# بسم اللّه الرحمان رحیم

**تهیه کننده**

**محمد نظری قهرودی**

**عنوان مقاله**

**المان خنک کنندهTEC**

**1401**

# فهرست


چکیده ..... ۵

مقدمه ..... ۶

تاریخچه ..... ۶

اثر پلتیه ..... ۷

ساخت ماژول ترموالکتریک ..... ۸

ماتریس منظم عناصر TE – PELLETS ..... ۹

لایه های سرامیکی ..... ۱۰

هادی های الکتریکی ..... ۱۱

لحیم کاری ..... ۱۱

عملکرد TEC ..... ۱۲

عملکرد استاندارد ..... ۱۴

فیگور شایستگی ..... ۱۴

قابلیت اطمینان TEC ..... ۱۴

انتخاب ماژول TE برای یک برنامه کاربردی ..... ۱۵

نصب TEC ..... ۱۶

نصب مکانیکی ..... ۱۶

لحیم کاری ..... ۱۶

چسباندن ..... ۱۷

شناسایی و خصوصیات ..... ۱۷

مزایا ..... ۱۷

معایب ..... ۱۸

کاربردTEC ..... ۱۹

محصولات مصرفی ..... ۱۹

صنعتی ..... ۱۹

علم و تصویربرداری ..... ۱۹

TEG ..... ۲۰

نتیجه گیری..... ۲۰
منابع ..... ۲۱

## فهرست تصاویر

تصویر ۱ ..... ٦
تصویر ۲..... ۷
تصویر ۳ ..... ۷
تصویر ۴..... ۷
تصویر ۵ ..... ۸
تصویر ۶-single stage..... ۸
تصویر ۷-multi stage ..... ۹
تصویر ۸-مقایسهsingle & multi ..... ۹
تصویر ۹..... ۹
تصویر ۱۰-P type..... ۱۰
تصویر ۱۱-N type ..... ۱۰
تصویر ۱۲-Electrical conductivity p-type..... ۱۰
تصویر ۱۳-Electrical conductivity p-type ..... ۱۰
تصویر ۱۴-Electrical conductivity N-type ..... ۱۰
تصویر ۱۵-Electrical conductivity N-type..... ۱۰
تصویر ۱۶ ..... ۱۱
تصویر ۱۷..... ۱۱
تصویر ۱۸..... ۱۲
تصویر ۱۹ ..... ۱۲
تصویر ۲۰ ..... ۱۲
تصویر ۲۱ ..... ۱۳

**تصویر ۲۲** ..... ۱۳
**تصویر ۲۳** ..... ۱۳
**تصویر ۲۴** ..... ۱۳
**تصویر ۲۵** ..... ۱۳
**تصویر ۲۶** ..... ۱۳
تصویر ۲۷ ..... ۱٤
**تصویر ۲۸** ..... ۱٥
**تصویر ۲۹** ..... ۱٦
**تصویر ۳۰** ..... ۱٦
تصویر ۳۱ ..... ۱۷
**تصویر ۳۲** ..... ۲۰
تصویر ۳۳ ..... ۲۰

## فهرست جداول

**جدول ۱** ..... ۹

## چکیده

امروزه، فناوری ترموالکتریک مانند ژنراتورهای ترموالکتریک (TEG) و سیستم های خنک کننده ترموالکتریک (TEC) بسیار گسترش یافته و در زمینه های مختلف صنعتی, علمی پژوهشی, تولید برق و ۰۰۰ استفاده کرد و به دلیل هزینه کم آن و عاری بودن از نویز بسیار کاربردی است.

این مقاله اصول ترموالکتریکی را توصیف می کند و توضیحی در مورد مواد فعلی و آینده ارائه می دهد. علاوه بر این، تعدادی از کاربردهای موضعی و منابع انرژی معرفی شده است. هدف اصلی این مطالعه ارائه یک نمای کلی روشن از فناوری و کاربردهای ترموالکتریک است.



## کلمات کلیدی :

اثر پلتیه, ترموالکتریک, اثر سیبک, بیسموت تلراید

## مقدمه

اگرچه پدیده ترموالکتریک (TE) بیش از ۱۵۰ سال پیش کشف شد، دستگاه های ترموالکتریک (کولرهای TE) تنها در دهه های اخیر به صورت تجاری مورد استفاده قرار گرفته اند. برای مدتی، TEC های تجاری به موازات دو جهت جریان اصلی پیشرفت فنی - الکترونیک و فوتونیک، به ویژه اپتوالکترونیک و تکنیک های لیزر در حال توسعه هستند. اخیراً افزایش چشمگیری در کاربرد راه‌حل‌های TE در دستگاه‌های اپتوالکترونیک مشاهده شده است، مانند لیزرهای دیود، دیودهای سوپرلومینسانس (SLD)، آشکارسازهای نوری مختلف، لیزرهای حالت جامد پمپ شده با دیود (DPSS)، دستگاه‌های کوپل شده با شارژ (CCD)، کانونی و آرایه های صفحه (FPA) و غیره.

پیشرفت در کاربردها با مزایای خنک کننده های TE فراهم می شود و آنها حالت جامد هستند، هیچ قطعات متحرکی ندارند و مینیاتوری، بسیار قابل اعتماد و انعطاف پذیر در طراحی هستند تا نیازهای خاص را برآورده کنند.

## تاریخچه

اثر گرمایش یا سرمایش در محل اتصال دو هادی مختلف در معرض جریان به افتخار ساعت ساز فرانسوی ژان پلتیه (۱۷۸۵-۱۸۴۵) که آن را در سال ۱۸۳۴ کشف کرد نامگذاری شد. مشخص شد که اگر جریانی از کنتاکت ها عبور کند. از دو هادی غیرمشابه در یک مدار، یک اختلاف دما بین آنها ظاهر می شود. این پدیده به طور خلاصه اساس ترموالکتریکی است و به طور فعال در به اصطلاح ماژول های خنک کننده ترموالکتریک استفاده می شود. در مقابل گرمایش ژول که متناسب با مجذور جریان است:

$$Q = R \times I^2$$

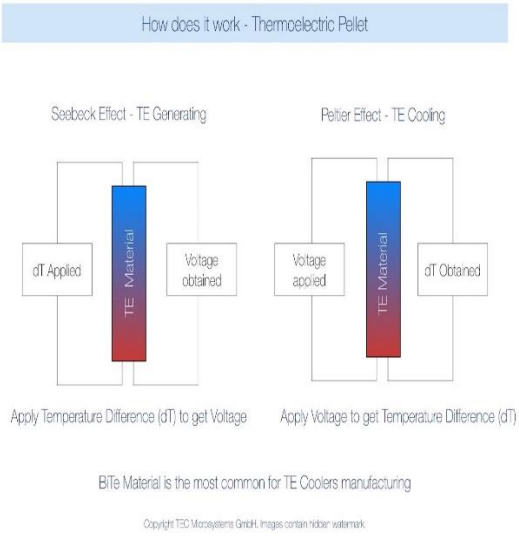
گرمای پلتیه (Qp) به عنوان تابعی خطی از جریان تغییر می کند و علامت خود را با آن تغییر می دهد:

