

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## بهینه سازی اتلاف گرمای بسته باتری لیتیوم یونی بر اساس شبکه عصبی

مصطفی امیددی بیدگلی<sup>1</sup>، سعید طاقانی دوپلانی<sup>2</sup>

1- عضو هیئت علمی و استادیار گروه مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد بادرود mostafaomidbidgoli@gmail.com  
2- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش قوای محرکه خودرودانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا saeed.taghani@gmail.com

### چکیده

یکی از منابع نوظهور انرژی سبز باتری‌های لیتیوم یونی (LIB) است. LIB ها ستون فقرات وسایل نقلیه الکتریکی هستند، اما برخی از مشکلات عمده مانند عملکرد حرارتی ضعیف، فرار حرارتی، خطرات آتش سوزی و سرعت تخلیه سریع تر در محیط‌های با دمای پایین و بالا وجود دارد. دمای بالای بسته باتری لیتیوم یونی به شدت بر عملکرد باتری تأثیر می‌گذارد. برای بهبود اتلاف حرارت بسته باتری، تحقیقات زیادی در مورد سرعت هوای خنک کننده، شکل کانال و ... انجام شده است. در این مقاله مطرح شده است که با بهینه سازی فاصله باتری، عملکرد خنک کننده بسته باتری بهبود می‌یابد. روش دینامیک سیالات محاسباتی برای شبیه‌سازی میدان جریان و میدان دمای بسته باتری در فاصله‌های مختلف برای باتری اعمال می‌شود. فاصله باتری و خروجی‌های شبیه سازی CFD (حداکثر دما و اختلاف دما) برای آموزش شبکه عصبی بیزی استفاده می‌شود. نتایج شبیه سازی CFD، خطاهای نسبی 0.08% و 3.2% نشان را داده است. در مدل شبکه عصبی، فاصله تنظیم مناسب باتری یعنی [0.176، 0.176، 0.23، 0.22، 24، 17]، به دست آمد و اختلاف دما و حداکثر دمای باتری‌ها به ترتیب 5.986(k) و 300.511(k) است. نتایج نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی می‌تواند رابطه بین فاصله باتری و دمای باتری را به دقت بیان کند و با طراحی و تنظیم درست باتری باعث صرفه جویی در زمان و خنک کنندگی بهتر باتری می‌شویم.

### کلمات کلیدی:

دینامیک سیالات محاسباتی، خنک کننده هوای اجباری، شبکه عصبی بیزی، فاصله باتری، بهینه سازی اتلاف گرما.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

از زمان انقلاب صنعتی، استفاده گسترده ای از سوخت های فسیلی شده است که نه تنها باعث آلودگی جدی محیط زیست شده، بلکه اکوسیستم را نیز تخریب کرده و انرژی های تجدیدناپذیر فسیلی منجر به تخلیه انرژی شده است. وسایل نقلیه سوختی (FV) بخش بزرگی از انرژی فسیلی را مصرف می کنند و مقدار زیاد گازهای خروجی آن سلامت مردم را تهدید می کند. بنابراین، توسعه وسایل نقلیه که از انرژی جدید استفاده میکنند ضروری است. در حال حاضر، وسایل نقلیه ای که از انرژی جدید استفاده میکنند عمدتاً شامل: خودروهای الکتریکی هیبریدی (HEV)، خودروهای الکتریکی سلول سوختی FCEV، وسایل نقلیه الکتریکی خالص (PEV) و خودروهای هیدروژنی هستند. PEV ها با توجه به داشتن فناوری کامل، و نداشتن هیچ مشکلی بهترین انتخاب شده اند. نیروی باتری به عنوان جزء اصلی PEV ها، به شدت بر عملکرد خودرو (ایمنی و مسافت طی شده) تأثیر می گذارد. دمای یک باتری نکته بسیار مهمی برای محققان است که بر عملکرد و طول عمر باتری تأثیر زیادی دارد و بهترین دمای کار برای باتری لیتیوم یونی 20-45 درجه سانتیگراد است [1]. بسته به باتری یک خودروی الکتریکی برقی حاوی بسیاری از باتری های لیتیوم یونی است، زمانی که باتری ها شارژ یا دشارژ می شوند، مقدار زیادی گرما تولید می شود، در نتیجه سیستم مدیریت حرارتی باتری (BTMS) برای حذف گرما و تنظیم درجه حرارت مناسب باتری مورد نیاز است. موسسات تحقیقاتی مرتبط و تولید کنندگان باتری و خودرو تحقیقات زیادی در مورد باتری لیتیوم یونی و BTMS در سراسر جهان انجام داده اند [2] پانچال اس و همکاران [3] یک مدل حرارتی باتری ایجاد کرده اند که با استفاده از رویکرد شبکه عصبی قادر به ردیابی دقیق پروفایل های دمای باتری و ولتاژ مشاهده شده در نتایج تجربی است. چابهای اخیر [4].

جابجایی x, y, z در مختصات دکارتی

Cp	ظرفیت گرمایی ویژه، J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	نمادهای یونانی
R	مقاومت کل باتری Ω	ویسکوزیته گرداب آشفته، μ/ = V
R <sub>e</sub>	مجموع مقاومت داخلی اهمی باتری،	اعداد پراندتل آشفته برای k، σ <sub>k</sub> = 1.0
Rp	مقاومت داخلی قطبش باتری	اعداد پراندتل آشفته برای ε، σ <sub>ε</sub> = 1.2
A	سطح مقطع، m <sup>2</sup>	اپراتور نایله Δ
F	ثابت فارادی، 96485 کلمب/مول	ضریب ویسکوزیته دینامیکی آشفته، (kg/m·s) μt
I	جاری، A	ضریب ویسکوزیته دینامیکی مولکولی، (kg/m·s) μ
EI	ولتاژ مدار باز، V	سرعت اتلاف انرژی جنبشی آشفته ε
Ee	ولتاژ کار باتری، V	چگالی، کیلوگرم × متر <sup>3</sup> ρ
V	حجم سلول باتری، m <sup>3</sup>	سرعت انتقال حرارت، W Φ
q	نرخ تولید گرما در واحد حجم سلول باتری، J·m <sup>-3</sup> ·s <sup>-1</sup>	هدایت حرارتی، W × m <sup>-1</sup> × K <sup>-1</sup> λ
T	دمای، K	اشتراک ها
h	ضریب انتقال حرارت همرفتی ساعت، W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup>	جهت مختصات دکارتی، i, j, z می تواند x, y, z باشد
U	u سرعت کل، m·s <sup>-1</sup>	رونوشت ها
uz, uy, ux	رینولدز - مولفه های سرعت متوسط در جهت x, y, z	لایه اول و دوم Neural Networks
C-rate	نرخ جریان شارژ و دشارژ به ظرفیت اسمی آن	کلمات اختصاری
Q1	گرمای واکنش الکتروشیمیایی	CFD
Q2	گرمای ژول	FVs
Q3	گرمای قطبش	SOC
N	مقدار ماده	HEVs
e	انرژی کل	FCEVs
m	کیفیت، کیلوگرم	PEV
t	زمان، s	BTMS
P	فشار، N/m <sup>2</sup>	CC-CV
K	انرژی جنبشی آشفته	2D

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

Sij	تانسور کرنش متوسط سرعت	BP	انتشار پست
Gk	تولید انرژی جنبشی آشفتنی به دلیل شیب میانگین سرعت	ANSYS Inc.	توسعه دهنده نرم افزار مهندسی به کمک کامپیوتر آمریکایی
Gb	تولید انرژی جنبشی آشفتنی ناشی از شناوری		
$Y_m$	سهام اتساع نوسانی در تلاطم تراکم پذیر در نرخ اتلاف کلی		
S	شرایط منبع		
$C_{16}, C_2, C_{36}$	پارامتر تجربی، $C_3 = 0.09, C_2 = 1.9, C_1 = 1.44$		
$A_0$	پارامتر تجربی، $A_0 = 4.04$		

