

عملکرد تبریدی سیستم های مدیریت حرارت در باتری های نانوسیال-مدور

در مقابل نوع نانوسیال-شناور آن

مجید پیرمردیان (نویسنده مسئول)^۱، دکتر مصطفی امیدوی بیدگلی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مکانیک، سمیرم pirmoradmajid@gmail.com

^۲ استاد دانشگاه و عضو هیأت علمی دانشگاه، شهرضا mostafaomidibidgoli@gmail.com

چکیده

برای اینکه یک محیط تمیز داشته باشیم، تولید دستگاههای پیشران با سوخت فسیلی باید کاهش پیدا کند. هدف پیشرفتهای تکنولوژیکی، تولید دستگاههای الکتریکی با باتری مقرون به صرفه در مقایسه با نوع معمولی آنهاست. یک سیستم تبرید با باتری خوب، برای کاربری ایمن تر طی چرخه عمر ماشین های الکتریکی ضروری هستند. این مقاله، دو روش آرایش سازه های تبریدی را تشریح میکند: سیستم های تبریدی با باتری پر از سیال (LFBS) و سیستم های تبریدی با باتری سیال-مدور (LcBS). واحد تهویه ی هوای یک دستگاه الکتریکی با واحد تبرید باتری، مجتمع شده است. عملکرد تبریدی LFBS و آرایش LcBS برای نوع آبی و نانوسیال بعنوان محیط تبرید با سرعت تخلیه ی C₂ و C₄ معرفی می شود. هوای مورد نیاز برای تبرید LFBS یا تبرید LcBS با دو نوع منبع تامین شده است. منبع اول، اگر دمای محیط حدود ۳۵°C باشد و در یک دستگاه الکتریکی، تهویه ی هوا "خاموش" باشد. منبع دوم، تهویه ی هوا "روشن" باشد و هوای در گردش کابین ماشین، برای تامین هوای سیتیم تبرید باتری، در دمای ۳۰°C باشد. این نتیجه، قابلیت کاربری این قبیل سیستم های باتری را برای عملکرد ایمن تر دستگاههای الکتریکی نشان می دهد.

واژه های کلیدی

عملکرد تبریدی، سیستم های مدیریت حرارت در باتری های نانوسیال مدور، نانوسیال شناور

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

۱- مقدمه

به خاطر منابع محدود سوخت های فسیلی و مسائل زیست محیطی، محققان، منابع انرژی جدید و قابل تجدید برای دستیابی به ملزومات انرژی را در جهت رشد پایدار جامعه در اولویت قرار داده اند. این قبیل مسیرهای جدید تبدیل انرژی نیز ذخیره ی انرژی به صورت باتریهای الکتروشیمیایی را می طلبند. در حوزه هایی مثل حوزه پزشکی، هوا-فضا، نظامی و اتومبیل، از باتری ها بعنوان یک منبع ذخیره ی انرژی استفاده می شود. در یک مرحله، دستگاههای الکتریکی توانسته اند بر کمبود سوختهای فسیلی فائق آمده و آلودگی شهرها را کم کنند چون انرژی مورد نیاز و ذخیره شده در باتریهای الکتروشیمیایی را می توان از منابع پاک همچون منابع خورشیدی، انرژی بادی و غیره تامین کرد. طراحی کلی پک باتری دستگاههای الکتریکی شامل مراحل انتخاب نوع باتری، پکیج سلول، سیستم مدیریت باتری، سیستم مدیریت حرارتی باتری و غیره است (ساو و همکارانش ۲۰۱۶). اگر دقیق تر بخواهیم بگوئیم، زنجیره ی مقداری باتری های دستگاههای الکتریکی نوعا متشکل از ۷ مرحله است (تصویر ۱): تولید سازه، تولید سلول، تولید ماژول، مونتاژ پک باتری، مجتمع سازی دستگاه، استفاده از دستگاه طی عمر آن، و پردازش نهایی باتری های تخلیه شده برای کاربرد مجدد و بازیافت. (BCG,2010).

برآورد می شود ک حدود سال ۲۰۲۲، هزینه ی دستگاه الکتریکی باتری در مقایسه با نوع باتری ماشینی معمولی، به خاطر موتور احتراق داخلی و سهم بازاری اش، در کل بازار اتومبیل تا سال ۲۰۲۴ به ۱۰٪ برسد (دلوثیت).

باتری هایی که چندان قابلیت شارژ مجدد ندارند از نوع سرب-اسیدی، هیدرید فلز نیکل، کادیوم نیکل، و یون لیتیومی هستند. از بین آنها، باتری هایی که یون لیتیومی هستند، چندین مزیت دارند:

- خود-شارژی آن هزینه ی زیادی ندارد و می تواند برای حفظ پویایی دستگاههای الکتریکی به سرعت شارژ شود (خان و همکارانش ۲۰۱۷)

- باتری های یون-لیتیومی، انرژی ویژه ی خیلی بالایی بر حسب وزن دارند که برای اتومبیل ها مناسب هستند (باندھا و همکارانش ۲۰۱۴)

- باتری های یون لیتیومی در مقایسه با مشابهشان که چند مشکل مربوط به انهدام دارند، از سمیت کمتری برخوردارند.
- طول عمر طولانی دارد و ولتاژ مدار باز آن بالاست.

بنابراین، دستگاههای الکتریکی ای که باتری های یون-لی دارند، هم دستگاههای خوبی هستند اگر چه که باتریها در اصل به تاثیرات مزیت محیطی طول عمر دستگاه الکتریکی کمک می کنند (ماکوس و همکارانش ۲۰۱۹). بسیاری از تحقیقات، مفهومی انجام شده اند (هو و همکارانش ۲۰۱۲، واگ و سایوئر ۲۰۱۳). دستگاه الکتریکی با باتری بزرگ، به تخلیه با جریان بالا نیاز دارد و انتظار می رود که به سرعت شارژ شود. باتری ها، تحت تاثیر واکنش های تشدید شده ی الکتروشیمیایی مختلف در شرایطی مثل تسریع سرعت تخلیه به خاطر جریان بالا، هستند (لین و همکاران ۱۹۹۵، سلمان و همکاران ۲۰۰۱، ویلیفورد و همکاران ۲۰۰۹).

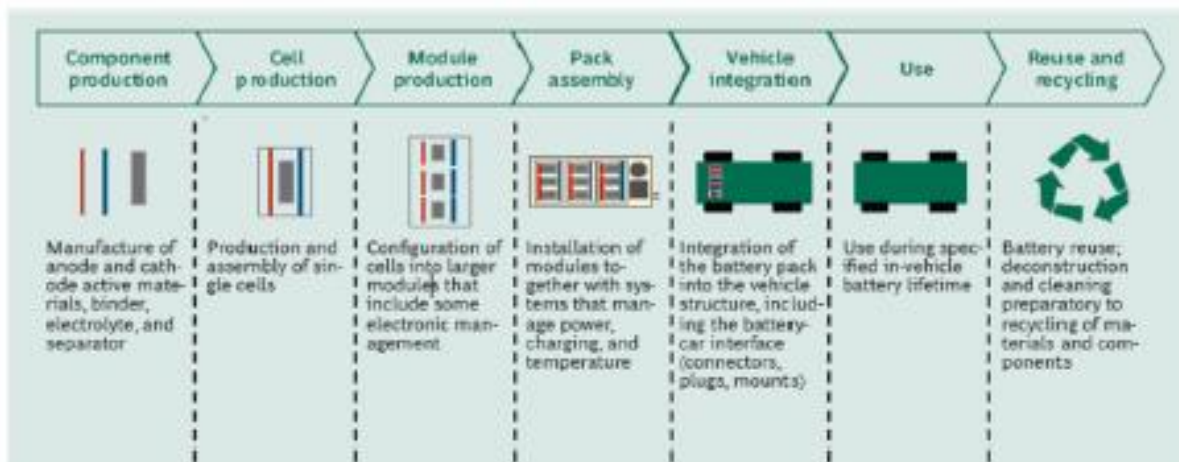
نامگذاری		چگالی (kg/)	کسر حجمی نانوذره
CP	گرمای ویژه (J/kg/K)		
K	رسانایی حرارتی (W/mK)	زیرنویس ها	
Re	عدد رینولد	bf	سیال قلبیایی
Pr	عدد پراوندتل	nf	نانوسیال
Kbz	ثابت بولتمن (J/K)	P	نانوذره
D	قطر (m)	eff	موثر
T	دما (°C)	i	داخلی

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

M	وزن مولکولی آب	o	خارجی
N	عدد آووگادرو	a	محیط
Ra	عدد رایلی	fr	فریز
	دمای بی بعد		
	فاصله ی رادیال بی بعد	اختصارات	
Tcell	دمای سلول (°C)	BTMS	سیستم مدیریت حرارت باتری
	ماکسیمم اختلاف دمای سلول (°C)	LfBS	BTMS سیالی (یا پر از سیال)
		LcBS	BTMS سیال-مدور
نمادهای یونانی		C	سرعت تخلیه
μ	ویسکوزیته ی دینامیک (kg/ms)	DoD	عمق تخلیه



تصویر ۱: زنجیره ی مقداری باترهای دستگاه الکتریکی

در میان چند فاکتوری که بر عمر باتری تاثیر دارند، دمای باتری که طی کارکردش حاصل می شود، اهمیت دارد (پانچال و همکاران ۲۰۱۶). دمای باتری برای راه اندازی باتری با سرعت تخلیه ی بالاتر، اهمیت بیشتری پیدا می کند (وانگ و همکاران ۲۰۱۵) (زانگ و همکاران ۲۰۱۸).

در دستگاههای الکتریکی، انقطاع بازایی باعث تولید حرارت داخلی باتری می شود (کیم و همکاران ۲۰۱۳). رنج ایمن دمای عملیاتی برای باتری های یون-لیتیومی، 20°C-40°C است. نایکناوختی دمای باتری تا حد زیادی بر عملکرد ماژول باتری هم تاثیر دارد و عامل کوتاهی مدار و فرسایش محلی ناشی از مناطق گرم هم هست. سرعت واکنش باتری، با افزایش دمای سلول به طور تصاعدی افزایش می یابد. سلولهایی که دمای بالاتری دارند، با سرعت بالاتری فرسوده می شوند (محمود و پارک ۲۰۱۱).
عمر باتری یون-لیتیومی در یک دمای عملیاتی بین 30°C-40°C به ازای هر درجه افزایش دما، تا حدود ۶۰ روز کاهش می یابد (هالاج و سلمان ۲۰۰۰). بنابراین، دمای ماژول های باتری یون-لی و ماکسیمم نایکناوختی ها باید به ترتیب تا زیر 40°C و 5°C حفظ شوند (محمود و پارک ۲۰۱۱).

با توجه به جوانب حرارتی عملکرد باتری، دو فاکتور ضروری (دمای ایمن سلول و یکنواختی دمای سلول) برای توسعه ی استراتژی های تبریدی باتری ها وجود دارد. افزایش دمای سلول تا بالاتر از مقدار آستانه ی بحرانی منجر به فرسایش محلول الکترولیت شده که به تبع به کاهش عملکرد و عمر سلول منتهی می شود (رائو و یانگ ۲۰۱۱).

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

بیشتر گزارش شده که مازاد حرارت تولید شده حین شارژ یا تخلیه ی باتری، در صورت عدم اتلاف موثر، شرایط فرار حرارتی را ایجاد میکند و حتی می تواند منجر به آتش سوزی شود (لیزبونا و اسنی ۲۰۱۱). به خاطر دمای بالاتر سلول، تغییر ظرفیت، و کاهش قدرت، رخدادی عادی است. دمای سلول باتری که طی شارژ/تخلیه حفظ می شود را می توان کنترل کرد و با کمک سیستم مدیریت حرارت باتری [BTMS]، زیر حد ایمنی نگه داشت.

