98-F-ELM-665

# طراحی و ساخت ژنراتور ترموالکتریک

**بابک علی نژاد ، فرهاد علی نژاد ، شبنم باطبی، قاسم کاوه ای**
**۱ . گروه مواد دانشکده مهندسی دانشگاه سمنان**
**۲. گروه تعمیر و نگهداری هواپیما دانشکده صنعت هواپیمایی کشوری**
**۳. گروه فیزیک دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف**
**۴. پژوشکده نیمه هادی ها پژوهشگاه مواد و انرژی**
**ایران**

واژه‌های کلیدی: ترموژنراتور ،گرادیان حرارتی،آلیاژ ترمو الکتریک

**چکیده**

یکی از آخرین پیشرفت ها در صنعت تولید برق استفاده از پدیده ترموالکتریک جهت تولید انرژی الکتریکی است.

برای اولین بار در کشور ژنراتور ترموالکتریک از قطعات ترموالمنت تولید شده به روش متالورژی پودر ساخته شد. ۴۰ زوج ترموالکتریک بر روی دو صفحه سرامیکی با هدایت حرارتی زیاد مونتاژ گردید. قطعات از دو نوع نیمرسانای n و p به ترتیب از آلیاژهای $Bi_2Te_3 - Bi_2Se_3$ و $Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3$ تشکیل شده است. در مجموع کمتر از ۵۰ گرم ماده مولد در این ژنراتور کوچک مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج آزمایشات حاکی از آن است چنانچه اختلافی در حدود ۹۰ درجه سانتیگراد مابین صفحه گرم و سرد دستگاه برقرار شود, خروجی آن در حدود ۲۸۰mA و ۱/۱V خواهد بود. کارایی این مبدل کوچک چشم انداز روشنی را به سوی استفاده گسترده از آن جهت تولید پاک و ایمن انرژی الکتریکی در صنعت برق کشور می گشاید .

## ۱. مقدمه:

بیشترین اتلاف انرژی در کلیه سیستمهای مصرف کننده و مبدلهای انرژی نهایتا به صورت اتلاف حرارتی است . تبدیل هر مقدار از این اتلاف به انرژی مفید الکتریکی بسیار ارزشمند است .

سیستمهای ترموالکتریک شامل تعدادی از زوج های نیمرسانای ترموالکتریکی نوع n و p هستند که به صورت سری به یکدیگر متصل گشته و مابین دو صفحه عایق الکتریکی که رسانای گرمایی است چیده و لحیم شده اند . هرگاه این سیستم به منبع پتانسیل متصل شود یک سمت آن سرد و سمت دیگر آن گرم می شود. به این شکل که گرما از یک سمت جذب و در طرف دیگر دفع می گردد در این حالت سیستم به یک پمپ گرمایی تبدیل می شود . در این حالت مورد استفاده آن بیشتر خاصیت سرد کنندگی آن است و بالعکس اگر یک گرادیان دمایی در دو صفحه مذکور ایجاد شود سیستم به یک ژنراتور ترموالکتریک تبدیل می گردد [1].

یکی از کاربرد های جالب ترموالکتریک, استفاده از آنها در حفاظت کاتدیک می باشد. ژنراتورهای ترموالکتریک برق لازم جهت حفاظت از خوردگی لوله های نفت و گاز را تامین می کنند.در این حالت ژنراتورهای ترموالکتریک میتوانند به مدت طولانی (بیش از چهل سال ) با کمترین هزینه تعمیر و نگهداری ،جریان لازم جهت حفاظت کاتدی خطوط لوله های نفت و گاز را که معمولا نصب تجهیزات متداول تامین انرژی الکتریکی برای این هدف با هزینه های گزاف انجام می گیرد را به سادگی تامین کنند [1, 2]. سیستم های ترموالکتریک به عنوان سرماسازهای موضعی برای قطعات الکترونیکی حساس مانند آشکارسازهای مادون قرمز، مدارهای مجتمع وتثبیت کننده دما در لیزر های دیودی و نوری دوربین های دیجیتال وآشکارسازهای CCD کاربرد دارند[2] .

