بررسی برخی کاربردهای پدیده‌های فتوالکتریک و ترموالکتریک در عرصه دریا

احسان یاری[۱]، محمدحسین قائدشرف[۲]، سوفیا عدالتخواه[۳]

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان

۲- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، mqaed1100@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری مهندسی هوافضا - پیشرانش، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان

چکیده

امروزه اهمیت تبدیل مستقیم انرژی و استفاده از انرژی‌های نوین و تجدیدپذیر بر کسی پوشیده نیست. در پدیده فتوالکتریک، انرژی نور خورشید پس از تابش به سطح سلول مستقیماً به الکتریسیته تبدیل می‌شود. در پدیده‌های ترموالکتریک نیز از طریق جذب حرارت یا جریان الکتریکی به ترتیب می‌توان تولید توان یا ایجاد سرمایش نمود. از کاربردهای پدیده فتوالکتریک در عرصه دریا می‌توان تولید توان، تصفیه آب، سیستم‌های ناوبری، روشنایی، نیروی محرکه پهپادهای تجسسی و ریزپرنده‌های نوین، سنسورهای فتوالکتریک و ... را نام برد. قابلیت سرمایشی پدیده ترموالکتریک نیز جهت خنک‌سازی تجهیزات الکترونیکی در شناورها مانند پردازشگرها و مولدهای تولید توان رادارهای دریایی کاربرد دارد. همچنین قابلیت تولید توان آن نیز در نیروی محرکه پهپادها و ریزپرنده‌ها، تولید هیدروژن، ماهواره‌ها و تجهیزات فضائی کاربرد دارد. این سامانه‌ها و انواع نیمه‌هادی‌های نوین در مسیر توسعه و بهینه‌سازی قرار دارند. در این پژوهش سعی بر این است که این دو نوع پدیده معرفی و مزایای آن بررسی شوند.

واژه‌های کلیدی

فتوالکتریک، ترموالکتریک، پهپاد، ریزپرنده، سرمایش، تولید توان

The Application of Photoelectric and Thermoelectric Phenomena in the Sea

Mohammadhusein Qaedsharaf[1], Ehsan Yari[2], Sophia Edalatkhah[3]

1- Department of Mechanical Engineering, Malek-e- Ashtar University of Technology, Isfahan

2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Malek-e- Ashtar University of Technology, Isfahan

3- Department of Mechanical Engineering, Malek-e- Ashtar University of Technology, Isfahan

Abstract

The importance of direct conversion of energy and the use of new and renewable energies is no secret nowadays in photoelectric phenomena the energy of sunlight is converted directly to electricity after radiation to the cell surface. In thermoelectric phenomena, power or cooling can be generated by absorption of heat or electric current, respectively. The applications of photoelectric phenomena in the sea can be power generation, water purification, navigation systems, lighting, driving force of surveillance drones and new micro-birds, photoelectric sensors and ... He named her. Thermoelectric cooling is also used to cool electronic equipment in vessels such as processors and power generators for marine radars. It is also capable of generating power in drones and micro-birds, hydrogen production, satellites and space equipment. These new systems and types of semiconductors are on the path of development and optimization. In this research, we try to investigate these two types of phenomena and their benefits.

Keywords

Photoelectric, Thermoelectric, UAV, Micro-Bird, Cooling, Power Generation

۱- مقدمه

گرچه مباحث تبدیل مستقیم انرژی و اصول آن مدت‌هایی مدید است که شناخته‌شده‌اند و در دهه ۱۹۶۰ دستگاه‌ها و وسایل آن‌ها در مقیاس‌های کوچک ساخته‌شده‌اند؛ اما هنوز پس از گذشت بیش از ۶۰ سال، دستگاه‌ها و نیروگاه‌هایی در مقیاس بزرگ، مانند نیروگاه‌های حرارتی (بخاری یا گازی) اتمی و آبی ساخته نشده‌اند و به نظر می‌رسد هنوز تجاری شدن نیروگاه‌های تبدیل مستقیم به حداقل یک یا دو دهه زمان نیاز دارد. در این مقاله به‌اختصار درباره روش‌های تبدیل مستقیم انرژی، آینده، محدودیت‌ها و مقایسه آن‌ها و سپس در زمینه هر یک از آن‌ها تا حد مقتضی بحث خواهد شد.