چندین تحقیق در مورد BTMS انجام شده که به بررسی اتلاف گرما یا عملکرد تبریدی با استفاده از هوا، سیال یا مواد تغییر فازی بعنوان ابزار تبرید پرداخته اند. در میان این BTMS ها، آن BTMS که با هوا تبرید می شود، ساده ترین و سنگین ترین است (وو و همکاران). این BTMS نشان داد که آن سیستم باتری که تبرید مبتنی بر همرفت طبیعی را می پذیرد، برای اتلاف گرما کافی نیست. سیستم تبرید مبتنی بر اتلاف اجباری، این اتلاف را کاهش می دهد (ژولیونا و همکاران ۲۰۱۲) که معرف تبرید باتری های تیتانیت لیتیومی یا BTMS هوا-تبرید برای دستگاههای الکتریکی (فان و همکاران ۲۰۱۳) است. طبق کارکرد عددی شان، تبرید دوجانبه در مقایسه با تبرید یک جانبه برای یک سرعت جریان هوا و فاصله بندی شکاف یکسان، بهتر است (اینجا، سیستم هوا-تبرید با سیستم سیال-تبرید آنالیز شده است). BTMS هوا-تبرید با آرایش بیشتر سلول ها به سرعت جریان هوای تبرید مازاد نیاز دارد و به تبع قدرت بیشتری را مصرف می کند اگر چه که این سیستم از نظر طراحی ساده است، از نظر هزینه، کم هزینه تر است، از نظر شرایط نگهداری، ساده تر است، و از نظر دوره ی گرمایش، کوتاهتر است. مکانی بهینه برای سلول ها در یک پک، برای ایجاد بالانس بین فاصله ی سلول به سلول و فاصله ی سلول با دیواره وجود دارد. فاصله ی بیشتر سلول با دیواره در یک BTMS هوا-تبرید، جهت کاهش دما، منجر به پکینگ کلی با قابلیت سایز بندی بهتر می شود که لازمه ی سرعت بالاتر جریان هواست (هی و همکاران ۲۰۱۴).

اگر فاصله ی درون سلولی کمتر باشد، برای جریان بالاتر هوا مستلزم تبرید کافی هستیم که به تبع به افزایش هزینه و اندازه ی پک منتهی می شود (وانگ و همکاران ۲۰۱۴). مقایسه ی عملکرد بین آرایش سلولی باتری متباعد و همتراز در BTMS هوا-تبرید، راندمان بهتر تبرید و یکنواختی دما را در یک دستگاه همتراز نشان می دهد (یانگ و همکاران ۲۰۱۵) (محمود و پارک ۲۰۱۱) که برای کاهش دمای ماکسیمم سلول و نایکنواختی دما، جریان هوا را معکوس می کند (سان و همکاران ۲۰۱۲) و همین نشان داد که هندسه ی داکت تبرید که در BTMS کاربرد دارد توانسته یکنواختی دما را تغییر دهد. پانچال و همکاران ۲۰۱۶ تخمین زده اند که در صورت افزایش سرعت تخلیه، در سطح اصلی باتری شاهد افزایش توزیع دمای سطح هستیم. این BTMS خاص که در یک سرعت شارژ پایین تر به طور رضایت بخشی با هوا کار می کند، ممکن است لازم باشد که طبق آرایش قوی مماسی یا تبرید سیالی، برای عملکرد ایمن با سرعت تخلیه ی بالاتر، تغییر کند (ساو و همکاران ۲۰۱۶b).

کاربرد هوا بعنوان ابزار سرمایش در BTMS به ویژه برای سرعت بالای تخلیه، ممکن است به یک عملکرد رضایت بخش منجر نشود (رائو و وانگ ۲۰۱۱). اگرچه سیستم باتری سرد شده با سرمایش هوای همرفت اجباری، افزایش دما در سلول را کاهش می دهد ولی در صورت افزایش دما تا بالاتر از 66°C باعث دشواری تبرید آن تا زیر 52°C می شود (نلسون و همکاران ۲۰۰۲). به ویژه، در یک باتری تنشی که هم در شرایط دمای محیط بالاتر () و هم سرعت تخلیه ی بالاتر کار می کند، برای تبرید هوا نیازمند یک قدرت فن موثر هستیم که در حفظ شرایط مطلوب عملیاتی هم موثر باشد (صبح و همکاران ۲۰۰۸).

این سیستم تبرید باتری می تواند با ابزار سیال-تبرید هم مثل روغن معدنی، آب، سیال دی الکتریک، گلیکول اتیلن و غیره هم سرد شود. همانطور که انتظار می رود، تبرید با سیال در مقایسه با تبرید با هوا، اتلاف گرمایی بیشتری دارد (نلسون و همکاران ۲۰۰۲). همچنین، نسبت به جایگذاری درون دستگاه هم حساسیتی ندارد (رائو و وانگ ۲۰۱۱).

سیستم های تبرید با سیال، وزن و هزینه ی دستگاه را افزایش می دهند در صورتی که تبرید با هوا پیچیدگی کمتری دارد (پنددگاست و همکاران ۲۰۱۱).

ابتدا، سلول ها درون ماژول آلومینیومی مستطیلی تعبیه می شود و سپس آنها به زیر آب برده می شوند. مطالعه ی قیاسی بین سیال سیلیکونی ترانسفورماتور و تبرید با هوا توسط نلسون و همکارانش ۲۰۰۲ انجام شد که نشان داد که سیستمی که با سیال ترانسفورماتور کار میکند، برای اتلاف حرارت سلول ها، بهتر است (ژولیونا و همکاران ۲۰۱۲) و همچنین، گزارش شد که تولید گرما در BTMS تبرید شده با سیال، در منطقه ی نزدیکتر به پایانه های سلولی، بیشتر است (جارت و کیم ۲۰۱۱).

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

پیشنهاد شد که پهنای کانال در سیستم سیال-تبرید باید برای پایین تر آوردن میانگین دمای کانال، عریض تر باشد (جین و همکاران ۲۰۱۴) که با مینی کانال مایل و مینی کانال مستقیم معمولی بعنوان آرایش تبریدی برای باتری های یون-لی مقایسه شد و مشخص شد که مینی کانال مایل، ضریب انتقال حرارت را افزایش می دهد. تاثیرات کانالها، جهت جریان، دمای محیط، سرعت جریان جرمی ورودی با استفاده از پلیت سرد مینی کانال در باتری های منشوری توسط هائو و همکارانش ۲۰۱۵ بررسی شدند. در شرایط متفاوت دمای محیط، روش های تبرید باید اصلاح شوند یا تغییر کنند. تحت شرایط دمای محیط نرمال، تبرید با سیال، بیشترین تبرید را در پی دارد (ژائو و همکاران ۲۰۱۵). که معرف تبرید سیال مینی کانال برای باتری های سیلندری است و مشخص شده که سرعت جریان جرمی، کاهش ماکسیمم دما را محدود می کند.

سیال قلیایی که در سیستم های باتری سیال-تبرید استفاده می شوند، تحت رسانایی حرارتی خیلی پایینی قرار می گیرند. اتلاف حرارت به انتقال حرارت همرفتی از سطوح باتری مربوط می شود و اینکه می تواند با تغییر هندسه ی جریان یا با افزایش رسانایی حرارتی سیال، افزایش منفعلی داشته باشد. تحقیقات در تلاش برای افزایش رسانایی حرارتی سیالهای قلیایی با تعلیق ذرات جامد در اندازه ی نانو هستند. سیال هایی که نانوذرات معلق دارند، نانوسیال نامیده می شوند. چندین تحقیق انجام شده که از کاربری نانوسیال در تقویت انتقال حرارت حرف می زنند: در میان این تحقیقات، چوی و همکارانش ۲۰۰۱، مفهوم نانوسیال را تعریف کرده و گفته اند که رسانایی حرارتی سیال قلیایی می تواند با افزودن نانوذرات با اندازه هایی کمتر از 100nm افزایش یابد (دوآنگتونگ سوک و وونگ وایسس ۲۰۱۰). موندال و همکارانش (۲۰۱۷) به بررسی راندمان نانوسیالات برای تبرید سلولهای منشوری یون لیتیومی پرداخته اند. دو نوع نانوذرات و CuO و محلول خالص و استفاده شده است. تحقیق مشابهی روی تبرید نانوسیال یک سلول سیلندری یون-لیتیومی از نوع ۱۸۶۵۰، با شناور کردن آن در یک محفظه ی سیلندری، توسط سفیدان و همکارانش ۲۰۱۷ انجام شد. در این نوع آرایش، شاهد گردش نانوسیال در سیستم تبرید باتری نیستیم. آنالیز انتقال حرارت با استفاده از جریان هوا بر روی سطوح خارجی محفظه برای نانوسیالات آب-انجام می شود (ترن و همکاران ۲۰۱۷)

که معرف طراحی سیستم تبرید نانوسیال باتری های یون-لیتیومی است که برای یک محیط با ثقل صفر استفاده می شود. از تعلیق نانوتیوب کربنی در آب مقطر برای تولید نانوسیال استفاده شد. گرمای باطری با نانوسیال درون محفظه ی اتلاف شد و سپس برای گردش مجدد به رادیاتور پمپاژ شد. (رانی و همکارانش (۲۰۱۷a,b)

در تحقیقشان بر روی سیستم تبرید با سطح هیبریدی، دو مدل آرایش سیستم های مدیریت حرارت باتری را با استفاده از تهویه ی هوا با کمک مبرد (R-134a و R-410a)، و دو نوع نانوسیال یعنی آب+CuO و آب+ معرف کردند. تبرید هیبریدی سطح تماس نسبت به نمونه ی معمولی اش، کارآمدتر دیده شده است (لی و همکارانش ۲۰۱۵) که از ZnO، و نانوسیالات الماسی به عنوان تبریدگر، برای یک کششی باتری های یون-لی استفاده می کند و مشخص شده که نانوسیالات در مقایسه با سیال قلیایی، تبرید بهتری دارند به ویژه نانوسیالات الماسی که نسبت به تبرید نانوسیالات و ZnO موثرتر هستند. هونگ و همکارانش ۲۰۱۳، تحقیقی احتمالی را روی تبرید منابع سبز قدرت (باتری های یون-لی، و سوپرکازن ها) با نانوسیال (آب+) در یک مبدل حرارتی هوا-تبرید انجام دادند. خلاصه اینکه، یافته ها به شرح زیر بودند:

- BTMS سیال-تبرید، برای شرایط عملیاتی نامناسب باتری بهتر است.
- اکثر BTMS هایی که با سیال-تبرید کار می کنند، در اصل، بر باتری منشوری متمرکزند که در آن پلیت های سیال مینی کانال، استفاده می شوند.
- چندین تحقیق برای بررسی کاربرد نانوسیالات برای تبرید باتری انجام می شود.
- چند داده ی محدود برای باتری های تک سیلندری که در سیال، همراه با تبرید هوای روی سطوح محفظه یا آرایش باتری های سیلندری غوطه ور می شوند، موجود است.

