تولید ولتاژ الکتریکی از پوست بدن انسان با استفاده از مدول های ترموالکتریک

محمد صائمیان[1]،عبدا...خالصی دوست[2،*]، نادر رهبر[3]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

2- استادیار، گروه مهندسی مکانیک،دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

3- استادیار، گروه مهندسی مکانیک،دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

*سمنان، ۱۹۱۱۱-۳۵۱۳۱، ab.khalesi@semnaniau.ac.ir

چکیده

امروزهروش‌های گوناگونی برای حفظ منابع انرژیو بهینه‌سازی مصرف حامل‌های انرژی در صنایع وجود داردو بازیافت انرژی به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل برای شکلگیری و پیشرفت جوامع صنعتی شناخته شدهاست. با توجه به کاهش رشد سوخت‌های فسیلی، افزایش قیمت روزافزون آنها ونیاز جوامع به انرژی،پدیده ترموالکتریک رونق گرفته و در بازیافت حرارتاتلافی در قسمت‌های مختلف از جمله بدن انسان قابل استفاده می‌باشد. بخش‌های مختلفی از بدن دارای درجه حرارت های متفاوت می‌باشند، یک میانگین که عمدتا در مورد دمای اصلی بدن پذیرفته شده حدود 37/5 درجه سانتیگراد می باشد، اما دمای میانگین پوست بدن حدود 32 درجه سانتیگراد می باشد. از آن جایی که درجه حرارت پوست بدننسبت به دمای محیط دارای اختلاف دما می‌باشد، از انرژیحرارتی موجود در پوست بدن می توان برای تولید توان الکتریکی با استفاده از دستگاه بازیافت حرارتی استفاده نمود.تولید توان الکتریکی در شرایطی است که دمای بین سطح پوست بدن و محیط از اختلاف کمی برخوردار می باشد،اما از طریق بهینه سازی هیتسینک دستگاه بازیافت می توان ولتاژ خروجی را بهبود بخشید.از مزایای تکنولوژی ترموالکتریک می‌توان به پاک و بی‌صدا بودن، عدم وجود قطعات مکانیکی، تعمیر ساده، وزن کم و عمر بالا که نزدیک به 100 هزار ساعت می‌باشد، اشاره نمود. هدف از این تحقیق بررسی وامکان سنجی استفاده از مدول‌های ترموالکتریک برای تولید قدرت از حرارت خروجی پوست انسان می‌باشد. نتایج حاصل از مدلسازی نشان می‌دهند کههرچه اختلاف دمای دو سر ترموالکتریک بیشتر شود توان الکتریکی افزایش خواهد یافت.

کلیدواژگان

بازیافتانرژی،تکنولوژیترموالکتریک،پوست بدن،اختلاف دما

Production ofelectric potentialofhuman skinusingthermoelectricmodules

Mohammad Saemian[1], AbdollahKhalesidoost [2*], Nader Rahbar[3]

1-Graduate Student, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan Branch,**Islamic Azad University**, Semnan, Iran
2-Assistant Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan Branch,**Islamic Azad University**, Semnan, Iran
3-Assistant Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan Branch,**Islamic Azad University**, Semnan, Iran
* P.O.B. 35131-19111.semnan, Iran, ab.khalesi@semnaniau.ac.ir

Abstract

The various methods for energy conservation and energy efficiency in industry, and renewable energy as one of the main factors for the formation and development of industrial societies known. Due to the reduction of fossil fuels, their growing need for communities to energy price increases, the phenomenon of thermoelectric waste heat recovery and recycling in various parts of the human body can be used. Different parts of the body have different temperature, an average temperature of the body is mainly about 37.5 ° C is accepted, but an average temperature of about 32° C is the skin. Since the temperature of the skin over the ambient temperature is the temperature difference, the thermal energy contained in the skin can be used to generate electric power using heat recovery can be used. Electric power generation in the absence of the temperature difference between the body and the environment is poor, but through optimization heatsink recycling device can be improved output voltage The advantages of thermoelectric technology can be clean and quiet, the lack of mechanical parts, simple maintenance, low weight and long life that is nearly 100 thousand hours mentioned. The aim of this study was to investigate the feasibility of thermoelectric modules to produce power from heat output is human skin. The results of the modeling show that the temperature difference across the thermoelectric more electrical power will increase.

Keywords

Energy recovery,thermoelectric technology,the skintemperature difference

1- مقدمه

انرژی به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل شکل‌گیری و پیشرفت جوامع صنعتی در جهان به شمار می‌رود به طوری که میزان دسترسی کشورها به منابع گوناگون انرژی بیانگر پیشرفت و قدرت سیاسی و اقتصادی آنان است. افزایش تقاضا برایسوخت‌های فسیلی، تخلیه سریع منابع انرژیومشکلات زیست محیطیمانندآلودگی هوا وگرم شدن کره زمین، سبب شده است که استفاده مؤثر ازانرژییک موضوع حائز اهمیت باشدجهت جلوگیری از رشد بی‌رویه مصرف انرژی و حفظ ذخائر ملی در زمینه انرژی باید توجه بیشتری به بازیافت انرژی‌های تلف شده نمود. با اجرای پروژه‌های بازیافت انرژی در صنایع علاوه بر کاهش مصرف سوخت و افزایش راندمان دستگاه‌ها، از تولید آلاینده های محیط زیست نیز کاسته خواهد شد که در نتیجه به حفظ محیط زیست کمک خواه نمود، بازیافت انرژی از اتلاف و هدر رفتن منابع انرژی در کشور جلوگیری و در نتیجه طول عمر این منابع را به همراه خواهد داشت.افزایش روزافزون قیمت انرژی و هزینه‌های تولید، جلوگیری از مصرف بی‌رویه انرژی، کاهش آلاینده‌های گازی و پدیده‌های گلخانه‌ای از جمله دلایلی هستند که اهمیت بازیافت انرژی را نشان می‌دهند.

