بازه‌ای بهینه می‌شود. این تفاوت به‌طور دقیق در گستره دمایی صندلی خودرو با PCM و بدون PCM مقایسه شد که دمای سطح صندلی مجهز به PCM در معرض تابش گرمایی یا دمای محیط بالا، افزایش شدیدی ندارد، در حالی که در غیاب PCM، افزایش دما محسوس و ناگهانی است. این تفاوت عملکرد به‌طور مستقیم ناشی از واکنش‌های گرماگیر تغییر فاز ماده و ذخیره انرژی در ساختار مولکولی آن است. بنابراین، به‌کارگیری PCM در خودرو نه تنها یک راهکار فنی-مهندسی است، بلکه مبتنی بر اصول دقیق شیمی مولکولی، شیمی سطح و طراحی نانوجندسازه‌های پایدار است. این تلفیق میان دانش شیمی و فناوری خودرو، زمینه‌ساز توسعه نسل جدیدی از سامانه‌های هوشمند و آسایش گرمایی با عملکرد پایدار و بازده بالا در صنعت حمل‌ونقل خواهد بود [۵۰]. نتیجه‌های آزمایش‌ها نشان داده است که افزودن نانوذره‌های متفاوت به PCM می‌تواند ظرفیت ذخیره‌سازی گرمایی را بهبود بخشد. برای مثال، افزودن تنها ۰/۳ درصد وزنی MXene به پارافین PW70 موجب افزایش ۴۳ درصدی



شکل ۳ نصب مواد تغییر فاز دهنده (PCM) در سقف [۵۰]

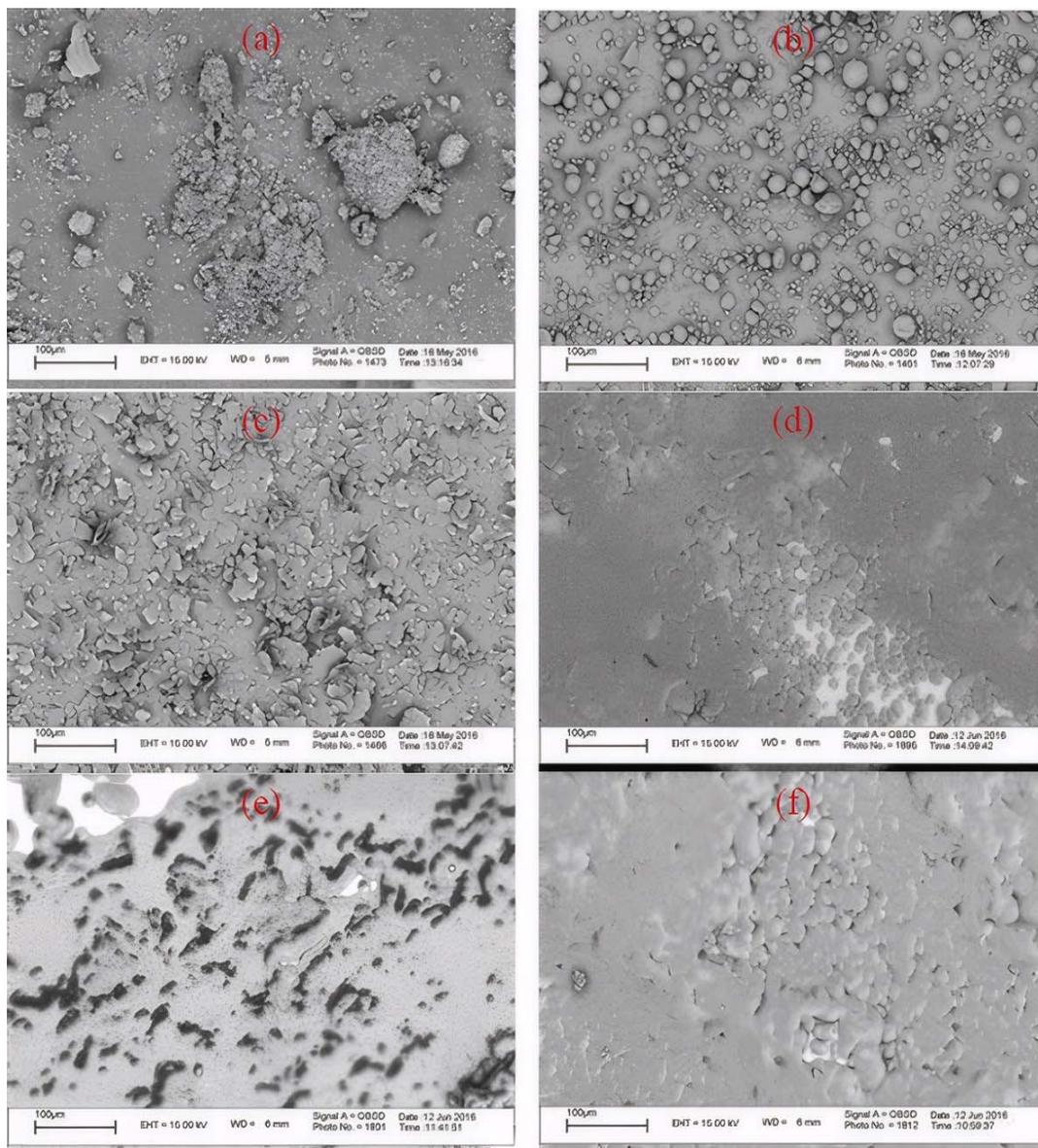
استفاده از PCM در سامانه‌های گرمایی خودرو، بر پایه مفاهیم بنیادی علم شیمی، به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای مدیریت گرما در محیط‌های متغیر گرمایی مطرح شده است. این مواد، که بیشتر از ترکیب‌های آلی مانند پارافین‌ها، پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) و اسیدهای چرب تشکیل شده‌اند، به دلیل ساختار شیمیایی ویژه خود، توانایی جذب و آزادسازی گرمای نهان در فرایند تغییر فاز را دارند. این ویژگی به‌طور مستقیم به ماهیت پیوندهای مولکولی، پایداری ساختاری، و رفتار فازی وابسته است که از مباحث اصلی در شیمی فیزیک و شیمی آلی به حساب می‌آید. در طراحی این سامانه‌ها، انتخاب مواد تغییر فاز دهنده مناسب مستلزم بررسی دقیق ویژگی شیمیایی از جمله نقطه ذوب، گرمای نهان، پایداری در برابر اکسایش، و سازگاری شیمیایی با اجزای دیگر خودرو است. برای بهبود عملکرد گرمایی و ساختاری، این مواد بیشتر با نانوذره‌های کربنی مانند نانولوله‌های کربنی چنددیواره ترکیب می‌شوند. این نانولوله‌های کربنی چنددیواره نوعی از نانولوله‌های کربنی هستند که از چندین لایه گرافنی تشکیل شده‌اند که به صورت کنسانتره‌ای و به هم پیوسته درون یکدیگر قرار دارند و به دلیل ویژگی‌های بی‌همتایی که دارند، از جمله استحکام بالا، رسانندگی الکتریکی و گرمایی عالی، در بسیاری از کاربردهای

