





دانشکده مهندسی مکانیک و مگاترونیک
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی تبدیل انرژی

بررسی تجربی سیستم تولید هم‌زمان قدرت و آب شیرین با کمک ترموالکتریک و لنز فرزنل

نگارنده

مهدی عجمی

استاد راهنما

دکتر علی عباس نژاد

بهمن ۱۳۹۷

شماره: ۱۵۵ / ۷۸۷ / ۲
تاریخ: ۱۳۹۷ / ۱۲ / ۰۴

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مهدی عجمی با شماره دانشجویی رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی تحت عنوان بررسی تجربی سیستم تولید همزمان قدرت و آب شیرین با کمک ترموالکتریک و لنز فرزنل که در تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۰۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود <input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>بسیار خوب</u>)			
نوع تحقیق: <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/> عملی			
امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر علی عباس نژاد	۱- استاد راهنمای اول
-	-	-	۲- استاد راهنمای دوم
-	-	-	۳- استاد مشاور
	دانشیار	دکتر پوریا اکبرزاده	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر محمد ضامن	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر محمدحسین احمدی	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد محسن شاه مردان

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیم اثر

خدای را بسی شاکرم که از روی کَرَم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ بگیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی‌ام بوده‌اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند.....

تشکر و قدردانی

به مصداق «من لم تشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است
از استاد

فرهیخته و فرزانه جناب دکتر علی عباس نژاد

که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن
سرای علم و

دانش را بارانمایی‌های کارساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و
تشکر نمایم.

(ویزکیهم ویعلمهم الکتاب و الحکمه)

معلمانا مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه‌ات مظفر باد
به نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلند صحیفه‌های سخن از تو علم پرور
باد

همچنین از پدر و مادر عزیز، دلسوز و مهربانم که آرامش روحی و آسایش
فکری فراهم

نمودند تا با حمایت‌های همه‌جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و
نیز پایان‌نامه

درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم؛ سپاسگزاری نمایم.

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا بر منتهای همت خود کامران
شدم

تعهد نامه

اینجانب مهدی عجمی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی تجربی سیستم تولید هم زمانقدرت و آب شیرین با کمک ترموالکتریک و لنز فرزنل تحت راهنمایی دکتر علی عباس نژاد متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

امروزه انرژی به‌عنوان یکی از عوامل تولید، سهم بزرگی در رشد و توسعه‌ی کشورهای مختلف دارد. تجدید ناپذیر بودن سوخت‌های فسیلی در کنار آلودگی‌هایی که تولید می‌کنند انسان را به این فکر واداشت که منابع جدیدی را برای تأمین انرژی خود پیدا کند. انرژی‌های تجدید پذیر عوارض زیست‌محیطی بسیار کمتری نسبت به سوخت فسیلی دارند و به‌نوعی پایان‌پذیر نیستند. روش‌ها و ایده‌های مختلفی در تولید هم‌زمان حرارت و برق به کمک سلول‌های فتوولتائیک و ماژول ترموالکتریک با استفاده از انرژی خورشیدی وجود دارد ولی استفاده از ماژول ترموالکتریک و متمرکز کننده خورشیدی لنز فرزنل امکان تولید برق و حرارت با بازده حرارتی بالا را فراهم می‌کند. در این پژوهش دو سیستم متفاوت برای تولید آب شیرین و قدرت استفاده‌شده است. در سیستم اول، سلول کوچکی که از فلز مس ساخته‌شده است که در سطح بالای آن شیشه دما دیده و در سطح زیرین آن مولد ترموالکتریک قرار گرفته است. تابش خورشید پس از عبور از لنز فرزنل به آب‌شور درون سلول می‌تابد. بخار آب تولیدشده وارد محفظه‌ای که خنک‌سازی آن با ترموالکتریک خنک‌کننده می‌باشد، می‌شود. در این سلول با ابعاد کوچک، در بازه‌ی زمانی ۲ ساعته، ۴۷ میلی‌لیتر آب شیرین تولید می‌شود. در سیستم دوم ۷ عدد لنز فرزنل بر روی لوله خلاً قرار می‌گیرند و سطح داغ مولد ترموالکتریک در تماس با آب داخل لوله قرار دارد. در این سیستم در بازه‌ی زمانی ۴ ساعته، ۰/۴۰۳ لیتر آب شیرین تولید می‌شود. راندمان گرمایی آب شیرین سیستم اول ۳۹/۲۱٪، راندمان مولد ترموالکتریک ۲/۶۵٪ و در سیستم دوم راندمان گرمایی آب شیرین ۲۳/۳۷٪، راندمان مولد ترموالکتریک ۲/۴۹٪ می‌باشد.

کلمات کلیدی: لنز فرزنل، مولد ترموالکتریک، ترموالکتریک خنک‌کننده، انرژی خورشیدی، لوله خلاً

آب شیرین کن خورشیدی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست شکل‌ها	ل
فهرست جداول.....	س
فهرست نمادها	ع
فصل اول: مقدمه و اهداف	
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ آب شیرین و شور	۴
۳-۱ شیرین سازی آب	۵
۱-۳-۱ شیرین کردن آب به روش تقطیر	۶
۱-۳-۱-۱ انواع فرایندهای تقطیر	۷
۲-۳-۱ شیرین کردن آب به روش اسمز معکوس	۹
۳-۳-۱ شیرین کردن آب به روش الکترودیالیز	۱۱
۴-۳-۱ شیرین کردن آب به روش تبادل یونی	۱۱
۴-۱ آب شیرین کن‌های خورشیدی	۱۲
۱-۴-۱ آب شیرین کن خورشیدی غیرفعال	۱۴
۱-۴-۱-۱ آب شیرین کن خورشیدی غیرفعال حوضچه‌ای تک مرحله‌ای	۱۴
۲-۴-۱ آب شیرین کن خورشیدی غیرفعال حوضچه‌ای چندمرحله‌ای	۱۵
۳-۴-۱ آب شیرین کن خورشیدی غیرفعال فیتیله ای	۱۵
۴-۴-۱ آب شیرین کن خورشیدی غیرفعال پلکانی	۱۶
۵-۴-۱ آب شیرین کن خورشیدی غیرفعال دودکشی	۱۶
۶-۴-۱ آب شیرین کن خورشیدی لوله‌ای هم‌مرکز.....	۱۷
۲-۴-۱ آب شیرین کن خورشیدی فعال	۱۷
۱-۲-۴-۱ آب شیرین کن خورشیدی فعال با جمع کننده	۱۷