متاسفانه استفاده از سوختهای فسیلی تاثیرات بسیار مخربی بر روی محیط زیست خواهد داشت. انتشار گازهای گلخانه ای و به تبع آن گرم شدن کره زمین، آب شدن یخها، آلوده شده هوا و همچنین بارانهای اسیدی تنها جزئی از تاثیرات مخرب استفاده از سوختهای فسیلی می باشند. تا به امروز تلاشهای بسیاری توسط دانشمندان برای کاهش وابستگی انسان به انرژی های متداول فسیلی صورت گرفته است. این تلاشها و تحقیقات به دو دسته کلی تقسیم بندی می‌شوند: جایگزینی سوختهای فسیلی با انرژیهای تجدیدپذیر و بهینه سازی مصرف سوخت با افزایشکارایی در فرایندها [1].هرچند که تلاشهای بسیار زیادی در زمینه جایگزینی سوختهای فسیلی با انرژیهای تجدیدپذیر همانندباد، خورشید و زمین گرمایی صورت گرفته است،اما هنوز به علت ارزانتر بودن سوختهای فسیلیهمچنین عدم دسترسی بشر به تکنولوژیهای مناسب جهت تبدیل انرژیهای نو به انرژیهای موردنیاز، سوختهای فسیلی جایگاه خود را در زندگی روزمره حفظ نموده اند؛ بنابراین در صورت افزایش کارایی در نحوه استفاده از این منابع انرژی،می‌توان علاوه بر کاهش هزینه‌های انرژی، آلاینده‌های ورودی به محیط زیست را نیز کاهش داد.

یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که در چند دهه اخیر مورد توجه اکثر کشورهای صنعتی پیشرفته بوده است بحث جلوگیری از اتلاف انرژی می‌باشد. اهمیت این بحث در سال‌های نخست دهه 1960 زمانی که تقاضا برای عرضه ذخایر نفتی و انرژی ناشی از آن افزایش چشمگیری یافت روشن شد. توجه به این موضوع که منابع سوخت فسیلی محدود و روبه کاهش هستند مسئولین را به فکر یافتن روش‌هایی جهت استفاده بهینه از انرژی انداخت. به طور کلی روش‌های گوناگونی برای حفظ منابع انرژی وجود دارد. معمول‌ترین روش صرفه‌جویی می‌باشد که از طریق فرهنگ‌سازی میسر است. همچنین می‌توانند منابع انرژی را جایگزینی برای منابع سوخت‌های فسیلی در نظر گرفت از جمله انرژی تابشی خورشید و یا جریان الکتریسیتهجدیدترین ایده برای حفظ انرژی استفاده از تجهیزات وسیستم‌های جدید می‌باشد که به همین منظور در نظر گرفته شده‌اند. سیستم‌های بهره‌برداری مجدد از انرژی هدررفته از این جملهانددرکشورهایصنعتیعلیرغمکاهشرشدمصرفانرژیدردهه هایگذشته،تولیدناخالصملی نهتنهاکاهشنیافتهبلکه افزایشنیزیافتهاست.

هرچند روشهای متعددی در زمینه افزایش کارایی فرایندهای مصرف کننده سوخت‌های فسیلی وجود دارد، اما درهر حال همواره در این فرایندها انرژی حرارتی تلف شده زیادی وجود خواهد داشت. این انرژی حرارتی نه تنها باعث کاهش کارایی سیستم و هدر رفتن منابع مالی می‌شود، بلکه در دراز مدت و در حجم وسیع می‌تواند اثرات زیست محیطی فراوانی را بخصوص در زمینه افزایش دمای محیط بجا بگذارد. به عنوان مثال می توان به حرارت خروجی از دودکشها در پالایشگاه ها و نیروگاه ها، حرارت خروجی از چگالنده ها[1]،حرارت اتلافی در فلرهای پالایشگاهی، حرارت خروجی از اگزوز وسایل نقلیه و قسمت های صنعتی اشاره نمود.بنابراین در صورت تبدیل این حرارت اتلاقی به توان الکتریکی می‌توان علاوه بر کاهش تاثیرات مخرب زیست میحطی، از هدر رفت منابع مالی نیز جلوگیری نمود.

تکنولوژی ترموالکتریک یکی از گزینه‌های مورد توجه در این زمینه می-باشد که مزیت زیادی را در مقایسه با سایر تکنولوژیهای موجود از خود نشان می‌دهد. تکنولوژی ترموالکتریک می‌تواند مستقیماً انرژی حرارتی را به انرژی الکتریکی تبدیل کند. یک مدول ترموالکتریک بدون هیچگونه اجزای متحرک بوده و همچنینبسیار جمع و جور و کوچک می‌باشد. مزیت دیگر تکنولوژی ترموالکتریک این است که بسیار قابل اطمینان بوده و دارای عمر حدود 100 هزارساعت می‌باشد. این وسیله از نظر زیست محیطی نیز کاملاً سازگار با محیط زیست است. علارغم مزایای ذکر شده تکنولوژی ترموالکتریک این عیب را دارد که راندمان تبدیلپایینی را دارد؛بنابراین بیشتر در مکانهایی استفادهمی شود که دیگر امکان استفاده از سایر تکنولوژیهای موجود برای تبدیل و بازیافت حرارت وجود ندارد [2].