کردند و نانوذره‌های اکسید فلزی (Al_2O_3 , CuO , TiO_2) و گرافن اکسید) را برای تشکیل نانوجندسازها به آن افزودند. سدیم دودسیل سولفات (SDS) به‌عنوان یک ماده سطح‌فعال برای جلوگیری از تجمع نانوذره‌ها در پارافین استفاده شد. نانوجندسازها با مخلوط کردن نانوذره‌ها، مخلوط پایه و SDS در یک حمام فراصوت به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای بالاتر از نقطه ذوب پارافین سنتز شدند. سپس، مخلوط تا دمای محفظه خنک شد تا نانوجندساز جامد شود. یک فن هوای خنک‌کننده ایجاد کرد و منطقه انجماد و گستره دما را تنظیم کرد. نتیجه‌ها نشان داد که افزودن نانوذره‌ها موجب افزایش رسانندگی گرمایی و پایداری نانوجندسازها می‌شود. بیشترین گرمای نهان در نانوجندساز با ۲ درصدوزنی Al_2O_3 و بیشترین افزایش رسانندگی گرمایی در نانوجندساز با ۳ درصدوزنی گرافن ثبت شد. همچنین، نتیجه‌ها نشان داد که انتخاب نانوجندساز مناسب به نوع و درصدوزنی نانوذره‌های مورد استفاده بستگی دارد. این نانوجندسازهای PCM را می‌توان برای مدیریت گرمایی در سامانه‌های متفاوت استفاده کرد. در مطالعه‌ای مشابه، حقیقی و همکارانش نیز به بررسی نانوجندسازهای پارافینی تقویت‌شده با CuO ، Al_2O_3 ، TiO_2 و گرافن پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که نانوجندساز حاوی ۲ درصد TiO_2 بیشترین ظرفیت ذخیره گرما را (با آنتالپی 179.88 J/g) و نمونه ۳ درصد گرافن بیشترین رسانندگی گرمایی را از خود نشان داد. همچنین، تصویرهای SEM ارائه‌شده در این پژوهش، توزیع یکنواخت نانوذره‌ها در PCM را تأیید می‌کند که نقش کلیدی در بهبود عملکرد گرمایی ایفا می‌کند. برای بررسی ساختار میکروسکوپی و چگونگی پراکندگی نانوذره‌ها در نانوجندسازهای PCM، از تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. شکل ۴ تصویری از نانوذره‌های خالص CuO ، Al_2O_3 و گرافن را در کنار سه نمونه نانوجندساز پارافینی حاوی این نانوذره‌ها نشان می‌دهد.