انگیزه ی این تحقیق ناشی از داده های محدود مربوط به شرایطی بود که در بالا گفته شد. (۱) این تحقیق یک سیستم مدیریت باتری احتمالی با تبرید سیالی را که برای دستگاههای الکتریکی، آنهایی که با سلول های سیلندری نوع ۱۸۶۵۰ کار می کنند مناسب

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

هستند، معرفی می کنند. این تحقیق برای سلول های دیگر مثل ۱۴۵۰۰، ۱۴۶۵۰، ۲۶۶۵۰، ۳۸۱۲۰، ۳۸۱۴۰، ۴۰۱۵۲، ۴۲۱۲۰، ۶۳۲۱۹، ۷۶۳۰۶، و غیره هم مناسب است. ۲) تازگی این تحقیق مربوط به تبرید ماژولار با تاکید بر تبرید سیالی سلول به سلول است که ائتلاف گرمایی سلول به سلول را تسهیل کرده و از شکل گیری نقاط حرارتی متمرکز که برای شرایط عملیاتی ایمن یک سلول خاص هم مضرنده، جلوگیری می کند. ۳) این BTMS برای اینکه بتواند از آرایش ماژولار پک های باتری قالب پندی شده با مینی کانال ها استفاده کرده قابلیت تغییر دارد ۴) آرایش های تبریدی را بر اساس کاربردها و شرایط ژئوگرافیکی، لحاظ می کند. سیستم تبرید باتری دستگاه الکتریکی را می توان با به حداقل رساندن سازه هایش که جداگانه برای کشورهایی با اقلیم گرم و اقلیم سردتر، در نظر گرفته می شوند، مقرون به صرفه تر کرد. ۵) دو راه متفاوت برای بهره گیری از سیستم های تبریدی به بحث گذاشته شده است. در آرایش اول، تحقیقات احتمالی برای حذف توان پارازیتی لازم برای حالت خاص چرخه ی سیال مطرح می شوند. سلول های باتری در یک محفظه ی پر از سیال شناور شده و تحت تبرید همرفت با هوای مبرد قرار می گیرند. در آرایش دوم، باتری ها در یک محفظه ی اصلاح شده قرار داده می شوند جایی که سیال تبرید در گردش است و گرما از آن دفع می شود ۶) این تحقیق در اصل بر عملکرد تبریدی آن با سیال قلیایی (برای مثال آی) و پیشرفت های احتمالی بیشتر در حوزه ی تبرید، با افزودن نانوذرات در سیال قلیایی متمرکز است ۷) این تحقیق، نمودار جریان مناسبی را برای آرایشی که هم از هوای محیط و هم از هوای بازگردش بهره می گیرد، معرفی می کند.

۲- سیستم مدیریت حرارت باتری سیال-تبرید

۱-۲- جزئیات مربوط به ماژول باتری

برای انتخاب نوع باتری، چند فاکتور مثل طرح پکینگ، هزینه و تولید مدنظر است. سلول های کوچک نسبت به سلول های بزرگ به خاطر قیمت پایین تر همراه با تکنولوژی تولید خوب، مزایایی دارند (جی-اچ کیم ۲۰۰۹). محافظ فلزی سلول منشوری و سیلندری به حفظ ساختارهای پایدار سازه ها، کنترل ارتعاش و تحمل در برابر افزایش فشار کمک می کند. این منفذ، امکان آزادسازی ایمن تر گاز درون سلول ها را فراهم می آورد. سلول های منشوری و کیسه ای به خاطر نیروی تراکمی کمتر بر الکترودها، تحت تماس یکنواخت ضعیف تری قرار می گیرند درحالی که طرح رول زله ای سلول سیلندری، توزیع یکنواخت فشار روی استاک های الکترودی سلول را فراهم می آورد (وان اسکالویک و اسکروساتی ۲۰۰۲). سرعت تولید این قبیل سلول های سیلندری به خاطر پیچش های مارپیچی ساده تر، بالاتر است. در این تحقیق، سلول های سیلندری کوچک به خاطر سرعت بالاتر ائتلاف حرارتی شان بر اساس مساحت سطحی قابل قیاس در یک حجم واحد، در اولویت هستند (کیم و همکاران ۲۰۰۷). برای مثال، سلول نوع ۱۸۶۵۰ (با قطر 18mm و ارتفاع 65mm) مناطق انتقال حرارتی را در یک حجم واحد به دست می دهد. در سلول مدل ۷۶۳۰۶، نسبت منطقه ی انتقال حرارت به حجم، کاهش یافته و به می رسد. چگالی پکینگ (سلول ها در حجم واحد) فاکتور دیگری است که حامی سلول های سیلندری کوچک است. برای نمونه، چگالی پکینگ سلول های ۱۶۸۶۵۰ و ۲۶۶۵۰، به ترتیب، حدود ۴۷۵۲۴ و ۲۲۸۵۷ هستند.

دو نوع آرایش مورد بررسی قرار گرفته است: BTMS پر شده با سیال (LfBS) و BTMS سیال-مدور (LCBS). در هر دو نمونه، یک ماژول متشکل از ۷ سلول سیلندری ۱۸۶۴۰ وجود دارد. در آرایش اول، سلول ها در یک محفظه ی پر از سیال شناور می شوند (تصویر ۲). در حالی که در نمونه ی دوم، سلول ها در یک محفظه قرار می گیرند که امکان ورود و خروج جریان وجود دارد (تصویر ۳). شاخص سلولی ۱-۷ (سلول #۱ در ورودی، سلول #۴ و وسط و سلول #۷ در خروجی ماژول قرار دارد) برای کنترل دمایش طی کاربری باتری استفاده می شود.

در آرایش LfBS، گرمای انباشت شده در محفظه، امکان ائتلاف هوای محیط یا بازگردش هوا از کابین ماشین را فراهم می آورد. سلول ها فضایی برای گردش سیال دارند و مستقیماً روی دیواره ی پایه ی محفظه نمی مانند و همچنین، سطح فوقانی سلول و دیواره ی فوقانی محفظه امکان فضا بندی توزیع سیال را فراهم می آورد. در آرایش LCBS، گرمای تولید شده توسط باتری، طی عملکرد تخلیه اش، امکان ائتلاف سیال در گردش را فراهم می آورد. در اینجا، LfBS، بدون تغییر آرایش ماژول، به جز شرایط ورودی و خروجی، قابل تغییر و اصلاح است (تصویر ۳).

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

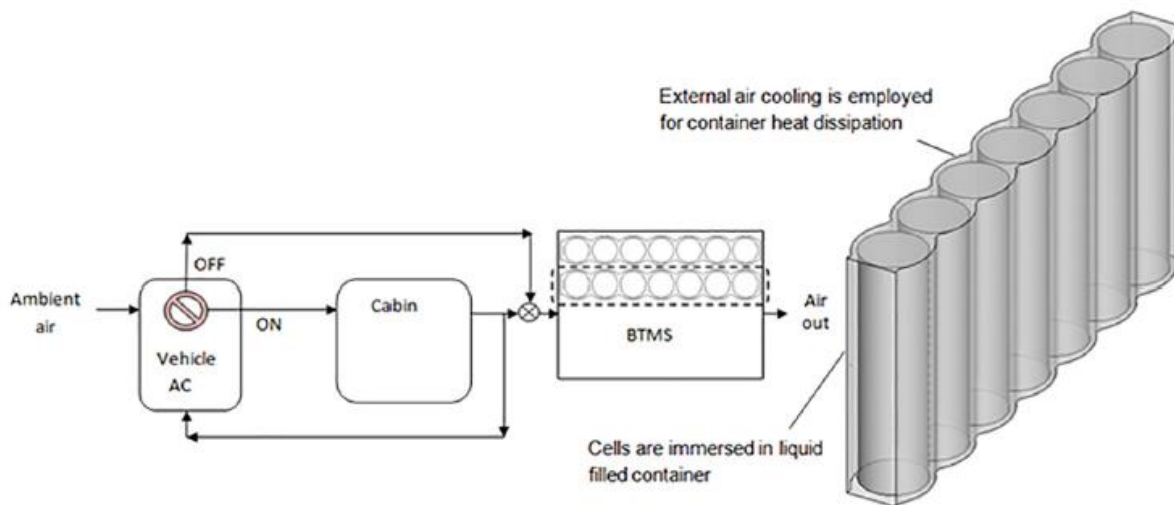
senaconf.ir

۲-۲: نانوسیال

سیالی که اینجا مورد نظر است، نانوسیالی آبی است که حاوی نانوذرات آلومین (Al_2O_3) به قطر 40 nm است. این ویژگی های در جدول ۱ فهرست شده اند. استفاده از نانوذرات، خواص سیال قلیایی را تغییر می دهد. شبیه سازی BTMS ی که با نانوسیال کار می کند مستلزم خواص کامل ترموفیزیکی مثل چگالی، رسانایی حرارتی، گرمای ویژه، و ویسکوزیته قبل از کاربرد است. چند گزارش قابل دسترس برای تعیین این خواص وجود دارد که اعتبارش با کمک مقادیر تجربی مشخص شده اند.

۲-۲-۱: چگالی

مدل معمولی ترکیب مایع-جامد (پاک و چو ۱۹۹۸) (خانافر و وفایی ۲۰۱۱) برای محاسبه ی چگالی نانوسیال که در ادامه آمده، استفاده می شود.



تصویر ۲: BTMS مورد نظر با تغذیه ی آبی (LfBS)

(۱)

در حالی که ، غلظت حجمی نانوذرات است و زیر نویس ρ_f ، ρ_b ، ρ ، به ترتیب، نانوسیال، سیال قلیایی (آب) و نانوذرات () هستند.

۲-۲-۲: گرمای ویژه

گرمای ویژه بر اساس مفهوم ظرفیت گرما محاسبه می شود (اکسوران و روئنتزل ۲۰۰۰).

۲-۲-۳: رسانایی حرارتی

مطالعات نظری و تجربی متفاوتی برای ارزیابی رسانایی حرارتی نانوسیال ها وجود دارد. این تحقیق، ضریب معرفی شده از سوی

کرسینون ۲۰۱۱ را برای برآورد رسانش حرارتی نانوسیالات آب+ پذیرفته است.

(۳) در حالی که ، رسانش حرارتی سیال قلیایی (آب)، و ، نقطه ی فریز آب است. و Pr ، عدد رینولد نانوذرات و عدد پراوندتل سیال قلیایی هستند. با معادله ی زیر به دست می آید:

(۴) در حالی که ، معرف چگالی و ویسکوزیته ی جریان سیال قلیایی است. ، ثابت بولتمن است. قطر نانوذره ی ، 40 nm شده است.

۲-۲-۴: ویسکوزیته ی دینامیکی

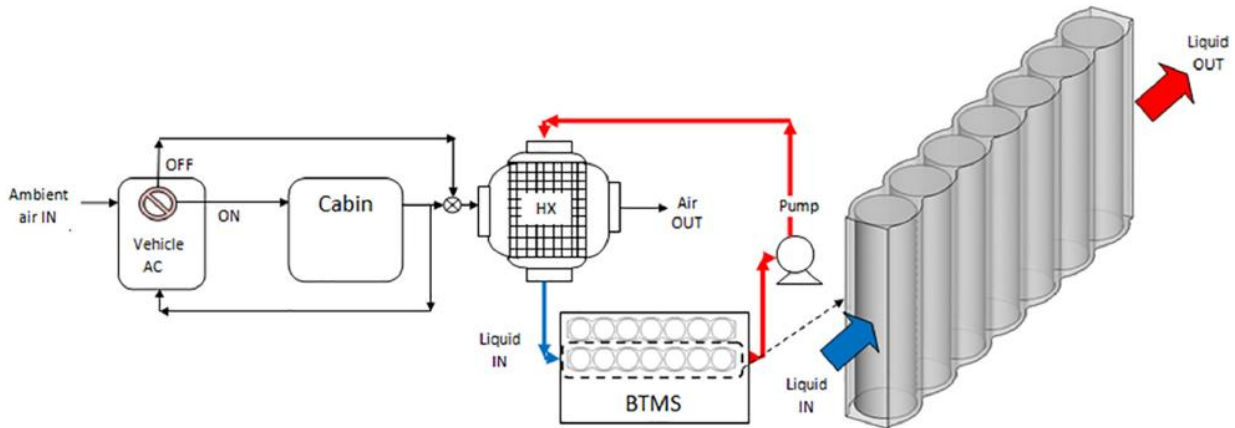
همبستگی کورسیون (۲۰۱۱) برای محاسبه ی ویسکوزیته ی دینامیکی نانوسیالات استفاده می شود.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

(۵) ، قطر موثر ماژول سیال قلیایی است که با معادله ی زیر محاسبه می شود:
(۶a) در حالی که M، ورژن مولکولی آب است و (عدد آووگاردو) است. جدول ۱، خواص ترموفیزیکی سیال قلیایی، نانوذرات و نانوسیالات را نشان می دهد.