- ۲۱-۴-۲-۲ آب شیرین کن خورشیدی فعال پیش گرم شده و فعال شبانه ۲۱
- ۵-۱ ترموالکتریک ۲۱
- ۱-۵-۱ اثرات ترموالکتریک ۲۳
- ۱-۵-۱-۱ اثر سیبک ۲۳
- ۲-۵-۱-۱ اثر پلتیر ۲۴
- ۳-۵-۱-۱ اثر تامسون ۲۵
- ۲-۵-۱ کاربرد ترموالکتریک ۲۵
- ۶-۱ لنز فرزنل ۲۶
- ۱-۶-۱ اصول کارکرد لنز فرزنل ۲۶
- ۲-۶-۱ انواع لنز فرزنل ۲۶
- ۷-۱ تعریف مسئله ۲۷
- ۸-۱ اهداف پژوهش ۲۸

فصل دوم: پیشینه پژوهش

- ۱-۲ مقدمه ۳۰
- ۴-۵-۲ کارهای انجام شده توسط محققین دیگر در گذشته ۳۰

فصل سوم: تشریح دستگاه های ساخته شده

- ۱-۳ مقدمه ۳۸
- ۲-۳ سیستم ترموالکتریک-خورشیدی تولید آب شیرین و برق ۳۸
- ۱-۲-۳ متمرکز کننده لنز فرزنل ۳۹
- ۲-۲-۳ ژنراتور ترموالکتریک ۴۰
- ۱-۲-۲-۳ بازده و رقم شایستگی ترموالکتریک ۴۲
- ۳-۲-۳ ترموالکتریک خنک کننده ۴۳
- ۴-۲-۳ اندازه گیری شدت تابش ۴۵
- ۵-۲-۳ پنل خورشیدی ۴۷
- ۶-۲-۳ اندازه گیری دما ۴۸

۴۹.....	۷-۲-۳ هیت سینک
۵۰.....	۸-۲-۳ لوله خلأ
۵۱.....	۱-۸-۲-۳ اصل ترموسیفونی حرارتی
۵۲.....	۹-۲-۳ محفظه مسی
۵۳.....	۱۰-۲-۳ شاسی نگه‌دارنده لوله و لنزها
۵۳.....	۱۱-۲-۳ خمیر سیلیکون و درزگیر سیلیکون
۵۳.....	۱۲-۲-۳ شیشه سکوریت دما دیده
۵۴.....	۱۳-۲-۳ مالتی متر
۵۵.....	۱۴-۲-۳ مبدل حرارتی
۵۷.....	۳-۳ مونتاژ سامانه‌ها
۵۷.....	۱-۳-۳ سیستم اول
۵۸.....	۲-۳-۳ سیستم دوم

فصل چهارم: نتایج آزمایشگاهی

۶۲.....	۱-۴ مقدمه
۶۲.....	۲-۴ نتایج آزمایش
۶۲.....	۱-۲-۴ سیستم اول
۶۷.....	۱-۱-۲-۴ راندمان TEG
۶۸.....	۲-۱-۲-۴ راندمان حرارتی آب شیرین
۶۸.....	۳-۱-۲-۴ راندمان الکتریکی
۶۹.....	۲-۲-۴ سیستم دوم
۷۶.....	۱-۲-۲-۴ راندمان الکتریکی و TEG
۸۰.....	۲-۲-۲-۴ راندمان حرارتی آب شیرین
۸۱.....	۳-۴ محاسبات مبدل حرارتی
۸۲.....	۴-۴ لوله‌های خلأ در زاویه ۴۵ درجه

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۸۶.....	۱-۵ نتیجه‌گیری
۸۶.....	۱-۱-۵ سیستم اول
۸۷.....	۲-۱-۵ سیستم دوم
۸۸.....	۲-۵ پیشنهادها
۸۸.....	۱-۲-۵ سیستم اول
۸۹.....	۲-۲-۵ سیستم دوم
۹۰.....	فهرست مراجع

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: میانگین نرخ رشد سالانه ظرفیت انرژی‌های تجدید پذیر ۲۰۱۴ - ۲۰۰۹.....	۳
شکل ۱-۲: نقشه تابش خورشید برای ایران و جهان	۳
شکل ۱-۳: نوع آب برحسب میزان TDS	۴
شکل ۱-۴: شماتیک فرایند MSF	۸
شکل ۱-۵: شماتیک فرایند MED	۹
شکل ۱-۶: شماتیک عملکرد روش اسمز معکوس	۱۰
شکل ۱-۷: مقایسه جداسازی فرایندهای غشایی	۱۰
شکل ۱-۸: شماتیک عملکرد روش الکترودیالیز	۱۱
شکل ۱-۹: مکانیزم تبادل یونی در تصفیه آب	۱۲
شکل ۱-۱۰: نمایی از کارکرد سیستم تقطیر خورشیدی	۱۳
شکل ۱-۱۱: دسته‌بندی آب شیرین‌کن‌های خورشیدی	۱۴
شکل ۱-۱۲: آب شیرین‌کن خورشیدی حوضچه‌ای تک‌مرحله‌ای	۱۵
شکل ۱-۱۳: طرح‌واره آب شیرین‌کن ساده خورشیدی فعال جابجایی اجباری	۱۸
شکل ۱-۱۴: طرح‌واره آب شیرین‌کن ساده خورشیدی فعال دواثره	۱۹
شکل ۱-۱۵: متمرکز کننده سهمی گون.....	۲۰
شکل ۱-۱۶: شماتیک تولید توان در سلول ترموالکتریک	۲۲
شکل ۱-۱۷: ساختار مدول ترموالکتریک	۲۳
شکل ۱-۱۸: هدایت حرارتی و رقم شایستگی مواد ترموالکتریک	۲۳
شکل ۱-۱۹: شماتیک اثر سبیک	۲۴
شکل ۱-۲۰: شماتیک اثر پلتیر	۲۴
شکل ۱-۲۱: شماتیک لنز فرزنل و لنز معمولی	۲۶
شکل ۱-۲۲: لنز فرزنل خطی و دایره‌ای	۲۷