$$Q_p = P \times q$$

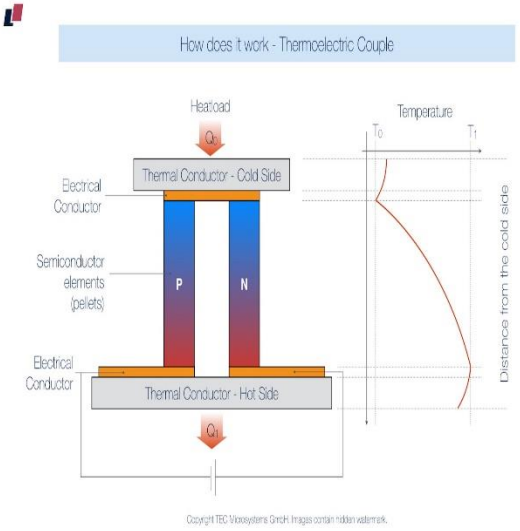
که در آن q باری است که از محل اتصال می گذرد (q = I x t); P ضریب پلتیه است که مقدار آن به ماهیت مواد تماس و دمای تماس بستگی دارد. روش رایج برای ارائه ضریب پلتیه به شرح زیر است:

$$P = \alpha \times T$$

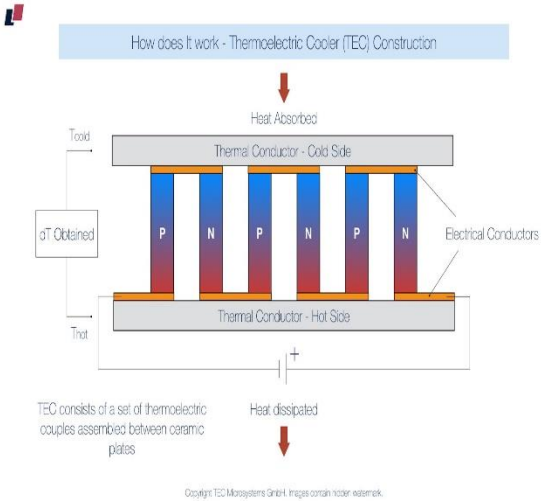
در اینجا α - آلفا ضریب Seebeck است که با مواد تماس، خواص و دمای آنها تعریف می شود. T دمای محل اتصال بر حسب کلوین است(۱).




*تصویر ۱*




تصویر ۲




تصویر ۳

## اثر پلتیه

خنک کننده ترموالکتریک از اثر پلتیه برای ایجاد شار حرارتی در محل اتصال دو نوع مختلف مواد استفاده می کند. کولر، بخاری یا پمپ حرارتی ترموالکتریک پلتیه یک پمپ حرارتی فعال حالت جامد است که با مصرف انرژی الکتریکی بسته به جهت جریان، گرما را از یک طرف دستگاه به طرف دیگر منتقل می کند. به چنین ابزاری، دستگاه پلتیه، پمپ حرارتی پلتیه، یخچال حالت جامد یا خنک کننده ترموالکتریک (TEC) و گاهی اوقات باتری ترموالکتریک هم گفته می شود. می توان از آن برای گرمایش یا سرمایش استفاده کرد، اگرچه در عمل کاربرد اصلی خنک کننده است. ونیز می توان از آن به عنوان یک کنترل کننده دما که گرم یا سرد می شود استفاده کرد(۲).

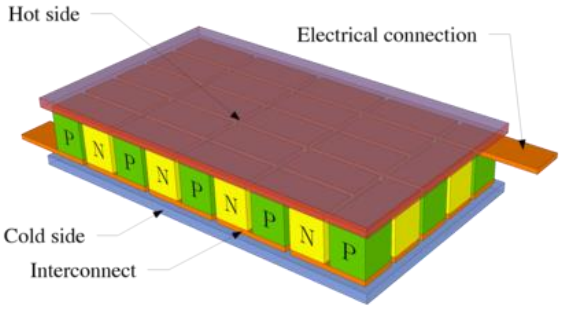
اثر پلتیه بیان می‌کند که وقتی جریان الکتریکی از مداری با دو رسانای غیر هم جنس عبور می‌کند، انرژی گرمایی از یک اتصال گرفته و در اتصال دیگر جذب می‌شود این امر باعث می‌شود اولی سردتر و دومی گرم‌تر شود. به همین دلیل گرادیان حرارتی از جریان عبوری ایجاد می‌شود که برعکس اثر سی بک است.

تصویر ۴

این فناوری در تبرید بسیار کمتر از تبرید فشرده سازی بخار استفاده می شود. مزیت اصلی کولر پلتیه در مقایسه با یخچال تراکمی بخار عدم وجود قطعات متحرک یا مایع در گردش، عمر بسیار طولانی، آسیب ناپذیری در برابر نشتی، اندازه کوچک و شکل انعطاف پذیر آن است. معایب اصلی آن هزینه بالا برای ظرفیت خنک کننده معین و راندمان ضعیف برق (ضریب عملکرد یا COP پایین) است. بسیاری از محققان و

شرکت ها در تلاش هستند تا کولرهای پلتیه را تولید کنند که ارزان و کارآمد باشد.

کولر Peltier همچنین می تواند به عنوان یک ژنراتور ترموالکتریک استفاده شود. هنگامی که به عنوان یک خنک کننده کار می کند، ولتاژی به دستگاه اعمال می شود و در نتیجه اختلاف دما بین دو طرف ایجاد می شود. هنگامی که به عنوان یک ژنراتور کار می کند، یک طرف دستگاه تا دمای بالاتر از طرف دیگر گرم می شود و در نتیجه، اختلاف ولتاژ بین دو طرف ایجاد می شود (اثر Seebeck). با این حال، یک خنک کننده Peltier با طراحی خوب، به دلیل طراحی و بسته بندی متفاوت، یک ژنراتور ترموالکتریک متوسط خواهد بود و بالعکس.

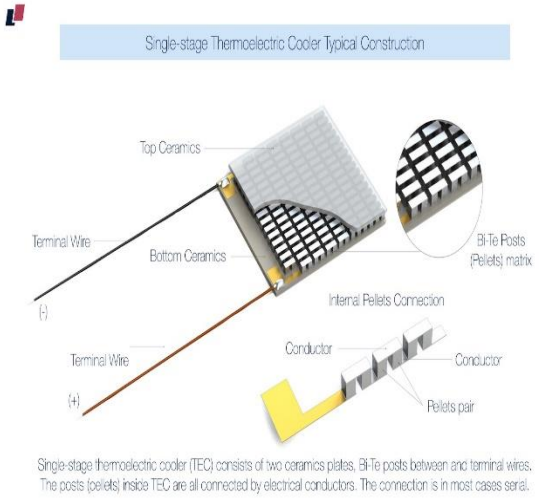



*تصویر ۵*

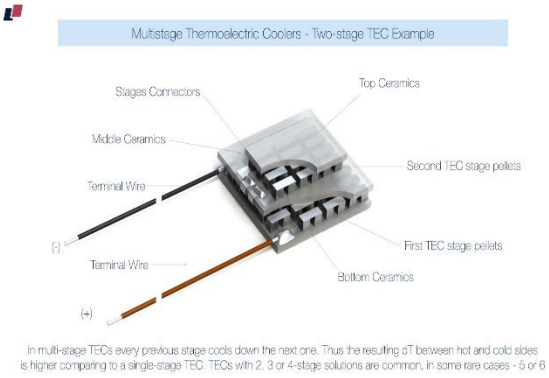
خنک کننده های ترموالکتریک با اثر پلتیه (یکی از سه پدیده ای که اثر ترموالکتریک را تشکیل می دهند) کار می کنند. این دستگاه دارای دو طرف است و هنگامی که جریان الکتریکی DC از دستگاه عبور می کند، گرما را از یک طرف به طرف دیگر می آورد، به طوری که یک طرف سردتر و طرف دیگر گرمتر می شود. سمت "گرم" به یک هیت سینک وصل می شود تا در دمای محیط باقی بماند، در حالی که سمت سرد به زیر دمای اتاق می رود. در کاربردهای خاص، خنک کننده های متعدد را می توان برای دمای پایین تر به صورت آبشاری یا کنار هم قرار داد، اما راندمان کلی (COP) به طور قابل توجهی کاهش می یابد. حداکثر COP هر چرخه تبرید در نهایت با تفاوت بین دمای مطلوب (سمت سرد) و دمای محیط (سمت گرم) (دمای هیت سینک) محدود می شود. هر چه اختلاف دما (دلتا) بیشتر باشد، حداکثر COP نظری کمتر است.