تصویر ۳: BTMS معرفی شده با آرایش مدور سیال (LCBS)

جدول ۱: خواص ترموفیزیکی

	Pure water (Incropera et al., 2011)		Alumina (Al ₂ O ₃)	Nanofluid $\Phi = 0.4\%$	
	30 °C	35 °C		30 °C	35 °C
Density (kg/m ³), ρ_{bf}	995.81	993.83	3970	1007.71	1005.73
Specific heat (J/kgK), $C_{p,bf}$	4178	4178	765	4124.21	4124.11
Thermal conductivity (W/mK), K_{bf}	0.6172	0.6248	40	0.6349	0.6461
Viscosity (kg/ms), μ_{bf}	0.0008034	0.0007246	-	0.000934	0.000843

۳- اعتبارسنجی نمونه ی سیالی (پرشده با سیال)

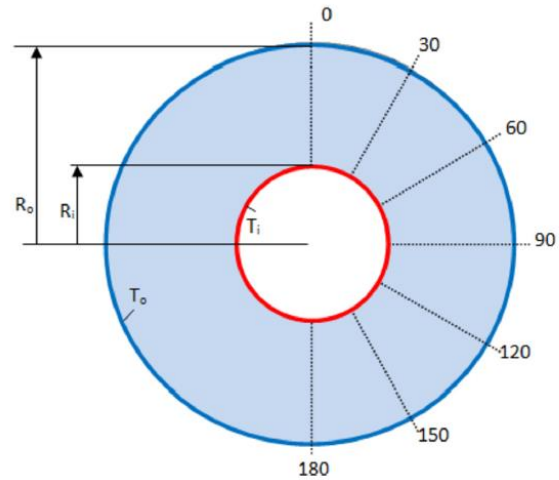
تحقیق تجربی ت.ح کوئن و ر.ج گلدشتین (۱۹۷۶) برای اعتبارسنجی نمودار عددی نمونه ی پر شده با سیال استفاده می شود. این نمونه با استفاده از سیلندرهایی هم مرکز که امکان ورود آب و هوا را به داخل فضای حلقوی فراهم می آورد، ساخته شد. هر دو سیلندرها به لحاظ طول برابرند (۲۰۳mm) و از مواد مشی ساخته شده اند. ضخامت دیواره ی سیلندر داخلی، ۵,۱mm است و قطر خارجی ۳۵,۶mm است. قطر داخلی سیلندر خارجی، ۹۲,۵ mm است و ضخامت دیواره ۴,۵mm است. قدرت الکتریکی منبع توان رگوله شده ی DC، برای رزیستور سیلندر داخلی فراهم شد. تصویر ۴، یک آرایش خاص با ترمونولوژی استفاده شده برای آنالیز را نشان می دهد.

در اینجا، به دمای داغ درون دیواره ی سیلندر داخلی اشاره دارد در حالی که، دمای تبرید سیلندر خارجی است. و، در دمای ایزوترمال مناسب 28.1°C و 27.2°C نگه داشته شدند که عدد رایلی را در رنج و عدد پراندتل را در 6.21 به دست می دهد. برای اعتبار سنجی، یک مدل دو بعدی با استفاده از ابزار مدل سازی Gambit تولید شد.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



تصویر ۴: آرایش جریان حلقوی تجربی (ت.ح کوهن و ر.ج گلدشتین ۱۹۷۶) با بخش های استخراج داده

شبیه سازی های عددی هم با پکیج فلوئیت 6.3.1 CFD و با شرایط مرزی از پیش تعریف شده، انجام شدند. تصویر ۵، مقایسه ی نمودار تداخلی تجربی را نشان می دهد و به لحاظ عددی کانتورهای دما و ایزوترم ها را به دست می دهد که همخوانی خوبی با الگوی دمایی تجربی دارد. مقایسه ی بیشتر توزیع دما در طول ۶ خط رادیال (0° - 180°) ثبت شد که در تصویر ۴ آمده است. این مقادیر دمایی به دمایی غیربی بعد () تبدیل شده و خلاف فاصله ی رادیالی بی بعد در امتداد هر خط (در تصویر ۶) ترسیم می شوند. می توان دید که نتایج عددی، همخوانی خوبی با داده های تجربی دارند.

(۶b)

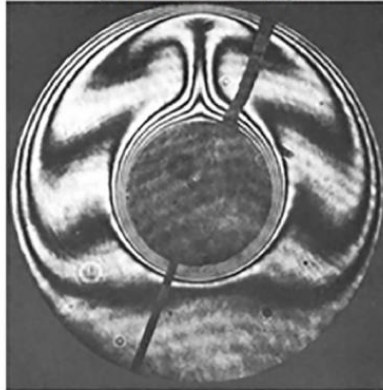
(۷)

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

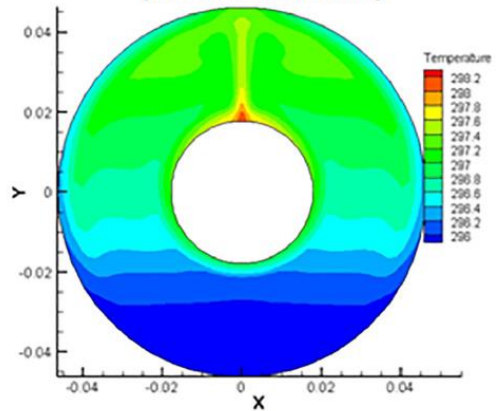
senaconf.ir

Experimental Interferogram
(Kuehn and Goldstein)

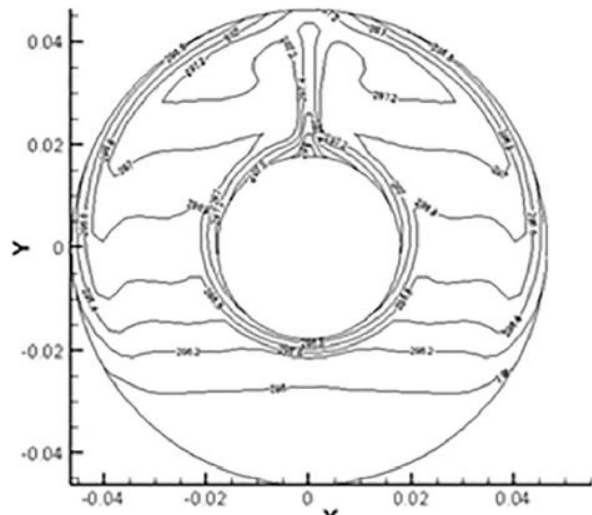


(a)

Temperature contours
(Present numerical scheme)



(b)



(c)

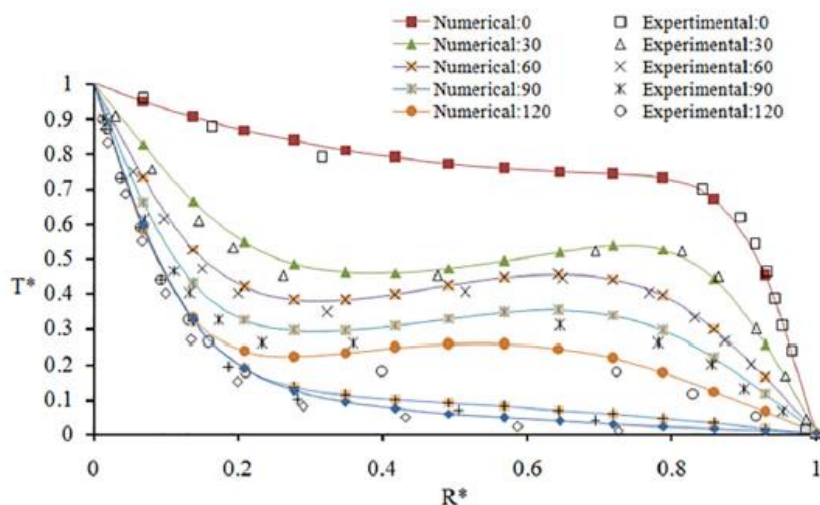
تصویر ۵: (a) نمودار تداخلی تجربی که با استفاده از آب برای $Pr=6.21$ و به دست آمده است. (b) نمودار عددی

کانتورهای دما (c) ایزوترم عددی

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



تصویر ۶: مقایسه ی توزیع دمای رادیال بی بعد برای و $Pr=6.21$

۳-۱- اعتبارسنجی نمونه ی سیال - مدور

اعتبارسنجی نمودار عددی که در این تحقیق آمده، با استفاده از داده های تجربی جعفری مقدم و همکارانش (۲۰۱۷) انجام شدند. آنها، یافته های مربوط به انتقال حرارت همرفت را برای جریان نانوسیال در یک لوله ی حلقوی هم مرکز ارائه کرده اند. بخش آزمایشی شامل دو لوله ی مسی است. قطر داخلی لوله ی خارجی و لوله ی داخلی، به ترتیب، 25.4mm و 6.35mm بودند. ضخامت دیواره ی لوله ی داخلی و لوله ی خارجی به ترتیب، 1mm و 1.3mm بودند. طول هر دو لوله ها تحت شرایط آزمایش، 150mm شد. ستاپ با یک کویل الکتریکی پیچیده شده دور لوله ی خارجی، گرما داده شد. طی این آزمایش، کویل گرمایشی با مقدار ثابت 204W به منبع توان AC متصل شد. برای اندازه گیری دمای دیواره در ۹ لوکیشن، در امتداد طول محوری لوله و دمای نانوسیال حین ورود و خروج از بخش آزمایشی، ستاپ به سنسورها مجتمع شد. آزمایشات روی نانوسیال AI-oil انجام شدند. خواص ترموفیزیکی نانوسیال از قبیل رسانش حرارتی، چگالی، گرمای ویژه و ویسکوزیته، به لحظ تجربی، قبل از کاربردش در ستاپ تعیین شدند. در نمودار عددی، یک هندسه ی سه بعدی مطابق با ابعاد از پیش تعیین شده، با استفاده از ابزار GAMBIT پکیج نرم افزاری CFD ساخته شد (متند فلوننت ۶، ۲۰۰۶، فوننت (Inc, Lebanon, n.d)). خواص ترموفیزیکی نانوسیال AI-oil هم برای اندازه گیری مقادیر استفاده شدند. شرایط مرزی مورد استفاده طی شبیه سازی هم در جدول ۲ فهرست شدند. عدد نوسلتی که به صورت عددی به دست آمد هم همخوانی خوبی با داده های تجربی داشت (تصویر ۷).