- شکل ۲-۱: شماتیک دستکاه مورد استفاده در تحقیق ایسلام و فوکوها را ۳۴
- شکل ۲-۲: سامانه نمک زدایی با ۱۵ عدد لوله خلأ ۳۵
- شکل ۳-۱: سیستم اول: تولید هم‌زمان آب شیرین، قدرت ۳۸
- شکل ۳-۲: سیستم دوم: تولید هم‌زمان آب شیرین و قدرت ۳۹
- شکل ۳-۳: لنزهای فرزنل با شیارهای دایره‌ای ۴۰
- شکل ۳-۴: ژنراتور ترموالکتریک مدل SP1848-17145 SA ۴۱
- شکل ۳-۵: ترموالکتریک خنک‌کننده TEC1-12706 ۴۵
- شکل ۳-۶: حسگر شدت تابش خورشید ۴۷
- شکل ۳-۷: پنل خورشیدی ۹۰ واتی ۴۷
- شکل ۳-۸: عملکرد پنل خورشیدی استفاده‌شده در آزمایش ۴۷
- شکل ۳-۹: دماسنج‌های میله‌ای استفاده‌شده در آزمایش ۴۸
- شکل ۳-۱۰: نمونه هیت سینک‌های استفاده‌شده در دو سیستم ۵۰
- شکل ۳-۱۱: لوله خلأ ۵۱
- شکل ۳-۱۲: جریان ترموسیفون لوله خلأ ۵۲
- شکل ۳-۱۳: مالتی متر MS 88 ۵۵
- شکل ۳-۱۴: مبدل حرارتی سیستم دوم ۵۶
- شکل ۳-۱۵: سیستم اول ۵۸
- شکل ۳-۱۶: سیستم دوم ۵۹
- شکل ۳-۱۷: دستگاه سنجش هدایت الکتریکی آب شور ۵۹
- شکل ۳-۱۸: مقایسه زمان رسیدن به نقطه‌جوش آب در لوله‌های خلأ در زاویه ۴۵ درجه ۶۰
- شکل ۴-۱: نمودار شدت تابش و انرژی جذب‌شده از خورشید برحسب زمان در ۲۹ تیر ۶۴
- شکل ۴-۲: نمودار شدت تابش و انرژی جذب‌شده از خورشید برحسب زمان در ۳۰ تیر ۶۵
- شکل ۴-۳: نمودار شدت تابش و انرژی جذب‌شده از خورشید برحسب زمان در ۳۱ تیر ۶۵
- شکل ۴-۴: نمودار جریان خروجی مولد ترموالکتریک نسبت به زمان در ۳ روز (سیستم اول) ۶۶
- شکل ۴-۵: نمودار ولتاژ خروجی مولد ترموالکتریک نسبت به زمان در ۳ روز (سیستم اول) ۶۶

- شکل ۴-۶: آب شیرین تولیدشده به ازای آب شور ورودی (سیستم اول) ۶۷
- شکل ۴-۷: نمودار راندمان حرارتی و درصد شیرین سازی آب شور (سیستم اول) ۶۸
- شکل ۴-۸: نمودار تغییرات دمای آب درون لوله خلأ در دو حالت با لنز و بدون لنز فرزنل ۱۶ تیر ۷۳
- شکل ۴-۹: نمودار تغییرات دمای آب درون لوله خلأ در دو حالت با لنز و بدون لنز فرزنل ۱۹ تیر ۷۳
- شکل ۴-۱۰: نمودار تغییرات دمای آب درون لوله خلأ در دو حالت با لنز و بدون لنز فرزنل ۲۳ تیر ۷۴
- شکل ۴-۱۱: میزان آب شو بخار شده در دو حالت با لنز و بدون لنز فرزنل (سیستم دوم) ۷۴
- شکل ۴-۱۲: نمودار ولتاژ برحسب اختلاف دمای دو طرف مولد ترموالکتریک در ۳ روز (سیستم دوم) ۷۵
- شکل ۴-۱۳: نمودار جریان برحسب اختلاف دمای دو طرف مولد ترموالکتریک در ۳ روز (سیستم دوم) ۷۵
- شکل ۴-۱۴: نمودار شدت تابش و انرژی جذب شده سیستم برحسب زمان در ۳ روز (سیستم دوم) ۷۶
- شکل ۴-۱۵: میزان آب شور بخار شده و آب شیرین تولیدشده (سیستم دوم) ۸۰
- شکل ۴-۱۶: راندمان حرارتی و درصد شیرین سازی (سیستم دوم) ۸۱

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۴۰.....	جدول ۱-۳: مشخصات فیزیکی لنز فرزنل.....
۴۱.....	جدول ۲-۳: مشخصات فیزیکی ژنراتور ترموالکتریک SP1848-17145 SA.....
۴۱.....	جدول ۳-۳: مشخصات فنی ژنراتور ترموالکتریک SP1848-17145 SA.....
۴۴.....	جدول ۴-۳: مشخصات فیزیکی TEC1-12706.....
۴۷.....	جدول ۵-۳: مشخصات فنی پنل.....
۴۸.....	جدول ۶-۳: مشخصات فنی دماسنجها.....
۶۳.....	جدول ۱-۴: پارامترهای ثبت شده در ۲۹ تیرماه (سیستم اول).....
۶۳.....	جدول ۲-۴: پارامترهای ثبت شده در ۳۰ تیرماه (سیستم اول).....
۶۴.....	جدول ۳-۴: پارامترهای ثبت شده در ۳۱ تیرماه (سیستم اول).....
۶۷.....	جدول ۴-۴: دمای سطوح و راندمان ترموالکتریک.....
۶۹.....	جدول ۵-۴: توان تولیدی سیستم اول و راندمان ترموالکتریک در ۳ روز.....
۷۰.....	جدول ۶-۴: پارامترهای ثبت شده در ۱۶ تیرماه (سیستم دوم).....
۷۱.....	جدول ۷-۴: پارامترهای ثبت شده در ۱۹ تیرماه (سیستم دوم).....
۷۲.....	جدول ۸-۴: پارامترهای ثبت شده در ۲۳ تیرماه (سیستم دوم).....
۷۷.....	جدول ۹-۴: راندمان مولد ترموالکتریک و راندمان الکتریکی ۱۶ تیرماه.....
۷۸.....	جدول ۱۰-۴: راندمان مولد ترموالکتریک و راندمان الکتریکی ۱۹ تیرماه.....
۷۹.....	جدول ۱۱-۴: راندمان مولد ترموالکتریک و راندمان الکتریکی ۲۳ تیرماه.....
۸۱.....	جدول ۱۲-۴: دمای آب ورودی و خروجی از مبدل.....
۸۳.....	جدول ۱۳-۴: لوله های خلا در زاویه ۴۵ درجه.....

