دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال پنجم، شماره‌ی ۱۹
تابستان ۱۳۹۳، صفحات ۳۲-۲۱

مروری بر کاربرد مواد تغییر فازدهنده در کنترل دمایی انواع باتری

محمد مهدی عزیزی
شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز
عزیز باباپور
اهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، گروه مهندسی شیمی
رضا پیشکارآذری
اهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، گروه مهندسی شیمی
Reza.azari2012@yahoo.com
آراز حسین اسدی
اهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، گروه مهندسی شیمی

چکیده

با توجه به رشد روزافزون تکنولوژی، نیاز به استفاده از باتری روزبه‌روز افزایش می‌یابد. تامین انرژی به صورت آسان و مطلوب برای توسعه وسایل الکترونیک قابل حمل ضرورت مهم و انکارناپذیر است. این ضرورت تا به حدی است که می‌توان باتری را قلب وسایل الکترونیک قابل حمل دانست، امروزه با توجه به کاربردهای فراوان و روبه‌رشد باتری به‌عنوان منبع تامین انرژی در تجهیزاتی مانند تلفن همراه، لپ‌تاپ و خودروهای الکتریکی، مساله مدیریت گرمای تولیدی در باتری به هنگام دشارژ، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. دما یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر روی عمل‌کرد و طول عمر باتری است. مدیریت حرارتی در باتری بر روی عمل‌کرد و طول عمر باتری از روش-های موثر می‌باشد، یکی از روش‌های نوین استفاده از مواد تغییر فاز دهنده جهت کنترل دمای باتری در محدوده‌ی عمل‌کرد بهینه است. در این مقاله مروری سعی بر این است که مدیریت گرمایی باتری با استفاده از مواد تغییرفازدهنده بررسی شود.

کلید واژه: باتری، مواد تغییرفازدهنده، کنترل، مدیریت گرمایی

مقدمه

پیل الکتریکی در ایران باستان در فاصله سال‌های ۲۵۰ قبل از میلاد تا ۲۲۴ پس از میلاد در تیسفون ساخته شد. این باتری‌ها به باتری‌های تیسفون یا بغداد مشهور هستند. شرکت جنرال الکتریک این باتری‌ها را با روش تعیین عمر کربنی شبیه‌سازی کرده است. معلوم شده است که قدمت این پیل‌ها به ۲۰۰ سال پیش از میلاد می‌رسد. این پیل‌ها دارای بدنه‌ی بیرونی از جنس ارتن‌ور بوده که حاوی میله‌ای آهنی است و به وسیله‌ی بخشی از بدنه‌ی مسی (میله‌ی آهنی درون استوانه‌ی مسی) ایزوله شده است. زمانی که درون محفظه با محلولی الکترولیت مانند آب‌لیمو پر شود، این وسیله جریان الکتریکی خفیفی تولید می‌کند. این احتمال وجود دارد که این وسیله برای آب‌کاری جواهر به کار می‌رفته است [۱].

در سال ۱۳۳۰ خورشیدی برابر با ۱۹۳۸ میلادی، باستان‌شناس آلمانی ویلهلم کونیک و همکارانش ابزارهایی را در نزدیکی تیسفون پایتخت ایران در دوران اشکانیان یافتند. پس از بررسی معلوم شد که این ابزارها پیل‌های الکتریکی هستند که در دوره تاریخی اشکانی ساخته شده و به‌کار برده می‌شده‌اند. او این پیل‌ها را باتری پارتی نامید که امروزه با نام‌های دیگر هم‌چون باتری پارتیان و یا پیل اشکانی هم مشهور هستند. او در مقاله‌ای این مطلب را منتشر کرد و از این وسیله با عنوان باتری باستانی یاد کرد که برای آب‌کاری و انتقال لایه‌ای از طلا یا نقره از سطحی به سطح دیگر به کار می‌رفته است [۱].

این اکتشاف مربوط به دوره تاریخی سلسله اشکانیان، تاحدی موجب شگفتی است. حتی برخی از دانشمندان اروپایی و امریکایی این باتری را به موجودات فضایی افسانه‌ای و احتمالاً ساکنان فراهوشمند سیارات دیگر که تصور می‌شود با بشقاب‌های پرنده و کشتی‌های فضایی به زمین آمده بودند، نسبت دادند، و آن را فراتر از دانش اندیشمندان و پژوهش‌گران آن دوران دانستند. برای ایشان پذیرفتنی نبود که دانش ایرانیان در ۱۵۰۰ سال پیش از گالوای ایتالیایی (۱۷۸۶ میلادی) که پیل الکتریکی را اختراع نمود تا به این حد بالا باشد [۱].