۳-۲- آنالیز حساسیت مش

گرمای تولید شده در سلول طی شرایط تخلیه، به خاطر واکنش های الکتروشیمیایی است. جزییات مربوط به مدل تولید گرما در باتری که در این تحقیق استفاده شده اند، را می توان در تحقیق قبلی مان نیز (جیلته و کومار ۲۰۱۸) (جیلته و همکاران ۲۰۱۹) ببینید. برای اطمینان از نتایج صحیح عددی، یک تحقیق استقلال شبکه ای انجام شد. در این نمونه، هندسه ای برای اندازه گیری اندازه های مختلف مش (عناصر 97263 ، 153287 ، 172749 ، و 351223) مدل سازی شد. سلول های باتری در معرض دمای محیط 35°C قرار گرفتند. امکان تخلیه در آمپر ثابت 10A فراهم شد. آب با سرعت جریان 0.01 kg/s به گردش در آمد. تغییر دما در دمای خروجی مازول، کنترل شد چون هم تحت تاثیر حرارت تولید شده در مازول است و هم تحت تاثیر گرمای همرفتی با آب. نتایج محاسباتی در تصویر ۸ آمده اند. می توان دید که پس از پالایش مش، راه حلها، مستقل شبکه ای هستند. بنابراین، مش عنصری با سایز 172749 برای اجتناب از زمان طولانی محاسبه و بی ثباتی راه حل، استفاده شد.

۴- نتایج و مباحث

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

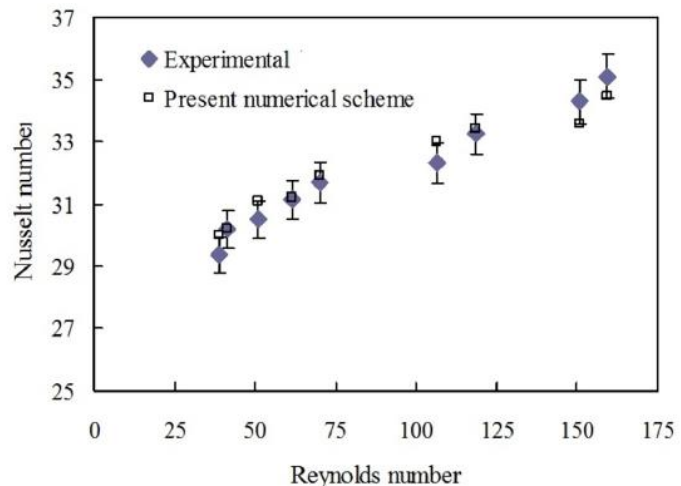
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

ماژول باتری تحت تاثیر شرایط مختلف عملیاتی قرار گرفت و داده های عملکردی شان برای هر دو سرعت تخلیه ی 2C و 4C آنالیز شد. سرعت-AC، معیار سرعتی است که در آن باتری با توجه به ماکسیمم ظرفیتش تخلیه می شود. سرعت AIC، بدان معناست که باتری می تواند تا حداکثر ۱ ساعت طول بکشد درحالی که تخلیه ی ثابتی در جریان اسمی دارد. طی پروسه ی استارتاپی باتری، کل ماژول تحت شرایط اتمسفری قرار می گیرد. بنابراین، بسته به شرایط محیط، دمای ماژول باتری شروع می شود. در آرایش LfBS، گرمای اتلاف شده ی باتری با نانوسیال همرفتی پیدا می کند. از آنجا که باتری به یک محفظه منتهی می شود، دفع گرما از نانوسیال مستلزم تبرید خارجی محفظه با کمک جریان هوای اجباری است. هوای مورد نیاز برای تبرید LfBS (تصویر ۲) یا تبرید LcBS (تصویر ۳) در دو شرایط ورودی تامین می شود. ابتدا، اگر دمای محیط حدود 35°C باشد و تهویه ی هوا در دستگاه الکتریکی خاموش باشد. دوم، در شرایطی که تهویه ی هوا روشن باشد و هوای بازگردش شده از کابین ماشین برای کمک به سیستم تبرید باتری، روی 30°C باشد. این مقادیر با توجه به بار تبرید کابین با هوای نفوذی قابل اغماض، مقادیر معقولی هستند. طی شبیه سازی، شرایط مرزی مناسب دیواره ی همرفتی روی سطوح محفظه اعمال شدند.

جدول ۲: شرایط مرزی برای شبیه سازی

Parameter	Boundary condition
Annulus inlet	Mass flow rate corresponding to $Re = 38.6$ to 159
Annulus outlet	Pressure outlet
Wall of outer tube	Constant heat flux corresponds to 204 W
Other walls	No-slip condition

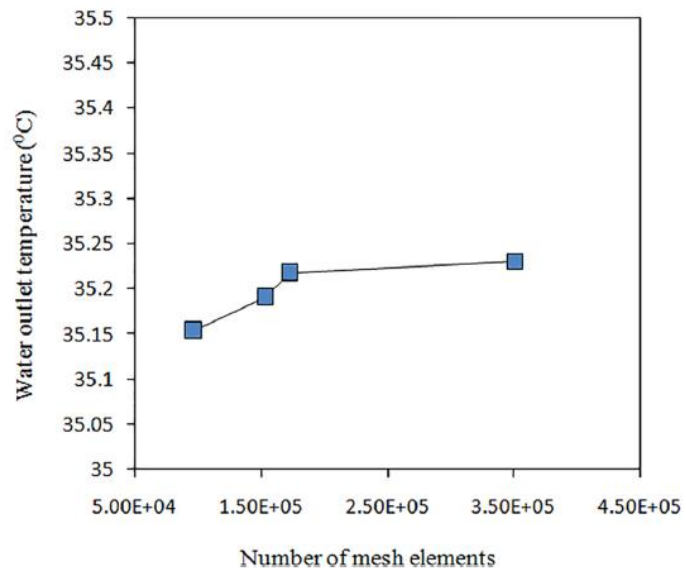


تصویر ۷: اعتبارسنجی تحقیق تجربی جعفری مقدم و همکارانش (۲۰۱۷)

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



تصویر ۸: تحقیق استقلال مش

نتایج محاسباتی در چهارچوب پاسخ های حرارتی گذرای ماژول باتری ارائه شده اند و میدان دمای درون ماژول برای هر دو روش های جایگذاری ماژول باتری در یک محفظه ی پر از سیال و تعریف آرایشی برای گردش سیال تبرید، ارائه می شوند.

۱-۴- پاسخ حرارتی ماژول

پاسخ های گذرای سلول ها حداکثر تا ۱۰۰٪ تخلیه، هم برای آرایش تبرید با نانوسیال و تبرید با آب مورد مطالعه قرار گرفته اند.

LfBS-۱-۱-۴

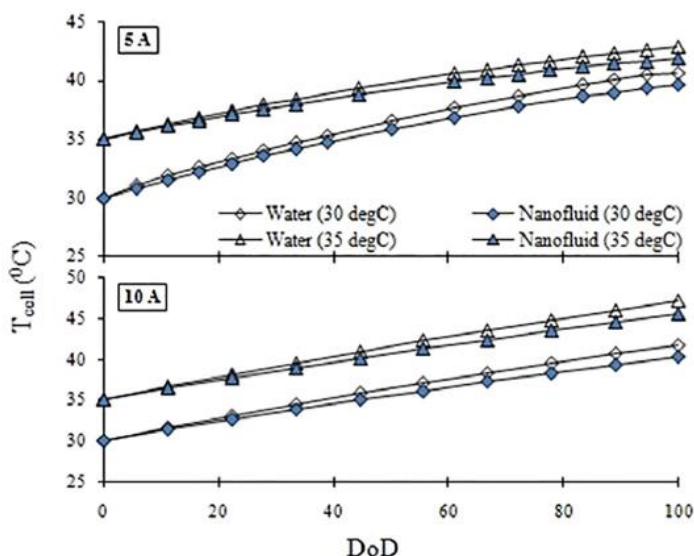
تصویر ۹، طرح نمونه ی دمای سلول #۴ را برای LfBS، در هر دو سرعت های C نشان می دهد. پاسخ گذرای سلول در آغاز عملکردش (عمق ۰٪ تخلیه) برابر با دمای محیط/منبع هواست که قبلا هم توضیح داده شد. مشاهده می شود که دمای سلول به طور پایداری طی پروسه ی تخلیه اش افزایش می یابد. حفظ دمای سلول طی کاربردش، متاثر از سیال تبرید است. اتلاف گرمای دیواره ی محفظه ی ماژول نیز به فراگیری شرایط خارجی تبرید همرفتی بستگی دارد. در این نمونه، ماژول باتری در یک محفظه ی پر از سیال قرار می گیرد. بنابراین، انتقال حرارت از سطوح باتری به این سیال تحت مدیریت جریان رانشی است. سطح خارجی محفظه، گرما را به شرایط محیط/شرایط منبع، اتلاف می دهد. به ویژه، دمای سلول برای BTMS آبی، بالاتر بود. طبق تصویر ۹، می توان دمای سلول را با نانوسیال پایین تر آورد. این، به خاطر افزایش تبرید سطوح سلول نانوسیال، طی مسیر تخلیه اش است.

اتلاف حرارت از دیواره ی محفظه ی ماژول نیز به شرایط متوالی هوای محیط یا هوای تامین شده بستگی دارد. تولید گرما در سلول وابسته به دمای لحظه ای مواد سلول است. ماکسیمم دمای سلول #۴، در $T_a=30^{\circ}\text{C}$ و سرعت 2C به ترتیب، روی 40.66°C و 39.69°C برای آب و نانوسیال دیده شده است. این مقادیر در $T_a=35^{\circ}\text{C}$ و سرعت 2C، برای آب و نانوسیال، به ترتیب، 42.85°C و 41.90°C هستند. همچنین، پاسخ گذرای سلول #۴ در سرعت 4C نیز در تصویر ۹ آمده است. اگرچه که دمای سلول به خاطر سرعت بالاتر تخلیه افزایش می یابد ولی گزارش شده که برای نانوسیال جایگذاری شده در واحد تبرید باتری در مقایسه با آب جایگذاری شده در همان سیستم، دمای سلولی کمتری دارد. ماکسیمم دما در سرعت 4C و $T_a=35^{\circ}\text{C}$ ، برای نمونه ی نانوسیال به 45.4°C محدود می شود.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



تصویر ۹: پاسخ گذرای سلول #۴ برای LfBS

LcBS - ۲-۱-۴

در آرایش اصلاح شده، سیال از طریق فضابندی شکل گرفته بین سطوح باتری و دیواره های محفظه، به گردش در می آید. امکان ورود و خروج سیال تبرید، همانطور که در تصویر ۳ می بینید، فراهم می شود. سرعت جریان سیال 0.01kg/s ثابت نگه داشته شد. رفتارهای گذرای حاصله برای سرعت های 2C و 4C در دمای ورودی سیال 30°C، در تصویر ۱۰ ترسیم شده اند. می توان دید که دمای ماکسیمم توسعه یافته در ماژول باتری در مقایسه با سیال گنجانده شده در سیستم تبرید (که قبلا شرح داده شد)، خیلی کمتر است. افزایش چشمگیر دمای سلول طی دوره ی اولیه ی تخلیه ی باتری (حداکثر ۱۲٪ عمق تخلیه) مشاهده می شود. می توان نشان داد که حفظ دمای سلول طی چرخه ی کامل تخلیه اش برای نمونه ی نانوسیال مدور، کمتر است. برای مثال، دمای سلول #۴ برای نمونه ی آب-مدور، افزایش یافته و به 30.02°C می رسد در حالی که برای BTMS آب-مدور در سرعت 2C و 30°C، ۲۰، ۱۳ است. BTMS سیال-مدور در مقایسه با BTMS سیالی موثرتر عمل می کند چون سیال، گرمای آن را دفع می کند. برای سرعت بالاتر 4C دمای سلول #۴ برای سیستم های تبرید آب و نانوسیال، به ترتیب به حداکثر 3.33° و 30.06° می رسد. تاثیر دمای سیال ورودی (به خاطر تغییر در شرایط منبع) نیز برای 35°C آنالیز شد و در تصویر ۱۱ ترسیم شد. رفتار گذرا مشابه بود اگرچه که با مقدار بالاتر دمای سلول طی پروسه ی تخلیه اش مواجه بودیم.

