

مروری بر تکنولوژی‌های خنک‌کاری باتری‌های خودرو

فرشاد ترابی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳ اسفند ۱۳۹۹



منشوری
Prismatic



استوانه‌ای
Cylindrical



پاوچ (کیسه‌ای)
Pouch

توضیحات	ظرفیت mAh	ابعاد mm × mm	شماره‌ی باتری
متداول‌ترین باتری استوانه‌ای، مورد استفاده در لپ‌تاپ‌ها، اسکوترها، دوچرخه‌های برقی و اخیراً خودروهای برقی	۳۵۰۰-۱۵۰۰	۱۸ × ۶۵	۱۸۶۸۰



توضیحات	ظرفیت mAh	ابعاد mm × mm	شماره‌ی باتری
متداول‌ترین باتری استوانه‌ای، مورد استفاده در لپ‌تاپ‌ها، اسکوترها، دوچرخه‌های برقی و اخیراً خودروهای برقی	۳۵۰۰-۱۵۰۰	۱۸ × ۶۵	۱۸۶۸۰
معرفی توسط شرکت سانیو/پاناسونیک، پر قدرت‌تر از ۱۸۶۵۰	۴۱۰۰-۲۸۰۰	۲۰ × ۷۰	۲۰۷۰۰



شماره‌ی باتری	ابعاد mm × mm	ظرفیت mAh	توضیحات
۱۸۶۸۰	۱۸ × ۶۵	۳۵۰۰-۱۵۰۰	متداول‌ترین باتری استوانه‌ای، مورد استفاده در لپ‌تاپ‌ها، اسکوترها، دوچرخه‌های برقی و اخیراً خودروهای برقی
۲۰۷۰۰	۲۰ × ۷۰	۴۱۰۰-۲۸۰۰	معرفی توسط شرکت سانئو/پاناسونیک، پر قدرت تر از ۱۸۶۵۰
۲۱۷۰۰	۲۱ × ۷۰	۵۰۰۰-۳۰۰۰	معرفی توسط شرکت سامسونگ و ال‌جی کیم. برای خودروهای الکتریکی، مورد قبول تسلا، سالانه ۱/۸ میلیارد سل تولید می‌شود، تسلا برای کارهای دیگر نظیر Tesla Wall استفاده کرده‌است.



- هیچ استاندارد سایزی ندارند
- در ابعاد مختلف ساخته می‌شوند.



- استفاده از یک حفاظ مکعبی به جای استوانه

- راندمان حجمی خوبی دارند

- گرادیان دمای بیشتری در باتری هست.

- هیچ استاندارد سایزی ندارند

- در ابعاد مختلف ساخته می‌شوند.

- بار حرارتی بیشتری را تولید می‌کنند.



- استفاده از یک حفاظ مکعبی به جای استوانه

- هزینه‌ی ساخت بالاتری دارند.

- به مرور زمان متورم می‌شوند.

- راندمان حجمی خوبی دارند

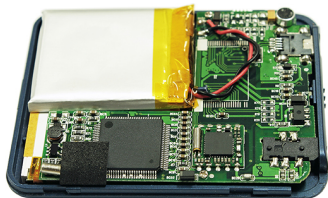
- هیچ استاندارد سائیزی ندارند

- استفاده از یک حفاظ کیسه‌ای به جای بدنه

- محصول ۱۹۹۵

- سبک هستند

- بهترین راندمان حجمی را دارند



- باد می‌کنند.

- هیچ استاندارد سائیزی ندارند

- نمی‌توان آنها را روی هم قرار داد. باید در کنار هم چیده شوند.

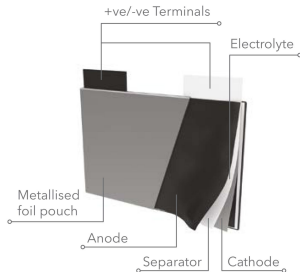
- استفاده از یک حفاظ کیسه‌ای به جای بدنه

- نیاز به محافظ خارجی دارند.

