



ارائه و تحلیل عددی عملکرد مدیریت سیستم حرارتی خنک کننده در باتری لیتیوم یونی

محمد علی فرج‌الهی¹، محمدحسن نوبختی^{2*}، مرتضی خیاط³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

2- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

3- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* تهران، m.nobakhti@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
مقاله پژوهشی کامل دریافت: 20 فروردین 1400 پذیرش: 18 مرداد 1400 ارائه در سایت: 13 آبان 1400	عامل اساسی خرابی و کاهش چشمگیر عملکرد باتری بالا رفتن دمای آن است، در نتیجه سیستم های کنترل حرارتی باتری (BTMS) برای نظارت و بهینه سازی وضعیت حرارتی باتری ها ساخته شده اند. در این مقاله، دو چینش سری و موازی برای قرارگیری بسته باتری ها در خودرو های الکتریکی، با تعداد یکسان 17280 عدد از سلول باتری های 18650 پیشنهاد شده و برای انتخاب بهترین حالت قرارگیری بسته باتری ها، با یکدیگر مقایسه می شوند. با کمک برنامه کامسول به مقایسه تغییر دمای سطح بسته باتری ها در رژیم جریان آرام سیال و تغییرات شار حرارتی در 700 ثانیه نخست تخلیه سلول باتری ها از حالت شارژ کامل و انتخاب بهترین طراحی قرارگیری بسته باتری ها پرداخته می شود. حداکثر دمای سطح بسته باتری ها از دمای اولیه 27 درجه در چینش سری و موازی به ترتیب اندازه گیری می شود. حداکثر اختلاف دما در چینش سری بسته باتری ها اختلافی 10 درصدی با چینش موازی دارد، همچنین با مقایسه شار حرارتی کل، عملکرد بهتر چینش موازی در مقایسه با چینش سری باتری ها، این نوع طراحی را به اولویتی کاربردی و مقرون بصرفه تر نسبت به دیگر طرح پیشنهادی قرار می دهد.
کلیدواژگان سیستم مدیریت حرارتی باتری باتری لیتیوم یون سلول های باتری انتقال حرارت شبیه سازی عددی	

Numerical evaluation of cooling heating system management performance in Lithium Ion batteries

Mohamad Ali Farajollahi¹, Mohammad hasan Nobakhti^{2*}, Morteza Khayat³

1- Department of Mechanical Engineering, SRBIAU Branch, **Islamic Azad University**, Tehran, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, SRBIAU Branch, **Islamic Azad University**, Terhan, Iran

3- Department of Mechanical Engineering, SRBIAU Branch, **Islamic Azad University**, Tehran, Iran

* Tehran, Iran, m.nobakhti@srbiau.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received 9 April 2021

Accepted 9 August 2021

Available Online 4 November 2021

Keywords

Lithium-ion battery

battery thermal management

system

battery cell

heat transfer.

ABSTRACT

The main cause of failure and significant reduction in battery performance is a rise in temperature, so battery thermal control systems (BTMS) are built to monitor and optimize the thermal status of batteries. In this paper, two series and parallel arrangements for placing battery packs in electric vehicles with the same number of 17,280, 18650 battery cells are proposed and compared to select the best position for placing the battery packs. With the help of the Comsol program, the temperature change of the battery pack in the laminar fluid flow regime and the heat flux changes in the first 700

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Mohamad Ali Farajollahi, Mohammad hasan Nobakhti, Morteza Khayat, Numerical evaluation of cooling heating system management performance in Lithium Ion batteries, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 12, No. 3, pp. 38-47, 2021 (In Persian)

seconds of discharging the battery cells from the full charge mode and selecting the best design of the battery pack placement are compared. The maximum closed surface temperature of batteries is measured from the initial temperature of 27 degrees in series and parallel arrangement, respectively. The maximum temperature difference in the series of batteries is 10% different from the parallel arrangement. Also, by comparing the total heat flux, the better performance of the parallel arrangement compared to the arrangement of the battery series, makes this type of design a practical and more cost-effective priority than other designs.

1- مقدمه

باتری های لیتیوم یون به دلیل مزیت های تراکم انرژی بالا در مقایسه با سایر باتری های الکتروشیمیایی ، یک گزینه مناسب برای وسایل نقلیه الکتریکی و وسایل نقلیه الکتریکی هیبریدی است [1]. استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی وابستگی ما به سوخت های فسیلی و انتشار آلاینده ها و گازهای گلخانه ای را کاهش می دهد [2].

در حالت تخلیه باتری، دمای باتری به دلیل سرعت بالاتر تولید گرما افزایش می یابد. ونگ و همکاران [3]. مشاهده می شود که اگر دمای کار باتری بالای 50 درجه سانتیگراد و یا دمای پایینتر از 10 - سانتیگراد باشد، بازده و چرخه عمر باتری کاهش می یابد. معمولاً باتری های لیتیوم یون در محدوده دمایی مطلوب 20 تا 40 درجه سانتیگراد کار می کنند. لی و همکاران [4]. باتری های لیتیوم یونی که خارج از محدوده دمای ایمن کار می کنند، دچار کاهش عمده ظرفیت می شوند. به عنوان مثال برای هر درجه افزایش دمای کار، عمر سلول باتری تقریباً دو ماه کاهش می یابد. زنگ و همکاران مشاهده کردند که ظرفیت باتری لیتیوم یون در دمای پایین (10 درجه سانتیگراد)، در مقایسه با دما 20 درجه سانتیگراد کاهش می یابد [5]. وو و همکاران دریافتند که ظرفیت باتری لیتیوم یون تازه در حالت دشارژ در دمای 3 درجه سانتیگراد از 800 میلی آمپر در دمای 3 درجه سانتیگراد به فقط 20 میلی آمپر در دمای 60 درجه سانتیگراد ساعت کاهش یافت [6].