فهرست نمادها

واحد	شرح	نماد
m^2	مساحت لنز فرزنل	A_f
m^2	مساحت نقطه تمرکز لنز فرزنل	A_r
$kJ/kg \cdot k$	ظرفیت گرمایی بخار آب	C_{vap}
$kJ/kg \cdot k$	ظرفیت گرمایی آب	C_{water}
بی بعد	نسبت تمرکز	Cr
$w / K \cdot m^2$	ضریب حرارت جابجایی	h
kJ/kg	آنتالپی تبخیر	h_{fg}
A	جریان	I
w	تابش دریافتی از خورشید در هر لحظه	I_{fl}
w / m^2	شدت تابش	I_r
wh / m^2	انرژی جذب شده از خورشید	I_b
$w / K \cdot m$	ضریب هدایت حرارتی	K
kJ/kg	گرمای نهان تبخیر	l_{fg}
m	طول آزاد لوله خلأ	L_{ar}
kg	دبی بخار داخل مبدل	\dot{m}_v
kg/s	دبی مبدل حرارتی	\dot{m}_w
pa	فشار	P
w	توان بار	P_L
w	توان مولد ترموالکتریک	P_{sys}
kJ	انتقال حرارت سطح سرد مولد ترموالکتریک	Q_c
kJ	انتقال حرارت سطح داغ مولد ترموالکتریک	Q_h
w	نرخ انتقال حرارت بخار داخل مبدل	\dot{Q}_v
w	نرخ انتقال حرارت آب داخل مبدل	\dot{Q}_w
$kJ/A \cdot K$	ضریب تانسون ترموالکتریک	r
K / w	مقاومت حرارتی ترموالکتریک	R_h
Ω	مقاومت الکتریکی ترموالکتریک	R_L
S	زمان	t
$^{\circ}C$	دمای محیط	T_{air}
$^{\circ}C$	دمای سطح سرد مولد ترموالکتریک	T_c
$^{\circ}C$	دمای سطح داغ مولد ترموالکتریک	T_h
$^{\circ}C$	دمای آب ورودی به مبدل حرارتی	T_{in}
$^{\circ}C$	دمای آب خروجی از مبدل حرارتی	T_{out}
$^{\circ}C$	دمای آب درون لوله‌ی بدون لنز	$T_{no'le}$
$^{\circ}C$	دمای آفتاب	T_s

$^{\circ}\text{C}$	دمای بخار	T_v
$^{\circ}\text{C}$	دمای آب شور داخل لوله خلأ	T_w
بی بعد	ترموالکتريک خنک کننده	TEC
بی بعد	مولد ترموالکتريک	TEG
V	ولتاژ	V
1/K	رقم شایستگی مولد ترموالکتريک	Z
بی بعد	رقم شایستگی بی بعد	ZT
V/K	ضریب سبیک ترموالکتريک	α
بی بعد	راندمان	η
بی بعد	راندمان الکتريکی	η_e
بی بعد	راندمان حرارتی آب شیرین کن	η_h
بی بعد	راندمان ترموالکتريک	η_{teg}
w / m. K	هدایت گرمایی مواد ترموالکتريک	λ_{pn}
kJ/A	ضریب پلتیر ترموالکتريک	Π_{ab}
1/ Ω	هدایت الکتريکی مواد ترموالکتريک	σ