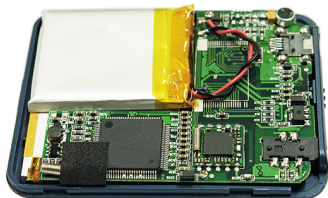
- سبک هستند

- مواظب اجسام تیز باید بود.

- بهترین راندمان حجمی را دارند



- محصول ۱۹۹۵

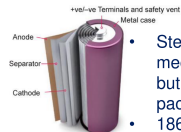


POUCH CELL



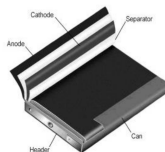
- Multi-material case: the lightest
- No design standards
- Swelling

CYLINDRICAL CELL



- Steel case: mechanical stability, but high weight and packing density.
- 18650 or 21700 type
- Safety vent

PRISMATIC CELL



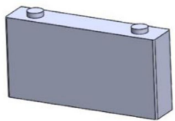
- Aluminum case: protection with lower weight.
- Higher production costs
- Swelling

OEM	CAR MODEL	CELL GEOMETRY	CELL MANUFACTURER
BMW	EV: i3 PHEV: i3 REX, i8, 330e, X5, etc.	Li-ion prismatic cell	Samsung
CHEVROLET	EV: Bolt PHEV: Volt	Li-ion prismatic cell	LG Chem
FIAT	EV: 500e	Li-ion prismatic cell	Samsung
MERCEDES	EV: Classe B PHEV: C350e, E350e, S500, GLC 350e	Li-ion pouch cell	SK Innovation
MITSUBISHI	EV: iMiEV PHEV: Outlander	Li-ion prismatic cell	GS Yuasa
NISSAN	EV: Leaf, EVALIA	Li-ion pouch cell	AESC
RENAULT	EV: Kangoo, ZOE, twizy	Li-ion pouch cell	LG Chem
TESLA	EV: Model 3, Model S, Model X	Li-ion cylindrical cell	Panasonic
TOYOTA	PHEV: Prius	Li-ion prismatic cell	Panasonic
VOLKSWAGEN	EV: e-golf, e-up PHEV: golf GTE, passat GTE	Li-ion prismatic cell	Panasonic
VOLVO	PHEV: V60, XC90 T8	Li-ion pouch cell	LG Chem

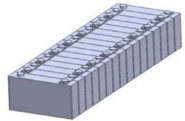




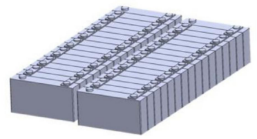
(a)



سل

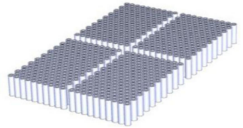


اتصال موازی جهت افزایش ظرفیت



اتصال سری جهت افزایش ولتاژ

(b)



What makes up an automotive battery?

Lithium-ion cell



e.g. pouch or cylindrical cell

As a single unit, a **'cell'** performs the primary functions of a rechargeable 'battery'. Cells come in varied formats:

- Cylindrical Cells
- Pouch Cells
- Prismatic Cells

Module



e.g. module for pouch cells (Nissan Leaf)

A **'module'** is formed by connecting multiple 'cells', providing them with a mechanical support structure and thermal interface and attaching terminals. Modules are designed according to cell format, target pack voltage and vehicle requirements.

Pack



e.g. pack for pouch cells (Nissan Leaf)

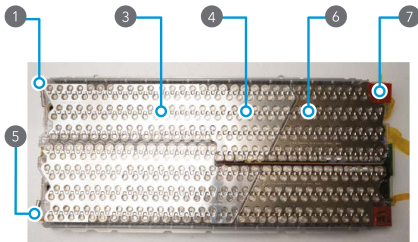
A **'pack'** is formed by connecting multiple 'modules' with sensors and a controller and then housing the unit in a case. Electric vehicles are equipped with batteries in a 'pack' state which are connected to the powertrain.