2- پیشینه پژوهش

برای تأمین نیاز به قدرت بالای وسایل نقلیه الکتریکی، باتری ها باید در یک مجموعه باتری مرتب شوند، این عمل می تواند منجر به مشکلات جدی در مدیریت حرارتی به دلیل گرمای زیاد تولید شده توسط باتری های داخل مجموعه باتری شود.

ونگ و همکاران [7]. در این صورت، گرم شدن بیش از حد و توزیع غیر یکنواخت دما در بسته باتری می تواند به طور جدی بر عملکرد و طول عمر باتری های لیتیوم یون تأثیر منفی بگذارد، که باعث کاهش ایمنی و عملکرد خودروهایی الکتریکی می شود. پارک و همکاران [8]. بنابراین، طراحی کاربردی یک سیستم مدیریت حرارتی باتری، یک جز اساسی در خودروی الکتریکی برای حفظ ایمنی بسته باتری در شرایط مطلوب است.

طی دو دهه گذشته، چندین سیستم مدیریت حرارتی باتری برای نگهداری بسته های باتری در دمای مطلوب با خنک کننده هوا یو و همکاران [9] و یا مایع ژایو و همکاران [10] ساخته شده است. در مقایسه با سایر روش های خنک کننده، سیستم مدیریت حرارت خنک کننده هوا پایه، دلیل هزینه ساخت پایین، نیاز به طراحی ساده و قابلیت اطمینان بالاتر سیستم، مناسب ترین است. طراحی مسیرهای جریان هوا و میزان جریان هوا بر روی قابلیت خنک کنندگی و یکنواختی دما در نقاط داغ بسته باتری دما تأثیر مثبت دارد. ونگ و همکاران [11]. چن و همکاران نیز مطالعه گسترده ای برای یکنواخت تر کردن پروفیل دما با استفاده از جریان سیال مایع در بسته های باتری انجام دادند. [12]. الزار و همکاران با ترکیب یک جریان گاز القایی و تزریق مایع خنک کننده در صفحه یک مدار، مدیریت حرارتی باتری های لیتیوم یون را مورد بررسی قرار دادند [13]. در این راستا تعداد بسیاری از سیستم های خنک کننده فعال، غیرفعال و هیبریدی برای وسایل نقلیه الکتریکی و خنک کننده های الکترونیکی تولید شده اند. تا به امروز ، انواع مختلف سیستم کنترل حرارتی (TMS)¹ مانند خنک کننده هوا ، خنک کننده مایع و خنک

¹ . thermal management system

معادله پایستگی:

(3)

$$\frac{d(\rho_c)}{dt} + \frac{d(\rho_c u)}{dx} + \frac{d(\rho_c v)}{dy} = 0$$

معادله تکانه:

(4)

$$\frac{d(\rho_{pcn} u)}{dt} + \frac{d(\rho_{pcn} u^2)}{dx} + \frac{d(\rho_{pcn} uv)}{dy} = -\frac{dp}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\mu \frac{du}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(\mu \frac{du}{dy} \right)$$

$$\frac{d(\rho_c C_p T_c)}{dt} + \frac{d(\rho_c u C_p T_c)}{dx} + \frac{d(\rho_c v C_p T_c)}{dy} = \frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(k \frac{dT}{dy} \right)$$

معادلات انرژی:

(5)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_b c_{pb} T_b) = \nabla \cdot (k_b \nabla T_b) + \frac{Q_{gen}}{V_b}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_{TCS} c_{pTCS} T_{TCS}) = \nabla \cdot (k_{TCS} \nabla T_{TCS})$$

در معادلات 1 تا 5، k ، c_p ، q و T به ترتیب رسانایی گرمایی، ظرفیت گرمایی ویژه، مقدار حرارت منتقل شده و دما هستند. اندیس W ، B و T_{CS} نشان دهنده سیال خنک کننده، باتری و ساختار هدایت حرارتی است. P ، V و L بردار سرعت، فشار استاتیک و ویسکوزیته پویا را نشان می‌دهند. Q_{gen} و V_B نرخ تولید گرما و حجم سلول باتری هستند. در مقاله حاضر از نرم‌افزار کامسول ورژن 5,6 استفاده شده است.