این تئوری بعدها توسط دانشمندان دیگری به بوته آزمایش سپرده شد. ویلارد گری، مهندس برق شرکت جنرال الکتریک در ایالت ماساچوست، پس از مطالعه‌ی مقاله‌ی کونیگ تصمیم گرفت باتری تیسفون را بازسازی کند. وی درون کوزه‌ی سفالین را با آب انگور، سرکه یا محلول سولفات مس پر کرد و موفق به تولید ولتاژ حدود ۱/۵ تا ۲ ولت شد. بعدها دکتر اگبرشت، مصر شناس مشهور در سال ۱۹۷۸ نمونه‌ای از باتری‌های تیسفون را بازسازی کرد و آن را با آب انگور پر نمود و توانست ولتاژ ۰/۸۷ ولت تولید کند. وی از این پیل‌ها برای طلاکاری یک پیکره‌ی نقره‌ای استفاده کرد. نمونه‌های بیش‌تری از این باتری‌های باستانی در سال ۱۹۹۹ توسط دانشجویان دکتر مارجوری سنچال[1]، استاد ریاضیات و تاریخ علم در کالج اسمیت[2] ماساچوست، ساخته شد. آن‌ها با پر کردن کوزه‌ی آن با سرکه قادر به تولید ولتاژ ۱/۱ ولت بودند. علاوه بر تئوری استفاده از این باتری‌ها برای آب‌کاری فلزها، تئوری‌های دیگری مبنی بر استفاده‌ی پزشکی یا موارد دیگر داده شده است [۱].

با توجه به رشد روز افزون تکنولوژی، نیاز به استفاده از باتری روز به روز افزایش می‌یابد. از باتری‌های غیر قابل شارژ به کار رفته در وسایل معمولی مانند ساعت گرفته تا

1- Marjorie Senechal
2- Smith College

باتری‌های خورشیدی که برای تولید و ذخیره برق در زمان مورد نیاز گرفته، همگی یک هدف تولید انرژی برای به راه اندازی وسایل مختلف را دنبال می‌کنند. تامین انرژی به صورت آسان و مطلوب برای توسعه وسایل الکترونیک قابل حمل ضرورت مهم و انکارناپذیر است. این تا حدی است که می‌توان باتری را قلب وسایل الکترونیک قابل حمل دانست، هم‌چنین امروزه به دلیل مشکلات ایجاد شده به دلیل آلودگی هوا شرکت‌های خودروسازی سالانه هزینه‌های زیادی را صرف ساخت خودروهای الکتریکی می‌نمایند که از مهم‌ترین چالش‌ها در ساخت این خودروها بهبود عمل-کرد باتری می‌باشد [۲].

با توجه به موارد ذکر شده، تحقیقات وسیعی در زمینه باتری‌های قابل شارژ در مراکز تحقیقاتی دنیا صورت گرفته شده است که باعث پیشرفت بسیار سریع باتری‌های قابل شارژ در چند دهه اخیر شده است. یکی از انواع باتری که با پیشرفت صنعت الکترونیک جایگاه خود را به عنوان یک جز تفکیک‌ناپذیر از وسایل الکترونیکی مانند لپ‌تاپ، موبایل و خودروهای الکتریکی تثبیت کرده است، باتری یون لیتیم می‌باشد. باتری‌های یون لیتیم نقش اساسی در توسعه وسایل الکترونیکی قابل حمل دارند، یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در صنعت این نوع باتری‌ها کنترل گرمای حاصل از این باتری‌ها بر اثر فعل و انفعالات شیمیایی درون آن‌ها در زمان شارژ و دشارژ است. روش‌های متنوعی برای کنترل دما ارائه شده‌اند که هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشد [۲].

در این پژوهش مروری، کوشش شده استفاده از مواد تغییر فاز دهنده جهت کنترل دمای باتری در محدوده‌ی عمل‌کرد بهینه، به‌عنوان گامی مهم در جهت پیشرفت صنعت باتری بررسی شود.

باتری

باتری یا پیل الکتریکی (ولتائیک) منبعی از انرژی پتانسیل الکتریکی است که در درون آن با انجام واکنش‌های شیمیایی، انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، این انرژی در قطب‌های باتری قابل دریافت است. انرژی قابل دریافت در قطب‌های باتری به ازای واحد بار الکتریکی را نیروی محرکه الکتریکی باتری می‌گویند و آن را با یکای ولت اندازه‌گیری می‌کنند. قطب مثبت باتری کاتد و قطب منفی آن آند نام دارد. معمولاً هر باتری از یک یا چند سلول کوچک داخلی تشکیل شده است، در باتری‌ها ممکن است سلول‌ها برای افزایش جریان با هم موازی شده یا برای افزایش ولتاژ با هم سری شوند، هر سلول شامل دو نیم‌سلول است که به صورت سری توسط ماده‌ای الکترولیت شامل یون‌های مثبت و یون‌های منفی که رسانای الکتریکی می‌باشد به هم متصل هستند. با اتصال باتری به مصرف کننده یون‌های منفی از طریق سیم هادی به مصرف‌کننده وارد شده و بعد از ایجاد انرژی در آن (انرژی گرمایی بر اثر عبور از یک مقاومت یا انرژی جنبشی بر اثر القا یا انرژی نور بر اثر پرتاب و...) به سمت یون‌های مثبت حرکت می‌کنند و به تدریج یون‌های مثبت را خنثی می‌کنند[۳].