● ۶: اتصال‌های بین سل

● ۱: بدنه معمولاً فلزی جهت محافظت از باتری

● ۲: نوار اتصال

● ۴: سلول‌های باتری



Cylindrical cell module (Tesla)

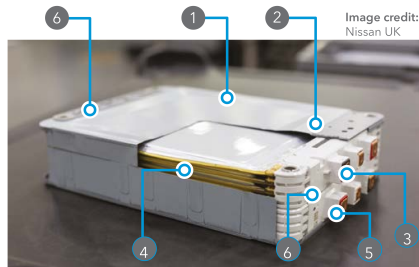


Image credit:
Nissan UK

Pouch cell module (Nissan Leaf)

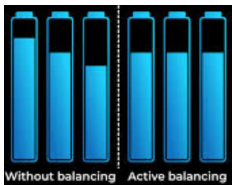
● ۷: کانال‌های خنک‌کاری

● ۳: سنسور دما

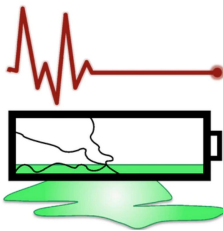
● ۵: ترمینال‌های مثبت و منفی



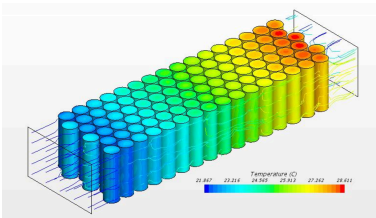
• حالت شارژ یا SoC



• بالانس شارژ



• حالت سلامت یا SoH

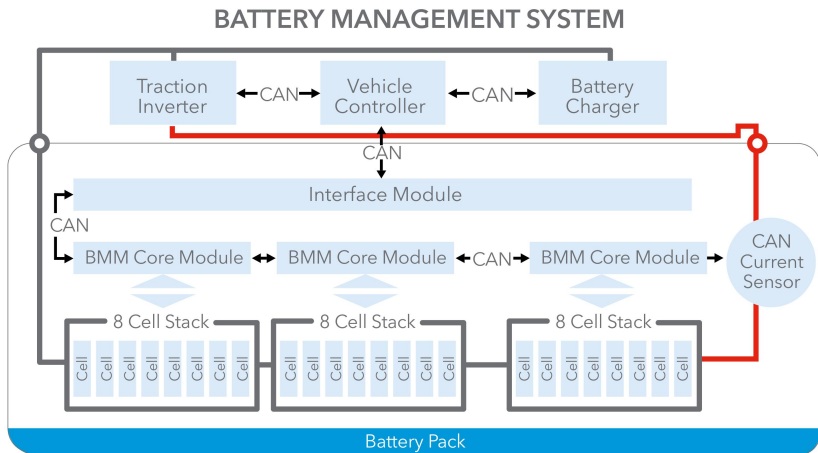


• توزیع دما

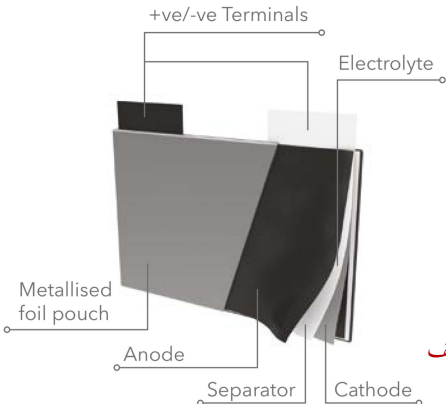
• ارسال اطلاعات به پردازنده مرکزی

• پردازش زیاد اطلاعات

• پردازش اطلاعات و تامین شرایط مناسب



• گرادیان دمای زیاد در سل های بزرگتر



• تولید حرارت در نرخ های بالا

• عدم یکنواختی رسانایی حرارتی در جهت های مختلف

- بیشترین اختلاف دما کمتر از ۵ درجه سلسیوس

- نگهداشتن کل پک باتری در یک گرادیان دمای مناسب

- نگهداشتن دمای پک باتری در محدوده $15 - 35^{\circ}\text{C}$

- انجام خنک کاری با حداقل میزان انرژی