۲- انواع پدیده‌های تبدیل مستقیم و کاربری آن‌ها

۲-۱- سلول‌های فتوالکتریک

در شرایط فعلی، ساده‌ترین وسیله برای تبدیل مستقیم انرژی به الکتریسیته سلول‌های فتوولتاییک هستند که درواقع یک مبدل‌اند که منبع انرژی نورانی معمولاً خورشید است. این فناوری، دلیل کاربری ساده آن، هنوز هم در کاربردهای خارج از جو زمین عمده‌ترین سیستم تبدیل مستقیم انرژی است. باتری را می‌توان در سفرهای کوتاه فضایی برای ماهواره‌ها به کار برد؛ اما اقامت طولانی یک ماهواره (به‌استثنای یکی دو مورد خاص) فقط به کمک سلول‌های فتوالکتریک نیمه‌هادی ممکن شده است. این سلول‌ها نسبتاً گران‌اند که البته برای کاربردهای فضایی، با توجه به قابلیت اطمینان بالای لازم، قیمت‌ها معمولاً چندین برابر کاربردهای زمینی هستند. سطح لازم برای تولید نیروی الکتریکی و تأمین نیازهای ماهواره باید در حد دو تا سه کیلووات بزرگ باشد [1] که البته برای استفاده به‌عنوان نیروگاه چندان قابل‌توجه نیست. تقریباً چهل سال پیش گلیزر[1] پیشنهاد کرد که ماهواره‌ای با سطح حدود یک کیلومترمربع پوشیده از سلول‌های فتوولتاییک به فضا پرتاب شود (البته این سطوح هنگام پرتاب فشرده بودند و بعد از قرار گرفتن ماهواره در ارتفاع ۳۸۵۰۰۰ کیلومتری باز می‌شدند)[1] ؛ انرژی الکتریکی تولیدی به ماکروویو تبدیل شود و در روی زمین عکس این کار رخ دهد و ماکروویو به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. در این ارتفاع، سلول‌های خورشیدی دائم در معرض تابش نور خورشید با دانسیته در حدود 1400 W / m2 هستند [2] . با راندمان معقول ۱۰ ٪ می‌توان از این سطح یک کیلومتر 140 MW الکتریسیته تولید کرد. در آن زمان، قیمت پیش‌بینی‌شده گلیزر کم‌تر از هزینه‌ای بود که برای ارسال اولین ماهواره سرنشین دار به کره ماه صرف شد. درهرحال این طرح مربعی در آن زمان توجه زیادی را جلب کرد؛ اما عملی کردن آن تاکنون میسر نشده است. باید توجه کرد که چنین طرح‌هایی در یک موقعیت خاص زمانی (حوالی سال ۱۹۷۳ که بحران نفت پیش آمد و قیمت نفت خام به بشکه‌ای حدود ۴۰ دلار رسید) بسیار معقول و مقرون‌به‌صرفه بودند؛ اما با تحولات بین‌المللی و فعل‌وانفعالات سیاسی و اقتصادی در جهان، قیمت نفت به ۷ تا ۸ دلار (۱۹۹۸–۲۰۰۰) برای هر بشکه نفت خام کاهش یافت و عملاً ضرورت سرمایه‌گذاری‌های عظیم برای امثال این طرح منتفی شد. اکنون‌که قیمت نفت خام افزایشی قابل‌ملاحظه داشته، باز می‌توان به چنین طرح‌هایی توجه کرد. با کاهش قیمت ساخت سلول‌های خورشیدی و ورود مواد جدید به بازار، می‌توان پیش‌بینی کرد که مزارع خورشیدی با چند کیلومترمربع سطح پوشیده از این سلول‌ها در مناطق بیابانی و صحرایی کشورها جایگزین نیروگاه‌های سوخت فسیلی و یا هسته‌ای شوند. همان‌طور که قبلاً گفته شد؛ قیمت سلول‌های فتوولتاییک نسبتاً بالا و سطح لازم نیز بسیار وسیع است؛ درنتیجه باید بخشی عمده از سطح ماهواره را با این سلول‌ها پوشاند یا بال‌هایی وسیع را به ماهواره اضافه کرد تا رو به خورشید قرار گیرند و طبیعتاً چنین سیستمی مشکلات مکانیکی عدیده‌ای خواهد داشت. تلاش‌ها برای تولید سلول‌های بسیار نازک و سبک تا حد ۵۰ وات برای هر کیلوگرم وزن سلول نتیجه‌بخش بوده‌اند که البته برای حالات خاص‌اند و قیمت‌ها نیز بالا هستند (بدون در نظر گرفتن نگه‌دارنده و محافظ) با این پیشرفت، ساخت ماهواره‌هایی با سیستم الکتریکی و یا ماهواره‌هایی باقدرت مخابراتی بالا ممکن شده است. با توجه به قابلیت اطمینان بالای سلول‌های

[1] glezer

فتوولتاییک که برای ماهواره‌ها حیاتی است و ازنظر عمر طولانی نیز امتحان خود را به‌خوبی پس داده، کاربرد این سلول‌ها در ایستگاه‌های مخابراتی در مراکز دوردست و با دسترسی دشوار و با ایستگاه‌های هواشناسی ممکن شده است. مزایای عمده سلول‌های خورشیدی عبارت است از:

الف - راندمان نسبتاً بالای تبدیل (تا ۲۸ ٪ تئوریک و در عمل نزدیک به ۱۸ تا ۲۰ ٪)

ب - طول عمر نسبتاً نامحدود

ج - سادگی و راحتی نسبی استفاده و به‌کارگیری بدون احتیاج به سیستم‌های اضافه اپتیکی

د - قدرت خروجی نسبتاً بالا برای واحد وزن

مشکلات عمده:

الف - قیمت بالا

ب - نیاز به ذخیره‌سازی در اکثر کاربردها

ج- تخریب در میدان‌های خاص با انرژی تشعشعی بالا

برخی کاربردهای دریایی پدیده فتوالکتریک عبارت‌اند از:

۱. تولید برق: یکی از کاربردهای اصلی پدیده فتوالکتریک در صنعت دریایی و دریا، تولید برق است. با استفاده از این پدیده، می‌توان انرژی نوری را به انرژی الکتریکی تبدیل کرد و برای تأمین نیازهای برقی در کشتی‌ها، سکوهای نفتی و سایر وسایل دریایی استفاده کرد.

شکل (۱): نیروگاه خورشیدی شناور از کاربردهای پدیده فتوولتاییک

۲. تصفیه آب: تکنولوژی فتوالکتریک می‌تواند به‌عنوان یک روش تصفیه آب در صنایع دریایی مورداستفاده قرار گیرد. با استفاده از این تکنولوژی، می‌توان آب دریا را به روشی که به‌عنوان «تصفیه آب فتوالکتریک» شناخته می‌شود؛ تصفیه کرد و برای مصارف مختلف در صنایع دریایی استفاده کرد [3].

۳. سیستم‌های ناوبری: در صنایع دریایی، سیستم‌های ناوبری از اهمیت بالایی برخوردار هستند. تکنولوژی فتوالکتریک می‌تواند به‌عنوان یکی از اجزای سیستم‌های ناوبری مورداستفاده قرار گیرد. به‌عنوان‌مثال، در سیستم‌های ردیابی امواج رادیویی، می‌توان از سلول‌های خورشیدی به‌عنوان منبع تغذیه برای این سیستم‌ها استفاده کرد به‌جای استفاده از باطری‌های قابل شارژ [4].

۴. روشنایی: در صنایع دریایی، روشنایی صفحه کنسول کشتی‌ها و سایر وسایل دریایی بسیار مهم است. تکنولوژی فتوالکتریک می‌تواند به‌عنوان منبع تأمین انرژی برای روشنایی دریایی مورداستفاده قرار گیرد. به‌عنوان‌مثال، می‌توان از سلول‌های خورشیدی برای تأمین انرژی برای لامپ‌های LED و سایر روشنایی‌ها در کشتی‌ها و سایر وسایل دریایی استفاده کرد[5].

۵. هدایت الکتریکی دریا: به‌عنوان یک روش پایدار و سبک، تکنولوژی فتوالکتریک می‌تواند به‌عنوان یک روش هدایت الکتریکی دریا مورداستفاده قرار گیرد. در این روش، امواج الکتریکی با استفاده از پدیده فتوالکتریک ایجاد می‌شوند و می‌توانند برای هدایت الکتریکی دریا استفاده شوند.

۶. سنسورهای فتوالکتریک: سنسورهای فتوالکتریک در صنایع دریایی معمولاً برای تشخیص و اندازه‌گیری حرکت سطح آب، سرعت جریان، شوری آب، دمای آب و غیره به کار می‌روند. این سنسورها می‌توانند با استفاده از پدیده فتوالکتریک با دقت بالا این اطلاعات را جمع‌آوری کنند و به سیستم کنترل دریایی ارسال کنند.