انواع باتری، مزایا و معایب آن‌ها

باتری‌های غیر قابل شارژ (یک بار مصرف)

این باتری‌ها قادر به شارژ الکتریکی نبوده و یک‌بار استفاده و دشارژ می‌شوند. باتری‌های غیر قابل شارژ، سلول‌های خشک (باتری خشک) نیز نامیده می‌شوند. در باتری خشک معمولی، بر اثر واکنش ماده آند (قطب مثبت) (عنصر روی[1] یا آلکالین[2] یا لیتیوم[3] یا نقره) و ماده کاتد (قطب منفی) (کربن یا کلرید یا اکسید مس یا سولفید آهن یا دی‌اکسید منگنز) با الکترولیتی که محیط بین آند و کاتد را در بر گرفته است، انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. اساس نام‌گذاری باتری با نام‌های هم‌چون باتری لیتیوم یا باتری آلکالین به دلیل عناصر استفاده شده در ساخت آن‌ها می‌باشد[۳].

۳-۲- باتری‌های قابل شارژ

این باتری‌ها پس از دشارژ، با عبور جریان در جهت مخالف جریان دشارژ، بصورت الکتریکی قابل شارژ می‌باشند و با نام باتری‌های ذخیره یا باتری شارژی نیز شناخته می‌شوند، عمر این باتری بیش‌تر از ۵ سال است و بارها می‌توان آن‌ها را شارژ و دشارژ کرد[۱].

انواع باتری‌های شارژ شدنی عبارتنداز:

- نیکل ـ کادمیم
- هیبرید نیکل ـ فلز
- لیتیم ـ یون
- پلیمر لیتیم ـ یون
- باتری‌های اسیدی[۱]

۳-۳- کاربرد باتری‌های قابل شارژ

کاربردهایی که به دلیل صرفه اقتصادی و نیاز به توان بالاتر از توان باتری غیر قابل شارژ، باتری‌های شارژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این موارد هر چند امکان استفاده از باتری‌های غیر قابل شارژ نیز وجود دارد ولی هزینه زیاد، کارائی کم و آلودگی محیط زیست را در پی خواهد داشت.

کاربردهایی که در آن‌ها از باتری‌های قابل شارژ به عنوان وسیله ذخیره انرژی استفاده می‌شود و باتری‌ها توسط یک منبع انرژی اولیه شارژ و در هنگام نیاز انرژی ذخیره شده را تحویل می‌دهند. در این حالت باتری همیشه توسط یک شارژر در زیر شارژر قرار گرفته و در مواقع قطع برق انرژی مورد نیاز مصرف کننده را تامین می‌کند، باتری منبع تغذیه بدون وقفه و باتری اتومبیل، لیفتراک و موتورسیکلت نمونه‌ای از این کاربرد می‌باشد[۳].

طبقه‌بندی روش‌های کنترل دما و خنک‌سازی سیستم

با توجه به روش‌هایی که تاکنون در مقالات مختلف ارائه شده‌اند، تبرید توسط هوا، تبرید توسط مایع، لوله‌ی حرارتی، سرمایش توسط یخچال، سرمایش ترمو الکتریک و مواد تغییر فاز دهنده، انواع مختلف کنترل دما می‌باشند که در جدول (۱) مثال‌هایی برای هر کدام آورده شده است. بسته به شرایط محیطی، ایمنی و هزینه عملیاتی، بهترین روش باید گزینش شود. ساده‌ترین و ارزان‌ترین روش معمولاً استفاده از هوا می‌باشد که ضریب انتقال حرارت کمی دارد. مایعات نسبت به هوا از ضریب انتقال حرارت بالاتری برخوردار هستند. خنک‌سازی با استفاده از مایعات به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌پذیرد[۵-۴].

1- Zinc
2- Alkaline
3- Lithium

جدول ۱- انواع سیستم کنترل دما [۵-۴]

روش خنک‌سازی	نوع	کاربرد
خنک‌سازی توسط هوا	جابجایی طبیعی	وسایل الکترونیکی با توان کم
	جابجایی اجباری	وسایل الکترونیکی با توان کم
	هیت سینک[1]	چیپ برد[2]
خنک‌سازی توسط مایعات	غوطه‌ور شدن	میکرو الکترونیک
	جوشش استخری	وسایل الکترونیکی
	جت مایع	وسایل الکترونیکی با توان زیاد
	اسپری	چیپ برد با توان بالا
لوله‌های حرارتی	مستقیم و غیرمستقیم	توان حرارتی بالا
تبرید یخچالی	توان بالا	آیینه لیزری[3]
تبرید ترموالکتریک	تک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای	دستگاه عملیات پالس
مواد تغییر فاز دهنده	گرمای نهان	وسایل قابل حمل