- کاهش عملکرد باتری در دمای پایین

- کاهش طول عمر باتری در دمای بالا

- تخریب باتری در دماهای بسیار بالا

- خنک‌کاری بوسیله‌ی مبردهای متداول

- خنک‌کاری با هوا

- خنک‌کاری با مایع

- استفاده از مواد تغییر فاز دهنده

- لوله‌های حرارتی

- ترموالکتریک

• خنک‌کاری بوسیله‌ی مبردهای متداول

• خنک‌کاری با هوا

• گرمایش فراموش نشود!

• خنک‌کاری با مایع

• استفاده از مواد تغییر فاز دهنده

• لوله‌های حرارتی

• ترموالکتریک

دسته‌بندی سیستم‌های خنک‌کاری

تماس غیر مستقیم

مواد تغییرفار دهنده

لوله‌های حرارتی

المان ترموالکتریک

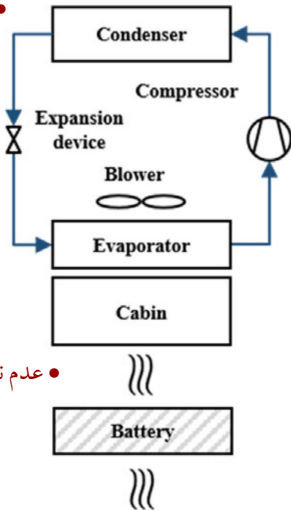
تماس مستقیم

هواخنک

خنک‌کاری با مایع

خنک‌کاری با مبرد

• ظرفیت و رسانایی حرارتی پایین هوا



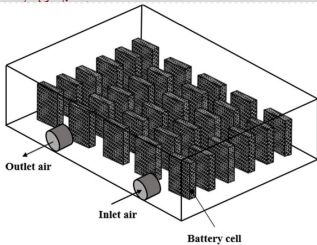
• بسیار ارزان و نیاز به قطعات کم

• امکان سرمایش هوا قبل از دمش

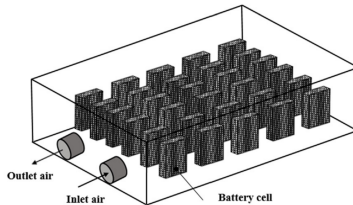
• عدم یکنواختی دمایی بین سل‌ها

• عدم توانایی در دفع مقادیر زیاد حرارت

• دمش هوای محیط

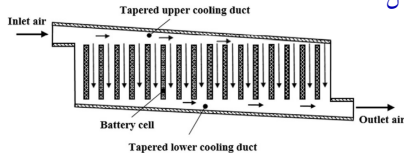
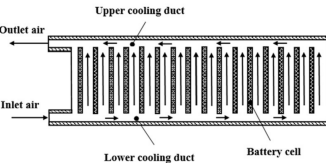