4- تعریف مسأله

در روش اجرای این تحقیق تلاش شده است، با استفاده از سیستم کنترل حرارتی باتری (BTMS) در سلول های باتری لیتیوم یونی (lithium ion battery) به حداکثر کاهش دما سطح بسته باتری‌ها با کمک جریان سیال خنک کننده دست

کننده غیر فعال بر اساس مواد تغییر فاز (PCM)¹ به طور گسترده ای استفاده شده است. صفدری و همکاران [14]، سان و همکاران [15]، چن و همکاران [16]. همچنین در سالهای اخیر روشهای غیرفعال بر اساس مواد تغییر فاز PCM بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. هیهات و همکاران [17]. با توجه به آزمایش شی و همکاران [18]، میزان مقاومت داخلی معادل باتری نسبت به دما و (میزان شارژ باتری) SOC² با توابع چند جمله ای برای تعیین نرخ تولید گرما بدست آمده است. گرمای برگشت ناپذیر در الکترودها، الکترولیت ها و کلکتور جریان تولید می شود. گرمای برگشت ناپذیر سهمی بیش از 70 درصد گرمای کل تولیدی را در باتری دارد. رامار و همکاران [19]. لای و همکاران نیز با استفاده از مقاومت داخلی ثابت به تاثیر تفاوت ارتفاع، قطر و زاویه قرار گیری باتری ها در اختلاف دما سطح باتری ها پرداخته‌اند. [20].

3- روابط و معادلات حاکم، شبیه‌سازی عددی

گرمای برگشت ناپذیری که در الکترودها، الکترولیت ها و کلکتور جریان تولید می شود. سهم عمده ای در بیش از 70 درصد گرمای کل دارد. گرمایش سلول باتری با واحد وات مشخص می‌شود. مقدار تولید گرمای برگشت ناپذیر به طور مستقیم به مقاومت داخلی باتری ها و مقدار آمپر دشارژ بستگی دارد. در نتیجه معادله میزان گرمای برگشت ناپذیر به صورت رابطه 1 خلاصه خواهد شد که Ri مقاومت داخلی باتری می‌باشد:

$$Q_{irr} = I(E - E_{OC}) = I^2 R_i \quad (1)$$

گرمای تولید شده توسط باتری لیتیوم یونی طبق قانون خنک کننده نیوتن توسط خنک کننده مایع جذب می شود:

$$Q = h(T_s - T_c) \quad (2)$$

در جایی که Q گرمای جذب شده توسط خنک کننده است، T_c و T_s به ترتیب دمای سطح باتری و دمای خنک کننده هستند. معادلات پایستگی، معادلات تکانه و انرژی برای جریان سیال را می توان به صورت زیر بیان کرد:

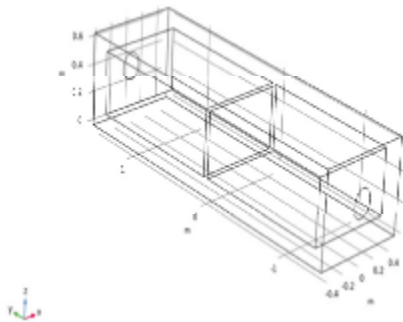
¹ phase change material

² State of charge

جدول 1 مقادیر متغیرهای هندسی اتصال لوله حفاری استاندارد

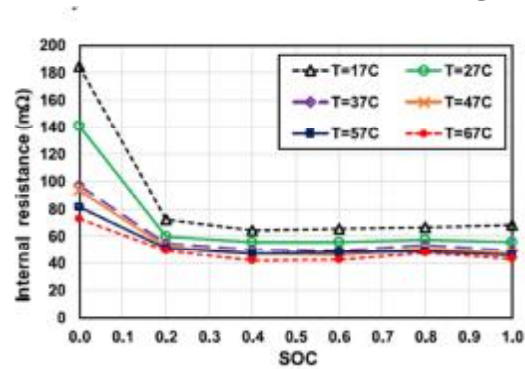
نام متغیر	نشان متغیر	دامنه تغییرات
قطر خارجی باتری	D	18mm
طول باتری	L	65mm
فاصله سلول باتری	d	10mm

در چینش سری از 2 بسته آلومینیومی به ابعاد 1,35 متر طول، 0,85 متر عرض و 0,45 متر ارتفاع و در هر بسته 8640 عدد از سلول باتری های 18650 شکل 2 و در چینش موازی از 3 بسته آلومینیومی به ابعاد 2,7 متر طول، 0,85 متر عرض و 0,15 متر ارتفاع و در هر بسته 5760 عدد از سلول باتری های 18650 استفاده شده است. شکل 3.