## ساخت ماژول ترموالکتریک

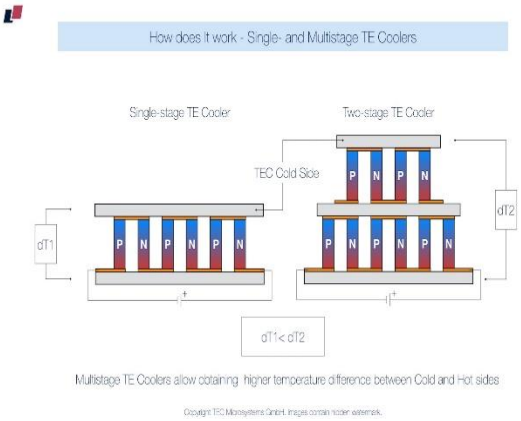
یک ماژول TE دستگاهی متشکل از زوج های ترموالکتریک (گلوله های نیمه هادی نوع N و P) است که به صورت الکتریکی به صورت سری، موازی حرارتی به هم وصل شده و با لحیم کاری ثابت شده و بین دو صفحه سرامیکی قرار گرفته اند. دومی دو طرف خنک کننده ترموالکتریک گرم و سرد (TEC) را تشکیل می دهد. پیکربندی کولرهای ترموالکتریک کلاسیک در زیر نشان داده شده است:




*تصویر ۶- single stage*




*تصویر ۷ – multi stage*

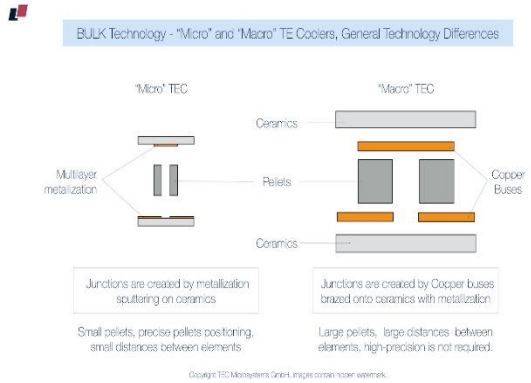



*تصویر ۸ – مقایسه single & multi*

معمولاً یک ماژول ترموالکتریک از بخش های زیر تشکیل شده است:

## ماتریس منظم عناصر TE – PELLETS

معمولاً از نیمه هادی هایی مانند بیسموت تلورید (BiTe)، تلورید آنتیموان یا محلول های جامد آنها استفاده می شود. نیمه هادی ها به دلیل عملکرد بهینه TE پیچیده و ویژگی های تکنولوژیکی در بین مواد شناخته شده بهترین هستند. مواد BiTe معمولی ترین برای خنک کننده TE است.

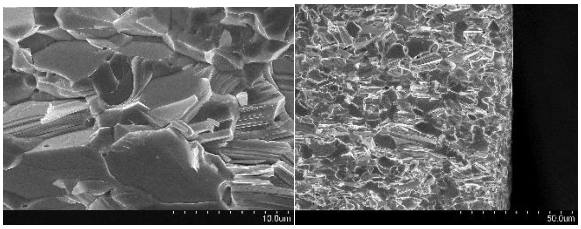



*تصویر ۹*

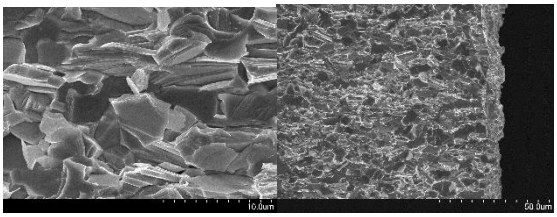
مواد BiTe عنصر کلیدی ماژول های ترموالکتریک مدرن است. بیسموت تلوراید (BiTe) و آلیاژهای آن به طور گسترده به عنوان مواد خنک کننده ترموالکتریک (TEC) استفاده می شود. آنها همچنین برای استفاده در ژنراتورهای ترموالکتریک (TEG) زمانی که دمای منبع گرما متوسط است، بهینه هستند. در میان روش های مختلف ساخت مواد BiTe، فرآیند اکستروژن گرم، مدرن ترین تکنولوژی است. مواد BiTe اکسترود شده گرم بهترین تعادل عملکرد و خواص مکانیکی را دارند که برای تولید کولرهای ترموالکتریک و ژنراتورها مناسب است(۳). علی‌رغم تلاش‌های مختلف برای یافتن جایگزین‌ها، بیسموت تلوراید هنوز هم شناخته‌شده‌ترین ماده ترموالکتریک مورد استفاده تجاری به صورت فله برای خنک‌سازی و تولید برق است(۴).

| **Material Properties** | α uV/K | σ 1/Ohm x cm | $\alpha^2\sigma$ uW/cm x $K^2$ | **Zx1000** 1/K |
|---|---|---|---|---|
| P- Type | ≥195 | 950 – 1100 | ≥ 40 | ≥ 3.05 |
| N- Type | ≥195 | 950 – 1100 | ≥ 38 | ≥ 2.75 |