در زمینه استفاده از ترموالکتریک در یازیافت انرژی تحقیقات بسیار وسیعی صورت گرفته است. یو و چاو[3]با استفاده از ترموالکتریک به بازیافت انرژی از موتور احتراق داخلی پرداختند. آنان توانستند ماکزیمم توان حدود 4 وات را با یک مدول ترموالکتریک و از دمای 250 درجه سانتیگراد بدست آوردند. آنان همچنین گزارش نمودند که با استفاده از 120 عدد ترموالکتریک و دمایی حدود 750 درجه می توان به توان الکتریکی حدود 600 وات رسید. واچاراساتین و همکاران[4] به بررسی عملکرد ترکیب ترموالکتریک و کلکتور خورشیدی درتولید توان الکتریکی پرداختند. آنان با استفاده از 16 عدد ترموالکتریک توان خروجی حدود 14 وات را برای اختلاف دمای 60 درجه سانتیکراد گزارش نمودند. استوبان و توروک [5]نیز در مقاله ای به بررسی امکان استفاده از ترموالکتریک در خروجی اگزوز پرداخته وبا محاسبات تئوری نشان دادند که در اختلاف دمایی حدود 90 درجه سانتیگراد یک مدول ترموالکتریک می تواند توان خروجی حدود 1/2 وات با کارایی تبدیل 2/4 درصد داشته باشد. چامپیر و همکاران [6]به بررسی عملکرد ترموالکتریکیدر تبدیل حرارت خروجی از یک بخاری پرداختند. خروجی دستگاه آنان حدود 7 وات در دمای 160 درجه سانتیگراد بود. لرزاتیهاناگورن [7]نیز در مقاله ای به بررسی عملکرد و تحلیل اقتصادی ترکیب ترموالکتریک با اجاقی با سوخت زیست توده پرداخت. توان خروجی بدست آمده در تحقیق وی حدود 2/4 وات در اختلاف دمای 150 درجه سانتیگراد بود. وی همچنین بیان نمود که در مقایسه با یک باطری زمان بازگشت سرمایه ترموالکتریک بسیار کمتر خواهد بود. لنف [8] به بررسی توان خروجی بدست آمده و بازیافت حرارتی

[1] - condensers

روی پوست انسان پرداخت، وی با استفاده از دو باتری NiMH توان خروجی بدست آمده را که در حدود 100 میلی امپر بود ذخیره نمود.ایملی اکاکیل و همکاران [9] به طراحی، بررسی و ساخت ژنراتور ترموالکتریک بر اساس قدرت برای بازیافت حرارتی روی بدن انسان برای دستگاه پزشکی پرداختند هدف آنها تامین توان لازم برای راه اندازی یک سمعک پزشکی بود میزان توان الکتریکی تولیدی آن ها، در حدود 0/034 وات بود. هدف از این مقاله،تحلیل تئوری و عملی تکنولوژی ترموالکتریک در تولید توان خروجی از حرارت خارج شده از پوست انسان دردماهای مختلف محیط، قسمت‌های مختلفی از پوست بدن انسان و میزان توانایی آنها در تولید توان الکتریکی از حرارت اتلافی در فعالیت های مختلف بدنی است.

2- ساخت دستگاه بازیافت حرارتی در جهت تولید توان الگتریکی

برای تولید ولتاژو توان الکتریکی در نقاط مختلف پوست از یک دستگاه استفاده می کنیم.این دستگاه شامل یک ترموالکتریک از نوعTEC1-12708 با ابعاد1600میلی مترو ضخامت3/6 میلیمترمی‌باشد،انتخاب ترموالکتریک استفاده شده در دستگاه بازیافت با توجه به قابلیت دسترسی در بازار کشور بوده که در بین ترموالکتریک های موجود در کشور، این نوع ترموالکتریک انتخاب شده است که نوعی از ترموالکتریک کولر می باشد که در این پروژه نقش ترموالکتریک ژنراتور را ایفا می نماید. در محاسبه و تحلیل تئوری توان الکتریکی، از مقاومت تماس بین دستگاه و پوست صرف نظر شده است؛امابه منظور کاهش مقاومت تماس بین دستگاه ژنراتور و پوست، سطح زیرین هیتسینک آلومینیومی با برشCNC به اندازه ابعاد ترموالکتریک تراشیده شده است.علاوه براین از یک نخ کشی در راستای نصب دستگاه در نقاط مختلف بدن استفاده گردیده که خود نیز سبب کاهش مقاومت تماس خواهد شد. نخ کشی توسط دو پایه از جنس آلومینیوم امکان اتصال دستگاه در هر قسمت از بدن را مقدور می سازد. شکل (1) دستگاه بازیافت حرارتی را با استفاده از نخ کشی در راستای نصب در قسمت های مختلف بدن را نشان می دهد.لازم به ذکر است از خمیر سیلیکون که دارای ضریب حرارتی بالایی می باشد در سمت دیگر ترموالکتریک (سمت سرد) که توسط هیتسینک احاطه شده در جهت کاهش مقاومت تماس بین هیتسینک و سمت سرد ترموالکتریکاستفاده شده است.در تعیین شار حرارتی تولید شده و عبوری با استفاده از روابط ترموالکتریک ازمقاومت خمیر سیلیکون صرف نظر شده است.

شکل 1دستگاه بازیافت حرارتی

3- استحصال از حرارت بدن در جابجایی آزاد

دراینتحقیق محاسبه توانالکتریکی مستلزم شرایط پایدار می باشد، با نصب دستگاه در قسمت‌های مختلفبدن در درجه حرارتهای محیطی متفاوت بعد از گذشت زمان به شرایطپایدار خواهیم رسید،همچنین این پروژه در حالتی می باشد که بدن انسان بدون فعالیتی در حالت نشستن بوده و در این حال هیچگونه واکنش داخلی که سبب افزایش دمای سطح پوست شود وجود ندارد،دراین شرایط اختلاف دمای بین دو سطح دستگاه ژنراتور را در شرایطی که تحت تاثیر جابجایی آزاد است مورد مطالعه قرار می دهیم. اما در جهت رسیدن به شرایط مطلوب، تحلیل و بررسی توان الکتریکی در این آزمایش بر اساس بهینه سازی هیتسینک حرارتی خواهد بود که در ادامه به طور کامل آورده شده است.محیط انتخابی تحت شرایطی انتخاب شده است که هیچگونه عواملی مانند وزش باد یا فن که در کاهش سطح سرد ترموالکتریک موثر باشند،وجود نخواهد داشت،اما به کمک راهکارهایی مانند تعرق در فصل تابستان، استفاده از مچ بند کشیو بازیافت انرژی در دمای محیط کم به افزایش دمای سطح پوست و سطح گرم دستگاه بازیافت حرارتی و افزایش بازده دستگاه بازیافت حرارتی کمک خواهیم نمود.