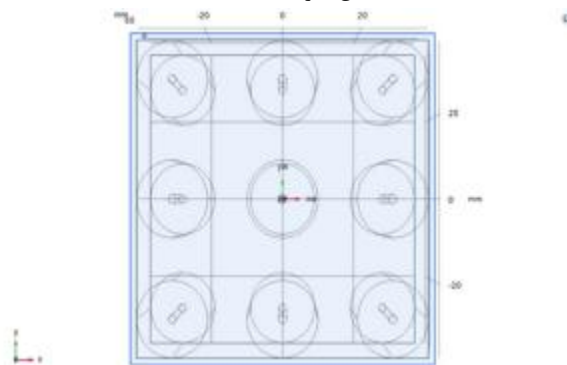


شکل 2 هندسه بسته باتری ها در حالت سری

یافت. بدین منظور دو شکل مختلف از نحوه قرارگیری بسته باتری ها در یک مخزن عایق حرارتی به ابعاد 3 متر طول، 0,95 متر عرض، 0,65 ارتفاع پر شده از سیال اتیلن-گلیکول¹ با تعداد یکسان 17280 عدد از سلول باتری های 18650²، احاطه شده در بسته هایی از جنس آلومینیوم به ضخامت 1 میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نرخ فشار سلول های باتری ها 5 کولن³ بر ثانیه معادل 5 آمپر، مقاومت داخلی هر سلول باتری بر اساس نتایج شی و همکاران نمودار 1 [18]. در دمای 27 درجه سانتیگراد 0,060 اهم و سرعت سیال ورودی به مخزن 10^{-4} متر بر ثانیه است. سلول باتری ها 18650 دارای ابعادی به طول 65 و قطر 18 میلی متر و در فاصله 10 میلی متری از یکدیگر قرار دارند، جدول 1. این باتری ها در همه جهات با فاصله 1 سانتیمتری از یکدیگر به وسیله جداکننده آلومینیومی از یکدیگر قرار گرفته‌اند.



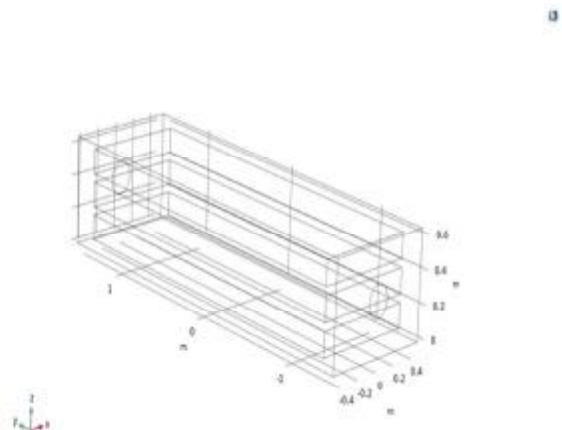
نمودار 1 داده های تجربی Xie و همکاران برای مقاومت داخلی معادل باتری ها [18]



شکل 1 نحوه قرارگیری سلول باتری ها در پوسته آلومینیومی

¹ Ethylene glycol
² 18650-type battery cell
³ Coulomb

Physical Properties	
Density	
Viscosity	
Molecular Weight	
Surface Tension	
Chemical Properties	
Critical Pressure	
Critical Temperature	
Critical Density	
Critical Molar Volume	
Electrical Properties	
Dielectric Constant	
Thermal Properties	
Heat of Vaporization	
Specific Heat Capacity	
Thermal Conductivity	
Melting Point	
Boiling Point	
Optical Properties	
Refractive Index	
Descriptive Properties	
CAS registry number (CAS#)	
Chemical Formula	
UV out of range	



شکل 3 هندسه بسته باتری ها در حالت موازی

جدول 3 خواص شیمیایی آلومینیوم [21]

Physical Properties	
Density	
Mechanical Properties	
Hardness, Brinell	
Tensile Strength, Ultimate	
Tensile Strength, Yield	
Elongation at Break	
Tensile Modulus	
Poissons Ratio	
Shear Modulus	
Shear Strength	
Electrical Properties	
Electrical Resistivity	0.0000
Thermal Properties	
Heat of Fusion	
CTE, linear	
Specific Heat Capacity	
Thermal Conductivity	
Melting Point	
Solidus	
Liquidus	

برای گسسته سازی فضایی فشار، تکانه، انرژی از حل جریان آرام سیال استفاده می شود. نرخ تولید گرمای باتری با کدگذاری تابع تعریف کاربر¹ (UDF) بارگیری می شود. مرحله زمانی 1 ثانیه و حداکثر گام تکرار 700 تنظیم شده است. ورودی جریان جرمی به عنوان شرایط مرزی ورودی سیال و شرایط مرزی فشار خروجی به عنوان شرایط مرزی خروجی سیال تنظیم می شود. همه دیوارها به عنوان شرایط مرزی بدون لغزش مدل سازی می شوند و تابع استاندارد دیوار اعمال گردیده است.

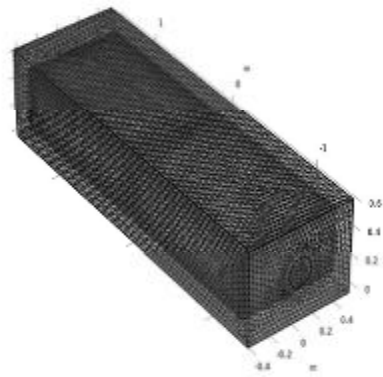
پس از طراحی دو هندسه سری و موازی، به بررسی تغییرات دما و شار حرارتی سطح بسته باتری ها و مقایسه آن ها در جریان آرام سیال اتیلن گلیکول و با حل معادلات وابسته به زمان در 700 ثانیه اول تخلیه الکتریکی پرداخته می شود. از جدول 2 و جدول 3 خواص شیمیایی و فیزیکی به ترتیب اتیلن گلیکول و آلومینیوم بدست آمده است.