در ظرفیت ذخیره گرما شد. همچنین، ترکیب گرافن-نقره و n-HBN به ترتیب موجب افزایش ۴۰ و ۱۸۰ درصدی در ظرفیت گرمایی شدند. نانوجندسازهای حاوی اکسید منیزیم و آلومینا نیز تأثیرهای مثبتی بر ظرفیت گرمایی و آنتالپی ذوب داشتند. این نانوجندسازها نه تنها موجب افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی گرما شدند، بلکه عملکرد گرمایی آن‌ها نیز بهبود یافت. برای مثال، PW70/MXene پایداری گرمایی بهتری داشته و دمای تجزیه آن به ۳۸۴ درجه سلسیوس افزایش یافت. در نتیجه، افزودن نانوذره‌ها به PCM‌ها موجب افزایش چشمگیری در عملکرد گرمایی و پایداری این مواد می‌شود و آن‌ها را برای کاربرد در سامانه‌های ذخیره‌سازی گرمای انرژی، به‌ویژه در حمل‌ونقل و خودروهای الکتریکی، مناسب‌تر می‌کند [۵۱].

استفاده از نانوجندساز

ارسو^۱ و همکارانش مطالعه‌ای انجام دادند که در آن مدل فیزیکی یک کانال مستطیلی از آب به‌عنوان سیال انتقال گرما که با کانال‌های PCM در بالا و پایین احاطه شده بود، به‌کارگرفته شد. این مطالعه بر تأثیر جابه‌جایی آزاد در نیمه بالایی مدل فیزیکی متقارن، متمرکز بود. PCM‌های مورد استفاده در این مطالعه موم پارافین، موم پارافین با آلومینا (Al_2O_3) و مس اکسید (CuO) در ساختارهای متفاوت (۱-۵٪ حجمی) بودند. نتیجه‌ها نشان داد که نانومواد تغییرفازدهنده رسانندگی گرمایی بالاتری نسبت به مواد تغییرفازدهنده ساده و در نتیجه سرعت انتقال گرما بالاتری داشتند. همچنین، مشاهده شد که افزایش گرانروی دینامیکی برای نانوذره‌های CuO نسبت به نانوذره‌های Al_2O_3 در موم پارافین بسیار زیاد است [۵۲]. اروما و لازاتا^۲ [۵۳] نشان دادند که موم پارافین جاسازی‌شده در یک ظرف مستطیلی با Al_2O_3 ، CuO و ZnO گرما را بهتر جذب می‌کند. باباپور و کریمی [۵۴] مخلوطی از موم‌های پارافین جامد-مایع به‌عنوان یک ترکیب پایه استفاده



شکل ۴ تصویرهای SEM نانوذره‌ها و نانوجندسازهای پارافینی: نانوذره خالص مس اکسید (a)، نانوذره خالص آلومینا (b)، نانوذره خالص گرافن (c)، نانوجندسازه پارافین حاوی ۳ درصد وزنی تیتانیم اکسید (d)، نانوجندسازه پارافین حاوی ۱ درصد وزنی آلومینا (e)، نانوجندسازه پارافین حاوی ۲ درصد وزنی مس اکسید (f) [۵۶]

به‌طورعمده به‌صورت ذره‌های کروی و مجتمع پدیدار شده‌اند. در نانوجندسازها، توزیع نانوذره‌ها در زمینه پارافینی به‌صورت

همان‌گونه که در تصاویر مشخص است، ذره‌های گرافن ساختار ورقه‌ای و گسترده دارند و نانوذره‌های فلزی (CuO و Al_2O_3)

ترموفیزیکی PCMها را تغییر می‌دهد و همچنین، عملکرد ماژول‌های باتری ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد. شکل ۵ تغییر دما را در یک ماژول برای درصد نانوذره‌های متفاوت، نشان می‌دهد. در ۱۰۰ ثانیه اول پس از شارژ PCM، نانوذره‌های تأثیر قابل توجهی بر دمای ماژول نداشتند. PCM جامد می‌تواند به‌عنوان یک جاذب گرما عمل کند. پس از ۱۰۰ ثانیه کارکرد باتری، جذب گرما PCM با افزودن نانوذره‌ها افزایش یافت و به‌طور مؤثر دمای سلول را از راه افزایش جذب گرما کاهش داد.