محیط انتخابی دارای درجه حرارت های محیطی متفاوت بوده اما دقت شود که بررسی و تحلیل ها در شرایط پایدارو در شرایطی می باشد کهاختلاف دمای بین پوست بدن و محیطکم می باشد، همچنین در این محیط به رفتار دستگاه بازیافت بعد از خوردن یک لیوان آب در دماهای نزدیک به 30 درجه سلسیوس در فصل تابستان می پردازیم تا به تاثیر پوست در حین تعرق در تحلیل دستگاه بازیافت پی ببریم.پس از رسیدن به شرایط پایدار، صرف یک لیوان آب در جهت واکنش دستگاه ژنراتور نسبت به تعرق پوست، ولتاژ خروجی از مدار را سنجیده و تغییرات مقاومت تماسی بین پوست و دستگاه ژنراتور را در حالت های متفاوت یادداشت می نماییم. می توان برای افزایش دمای پوست و کاهش تغییرات پوست بدن به خصوص در دماهای نزدیک به صفر از مچبند نخی استفاده نمود و سپس توان تولیدی را در حالات مختلف بررسی نمود.

ازانرژی گرمایی خارج شده از سطح پوست در اثر وجود اختلاف دما با محیط می توان در تولید توان الکتریکی استفاده نمود. به طور میانگین،سطح پوست بدن در حدود 1/8 متر مربع می باشد که در افرادمختلف متفاوت خواهد بود [11].همچنین بخش‌های متفاوتی از بدن دارای درجه حرارت‌های مختلف‌اند، یک میانگین که عمدتاً در مورد دمای اصلی بدن پذیرفته شده حدودا 37/5 درجه سانتی گراد می‌باشد [12].تغییرات روزانه در درجه حرارت بدن تاثیرگذار خواهد بود.همچنین بیماری هایی نظیر تب،فشارخون،استرس و برخی بیماری‌های روانی واصطکاک های داخلی در بدن مانند جریان خون و یا حرکت عضلاتبه طور میانگین سبب افزایش درجه حرارت می‌شود.این شرایط در زمستان و تابستان متفاوت است وقتی درجه حرارت کمتر از این مقدار بوده و شخص به طور عادی لباس پوشیده باشد بدن انسان در برابر اتلافات حرارتی قرارگرفته و در این صورت حرارت تولیدی بدن با عکس العمل های گرمازا افزایش می یابد،واحساس سرما خواهد کرد.برعکس اگر درجه حرارت بالاتر از شرایط مطبوع باشد بدن در برابر کمبود اتلافات حرارتی قرار گرفته و در نتیجه درجه حرارت پوست بالا می رود وتعرق و تبخیر سطحی افزایش می یابد،در این حالت انسان احساس گرما می کند؛یعنی چون قوانین انتقال حرارت امکان تبادل محسوس را به بدن نمی دهد بدن عکس العمل نشان داده و به کمک سلسله اعصاب وغدد عرق زا حرارتی که باید دفع کند تا درجه حرارت ثابت(°C)37 خود را حفظ نماید به صورت تعرق وتبخیر آب به محیط خواهد داد.اما درجه حرارت سطح پوست نسبت به دمای اصلی بدن کاملاً متفاوتبوده ودمای سطح پوست از حرارت کمتری برخوردار می-باشد که در قسمت‌های مختلف بدن متفاوت می‌باشد.جدول (1) این مقادیر در درجه حرارت محیط ثابت و پایدار اندازه گیری شده است. همچنین درجه

حرارت پوست به سن افراد نیز بستگی خواهد داشت،حساسیت افراد بسیار جوان و بسیار پیر نسبت به تغییرات دمای محیط بیشتر است.

جدول 1 مقادیر درجه حرارت در قسمت های مختلف پوست بدن (°C)

کبد	زیر بغل	شکم	پیشانی	ران	ساق پا	ساعد	کف پا
36,5	35,6	35,2	34,5	33,6	33,4	33	22

دقت شود که در این تحقیق اندازه گیری و بررسی‌ها بر روی فردی 27 ساله که از نظر جسمانی و فیزیلوژی[1] در شرایط نرمال بودهو به دور از هرگونه بیماری که سبب افزایش دمای داخلی و سطح پوست بدن خواهد شد می-باشد، صورت گرفته است. همچنین در محاسبه توان الکتریکی خروجی علاوه بر انتخاب بخشی از بدن برای به کارگیری گرمای مورد نیاز، نوع فعالیت بدنی وشرایط محیطی از نظر درجه حرارت نیز مهم می باشد.اما در این تحقیق علارغم وجود درجه حرارت بیشتر در نزدیکی کبد در جهت سهولت محاسبه واندازه گیری توان الکتریکی وافزایش سطح تماس پوستکه خود سببکاهش مقاومت تماس وافزایش توان الکتریکی می‌شود مطابق با شکل (2) مچ دستانتخاب شدهو تحت یک نوعفعالیت (نشستن)مورد آزمایش وبررسی قرارگرفته است.

شکل 2نصب دستگاه بازیافت بر روی بدن

نوع فعالیت انتخابی از میان فعالیت‌های متعدد متفاوت بوده اما علارغم وجود فعالیت های متفاوت و سنگین نوع فعالیت انتخابی سبک در نظر گرفته شده است.این آزمایش نشان خواهد داد توان الکتریکی در شرایطی که دمای بین سطح پوست بدن و محیط آزمایشی از اختلاف کمی برخوردار بوده به چه اندازه خواهد بود.

4- بهینه سازی هیتسینک دستگاه بازیافت حرارتی

یکی از مهم ترین مقاومت های موجود در دستگاه بازیافت حرارتی مقاومت هیتسینک حرارتی می باشد که در کاهشسطح سرد مدول های دستگاه بازیافت نقش مهمی را ایفا می نمایند و یکی از اهداف ما در این پروژه برررسی و بهینه سازی هیتسینک حرارتی دستگاه بازیافت در جهت افزایش ولتاژ خروجی می باشد. از آنجا دیگر مقاومت های موجود در دستگاه بازیافت حرارتی مانند مقاومت حرارتی و مقاومت الکتریکی ترموالکتریک که هردو مربوط به ساختمان ترموالکتریک می باشند و یا مقاومت های تماس بین پوست و دستگاه و بین سطح سرد ترموالکتریک و هیتسینک به طور کامل قابل تغییر نمی باشند، از این رو میتوان با استفاده از بهینه سازی هیتسینک دستگاه به افزایش ولتاژ خروجی کمک نمود. در بهینه سازی هیتسینک حرارتی پارامترهایی مانند جنس و ابعاد قابل بررسی می باشند، یعنی می توان با استفاده از شبیه سازی دستگاه بازیافت حرارتی و به کمک نرم افزار EES (حلگر معادلات مهندسی) پارامتر و عوامل موثر در میزان مقاومت هیتسینک را تغییر داده و هیتسینک دستگاه را بهینه نمود. در ابتدا ابعاد هیتسینک به صورت کد وارد دستگاه شده و سپس با استفاده از قابلیت های نرم افزار به تحلیل یک به یک پارامترها می پردازیم.در انتها نتایج حاصل از بهینه سازی به طور کامل آورده شده است.