دما یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر روی عمل‌کرد و طول عمر باتری است. مدیریت حرارتی در باتری بر روی عمل‌کرد و طول عمر باتری از روش‌های موثر می‌باشد، یکی از روش‌های نوین استفاده از مواد تغییر فاز دهنده جهت کنترل دمای باتری در محدوده‌ی عمل‌کرد بهینه است[۶]. در مطالعه انجام گرفته شده توسط عزیز باباپور و همکارانش در سال ۱۳۹۲ بر روی عمل‌کرد مواد تغییر فاز دهنده (پارافین) به عنوان جاذب گرما که مورد بررسی قرار گرفته است، نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد

1- Heat Sink
2- Chip Boards
3- Laser Mirror

که ماده‌ی در حال تغییر فاز با جذب حرارت باتری، از بالا رفتن بیش از حد دما حتی در نرخ‌های بالای دشارژ، جلوگیری کرده و عمل‌کرد باتری را ارتقا می‌دهد[۶].

مواد تغییر فاز دهنده

یکی از مهم‌ترین روش‌های ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، [۱] PCM یا مواد تغییر فاز دهنده است، موادی که در مواقع لزوم تغییر فاز می‌دهند، انرژی را در شکل‌های مختلف در خود ذخیره کرده و در مواقع لزوم آزاد می‌کنند. این مواد با اثراتی مانند افزایش ضریب انتقال حرارت، افزایش ظرفیت گرمایی، پایداری حرارتی و شیمیایی موجب ذخیره‌سازی انرژی حرارتی می‌شوند. فن‌آوری نانو و نانومواد در این بین با قابلیت جذب و ذخیره‌ی بالای انرژی حرارتی از روش‌های نوین این فن‌آوری است[۷].

مواد تغییر فاز دهنده، ترکیبات آلی یا معدنی هستند که قابلیت جذب و ذخیره پنهان مقادیر زیادی از انرژی گرمایی را درون خود دارند. ذخیره انرژی گرمایی در این مواد، درطی فرآیند تغییر فاز (تغییر حالت از جامد به مایع یا بالعکس) اتفاق می‌افتد. این مواد به هنگام تغییر فاز از جامد به مایع یا از مایع به جامد، این گرما را از محیط جذب نموده و یا به محیط پس می‌دهند. ماده تغییر فاز دهنده قابلیت آن را دارد که این انرژی نهفته گرمایی را بدون هیچ‌گونه تغییری حتی پس از هزاران چرخه تغییر فاز، درون خود حفظ نماید[۹].

مواد زیادی به عنوان ماده تغییر فاز دهنده برای ذخیره‌ی انرژی گرمایی به کاربرده شده‌اند که در میان آن‌ها، واکس‌های پارافینی به دلیل داشتن گرمای نهان بالا، فشار بخار پایین، پایداری شیمیایی، بی‌اثر بودن و سایز بلوری گزینه مناسبی برای کاربرد به‌عنوان مواد تغییر فاز دهنده هستند. پارافین‌ها و پلی‌مرها عموماً هدایت حرارتی پایینی دارند، بنابراین افزایش هدایت حرارتی مواد تغییر فاز دهنده‌ها برای بهبود انتقال حرارت یا برای مبادله حرارت بین مواد تغییر فاز دهنده و محیط مورد نیاز است. راه‌های بسیار زیادی برای افزایش هدایت حرارتی پارافین وجود دارد مثل قرار دادن فین در آن، ماتریس‌های فلزی و کپسوله کردن پارافین، اخیرا با پیشرفت تکنولوژی نانو می‌توان از پراکنده کردن نانوذرات در پارافین به عنوان راه‌حلی برای افزایش هدایت حرارتی آن استفاده کرد[۸].

PCM ها را بر اساس محدوده درجه حرارت که در آن انتقال فاز TES[۲]رخ می‌دهد، می‌توان به ۳ گروه اصلی تقسیم کرد:

۱- دمای پایین PCM ها با انتقال فاز در زیر دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد که معمولا در تهویه هوا و صنایع غذایی استفاده می‌شود.