۲-۴- یکنواختی دما در ماژول

یکنواختی دما را می توان با کمک اختلاف دما () در ماژول و در فاصله ی زمانی مطالعه و به صورت زیر محاسبه کرد:
در حالی که و، مقادیر ماکسیمم و مینیمم دمای سلول در میان همه ی سلول ها در DoD لحظه ای هستند.

LfBS - ۱-۲-۴

تصویر ۱۲، پلاتهای مربوط به مقادیر اختلاف دما را برای سیال BTMS نشان می دهد. همانطور که انتظار می رود، اختلاف دما در ابتدای عملکرد باتری، صفر است. اختلاف دمای بالا برای BTMS آب-تبرید دیده شده در حالی که برای BTMS نانوسیال، کمترین بود. در نمونه BTMS آب-تبرید در سرعت 2C و Ta=30°C، شاهد اختلاف دمای 0.2°C در ۱۲٪ تخلیه بودیم که برای ۵۰٪ و ۱۰۰٪ فاصله ی تخلیه به ترتیب، به 0.47°C و 0.93°C می رسد درحالی که برای سیستم های نانوسیالی، به مقدار ماکسیمم 0.31°C محدود می شود. در صورت تغییر دمای منبع و شرایط سرعت تخلیه (4C و Ta=35°C)، اختلاف دما در ۱۱.۱۱٪ و ۵۰٪ و

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

۱۰۰٪ عمق تخلیه، به ترتیب، 0.08°C ، 0.49°C و 0.87°C برای سیستم های آب-تبرید هستند. برای همان نمونه با نانوسیال، اختلاف دما محدود به 0.36°C است.

LcBS-۲-۲-۴

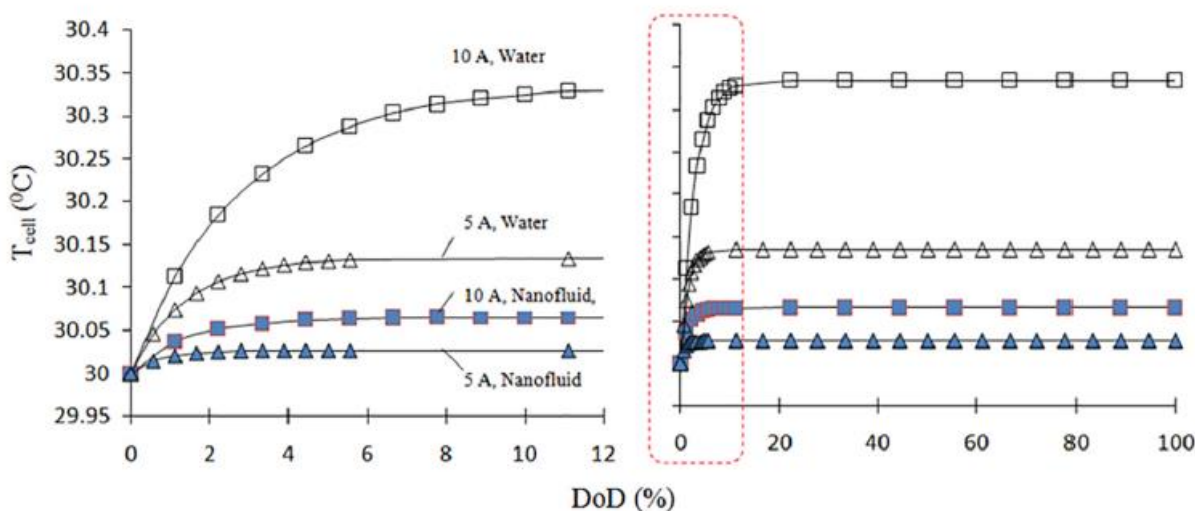
تصویر ۱۳ و تصویر ۱۴، اختلاف دمای محاسبه شده برای سرعت های 2C و 4C را به ترتیب روی 30°C و 35°C محاسبه می کند. یکنواختی دمای ماژول را می توان با گردش سیال تبرید، در مقایسه با سیستم های سیالی بهبود بخشید. حتی با یک سرعت جریان آب 0.01 kg/s با ورودی 30°C اختلاف دما در سرعت 2C، به 0.04°C و در سرعت 4C، به 0.097°C محدود می شود. در همه ی نمونه ها، یکنواختی بهتری را برای BTMS نانوسیال-مدور شاهد بودیم. چند مزیت برای BTMS سیال-مدور وجود دارد. مزیت اول اینکه، نوسانات دمایی ماژول تنها طی فاصله ی کوتاه دوره ی تخلیه ایجاد می شوند (تا حداکثر ۲۵٪ عمق تخلیه مشاهده شده است). مزیت دوم اینکه، ماکسیمم اختلاف دما در مقایسه با سیستم پر از سیال کمتر است. برای مثال، ماکسیمم برای سیستم پر از سیال حدود بود در حالی که برای سیستم های سیال-مدور، 0.017°C بود.

۳-۴- توزیع های سلولی

طبق موقعیت سلول در ماژول و مجاورتش با گرمای اتلاف، دمای سلول می تواند متفاوت از همدیگر باشند. تنوع ماکسیمم دمای سلول در پایان دوره ی تخلیه رخ می دهد.

LfBS-۱-۳-۴

تصویر ۵، تنوع دمای سلول را در شرایط تخلیه ی ۱۰۰٪ برای هر دو شرایط محیطی و سرعت C نشان می دهد. سلول هایی که در داخل ماژول قرار دارند در مقایسه با سلول های مشابه شان، کمی داغتر هستند. برای مثال، در سرعت 2C و 30°C دماهای سلول #۱، #۴ و #۷، به ترتیب، 37.18°C ، 37.80°C و 36.74°C هستند. در حالی که در سرعت 4C و 30°C ، افزایش یافته و به ترتیب به 41.14°C ، 41.95°C و 40.66°C می رسند. انحرافات دمایی کمتر سلول را برای نمونه ی نانوسیال-تبرید شاهد بودیم که برای سلول #۱، 36.77°C ، برای سلول #۴، 36.90°C و برای سلول #۷، 36.74°C (در سرعت 2C و 30°C) بود. توزیع دمایی مشابه برای سلول در دیگر شرایط عملیاتی با سرعت 4C و 35°C هم در تصویر ۱۵ آمده است.

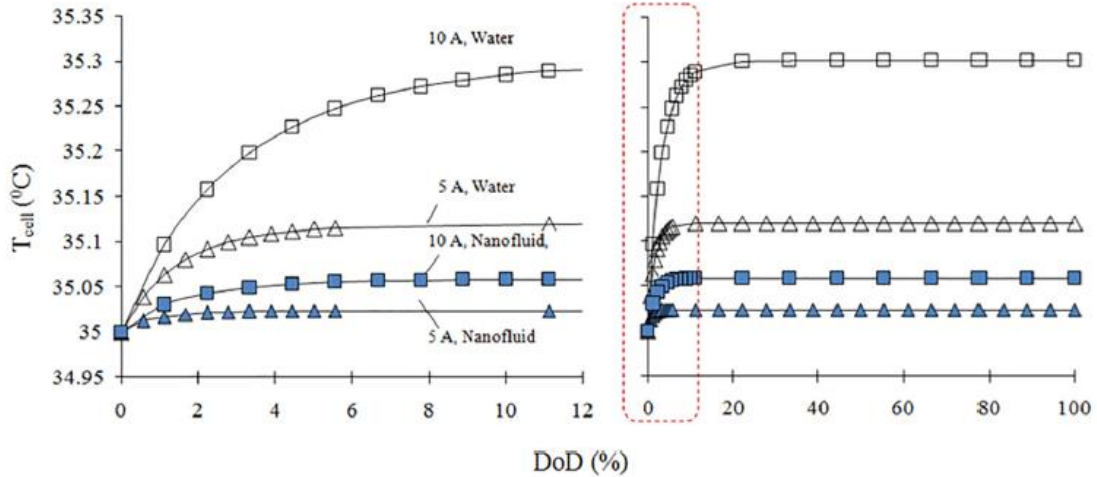


یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

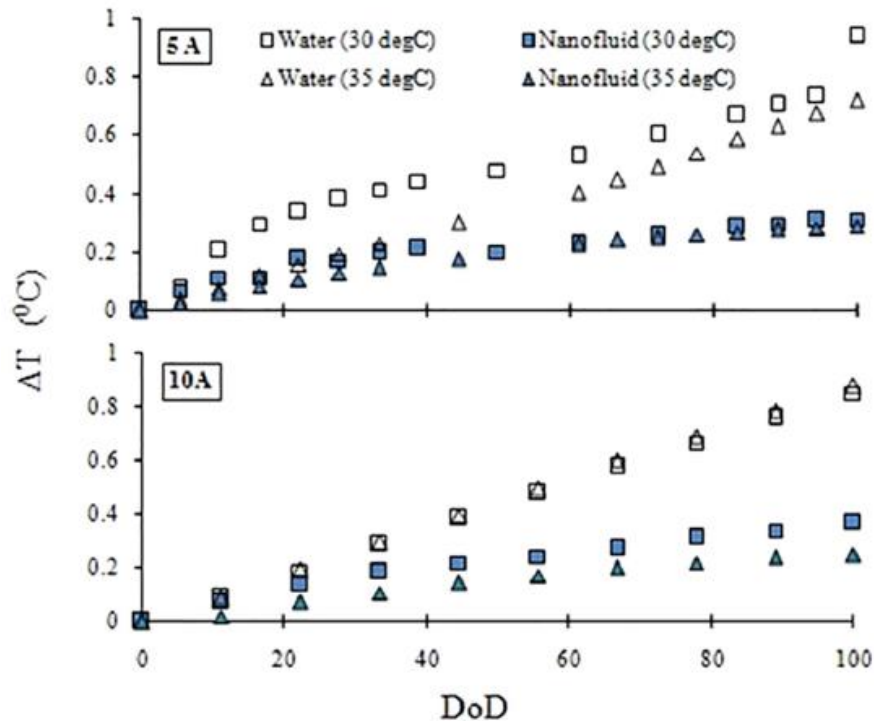
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

تصویر ۱۰: پاسخ گذرای سلول #۴ برای LcBS در $T_a=35^\circ\text{C}$



تصویر ۱۱: پاسخ گذرای سلول #۴ برای LcBS در $T_a=35^\circ\text{C}$



تصویر ۱۲: ماکسیمم اختلاف دمای سلول برای LfBS

LcBS-۲-۳-۴

تصویر ۱۶، تنوع دمای سلولی را برای شرایط سیال-مدور نشان می دهد. سلول هایی که به ورودی نزدیکترند (سلول #۱) در شرایط نسبتاً سردتری هستند. سلول #۲ و سلول #۷، گرما را به سیال مدور کمی گرمتر، اتلاف می دهند که علت آن این است که سیال تبریدی همزمان با جریان یافتنش در سلول #۱، گرمادهی می شود و گرمای آن را جذب می کند. بنابراین، سلول #۲ و سلول #۷، به