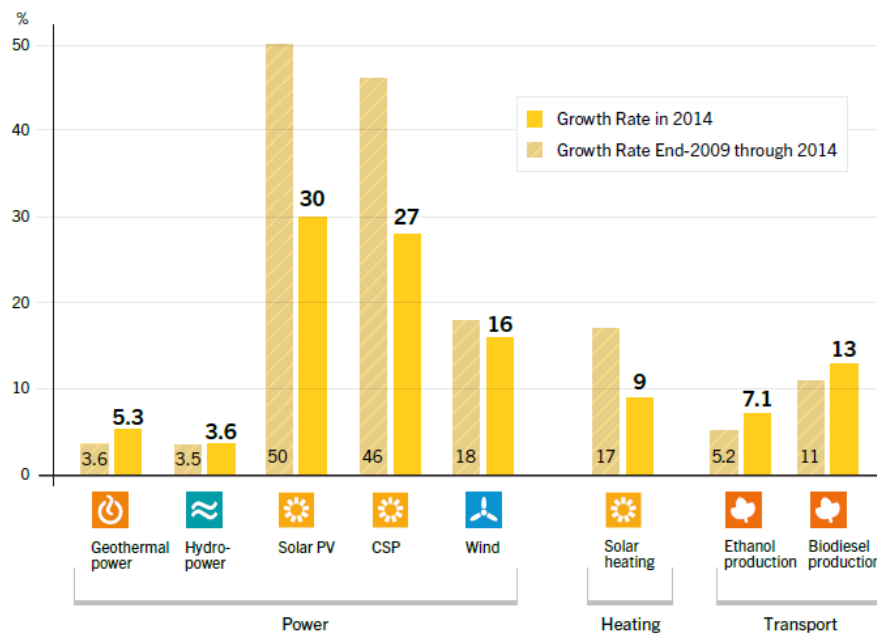
فصل اول

مقدمه و اهداف

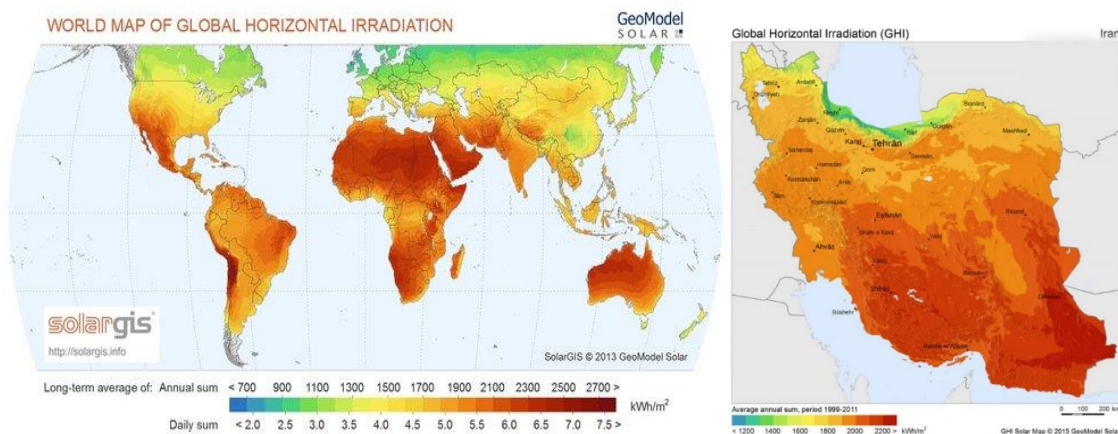
۱-۱ مقدمه

امروزه بشر با دو مشکل بزرگ روبه‌رو است که بیش از آنچه ما ظاهراً تشخیص می‌دهیم با یکدیگر در ارتباط‌اند. از یک طرف جوامع صنعتی و شهرهای بزرگ با مشکل آلودگی محیط‌زیست مواجه‌اند و از طرف دیگر مشاهده می‌شود که مواد اولیه و سوخت موردنیاز همین ماشین‌ها و تجهیزات با شتاب روزافزون در حال اتمام است. توجه به انرژی‌های هسته‌ای به‌عنوان جانشینی برای سوخت‌های فسیلی نیز چندان موفقیت‌آمیز نبوده است. زیرا صرف هزینه‌های سنگین و همچنین تشعشعات خطرناکی که از نیروگاه‌های اتمی در فضا پخش شده، نتیجه‌ی مثبتی نداشته است و اگر یکی از این نیروگاه‌ها منفجر شود، زیان‌های جبران‌ناپذیری به بار خواهد آورد. معادن اورانیوم نیز محدود هستند و روزی همانند سوخت‌های فسیلی بدون جایگزینی تمام خواهند شد.

افزایش تابش خورشید در جهان پدیده‌ایست که در تمام نقاط جهان به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته برای ۳۰ سال آینده قابل مشاهده می‌باشد [1]. معماری سنتی ایران نشان‌دهنده توجه خاص ایرانیان در استفاده صحیح و مؤثر از خورشید در زمان‌های قدیم بوده است. می‌توان به‌صراحت اعلام کرد که سطح کنونی علمی و صنعتی کشورمان برای ایجاد و گسترش تکنیک خورشیدی به حد کافی آمادگی دارد [2]. در شکل زیر روند رشد انرژی‌های تجدیدپذیر در یک بازه زمانی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴ قابل مشاهده است [3]. در سال ۲۰۱۲ حدود ۱۹٪ از انرژی نهایی مصرفی جهانی از راه انرژی‌های تجدیدپذیر به دست آمده است [4]. تابش خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده شده است که البته بالاتر از میزان متوسط جهانی بوده و تقریباً دو برابر قاره اروپا می‌باشد. کشور ما با داشتن پتانسیل بالا جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان است [5] به طوری که در ۹۰٪ خاک کشورمان بیش از ۳۰۰ روز آفتابی خیلی مؤثر وجود دارد [6]. در واقع ایران در نواحی پرتابش قرارگرفته است و در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد (شکل ۱-۲) [7].



شکل ۱-۱ میانگین نرخ رشد سالانه از ظرفیت انرژی‌های تجدید پذیر ۲۰۱۴ - ۲۰۰۹ [3].



شکل ۱-۲: نقشه تابش خورشید برای ایران و جهان [8,9]

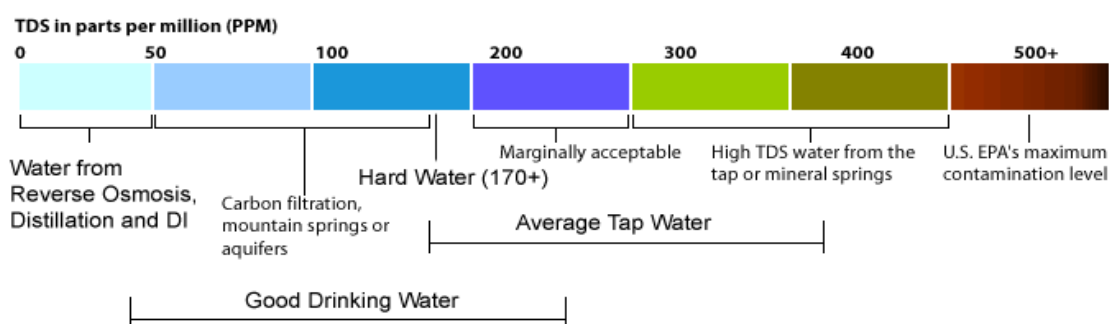
امروزه از روش‌های متنوعی برای شیرین‌سازی آب‌های آلوده یا شور استفاده می‌شود. یکی از بزرگ‌ترین معضلات بشر در شیرین‌سازی آب، مصرف زیاد انرژی در آن می‌باشد که این مسئله به‌خصوص در سال‌های اخیر نمود بیشتری یافته است. مشکل آن است که انرژی‌های مورد استفاده در این فرایندها به انرژی‌های فسیلی وابسته می‌باشند که آن‌ها نیز تحت تأثیر شرایط اقتصادی و زیست‌محیطی قرار دارند. از طرف دیگر عدم دسترسی به این‌گونه انرژی‌ها در نواحی دورافتاده پیچیدگی کار را بیشتر نیز می‌نماید.

معمولاً انرژی‌های تجدید پذیر همانند باد و خورشید در نواحی دوردست به راحتی در دسترس می‌باشند. بنابراین در این نواحی بهترین انتخاب برای شیرین نمودن آب، استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر همانند خورشید می‌باشد. آب شیرین کن‌های خورشیدی از جمله وسایلی هستند که از فناوری بسیار ساده‌ی خورشیدی استفاده کرده و بنابراین از سایر وسایل و امکانات تصفیه آب مقرون به صرفه تر می‌باشند [10].

۱-۲ آب شور و شیرین

شور یا شیرین بودن آب بر اساس TDS^۱ یا همان مواد محلول در آب مشخص می‌شود. مواد جامد محلول در آب ممکن است مواد آلی یا غیر آلی (مواد معدنی) باشند. هرچقدر TDS آب بیشتر باشد سبب می‌گردد که آب بو، طعم و رنگ نامطلوب تری به خود بگیرد. واحد سنجش TDS میلی‌گرم بر لیتر یا ppm می‌باشد. مقدار مطلوب آن برای آب شرب ۳۰ ppm تا ۹۰ ppm می‌باشد، ولی گفتن این نکته هم ضروری است که TDS زیر ۲۰ هم مطلوب نیست و باعث تلخی آب می‌شود و هرچقدر TDS به صفر نزدیک تر می‌شود، به آب مقطر نزدیک تر می‌شود و آب تلخ تر می‌شود. شکل (۱-۳) نوع آب برحسب میزان TDS را نشان می‌دهد.