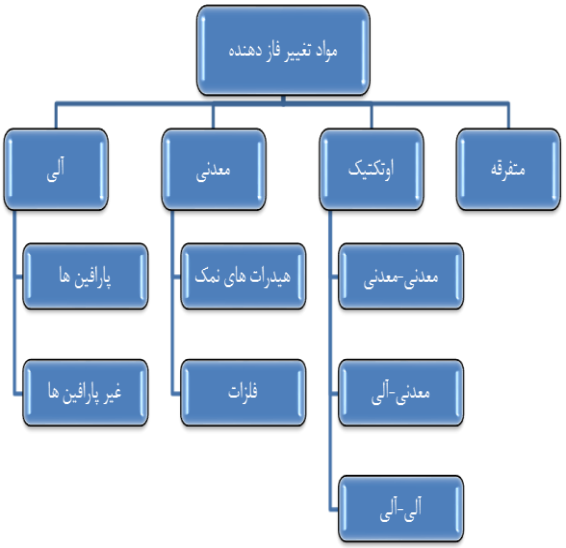
۲- دمای متوسط PCM ها با انتقال فاز در محدوده دمایی ۹۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد با کاربردهای خورشیدی، پزشکی، الکترونیک و ذخیره انرژی، محبوب‌ترین گروه است.

۳- دمای بالا PCM ها با انتقال فاز بالای ۹۰ درجه سانتی‌گراد عمدتا در صنعت و کاربردهای هوا و فضا به کار می‌رود[۱۰].

شکل (۱) طبقه بندی مواد تغییر فاز دهنده را نشان می‌دهد[۷].

1- Thermal Energy Storage (TES)

4- Phase Change Material (PCM)



شکل ۱- طبقه‌بندی مواد تغییر فاز دهنده [۷]

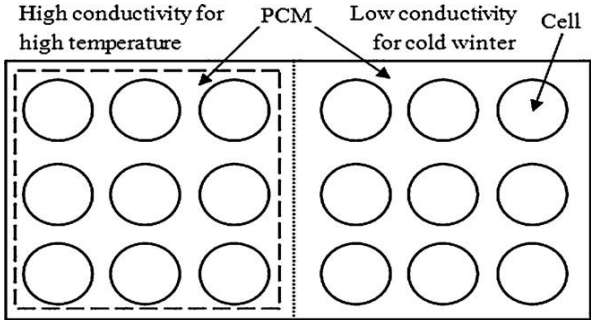
مواد تغییر فاز دهنده گرم کننده یا سرد کننده معیارهای انتخاب این مواد برای مدیریت حرارتی باتری هستند.

در طراحی سیستم‌های ذخیره انرژی که بر مبنای مواد تغییر فاز دهنده عمل می‌کنند، بایستی موارد زیر در نظر گرفته شود:

- ماده تغییر فاز دهنده مناسب با دمای ذوب مورد نظر
- ظرفیت گرمایی ویژه بالا و هدایت حرارتی بالا
- تغییر حجم کم در طول تغییر فاز
- غیر سمی بودن، غیر قابل اشتعال بودن و غیر انفجاری بودن
- در دسترس بودن و ارزان بودن[۱۱].

کنترل دمای باتری با مواد تغییر فاز دهنده

سعید الحلاج۱ و همکاران تحقیقات گسترده‌ای بر روی کاربرد مواد تغییر فاز دهنده جهت مدیریت گرما در باتری‌های لیتیوم انجام دادند[۱۳-۱۲]. سیستم مورد استفاده در آزمایشات آن‌ها شامل باتری استوانه‌ای و محفظه مکعب مستطیلی بود. مطابق شکل (۲)، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با استفاده از PCM بدون نیاز به تغییر در طراحی سیستم باتری، می‌توان دمای آن را کنترل کرد. مطالعات آن‌ها نشان داد که دمای باتری استوانه‌ای از حد مجاز بالاتر نمی‌رود. با استفاده از این سیستم بدون نیاز به تجهیزات اضافی و به صورت غیر فعال۲، دمای باتری‌ها کنترل شد. با عایق سازی اطراف PCM و با توان ۱۰۰Ah ، به این نتیجه رسیدند که با استفاده از PCM دمای سطح باتری ۸ درجه کمتر از حالتی خواهد بود که از PCM استفاده نمی‌شود. آن‌ها علاوه بر تحقیق بر روی PCM، تغییرات آنتروپی در زمان شارژ و دشارژ را برای باتری‌های پاناسونیک اندازه‌گیری کردند. در این آزمایش‌ها، باتری‌ها با سرعت C/۶ و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد تخلیه شدند.



شکل ۲- مدیریت گرمایی با PCM [۱۲]