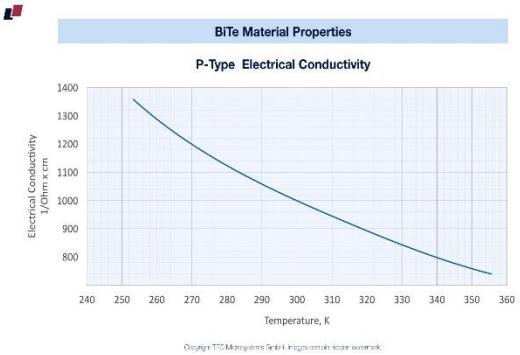
*جدول ۱*



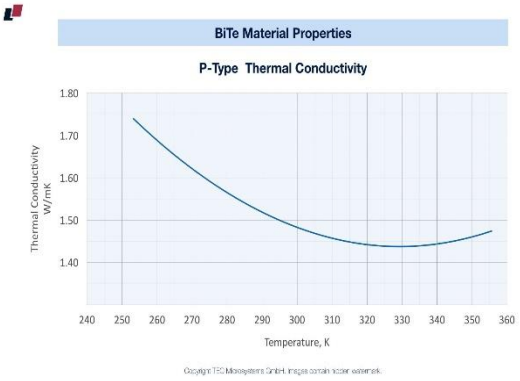
تصویر ۱۰- P type



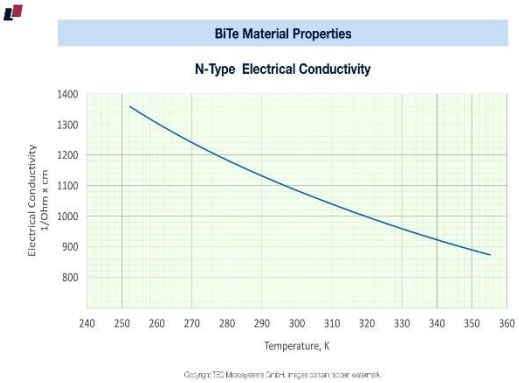
تصویر ۱۱- N type



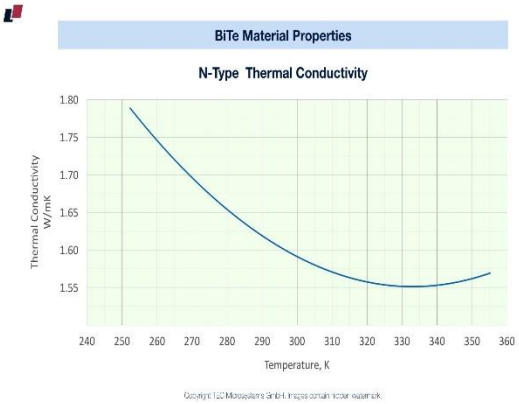

تصویر ۱۲- Electrical conductivity p-type




تصویر ۱۳- Electrical conductivity p-type




تصویر ۱۴- Electrical conductivity N-type

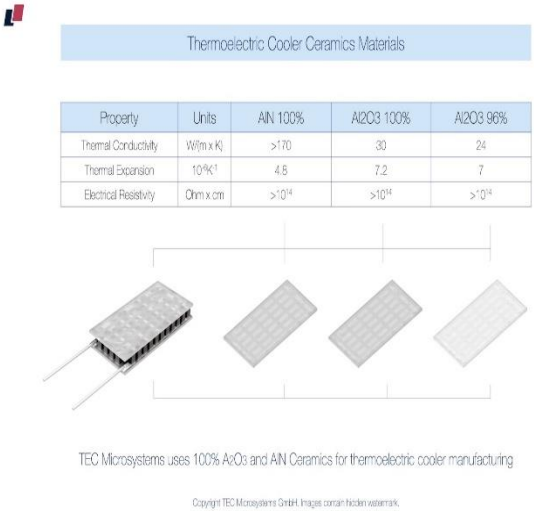



تصویر ۱۵- Electrical conductivity N-type

## لایه های سرامیکی

لایه های سرامیکی سرد و گرم (و متوسط برای کولرهای چند مرحله ای) یک ماژول. صفحات یکپارچگی مکانیکی یک ماژول TE را فراهم می کنند. آنها باید الزامات سختگیرانه عایق الکتریکی جسمی که قرار است خنک شود و سینک حرارتی را برآورده کنند. صفحات باید رسانایی حرارتی خوبی داشته باشند تا انتقال حرارت با حداقل مقاومت را فراهم کنند. سرامیک‌های اکسید آلومینیوم (Al2O3) به دلیل نسبت بهینه هزینه/عملکرد و تکنیک پردازش توسعه‌یافته بیشترین استفاده را دارند. انواع سرامیک های دیگر مانند نیترید آلومینیوم (AlN) و اکسید بریلیم (BeO) نیز استفاده می شود. آنها هدایت

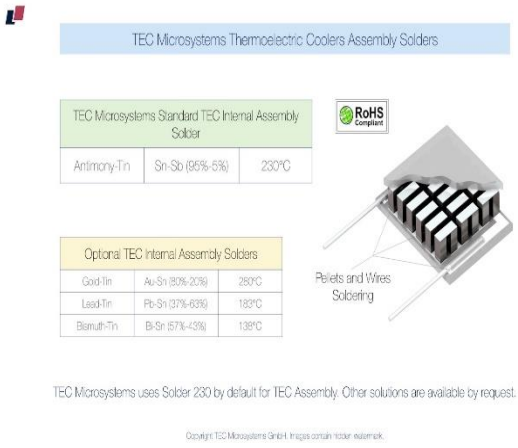
حرارتی بسیار بهتری دارند - پنج تا هفت برابر بیشتر از Al2O3 - اما هر دو گرانتر هستند. علاوه بر این، فناوری BeO سمی است.




*تصویر ۱۶*

## هادی های الکتریکی

برقراری تماس الکتریکی سریال گلوله ها با یکدیگر و تماس با سیم های پیشرو. برای بیشتر خنک کننده های TE مینیاتوری، هادی ها به صورت لایه های نازک (ساختار چند لایه حاوی مس (مس) به عنوان هادی) ساخته می شوند که روی صفحات سرامیکی قرار می گیرند. برای کولرهای با اندازه بزرگ و پرقدرت، آنها از زبانه های Cu ساخته شده اند تا مقاومت را کاهش دهند.




*تصویر ۱۷*

## لحیم کاری

مونتاژ ماژول TE را فراهم می کند. استانداردترین لحیم های مورد استفاده شامل آلیاژهای سرب-قلع (Pb-Sn)، آنتیموان-قلع (Sn-Sb) و طلا-قلع (Au-Sn) می باشد. لحیم کاری ها باید مونتاژ خوبی از ماژول TE را فراهم کنند. نقطه ذوب یک لحیم کاری یکی از عوامل محدود کننده برای فرآیندهای جریان مجدد کولر TE و دمای عملیاتی است. سیم های پیشرو به هادی های انتهایی متصل می شوند و برق را از منبع الکتریکی جریان مستقیم (DC) تامین می کنند.

یک ماژول تک مرحله ای از یک ماتریس گلوله و یک جفت طرف سرد و گرم تشکیل شده است. یک ماژول چند مرحله ای را می توان به صورت دو یا چند مرحله تکی که روی هم چیده شده اند مشاهده کرد. ساخت یک ماژول چند مرحله ای معمولاً از نوع هرمی است - هر مرحله پایین تر از مرحله بالایی بزرگتر است. هنگامی که از مرحله بالا برای خنک کردن استفاده می شود، مرحله پایین به ظرفیت خنک کننده بیشتری برای پمپاژ حرارتی که از مرحله بالایی دفع می شود نیاز دارد.

*تصویر ۱۸*

## عملکرد TEC

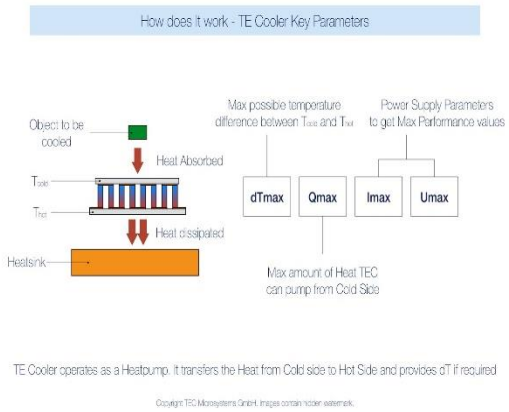
کولرهای ترموالکتریک را می توان با پارامترهای عملکرد حداکثر با دمای اتصال داغ (T1) مشخص کرد(۵).
معمولاً آنها در مشخصات استاندارد یک ماژول ذکر شده اند:

ΔTmax – حداکثر اختلاف دما در امتداد ماژول در بار حرارتی صفر Q=0

Qmax – حداکثر ظرفیت خنک کننده متناظر با ΔTmax=0

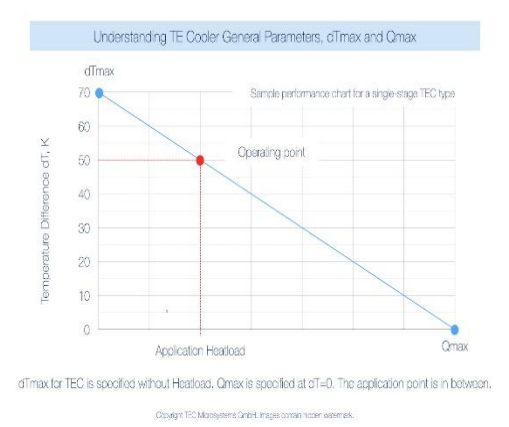
Imax – جریان دستگاه در ΔTmax

Umax – ولتاژ ترمینال برای Imax بدون بار حرارتی



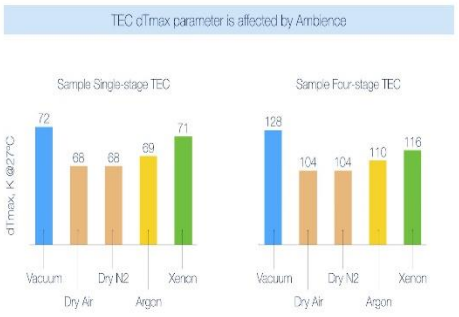

*تصویر ۱۹*

معمولاً سازندگان پارامترهای عملکرد کولر TE را در دمای محیط ۳۰۰ K (27ºC) در خلاء یا/و در ۳۲۳ K (50ºC) در شرایط نیتروژن خشک (N2) مشخص می کنند.

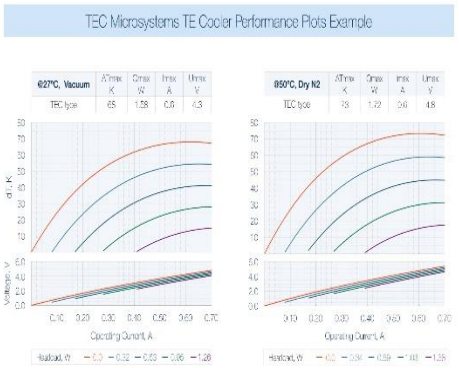



*تصویر ۲۰*

همه پارامترهای عملکرد در یک رابطه متقابل با یکدیگر هستند. تجزیه و تحلیل صحیح یک عملیات TEC در برنامه واقعی را می توان با استفاده از نمودارهای عملکرد، که نتایج وابستگی متقابل بین آنها است، انجام داد. توجه به این نکته مهم است که پارامترهای عملکرد کولر TE به شرایط محیطی بستگی دارد.

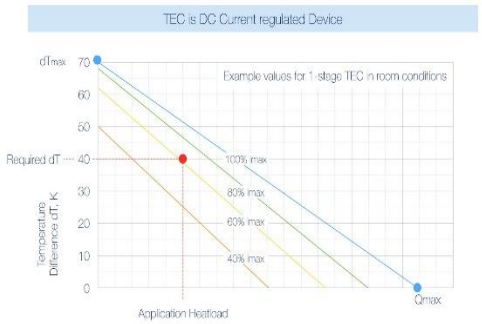



تصویر ۲۴



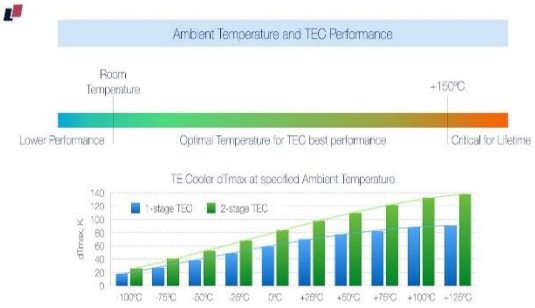

تصویر ۲۵

تصویر ۲۶




تصویر ۲۱

تصویر ۲۲




تصویر ۲۳

## عملکرد استاندارد

یک مشخصات معمولی برای خنک کننده ترموالکتریک شامل نمودارهای عملکردی است که نشان دهنده رابطه متقابل بین Imax، Umax، Qmax و ΔTmax است. نمونه های معمولی در مثال بالا نشان داده شده است. معمولاً پارامترهای عملکرد TEC و نمودارهای عملکرد استاندارد توسط سازندگان در K۳۰۰، شرایط محیطی خلاء و در K۳۲۳، N2 خشک مشخص می‌شوند.

## فیگور شایستگی (Z)

پارامترهای عملکردی بیشتری وجود دارد که معمولاً در مشخصات استاندارد کولرهای TE تجاری ارائه نمی شوند، اما نقش بسیار مهمی در مشخصه ماژول ترموالکتریک دارند(۲).

این پارامترها خواص مواد گلوله (رسانایی حرارتی (k)، مقاومت الکتریکی (R) و ضریب Seebeck) به صورت زیر هستند:

$$Z = \frac{a^2}{KR}$$

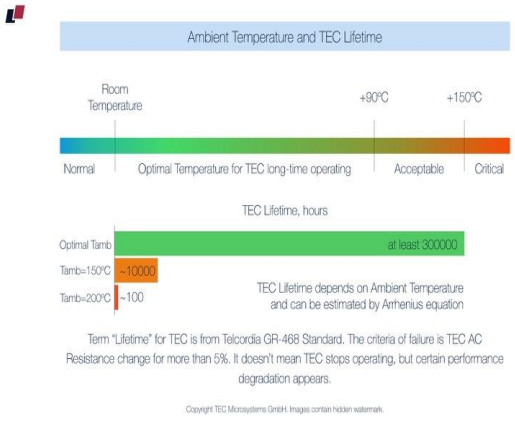
پارامتر Z معمولاً به عنوان "شخصیت شایستگی" نامیده می شود. مقدار معمولی Z در محدود$^{-۳}$ ۱۰X ۲/۵ – ۳/۲. مقدار شناخته شده Z امکان تخمین ΔTmax یک TEC تک مرحله ای را با فرمول ساده می دهد:

$$AT_{max} = \frac{1}{2} ZT_0^2$$

که در آن T0 دمای طرفی است که کار انجام شده است.

## قابلیت اطمینان TEC

کولرهای تجاری TE طول عمر طولانی را در محدوده ۲۵۰۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰۰ ساعت در شرایط عادی فراهم می کنند. این نتیجه یک فناوری بسیار پیشرفته تولید و مواد اولیه با کیفیت بالا است. در بسیاری از کاربردها، TEC یک جزء حیاتی است زیرا بر دمای کل دستگاه تأثیر می گذارد و می تواند بر عملکرد صحیح آن و همچنین تأثیر بر اتلاف گرما تأثیر بگذارد. به همین دلیل است که روش های تست قابلیت اطمینان شدید مورد نیاز است(۶).




تصویر ۲۷

برای این منظور، استانداردهای تست ملی و بین المللی زیادی وجود دارد. آنها برای طیف وسیعی از صلاحیت های دستگاه های الکترونیکی و نوری یکپارچه هستند. در بازار بین المللی، استانداردهای Bellcore رایج ترین هستند، یعنی GR-468 (تضمین قابلیت اطمینان برای دستگاه های الکترونیکی نوری).

حداقل مجموعه استاندارد روش های تست شامل تست شوک مکانیکی، تست ارتعاش، تست نیروی برشی،

تست ذخیره سازی در دمای بالا، تست استقامت چرخه دما می باشد.

معیارهای شکست. معیارهای شکست پیشنهادی که در عمل برای تست های قابلیت اطمینان وجود دارد به شرح زیر است:

– افت حداکثر ظرفیت خنک کننده TEC ΔTmax به زیر درجه بندی مشخص شده آن

– و افزایش مقاومت TEC 5٪ یا بالاتر.