نتیجه‌گیری

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در صنعت خودرو می‌تواند به کاهش مصرف سوخت فسیلی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی کمک کند. همچنین، فناوری‌هایی همچون مواد تغییرفازدهنده در واپایش دمای خودروها می‌تواند به کاهش نیاز به دستگاه‌های تهویه مطبوع و کاهش مصرف انرژی کمک کنند. با توجه به تغییرهای جهانی در سیاست‌های زیست‌محیطی و تقاضای رو به افزایش برای حمل‌ونقل پایدار، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در صنعت خودرو به‌ویژه در فرایندهای تولید و طراحی خودروها، نقش مهمی در آینده این صنعت خواهد داشت.

در این پژوهش، مروری بر کارهای نوین و نگرش‌های مدرن مرتبط با انرژی‌های نو در صنعت خودرو ارائه شد. در حقیقت، به‌دلیل وجود الزامات و تعهدنامه‌های اخیر در مورد محیط‌زیست سالم، شرکت‌ها و کارخانه‌های تولیدی در اقصی نقاط جهان ملزم به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای شده‌اند. برای رایج‌شدن استفاده از این نوع انرژی‌ها در بین کاربران، فرهنگ‌سازی در سطح وسیع در جوامع نیاز است که خوشبختانه پس از جهانگیری کرونا، مردم، فعالان صنعتی و سیاستمداران، نتیجه‌های محسوس از کاهش آلودگی هوا در اثر قرنطینه را لمس کردند. همچنین، در این پژوهش، انواع زیادی از زنجیره

یکنواخت مشاهده می‌شود که بیانگر موفقیت فرایند سنتز و پایداری فیزیکی مناسب ترکیب‌ها است. چنین توزیعی موجب می‌شود که شبکه‌ای مؤثر برای انتقال گرما درون ساختار PCM شکل گیرد و در نتیجه رسانندگی گرمایی ترکیب بهبود یابد. این تصاویر نقش مهمی در تأیید کیفیت نانوچندسازه‌های سنتز شده و تحلیل عملکرد گرمایی آن‌ها دارند [۵۶].

نانوذره‌های TiO_2 با توزیع یکنواخت در بستر پارافین و بدون ایجاد پیوند شیمیایی جدید، منجر به بهبود ویژگی‌های گرمایی از جمله رسانندگی و پایداری گرمایی نانوچندسازه شدند [۵۶].

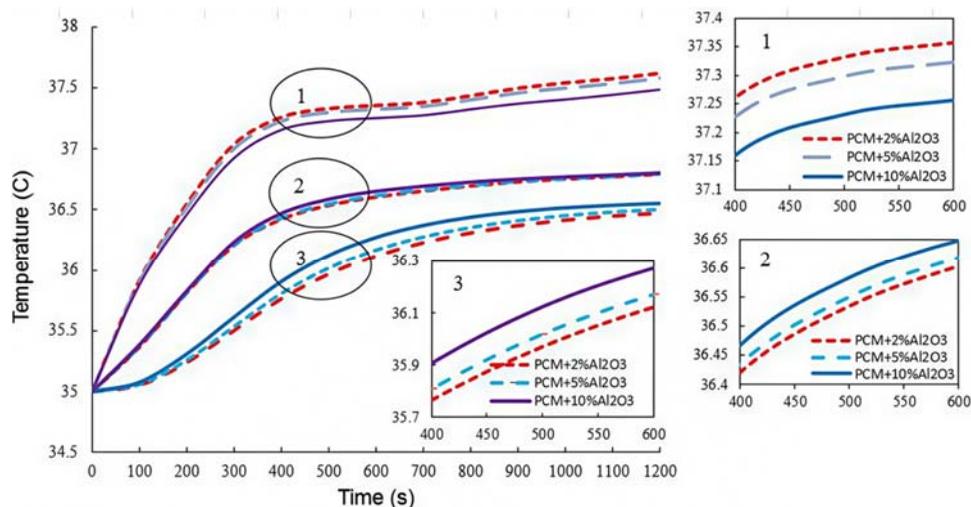
مطالعه خدادادی و حسینی زاده [۵۷ و ۵۸] نشان داد که نانوذره‌ها در PCM می‌توانند رسانندگی گرمایی را افزایش داده و انجماد را تسریع کنند. مطالعه‌های پیشین نشان داد که PCM پراکنده با نانوذره‌های انتقال گرما را بهبود می‌بخشد. با توجه به دانش نویسنده هیچ پژوهش قبلی در مورد استفاده از PCM‌های پیشرفته نانو در سامانه‌های مدیریت گرمایی باتری چندلایه وجود ندارد. اندازه کانتینرهای PCM در خودروهای برقی با وزن محدود می‌شود و پژوهش‌ها در مورد استفاده از آن‌ها در سامانه‌های خنک‌کننده باتری است [۵۹].