در سال ۲۰۰۵، الحلاج و میلز۳ با استفاده از روش المان محدود و خواص حرارتی، مدلی برای کنترل دما در باتری‌های لپ‌تاپ ارائه دادند[۱۴]. قرار دادن سل‌های باتری به صورت فشرده درون بسته‌های باتری باعث بالا رفتن شدید دما و کاهش کارایی آن می‌شود. در این مدل روش‌های سنتی کنترل دما مانند استفاده از دمنده که هزینه عملیاتی سیستم را افزایش می‌دهد و روش‌های مدرن‌تر مانند استفاده از PCM با هم مقایسه شده است. این تحقیق کارایی بهتر PCM را ثابت می‌کند. مشکل هدایت حرارتی پایین PCM با استفاده از ماتریس گرافیتی برطرف شده است. میزان گرمای تولیدی در این آزمایش با سرعت‌های مختلف تخلیه باتری به صورت آزمایشگاهی محاسبه گردید. نتیجه‌ی ارائه شده این بود که حجم مجموعه باتری شش سلولی باید دو برابر شود تا با استفاده از PCM حداکثر دمای باتری‌ها ۵۵ درجه سانتی‌گراد باشد. تمام محاسبات انجام شده با این فرض است که باتری‌ها با سرعت ثابت تخلیه شوند و همه‌ی سل‌های باتری به یک میزان گرما ایجاد کنند. PCM به کار رفته پارافین بوده و نقطه ذوب در محدوده عملیاتی دمای بهینه باتری انتخاب شد و گرمای نهان ذوب با استفاده از میزان گرمای آزاد شده از باتری محاسبه شد. رسانایی PCM که با استفاده از ماتریس گرافیتی ارتقاء داده شد. مدل ارائه شده در شرایط ناپایا و به صورت دو بعدی و با استفاده از نرم افزار پی‌دی‌ای‌ایس۴ بود. شرایط مرزی جابه-جایی همرفتی در اطراف بسته باتری اعمال شد ضریب انتقال حرارت ثابت در نظر گرفته شد. تمامی نتایج به‌دست آمده با خطای قابل قبول با سیستم‌های آزمایشگاهی هم‌خوانی داشت، به جز در زمان انتهای دشارژ باتری، که یکی از

1- Al. Hallaj
1- Passive

2- Mills
1- PDEase

دلایل عمده آن، افزایش ناگهانی دمای باتری در زمان نزدیک به تخلیه شدن کامل گزارش شد. همین مدل برای PCM ایده‌آلی که با روش فابریکیشن[1] ساخته می‌شود، تست شد و نتایج حاصل نشان داد که با استفاده از PCM با شرایط ایده‌آل، حجم سیستم تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و دمای باتری از همان ۵۵ درجه فراتر نمی‌رود.

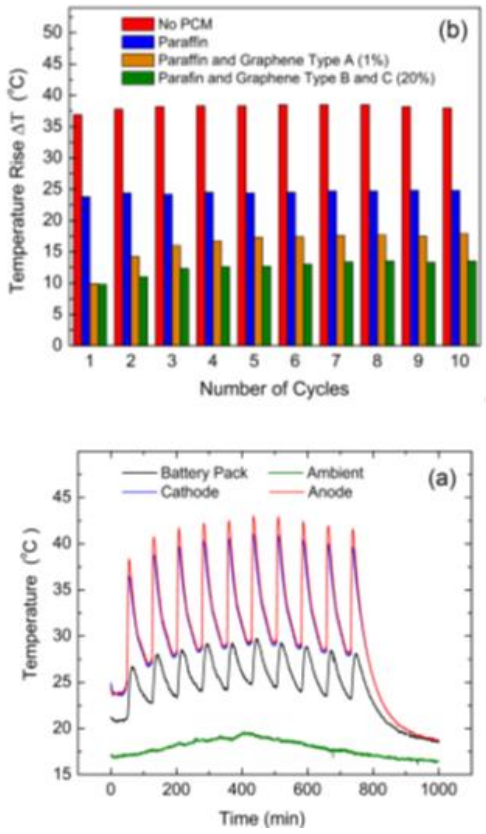
در سال ۲۰۱۱، روآ[2] و همکاران، با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده مدلی برای مدیریت گرما در باتری LiFePO4 ارائه دادند[۱۵]. با توجه به دمای بهینه برای این مدل باتری که توسط پسران ارائه شده بود (۴۰-۲۵ درجه سانتی گراد) به این نتیجه رسیدند که تغییرات دما بین سل های باتری باید کمتر از ۵ درجه باشد. آزمایشگاه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر آمریکا با همکاری دانشگاه ایلینویز تکنولوژی[3]، تحقیقات گسترده‌ای بر روی باتری اتومبیل های الکتریکی انجام دادند. این تحقیق تاثیر فرسودگی باتری بر روی مدیریت گرمایی را بررسی کرد و باتری‌های نوع با باتری های مستهلک مقایسه شدند. باتری های استفاده شده دارای ابعاد ۱۳x۶۳x۱۱۸ میلی‌متر و با توان Ah ۸ بودند و با حداکثر سرعت C ۴ تا C ۵ تخلیه شدند. با استفاده از ۵ ترموکوپل نوع K دمای یک مجموعه ۹ سلی از باتری محاط شده با PCM اندازه‌گیری شد. باتری‌ها با شدت جریان A ۵ یا C ۵ تخلیه شدند و دمای آن‌ها به حداکثر ۷۵/۵ درجه سانتی گراد رسید. این شبیه‌سازی با روش ظرفیت گرمایی مؤثر و به کار بردن PCM جهت کنترل دمای باتری‌ها و با استفاده از نرم‌افزار CFD[4] انجام شد. مش‌های به کار رفته در این شبیه‌سازی توسط نرم افزار گمبیت[5] انجام شد. فرض‌های به کار رفته در این شبیه‌سازی عبارتند از: تغیرات چگالی PCM در تغییر فاز از جامد به مایع و هم‌چنین تغیرات چگالی با تغییر دمای مایع قابل صرف نظر کردن هستند. نقطه ذوب PCM به جای این‌که در یک محدوده باشد، در یک دمای ثابت در نظر گرفته شد. ظرفیت گرمایی و هدایت حرارتی آن ثابت فرض شدند. PCM به صورت یک ماده هموژن در نظر گرفته شد و از انتقال حرارت به روش تابش درون سیستم صرف نظر شد. معادلات ارائه شده با استفاده از روش حجم کنترل شده حل شدند و نتایج به‌دست آماده با آزمایشات انجام شده قبلی هم‌خوانی زیادی داشت و نشان می‌داد هرچه سرعت تخلیه باتری بیش‌تر باشد، گرمای آزاد شده نیز بیش تر خواهد بود. جهت نشان دادن تاثیر PCM بر روی کنترل دما، شبیه سازی یک بار بدون استفاده از PCM و تنها با حضور هوا به عنوان سیال خنک کننده و بار دیگر با استفاده از PCM، انجام شد و نتایج با هم مقایسه گردید. نتایج بیانگر این مساله بود که با استفاده از PCM، دمای باتری فقط تا ۵ درجه بیشتر از نقطه ذوب PCM (با دمای ذوب ۵۰ درجه) بالا می‌رود و در همین محدوده ثابت می شود. اما در حالتی که هوا به‌عنوان سیال خنک کننده استفاده شود، دما به صورت خطی با گرمای آزاد شده از باتری بالا می‌رود. از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به این نکته اشاره کرد که افزایش ضریب انتقال حرارت PCM و