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

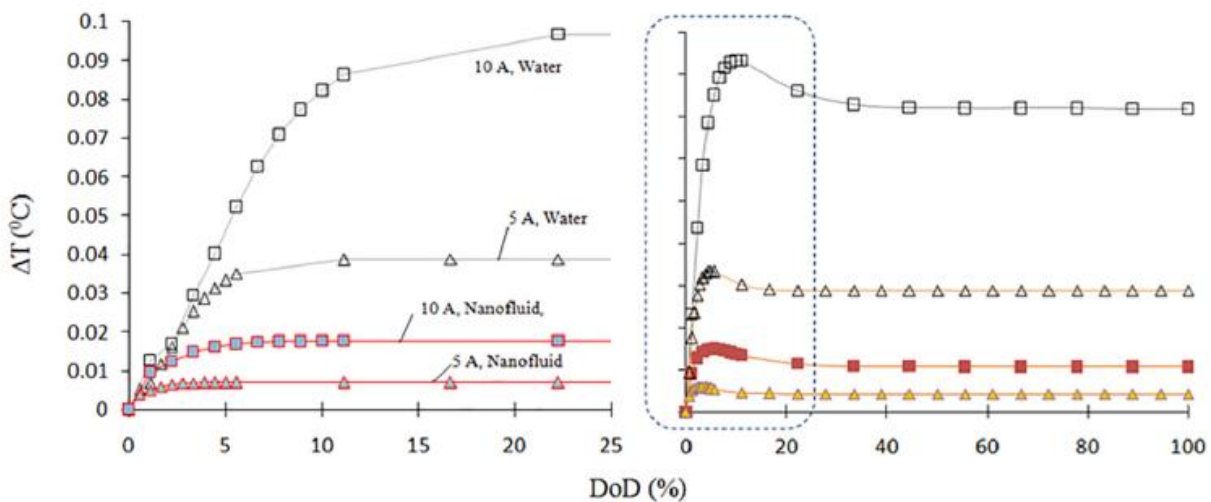
طور همرفتی به هوای گرمتر، گرما اتلاف می دهند. سلولی که در دهانه های خروجی است (سلول #۷) در مقایسه با سلول های قبلی مشابهشان، دمای کمی بیشتری دارد.

۴-۴- تنوع دمای سیال تبرید در ماژول

دمای سیال تبریدی برای درک گرمای انباشت شده طی کاربری اش، کنترل شد. تصویر ۱۷، چنین طرحی را برای هر دو نمونه آرایش های LiBS و LcBS نشان می دهد. مقادیر دمای سیال در پایان پروسه ی تخلیه (100DoD) برای طراحی تنوع شان استفاده می شوند.

LfBS-۱-۴-۴

در همه ی نمونه ها، دمای نانوسیال نسبت به آب کمتر بود. برای مثال، در ماژول باتری ای که در سرعت تخلیه ی 2C و دمای منبع 30°C کار می کند، افزایش دمای آب تا 37.5°C است در حالی که دمای نانوسیال به 36.80°C محدود است. در سرعت تخلیه ی 4C، دمای آب و نانوسیال به ترتیب به 41.08°C و 40.29°C می رسند. ماژول باتری ای که در دمای ورودی نانوسیال 35°C کار می کند، دمای آب برای سرعت های 2C و 4C، به ترتیب به 42.40°C و 26.40°C می رسد. تحت این شرایط، دمای نانوسیال برای سرعت های 2C و 4C، به ترتیب به 41.93°C و 45.54°C می رسد.

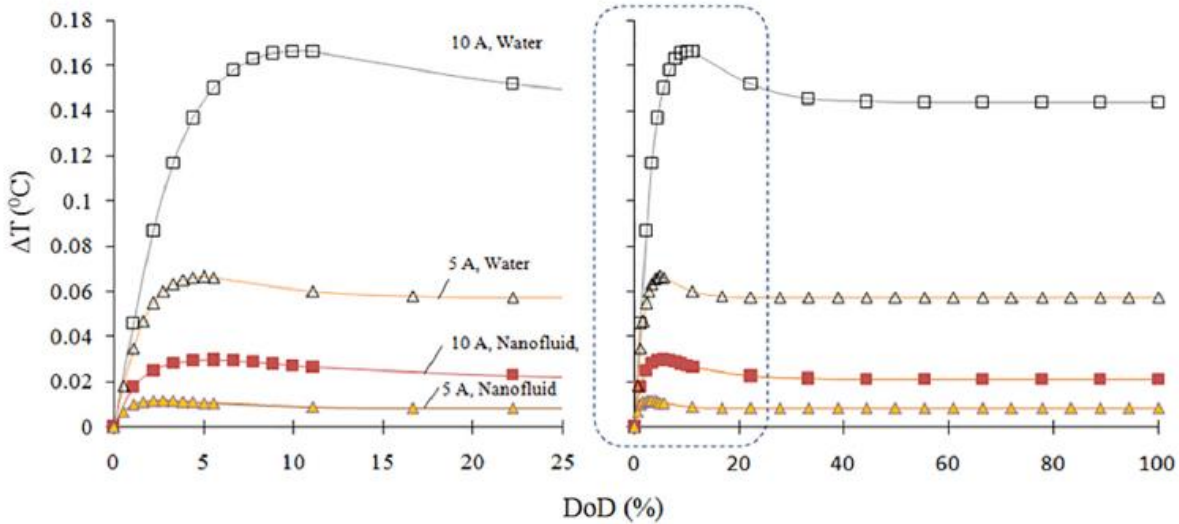


تصویر ۱۳: ماکسیمم اختلاف دمایی سلول برای LcBS در مدت $T_a=30^\circ\text{C}$

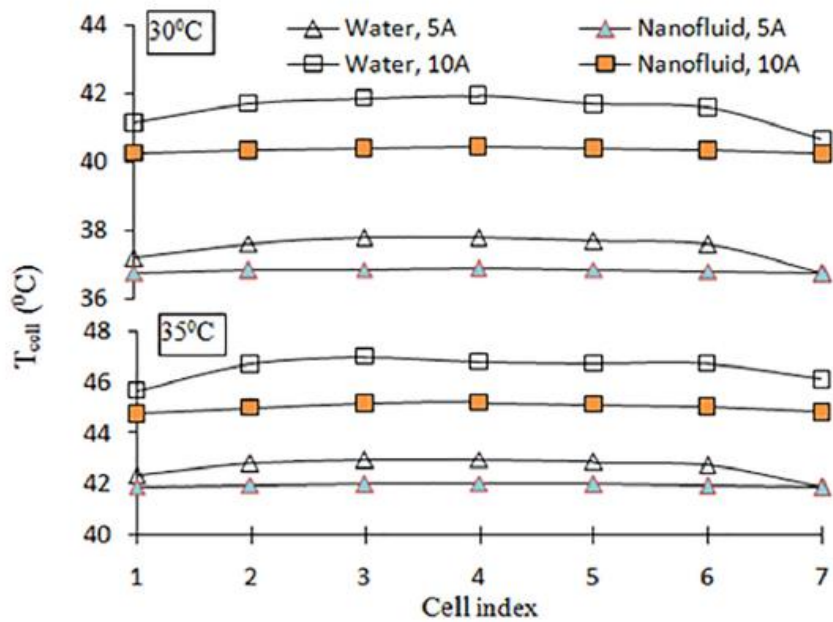
یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



تصویر ۱۴: ماکسیمم اختلاف دمایی سلول برای LcBS در $T_a=35^\circ\text{C}$

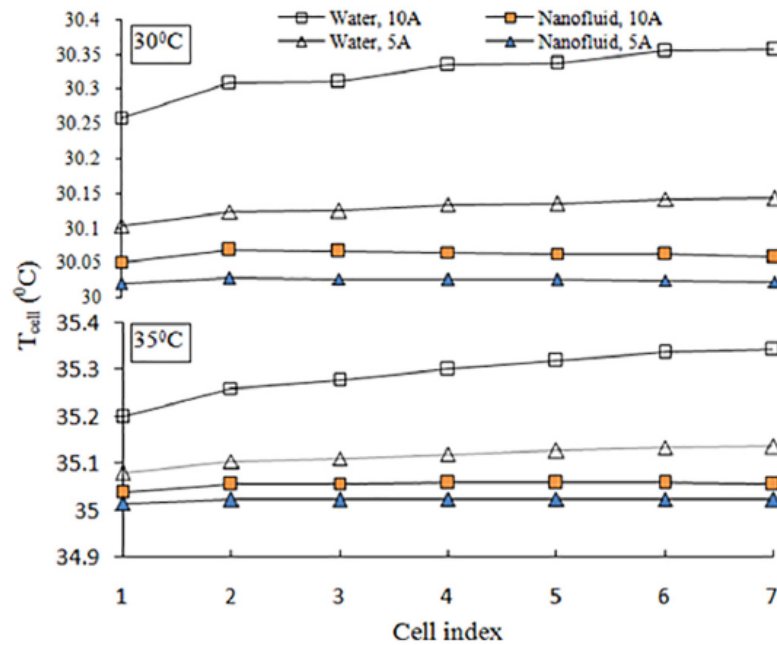


تصویر ۱۵: دماهای سلول به سلول در 100DoD٪ برای LcBS

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



تصویر ۱۶: دماهای سلول به سلول در 100DoD برای LcBS

LcBS - ۲-۴-۴

می توان نشان داد که دمای سیال برای سیستم های سیال-مدور در مقایسه با سیستم های سیالی کمتر است. افزایش ماکسیمم دمای سیال برای هر دو سرعت های تخلیه زیر 1°C است.

۵. نتیجه گیری

آلودگی ای که از دستگاههای انتقال سوخت معمولی تولید می شود را می توان با کمک ماشین های الکتریکی ای که از باتری های قابل شارژ یون-لی استفاده می کنند، به طور ایمنی کاهش داد. در این تحقیق، دو آزمایش احتمالی برای تبرید باتری، با توجه به شرایط متعادل تا بد عملکرد باتری در دستگاههای الکتریکی پیشنهاد می شود. طبق تحقیقات عددی سه بعدی روی رفتار حرارتی گذرای ماژول باتری یون-لی، نتایج زیر به دست آمد:

- به خاطر ماهیت ماژولار سیستم تبرید پیشنهادی باتری، تولید و اجرای آن در دستگاههای الکتریکی ساده تر است.
- در سرعت تخلیه ی متعادل 2C و دمای محیطی نسبتاً سردتر، LfBS/سیستم مدیریت حرارت باتری سیالی) کافی است. حذف سازه هایی مثل مبدل حرارتی و پمپ گردش سیال، LfBS را در مقایسه با LcBS (سیستم مدیریت حرارت باتری سیال-مدور) مقرون به صرفه می سازد. از نگاه تولید، LfBS از نظر عملکرد، ساده تر است. انتظار می رود این قبیل سیستم ها در دستگاه های الکتریکی ای که در کشورهایی با اقلیم سردتر استفاده می شوند، مورد نظر باشند.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