تقویت PCM با نانوذره‌هایی مانند اکسیدهای فلزی، گرافیت، گرافن و CNTها امکان‌پذیر است و PCM پیشرفته نانویی^۱ (NEPCM) ایجاد می‌کند. Al_2O_3 و CuO رسانندگی گرمایی خوبی دارند (به‌طورمعمول بین ۳۰ تا ۴۰ W/mK). افزودن نانوذره‌ها به PCM، رسانندگی گرمایی آن را افزایش می‌دهد و انتقال گرما را بهبود می‌بخشد. همچنین، ظرفیت گرمای نهان، چگالی و گرانروی PCM را تغییر می‌دهد. بنابراین، تأثیر آن باید در ارتباط با افزایش رسانندگی گرمایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. PCMها برپایه دمای درگیر انتخاب می‌شوند و دمای ذوب نقش مهمی ایفا می‌کند [۶۰].

جیلت^۲ و همکارانش [۶۱] با مقایسه مدیریت گرمایی بین سه نوع متفاوت PCM، آزمایشی را انجام دادند. آن‌ها از راه شبیه‌سازی نشان دادند که افزودن نانوذره‌ها، ویژگی

زیست‌محیطی ایجاد می‌کند. افزون‌براین، در سطح جهان سیاست‌ها و اقدامات جدیدی برای رواج استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در انواع زمینه‌های تولیدی و خدماتی مطرح شده‌اند که بر کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای مفید خواهند بود.

تأمین به‌عنوان راه‌حلی برای مسائل پایداری و روندهای اصلی در مدیریت انرژی بررسی شد. برپایه مطالعه‌های این پژوهش، نگارندگان دریافتند که استفاده از حمل‌ونقل مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر و روش‌های تولید پایدار، تأثیر بسزایی در شرایط



شکل ۵ عملکرد خنک‌کننده ماژول در بخش‌های متفاوت نانوذره‌ها [۶۱] (دارای مجوز از ناشر مربوط)

مراجع

- [1] Pechancová V. Renewable energy potential in the automotive sector: Czech regional case study. *J Secur Sustain Issues*. 2017;4(1):537-545. doi: [org/10.9770/jssi.2017.6.4\(1\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2017.6.4(1))
- [2] Abdullahi A, McGough D, Mateo-Garcia M. Testing innovative technologies for retrofitting: Coventry University as a living lab. *Entrep Sustain Issues*. 2017;4(3):257. doi: [org/10.9770/jesi.2017.4.3S\(2\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2017.4.3S(2))
- [3] Shafagati M, Babapoor A, Bamdezh M. Enhancing car battery energy efficiency with phase change material nanocomposites: A concise review. *J Renew Energy Environ*. 2024;11(1):74-88. doi: [org/10.30501/jree.2023.388891.1563](https://doi.org/10.30501/jree.2023.388891.1563)
- [4] Jackson J. Decarbonisation through modernisation: The UK's EV transition as a vehicle for industrial change. *Compet Change*. 2024;28(2):231-50. doi: [org/10.1177/10245294231223320](https://doi.org/10.1177/10245294231223320)
- [5] Lamb WF, Wiedmann T, Pongratz J, Andrew R, Crippa M, Olivier JG, et al. A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environ Res Lett*. 2021;16(7):073005. doi: [org/article/10.1088/1748-9326/abee4e/pdf](https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e/pdf)
- [6] Sikarwar VS, Reichert A, Jeremias M, Manovic V. COVID-19 pandemic and global carbon dioxide emissions: A first assessment. *Sci Total Environ*. 2021;794:148770. doi: [org/10.1016/j.scitotenv.2021.148770](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148770)
- [7] Fawzy S, Osman AI, Doran J, Rooney DW. Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environ Chem Lett*. 2020;18(6):2069-94. doi: [org/10.1007/s10311-020-01059-w](https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w)