TDS Explained



شکل ۱-۳ نوع آب برحسب میزان TDS [11]

¹ Total dissolved solids

۱-۳ شیرین سازی آب

میزان آب‌های شیرین موجود روی زمین ۲/۵۳٪ می‌باشد که از این مقدار تنها ۰/۳۶٪ به صورت مستقیم در دسترس قرار دارد. با توجه به آمارهای منتشرشده ۱۴۴۵۱ واحد شیرین سازی فعال در کل دنیا وجود دارد که تقریباً ۶۰ میلیون مترمکعب در روز ظرفیت دارند [12]. فناوری‌های آب‌شیرین‌کن از لحاظ تغییر فاز به دودسته تقسیم می‌شوند:

۱- فرآیندهایی که در آن‌ها تغییر فاز صورت می‌گیرد که عبارت‌اند از :

- Multi effect distillation (MED) (تقطیر چندمرحله‌ای)
- Multi stage flash distillation (MSF) (تقطیر ناگهانی چندمرحله‌ای)
- Vapor compression distillation (VCD) (تقطیر تراکمی بخار)

۲- فرآیندهایی که در آن‌ها شیرین سازی آب بدون تغییر فاز انجام می‌پذیرد که عبارت‌اند از:

- Reverse osmosis (RO) (اسمز معکوس)
- Electro dialysis (ED) (الکترودیالیز)
- Electromagnetism dialysis (ECR) (الکترومغناطیسی)

کارایی هر کدام از این فرآیندها بستگی به غلظت نمک در آب تغذیه و همچنین ارزش هزینه آب دارد. هر یک از فناوری‌های آب‌شیرین‌کن برای انجام فرآیند جداسازی به انرژی احتیاج دارند که این انرژی می‌تواند از طریق انرژی گرمایی، مکانیکی یا الکتریکی تأمین شود. دسته‌بندی دیگری نیز برای روش‌های شیرین سازی آب بیان می‌شود. در این دسته‌بندی ۵ فناوری شیرین سازی مطرح می‌گردد:

۱. تقطیر

۲. اسمز معکوس

۳. الکترودیالیز

۴. تبادل یونی

۵. نمک‌زدایی انجمادی

۱-۳-۱ شیرین کردن آب با روش تقطیر

اکثر راه‌های معمول نمک‌زدایی آب شامل فرآیندهای جوشش و تبخیر می‌باشد. در یک دستگاه تقطیر، آب به جوش می‌آید و بخار تولید می‌شود که از چگالش این بخار آب خالص تولید می‌شود. تقطیر آب هنوز بهترین و مرسوم‌ترین روش شیرین سازی آب دریا است. در این فرآیند از تبخیر آب شور و میعان آب، آب خالص تولید می‌شود. این فناوری به خاطر اطمینان بیشتر و مصرف انرژی کمتر به‌طور گسترده‌ای طی ۱۰ سال اخیر گسترش یافته است. فرآیندهای خالص‌سازی آب به روش تقطیر نسبت به فرآیندهای غشایی دارای کیفیت بالاتری است. فرآیندهای تقطیر هنوز سهم بزرگی را در صنعت شیرین کردن آب دریا دار است. دلایلی که هنوز روش تقطیر بهترین انتخاب برای شیرین سازی آب دریا به‌خصوص در ایستگاه‌های قدرت می‌باشد به شرح زیر است:

- فرآیندهای تقطیر آب باکیفیت بالا با باقیمانده نمک ۱-۲ ppm تولید می‌کنند و به شوری آب دریا بستگی ندارند در صورتی که فرآیندهای غشایی، کاملاً به ذرات جامد حل‌شده و ترکیب آب دریا بستگی دارند و آب باکیفیت پایین‌تر تولید می‌کنند.
- انرژی مصرفی در واحدهای تقطیر آب دریا، حرارت ورودی به‌وسیله بخار با سطح حرارتی پایین است که معمولاً به ارزانی در ایستگاه‌های توان حرارت و در خروجی توربین‌های بخار قابل دسترس است.
- شیرین سازی به روش تقطیر نسبت به نوع غشایی کمتر به کیفیت آب دریا حساسیت دارند در حالی که پیش‌تصفیه آب دریا در مورد نوع غشایی حتماً باید صورت گیرد.

- هزینه‌های عملیاتی و تعمیر و نگهداری باوجود یک نیروگاه حرارتی، به‌طور عمومی برای تقطیر پایین‌تر از واحدهای غشایی است.

۱-۳-۱ انواع فرایندهای تقطیر

فرایندهای مختلف تقطیر آب دریا به شرح زیر است:

(۱) تقطیر ناگهانی چندمرحله‌ای (MSF)

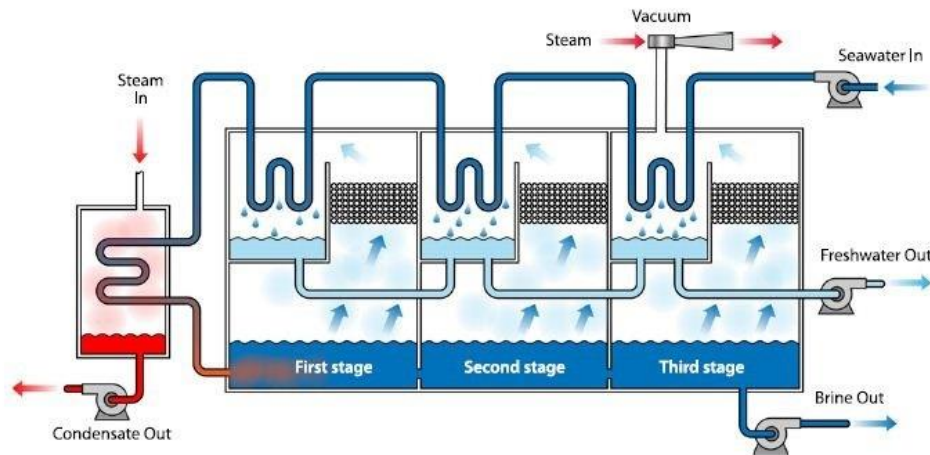
(۲) تقطیر چندمرحله‌ای به همراه لوله افقی و فیلم نازک انبساط (MED)

(۳) تقطیر یک یا چندمرحله‌ای به‌وسیله تراکم بخار (VCD)