شکل (۲): پهپاد با سلول فتوولتاییک

۲-۲- ترموالکتریک

ترموالکتریک یکی از روش‌های تبدیل مستقیم انرژی از حرارتی به الکتریکی است. در سال ۱۸۲۱ سیبک آزمایش‌هایی را انجام داد که درواقع اولین اثر ترموالکتریک دانسته می‌شوند. او مشاهده کرد که می‌توان با حرارت دادن

محل اتصال دو فلز ناهمنام یک پتانسیل الکتریکی تولید کرد. سیبک درواقع توانست اولین پدیده ترموالکتریک را کم‌وبیش به همین شکلی که امروز شناخته می‌شود بیان کند. سیزده سال بعد پلتیر ساعت‌سازی فرانسوی مطالبی را منتشر کرد که نشان می‌دادند او دومین پدیده ترموالکتریک را کشف کرده است. وقتی‌که جریانی مستقیم از محل اتصال دو فلز ناهمنام عبور می‌کند؛ بسته به جهت جریان جذب حرارت و یا تولید حرارت وجود دارد. این اثر جدای از اثر حرارت ژول است که با عبور جریان الکتریسیته از یک سیم هادی حرارت تولید می‌شود و کاملاً قابل‌تفکیک است. تامسون که بعد بانام لرد کلوین معروف شد دریافت که پدیده‌های سیبک و پلتیر باید ارتباطی داشته باشند و تلاش کرد که این ارتباط را از دیدگاه ترمودینامیک شرح دهد. او دریافت که باید پدیده‌ای دیگر وجود داشته باشد که اینک اثر تامسون نامیده می‌شود. پدیده سیبک درگذشته بسیار کم راندمان بود اما عملکرد وسایلی که بر اساس این سازوکارها کار می‌کنند به علت داشتن دقت و حساسیت قابل‌قبول است. مزایای دستگاه‌های ترموالکتریک عبارت‌اند از: قابلیت اطمینان نسبتاً بالا، طول عمر زیاد، نداشتن حرکت، ارتعاش و سروصدا، جرم کم نسبت به توان تولیدی، کار حتی در اختلاف دماهای کم، استفاده از تلفات حرارتی در سیستم‌های مختلف احتراقی. معایب آن‌ها را نیز می‌توان چنین برشمرد: راندمان نسبی پایین، نیاز به منبع گرم برای کار در شرایط محیط. سامانه‌های ترموالکتریک هیچ قسمت متحرکی ندارند؛ بنابراین کاملاً بی‌صدا و بی‌نهایت قابل‌اطمینان هستند و به دلیل همین قابلیت اطمینان بالا در مأموریت‌های فضایی و در مکان‌هایی استفاده می‌شوند که استفاده از انرژی خورشید برای پدیده فتوالکتریک ممکن نیست. در کاربردهای فضایی از نوعی خاص از سیستم ترموالکتریکی استفاده می‌شود که در آن منبع گرم تابش‌های رادیواکتیو اکسید پلوتونیوم است. به این سیستم تولید توان ژنراتور ترموالکتریکی رادیو ایزوتوپی (آرتی جی) می‌گویند. این سیستم در مأموریت افق‌های نو در محدوده سیاره پلوتون که شدت تابش نور خورشید بسیار کم تست بکار رفته است. نیمه‌عمر پلوتونیوم ۲۳۸، ۸۷ سال است. در طول ۳ دهه استفاده از این وسایل تولید توان در عرصه فضا تاکنون هیچ‌گونه سانحه‌ای گزارش نگردیده است. علاوه بر سامانه‌های ترموالکتریک یادشده که برای تولید توان استفاده می‌شوند، نوعی دیگر از سامانه‌های ترموالکتریک نیز ساخته‌شده‌اند که به‌عنوان پمپ حرارتی (خنک‌کننده) به کار می‌روند و بر اساس اثر پلتیر کار می‌کنند. این نوع سامانه‌ها در بازارهای بین‌المللی با عنوان تی‌ای‌سی شناخته شده‌اند. سامانه‌های تولید سرما نیز درجاهایی مانند آب‌سردکن، یخچال‌های قابل‌حمل، سیستم‌های تهویه مطبوع و ... به کار می‌روند. با توجه به آنکه در این سامانه‌ها با تغییر جهت ولتاژ می‌توان به‌سرعت جهت شار گرمایی را تغییر داد می‌توان از آن‌ها برای کنترل دما نیز استفاده کرد. باید گفت که فاصله زیاد کشف پدیده ترموالکتریک و تجاری شدن آن به دلیل مشکلات فناوری، ساخت و راندمان پایین بوده است. با گسترش و توسعه نیمه‌هادی‌های ترکیبی، پیش‌بینی می‌شود که در آینده نزدیک ترموالکتریک نقشی مهم در استفاده از تلفات حرارتی برای تولید برق ایفا کند. ترکیبات جدید نیمه‌هادی‌ها برای پایه‌های ترموالکتریک چند قطعه‌ای به تحولی قابل‌توجه در راندمان این پدیده انجامیده‌اند و راندمانی در حدود ۲۰ ٪ و یا بیش‌تر که زمانی غیرممکن می‌نمود، اینک در مقیاس آزمایشگاهی و نیمه تجاری قابل‌دسترس است و با توجه به آن‌که این دستگاه‌ها به حرارت نیاز دارند و نه نور خلاف سلول‌های خورشیدی، می‌توانند تولید توان ۲۴ ساعته داشته باشند؛ خلاف سلول‌های خورشیدی که این مسئله یکی از محدودیت‌های آن‌هاست. از کاربردهای دریایی پدیده ترموالکتریک می‌توان این موارد را نام برد:

۱. تولید برق: یکی از کاربردهای اصلی پدیده ترموالکتریک در صنعت دریایی و دریا، تولید برق است. با استفاده از این پدیده، می‌توان انرژی حرارتی دریا را به انرژی الکتریکی تبدیل کرد و برای تأمین نیازهای برقی در کشتی‌ها، سکوهای نفتی و سایر وسایل دریایی استفاده کرد.

۲. سیستم‌های خنک‌کننده: در صنایع دریایی، سیستم‌های خنک‌کننده از اهمیت بالایی برخوردار هستند. با استفاده از پدیده ترموالکتریک، می‌توان به‌طور مؤثری از انرژی حرارتی دریا برای خنک کردن سیستم‌های مختلف استفاده کرد. همچنین در خنک‌سازی تجهیزات الکترونیکی در شناورها مانند پردازشگرها و مولدهای تولید توان رادارهای دریایی این پدیده کاربرد دارد [6].