جدول 2ابعاد هیتسینک حرارتی دستگاه بازیافت

ابعاد هیتسینک	اندازه(mm)
ارتفاع پره های هیتسینک	۳۲
ارتفاع هیتسینک	٤٠
ضخامت پره ها	۳
فاصله بین پره ها	۷
طول هیتسینک	٤۹
عرض هیتسینک	٥۳

بر اساس شکل (3)ابعاد هیتسینک استفاده شده در دستگاه بازیافت و روابط را معرفی می نماییم.محاسبه ی مقاومت هیتسینک مستلزم روابط ناسلت می باشد. در تعیین ولتاژ الکتریکی و استحصال توان از پوست بدن یک نوع فعالیت بدنی انتخاب گردیده که نسبت به آن روابط ناسلت متفاوت خواهند بود. از آنجا که در این پروژه استحصال توان الکتریکی در شرایطی می باشد که بدن در حالت نشستن بوده و تحت جابجایی آزاد می باشد. پس در نتیجه روابط ناسلت تابعی از اعداد بی بعد گراشف ورایلی بوده و مقامت هیتسینک با توجه به دمای محیط تغییر خواهد نمود.روابط ناسلت در جابجایی آزاد به شرح زیر می باشد [13]:

$$R_{H.S} = \frac{1}{h(A_{base} + n_{fin}.h_{fin}.A_{fin})} \quad (1)$$

$$b = \frac{w - n_{fin}.t_{fin}}{n_{fin} - 1} \quad (2)$$

$$A_{fin} = 2.H_{fin}.L \quad (3)$$

$$A_{base} = (n_{fin} - 1).b.L \quad (4)$$

$$Ra = GR.PR \quad (5)$$

$$GR = \frac{G.b.(T_s - T_\infty).S^{3/2}}{m^2} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{1}{T_F} \quad (7)$$

1-Physiology

$$T_F = \frac{T_S + T_\infty}{2} \quad (8)$$

(9)

$$nu = \left[\frac{576}{\left(\frac{Ra.\sqrt{s}}{2} \right)^2} + \frac{2.87}{\left(\frac{Ra.\sqrt{s}}{2} \right)^{0.5}} \right]^{-0.5}$$

$$S = A_{Fin}.n_{Fin} + L.F_{Fin}.n_{Fin} + A_{base} \quad (10)$$

$$h = \frac{nu.K_{floid}}{S} \quad (11)$$

$$h_{fin} = \frac{\tanh(m.H_F)}{m.H_F} \quad (12)$$

$$m = \sqrt{\frac{2.h}{k_{fin}.t_{fin}}} \quad (13)$$

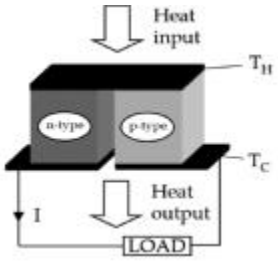
(14)

$$R_{tot} = R_{host} + \frac{H - H_{Fin}}{K_{base}.w.L} - \frac{T_{CNC}}{K_{fin}.A_{CNC}}$$

که در آن‌ها t_{fin}، h، h_{fin}، S، m، k_{fin}، A_{base} به ترتیب ضخامت پره‌ها، ضریب جابجایی،راندمان پره،مساحت سطح خیس،ویسکوریته دینامیکی، ضریب هدایت حرارتیومساحت کف هیتسینک می باشند.نکته حائز اهمیت در رابطه (14) کسر ضخامت از مقاومت هیتسینک به دلیل برش cnc است که به اندازه ابعاد ترموالکتریک می باشد.

5- تکنولوژی ترموالکتریکو روابط حاکم برآن

در سال 1821 یک فیزیکدان آلمانی بنام سیبک مشاهده نمود که اگر یک سیکل بسته از اتصال دوفلز ناهمجنس ساخته شده باشد که بین دو سر اتصال اختلاف دما باشد، درسیکل اختلاف پتانسیل ایجاد خواهد شد. در سال 1834 ژان پلتیر عکس پدیده سیبک را گزارش نمود. وی مشاهده کرد که درون سیکلی از اتصال دو فلز ناهمجنس اگر جریان القا شود، بین دوسر اتصال اختلاف دما به وجود خواهد آمد. پدیده ترموالکتریک تا اواسط دهه 1950 که نیمه هادیها به بازار عرضه شدند، جای خود را در صنعت باز نکرد. با عرض نیمه هادیها و به تبع آن ساخت مدولهای ترموالکتریک از نیمه هادیها به مرور کاربردها و مزایای تکنولوژی ترموالکتریک برای بشر آشکار شد. استفاده از مدول های ترموالکتریک برای تولید توان الکتریکیروی پوست به صورت نشان داده شدهدر شکل (4)صورت می‌گیرد [14]. مطابق شکل حرارت از منبع گرم (پوست) وارد سمت گرم مدول‌های ترموالکتریک شده و از طرف دیگر که از یک هیتسینک جهت کاهش دمای ترموالکتریک در سمت سرد استفاده شده است خارج می‌شود.اختلاف دمای موجود بین دو سمت ترموالکتریک سبب تولید توان الکتریکی خواهد شد.