این گروه تحقیقاتی یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی توزیع دما و ولتاژ گذرا برای 18650 باتری لیتیوم یونی با دشارژ مختلف پیشنهاد کردند و آزمایشی را برای تأیید صحت مدل انجام دادند. آنها دریافته‌اند که افزایش نرخ C دمای سطح باتری را افزایش می‌دهد و همچنین دما در نزدیکی الکترودها بسیار بالاتر می‌رود. در حال حاضر، روش‌های خنک‌سازی BTMS عمدتاً شامل خنک‌سازی هوا [5] تا [7]، خنک‌سازی مایع [8] تا [10]، خنک‌سازی مواد تغییر فاز [11] و خنک‌سازی لوله حرارتی [12] است. در بین این روش‌ها خنک‌کننده هوا به دلیل سادگی و هزینه کم بیشترین کاربرد را دارد و می‌توان آن را با همرفت طبیعی و همرفت اجباری انجام داد. تحقیقات یو، کوآهای [13] نشان داد که افزودن یک فن مخصوص برای خنک کردن باتری میانی می‌تواند منجر به دمای یکنواخت‌تر شود. برای باتری‌های مکعبی، چوی و همکاران [14]، تأثیر نرخ جریان هوا و اندازه کانال را بر عملکرد خنک‌کننده BTMS مورد مطالعه قرار داد. این نویسندگان به این نتیجه رسیدند که در طول کارکرد باتری، ضریب انتقال حرارت بین باتری و هوا می‌تواند برای پیش‌بینی تغییر دمای باتری استفاده شود.

زینگ لی ژانگ و همکاران [15] دمای جعبه باتری را در دو طرف اتوبوس تحت شرایط خنک‌کننده هوا مورد مطالعه قرار دادند. آنها برخی ساختارها را در نزدیکی فن و لوله‌ها تنظیم کردند تا از تأثیر باد به طور کامل استفاده کنند. در نتیجه، اثر خنک‌کننده به طور قابل توجهی بهبود یافت و خطوط جریان در مقایسه با مواردی که به سادگی با تأمین مستقیم هوا به دست می‌آمدند، صاف‌تر بودند. بهینه‌سازی ساختار بسته باتری عمدتاً بر روی کاهش حداکثر دمای باتری و بهبود یکنواختی دما [16] با بهینه‌سازی آرایش بسته باتری و فاصله باتری متمرکز شده است. ناپکسینگ یانگ و همکاران [17]، اثر خنک‌کنندگی ساختار هم تراز و بدون تراز بسته باتری  $10 \times 6$  را مقایسه کرد و دریافت که بسته‌های باتری تراز شده عملکرد خنک‌کنندگی بهتری را در فاصله‌های طولی و جانبی خاص ارائه می‌کنند. وانگ تائو و همکاران [18] تغییر دمای بسته‌های باتری را به پنج روش مختلف شبیه‌سازی کرد و تأثیر موقعیت فن و سرعت جریان هوا بر اتلاف گرما را مورد مطالعه قرار داد. سهام شهید و همکاران [19]، عملکرد خنک‌سازی چهار پیکربندی بسته باتری را مقایسه کرد و دریافت که افزودن پلنوم ورودی، ژنراتورهای گردابی گوناگون و در ورودی پرش آب به طور همزمان می‌تواند به طور قابل توجهی اثر خنک‌کننده بسته باتری را بهبود بخشد. در میان پارامترهای ساختاری که بر عملکرد خنک‌سازی BTMS تأثیر می‌گذارند، تنظیم فاصله باتری کلید اصلی است. زمانی که فاصله بین باتری‌ها خیلی کم باشد، در زمان عملکرد باتری گرما ایجاد می‌شود، در حالی که فاصله بیش از حد اندازه هم با توجه به فضای بکارگیری شده و محدود امکان پذیر نیست. کای چن و همکاران [20]، با ساخت یک بسته باتری موازی خنک‌شده با هوا، از طریق تنظیم فاصله بین سلول‌های باتری مستطیلی به عقب و جلو، به عملکرد خنک‌کننده بهتری دست یافت. وان را بهبود بخشید. آنها شبکه‌های مقاومت جریان و مدل‌های انتقال حرارت را برای محاسبه میزان جریان کانال‌های مختلف و دمای باتری ساختند.

پس از تنظیم فاصله باتری مختلف، حداکثر اختلاف دما تا 42 درصد کاهش یافت. گروه تحقیقاتی لویی فان [21]، گزارش داد که کاهش فاصله باتری و/یا افزایش سرعت جریان فن می‌تواند حداکثر افزایش دما را کاهش دهد. فاصله یکنواخت باتری 3 میلی‌متر و سرعت جریان هوا "40.3 m<sup>3</sup>/h" برای رعایت الزامات مبادله قدرت فن، حداکثر افزایش دما و یکنواختی دما مناسب هستند. همه این تحقیقات نشان داد که اثر اتلاف حرارت BTMS را می‌توان با تنظیم مناسب فاصله باتری به طور قابل توجهی بهبود بخشید.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

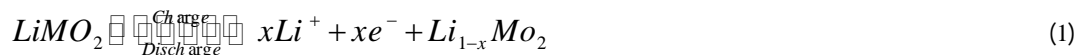
علم موجود فقط فاصله یکنواخت باتری را وچیدمان یا چیدمان غیریکنواخت فاصله باتری را در یک جهت مورد مطالعه قرار داده است. با این حال، در واقع، هر دو فاصله از جلو به عقب و چپ به راست باتری تاثیر قابل توجهی بر اثر اتلاف حرارت بسته باتری دارند. علاوه بر این، باتری‌های بسته باتری در مکان‌های مختلفی قرار دارند، باتری‌هایی که در وسط بسته باتری قرار می‌گیرند بیشتر از باتری‌هایی که در لبه‌ها هستند، گرما را جمع می‌کنند. بنابراین، آنها دارای پراکندگی گرما متفاوتی هستند و ترتیب فاصله یکنواخت باتری بهتر نیست. در این مقاله از مجموعه آموزشی شبکه عصبی بیزی با استفاده از شبیه‌سازی CFD، برای ساخت مدلی که رابطه بین فاصله باتری (از جلو به عقب و از چپ به راست)، اختلاف دما و حداکثر دمای باتری‌ها را نشان می‌دهد استفاده شده است. در مرحله بعدی، فاصله باتری برای به حداقل رساندن اختلاف دمای باتری و حداکثر دما در حالی که حجم کل بسته باتری بدون تغییر باقی می‌ماند بهینه می‌شود. باقیمانده این مقاله شامل بخش‌های زیر است: بخش 2 مکانیسم واکنش و مدل تولید و انتقال گرما باتری لیتیوم یونی را معرفی می‌کند. بخش 3 مدل هندسی و مدل محاسباتی عددی بسته باتری را معرفی می‌کند. بخش 4 ساده سازی عدد متغیر را مورد بحث قرار می‌دهد. بخش 5 مجموعه ای از نمونه های آموزشی شبکه عصبی بیزی بر اساس فلوننت را تشریح می‌کند. بخش 6 روند آموزش شبکه عصبی بیزی را ارائه می‌دهد و نتایج بدست آمده را مورد بحث قرار می‌دهد. بخش 7 شامل نتیجه گیری است.