۵. تصفیه آب: تکنولوژی ترموالکتریک می‌تواند به‌عنوان یک روش تصفیه آب در صنایع دریایی مورداستفاده قرار گیرد.

با استفاده از این تکنولوژی، می‌توان آب دریا را به روشی که به‌عنوان «تصفیه آب ترموالکتریک» شناخته می‌شود، تصفیه کرد و برای مصارف مختلف در صنایع دریایی استفاده کرد [7].

شکل (۳): خنک‌کننده پلتیر به علت عدم وجود قطعات دوار یا مبرد در چرخش، دقت کنترل دما در کسری از یک درجه، عمر بسیار طولانی، اندازه و حجم کوچک و شکل انعطاف‌پذیر آن کاندید مناسب جهت استفاده در تجهیزات الکترونیکی مانند پردازشگرها، مولدهای تولید توان رادارهای جستجو مورداستفاده در تجهیزات دریایی

۲-۳- سلول‌های سوختی

در نقطه مقابل سلول‌های فتوالکتریک و در انتهای خطی قرار دارند که یک طرف آن انرژی‌های تجدید پذیر و طرف دیگر سوخت است. اصول کار سلول‌های سوخت عکس الکترولیز آب است که با عبور جریان الکتریکی بین دو الکترود درون آب (که مختصر اسیدی یا بازی باشد) آن را به هیدروژن و اکسیژن تجزیه می‌کند. در سلول‌های سوختی با ورود هیدروژن و اکسیژن به سلول و با تمهیدات لازم اجازه ترکیب آن‌ها داده می‌شود و محصول آب به‌اضافه الکتریسیته است. ممکن است سلول‌های سوخت یک نوع باتری تلقی شوند که در آن‌ها مواد شیمیایی که باید ترکیب شوند مرتب تغذیه و محصولات شیمیایی حاصل از مدار خارج می‌شوند. در شرایط حاضر در سلول‌های سوخت عمدتاً از هیدروژن و اکسیژن استفاده می‌شود هرچند آن‌ها می‌توانند با سوخت‌های دیگر و با هوا نیز کار کنند. مزیت اصلی سلول‌های سوخت راندمان زیاد آن‌ها در تبدیل انرژی شیمیایی به الکتریسیته است (حدود ۶۰ ٪) اگرچه راندمان تئوری بالاتری برای اغلب سوخت‌ها نیز پیش‌بینی می‌شود.

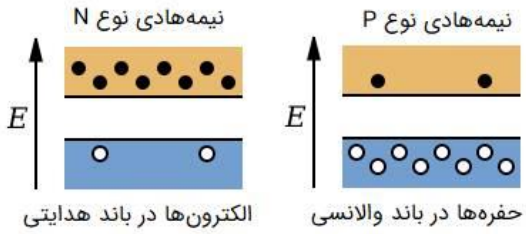
۲-۴- مبدل ترمویونیک

برخلاف مبدل ترموالکتریک، مبدل ترمویونیک به خصوصیات تعادلی الکترون در فلزات و علی‌الخصوص به اختلاف انرژی فرمی بین فلزات مختلف که به شکل فیزیکی مجزا شده‌اند وابسته است (به‌استثنای آن‌که الکترون‌ها می‌توانند از یک فلز با سطح انرژی فرمی بالاتر به فلزی با سطح انرژی فرمی پایین‌تر بروند و اختلاف‌پتانسیلی را بین دو فلز به وجود آورند که می‌تواند قابلیتی برای جریان الکترونی به مدار باشد). برای عبور الکترون‌ها از سد پتانسیل، باید فلز دهنده الکترون را گرم کرد. این انرژی حرارتی البته تأمین‌کننده همان انرژی است که به الکتریسیته تبدیل می‌شود. این پدیده هنوز در ابتدای راه است اما راندمانی بالا (البته در مقیاس آزمایشگاهی) داشته است. با توجه به آن‌که دهنده الکترون باید با پدیده ترمویونیک عمل کند؛ مبدل ترمویونیک در دمایی بالاتر از ترموالکتریک کار می‌کند. اساس کار مبدل ترمویونیک بسیار ساده است؛ حرارت به یک الکترود داده می‌شود و الکترون از آن صادر می‌شود و الکترود دیگر که در دمایی پایین‌تر از الکترود اول است الکترون‌ها را دریافت و به مدار خارجی منتقل می‌کند؛ بنابراین با دادن گرما به یک الکترود و دریافت آن در الکترود دیگر می‌توان الکتریسیته تولید کرد. در ماهواره‌ها دمای کارکرد بالا یک مزیت است؛ چون حرارت اضافی که به الکتریسیته تبدیل نشود باید به فضا تخلیه کرد و اگر دمای تخلیه بالا باشد طبیعتاً سطح رادیاتور کوچک‌تر است.

۳- عایق‌ها، نیمه‌هادی‌ها و هادی‌ها

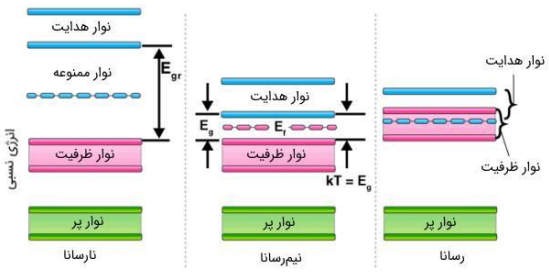
نشان دادن اینکه جریان الکتریکی نمی‌تواند از یک باند خالی یا باند کاملاً پر ایجاد شود دشوار نیست. با توجه به این‌که سرعت متوسط الکترون‌ها در یک باند کاملاً خالی و یا باند کاملاً پر صفر است، جریانی وجود نخواهد داشت. از نظر فیزیکی نیز می‌توان چنین گفت که فقط در یک باند نیمه‌خالی وجود جریان الکتریکی ممکن است زیرا همواره می‌توان با تحریک الکترون به‌تدریج باعث حرکت آن به جایگاه‌های با انرژی و اندازه حرکت بیش‌تر شد. اگر باندهای زیری کاملاً پر باشند، تحریک الکترون از باند زیری ممکن نیست چون طبق اصل پائولی نمی‌توان در یک جایگاه مجاز ۲ الکترون با اعداد کوانتوم یکسان را قرار داد؛ بنابراین حرکتی وجود نخواهد داشت. در باند خالی نیز همین‌گونه است (الکترونی وجود ندارد که تحریک شود). فقط یک