کنترل هر دو معیار در روش Z-metering که سریع و کاملا دقیق توسط دستگاه تست Z-Meter تحقق یافته است، قابل دستیابی است. دومی اندازه‌گیری رقم برتری Z و بنابراین اندازه‌گیری ΔTmax و مقاومت جریان متناوب (AC R) را فراهم می‌کند.

پارامترهای Z و ACR به کیفیت TEC و هر گونه خرابی بسیار حساس هستند. هر گونه تغییر جزئی در یک ماژول - تخریب گلوله ها، اتصالات، سرامیک و غیره - بلافاصله منجر به تغییر قابل توجه Z (کاهش) و ACR (افزایش) در برابر مقادیر ثابت اولیه می شود.

## انتخاب ماژول TE برای یک برنامه کاربردی

هر برنامه خاصی که در آن ماژول TE مورد نیاز است با مجموعه ای از پارامترها و محدودیت های عملیاتی مشخص می شود که ضرورت انتخاب دقیق نوع TEC بهینه را در میان طیف گسترده ای از TEC های تک مرحله ای و چند مرحله ای دیکته می کند. این پارامترها عبارتند از:

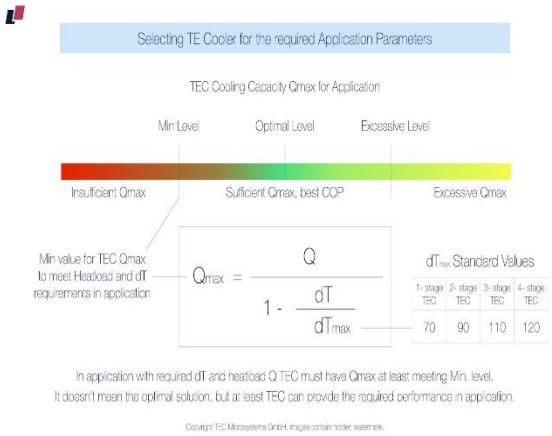
ΔT – اختلاف دمای عملیاتی (در دمای شناخته شده Ta/hot Thumthaint Thinth).

Q – ظرفیت خنک کننده عملیاتی؛

I – جریان اعمال شده یا موجود؛

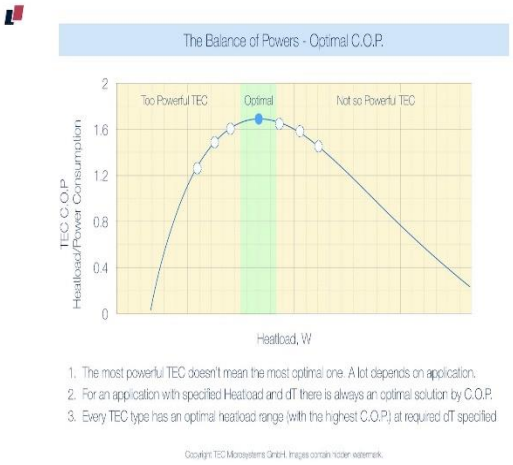
U – ولتاژ ترمینال؛ و محدودیت های ابعادی و دیگران.

یک کاربر می تواند تخمین تقریبی اما سریع ظرفیت خنک کننده را به صورت زیر انجام دهد:



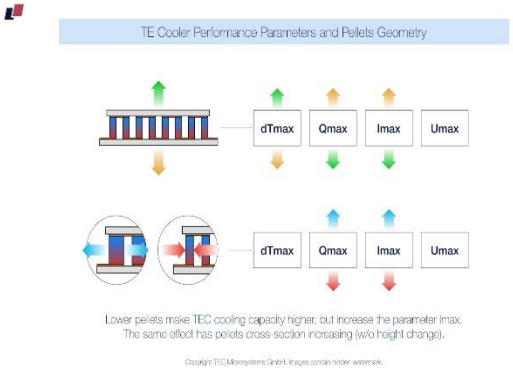

*تصویر ۲۸*

در بین هر گروه (انواع تک مرحله ای و چند مرحله ای)، ماژول هایی با ظرفیت خنک کننده متفاوت Q وجود دارد. ظرفیت خنک کننده کولر ترموالکتریک به تعداد گلوله ها و هندسه آنها بستگی دارد. گلوله های با ارتفاع کم یا/و سطح مقطع گلوله های بزرگتر، ظرفیت خنک کننده بالاتری را برای کولر ترموالکتریک فراهم می کند. در همان زمان آنها جریان عملیاتی و مصرف برق کل را افزایش می دهند. سطح مقطع گلوله های کوچک و گلوله های بلند حداکثر اختلاف دما را افزایش می دهند و مصرف برق TEC را کاهش می دهند، اما ظرفیت خنک کننده نیز کاهش می یابد(۷).




*تصویر ۲۹*

اگر محدودیت های معمول در منبع تغذیه را نیز در نظر بگیرید، انتخاب صحیح می تواند به یک کار پیچیده تبدیل شود. به منظور تسریع و بهینه سازی این رویه، اکثر تامین کنندگان نوعی کمک را توصیه می کنند. علاوه بر این، برخی از آنها به کاربران در مورد نرم افزاری توصیه می کنند که به آنها اجازه می دهد در میان TEC ها جستجو کنند و در مورد انتخاب بهینه با استفاده از تجزیه و تحلیل پایگاه داده رایانه ای انواع ماژول TE موجود با مدل سازی دقیق رفتار ماژول TE بتن در شرایط عملیاتی خاص تصمیم گیری کنند.




*تصویر ۳۰*

## نصب TEC

در عمل، عملکرد و طول عمر عملیاتی کولر ترموالکتریک به طور قابل توجهی به عوامل زیادی بستگی دارد و روش صحیح نصب بسیار مهم است. نصب اولین روش قبل از استفاده از کولر TE است. روش نصب و مواد اعمال شده باید تماس های حرارتی خوب و حداقل مقاومت حرارتی را فراهم کند(۸).

### نصب مکانیکی

ماژول TE بین دو مبدل حرارتی قرار می گیرد. این ساندویچ توسط پیچ یا به روش مکانیکی دیگر ثابت می شود. مزیت تثبیت توسط پیچ در امکان جداسازی سریع و آسان در صورت نیاز است. برای خنک کننده های بزرگ، به عنوان مثال، با سطوح خارجی ۳۰ x۳۰ mm2 یا بیشتر مناسب است. انواع مینیاتوری به روش های مختلف مونتاژ نیاز دارند.

### لحیم کاری

این یک روش جهانی برای اکثر کولرهای TE مینیاتوری است. این روش شامل آماده سازی ماژول TE با سطوح بیرونی پوشیده از فلز (طرف سرد و گرم) است. در طول لحیم کاری، یک خنک کننده TE برای مدت کوتاهی گرم می شود، اما تا دمای بالا. از این رو:

– نقطه ذوب لحیم کاری خارجی باید همیشه کمتر از لحیم کاری داخلی ماژول باشد.

– مدت زمان لحیم کاری باید تا حد امکان کوتاه باشد تا زمان گرم شدن بیش از حد کاهش یابد.

معمولاً به دلیل تنش حرارتی، استفاده از لحیم کاری برای TEC هایی با ابعاد خطی اضلاع بیش از ۱۸ میلی متر توصیه نمی شود. در این مورد، انتخاب مواد بسیار دقیق مورد نیاز است.

## چسباندن

به دلیل سادگی بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. معمولاً از ترکیبات اپوکسی پر شده با مواد رسانای حرارتی مانند پودر گرافیت، نقره، نیترید سیلیکون (SiN) و غیره استفاده می شود.

با این حال، محدودیت های کلی به شرح زیر وجود دارد.