- طی دمای داغ خروجی، از هوای بازگردش شده ی واحد تهویه ی دستگاههای الکتریکی می توان برای حفظ دمای ایمن باتری بهره برد. تهیه ی یک سیستم داکت مناسب برای منبع هوای بازگردش شده از کابین ماشین باید طی فاز طراحی دستگاههای الکتریکی مد نظر قرار گیرد.
- دستگاههای الکتریکی ای که در جریان تخلیه ی باتری قرار دارند می توانند با آرایش سیال-مدور، در محدوده های ایمن بمانند. سیال گرمتر (پس از حذف گرما از ماژول باتری) برای تبدیل انرژی یا با هوای محیطی یا با هوای بازگردش شده از کابین ماشین، پیشنهاد می شود. این نوع سیستم های تبرید برای دستگاههای الکتریکی ای که در کشورهایی با اقلیم داغ کاربرد دارند، مد نظر قرار می گیرند.
- در اقلیم بسیار داغ، در این طرح باید برای منبع کسر هوای تبریدی تهویه، جهت انتقال مستقیم گرما از BTMS، یک آپشن در نظر گرفت.
- یکنواختی دمایی برای LCBS (سیستم باتری سیال-مدور) در مقایسه با LfBS بالاتر است. یکنواختی دمایی ماژول برای مینیمم تجزیه ی بلند مدت ضروری است. تحقیق روی ائتلاف گرمای سلول به سلول در ماژول، برای اجتناب از شکل گیری نقاط گرمایی متمرکز که برای شرایط عملیاتی ایمن یک سلول خاص مضرند، ضرورت دارد.
- دمای باتری را می توان با استفاده از نانوسیالات در هر دو نمونه ماژول باتری (LfBS و LCBS) کاهش داد. دامنه ی ائتلاف گرما از نانوسیالات، در مقایسه با سیال قلیایی (مثل آب خالص) برای حمایت از این کاربری، رضایت بخش نیست. بنابراین، در دستگاههای الکتریکی، برای راه اندازی BTMS سیال-تبرید، یک سیستم جریان آب ساده مشابه با رادیاتور، کافی است.
- این تحقیق، نحوه ی کاربری سیستم های مدیریت حرارت باتری سیال-تبرید: LfBS و LCBS را نشان داد. هر نوع تولید دستگاههای الکتریکی با سیستم تبرید باتری مستلزم بررسی های سطح سیستمی است. چشم انداز آتی این تحقیق باید بر آنالیز مجزای سازه های مختلف مثل نوع و ظرفیت مبدل حرارتی، پمپ مدورساز و غیره متمرکز باشد. عملکرد و موقعیت این مبدل حرارتی را می توان در مقایسه با عملکرد و موقعیت رادیاتور سنجید.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

Reference

1. He, 2011, 2013. Huo, Y., Rao, Z., Liu, X., Zhao, J., 2015. *Investigation of power battery thermal management by using mini-channel cold plate.* *Energy Convers. Manag.* 89, 387e395. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.10.015>.
2. Bandhauer, T.M., Garimella, S., Fuller, T.F., 2014. *Temperature-dependent electrochemical heat generation in a commercial lithium-ion battery.*
3. BCG, 2010. Batteries for Electric Cars [WWW Document]. <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>.
4. Bin, N.A., 2017. *Analysis of hybrid interface cooling system using air ventilation and nanofluid.* In: *AIP Conference Proceedings*, pp. 1e8. <https://doi.org/10.1063/1.5002266>.
5. Duangthongsuk, W., Wongwises, S., 2010. *Comparison of the effects of measured and computed thermophysical properties of nanofluids on heat transfer performance.* *Exp. Therm. Fluid Sci.* 34, 616e624. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2009.11.012>.
6. Hallaj, S. Al, Selman, J.R., 2000. *A novel thermal management system for electric vehicle batteries using phase-change.* *Material. J. Electrochem. Soc.* 147, 3231. <https://doi.org/10.1149/1.1393888>.
7. He, F., Li, X., Ma, L., 2014. *Combined experimental and numerical study of thermal management of battery module consisting of multiple Li-ion cells.* *Int. J. Heat Mass Transf.* 72, 622e629. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.01.038>.
8. Hu, C., Youn, B.D., Chung, J., 2012. *A multiscale framework with extended Kalman filter for lithium-ion battery SOC and capacity estimation.* *Appl. Energy* 92, 694e704. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.002>.
9. Hung, Y., Chen, J., Teng, T., 2013. *Feasibility assessment of thermal management system for green power sources using nanofluid.* *J. Nanomater.*
10. *J. Power Sources* 247, 618e628. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.08.015>.
11. Jarrett, A., Kim, I.Y., 2011. *Design optimization of electric vehicle battery cooling plates for thermal performance.* *J. Power Sources* 196, 10359e10368. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.06.090>.
12. Jin, L.W., Lee, P.S., Kong, X.X., Fan, Y., Chou, S.K., 2014. *Ultra-thin minichannel LCP for EV battery thermal management.* *Appl. Energy* 113, 1786e1794. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.013>.
13. Khan, M., Swierczynski, M., Kær, S., 2017. *Towards an ultimate battery thermal management system: a review.* *Batteries* 3, 9. <https://doi.org/10.3390/batteries3010009>.
14. Khanafer, K., Vafai, K., 2011. *A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids.* *Int. J. Heat Mass Transf.* 54, 4410e4428. <https://doi.org/10.1016/j>.
15. Kim, G.-H., M.K.A.P., 2009. *Integration issues of cells into battery packs for plug-in and hybrid electric vehicles.* In: *International Electrical Vehicle Symposium (EVS-24)*, p. 7.
16. Kim, G.-H., Pesaran, A., Spotnitz, R., 2007. *A three-dimensional thermal abuse model for lithium-ion cells.* *J. Power Sources* 170, 476e489. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.04.018>.
17. Kim, Y., Mohan, S., Siegel, J., Stefanopoulou, A., 2013. *Maximum power estimation of lithium-ion batteries accounting for thermal and electrical constraints.* In: *ASME 2013 Dyn. Syst. Control Conf.*

یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

- DSCC 2013. Kuehn, T.H., Goldstein, R.J., 1976. An experimental and theoretical study of natural convection in the annulus between horizontal concentric cylinders. *J. Fluid Mech.* 74, 695e719
18. Lin, Q., Yixiong, T., Ruizhen, Q., Zuomin, Z., Youliang, D., Jigiang, W., 1995. *General safety considerations for high power Li/SOCl₂ batteries.* *J. Power Sources* 54, 127e133. [https://doi.org/10.1016/0378-7753\(94\)02052-5](https://doi.org/10.1016/0378-7753(94)02052-5).
19. Lin, Q., Yixiong, T., Ruizhen, Q., Zuomin, Z., Youliang, D., Jigiang, W., 1995. *General safety considerations for high power Li/SOCl₂ batteries.* *J. Power Sources* 54, 127e133.
20. Mondal, B., Lopez, C.F., Mukherjee, P.P., 2017. *Exploring the efficacy of nanofluids for lithium-ion battery thermal management.* *Int. J. Heat Mass Transf.* 112, 779e794.
21. Nelson, P., Dees, D., Amine, K., Henriksen, G., 2002. *Modeling thermal management of lithium-ion PNGV batteries.* *J. Power Sources* 110, 349e356. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(02\)00197-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(02)00197-0).
22. Park, S., Jung, D., 2013. *Battery cell arrangement and heat transfer fluid effects on the parasitic power consumption and the cell temperature distribution in a hybrid electric vehicle.* *J. Power Sources* 227, 191e198. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.11.039>.
23. Pendergast, D.R., DeMauro, E.P., Fletcher, M., Stimson, E., Mollendorf, J.C., 2011. *A rechargeable lithium-ion battery module for underwater use.* *J. Power Sources* 196, 793e800. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.06.071>.
24. Rani, M.F.H., Razlan, Z.M., Bakar, S.A., Desa, H., Wan, W.K., Ibrahim, I., Kamarrudin, N.S., Bin-Abdun, N.A., 2017. *Experimental study of hybrid interface cooling system using air ventilation and nanofluid.* In: *AIP Conference Proceedings*, pp. 1e9. <https://doi.org/10.1063/1.5002267>.
25. Rao, Z., Wang, S., 2011. A review of power battery thermal energy management. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 4554e4571. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.096>.
26. Sabbah, R., Kizilel, R., Selman, J.R., Al-Hallaj, S., 2008. *Active (air-cooled) vs. passive (phase change material) thermal management of high power lithium-ion packs: limitation of temperature rise and uniformity of temperature distribution.* *J. Power Sources* 182, 630e638.
27. Saw, L.H., Ye, Y., Tay, A.A.O., 2016a. *Integration issues of lithium-ion battery into electric vehicles battery pack.* *J. Clean. Prod.* 113, 1032e1045. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.011>.
28. Saw, L.H., Ye, Y., Tay, A.A.O., Chong, W.T., Kuan, S.H., Yew, M.C., 2016b. *Computational fluid dynamic and thermal analysis of Lithium-ion battery pack with air cooling.* *Appl. Energy* 177, 783e792. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.122>.
29. selman, J.R., Hallaj, S. Al, Uchida, I., Hirano, Y., 2001. *Cooperative research on safety fundamentals of lithium batteries.* *J. Power Sources* 97 (98), 726e732. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(01\)00732-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(01)00732-7).
30. Wang, C.H., Lin, T., Huang, J.T., Rao, Z.H., 2015. *Temperature response of a high power lithium-ion battery subjected to high current discharge.* *Mater. Res. Innov.* 19, S2156eS2160. <https://doi.org/10.1179/1432891715Z.0000000001318>.

یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

31. Wang, Y.-Y., Wan, C.-C., 2002. *Heat dissipation design for lithium-ion batteries*. J. Power Sources 109, 160e166. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(02\)00048-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(02)00048-4).
32. Williford, R.E., Viswanathan, V.V., Zhang, J.-G., 2009. *Effects of entropy changes in anodes and cathodes on the thermal behavior of lithium ion batteries*. J. Power Sources 189, 101e107. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.10.078>. Wu, M.-S., Liu, K.H.,
33. Yang, N., Zhang, X., Li, G., Hua, D., 2015. *Assessment of the forced air-cooling performance for cylindrical lithium-ion battery packs: a comparative analysis between aligned and staggered cell arrangements*. Appl. Therm. Eng. 80, 55e65. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.01.049>
34. Yang, N., Zhang, X., Li, G., Hua, D., 2015. *Assessment of the forced air-cooling performance for cylindrical lithium-ion battery packs: a comparative analysis between aligned and staggered cell arrangements*. Appl. Therm. Eng. 80, 55e65. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.01.049>
35. Zhang, X., Liu, C., Rao, Z., 2018. *Experimental investigation on thermal management performance of electric vehicle power battery using composite phase change material*. J. Clean. Prod. Elsevier Ltd <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.076>.

Abstract

For a cleaner environment, the production of fossil fuel propelled transport vehicles need to reduce. Technological advances are aimed to manufacture cost-effective battery electric vehicles compared with the conventional one. An efficient battery cooling system is necessary for safer usage of electric cars during their life cycle. This paper presents two ways of arranging cooling components: liquid filled battery cooling systems (LfBS) and liquid circulated battery cooling systems (LcBS). The air conditioning unit of an electric vehicle has integrated with the battery cooling unit. Cooling performance of LfBS and LcBS arrangements presented for both water and nanofluid as cooling media at 2C and 4C discharge rates. The air required for LfBS cooling or LcBS cooling has supplied at two supply conditions: first, if the ambient temperature is around 35 C and air-conditioning is 'OFF' in an electric vehicle. Second, airconditioning is 'ON' and recirculated air from car cabin is available at 30 C to supply it to the battery cooling system. The result shows the applicability of such battery systems for the safe operation of electric vehicles.

Keyword: Refrigeration Performance, Heat Management Systems In Circular Nanocial Batteries, Floating Nanocial