جدول 2 خواص شیمیایی اتیلن گلیکول [21]

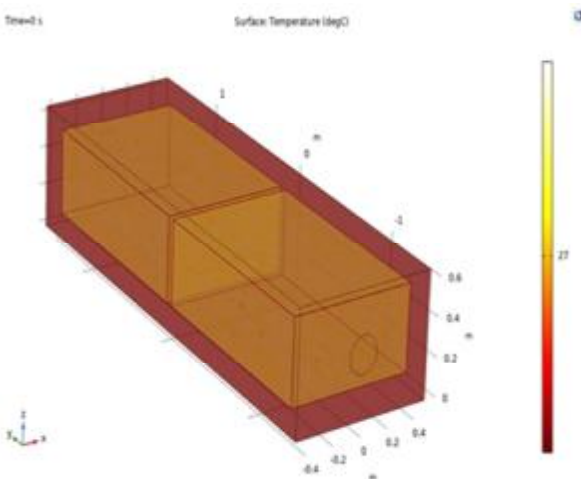
به جهت افزایش دقت حل از شبکه بندی ریزتری استفاده شده است، شکل 4 نمونه شبکه بندی را به نمایش می گذارد.

¹ User Define Function

مدیریت حرارتی بسته باتری ها با شرایط کاملا یکسان، در دمای 27 درجه سانتیگراد با نرخ تخلیه الکتریکی 5 آمپر و سرعت جریان سیال ورودی 10^{-4} متر برثانیه در هر دو حالت سری و موازی مورد بررسی قرار داده می‌شود. در هر دو حال دما بعد از گذشت 700 ثانیه از شروع دشارژ باتری ها اندازه‌گیری می‌شود، سپس به مقایسه دمای هر دو چینش سری و موازی سطح بسته باتری ها و اختلاف دمای ایجاد شده نسبت به دمای اولیه و در آخر مقایسه دو اختلاف دما پرداخته می‌شود. شکل 5 و 6 به ترتیب چینش سری و موازی بسته باتری ها را در زمان صفر و دمای 27 درجه سانتیگراد نشان می‌دهند.



شکل 4 شبکه‌بندی برای هندسه سری چینش باتری ها

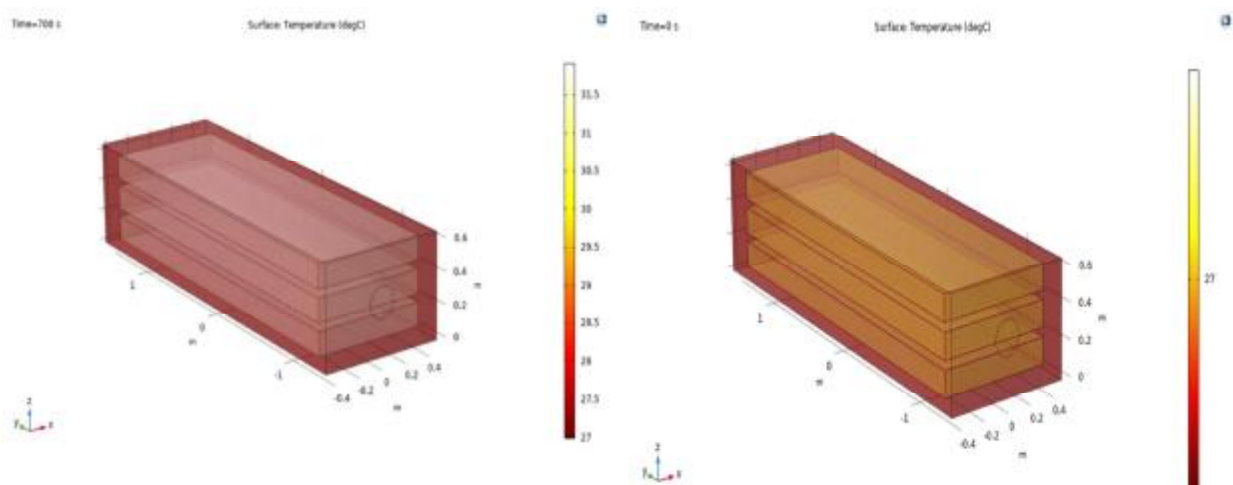


شکل 5 قرارگیری سری بسته باتری ها در زمان صفر

شرایط مرزی در ورودی، شرط مرزی دبی جرمی ورودی و شرایط مرزی فشار خروجی به عنوان شرایط مرزی خروجی سیال تنظیم می‌شود. مقدار دقیق فشار در خروجی دارای اهمیت نمی‌باشد و فشار اتمسفر در نظر گرفته شده است.