شکل 4 نمایشماتیکازساختارترموالکتریک

با استفاده از دستگاه ساخته شده، محاسبه جریاندر قسمت های مختلفی از بدن در شرایط پایدار قابل تحلیل و بررسی است؛اما برای مقایسهو صحت آزمایشات صورت گرفته، علاوه بر آزمایش عملی، محاسبه مقادیر فوق از طریق روابط ترموالکتریکدر نرم افزار حلگر معادلات مهندسی (EES) که به صورت کد نوشته شده،صورت گرفته است.لازم به ذکر است که در جهت صحت از نتایج بدست آمده در آزمایشات عملی و کاهش درصد خطا بین دو بررسی می بایستی تمامی مقاومت های موجود در مسیر شار حرارتی عبوری از دستگاه بازیافت مورد تحلیل وبررسی قرار گیرند. روابط ترموالکتریک به شرح زیر می باشند [15]:

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (15)$$

$$Q_H = aIT_h - 0.5RI^2 + K\Delta T \quad (16)$$

$$Q_C = aIT_c + 0.5RI^2 + K\Delta T \quad (17)$$

$$T_h = T_{skin} \quad (18)$$

$$Q_C = \frac{T_c - T_\infty}{R_{H.S}} \quad (19)$$

$$R_{total} = R_{load} + R_{tec} \quad (20)$$

$$V = \alpha \Delta T \quad (21)$$

$$P = Q_H - Q_C \quad (22)$$

$$I = \frac{V}{R_{total}} \quad (23)$$

$$h = \frac{P}{Q_H} \quad (24)$$

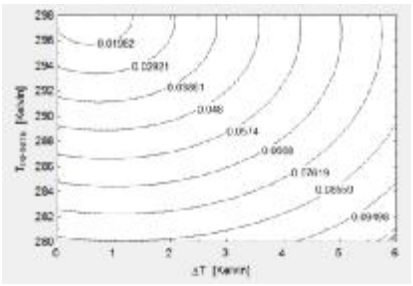
که در آنها T_h و T_c دمای سطوح سرد وگرم ترموالکتریک،T∞ دمای محیط، T_{skin} دمای پوست، a ضریب سیبک، R_{tec} مقاومت الکتریکی، K ضریب انتقال حرارت هدایتی، I جریان گذرنده از مدول، V ولتاژ مدار و P توان خروجی از ترموالکتریک می‌باشد.یکی از مهم ترین نکات قابل ذکر در این پروژه عدم امکان اندازه گیری شدت جریان الکتریکی است.از آنجا که محاسبه جریان در مدار به صورت سری انجام می گیرد ولتاژ تولید شده توسط دستگاه بازیافت حرارتی به اندازه کافی بالا نبوده و امکان اندازه گیری جریان به کمک مقاومت الکتریکی وجود نخواهد داشت،اما محاسبه جریان الکتریکی با استفاده از رابطه (23) به آسانی قابل محاسبه و بررسی می باشد.ولتاژ تولید شده در مدار سری با استفاده از مقاومت الکتریکی $10k\Omega$ محاسبه شده است. R_{total} در رابطه (20) مقاومت کل موجود در دستگاه بازیافت حرارتی را نشان می دهد که شامل مقاومت الکتریکی مدول ترموالکتریک و مقاومت بار قرار گرفته در مدار که برای اندازه گیری ولتاژ خروجی از مدار استفاده شده است،می باشد.یکی از مهم ترین نکات در این پروژه فرض یک بعدی بودن شار حرارتی خروجی پوست بدن و انتقال حرارت در دستگاه بازیافت حرارتی در جهت x و با صرف نظر کردن از مقاومت های تماس درنقاط مختلف می باشد.ولتاژ تولید شده توسط دستگاه بازیافت با توجه به صرف نظر کردن از انتقال حرارت در دیگر ابعاد و مقاومت های تماس در محل نصب دستگاه و محل اتصال هیتسینک با مدول های ترموالکتریک کهدر این قسمت سعی شده که با خمیر سیلیکون به حداقل رسانده شود،اندازه گیری شده است.برای صحت از نتایج بدست آمده از تحلیل عملیتمامی پارامترها در دستگاه معادلات قرار داده شده و پس از وارد نمودن روابط ترموالکتریک با یکدیگر مقایسه خواهند شد.

نکته حائز اهمیت در بررسی و تحلیل نتایج،وجود مقاومت حرارتی ترموالکتریک در مدار می باشد که نسبت به جنس نیمه هادی های موجود در ترموالکتریک،مساحت سطح نیمه هادی ها،طول نیمه هادی ها و تعداد نیمه هادی های ترموالکتریکمحاسبه می شودکه مقدار هر یک مطابق با دیتاشیت دستگاهو خصوصیات ترموالکتریکدر روابط قرار می گیرند.علاوه بر محاسبات موارد گفته شده و مقاومت حرارتی نیمه هادی های ترموالکتریکمحاسبه مقاومت حرارتی سرامیک ترموالکتریک در جهت کاهش اختلاف بین بررسی های تئوری و عملی و افزایش دقت نتایج انجام شده است که در این پروژه سرامیک ترموالکتریک انتخابی از نوع اکسید 96% بوده و در تعیین سطح گرم و سرد ترموالکتریک تاثیرگذار خواهد بود.جدول (2) خصوصیاتترموالکتریک را نشان می دهد.

6- نتایج و نمودار

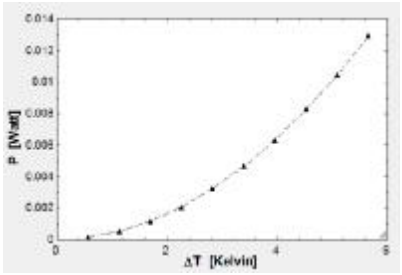
با توجه به روابط ذکر شده،در این تحقیق سعی شده است که به صورت عملی و تئوری میزان توان خروجی قابل استحصال از حرارت خارج شده از سطح پوست بدن مورد محاسبه و بررسی قرار گیرد.برای صحت از نتایج بدست آمده در تحلیلات عملی،روابط ترموالکتریک در دستگاه معادلات مهندسی وارد شده و با یکدیگر مقایسه خواهند شد.همچنین مچ دست به عنوان منبع گرم در نظر گرفته شده که در این قسمت از بدن علاوه بر سهولت در تحلیل و اندازه گیری امکان افزایش سطح تماس دستگاه که خود نیز سبب کاهش مقاومت تماس و افزایش توان الکتریکی خواهد شد،وجود خواهد داشت.درابتدا به بررسی و تحلیل نتایج حاصل از تحلیل عملی پرداخته ایم.محیطی که فضای کاملا باز بوده وتحت تاثیر نور خورشید و جابجایی ازاد است.جهت دقت در نتایج بدست آمده ازبازیافت حرارت برای اندازه گیری دما از یک دماسنج دیجیتالی استفاده شده است.نتایج نشان می دهد که دستگاه بازیافت حرارتی تحت جابجایی آزاد به دلیل افزایش اختلاف دما بین دو سطح که از کاهش مقاومت هیتسینک نشات می گیرد،افزایش ولتاژ خروجی را به همراه خواهد داد.