(a) Horizontal layout battery pack



(b) Longitudinal layout battery pack

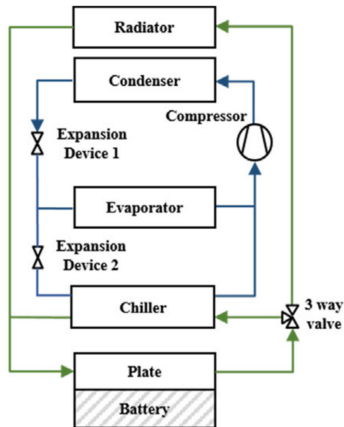
• تمرکز روی هندسه



• تمرکز روی چیدمان سل‌ها

• تمرکز روی طراحی کانال‌ها

• از سیستم‌های هوایی پیچیده‌تر هست



• امکان ایجاد سرمایش بیشتر

• امکان ایجاد سرمایش بیشتر

• طراحی بسیار فشرده و مناسب خودرو

• استفاده از مایع برای خنک‌کاری

• ظرفیت حرارتی بالاتر

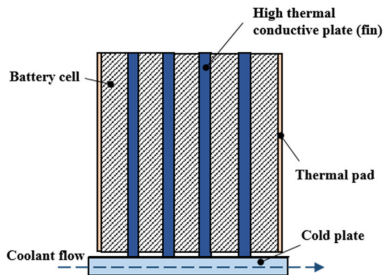
• استفاده از شیر کنترلی

• تعمیر و نگهداری بیشتر و امکان نشستی

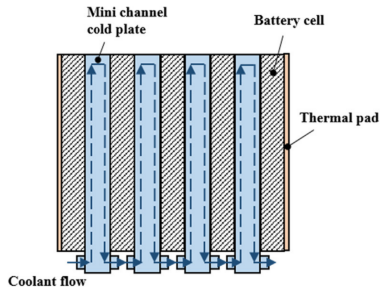
- ارسال گرمایش در فصول سرد

- ارسال آب به کولر ماشین در زمان نیاز

- ارسال آب به رادیاتور در زمان مناسب



(a) Fin cooling



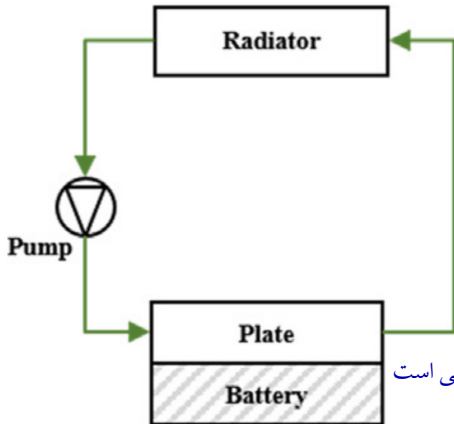
(b) Mini-channel cold plate cooling

- افزایش افت فشار در میکروکانال‌ها و نیاز به پمپ