- [8] Zhao X, Liu C, Yang M. The effects of environmental regulation on China's total factor productivity: An empirical study of carbon-intensive industries. *J Clean Prod.* 2018;179:325-34. **doi: org/10.1016/j.jclepro.2018.01.100**
- [9] Pichler M, Krenmayr N, Schneider E, Brand U. EU industrial policy: Between modernization and transformation of the automotive industry. *Environ Innov Soc Transit.* 2021;38:140-52. **doi: org/10.1016/j.eist.2020.12.002**
- [10] Grammelis P, Margaritis N, Dallas P, Rakopoulos D, Mavrias G. A review on management of end of life tires (ELTs) and alternative uses of textile fibers. *Energies.* 2021;14(3):571. **doi: org/10.3390/en14030571**
- [11] Proenca J, Santos L. Sustainability & Business Relationships: A Case Study Research. In: *Proceedings of the 37th Annual IMP Conference.* Cork, Ireland; 2021. p. 26-27. Available from: <https://hdl.handle.net/10216/141588>.
- [12] Farooque M, Zhang A, Thürer M, Qu T, Huisingh D. Circular supply chain management: A definition and structured literature review. *J Clean Prod.* 2019;228:882-900. **doi: org/10.1016/j.jclepro.2019.04.303**
- [13] Kalverkamp M, Young SB. In support of open-loop supply chains: Expanding the scope of environmental sustainability in reverse supply chains. *J Clean Prod.* 2019;214:573-82. **doi: org/10.1016/j.jclepro.2019.01.006**
- [14] Lemtaoui M, El Oueldrhiri S. Reverse supply chain practices in the Moroccan automotive industry: An exploratory study. In: *12th International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA).* 2019. p. 1-5. **doi: org/10.1109/LOGISTIQUA.2019.8907276**
- [15] Son D, Kim S, Park H, Jeong B. Closed-loop supply chain planning model of rare metals. *Sustainability.* 2018;10(4):1061. **doi: org/10.3390/su10041061**
- [16] El Baz J, Frei R, Laguir I. Reverse supply chain practices in developing countries: The case of Morocco. *J Manuf Technol Manag.* 2017. **doi: org/10.1108/JMTM-04-2017-0068**
- [17] Özbek M. The impact of robotic process automation on productivity in the automotive sector [dissertation]. [Bilecik]: Bilecik Şeyh Edebali University; 2024.
- [18] Haghghi A, Babapoor A. The use of renewable energy as an effective way to reduce environmental pollution. *J Renew New Energy.* 2018;5(1):41-51. **doi: 20.1001.1.24234931.1397.5.1.6.9**
- [19] Capuano L. *Annual Energy Outlook 2019.* Washington, DC: U.S. Energy Information Administration. 2019.
- [20] Kazemi Fard S, Naji L, Afshar Taremi A. A review of the role of renewable energy sources in sustainable development. *J Renew New Energy.* 2017;4(1):34-43. **doi: 20.1001 .1.2 4234931.1396.4.1.6.2**
- [21] Peiró-Signes A, Payá-Martínez A, Segarra-Oña MV, de-Miguel-Molina M. What is influencing the sustainable attitude of the automobile industry? In: *Golinska P, editor. Environmental issues in automotive industry.* Poland: Springer; 2014. p. 47-63. **doi: org/10 .1007/978-3-642-23837-6_3**
- [22] García-Olivares A, Solé J, Osychenko O. Transportation in a 100% renewable energy system. *Energy Convers Manag.* 2018;158:266-85. **doi: org/10.1016/j.enconman.2017.12.053**
- [23] Usman FO, Ani EC, Ebirim W, Montero DJ, Olu-lawal KA, Ninduwezuor-Ehiobu N. Integrating renewable energy solutions in the manufacturing industry: Challenges and opportunities: A review. *Eng Sci Technol J.* 2024;5(3):674-703. **doi: org/10.51594/estj.v5i3.865**
- [24] García-Olivares A, Ballabrera-Poy J, García-Ladona E, Turiel A. A global renewable mix with proven technologies and common materials. *Energy Policy.* 2012;41:561-74. **doi: org/10.1016/j.enpol.2011.11.018**
- [25] Sgouridis S, Csala D, Bardi U. The sower's way: Quantifying the narrowing net-energy pathways to a global energy transition.