## 2. مکانیسم واکنش و مدل تولید و انتقال حرارت

### 1.2. مکانیسم واکنش باتری لیتیوم یونی

به عنوان یک باتری ثانویه معمولی، شارژ و تخلیه باتری لیتیوم یونی عمدتاً به جداسازی و جاسازی لیتیوم یون ها بین الکترودهای مثبت و منفی بستگی دارد. مکانیسم واکنش و شکل هندسی باتری لیتیوم یونی در شکل 1 آمده است. واکنش های شیمیایی اصلی درگیر در عملیات به شرح زیر است.

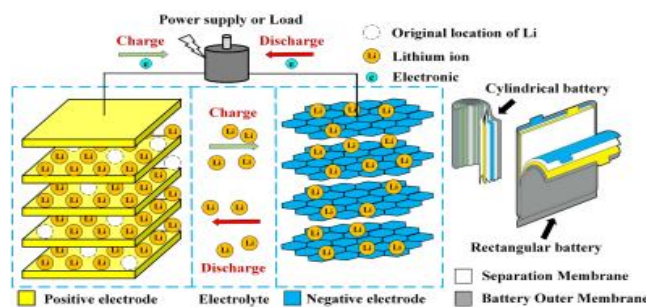
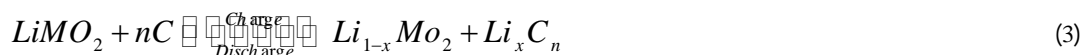
واکنش الکتروود مثبت



واکنش الکتروود منفی:



واکنش کل



شکل 1. نمودار مکانیسم واکنش و شکل ظاهری باتری لیتیوم یونی

### 2.2. مکانیسم تولید گرما باتری لیتیوم یونی:

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

تولید گرمای داخلی سلول باتری چهار سهم دارد: گرمای پلاریزاسیون، گرمای واکنش، گرمای واکنش جانبی و گرمای ژول. گرمای واکنش جانبی کم است و می توان آن را نادیده گرفت. گرمای واکنش، برگشت پذیر است. هنگامی که باتری شارژ می شود، واکنش الکتروشیمیایی گرماگیر است و در هنگام تخلیه، واکنش گرمازا است. می توان آن را از فرمول 4 محاسبه کرد:

$$Q_1 = nFT \frac{\partial E_e}{\partial T} \quad (4)$$

گرمای ژول عمدتاً حاصل مقاومت داخلی مواد و مقاومت ناشی از شکاف بین مواد است و از فرمول 5 محاسبه میشود:

$$Q_2 = I^2 R_e \quad (5)$$

گرمای پلاریزاسیون از مقاومت داخلی پلاریزاسیون حاصل می شود و از فرمول 6 محاسبه شود:

$$Q_3 = I^2 R_p \quad (6)$$

## 3.2. مدل تولید حرارت باتری لیتیوم یونی

یک مدل دقیق برای تولید گرما برای طراحی یک BTMS برتر ضروری است. مدل تولید گرما ارائه شده توسط Bernardi که به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد، از فرمول 7 محاسبه میشود.

$$q = I / V \left[ (E_1 - E_e) + T \frac{dE_e}{dT} \right] \quad (7)$$

از آنجایی که مقدار واقعی  $T \frac{dE_e}{dT}$  بسیار کم است، این عبارت را می توان نادیده گرفت و  $(E_1 - E_e)$  ولتاژ اعمال شده به مقاومت

$$q = I^2 (R_e + R_p) / V \text{ است. } I (R_e + R_p) \quad (8)$$

کل باتری در طول کارکرد باتری است که برابر با (8) است. در این مقاله تلاش گردیده که جهت کاهش گرما فاصله بین باتری ها را بهبود دهند و آن را به جای گرمای ویژه مورد بررسی قرار دهند. بنابراین، تأثیر دما، وضعیت شارژ (SOC) و جریان تخلیه بر روی مقاومت باتری در نظر گرفته نمی شود. مقادیر مقاومت و سایر خواص حرارتی باتری در جدول 1 فهرست شده است [23]. هنگامی که باتری در دمای 2 درجه سانتیگراد شارژ می شود (نماد "C" به مقدار فعلی مورد نیاز هنگام شارژ باتری از 0% به 100% یا تخلیه از 100% SOC به 0% SOC در مدت زمان مشخص اشاره دارد) جریان آن 6000 (ma) است و q را می توان با این معادله محاسبه کرد.

$$q = \frac{(6300 \times 10^{-3})^2 \times (33.96 \times 10^{-3})}{1.65 \times 10^{-5}} = 81689.24 \text{ J} / \text{m}^3 \cdot \text{s}$$

## 4.2. انتقال حرارت باتری لیتیوم یون:

انتقال حرارت عمدتاً به سه طریق انجام می شود: رسانایی، همرفت و تابش. در بسته باتری، انتقال حرارت تابش کم است و شبیه سازی آن دشوار است. بنابراین، به طور کلی در فرآیند طراحی و شبیه سازی BTMS در نظر گرفته نمی شود. انتقال حرارت رسانایی در باتری

$$\phi = -\lambda A \frac{\partial T}{\partial x} \quad (9)$$

عمدتاً ناشی از افت دمای داخلی است. از نظر فوریه می توان آن را با این فرمول بیان کرد: علامت منفی نشان می دهد که جهت انتقال حرارت برخلاف گرادیان دماست. انتقال حرارت همرفتی بسته باتری عمدتاً در دو حالت منعکس می شود: انتقال حرارت همرفتی بین هوای خنک کننده داخل بسته باتری و سطح سلول باتری، و انتقال حرارت همرفتی طبیعی بین سطح بسته باتری و هوای بیرون. با توجه به قانون سرمایش نیوتن، می توان آن را به اینصورت بیان کرد: (10)

$$\phi = hA \Delta T$$

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

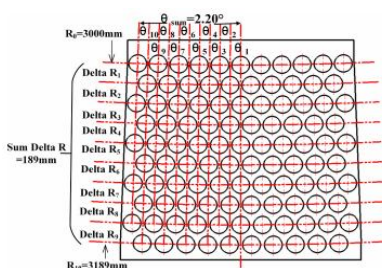
داخل باتری شامل انواع مواد مایع و جامد است که شبیه سازی انتقال حرارت را دشوار می کند لازم است باتری را به یک جامد معادل با این مشخصات ساده کنید [24]. 1) خواص حرارتی مواد داخلی یکنواخت است. 2) انتقال حرارت تشعشع و انتقال حرارت همرفتی بین مواد جامد و مایع داخلی را می توان نادیده گرفت. 3) ظرفیت گرمایی ویژه و هدایت حرارتی باتری با SOC و دما ثابت می ماند. 4) هدایت حرارتی باتری ناهمسانگرد است، اگرچه مقادیر در جهات  $x$ ،  $y$  برابر هستند. 5) جریان داخلی متوسط است، بنابراین تولید گرما هر قسمت یکنواخت است معادله دیفرانسیل جزئی انتقال حرارت را می توان به اینصورت بیان کرد:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + q \quad (11)$$