- جلوگیری از چرخش آب در سرما

• عدم امکان سرمایه‌ش مناسب در هوای گرم

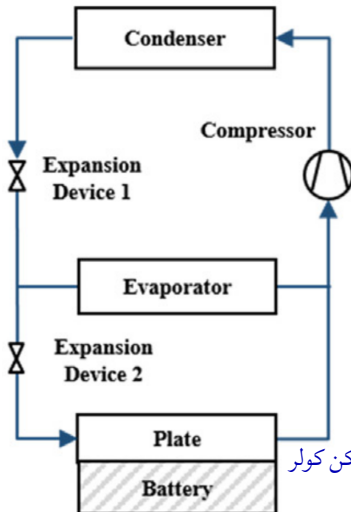
• سبک‌تر و ساده‌تر



• سیستم ساده‌شده‌ی قبلی است

• کم هزینه‌تر

- مورد استفاده در خودروهای با باتر



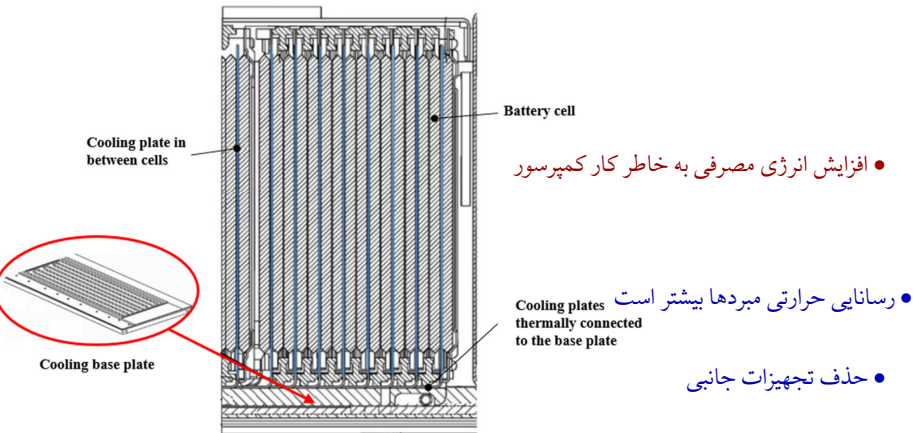
- حذف سیال میانی آب

- استفاده مستقیم از گاز خنک‌کن کولر

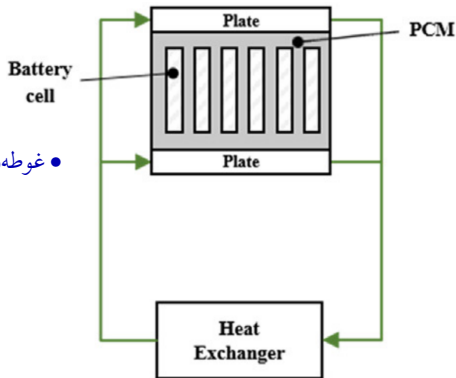
• تداخل بار حرارتی باتری با بار حرارتی داخل کابین

• بالاتر بودن ظرفیت حرارتی مبرد در حالت گرمای نهان

• نیاز به یک سیستم گرمایش مجزا چون مبرد را نمی‌توان گرم کرد



- یکنواختی دما در میان سل‌ها

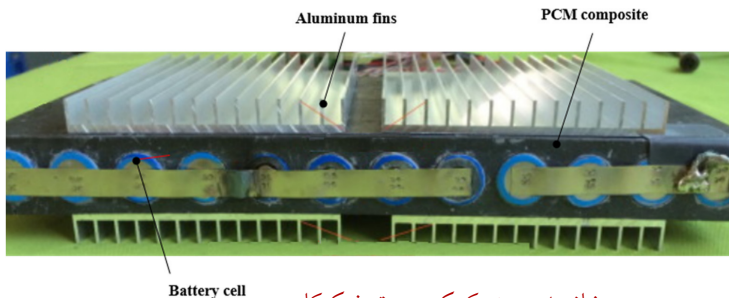


- غوطه‌ور شدن باتری در PCM

- کاهش انرژی پمپ و خنک‌کاری

- جلوگیری از افزایش نقطه‌ای دما

- نیاز به یک PCM مناسب با خواص مناسب

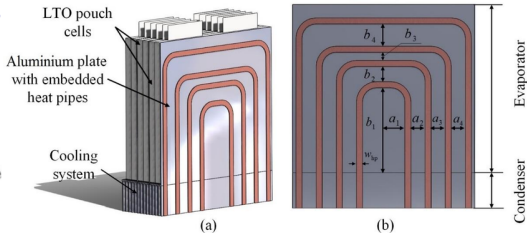
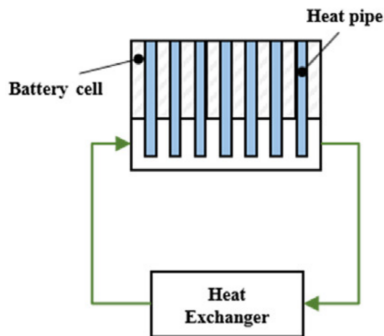