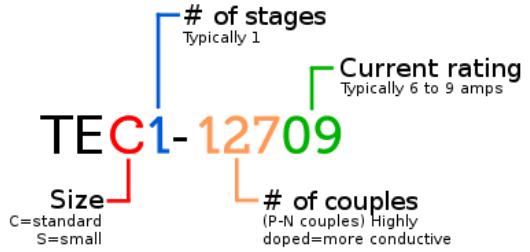
– برخی از اپوکسی ها دمای عملیاتی پایینی دارند که آنها را برای خنک کننده های TE با دمای بالا نامناسب می کند.

– روش مناسبی برای کاربردهای با خلاء بالا نیست زیرا اپوکسی مشکلاتی را در خروج گاز ایجاد می کند.

## شناسایی و خصوصیات

اکثریت قریب به اتفاق کولرهای ترموالکتریک دارای شناسه ای هستند که در قسمت خنک شده چاپ شده است.این شناسه‌های جهانی به وضوح اندازه، تعداد مراحل، تعداد زوج‌ها و رتبه‌بندی جریان بر حسب آمپر را نشان می‌دهند، همانطور که در نمودار مجاور دیده می‌شود.

Tec1-12706 بسیار رایج، مربعی با اندازه ۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳ تا ۴ میلی‌متر، با چند دلار یافت می‌شود و به‌عنوان توانایی حرکت در حدود ۶۰ وات یا ایجاد اختلاف دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد با جریان ۶ آمپر به فروش می‌رسد. مقاومت الکتریکی آنها قدر ۱-۲ اهم خواهد بود.




تصویر ۳۱

## مزایا

یکی از مزایای قابل توجه سیستم های TEC این است که آنها قطعات متحرک ندارند. این عدم سایش مکانیکی و کاهش موارد خرابی ناشی از خستگی و شکستگی ناشی از لرزش و تنش مکانیکی باعث افزایش طول عمر سیستم و کاهش نیازهای تعمیر و نگهداری می شود. فن‌آوری‌های کنونی نشان می‌دهند که میانگین زمان بین خرابی‌ها (MTBF) بیش از ۱۰۰۰۰۰ ساعت در دمای محیط است.

این واقعیت که سیستم های TEC با جریان کنترل می شوند منجر به یک سری مزایای دیگر می شود. از آنجایی که جریان گرما به طور مستقیم با جریان DC اعمال شده متناسب است، گرما ممکن است با کنترل دقیق جهت و مقدار جریان الکتریکی اضافه یا حذف شود. برخلاف روش‌هایی که از روش‌های گرمایش یا سرمایش مقاومتی استفاده می‌کنند که شامل گازها می‌شود، TEC امکان کنترل یکسانی بر جریان گرما (هم در داخل و هم خارج از یک سیستم تحت کنترل) را فراهم می‌کند. به دلیل این کنترل دقیق جریان گرما دو طرفه، دمای سیستم‌های کنترل‌شده می‌تواند تا

کسری از درجه دقیق باشد، که اغلب در تنظیمات آزمایشگاهی به دقت میلی کلوین (mK) می‌رسد. دستگاه‌های TEC نسبت به همتایان سنتی‌تر خود از نظر شکل انعطاف‌پذیرتر هستند. آنها را می توان در محیط هایی با فضای کمتر یا شرایط سخت تر نسبت به یخچال های معمولی استفاده کرد. توانایی تنظیم هندسه آنها امکان ارائه خنک کننده دقیق به مناطق بسیار کوچک را فراهم می کند. این عوامل آنها را به یک انتخاب متداول در کاربردهای علمی و مهندسی با الزامات سخت تبدیل می کند که در آن هزینه و بهره وری مطلق انرژی دغدغه اصلی نیستند(۷).

یکی دیگر از مزایای TEC عدم استفاده از مبرد در عملکرد آن است. قبل از حذف تدریجی، برخی از مبردهای اولیه، مانند کلروفلوئوروکربن ها (CFCs)، به طور قابل توجهی در تخریب لایه ازن نقش داشتند. بسیاری از مبردهایی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند تأثیرات زیست‌محیطی قابل توجهی با پتانسیل گرمایش جهانی دارند یا خطرات ایمنی دیگری را با خود به همراه دارند.

و به طور کلی:

- نشتی گاز ندارند
- نگهداری ارزان
- عمر طولانی
- قابل کنترل
- سازگار با شرایط محیطی مختلف
- رسیدن به دماهای خیلی پایین‌تر از دمای محیط
- دستگاه‌هایی که با ماژول‌های TEC سرما تولید می‌کنند نسبت به یخچال‌ها نیاز به کمپرسور ندارند به همین دلیل کم‌حجم هستند و وزن پایینی دارند.

## معایب

سیستم های TEC دارای تعدادی معایب قابل توجه هستند. مهمتر از همه، بازده انرژی محدود آنها در مقایسه با سیستم‌های معمولی فشرده‌سازی بخار و محدودیت‌های کل شار حرارتی (جریان گرما) است که آنها قادر به تولید در واحد سطح هستند. این موضوع در بخش عملکرد زیر بیشتر مورد بحث قرار گرفته است.و به طور کلی:

- مصرف انرژی بالا و راندمان پایین این
- المان‌های سرد کننده توانایی محدودی در تبدیل گرما دارند و در مکان‌هایی با گرمای بالا ممکن است نتوانند به نتیجه مطلوب برسند.
- فنّاوری ساخت المان‌های خنک کننده نوپا است(۹).

کولرهای ترموالکتریک برای کاربردهایی استفاده می شود که نیاز به حذف حرارت از میلی وات تا چند هزار وات دارند. آنها را می توان برای کاربردهایی به کوچکی یک خنک کننده نوشیدنی یا به بزرگی یک زیردریایی یا واگن راه آهن ساخت. عناصر TEC طول عمر محدودی دارند. قدرت سلامتی آنها را می توان با تغییر مقاومت AC (ACR) اندازه گیری کرد. با فرسودگی عنصر خنک‌تر، ACR افزایش می‌یابد(۱۰).

## کاربردTEC

### محصولات مصرفی

عناصر Peltier معمولا در محصولات مصرفی استفاده می شوند. به عنوان مثال، آنها در کمپینگ، خنک کننده های قابل حمل، قطعات الکترونیکی خنک کننده و ابزارهای کوچک استفاده می شوند. همچنین می توان از آنها برای استخراج آب از هوا در دستگاه های رطوبت گیر استفاده کرد. یک کولر برقی از نوع کمپینگ/خودرو معمولاً می‌تواند دما را تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد (۳۶ درجه فارنهایت) کمتر از دمای محیط کاهش دهد، که اگر دمای خودرو در زیر نور خورشید به ۴۵ درجه سانتی‌گراد برسد، ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. ژاکت های تحت کنترل آب و هوا شروع به استفاده از عناصر Peltier کرده اند.خنک کننده های ترموالکتریک برای تقویت سینک های حرارتی برای ریزپردازنده ها استفاده می شود.

### صنعتی

خنک‌کننده‌های ترموالکتریک در بسیاری از زمینه‌های تولید صنعتی استفاده می‌شوند و نیاز به تجزیه و تحلیل عملکرد کامل دارند، زیرا قبل از عرضه این محصولات صنعتی به بازار، با آزمایش هزاران چرخه مواجه هستند. برخی از کاربردها عبارتند از تجهیزات لیزر، تهویه مطبوع یا خنک کننده ترموالکتریک، الکترونیک صنعتی و مخابرات، خودرو، یخچال های کوچک یا انکوباتورها، کابینت های نظامی، محفظه های IT و موارد دیگر(۱۱).