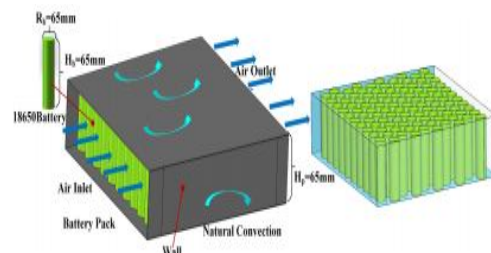
### 3. مدل بسته باتری

#### 1.3.1. مدل هندسی بسته باتری

برای ساده کردن مدل، هندسه خاص بسته باتری ساده شده است. نمودار بسته باتری تحت خنک کننده هوا به صورت شکل 2 نشان داده شده است. سمت چپ بسته باتری مربوط به ورودی هوا است، در حالی که سمت راست خروجی هوا است. سطح بیرونی بسته باتری در تماس با هوا است و بنابراین تحت تأثیر انتقال حرارت هوای همرفت قرار می گیرد. از آنجایی که بسته باتری در داخل خودرو نصب شده و به خوبی مهر و موم شده است، فرض بر این است که جریان باد در حین کارکرد خودرو بر باتری تاثیری ندارد. همرفت سطحی را می توان به عنوان همرفت طبیعی در نظر گرفت که ضریب انتقال حرارت آن به طور کلی  $(10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})$  است. از آنجایی که بسته باتری در داخل خودرو محافظت می شود، در اینجا  $(4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})$  گرفته شده است. باتری های داخل بسته باتری طبق قوانین خاصی چیده شده اند. همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است، باتری های یک ردیف روی یک قوس قرار دارند و تمام قوس ها از دایره های متحدالمرکز تشکیل شده اند. باتری های ردیف اول روی قوس  $R_0 = 3000(\text{mm})$  قرار دارند. فاصله بین باتری های قرار داده شده در همان ردیف (ردیف دوم تا دهم) و ردیف قبلی به ترتیب  $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \dots, \Delta R_9$  است. برای اینکه حجم کل بسته باتری بدون تغییر باقی بماند، باتری های ردیف آخر روی قوس  $R_{10} = 3189(\text{mm})$  قرار می گیرند. بنابراین مجموع فاصله باتری ردیف دوم تا نهم  $(189 \text{ mm})$  است. در امتداد جهت شعاعی، باتری های روی همان ستون در یک خط شعاع قرار دارند و همه باتری ها به صورت متقارن محور قرار گرفته اند. زوایای بین خطوط شعاع مجاور به ترتیب  $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 \dots \theta_{10}$  است و مجموع این  $\theta_{sum} = 2.20$  است، که تضمین می کند که حجم کل بسته باتری در هنگام تغییر  $\theta_s$  ثابت می ماند. با تنظیم  $\theta_s$ ، فاصله باتری از چپ به راست تغییر می کند. این آرایش باتری به این دلیل استفاده می شود که وقتی هوای خنک کننده وارد بسته باتری می شود، همانطور که هوا به عمق بسته باتری می رود، فشار کل به طور مداوم کاهش می یابد. مقاومت جریان باید کاهش یابد تا اطمینان حاصل شود که هوا دارای سرعت کافی برای خروج از بسته باتری است، بنابراین، فاصله چپ به راست باتری ها باید بزرگتر از باتری های جلو باشد. با تنظیم  $\Delta R$ -s و  $\theta_s$ ، اثر اتلاف حرارت بسته باتری بهینه می شود.



شکل 3. قانون توزیع باتری



شکل 2. نمودار بسته باتری تحت خنک کننده هوا.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

جدول 1

خواص باتری که در اینجا مورد مطالعه قرار گرفته است.

نوع باتری: سامسونگ INR18650-33G		
واحد	مقدار	ویژگی ها
mA·h	3150 (C, 2.5 V0.2 تخلیه)	ظرفیت اسمی
V	3.6 (C0.2 تخلیه)	ولتاژ اسمی
mA	6500	حداکثر جریان تخلیه (پیوسته)
kg/m <sup>3</sup>	2789	$\rho$
m <sup>3</sup>	$10^{-5} \times 1.65$	V
J/kg · K	1282	Cp
kg	0.046	m
W/m · K	14.17	$\lambda_x$
W/m · K	14.17	$\Lambda_y$
W/m · K	0.92	$\lambda_z$
m $\Omega$	33.96	R
°C	شارژ: 0-45	دمای عملیاتی (دمای سطح)
°C	دشارژ: 20-60	
جریان ثابت و ولتاژ ثابت (CC-CV)		
روش شارژ		
مواد کاتدی		
مواد آنود		
گرافیت		

## 2.3. مدل محاسبات عددی

به دست آوردن توزیع دمای باتری در بسته باتری برای بررسی BTMS بسیار مهم است و فناوری CFD به متداول ترین روش تبدیل شده است زیرا امکان شبیه سازی توزیع دمای باتری را در هر شرایط کاری و هر نوسانی در محیط جریان اطراف فراهم می کند. معادلات اصلی حاکم (معادله ناور-استوکس) در CFD شامل معادلات بقای جرم، بقای تکانه و بقای انرژی است [25] که با فرمول 12 بیان میشود:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \nabla) u = -\frac{\nabla p}{\rho} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 u \quad (13)$$

$$\rho C_p \left( \frac{\partial e}{\partial t} + u_x \frac{\partial e}{\partial x} + u_y \frac{\partial e}{\partial y} + u_z \frac{\partial e}{\partial z} \right) = \lambda \left( \frac{\partial^2 e}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 e}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 e}{\partial z^2} \right) \quad (14)$$

معادلات حاکم بر اساس یک بسته محاسباتی، در فلونت 15 حل شده است. تلاطم در طبیعت و مهندسی بسیار رایج است، این ناپایداری جدی است که سرعت جریان، فشار و سایر کمیت های فیزیکی با زمان و مکان تغییر میدهد. این ویژگی ها زمانی ظاهر می شوند که هوا از باتری عبور می کند و مدل  $Realizable - \epsilon$  به عنوان یک مدل آشفتگی در فلونت 15 تنظیم می شود. معادلات انتقال مدل شده برای k و در مدل  $Realizable - \epsilon$  عبارتند از:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (15)$$

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{1\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (16)$$

$$C_1 = \max \left[ 0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (17)$$

مانند سایر مدل های  $k - \varepsilon$  ویسکوزیته گردابی از این رابطه به دست می آید  $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$  (18) اختلاف با سایر مدل های

$k - \varepsilon$  در این است که در مدل  $k - \varepsilon$  *Realizable*  $C_\mu$  دیگر ثابت نیست و از رابطه 19 به دست می آید

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s U^* \frac{k}{\varepsilon}} \quad (19)$$

#### 4. ساده سازی تعداد متغیر :

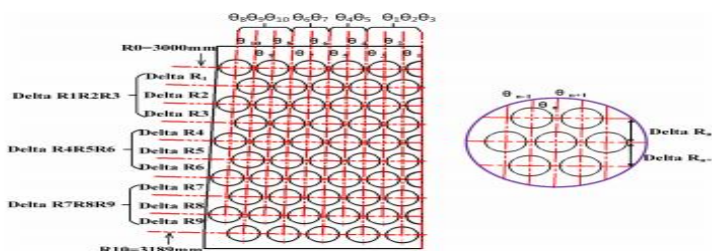
به منظور کاهش تعداد متغیرهای فاصله و شبکه‌ها برای کاهش زمان محاسبه در فلونت، تنها نیمی از بسته باتری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. فاصله باتری چپ به راست و جلو به عقب به ترتیب توسط  $\theta_{-s}$  و  $\Delta R_{-s}$  کنترل می شوند. زمانی که باتری ها به طور یکنواخت قرار گیرند.  $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \dots = \Delta R_9 = 21$ ,  $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_{10} = 0.20$  در مجموع 19 متغیر باید مطالعه شود:  $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \dots = \Delta R_9, \theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \dots = \theta_{10}$  تجزیه و تحلیل همه متغیرها به آزمایش های شبیه سازی زیادی نیاز دارد تا نمونه های کافی برای توصیف دقیق رابطه بین ورودی ها و خروجی های مدل بدست آید.