2- Fabrication Methods
3- Rao
4- Illinois Institute of Technology
5- Software ANSYS Fluent (CFD)
6- Gambit

کاهش نقطه ذوب آن، بر روی کنترل دمای باتری تاثیر مثبت دارد. نقطه ذوب ۴۵ درجه به عنوان دمای بهینه برای PCM گزارش شد نقطه ذوب ۴۵ درجه به عنوان دمای بهینه برای PCM گزارش شد که با استفاده از آن حداکثر دمای باتری به ۵۰ درجه رسید.

در سال ۲۰۱۴، بلندین[1] و همکارانش در مطالعه‌ای که بر روی مدیریت گرمایی در باتری یون لیتیوم با استفاده از ترکیب گرافن[2] با PCM انجام دادند[۱۶]. به این نتایج رسیدند که گرافن به طور چشم‌گیری مدیریت حرارتی باتری یون لیتیوم را بهبود می‌بخشد، اختلاط گرافن هدایت حرارتی مواد تغییر فاز دهنده را افزایش می‌دهد، اختلاط گرافن منجر به کاهش معنی داری در درجه حرارت باتری باتری یون لیتیوم می‌شود، گرافن منجر به یک تغییر تحول در مدیریت حرارتی برای باتری یون لیتیوم می‌شود. نتایج مدل‌سازی و شبیه‌سازی بلندین و همکارانش در شکل‌های (۳) و (۴) مشخص است.

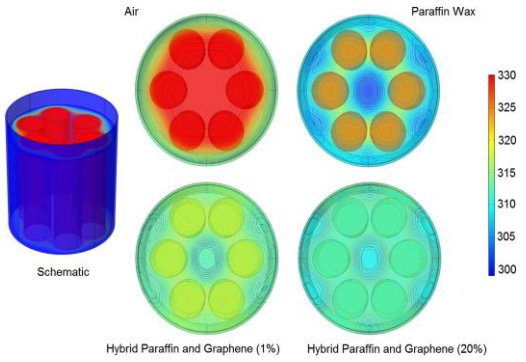
شکل (۳)، (a)- نوسانات درجه حرارت اندازه گیری شده در داخل و خارج باتری، دمای ثبت شده در کاتد استوانه باتری (آبی)، آند سیلندر باتری (قرمز) و پوسته بسته باتری (سیاه)، دمای محیط درطول شارژ اندازه‌گیری شده که با رنگ سبز نشان داده شده است. (b)- نمودار افزایش درجه حرارت در داخل بسته باتری لیتیوم یون در طول ده دوره اول شارژ و دشارژ، بسته باتری بدون PCM (قرمز)، PCM معمولی پارافین (آبی)، ترکیب گرافن PCM با ۱٪ وزنی (نارنجی) و ترکیب گرافن PCM با ۲۰٪ وزنی (سبز).