بازده دستگاه بازیافت حرارتی در محیطی بسته که هیچگونه جابجایی آزاد و اجباری وجود نداشته که به دلیل دمای بین محیطو سطح پوست بدن از اختلاف دمای کمی برخوردار بوده کمترین مقدار را به همراه خواهد داشت.نمودار (5) نشان دهنده روابط بین اختلاف دما،ولتاژ و دمای محیط است.از شکل مشخص می باشد که با افزایش دمای محیط اختلاف دمای بین دو سطح ترموالکتریک کاهش یافته و ولتاژ کاهش می یابد.



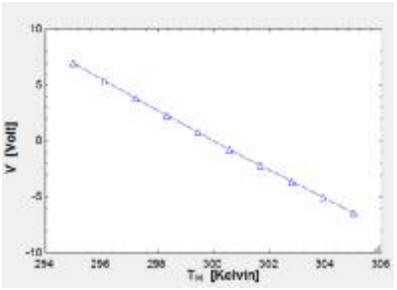
شکل (5)نمودار درجه حرارت های محیط و ولتاژ

شکل (6) نمودار توان و اختلاف دمای بین دو سطح ترموالکتریک را نشان می دهد که با افزایش اختلاف دمای بین دو سطح توان دستگاه افزایش می یابد.



شکل (6) نمودار اختلاف دما و توان

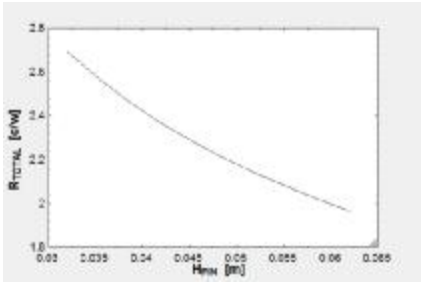
انتخاب بخش مناسب از بدن برای نصب دستگاه بازیافت در جهت افزایش بازده دستگاه از نکات مهم می باشد.شکل (7)نمودار ولتاژ و سطح گرم دستگاه بازیافت حرارتی را نشان می دهد که با افزایش دمای پوست ولتاژ الکتریکی افزایش پیدا خواهد کرد. هرچه دمای پوست بدن افزایش یابد،جریان وتوان خروجی نیز بیشتر خواهند شد. به عبارت دیگر با افزایش دمای سطح پوست، مدول ترموالکتریک امکان تولید توان الکتریکی بیشتری را خواهد داشت.



شکل (7)نمودار ولتاژ و سطح گرم دستگاه بازیافت حرارتی

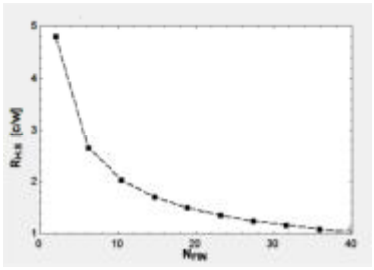
به منظور کنترل درجه حرات بدن از طریق تعرق، با افزایش درجه حرارت سطح پوست همراه خواهیم بود که اختلاف دمای دو سمت مدول ترموالکتریک افزایش یافته و امکان تولید توان الکتریکی بیشتری را فراهم می نماید.مچبند نخی سبب افزایش دمای پوستوثابت نگه داشتن درجه حرارت سطح پوست در محل اتصال دستگاه بازیافت خواهد شد و تعرق پوست که علاوه بر افزایش دمای سطح سبب کاهش مقاومت تماس خواهد گشت. همچنین ولتاژ خروجی بدست آمده در این شرایط در شکل (7) قابل بررسی است که در دمای305کلوینبه بیشترین مقدار خود می رسد.با توجه به بررسی های تئوری میزان توان خروجی قابل استحصال و مقایسه با آزمایشات صورت گرفته بر رویمدل و با توجه به اینکه دمای پوست در این ناحیه ثابت بوده نشان می دهد کاهش دمای محیط سببکاهش درجه حرارت در سمتسرد مدول ترموالکتریک می شود،این کاهش دما سبب افزایش اختلاف دمای بین دو سمت ترموالکتریک شده که در نتیجه باعث افزایش توان خروجی می شود.

مطابق با نتایج و نمودارهای ذیل از موثرترین پارامترها در کاهش مقاومت هیتسینک حرارتی دستگاه، می توان به تعداد پره های هیتسینک، مساحت پره ها و ارتفاع آن اشارهنمود. کاهش ضخامت پره های هیتسینک و افزایش فاصله بین پره ها سبب کاهش مقاومت هیتسینک حرارتی خواهد شد. همچنین در تحلیل مقاومت، ارتفاع پره های هیتسینک و ارتفاع کل هیتسینک در مقدار ولتاژ خروجی موثر خواهند بود. بر اساس نتایج، افزایش ارتفاع پره های هیتسینک سبب کاهش مقاومت حرارتی شده که در استحصال توان الکتریکی موثر خواهد بود.