بنابراین متغیرها در دسته های زیر گروه بندی می شوند:  $\Delta R_7 = \Delta R_8 = \Delta R_9$ ,

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3, \Delta R_4 = \Delta R_5 = \Delta R_6,$$

$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3, \theta_4 = \theta_5, \theta_6 = \theta_7, \theta_8 = \theta_9 = \theta_{10}$  این ساده سازی ها به ما اجازه می دهد که عدد متغیر مستقل را به 7 کاهش دهیم. نمودار شماتیک آرایش باتری پس از ساده سازی در شکل 4 نشان داده شده است. در مورد سطوح عناصر، در این مقاله از 6 سطح استفاده شده است. برای فاصله افقی باتری، مجموع دو زاویه مجاور ( $\theta_n$  و  $\theta_{n+1}$ ) که کمتر از 0.34 درجه باشد، باعث تداخل در یک

ردیف باتری می شود. برای جلوگیری از این مشکل، حداقل مقدار روی 0.176 درجه تنظیم شده است. برای اطمینان از اینکه هفت زاویه دیگر بزرگتر از 0.176 درجه هستند، حداکثر  $\theta_{-s} = 0.24$  درجه است. در نهایت سطوح زاویه ها به  $\{0.176, 0.19, 0.20, 0.21, 0.22, 0.24\}$  می رسد. به همین دلیل، مقدار  $\Delta R_{-s}$  باید بزرگتر از 16.2 (mm) باشد و نمی تواند از 24 (mm) تجاوز کند، بنابراین، سطوح  $\Delta R_{-s} \{17, 18, 19, 20, 22, 24\}$  است. با توجه به اینکه یک آزمون کامل 5 عاملی و 6 سطحی نیاز به شبیه سازی  $6^5$  (7776 بار دارد، از نرم افزار matlab برای ترکیب تصادفی این پنج عامل و سطوح آنها استفاده می شود و 1521 گروه فاصله به طور تصادفی برای شبیه سازی انتخاب می شوند.



شکل 4 نمودار شماتیک آرایش باتری پس از ساده سازی



# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

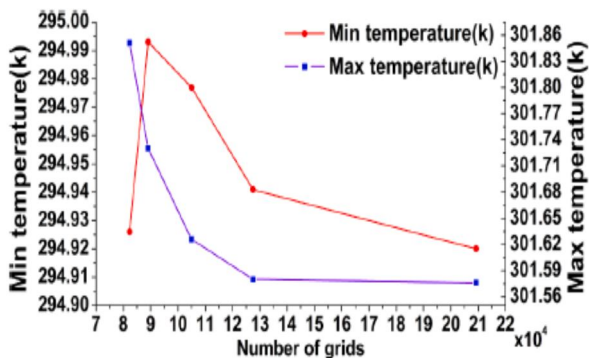
11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

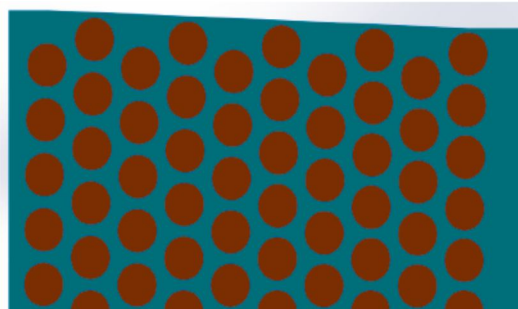
## 5. مجموعه نمونه های آموزش شبکه عصبی بر اساس فلوئنت

### 1.5. بندی دو بعدی و شبیه سازی فلوئنت

توزیع دمای خاص در داخل باتری در این مقاله مطرح نشده است، بنابراین، مدل به دو بعد ساده شده است. شکل 5 این مدل هندسی ساده شده برای تقسیم شبکه های حل به انسیس وارد می شود. برای جلوگیری از تأثیر تعداد شبکه بر کیفیت نتایج محاسبات، توسط دیگران تأیید انجام شد. شکل 6 زمانی که عدد شبکه به 127484 می رسد، نتایج محاسبات به سختی با عدد شبکه تغییر می کند. تعداد زیاد شبکه ها منجر به زمان محاسبات بیشتر می شود. بنابراین، مناسب ترین عدد شبکه حدود 127484 است. همانطور که شکل 7 کل فایل محاسباتی شامل جامد (باتری ها) و سیال (هوای خنک کننده) را نشان می دهد و شرایط مرزی در جدول 2 نشان داده شده است. هدف از شبیه سازی ها به دست آوردن حداکثر دما و اختلاف دما در بسته باتری است که در زمان تخلیه کامل باتری ها رخ می دهد، بنابراین شبیه سازی گذرا است. زمانی که جریان تخلیه باتری 2 درجه سانتیگراد است، کل فرآیند 1800(s) طول می کشد. به عنوان یک روش عددی پرکاربرد برای حل میدان های جریان، "SIMPLE" (روش نیمه ضمنی برای معادلات پیوند فشار) استفاده شده است. برای گزینه جدا سازی فضایی، "Green-Gauss Node Based" به عنوان روش جدا سازی گرادیان انتخاب می شود، زیرا دقت محاسباتی بالاتری با گسترش ساختگی کمتر دارد و برای شبکه های مثلثی یا چهار وجهی مناسب است. از آنجایی که مرزهای انحنای زیادی در ناحیه محاسبه وجود دارد، "PRESTO!" به عنوان روشی برای جدا سازی فشار استفاده می شود. نیروی حرکت آبی جدا شده با "مرتب دوم مخالف باد" حالی که "مرتب اول مخالف باد" در انرژی جنبشی آشفته و نسبت پراگندگی آشفته اعمال می شود. انواع اندازه گام شبیه سازی مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج محاسبات هم دقیق و هم در زمان صرفه جویی در زمانی که اندازه مراحل 10 ثانیه بود، یافت شد. شکل 8



شکل 6 رابطه بین شماره شبکه و دمای باتری

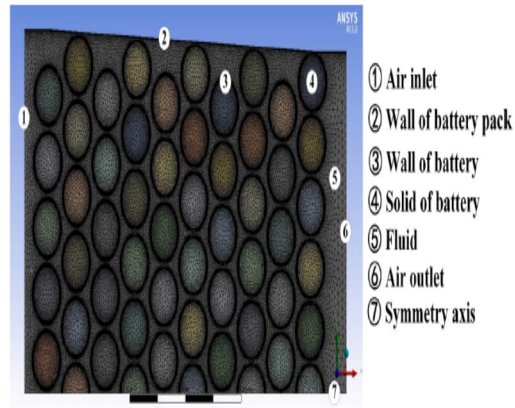
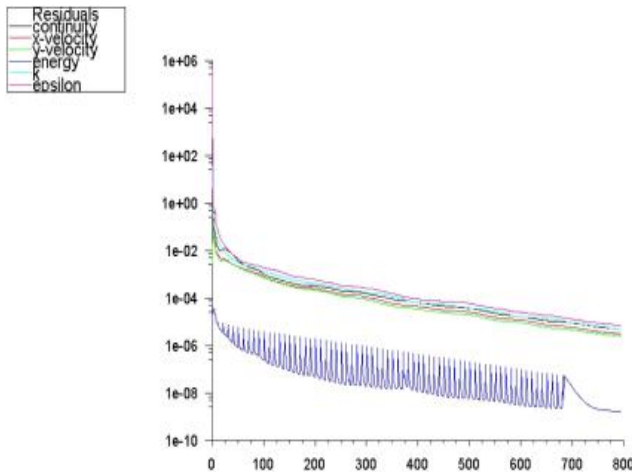


شکل 5 نمودار 2 بعدی بسته باتری شکل

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل 8 نمودار همگرایی در FLUENT.

شکل 7 شبکه محاسبه و نام مرزهای

جدول 2  
شرایط مرزی.