(۱) تقطیر ناگهانی چندمرحله‌ای

در فرآیند MSF آب‌شور ورودی از دریا در محفظه‌ای به نام گرم‌کن، پیش گرم می‌شود. آب گرم شده دریا به داخل محفظه‌ای دیگری که مرحله اواپراتور (تبخیرکننده) نامیده می‌شود، جریان یافته و در آنجا غشاء در حدی تنظیم می‌گردد که آب بلافاصله به جوش می‌آید (تغذیه ناگهانی آب گرم به داخل اتاقک باعث به جوش آمدن سریع آن می‌گردد). درواقع آب به‌صورت انفجاری یا فلاشینگ به بخار تبدیل می‌گردد. این تبدیل، به فشار کنترل شده در این مرحله بستگی دارد زیرا فرآیند جوشش تا زمانی ادامه می‌یابد که آب سرد شود. معمولاً یک مجموعه آب‌شیرین‌کن MSF می‌تواند ۴ تا ۴۰ مرحله داشته باشد. بخار تولیدشده از طریق فرآیند فلاش پس از چگالیدن روی لوله‌های مبدل حرارتی که در طول هر مرحله تعبیه شده‌اند، به آب شیرین تبدیل می‌گردد. لوله‌ها به‌وسیله آب تغذیه ورودی که به گرم‌کن آب‌شور می‌رود، خنک می‌شود. با این کار آب تغذیه به‌نوبه خود گرم می‌شود، به‌نحوی که مقدار انرژی حرارتی موردنیاز در گرم‌کن آب‌شور جهت افزایش دمای آب دریا کاهش می‌یابد.

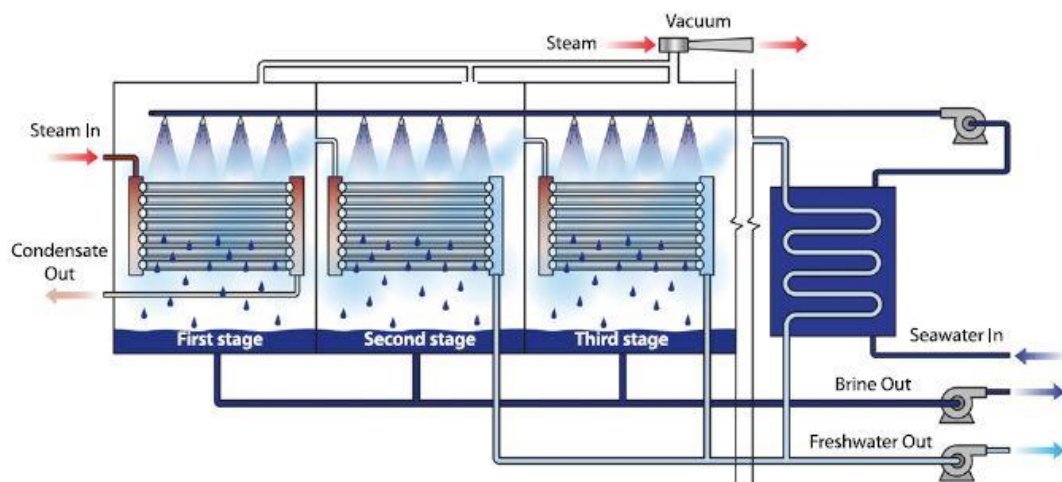
در سیستم‌های MSF چندگذر، ۵۰ تا ۷۵ درصد آب شور غلیظ شده از آخرین مرحله به آب تغذیه ورودی مخلوط می‌شود و به واسطه این فرآیند بازیافت حرارتی افزایش و مقدار مواد لازم برای تصفیه مقدماتی کاهش می‌یابد. شکل ۱-۴ شماتیک فرایند MSF را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴: شماتیک فرایند MSF [13]

۲) تقطیر چند مرحله‌ای به همراه لوله افقی و فیلم نازک انبساط

فرآیند MED مدت زیادی است که در تقطیر صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است. فرآیند تقطیر چند مرحله‌ای اولین فرآیندی است که برای تولید مقادیر قابل توجهی آب شیرین از آب دریا و در مقیاس تجاری به کار گرفته شده است. در ۲۵ سال گذشته این فرآیند از لحاظ تکنیکی پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است. در حال حاضر ۰.۵٪ ظرفیت تولید آب شیرین در جهان به این روش اختصاص دارد. فرآیند این دستگاه آب شیرین‌کن بر پایه سیستم نمک‌زدایی تقطیری به روش چند مرحله‌ای به همراه چرخش بخار می‌باشد. مانند شکل ۱-۵ هر واحد آب شیرین‌کن از چندین افکت و یک کندانسور تشکیل شده است. افکت‌ها مبدل‌های پوسته-لوله‌ای با آرایش افقی می‌باشد.



شکل ۱-۵ شماتیک فرایند MED [14]

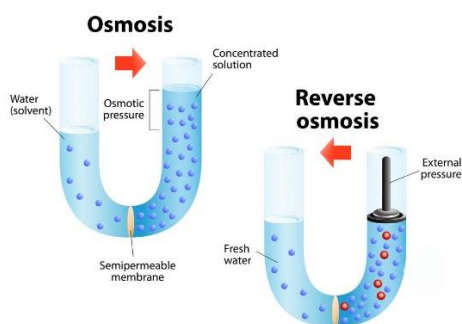
۳) تقطیر یک یا چند مرحله ای به وسیله تراکم بخار

یکی دیگر از انواع تکنولوژی‌های حرارتی شیرین سازی آب که شامل تغییر فاز است، فرایند تقطیر تراکمی بخار نامیده می‌شود. در بسیاری از نیروگاه‌های شیرین سازی آب، از ترکیب این فرایند با فرایندهای دیگر مانند تقطیر چند مرحله‌ای استفاده می‌شود. البته حالتی نیز وجود دارد که نیروگاه، تنها از فرایند تقطیر تراکمی بخار برای شیرین سازی آب استفاده کند. گرمای لازم برای بخار آب در این نیروگاه، حاصل انتقال مستقیم حرارت از بویلر نیست و تراکم بخار، این حرارت و گرما را تامین می‌کند. این فرایند یکی از فرایندهای پرکاربرد در نیروگاه‌ها و صنایع مختلف است و معمولاً از یک توربوماشین مانند کمپرسور برای تامین گرمای لازم برای بخار استفاده می‌شود. شکل ۲-۴ نمونه‌ای از فرایند تقطیر تراکمی بخار برای شیرین سازی آب را به تصویر کشیده است.