شکل (8)نمودار مقاومت حرارتی و ارتفاع پره های هیتسینک

اما افزایش ارتفاع هیتسینک حرارتی به دلیل افزایش ضخامت بخش بدون پره هیتسینک به شدت سبب افزایش مقاومت حرارتی هیتسینک دستگاه بازیافت خواهد شد. با کاهش ارتفاع در این قسمت می توان به بازده خروجی دستگاه بازیافت بهبود بخشید؛اما باید در نظر داشت که قست تحتانی هیتسینک با برش CNC در راستای کاهش مقاومت تماس کسر شده است. در نتیجه ارتفاع کل هیتسینک حرارتی را باید به صورتی در نظر گرفت که مانع از قرار گرفتن مدول ها ترموالکتریک در قسمت تحتانی هیتسینک حرارتی شوند.همچنین تعداد پره های هیتسینک به طرز چشمگیری در کاهش مقاومت حرارتی هیتسینک وافزایش بازده دستگاه بازیافت اثرگذار خواهد بود.شکل (8) این موضوع را عنوان می نماید.



شکل (9)نمودار مقاومت حرارتی و تعداد پره های هیتسینک

از دیگر پارامترهای موثر در کاهش مقاومت هیتسینک می توان به طول و عرض هیتسینک اشاره نمود.بدیهی است که با افزایش طول و عرض هیتسینک،راندمان هیتسینک در جهت کاهش سطح سرد ترموالکتریک افزایش خواهد یافت اما به دلیل افزایش وزن و حجم دستگاه از این دو پارامتر در تحلیل مقاومت حرارتی هیتسینک صرف نظر می نماییم.

7- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی و امکان سنجی تولید توان الکتریکی از حرارت اتلافی خارج شده از پوست بدن انسان پرداخته شده است.با توجه به محاسباتانجام شده موارد زیر را می‌توان به عنوان نتیجه این تحقیق ذکر نمود:

- افزایش دمای پوست سبب افزایش درجه حرارت سمت گرم ترموالکتریک و توان خروجی می‌گردد. گرم ترین دمای سطح پوست در نزدیکی کبد بوده که حدود (36/5°Cمی باشد.
- در حالت نشستن بیشترین توان الکتریکی بدست آمده درحالتی است که دستگاه بازیافت حرارتی در دمای نزدیک به صفر بوده و اختلاف دمای بین دو سمت دستگاه از مقدار قابل توجهی برخوردار است کهحدود0/00002 وات می باشد.
- کاهش دمای محیط سبب افزایش اختلاف دمای دو سمت مدول ترموالکتریک و افزایش توان خروجی خواهد شد،همچنین جابجایی آزاد سبب کاهش مقاومت حرارتی هیتسینک و در نتیجه کاهش سطح هیتسینک و در نتیجه کاهش سطح سرد ترموالکتریک و افزایش ولتاژ الکتریکی خواهد شد.
- کمترین ولتاژ تولیدی مربوط می شود به محیطی که تحت تاثیر جابجایی آزاد نبوده و اختلاف دمای بین محیطو سطح پوست بدن از مقدار کمی برخوردار بوده کهحدود 0/0008ولت می باشد.
- بازده دستگاه بازیافت حرارتی در شرایطی کهمقاومت هیتسینک حرارتی پس از بهینه سازی به کمترین مقدار خود رسیده افزایش یافته و در درجه حرارت ثابتی از بدن به دلیل افزایش اختلاف دمای بین دو سطح به بیشترین مقدار خود می رسد.ماکزیمم ولتاژ خروجی بدست آمده در این حالت در حدود 0/1 ولت می باشد.

- افزایش تعداد پره هایهیتسینک وارتفاع پره های هیتسینک به طرز محسوسی در کاهش مقاومت حرارتی موثر خواهد بود. هرچه تعداد پره های هیتسینک و مساحت پره ها که نسبت به طول و ضخامت پره انتخاب می شوند بیشتر شوند، مقاومت حرارتی کاهش می یابد.

8- مراجع:

[1] Foster R, Ghassemi M, Cota A, MyiLibrary. Solar energy: renewable energy and the environment: CRC Press, 2010.

[2]Gou X, Xiao H, Yang S. Modeling, experimental study and optimization on low-temperature waste heat thermoelectric generator system. Applied Energy. 2010;87(10):3131-6.

[3] Yu C, Chau KT. Thermoelectric automotive waste heat energy recovery using maximum power point tracking. Energy Conversion and Management. 2009;50(6):1506-12.

[4]Vatcharasathien N, Hirunlabh J, Khedari J, Daguenet M. Design and analysis of solar thermoelectric power generation system. International Journal of Sustainable Energy. 2005;24(3):115-27.

[5] Stuban N, Torok A. Utilization of exhaust gas thermal energy - Theoretical investigation. Conference Utilization of exhaust gas thermal energy - Theoretical investigation, Warsaw. p. 268-72.

[6] D. Champier, J.P. Bedecarrats, M. Rivaletto, F. Strub. Thermoelectric power generation from biomass cook stoves. Energy. 2010;35:935-42.

[7]Lertsatitthanakorn C. Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomasscook stove thermoelectric (BITE)generator. Bioresource Technology. 2007;98:1670–4.

[8]*ieeexplore.ieee.org.Thermoelectric MEMS generators as a power supply for a body area network. 5-9 June 2005*

[9]ieeexplore.ieee.org.Thermoelectric generator design based on power from body heat for biomedical autonomous devices. 29-30 May 2009

[10]Riffat SB, Ma X. Thermoelectrics: a review of present and potential applications. Applied Thermal Engineering. 2003;23(8):913-35.

[11]khastoo,tahviematboovatabrid,entesharat amirkabir,85,(4-5-6).(In Persian)

[12]Webster j.G. 2005 . "Encyclopedia of Medical Devices andInstrumention.Valvanoj.W. The University of Texas Austin Texas pp.188-197(2/8/2015)

[13] Heat sink analytical modeling (master thesis) joaquim guitar corominas (march 2011)

[14]Nuwayhid RY, Shihadeh A, Ghaddar N. Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling. Energy Conversion and Management. 2005;46(9-10):1631-43.

[15]Generating Light from Stoves using a Thermoelectric GeneratorDanMastbergen, dmast@engr.colostate.edu Dr. Bryan Willson,

[16] Heat Spreading Calcuations Using Thermal Circuit Elements,Evaluate the performance of thermoelectric modules in electric power produced from hot vehicle exhaust gases