حالت حرکت از باند پر به باند خالی وجود دارد که بعداً درباره آن بحث خواهد شد. درنتیجه هر حرکت الکترون با جریان الکتریکی در کریستال باید به علت حرکت الکترون در یک باند نیمه‌خالی (یا بخشی خالی) باشد. این مبنای تقسیم مواد به عایق، هادی (فلزات) و نیمه‌هادی است. باندهای کربن (عایق) در دمای پایین باندهای الکترونی یک نیمه‌هادی باندهای الکترونی یک فلز در یک عایق تعداد الکترون‌ها در کریستال دقیقاً برای پر کردن تعدادی از جایگاه‌های مجاز مساوی و کافی است. بالای این باندها (جایگاه‌های مجاز پرشده) تعدادی جایگاه‌های مجاز (باندهای کاملاً خالی) وجود دارد و بین باند خالی و پر یک‌فاصله ممنوعه است که چنان زیاد است که از نظر فیزیکی نمی‌توان گونه‌ای انرژی (نه حرارتی و نه فوتون تابشی) به الکترون داد تا از باند زیرین به باند بالایی برود (البته به آن تعداد که از نظر الکترونی اهمیت داشته باشد)؛ مثلاً برای کربن انرژی ممنوعه 47.5(V) است. طول‌موجی که فوتون باید داشته باشد مقداری معین است. این طول‌موج کوتاه مترادف با فرکانس بسیار بالاست که عملاً نمی‌توان چنین طول‌موج‌هایی را با سازوکارهای حرارتی تولید کرد (طول‌موج‌هایی که از طول‌موج اشعه ماورای بنفش نیز کوتاه‌ترند و در طیف تشعشعی خورشید درصد تشعشع آن‌ها بسیار کم است).



شکل (۴): نیمه‌هادی n و p

در یک نیمه‌هادی برای تولید ۱۰۱۷ الکترون در باند هدایت، دما باید بیش از k ۴۵۰۰ باشد؛ درحالی‌که دمای ذوب کربن K ۳۸۰۰ است؛ بنابراین انتقال تعدادی قابل‌توجه الکترون با تحریک حرارتی نیز ممکن نیست با این توضیح مشخص می‌شود که برای کربن در دمای متعارفی تمام باندها یا کاملاً پر یا کاملاً خالی هستند لذا الکترون نمی‌تواند حرکت کند. بدین ترتیب، این ماده از نظر الکتریکی عایق است زیرا حرکت الکترون و تحریک آن به علت بزرگ بودن انرژی ممنوعه میسر نیست. اگر انرژی ممنوعه بین باند کاملاً پر و خالی کم باشد؛ احتمال آماری این‌که الکترون‌هایی با حرارت تحریک و از بالاترین قسمت باند پر به پایین‌ترین قسمت باند خالی منتقل شوند زیاد است؛ بنابراین در هر درجه حرارتی تعدادی معین الکترون برای انتقال جریان الکتریکی وجود خواهد داشت. باید توجه کرد که وقتی تعدادی الکترون از باند زیرین به باند بالایی منتقل می‌شوند؛ در باند زیرین نیز تعدادی جای خالی ایجاد خواهند شد که آن‌ها هم در هدایت الکتریکی به‌عنوان حفره مشارکت دارند. چنین ماده‌ای نیمه‌هادی دانسته می‌شود و هدایت الکتریکی آن در حالت عادی به علت محدودیت تعداد الکترون‌های که در هدایت الکتریکی شرکت می‌کنند از فلزات کمتر و به‌شدت نیز به درجه حرارت وابسته است. با افزایش درجه حرارت به تعداد الکترون‌ها افزوده می‌شود و بیشتر در هدایت الکتریکی مؤثر خواهند بود. بدین طریق از نظر کیفی هدایت الکتریکی نیمه‌هادی تابعی از (انرژی باند ممنوعه) است و بنابراین تفاوت عایق و نیمه‌هادی تنها در اندازه باند ممنوعه است. همه نیمه‌هادی‌ها در صفر مطلق از نظر الکتریکی عایق کامل هستند؛ زیرا در این حالت احتمال مشارکت الکترون‌هایی که با حرارت تحریک شوند صفر است. درجه حرارت‌های بسیار بالا (که معمولاً از نظر فیزیکی نمی‌توان به آن‌ها رسید) چون نیمه‌هادی‌ها ذوب و تبخیر می‌شوند تمام عایق‌ها رفتار نیمه‌هادی را خواهند داشت.

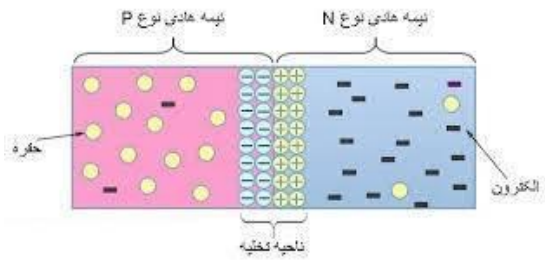


شکل (۵): باندهای الکترونی مواد

۳-۱- نیمه‌هادی ذاتی

نیمه‌هادی که در آن الکترون و حفره تنها با عبور الکترون از باند ممنوعه، در اثر حرارت و یا عامل دیگر به وجود آید نیمه‌هادی ذاتی نامیده می‌شود. حفره‌ها و الکترون‌هایی را که بدین طریق به وجود می‌آیند بارهای حامل ذاتی و هدایت الکتریکی حاصل را هدایت الکتریکی ذاتی می‌نامند. در یک نیمه‌هادی ذاتی تعداد الکترون‌ها در باند هدایت و

حفره‌ها در باند والانس همواره یکسان است زیرا تحریک یک الکترون برابر با ایجاد یک حفره است. تعداد حفره‌ها و الکترون‌ها در یک نیمه‌هادی ذاتی با توزیع آماری فرمی دیراک تعریف می‌شود و تابع توزیع جایگاه‌ها برای باند ظرفیت و باند هدایت نیز به کمک همین توزیع آماری تعریف می‌شود. برای یک نیمه‌هادی ذاتی (خالص) اگر جرم مؤثر حفره و الکترون مساوی باشد؛ انرژی فرمی در وسط باند ممنوعه قرار می‌گیرد. انرژی فرمی چنین تعریف می‌شود: «در صفر مطلق تمام جایگاه‌های مجاز برای قرار گرفتن الکترون که انرژی کمتر از انرژی فرمی دارند پر هستند و هیچ جایگاه انرژی مجاز با انرژی بیش از انرژی فرمی پر نشده است.» به‌عبارت‌دیگر تمام جایگاه‌های مجاز با انرژی بیش از انرژی فرمی خالی هستند. تعریف ساده‌تر این است که در صفر مطلق حداکثر انرژی که الکترون می‌تواند داشته باشد معادل انرژی فرمی است. وقتی دما افزایش می‌یابد تعدادی از الکترون‌های باند ظرفیت انرژی لازم را کسب می‌کنند و به سمت باند هدایت می‌روند و به تعداد مساوی جای خالی در باند والانس باقی می‌گذارند.