شکل ۳- مدیریت حرارتی باتری یون لیتیوم با ترکیب گرافن با PCM [۱۶]

شکل (۴) نشان‌دهنده طرح کلی از بسته باتری یون لیتیوم و دمای شبیه سازی شده برای چهار مورد، در موردی که PCM بین سیلندر باتری و پوسته خارج قرار ندارد، درجه حرارت در سیلندر در حداکثر مقدار خود بالاتر از ۳۳۰ درجه‌ی کلوین قرار دارد، استفاده از موم پارافین استاندارد درجه حرارت را کاهش می‌دهد.

3- A. Balandin
4- Graphene



شکل ۴- شبیه‌سازی عددی پروفایل دما در بسته باتری یون لیتیوم [۱۶]

جمع بندی و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این بررسی را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

دما یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر روی عمل‌کرد و طول عمر باتری است. مدیریت حرارتی در باتری بر روی عمل‌کرد و طول عمر باتری از روش‌های موثر می‌باشد، یکی از روش‌های نوین استفاده از مواد تغییر فاز دهنده جهت کنترل دمای باتری در محدوده‌ی عمل‌کرد بهینه است.

یکی از مهم‌ترین روش‌های ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، مواد تغییر فاز دهنده است، موادی که در مواقع لزوم تغییر فاز می‌دهند، انرژی را در شکل‌های مختلف در خود ذخیره کرده و در مواقع لزوم آزاد می‌کنند. این مواد با اثراتی مانند افزایش ضریب انتقال حرارت، افزایش ظرفیت گرمایی، پایداری حرارتی و شیمیایی موجب ذخیره‌سازی انرژی حرارتی می‌شوند.

نتایج حاصل از مدیریت گرمایی باتری با مواد تغییر فاز دهنده مطلوب‌تر از به کار بردن مایعات یا هوا به عنوان سردساز است که نتایج آن‌ها در مقالات مختلف موجود است.

منابع

[1] T. Sasaki, Y. Ukyo, P. Novak, Memory effect in a lithium-ion battery, nature materials,14 April 2013.
[2] http://edu.nano.ir/index.php?actn=papers_view&id=62.
[3] M. Wakihara, Recent developments in lithium ion batteries, Materials Science and Engineering, 4 (2001), 109-134.
[4] L. Florio, A. Harnoy, Combination technique for improving natural convection cooling in electronics, International journal of thermal sciences, 46 (2007), 76-92.
[5] A.G. Nnanna, Application of refrigeration system in electronics cooling, Applied Thermal Engineering, 26 (2006), 18-27.
[۶]غ. کریمی، م. هروی، ع. باباپور، م. محمودی، مدیریت گرمایی در باتری‌های یون لیتیم با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده، همایش ملی مهندسی مکانیک، خرداد ۱۳۹۲.
[۷]م. مسعودی، ع. باباپور، مروری بر مواد تغییر فاز دهنده به عنوان منبع ارزشمند انرژی، پنجمین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد، اسفند ۱۳۹۲.
[۸] ع. باباپور، ف. کریمیان، غ. کریمی، مدل‌سازی عددی کاربرد نانومواد تغییر فاز دهنده، همایش ملی مهندسی مکانیک، خرداد ۱۳۹۲.
[۹]ی. بخشوده‌نیا، ع. باباپور، م. بخشوده‌نیا، مروری بر مدل‌سازی عددی و آنالیز کاربرد مواد تغییرفازدهنده در ساختمان جهت کاهش مصرف انرژی، پنجمین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد، اسفند ۱۳۹۲.
[10] K. Pielichowska, K. Pielichowski, Phase Change Materials for Thermal Energy Storage Review, progress in material science, 2009.
[11] Z. Rao, S. Wang, A review of power battery thermal energy management, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011), 4554– 4571.
[12] S. Al-Hallaj, S. A. Khateeb, M.M. Farid, J.R. Selman, Design and simulation of a Li-ion battery with a PCM thermal management system for an electric scooter, Journal of Power Sources, 128 (2004), 292–307.
[13] S. Al-Hallaj, A. K. Siddique Razack, A. M. Khudhair, M. M. Farid, A review on phase change energy storage materials

and applications, Energy Conversion and Management, 45 (2004), 1597–1615.
[14] S. Al-Hallaj, A. Mills, Simulation of passive thermal management system for lithium-ion battery packs, Journal of Power Sources, 141 (2005), 307-315.
[15] Z. Rao, S. Wang, G. Zhang, Simulation and experiment of thermal energy management with phase change material for ageing LiFePO4 power battery, Energy Conversion and Management, (52) 2011, 3408-3414.
[16] A. Balandin, P. Goli, S. Legedza, A. Dhar, R. Salgado, J. Renteria, Graphene-enhanced hybrid phase change materials for thermal management of Li-ion batteries, Journal of Power Sources, 248 (2014), 37-43.