نام	نوع مرز	تنظیمات
محور تقارن	تقارن	/
ورودی هوا	ورودی سرعت	سرعت=3 dm/s=293 (K)
خروجی هوا	خروجی فشار	فشار گیج = 0 (کیلو پاسکال)، دمای جریان برگشتی = 313 (K)
دیوار بسته باتری	دیوار	دیوار ثابت، بدون لغزش، همرفت، $h=4$ (W/m <sup>2</sup> ·K)، دمای جریان آزاد=313 (K)
دیوار باتری	دیوار	دیوار ثابت، بدون لغزش، زوج
جامد از باتری	جامد	خواص حرارتی در جدول 1 نشان داده شده است. $Q=81689.24$ J/(m <sup>3</sup> ·s)
دمای u	مایع	$\mu=1.7894 \times 10^{-5}$ , $\lambda=0.0242$ (W/m·K), $C_p=1006.43$ (J/kg·K), $\rho=1.225$ (kg/m <sup>3</sup> ) (kg/m·s)

دمای اولیه کل بسته باتری برابر با دمای محیط 313 (K) بود.

## 2.5 پارامترسازی مدل و استفاده از نمونه های آموزشی

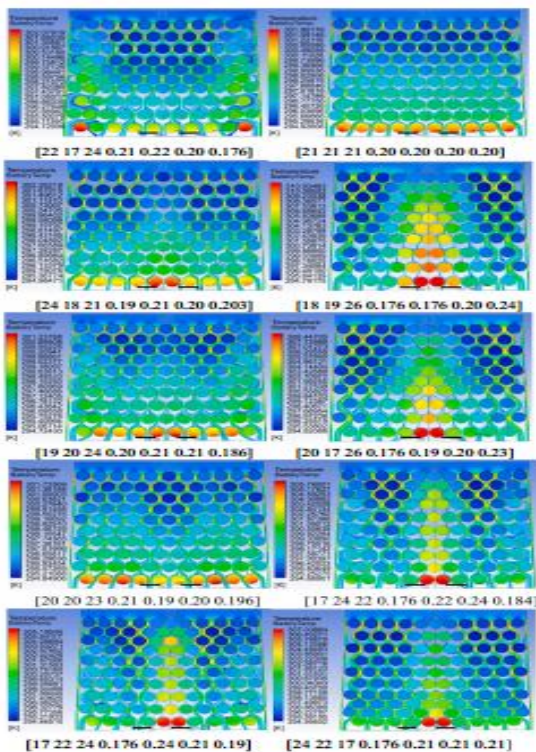
فاصله باتری باید چندین بار در اینجا تغییر کند و پس از تغییر فاصله، مدل باید بازسازی شود. برای بهبود کارایی شبیه سازی، مدل در میز کار انسیس پارامتری شد. شکل 9 متغیرهای ورودی فاصله باتری و متغیرهای خروجی سه متغیر هستند یعنی حداکثر دما، حداقل دما و اختلاف دما. 1521 گروه فاصله ایجاد شده در MATLAB به عنوان ورودی مدل پارامتری شده استفاده شد و 1521 خروجی به دست آمد. بخشی از نتایج شبیه سازی که شامل کانتور دمای باتری و خطوط جریان سیال است در شکل 10 نشان داده شده است. هر چه رنگ روشن تر باشد، دما بالاتر یا سرعت جریان سیال سریعتر است. با تجزیه و تحلیل حداقل دمای باتری در بسته باتری، می توان دریافت که کمترین دما کمتر تحت تأثیر فاصله قرار می گیرد و بین 294.48 (K) و 295.1 (K) باقی می ماند، تغییر کمتر از 1 (K) است. و

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

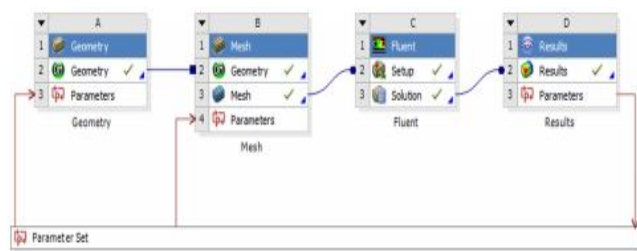
11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

همچنین کمترین دما معمولاً روی باتری ردیف دوم یا سوم ظاهر می شود. این را می توان با این توضیح داد که جریان هوا پس از عبور از فاصله بین باتری های ردیف اول بسیار تسریع می شود، بنابراین عملکرد خنک کننده تا حد زیادی بهبود می یابد. پس از آن، به دلیل افت فشار دینامیکی و افزایش دمای هوای خنک کننده، اثر خنک کننده کاهش می یابد. بنابراین، حداکثر دما عمدتاً تحت تأثیر اختلاف دما قرار می گیرد و اختلاف دما می تواند به عنوان یک شاخص برای ارزیابی عملکرد اتلاف حرارت بسته باتری استفاده شود.



شکل 10: نتایج شبیه سازی فلونت



شکل 9: نمودار ساختاری شبکه عصبی

## 6. شبکه عصبی بیزی و بهینه سازی فاصله باتری

### 1.6. شبکه عصبی بیزی

شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) مدل های ریاضی الگوریتمی هستند که از ویژگی های رفتاری شبکه های عصبی حیوانات برای مقابله با اطلاعات در یک روش موازی توزیع شده تقلید می کنند. شبکه های عصبی اغلب برای مطالعه سیستم های پیچیده و به شدت غیرخطی استفاده می شوند. سه الگوریتم آموزشی در ابزار MATLAB برای اتصالات شبکه های عصبی وجود دارد: (1) روش لوبنبرگ-مارکوارت، (2) روش منظم سازی بیزی و (3) گرادیان مزدوج مقیاس شده. در اینجا الگوریتم دوم انتخاب شد زیرا اگرچه این الگوریتم معمولاً زمان بیشتری می برد، اما می تواند به تعمیم خوبی برای مجموعه داده های دشوار، کوچک یا پرسر و صدا منجر شود. شبکه عصبی بیزی می تواند به طور موثر مشکل بیش از حد برازش را حل کند و یک مدل جامد با مجموعه ترتیب کمتر به دست آورد.

### 2.6. آموزش و تحلیل نتایج شبکه عصبی

شبکه عصبی بیزی ایجاد شده دارای دو لایه است که تعداد لایه های پنهان و لایه خروجی به ترتیب 21 و 2 هستند (شکل 11) ورودی های شبکه عصبی:  $[DeltaR_1R_2R_3, DeltaR_4R_5R_6, DeltaR_7R_8R_9, \theta_1\theta_2\theta_3, \theta_4\theta_5, \theta_6\theta_7, \theta_8\theta_9\theta_{10}]$  که منجر به

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

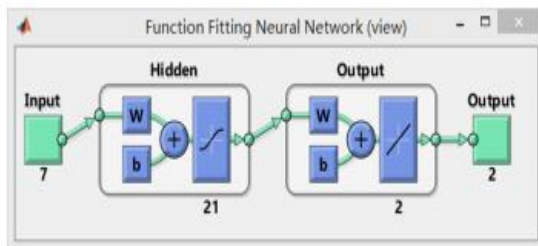
11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

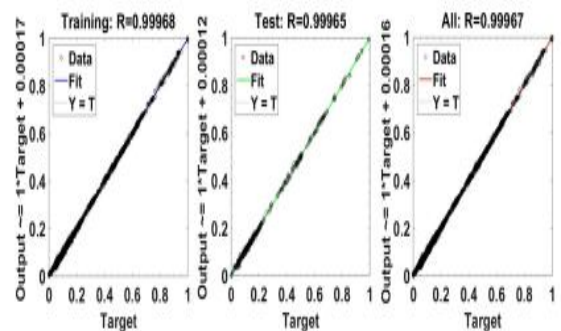
خروجی های : (اختلاف دما ، حداکثر دما ) می شود نمونه های آموزشی در مجموع 1521 گروه می باشد. از آنجایی که حداکثر دما دو مرتبه بزرگتر از اختلاف دما است، آنها طبق معادله 20 نرمال می شوند.