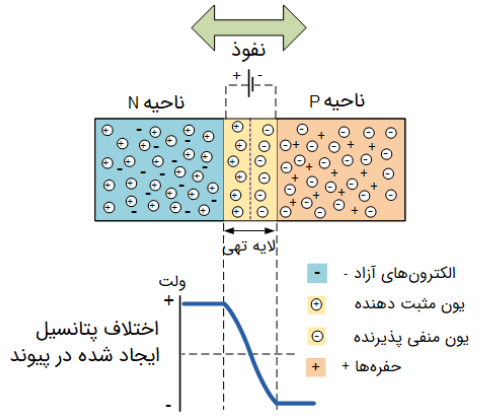
شکل (۶): اتصال دو نیمه‌هادی

۳-۲- انرژی یونیزاسیون الکترون و حفره حاصل از ناخالصی

وقتی نیمه‌هادی ناخالص می‌شود، یعنی اتم‌هایی با تعداد الکترون‌های آخرین مدار ۵ یا ۳ به آن اضافه می‌شوند، الکترون یا حفره ایجادشده می‌توانند با مقداری انرژی منتقل شوند. انرژی لازم برای تحرک بار به انرژی یونیزاسیون معروف است. ناخالصی برای افزایش تعداد الکترون و حفره به نیمه‌هادی افزوده می‌شود تا خواص الکتریکی ماده بهبود یابند. الکترون‌های آزاد نوع n نیمه‌هادی در سمت چپ خود فضایی خالی از الکترون آزاد دارند؛ بنابراین جریانی از الکترون آزاد از سمت راست به چپ وجود خواهد داشت. حفره‌های آزاد نوع P نیمه‌هادی فضایی در سمت راست خوددارند که دارای الکترون آزاد و بدون حفره است؛ بنابراین جریانی از بارهای مثبت از چپ به راست نیز وجود دارد. این پدیده نفوذ شبیه اختلاط دو محفظه گاز با فشار متفاوت است که وقتی دریچه بسته بین آن‌ها باز می‌شود؛ برای رسیدن به حالت تعادل مولکول‌ها از سمت پرفشار به سمت کم‌فشار نفوذ می‌کنند. با گذشت زمان، تعادل ایجاد می‌شود. در این حالت در سمت چپ بارهای منفی اضافه (ساکن) و در سمت راست بارهای مثبت اضافه (ساکن) وجود دارند که به علت مهاجرت بارهای متحرک بار آن‌ها خنثی نشده است؛ بنابراین یک میدان الکتریکی در منطقه تماس این دو نوع نیمه‌هادی ایجاد می‌شود. بانفوذ بیش‌تر الکترون و حفره در جهت مخالف با خود این میدان الکتریکی قوی‌تر می‌شود و این فرآیند همچنان ادامه می‌یابد تا جایی که میدان پتانسیل الکتریکی ایجادشده به‌اندازه‌ای خواهد شد که از نفوذ بیش‌تر الکترون و حفره در جهت مخالف جلوگیری کند. وقتی این توازن ایجاد می‌شود، عملاً ساختمان p-n تکمیل‌شده است. وقتی اتصال p-n از طرف لایه p تحت تابش نور قرار می‌گیرد؛ مثل این است که یک پتانسیل مثبت به آن اعمال‌شده باشد؛ زیرا تعداد الکترون‌های باند هدایت در نوع P افزایش می‌یابد و میدان الکتریکی ایجادشده تقویت می‌شود؛ بنابراین در تابش نور روی اتصال حفره و الکترون‌های ایجادشده به علت جذب فوتون به جهت مخالف می‌روند و چون سد پتانسیل کوتاه است از این کار جلوگیری نمی‌شود. مادام که نور می‌تابد این کار ادامه خواهد یافت. با استفاده از یک مصرف‌کننده خارجی الکترون و حفره‌های تولیدشده در آن جریان می‌یابند و کار انجام می‌دهند. درنتیجه اتصال تبدیل به‌وسیله ای شده که نور را به الکتریسیته تبدیل می‌کند.

وقتی نور به اتصال می‌تابد همه فوتون‌ها نمی‌توانند حفره و الکترون ایجاد کنند. اولاً انرژی فوتون‌ها باید کافی باشد (انرژی فوتون بیش از باند ممنوعه باشد تا جذب شود و حفره و الکترون تولید کند. فوتون‌هایی با انرژی کمتر از باند ممنوعه قابل‌جذب نیستند). انرژی اضافه فوتون‌ها به‌صورت انرژی جنبشی در الکترون‌ها درمی‌آید که به باند هدایت می‌روند. این انرژی جنبشی به‌صورت حرارت به کریستال داده و باعث گرم شدن هسته و کریستال می‌شود و مطلوب نیست. بخشی از فوتون‌ها در سطح اتصال منعکس

می‌شوند و جذب نمی‌شوند. بخشی از فوتون‌ها از اتصال می‌گذرند و از نیمه‌هادی خارج می‌شوند. برای فوتون‌هایی که دور از اتصال جذب می‌شوند قبل از رسیدن به اتصال ترکیب مجدد الکترون و حفره ایجاد می‌شود و این مسئله خصوصاً زمانی که طول عمر متوسط حاملان بار (الکترون و حفره) کم است بسیار مهم است. پس مطلوب‌ترین حالت جذب فوتون‌ها در نزدیکی اتصال است (ضخامت نیمه‌هادی در سمت نور بسیار کم باشد). در عمل دیده‌شده که یک‌لایه نازک از نیمه‌هادی نوع p روی n بهتر از یک‌لایه نازک از n روی p است.



شکل (۷): تعادل بارها و ایجاد میدان الکتریکی داخلی

۴- روش‌های ساخت اتصال مثبت – منفی

روش‌های رشد از حالت ذوب، آلیاژسازی، نفوذ اتصال نقطه‌ای، رشد اپیتاکسی و کاشت یونی عمده‌ترین روش‌های ساخت سلول‌های فتوالکتریک هستند.