- نیازمند سیستم کمکی جهت خنک کاری

- افزایش حجم پک به واسطه‌ی نیاز به فضای کافی برای PCM

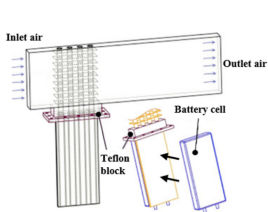
- پایین بودن رسانایی حرارتی

• انتقال حرارت در دماهای بسیار کم

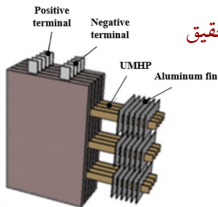


• بالابودن رسانایی حرارتی

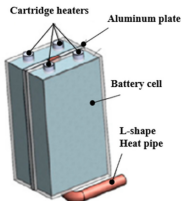
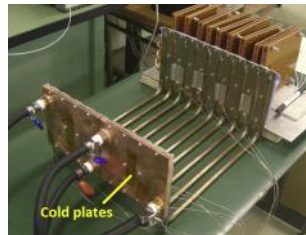
• قابلیت طراحی در هر شکل و ابعاد



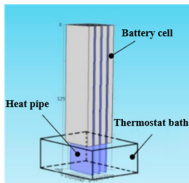
(a) The condensation section of the heat pipe cooled by air



● استفاده در سل‌های استوانه‌ای در دست تحقیق



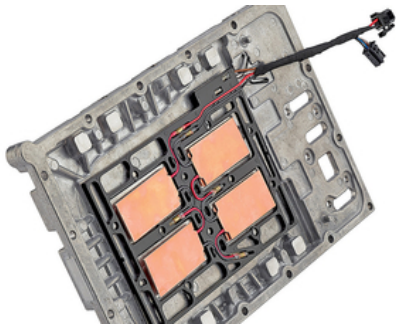
(b) The condensation section of the heat pipe cooled by liquid



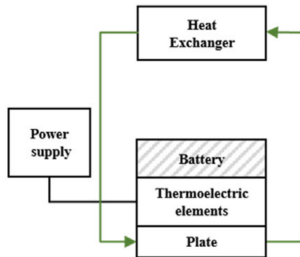
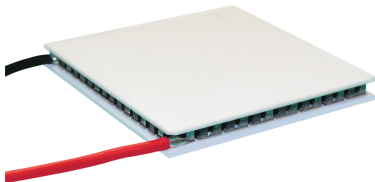
● خنک‌کاری با هوا یا آب

● مورد استفاده در باتری‌های منشوری و پاوچ

• بدون نویز و حرکت



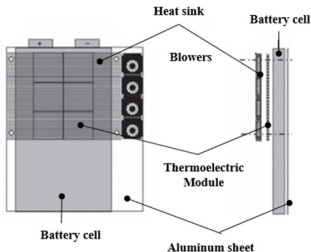
• قابلیت گرمایش و سرمایش



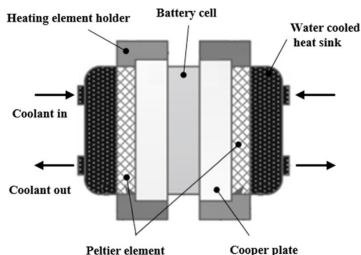
• استفاده در خودروهای لوکس برای گرمایش صندلی

- باید با سیستم‌های دیگر ترکیب شوند.

- راندمان کم باعث می‌شود فعلا جذاب نباشند



(a) Air-based cooling



(b) Liquid-based cooling

- بسیار فشرده و قابل انعطاف در طراحی

- وزن متناسب

- در پک باتری علاوه بر سرمایش، گرمایش هم مهم است
- مهم‌ترین مسئله نگهداشتن دمای پک در دمای مناسب است.
- گرادیان دما هم مهم است.
- عدم یکنواختی دما باعث کاهش طول عمر می‌شود.
- طراحی سیستم خنک‌کاری باتری باید با حداقل انرژی ممکنه صورت گیرد.
- ابعاد و وزن در طراحی بسیار مهم است.
- مسائل اقتصادی می‌تواند بسیار در انتخاب طرح موثر باشد.

• با تشکر از همه حضار گرامی

• منتظر پرسش‌های شما عزیزان هستم.



• کرونا را شکست می‌دهیم :-)