$$Value_{new} = \frac{Value_{old} - Value_{min}}{Value_{max} - Value_{min}} \quad (20)$$

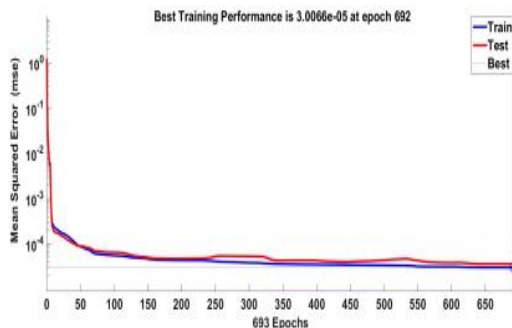
نمودار رگرسیون به دست آمده شکل 12 رابطه بین خروجی های واقعی و اهداف را ترسیم می کند. هیستوگرام خطا که تفاوت بین خروجی واقعی و هدف را نشان می دهد نیز در شکل 13 رسم شده است و همانطور که مشخص شد، در بین کل نمونه های در نظر گرفته شده، اکثر خطاها در محدوده ( 0.01488 تا -0.01318 ) قرار دارند. میانگین مجذور خطای نهایی مدل کمتر از  $10^{-4}$  است شکل 14، که صحت آن را مشخص می کند. خطای نسبی اختلاف دما بین مقدار خروجی و مقدار واقعی کمتر از 3.2٪ است و خطای نسبی حداکثر دمای بسته باتری (مقدار خروجی مدل در مقابل مقدار واقعی) کمتر از 0.08٪ است یعنی این مدل می تواند به طور دقیق رابطه بین  $\theta_{-s}$  و  $\Delta R_{-s}$  و اختلاف دما و حداکثر دمای باتری ها، را توصیف کند. بنابراین می توان از آن برای مطالعه و بهینه سازی فاصله باتری ها استفاده کرد.



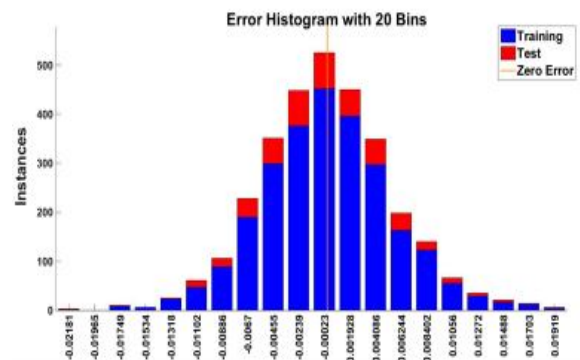
شکل 11. لایه های شبکه عصبی



شکل 12. نمودار رگرسیون



شکل 14 نمودار همگرایی میانگین مربعات خطا



شکل 13 هیستوگرام خطا

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## 3.6. محاسبه ترکیب فاصله بهینه باتری

هر متغیر در هشت سطح برای مطالعه نهایی شبیه سازی انتخاب شده است. سطوح  $\theta_{-s}$ : [0.176, 0.184, 0.19, 0.20],  $\theta_{-s}$ : [0.21, 0.22, 0.23, 0.24] و سطوح  $\Delta R_{-s}$ : [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24] هستند. 32768 گروه از  $[\Delta R_1 R_2 R_3, \Delta R_4 R_5 R_6, \Delta R_7 R_8 R_9, \theta_1 \theta_2 \theta_3, \theta_4 \theta_5, \theta_6 \theta_7, \theta_8 \theta_9 \theta_{10}]$  با ترکیب تصادفی این سطوح به دست آمد: با ثابت نگه داشتن سایر متغیرها، تغییر  $\theta_6 \theta_7$ ، هشت بار و سپس تغییر  $\theta_4 \theta_5$  یک بار. دوباره،  $\theta_6 \theta_7$  را هشت بار تغییر دهید، و  $\theta_4 \theta_5$  را یک بار تغییر دهید. سپس  $\theta_4 \theta_5$  هشت بار تغییر داده و  $\theta_1 \theta_2 \theta_3$  را یک بار تغییر می دهیم. کل فرآیند مانند انجام یک حلقه تو در تو پنج لایه با هشت حلقه در هر لایه صورت گرفت. برخی از ترکیباتی که شرایط لازم را نداشت (  $\Delta R > 0.176$ ،  $\theta_{-s} > 17mm$  ) کنار گذاشته شد و در نهایت، 18639 ترکیب باقی مانده به عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار گرفت که 18639 خروجی حاصل آمد. در واقع کل نمودار را می توان به هشت شکل موج تقسیم کرد، در حالی که هر شکل موج دارای مقدار خاصی از  $\Delta R_1 R_2 R_3$  بود. و شکل موج های کوچک را می توان به شکل موج های کوچکتر تقسیم کرد. با توجه به روش های بدست آوردن 18639 ترکیب فاصله، می توان نتیجه گرفت که تغییر فاصله باتری از جلو به عقب تأثیر کمی بر اختلاف دمای داخل بسته باتری دارد و تفاوت دما عمدتاً تحت تأثیر فاصله گذاری از چپ به راست است. در این میان، مقادیر  $\theta_1 \theta_2 \theta_3$  و  $\theta_4 \theta_5$  بیشترین تأثیر را بر اختلاف دما دارند. وقتی  $\theta_1 \theta_2 \theta_3$  و  $\theta_4 \theta_5$  بزرگ باقی می ماند، اختلاف دمای داخل بسته باتری کم می ماند. در نهایت، یک ترکیب [0.176, 0.176, 0.22, 0.22, 17, 24] فاصله بهینه به دست می آید. این ترکیب منجر به حداقل اختلاف دما (K) 5.8666 و حداکثر دما در بسته باتری (K) 300.4115 شد. برخی از ترکیبات فاصله در جدول 3 نشان داده شده است که در آنها اختلاف دمای مربوطه بسیار کم است. قابل مشاهده است که با افزایش  $\Delta R_1 R_2 R_3$  از 17 (mm) به 21 (mm) اختلاف دما از (K) 5.86659 به (K) 5.98453 افزایش یافته، و سپس اختلاف دما با افزایش  $\Delta R_1 R_2 R_3$  کاهش می یابد. در واقع،  $\theta_1 \theta_2 \theta_3$  و  $\theta_4 \theta_5$  بزرگتر از  $\theta_7 \theta_8$  و  $\theta_9 \theta_{10}$  هستند، به این معنی که مجموع فاصله کل باتری از چپ به راست ثابت می ماند، افزایش فاصله چپ به راست باتری ها در ناحیه میانی بسته باتری می تواند به طور موثری یکنواختی دمای کل بسته باتری را بهبود بخشد.

جدول 3

ترکیبات فاصله و اختلاف دمای مربوطه.