### علم و تصویربرداری

عناصر Peltier در دستگاه های علمی استفاده می شود. آنها یک جزء رایج در چرخه های حرارتی هستند که برای سنتز DNA توسط واکنش زنجیره ای پلیمراز (PCR)، یک تکنیک بیولوژیکی مولکولی رایج، استفاده می شود که به گرم کردن و خنک شدن سریع مخلوط واکنش برای بازپخت پرایمر دناتوراسیون و چرخه های سنتز آنزیمی نیاز دارد. با مدار بازخورد، عناصر Peltier را می توان برای پیاده سازی کنترل کننده های دمای بسیار پایدار که دمای مورد نظر را در محدوده ± ۰.۰۱ درجه سانتی گراد نگه می دارد، استفاده کرد. چنین پایداری ممکن است در کاربردهای لیزری دقیق مورد استفاده قرار گیرد تا از تغییر طول موج لیزر با تغییر دمای محیط جلوگیری شود.

این اثر در ماهواره‌ها و فضاپیماها برای کاهش اختلاف دمای ناشی از نور مستقیم خورشید در یک طرف سفینه با اتلاف گرما در سمت سرد سایه‌دار استفاده می‌شود، جایی که به عنوان تشعشعات حرارتی به فضا پراکنده می‌شود. از سال ۱۹۶۱، برخی از فضاپیماهای بدون سرنشین (از جمله مریخ نورد کنجکاوی) از ژنراتورهای ترموالکتریک ایزوتوپ رادیویی (RTGs) استفاده می کنند که انرژی حرارتی را با استفاده از اثر Seebeck به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. این دستگاه‌ها می‌توانند چندین دهه دوام بیاورند، زیرا سوخت آن‌ها از تجزیه مواد رادیواکتیو پر انرژی است.

از عناصر پلتیر نیز برای ساخت اتاقک های ابری برای تجسم تشعشعات یونیزان استفاده می شود. فقط با عبور جریان الکتریکی، آنها می توانند بخارات را در دمای زیر ۲۶- درجه سانتیگراد بدون یخ خشک یا قطعات متحرک خنک کنند و ساخت و استفاده از محفظه های ابری را آسان می کنند.
آشکارسازهای فوتون مانند CCD ها در تلسکوپ های نجومی، طیف سنج ها یا دوربین های دیجیتال

بسیار پیشرفته اغلب توسط عناصر پلتیه خنک می شوند. این باعث کاهش تعداد تاریکی به دلیل نویز حرارتی می شود. شمارش تاریک زمانی اتفاق می‌افتد که یک پیکسل یک الکترون ناشی از نوسانات حرارتی را به جای فوتون ثبت می‌کند(۱۲). در عکس‌های دیجیتالی که در نور کم گرفته می‌شوند، اینها به صورت لکه‌ها (یا "نویز پیکسل") ظاهر می‌شوند.

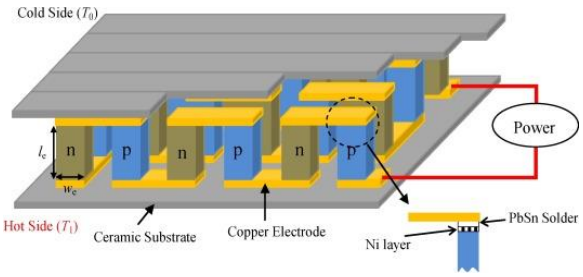
خنک کننده های ترموالکتریک را می توان برای خنک کردن اجزای کامپیوتر به منظور حفظ دما در محدوده طراحی یا برای حفظ عملکرد پایدار در هنگام اورکلاک استفاده کرد. یک خنک کننده Peltier با یک هیت سینک یا بلوک آب می تواند یک تراشه را تا دمای بسیار پایین تر از محیط خنک کند(۱۳).

در کاربردهای فیبر نوری که طول موج یک لیزر یا یک جزء به شدت به دما وابسته است، از خنک کننده های پلتیر همراه با ترمیستور در یک حلقه بازخورد برای حفظ دمای ثابت و در نتیجه تثبیت طول موج دستگاه استفاده می شود.

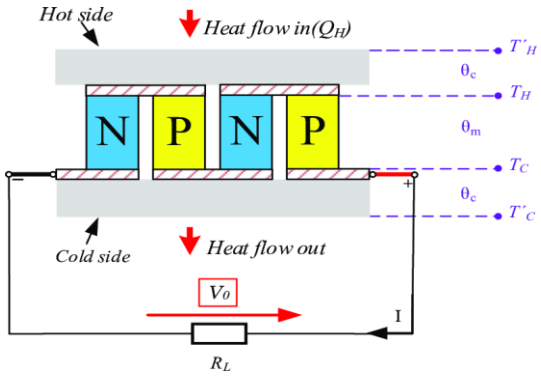
برخی از تجهیزات الکترونیکی که برای استفاده نظامی در میدان در نظر گرفته شده اند، به صورت حرارتی خنک می شوند.

## TEG

المان خنک کننده TEG مخفف عبارت Thermo-Electric Generator می‌باشند TEG .برعکس TEC کار می‌کند یعنی اختلاف دمای بین دو سطح را به جریان الکتریکی تبدیل می‌کند. در مدل‌های TEC گفته شد که با عبور جریان از داخل ماژول پلتیر، اختلاف دمایی در بین دو سطح سرامیکی ایجاد می‌شود. ولی در مدل TEG به حالت برعکس کارایی دارد. به این ترتیب با اعمال یک اختلاف دمایی در سطح سرامیکی ماژول، خروجی یک جریان الکتریکی خواهد بود. این مدل در ابعاد مختلف برای مصارف مختلف طراحی می‌شود. المان خنک کننده TEG به دو حالت دما بالا یا High Temperature و حالت دما پایین یا low temperature وجود دارد(۴).




تصویر ۳۲




تصویر ۳۳

## نتیجه گیری

ترموالکتریک ها فناوری جدیدی هستند که بسیار کاربرد گسترده ای در صنعت و پژوهش پیدا کرده اند و چون ارزان و بدون نویز هستند انتخاب بسیار بهتری نسبت به سایر صفحات فلزی برای انتقال حرارت یا سنسور ها هستند.

# منابع


١. Versteeg. Peltier Element Identification. 2013.

٢. Anatychuk LI. Thermoelements and Thermoelectrical Devices. 1979.

٣. Vayner AL. Thermoelectric Coolers.

٤. Gromov T. TEC Microsystems GmbH ] 2021

٥. Taylor RA. Comprehensive system-level optimization of thermoelectric devices for electronic cooling applications. 2008.

٦. DiSalvo. Thermoelectric Cooling and Power Generation. 1999.

٧. Ghoshal. Highly reliable thermoelectric cooling apparatus and method. 2001.

٨. **Poudel**. High-Thermoelectric Performance of Nanostructured Bismuth Antimony Telluride Bulk Alloys. 2008.

٩. Ferro. How Winter Woes Inspired A Nanotech Fix For Everything From Cold Necks To Knee Pain. 2013.

١٠. Stokholm LG. Reliability of thermoelectric cooling systems1991.

١١. Using Peltier modules for thermal management of electronic systems. Electronics Weekly. 2017.

١٢. Gromov G. GLOBAL PHOTONICS APPLICATIONS & TECHNOLOGY Report.

١٣. Fylladitakis. The Phononic HEX 2.0 TEC CPU Cooler Review. 2016.