5- نتایج

بررسی تاثیر چینش و شکل بسته باتری ها بر دما بسته باتری ها

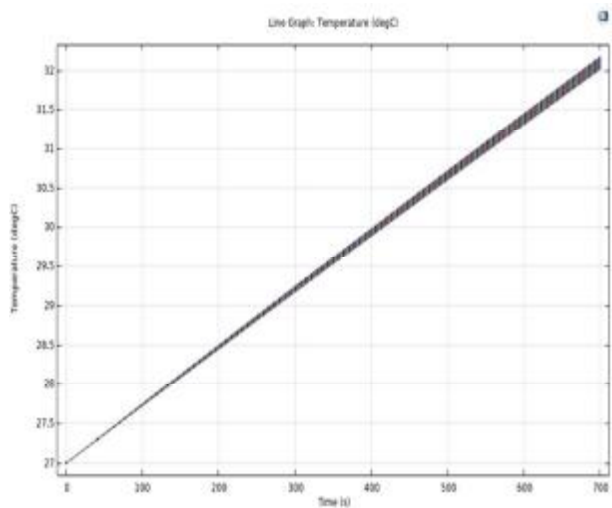


شکل 6 قرارگیری موازی بسنه باتری ها در زمان صفر

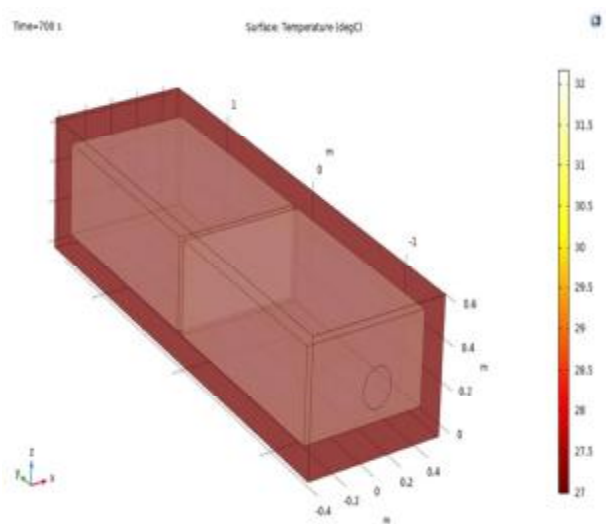
شکل 8 قرار گیری موازی بسنه باتری ها در 700 ثانیه

در نمودارهای 2 و 3 تغییرات دمای سطح بسته باتری ها به ترتیب در چینش سری و موازی بدست آمده است.

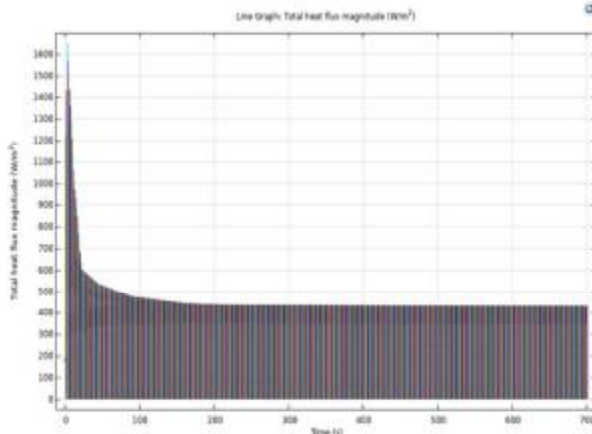
حال با گذشت 700 ثانیه از تخلیه باتری ها از حالت شارژ کامل و دشارژ باتری ها با نرخ 5 آمپر شار حرارتی 25098 وات بر متر مکعب در بسته باتری ها ایجاد می شود که به ترتیب برای چینش سری و موازی باتره ها در اشکال 7 و 8 به نمایش درآمده است.



نمودار 2 تغییرات دما نسبت به زمان سطح بسته باتری ها در چینش سری به سانتیگراد

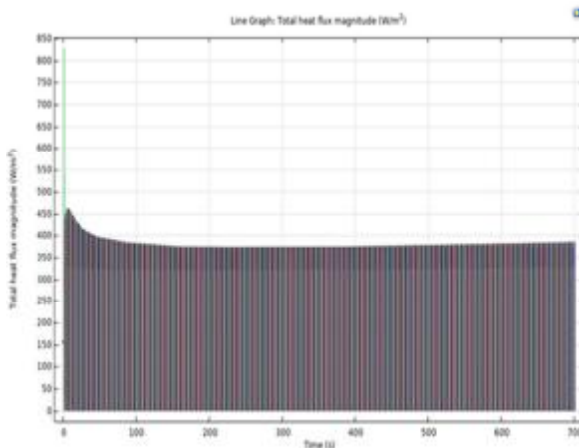


شکل 7 قرارگیری سری بسنه باتری ها در 700 ثانیه



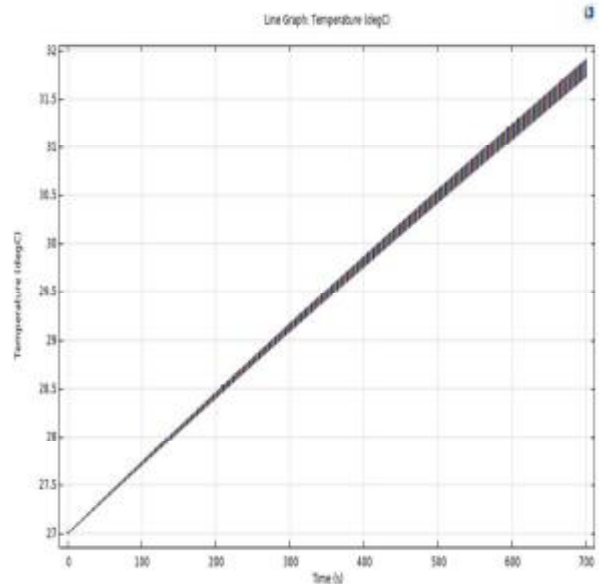
نمودار 4 تغییرات شار حرارتی کل نسبت به زمان در چینش سری بسته های باتری

در نمودار 5، با چینش موازی بسته باتری ها، در شروع فرآیند دشارژ ابتدا شار حرارتی به آرامی بالا می‌رود و به مرور در 380 وات بر متر مربع به تعادل می‌رسد.