- Environ Res Lett. 2016;11(9):094009. doi:org/10.1088/1748-9326/11/9/094009.
- [26] Heggelund GM. China's climate and energy policy: At a turning point? Int Environ Agreem. 2021;21(1):9-23. doi: org/10.1007/s10784-021-09528-5
- [27] Van de Graaf T. International energy agency. In: Sperling J, editor. Handbook of governance and security. UK: Edward Elgar Publishing; 2014. p. 489-503.
- [28] García-Olivares A. Substitutability of electricity and renewable materials for fossil fuels in a post-carbon economy. Energies. 2015;8(12):13308-43. doi: org/10.3390/en 81212371
- [29] Swenson R. The solarevolution: Much more with way less, right now—the disruptive shift to renewables. Energies. 2016;9(9):676. doi: org/10.3390/en9090676
- [30] Teter J, Cazzola P, Gul T, Mulholland E, Le Feuvre P, Bennett S, et al. The future of trucks: Implications for energy and the environment. Parise: IEA; 2017. doi: 10.1787/9789264279452-en
- [31] Teske S, Pregger T, Simon S, Naegler T, Grijns-Graus WHJ, Lins C. Energy [R]evolution 2010-A sustainable world energy outlook. Energy Efficiency. 2011;4:409-433. doi: 10.1007/s12053-010-9098-y
- [32] Schwanen T. Achieving just transitions to low-carbon urban mobility. Nat Energy. 2021;6(7):685-7. doi: org/10.1038/s41560-021-00856-z
- [33] Villamil C, Nylander J, Hallstedt SI, Schulte J, Watz M. Additive manufacturing from a strategic sustainability perspective. In: Marjanović D, Štorga M, Škec S, Bojčetić N, Pavković N, editors. DS 92: Proceedings of the 15th International Design Conference-DESIGN 2018. 2018:1381-92. doi: org/ 10.21278/idc.2018.0353.
- [34] Jiang J, Xiong Y, Zhang Z, Rosen DW. Machine learning integrated design for additive manufacturing. J Intell Manuf. 2020;33(4):1073-1086 doi: org/10.1007/ s108 45-020-01715-6
- [35] Javaid M, Haleem A, Singh RP, Suman R, Rab S. Role of additive manufacturing applications towards environmental sustainability. Adv Ind Eng Polym Res. 2021;4(4):312-22. doi: org/10.1016/j.aiepr. 2021.07.005
- [36] Zhou T, Liu J, Liu J, Ren J, Ding S, Yang S. Energy-exergy-economic-environmental (4E) analysis and multi-objective optimization of a cascade LiBr/H₂O refrigeration and Organic Rankine cycle integrated system for power generation. Appl Therm Eng. 2023;225:120142. doi: org/10.1016/j. applthermaleng.2023.120142
- [37] Shin H, Ellinger AE, Nolan HH, DeCoster TD, Lane F. An assessment of the association between renewable energy utilization and firm financial performance. J Bus Ethics. 2018;151(4):1121-38. doi: org/10.1007/s 105 51-016-3249-9
- [38] Andrade JCS, Puppim de Oliveira JA. The role of the private sector in global climate and energy governance. J Bus Ethics. 2015;130(2):375-87. doi: org/10.1007/s 105 51-014-2235-3
- [39] Mayyas A, Qattawi A, Omar M, Shan D. Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review. Renew Sustain Energy Rev. 2012;16(4):1845-62. doi: org/10.1016/j.rser.2012.01.012
- [40] BMW. Sustainable Value Report 2001/2002. Environment, Economy, Social Responsibility: Meeting the Future. BMW Munich; 2002.
- [41] Wang Z, Subramanian N, Gunasekaran A, Abdulrahman MD, Liu C. Composite sustainable manufacturing practice and performance framework: Chinese auto-parts suppliers' perspective. Int J Prod Econ. 2015;170:219-33. doi: org/10.1016/j.ijpe. 20 15.09.035.
- [42] Keddari N, Kherbachi S, Benkhider N. Supporting sustainable manufacturing practices implementation using design structure matrix in the Algerian economy. 2021;10:12-14. doi: org/10.35199/dsm 202 1.10