ترکیبات فاصله باتری					اختلاف دما (K)		
17	24	22	0.22	0.23	0.176	0.176	5.86659
18	23	22	0.21	0.24	0.176	0.1793	5.91377
18	4	21	0.21	0.24	0.176	0.1793	5.92207
19	22	22	0.22	0.23	0.176	0.176	5.93417
19	23	21	0.21	0.24	0.176	0.1793	5.96648
20	21	22	0.22	0.23	0.176	0.176	5.96784
20	22	21	0.21	0.24	0.176	0.1793	5.98453
21	20	22	0.21	0.21	0.21	0.1767	5.96669
22	18	23	0.21	0.21	0.21	0.1767	5.96632
22	19	22	0.21	0.21	0.21	0.1767	5.92297
23	17	23	0.21	0.21	0.21	0.1767	5.89248
24	17	22	0.21	0.21	0.21	0.1767	5.89248

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## 4.6. تأیید ترکیب فاصله بهینه

ترکیب فاصله بهینه به دست آمده در بالا به عنوان ورودی فلونت گرفته می شود و نتایج زیر را ایجاد می کند: حداکثر دما در بسته باتری (K) 300.511، دمای حداقل (K) 294.525 است. تفاوت دما (K) 5.98605 است. در مقایسه با اختلاف دما (K) 5.8666 به دست آمده توسط شبکه عصبی خطای مطلق (K) 0.11945 و خطای نسبی (K) 1.995٪ است. این بدان معناست که می توان از مدل شبکه عصبی برای یافتن ترکیب فاصله بهینه و بهینه سازی اثر اتلاف گرما در کل بسته باتری استفاده کرد.

## 7. نتایج

این مقاله با بهینه سازی فاصله باتری تاثیر خنک کنندگی خنک کننده هوای بسته باتری را بهینه کرد. برخی از نتایج به شرح زیر به دست آمد: 1) یک ترکیب مناسب از فاصله باتری می تواند تا حد زیادی دمای حداکثر و اختلاف دمای بسته باتری را کاهش دهد. هنگامی که ترکیب فاصله باتری [0.176+0.176+0.23+0.22+17,24] بود، بسته باتری بهترین عملکرد خنک کننده را نشان داد و حداکثر دما و اختلاف دما به ترتیب (K) 300.511 و (K) 5.98605 بود. 2) مدل شبکه عصبی بیزی که توسط نتایج شبیه سازی CFD ایجاد شده است، می تواند به طور دقیق رابطه بین ترکیب فاصله باتری و حداکثر دما و اختلاف دمای بسته باتری را با خطاهای نسبی به ترتیب 0.08٪ و 3.2٪ توصیف کند. 3) فاصله باتری از جلو به عقب در مقایسه با فاصله چپ به راست تأثیر کمی بر دمای باتری داشت. افزایش فاصله از چپ به راست باتری ها در قسمت میانی بسته باتری می تواند یکنواختی دمای کل بسته باتری را بهبود بخشد. این نتایج می تواند بینش فیزیکی برای طراحی و بهینه سازی حرارتی بسته باتری ارائه دهد.

## منابع:

- [1] Y.U.A.N. Hao, et al., Battery thermal management system with liquid cooling and heating in electric vehicles, J. J. Automotive Safety Energy 4 (2012) 371–380.
- [2] Cicconi Paolo, et al., Virtual Prototyping Approach to Evaluate the Thermal Management of Li-ion Batteries, 2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Oct. (2014).
- [3] S. Panchal, et al., Thermal modeling and validation of temperature distributions in a prismatic lithium-ion battery at different discharge rates and varying boundary conditions, J. Appl. Therm. Eng. 96 (2016) 190–199.
- [4] S. Panchal, et al., Electrochemical thermal modeling and experimental measurements of 18650 cylindrical lithium-ion battery during discharge cycle for an EV, J. Appl. Therm. Eng. 135 (2018) 123–132.
- [5] Rui Liu, et al., Numerical investigation of thermal behaviors in lithium-ion-ion battery stack discharge, J. Appl. Energy 132 (2014) 288–297.
- [6] Hassan Fathabadi, et al., High thermal performance lithium-ion-ion battery pack including hybrid active-passive thermal management system for using in hybrid/ electric vehicles, J. Energy 70 (2014) 529–538.
- [7] Hongguang Sun, et al., Development of cooling strategy for an air cooled lithium-ion-ion battery pack, J. J. Power Sour. 272 (2014) 404–414.
- [8] Zhonghao Rao, et al., Thermal performance of liquid cooling based thermal management system for cylindrical lithium-ion-ion battery module with variable contact surface, J. Appl. Therm. Eng. 123 (2017) 1514–1522.
- [9] Wei Tong, et al., Numerical investigation of water cooling for a lithium-ion-ion bipolar battery pack, J. Int. J. Therm. Sci. 94 (2015) 259–269.
- [10] Chunrong Zhao, et al., Thermal behavior study of discharging/charging cylindrical lithium-ion-ion battery module cooled by channeled liquid flow, J. Int. J. Heat Mass Transf. 120 (2018) 751–762.
- [11] Fanfei Bai, et al., Thermal management performances of PCM/water cooling-plate using for lithium-ion-ion battery module based on non-uniform internal heat, J. Appl. Therm. Eng. 126 (2017) 17–27.
- [12] Krishnadas S. Kshetrimayum, et al., Preventing heat propagation and thermal runaway in electric vehicle battery modules using integrated PCM and microchannel plate cooling system, J. Appl. Therm. Eng. 159 (2019) 113797.
- [13] Kuahai Yu, Xi Yang, Yongzhou Cheng, Changhao Li, Thermal analysis and twodirectional air flow thermal management for lithium-ion battery pack, J. Power Sour. 270 (2014) 193–200, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.07.086>.
- [14] Jeehoon Choi, et al., A new CPU cooler design based on an active cooling heatsink combined with heat pipes, J. Appl. Therm. Eng. 44 (2012) 50–56.
- [15] Xing Lei Zhang, et al., Computational fluid dynamic and thermal analysis of Lithium-ion-ion battery pack with air cooling, J. Applied Energy 177 (2016) 783–792.
- [16] Tianshi Zhang, et al., Investigation on the promotion of temperature uniformity for the designed battery pack with liquid flow in cooling process, J. Appl. Therm. Eng. 16 (2017) 655–662.

یازدهمین کنگره ملی سراسری  
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

- [17] Naixing Yang, et al., Assessment of the forced air-cooling performance for cylindrical lithium-ion-ion battery packs: A comparative analysis between aligned and staggered cell arrangements, *J. Appl. Therm. Eng.* 80 (2015) 55–65.
- [18] Tao Wang, et al., Thermal investigation of lithium-ion-ion battery module with different cell arrangement structures and forced air-cooling strategies, *J. Applied Energy* 134 (2014) 229–238.
- [19] Seham Shahid, et al., Analysis of cooling effectiveness and temperature uniformity in a battery pack for cylindrical batteries, *J. Energies* 10 (2017) 1157.
- [20] Kai Chen, et al., Configuration optimization of battery pack in parallel air-cooled battery thermal management system using an optimization strategy, *J. Appl. Therm. Eng.* 123 (2017) 177–186.
- [21] Liwu Fan, et al., A parametric study on thermal management of an air-cooled lithium-ion-ion battery module for plug-in hybrid electric vehicles, *J. J. Power Sour.* 238 (2013) 301–312.
- [22] Noboru Sato, et al., Thermal behavior analysis of lithium-ion-ion batteries for electric and hybrid vehicles, *J. J. Power Sour.* 99 (2001) 70–77.
- [23] Peng Bo, et al., Research on composite heat dissipation performance of lithium-ion ion battery for electric vehicles based on air-cooling and heat pipe cooling, D. Nanjing Normal University (2017) (in Chinese).
- [24] Shin-Chih Chen, et al., Thermal Analysis of Spirally Wound Lithium Batteries, *J. Electrochem. Soc.* 153 (4) (2006) A637–A648.
- [25] Tao Wang, et al., Development of efficient air-cooling strategies for lithium-ion-ion battery module based on empirical heat source model, *J. Appl. Therm. Eng.* 90(2015) 521–529.
- [26] Fluent Inc. *Fluent user's guide* 15.0, M. 2015.