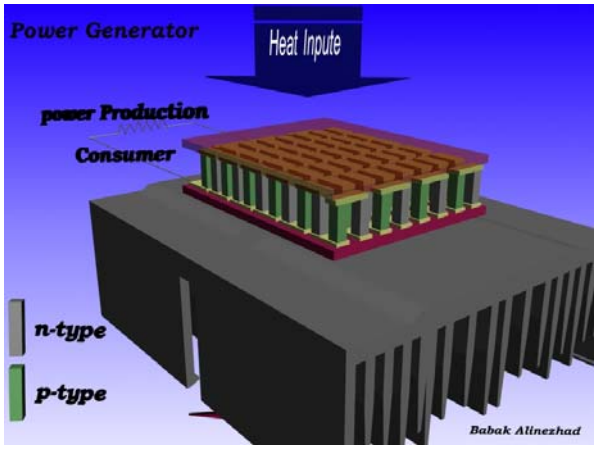
از کاربرد های دیگر آن در صنعت میتوان به کنترل ایمن دریچه گاز اصلی در کوره های گازی اشاره کرد.از آنجا که بر خلاف باتری ها، هیچ ماده شیمیایی فاسد شدنی در ترمو الکتریک وجود ندارد، چنانچه سالها ازآن استفاده نشود، معیوب نخواهد شد و به محض دریافت انرژی گرمایی و بوجود آمدن گرادیان دما در دو سطح آن، الکتریسیته تولید خواهد شد.به احتمال زیاد مهمترین کاربرد ترمو الکتریک در آینده تبدیل مستقیم انرژی هسته ای به الکتریسیته در راکتور ها خواهد بود[1].

از آنجا که اثرات ترموالکتریکی ذاتا مربوط به فیزیک الکترونیک می باشند، نیازی به هیچ تغییر شیمیایی در مواد حین عملکرد نبوده و اگر خوب طراحی شوند طول عمر زیادی خواهند داشت. در طراحی آنها قابلیت انعطاف زیادی وجود دارد زیرا می توان آنها را بسته به شکل منبع حرارتی و یا منبع سرمایی مورد نظر به شکل تخت ، سیلندر و یا اشکال دیگر ساخت [3].

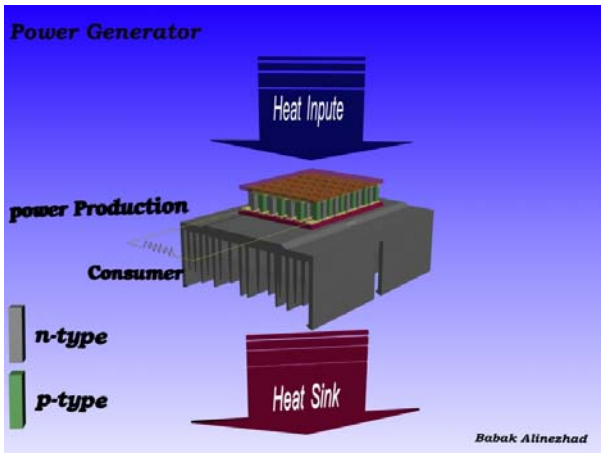
## ۲. شرح آزمایشات :

ترموژنراتوری دارای ۴۰ کوپل ترموالمنت نوع n با آلیاژ $Bi_2Te_3 - Bi_2Se_3$ و نوع p با آلیاژ $Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3$ در ابعاد ۳۰*۲۵*۷ mm طراحی و مونتاژ شد ( شکل ۱).

جهت بررسی پارامترهای ولتاژ و جریان خروجی این ژنراتور در اختلاف دماهای مختلف, آزمایشاتی به شرح زیر انجام شد.