نمودار 5 تغییرات شار حرارتی کل نسبت به زمان در چینش موازی بسته های باتری

با مقایسه اعداد و نمودارها نتیجه گیری می‌شود که شار حرارتی در حالت تعادل در چینش سری 10 درصد بیشتر از شار حرارتی در حالت تعادل در چینش موازی بسته باتری ها بوده و نتایج مبنی بر موثرتر بودن طراحی موازی در امر خنک کنندگی سطح باتری ها تأیید می‌شود.



نمودار 3 تغییرات دما نسبت به زمان سطح بسته باتری ها در چینش موازی به سانتیگراد

همانطور که از نمودار 2 و 3 مشخص است دما در سطح بسته باتری ها با چینش سری از 27 درجه سانتیگراد به 32/3 درجه رسیده است که اختلاف دمای 5/3 درجه را نشان می‌دهد. همچنین برای دما در سطح بسته باتری ها با چینش موازی، دما از 27 درجه سانتیگراد به 31/8 درجه رسیده است که اختلاف دمای 4/8 درجه را نشان می‌دهد. مقایسه اختلاف دما در بسته باتری ها نشانگر تفاوت 10 درصدی افزایش دما در 700 ثانیه آغاز فرآیند دشارژ بین چینش های سری و موازی می‌باشد.

مقایسه تغییرات شار حرارتی کل بین دو چینش بسته باتری ها در نمودار های 4 و 5 شار حرارتی خروجی از سطح بسته باتری ها به سیال، به ترتیب در دو چینش سری و موازی نشان داده شده است. شار حرارتی بالاتر نشان می‌دهد که دمای سیال بیشتر افزایش یافته است و در نتیجه از توان خنک کنندگی سیستم کاسته شده است. و دمای بسته باتری ها نیز بالاتر می‌رود.

در نمودار 4، با چینش سری بسته باتری ها، در شروع فرآیند دشارژ ابتدا شار حرارتی به سرعت بالا می‌رود و به مرور در 420 وات بر متر مربع به تعادل می‌رسد.

صحت سنجی

بنابر نمودار 2 و 3 تغییرات دمای سطح بسته باتری ها در هر دو چینش در پایان 700 ثانیه اول دشارژ تقریباً به صورت خطی صورت می‌گیرد.

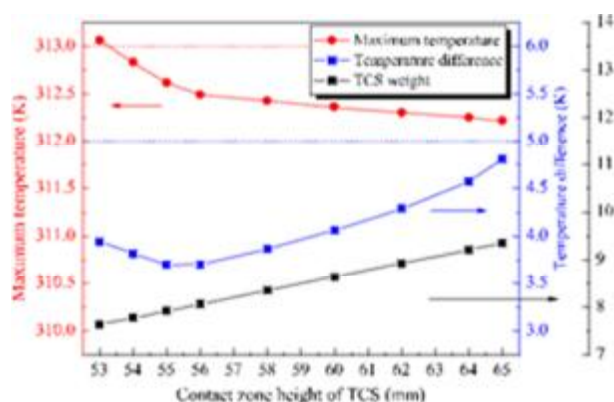
با مقایسه شار حرارتی کل در نمودار های 4 و 5 عملکرد بهتر چینش موازی باتری ها هم در لحظات آغازین فرآیند دشارژ و هم در زمان به تعادل رسیدن دمای سطح باتری ها در مقایسه با چینش سری باتری ها، این نوع طراحی را به اولویتی کاربرد و مقرون بصرفتر نسبت به دیگر طرح پیشنهادی قرار می‌دهد.

7- فهرست علائم

جدول 5 جدول علائم انگلیسی و یونانی

علائم انگلیسی	
b	باتری
E	پتانسیل سلول باتری
t	زمان
K	هدایت حرارتی
T	دما
h	ضریب انتقال حرارت ($W/m^2 k$)
p	فشار
q	دبی جرمی ورودی
Re	عدد رینولدز
علائم یونانی	
\dot{q}	نرخ برش
\dot{t}	تنش برشی
\dot{t}_y	تنش تسلیم

در این تحقیق برای صحت سنجی نتایج از دستاورد های لای و همکاران [19] که با استفاده از مقاومت داخلی ثابت به تاثیر تفاوت ارتفاع، قطر و زاویه قرار گیری باتری ها در اختلاف دما پرداخته‌اند، استناد می‌شود. از نمودار 6 داریم با افزایش ارتفاع بسته باتری ها حداکثر دمای سطح نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه ارتفاع بیشتر بسته باتری باعث کاهش دفع حرارتی از سطح و افزایش دمای باتری ها می‌شود. با توجه به ارتفاع کمتر بسته باتری ها در حالت موازی نسبت به حالت سری نتایج مشابهی با لای و همکاران بدست آمده‌است.