۴-۱- روش رشد اتصال از حالت مذاب

از قدیمی‌ترین روش‌های ساخت اتصال است که با عمر نیمه‌هادی‌ها و ساخت وسایل الکترونیکی ساخته‌شده از آن‌ها یکسان است. در این روش نوع و نیز مقدار ناخالصی درون مذاب نیمه‌هادی به‌طور پرشی در مراحل رشد تغییر می‌کند.

۴-۲- اتصال آلیاژی

یک روش نسبتاً راحت برای ساخت اتصال، آلیاژ کردن نیمه‌هادی ناخالص شده اولیه با فلزی حاوی ناخالصی مخالف است. این فرآیند در دهه ۱۹۵۰ برای تولید دیود و ترانزیستور به کار می‌رفت.

۴-۳- روش دیفیوژن

در دهه ۱۹۶۰، روش دیفیوژن جایگزین روش آلیاژی شد. این روش به همراه کاربرد ماسک‌های مخصوص برای کنترل ناخالصی توسعه فعلی مدارهای مجتمع (آی سی) را ممکن کرد. دیفیوژن انتخابی یک شیوه بسیار شگفت‌انگیز از نظر قابلیت کنترل، دقت و تکرارپذیری است. نمایشی از این شگفتی این است که دیفیوژن انتخابی به همراه دیگر شیوه‌های تولید (آی سی) ساخت هم‌زمان و بسیار دقیق هزاران اتصال p-n روی یک چیپس سیلیکان را فراهم کرده است.

۴-۴- روش کاشت یونی

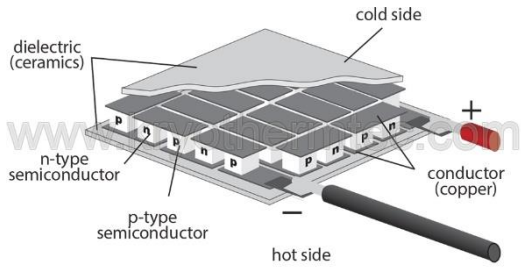
یک روش مفید و جایگزین برای روش دیفیوژن در دمای بالا کاشت یون‌های پرانرژی در داخل نیمه‌هادی است. در این روش اشعه‌ای از یون‌های ناخالصی که در محدوده چند کیلو الکترون‌ولت تا چند مگا الکترون‌ولت شتاب داده‌شده‌اند به سطح نیمه‌هادی تابانده می‌شود. این یون‌ها با ورود و برخورد به شبکه کریستالی انرژی‌شان را به این شبکه منتقل می‌کنند و درنهایت در نقطه‌ای در عمق متوسط (وابسته به انرژی اولیه و ساختار کریستالی) متوقف می‌شوند.

۵- سامانه‌های ترموالکتریک

۵-۱- ساختمان سامانه

سامانه ترموالکتریک از جفت قطعات نیمه‌هادی نوع p و نوع n تشکیل‌شده که در میان دو صفحه سرامیکی قرارگرفته‌اند. این قطعات ازنظر گرمایی باهم موازی و ازنظر الکتریکی سری هستند. نیمه‌هادی نوع N با نفوذ دادن تعدادی از اتم‌های گروه پنجم جدول تناوبی مانند فسفر و بعضاً عناصری از گروه ششم در ساختار بلوری سیلیکان (یا دیگر عناصر گروه چهارم) به وجود می‌آید. نیمه‌هادی نوع P به این صورت است که اگر با اتم‌هایی از ستون سوم جدول تناوبی که سه الکترون در آخرین باند دارند (مثلاً آلومینیوم) ناخالص شود؛ سه الکترون در باند کووالانسی شرکت می‌کنند و یک جای خالی برای الکترون وجود دارد؛ درنتیجه نیمه‌هادی برای جذب الکترون اضافی دارای ظرفیت است. این ظرفیت‌های اضافی مانند حفره‌هایی در سراسر نیمه‌هادی پخش‌شده‌اند. در این فرآیند در اثر گرم شدن سطوح بالایی چگالی الکترون‌ها و حفره‌ها به ترتیب در نیمه‌هادی‌های نوع n و p کم می‌شوند و آن‌ها به سمت

صفحه پایینی که خنک‌تر است حرکت می‌کنند. با تجمع این دو بار که علامت مخالف هم دارند؛ بین دو خروجی صفحه پایینی اختلاف‌پتانسیل الکتریکی به وجود می‌آید. با توجه به کم بودن ولتاژ تولیدی در هر جفت نیمه‌هادی، برای رسیدن به ولتاژ مناسب تعداد زیادی از این جفت‌ها را به‌صورت سری به هم وصل می‌کنند.



شکل (۸): ساختمان سامانه ترموالکتریک

۲-۵- عوامل مهم در دستگاه‌های سرمایشی

سه مسئله مهم برای دستگاه‌های سردکننده مطرح‌اند:

الف - حداکثر ضریب عمل کرد بین دو دمای داده‌شده

ب - حداکثر اختلاف دما که دستگاه می‌تواند به آن برسد

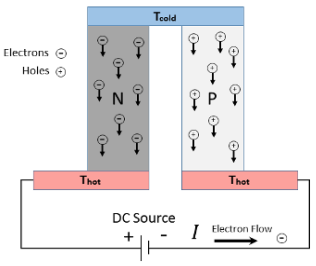
ج- وقتی سیستم بین دو دمای داده‌شده کار می‌کند، حداکثر حرارت برای واحد سطح مقطع که دستگاه پمپ می‌کند $Qc/(1+A)$ است.

سه روش عمومی برای بررسی تغییرات مشخصه‌های فیزیکی نیمه‌هادی‌ها نسبت به دما وجود دارد:

روش اول: به‌کارگیری مقادیر متوسط خصوصیات فیزیکی نسبت به دما. این روش راه شماره یک نامیده می‌شود و عبارت است از: متوسط خصوصیات فیزیکی بین دو دمای سرد و گرم.

روش دوم: اگر دستگاه به بی‌نهایت قطعه تقسیم شود و هر قطعه خصوصیات فیزیکی ثابت داشته باشد؛ می‌توان روابطی دقیق را برای عمل کرد اثبات کرد. این روش شماره دو نام می‌گیرد (روش بی‌نهایت قطعه).

روش‌های سوم: روش دقیق است و در آن تغییر خصوصیات فیزیکی با دما در محاسبات منظور می‌شود.