الف




ب

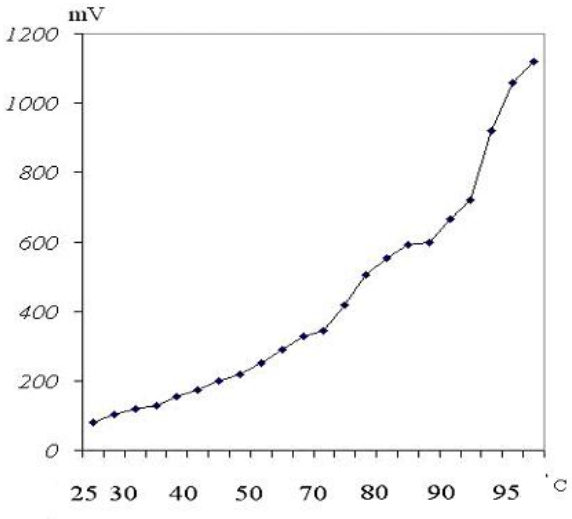
**شکل ۱- دو نما از ژنراتور ترموالکتریک ساخته شده(طریقه مونتاژ نیمرساناهای نوع n,pوصفحات سرامیکی و چگونگی اعمال گرادیان دمایی)**

## ۳. اندازه گیری خروجی ولتاژ و جریان ژنراتور ترموالکتریک در گستره دمایی $2^\circ - 97^\circ C$ :

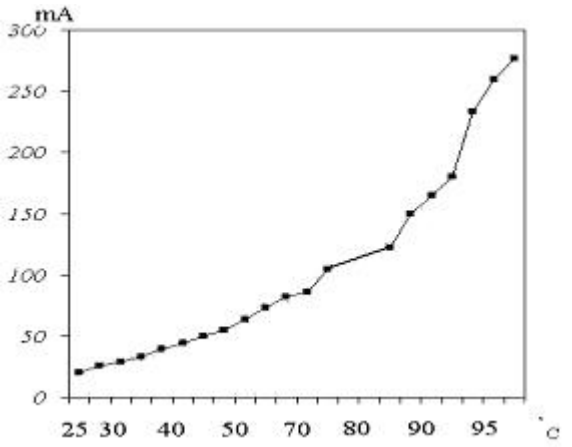
### آزمایش ۱

ترموژنراتور با استفاده از یک لایه نازک از خمیر سیلیکان بر روی یک Heat Sink آلومینیومی نصب گردید . این مجموعه داخل محفظه ای گذاشته شد, سپس یک ظرف فلزی با استفاده از یک لایه نازک خمیر سیلیکان در طرف دیگر ژنراتور ترموالکتریک نصب شد و یک هیتر داخل آن قرار گرفت.مخلوط آب و یخ در محفظه اول ریخته شد . به هیتر

طوری ولتاژ داده شد که بـه آرامـی آب درون ظـرف را گـرم نماید . دماسنج در هر یک از دو ظرف گرم و سـرد قـرار داده شد . جریان و ولتـاژ خروجـی ژنراتـور ترموالکتریـک انـدازه گیری شد و تغییرات آن نسبت به درجه حرارت صفحه سـرد و گرم ثبت گردید . نتایج در نمودار ۱و۲ آمده است .




**نمودار ۱- تغییرات پتانسیل الکتریکی به ازای افزایش دمای صفحه گرم (دمای صفحه سرد به وسیله آب و یخ در دمای ۲ درجه سانتیگراد ثابت نگه داشته شده است)**




**نمودار۲- تغییرات جریان الکتریکی به ازای افزایش دمای صفحه گرم(دمای صفحه سرد به وسیله آب و یخ در دمای ۲ درجه سانتیگراد ثابت نگه داشته شد)**

## آزمایش ۲

در آزمایش دیگری دمای منبع سرد در گستره $20^\circ - 30^\circ C$ انتخاب شد تا مشخص شود پایین بودن دما در چشمه سرد تا چه حـد در مقـدار پارامترهـای الکتریکـی خروجـی ژنراتـور ترموالکتریک موثر است . مابقی شرایط آزمـایش بـا آزمـایش پیشین یکسان بود و نتایج آن درجدول ۱ آمده است .