نمودار 6 میزان حداکثر دما و اختلاف دما برای ارتفاع های مختلف باتری ها نشان داده شده است لای و همکاران [19]

6- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

حداکثر دمای سطح بسته باتری ها از دمای اولیه 27 درجه و در 700 ثانیه اول در چینش سری 3/32 و حداکثر اختلاف دما 3/5 درجه سانتیگراد و در چینش موازی به ترتیب 8/31 و 8/4 سانتیگراد اندازه‌گیری می‌شود. اگرچه حداکثر اختلاف دما در چینش سری بسته باتری ها اختلافی 10 درصدی با چینش موازی دارد اما این مقادیر هنوز از دمای کاری پیشنهادی باتری کمتر است. بنابراین، مدیریت حرارتی بسته باتری با خنک کننده سیال اتیلن گلیکول در شرایط دشارژ عادی بسته باتری ها مناسب است. با این حال، در حالت تخلیه سریع، چیدمان مجدد بسته باتری در حالت موازی برای کاهش حداکثر دما و یکنواختی باتری بهینه تر است.

- [19] Heat loss distribution: Impedance and thermal loss analyses in LiFePO₄/graphite 18650 electrochemical cell, M. Balasundaram, V. Ramar, C. Yap, L. Lu, A.A.O. Tay, B. Palani, J. Power Sources 328 (2016)
- [20] A compact and lightweight liquid-cooled thermal management solution for cylindrical lithium-ion power battery pack, Y. Lai, W. Wu, K. Chen, S. Wang, C. Xin, Int.J. Heat Mass Transf. (2019)
- [21] Materials Handbook, 2nd Ed, Francois Cardarelli, Springer-Verlag, London, 2008.
- [1] Thermal issues about Li-ion batteries and recent progress in battery thermal management systems: A review Huaqiang Liua, Zhongbao Weib, Weidong Hec, Jiyun Zhaoa. Received 30 May 2017; Received in revised form 1 August 2017; Accepted 5 August 2017
- [2] Integrating private transport into renewable energy policy: The strategy of creating intelligent recharging grids for electric vehicles Poul H. Andersen a , John A. Mathews b,, Morten Rask. Energy Policy 37 (2009)
- [3] Experimental investigation on thermal management of electric vehicle battery with heat pipe Zhonghao Raoa, Shuangfeng Wang,a, Maochun Wua, Zirong Lina, Fuhuo Li.(2013)
- [4] Temperature uniformity of a heated lithium-ion battery cell in cold climate Zhiguo Lei a,†, Yuwen Zhang b,†, Xueguo Lei c.(2018)
- [5] The low temperature performance of Li-ion batteries S.S. Zhang*, K. Xu, T.R. Jow.(2002)
- [6] High-rate capability of lithium-ion batteries after storing at elevated temperature Mao-Sung Wu a,*, Pin-Chi Julia Chiang.(2007)
- [7] Thermal investigation of lithium-ion battery module with different cell arrangement structures and forced air-cooling strategies Tao Wang, K.J. Tseng, Jiyun Zhao † , Zhongbao Wei.(2014)
- [8] A design of air flow configuration for cooling lithium ion battery in hybrid electric vehicles Heesung Park.(2013)
- [9] Thermal analysis and two-directional air flow thermal management for lithium-ion battery pack Kuahai Yu a, *, Xi Yang a , Yongzhou Cheng b , Changhao Li.(2014)
- [10] An experimental study of heat pipe thermal management system with wet cooling method for lithium ion batteries Rui Zhao, Junjie Gu, Jie Liu.(2015)
- [11] Performance of off-grid photovoltaic cooling system with two-stage energy storage combining battery and cold water. DengjiaWang, Liang Hua, Yan fengLiua, Jiaping Liu .(2017)
- [12] Design of the cell spacings of battery pack in parallel air-cooled battery thermal management system. Kai Chen, Yiming Chen, Zeyu Li ,Fang Yuan, Shuangfeng Wang(2018)
- [13] A novel phase change based cooling system for prismatic lithium ion batteries. Maan Al-Zareer, Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen (2018)
- [14] Numerical investigation on PCM encapsulation shape used in the passive-active battery thermal management. Mojtaba Safdari, Rouhollah Ahmadi, Sadegh Sadeghzadeh (2020)
- [15] Thermal management of the lithium-ion battery by the composite PCM-Fin structures Zhiqiang Sun, Ruijin Fan, Fang Yan, Tian Zhou, Nianben Zheng (2019)
- [16] Construction of effective symmetrical air-cooled system for battery thermal management Kai Chen, Yiming Chen, Yiqi She, Mengxuan Song, Shuangfeng Wang, Lin Chen (2020)
- [17] Battery thermal management with thermal energy storage composites of PCM, metal foam, fin and nanoparticle Mohammad Mahdi Heyhata , Sepehr Mousavib , Majid Siavashi (2020)
- [18] A novel resistance-based thermal model forlithium-ion batteries. Xie Y, Li W, Yang Y, Feng F. Int J Energy Res (2018).