- [43] Masoumi SM, Kazemi N, Abdul-Rashid SH. Sustainable supply chain management in the automotive industry: A process-oriented review. *Sustainability*. 2019;11(14):3945. doi: [org/10.3390/su11143945](https://doi.org/10.3390/su11143945)
- [44] Nazir NM, Shavarebi K. A review of global automotive industry's competitive strategies. *World J Sci Technol Sustain Dev*. 2019;11(14):3945. doi: [org/10.3390/su11143945](https://doi.org/10.3390/su11143945)
- [45] Deshmukh MK, Sameeruddin M, Abdul D, Sattar MA. Renewable energy in the 21st century: A review. *Mater Today Proc*. 2021. doi: [org/10.1016/j.matpr.2021.05.501](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.501)
- [46] Ryms M, Denda H, Jaskuła P. Thermal stabilization and permanent deformation resistance of LWA/PCM-modified asphalt road surfaces. *Constr Build Mater*. 2017;142:328-41. doi: [org/10.1016/j.conbuilmat.2017.03.050](https://doi.org/10.1016/j.conbuilmat.2017.03.050)
- [47] Wang J, Li Y, Zheng D, Mikulčić H, Vujanović M, Sundén B. Preparation and thermophysical property analysis of nanocomposite phase change materials for energy storage. *Renew Sustain Energy Rev*. 2021;151:111541. doi: [org/10.1016/j.rser.2021.111541](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111541)
- [48] Gajević S, Stojanovic B, Ivanovic L, Miladinović S, Milojević S. Application of nanocomposites in the automotive industry. *J Name*. 2018;45(3):51-64. doi: [org/10.24874/mvm.2019.45.03.05](https://doi.org/10.24874/mvm.2019.45.03.05)
- [49] Kannan PCD, Palaniradja K. Review on phase change material to maintain the human comfort inside the car. *IOSR J Mech Civ Eng*. 2015;12(4):27-29. doi: [org/10.9790/1684-12422729](https://doi.org/10.9790/1684-12422729)
- [50] Patel D, Manjrawala PB, Khunt UB, Savaliya DR. Phase change material (PCM) in automotive climate control system. *Int J Res Eng Sci Manag*. 2021;4(11):11-18. Available from: <https://journal.ijresm.com/index.php/ijresm/article/view/1486>
- [51] Aslfattahi N. Development of novel phase change material (PCM)-based nanocomposites using emerging nanomaterials for energy storage applications [dissertation]. [Malaya]: University of Malaya; 2021.
- [52] Doty S, Turner WC. *Energy management handbook*, Fifth edition. Switzerland: Taylor & Francis, 2004.
- [53] Arasu A, Sasmito A, Mujumdar A. Thermal performance enhancement of paraffin wax with Al₂O₃ and CuO nanoparticles—A numerical study. *Front Heat Mass Transf*. 2012;2(4):1-7. doi: [org/10.5098/hmt.v2.4.3005](https://doi.org/10.5098/hmt.v2.4.3005)
- [54] Yanuar F. The health status model in urban and rural society in West Sumatra, Indonesia: An approach of structural equation modeling. *Indian J Sci Technol*. 2016;9(8):1-8. doi: [org/10.17485/ijst/2016/v9i4/72601](https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i4/72601)
- [55] Babapoor A, Haghghi AR, Jokar SM, Ahmadi Mezjin M. The performance enhancement of paraffin as a PCM during the solidification process: Utilization of graphene and metal oxide nanoparticles. *Iran J Chem Chem Eng*. 2022;41(1):37-48. doi: [org/10.30492/ijcce.2020.127799.4135](https://doi.org/10.30492/ijcce.2020.127799.4135)
- [56] Haghghi A, Babapoor A, Azizi M, Javanshir Z, Ghasemzade H. Optimization of the thermal performance of PCM nanocomposites. *J Energy Manag Technol*. 2020;4(2):14-19. doi: [org/10.22109/jemt.2019.152458.1134](https://doi.org/10.22109/jemt.2019.152458.1134)
- [57] Maleki H, Howard JN. Effects of overdischarge on performance and thermal stability of a Li-ion cell. *J Power Sources*. 2006;160(2):1395-402. doi: [org/10.1016/j.jpowsour.2006.03.043](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.03.043)
- [58] Khodadadi JM, Hosseinizadeh SF. Nanoparticle-enhanced phase change materials (NEPCM) with great potential for improved thermal energy storage. *Int Commun Heat Mass Transf*. 2007;34(5):534-43. doi: [org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2007.02.005](https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2007.02.005)
- [59] Babapoor A, Karimi G, Khorram M. Fabrication and characterization of nanofiber-nanoparticle-composites with phase change materials by electrospinning. *Appl Therm Eng*. 2016;99:1225-35. doi: [org/10.1016/j.applthermaleng.2016.02.026](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.02.026)

[60] Bahari M, Najafi B, Babapoor A. Evaluation of α - Al_2O_3 -PW nanocomposites for thermal energy storage in the agro-products solar dryer. J Energy Storage. 2020;28:101181. doi: [org/10.1016/j.est.2019.101181](https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101181)

[61] Jilte R, Afzal A, Panchal S. A novel battery thermal management system using nano-enhanced phase change materials. Energy. 2021;219:119564. doi: [org/10.1016/j.energy.2020.119564](https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119564).

A new development in the automotive industry using nanocomposite phase-change materials

A. Masoumi, A. Babapoor, M. Shafagati, F. Soleymani, K. Ghadimi, M. Golgoon

1. MSc Student, Chemical Engineering, Science and Technology, Tehran, Iran.
2. Professor of Department of Chemical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili (UMA), Ardabil, Iran.
3. PhD Student of Department of Chemical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili (UMA), Ardabil, Iran.
4. Chemical Engineer in Department of Chemical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili (UMA), Ardabil, Iran.

Abstract: With the emergence of modern innovations in renewable energies, as well as government and social pressures and requirements on companies and industries to reduce CO₂ emissions and adopt appropriate environmental behaviors, companies and industries are forced to make changes in their policies in this regard. In particular, companies in the automotive sector have begun to implement sustainable and renewable energy production methods. This article examines the use of renewable energies in the automotive industry and its challenges and opportunities. Given the global developments in the field of sustainability and reducing negative environmental impacts, the automotive industry has moved towards the use of clean and renewable energy sources. The article studies sustainable production processes, the impact of government policies and environmental requirements on changes in the automotive industry, and the use of phase-change materials (PCM) to reduce energy consumption in vehicles. It also examines the importance of sustainable supply chain management and its role in reducing greenhouse gas emissions and improving the environmental performance of the automotive industry. One of the new solutions in the field of phase-change materials is the use of phase-change composites and nanocomposites. Adding materials to phase changers can improve thermal performance in energy storage.

Keywords: Renewable energy, Automotive industry, Green transportation systems, Nanocomposites.