**جدول۱ –تغییرات ولتاژ و جریان تولیدی به ازای اعمال گرادیان دمایی( صفحه گرم ۹۷- ۹۵درجه سانتیگرادوصفحه سرد۳۰-۲۰ درجه سانتیگراد)**

| $T_C(^\circ C)$ | $T_H(^\circ C)$ | $V(mV)$ | $I(mA)$ |
|---|---|---|---|
| ۲۰ | ۹۷ | ۸۵۰ | ۲۱۰ |
| ۲۰ | ۹۷ | ۸۶۰ | ۲۱۴ |
| ۲۹ | ۹۵ | ۸۰۰ | ۲۰۰ |
| ۳۰ | ۹۵ | ۸۰۰ | ۲۰۰ |

## ۴. بحث :

بر اساس مقایسه مابین نمـودار (۱) و (۲) بـا جـدول (۱) مـی توان نتیجه گرفت بیش از آنکه دمای چشمه سـرد در گسـتره نزدیک به صفر درجه در میزان خروجی ژنراتـور مـوثر باشـد, بالا بودن مقدار دمای چشمه گرم در این مسـاله مهـم و مـوثر است . مشاهده می شـود اختلافـی در حـدود ۳۰٪ در دمـای چشمه سرد از $2^\circ$ تا $30^\circ C$ در میزان خروجی ژنراتور, ۳۵٪ موثر بوده است در حـالی کـه همـین نسـبت تغییـر در دمـای چشـمه گـرم افزایشـی در حـدود ۸۰٪ در تـوان خروجـی را حاصل کرده است. ضمن آنکه در شرایط عملی و کاربردهـای صنعتی، نگهداری چشمه سرد ژنراتـور در دمـای نزدیـک بـه صفر درجه سـانتیگراد ، تنهـا در فصـول خـاص و در منـاطق خاصی امکانپذیر است .[4]

بنابراین می بایست بالا بردن بازده ژنراتور در دماهای بـالا در چشمه گرم را هدف اصلی قرار داد،که این امر بالا بودن دمای ذوب لحیم استفاده شده جهت مونتاژ قطعات ترموپیـل را مـی طلبد [1,5] . لازم به ذکر است دمای ذوب لحیم مورد استفاده در گستره دمایی $150^\circ$ تا $185^\circ$ بوده است .

## ۵. نتیجه گیری :

ژنراتور ترموالکتریک ساخته شده در اثر ایجاد گرادیان دمایی حدود ۹۰ درجه سانتیگراد، تـوانی در حـدود ۰/۳ وات تولیـد میکند. اختلاف دمایی چشمه سرد در دمـای اتـاق نسـبت بـه

دمای حدود صفر درجه سانتیگراد تاثیر زیادی در افزایش توان الکتریکی تولیدی نداشته در صورتیکه دمای چشمه گرم بیشترین تاثیر را در پارامتر مذکور دارد. افزایش توان الکتریکی در دماهای بالاتر سیری صعودی دارد.

شایان توجه است که مواد مورد استفاده در این ژنراتور کمتر از ۵۰ گرم وزن داشته ونسبت توان خروجی به وزن مواد مصرفی می تواند مورد توجه قرار گیرد، ضمن اینکه این سیستم فاقد اجزاء متحرک بوده و کاملا بدون صدا عمل می نماید.

## منابع :

1. Robert R. Heikes Roland W.Ore.jr Thermoelectricity science and Engeneering,Westinghouse Research Laboratories pittsborgh ,Pensylvania, Interscience Publishers New York – London 1961
۲. کاوه ای، صدقی و الله کرمی، چهارمین کنفرانس مهندسی مواد ایران،۱۳۸۳، صفحه ۴۰۵تا۴۱۰
3. H. J. Goldsmid, CRC Handbook of Thermoelectrics, Ed. Rowe D.M.p.21-23, 1995.
4. s.o.kasap.principles of electronic materials and Devices ,Mc.Grow.Hill,2002
5. jae –taek Im,k.Ted.hartwig,Je.sharp,Acta Materialia 52(2004)49-55