شکل (۹): چگونگی حرکت بارها در یک سامانه ترموالکتریک

۳-۵- ضریب تزویج

بررسی روابط ترموالکتریکی نشان می‌دهد که مشخصه‌های موادی (خصوصیات فیزیکی) در راندمان به کمک نقششان در ضریب تزویج حضور می‌یابند که این مشخصه (Z) به همین علت ضریب تزویج نامیده شد. با افزایش Z راندمان افزایش می‌یابد، بنابراین برای شرایط خصوصیات ثابت مواد نسبت به دما موادی که بیش‌ترین ضریب تزویج را دارند از همه مناسب‌تر هستند.

۴-۵- مولد قطعه‌ای و چندمرحله‌ای

هنگامی یک مولد ترموالکتریک برای کار در شرایط اختلاف دمای قابل‌ملاحظه طراحی می‌شود، بهتر است موادی مختلف برای رژیم‌های مختلف دمایی به کار گرفته شوند. به این منظور می‌توان ترموالمانها را قطعه‌قطعه و یا لایه‌لایه کرد. در حالت اول (قطعه‌قطعه کردن) هرکدام از بازوها از موادی مختلف ساخته می‌شوند که از نظر هدایت حرارتی با هم موازی و از نظر الکتریکی نسبت به هم سری هستند (با توجه به آنکه هر قسمت در محدوده‌ای از دما عمل کردی بهتر دارد، هر ماده در همان محدوده دمایی به کار می‌رود که بهترین عملکرد را دارد) در سیستم لایه‌لایه حرارت خروجی ازهر لایه حرارت ورودی به لایه بعدی است.

۶- تولید توان و سرمایش ترموالکتریک

۱-۶- تولید توان ترموالکتریک

هدف اصلی یک ژنراتور ترموالکتریک دست‌یابی به موادی با بازده بالاست، اما چون مشخصه‌های اصلی در بازده مولد ترموالکتریک Z و T هستند؛ می‌توان هدف را دست‌یابی به ZT بیش‌تر دانست. سالیان متمادی «یک» مقدار آرمانی ZT بود تا اینکه با استفاده از مواد جدید (ترکیبی) و

به‌دست آوردن ZT بیشتر از یک، راه پیشرفت در زمینه مواد ترموالکتریک گشوده شد. نکته‌ای که پس از آن مطرح می‌شود این است که هر ماده‌ای در یک محدوده خاص حداکثر (بهینه) ZT را دارد. درنتیجه پس از پیدا کردن موادی با این ویژگی‌ها مرحله بعد ترکیب مواد در ساختار سیستم‌های ترموالکتریک به‌گونه‌ای است که هر یک از آن‌ها در محدوده مورد انتظار بیش‌ترین مقدار ZT را داشته باشد. این نکته بسیار مهم است که در اتصال سرد مواد باید خصوصیت مورد انتظار و در اتصال گرم علاوه بر تحمل دمای بالا ZT بالا داشته باشند؛ لذا دانستن این‌که از یک ماده یکسان در اتصال سرد و گرم استفاده نشود اهمیت فراوان دارد.

۶-۲- تولید سرمایش ترموالکتریک

کاربرد مواد ترموالکتریک برای سرمایش بسیار توسعه‌یافته است. در این زمینه شناخت هدایت حرارتی و الکتریکی مواد اهمیت دارد. یک ماده ترموالکتریک خوب باید خواص الکترونیک مناسب در ماده کریستالی داشته باشد.

۷-نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

همان‌طورکه پیش‌تر آمد استفاده از سلول‌های فتوالکتریک و پدیده‌های ترموالکتریک در عرصه دریا مزایای ویژه‌ای دارد. پدیده فتوالکتریک در تولید توان، تصفیه آب، سیستم‌های ناوبری، روشنایی، نیروی محرکه پهپادهای تجسسی و ریزپرنده‌های نوین، سنسورهای فتوالکتریک کاربرد دارد. قابلیت سرمایشی پدیده ترموالکتریک نیز جهت خنک‌سازی تجهیزات الکترونیکی در شناورها مانند پردازشگرها و مولدهای تولید توان رادارهای دریایی کاربرد دارد. همچنین قابلیت تولید توان آن نیز در نیروی محرکه پهپادها و ریزپرنده‌ها، تولید هیدروژن، ماهواره‌ها و تجهیزات فضائی کاربرد دارد. این سامانه‌ها و انواع نیمه‌هادی‌های نوین در مسیر توسعه و بهینه‌سازی قرار دارند، لذا تحقیق و پژوهش بر روی آن‌ها جهت نیل به خصوصیات فیزیکی مطلوب‌تر و انتخاب کارآترین چیدمان، کارساز خواهد بود.

مراجع

[1] Kreider, j, f. Principles of solar engineering, New york, McGraw-Hill

[2] Culp A. W. Principles of Energy Conversion, New York, McGraw-Hill, 1991

[3] El-Wakil, M. M. Power Plant Technology, New York, McGraw-Hill, 1984

[4] Moran, M. Thermodynamics, New York, John Wiley & Sons Inc, 2004. J. 'H pue N. Shapiro. Fundamentals of Engineering

[5] Li, KW. Applied. Thermodynamics: Availability Method and Energy Conversion, Taylor & Francis, 1996.

[6]Duffie JA, WA Beckman. Solar Engineering of thermal Processes, New York, John Wiley & Sons, 2006

[7] Rowe, D. M. (ed). Thermoelectrics Handbook (Macro to Nano), CRC, Taylor and Francis publication, 2006.

[8] Chen, G., M. Dresselhaus and Z. Reng. "Nano Composites with High Thermoelectric Figure of Merit", Us-patent, 2009/0068465 Al USA, Mar 12, 2009.

[9] Fleurial, J. P., A. Borshchevsky, T. Caillat andR. Ewell."New Materials and Devices for Thermoelectric Applications", 32st Energy Converssion Engineering Conference, Honolulu HI USA, pp1080-1085, 1997

[10] Kang, Y. S., M. Niino, I. A. Nishida, and J. Yoshino. "Development and evaluation of 3-stage segmented thermoelectric elements." In Seventeenth International Conference on Thermoelectrics. Proceedings ICT98 (Cat. No. 98TH8365), pp. 429-432. IEEE, 1998.

[۱۱] حسینی، ر.، نجفیان، ن. وهابی، م.، تبدیل مستقیم انرژی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۵

[12] “Photocatalytic and photoelectrocatalytic technologies for environmental applications: principles, challenges and perspectives” ، ScienceDirect.

[13] Applications of photovoltaic Technologies in Maritime Navigation” MDPI.

[14] Solar Energy in Marine Applications ،" Springer.

[15] "Thermoelectric cooling: A review of materials to systems ،"ScienceDirect.

[16] "Thermoelectric Desalination Systems: A Review of Technology and Applications ،" ScienceDirect.