۱-۳-۲ شیرین کردن آب دریا با روش اسمز معکوس

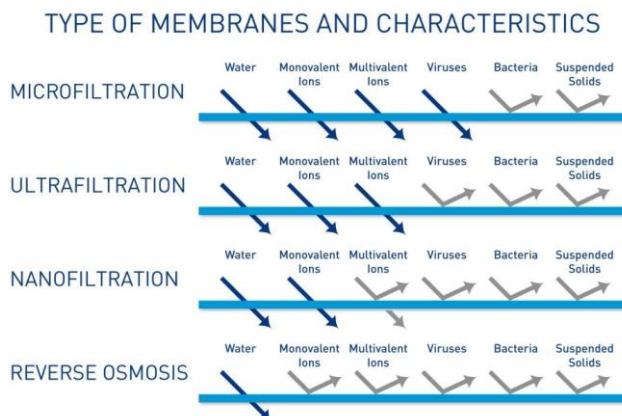
فرآیند غشایی به شیوه‌های فیزیکی برای جداسازی حلال از نمک‌های محلول در آن با استفاده از غشاهای نیمه‌تراوا اطلاق می‌شود. شناخت پدیده اسمز معکوس نیازمند شناسایی خاصیت اسمزی است. خاصیت اسمزی به عبور یک حلال از بخش محلول رقیق به بخش محلول غلیظ از درون یک غشاء

نیمه‌تراوا گفته می‌شود. اسمز معکوس فرآیندی است که در آن از فشار برای معکوس نمودن جریان اسمزی آب از درون یک غشای نیمه‌تراوا استفاده می‌شود. اگر یک غشای نیمه‌تراوا بین دو محلول آب خالص و آب ناخالص قرار گیرد آب به‌طور طبیعی و تحت خاصیت اسمزی از غلظت پایین‌تر به غلظت بالاتر جریان می‌یابد. این پدیده تا زمانی که پتانسیل‌های شیمیایی دو طرف برابر گردند ادامه خواهد یافت. در حالت تعادل اختلاف فشار بین دو طرف غشا برابر اختلاف فشار اسمزی است. اگر فشاری برابر با اختلاف فشار اسمزی به محلول غلیظ‌تر اعمال گردد جریان آب قطع خواهد شد. در صورتی که فشار اعمال‌شده بیشتر از فشار اسمزی باشد جهت جریان طبیعی آب معکوس خواهد گردید (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶ شماتیک عملکرد روش اسمز معکوس [15]

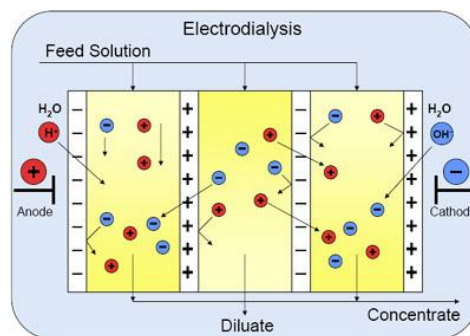
همان‌طور که در شکل مشاهده می‌گردد، در روش اسمز معکوس صرفاً مولکول‌های آب و گاز از غشا نیمه‌تراوا عبور می‌نمایند. اما در روش‌های دیگر فیلتراسیون این توانایی در حذف املاح و شوری آب وجود ندارد. علت این امر در اندازه قطر غشاء در برابر ذرات می‌باشد (شکل ۱-۷).



شکل ۱-۷ مقایسه جداسازی فرآیندهای غشایی [16]

۱-۳-۳ شیرین کردن آب دریا با روش الکترودیالیز

فرآیند الکترودیالیز به صورت تجاری از اوایل دهه ۶۰ به بازار عرضه شد. طراحی و ساخت سیستم الکترودیالیز راه مؤثری برای کاهش هزینه در فرآیند نمک زدایی آب های کم نمک ابداع کرد و در این زمینه موفقیت قابل ملاحظه ای به دست آورد. اجزاء محلول شده یونی در یک محلول نمکی مثل سدیم + ، کلسیم + و کربنات - در آب توزیع و بخش می گردند و به طور مؤثر بارهای منفرد خود را خنثی می کنند. وقتی الکترودها به یک منبع جریان مستقیم مثل باتری متصل می گردند در داخل یک ظرف حاوی محلول آب نمک قرار گرفته و جریان الکتریکی از میان محلول (الکترولیت) عبور می کند. در این حالت یونها سعی می کنند به سمت الکترودها با بار مخالف حرکت کنند (شکل ۱-۸).

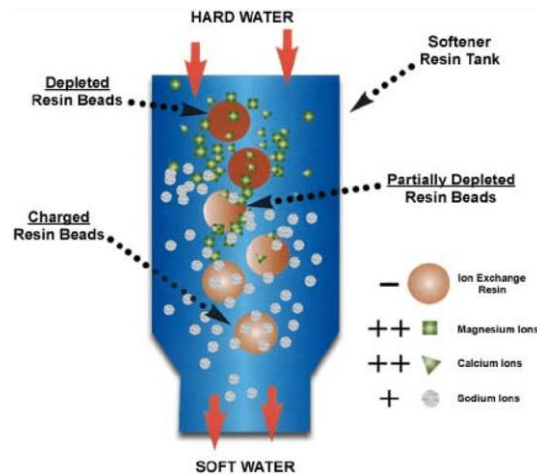


شکل ۱-۸ شماتیک عملکرد روش الکترودیالیز [17]

۱-۳-۴ شیرین کردن به روش تبادل یونی

فرآیند تبادل یونی یکی از اشکال پدیده جذب سطحی است که در آن فاز سیال در تماس با فاز جامد جذب قرار می گیرد. طی این تماس برخی از اجزای موجود در فاز سیال جذب فاز جامد شده و از سیال جدا می گردند. فرآیند تبادل یونی فرآیندی برگشت پذیر است که طی آن یون های خارجی موجود در آب جذب گروه های عاملی قرار گرفته بر روی شبکه پلیمری (فاز جامد) می گردند و بدین ترتیب هرگونه ناخالصی یونی آب برطرف می شود. پس از اشباع شدن گروه های عاملی، سیستم تحت عملیات بازیابی و شستشوی شیمیایی قرار گرفته و مجدداً مورد استفاده قرار می گیرد. محدودیت این روش این است که

برای TDS های بالای ۱۰۰۰ جوابگو نمی‌باشند و باید از روش‌های دیگری استفاده شود. احیاء این سختی گیرها به وسیله محلول آب و نمک هست. امروزه از این روش در خروجی آب تصفیه شده توسط RO به منظور تولید آب با $EC < 0.2$ استفاده می‌شود. شکل ۹-۱ مکانیزم تبادل یونی در تصفیه آب را نشان می‌دهد.

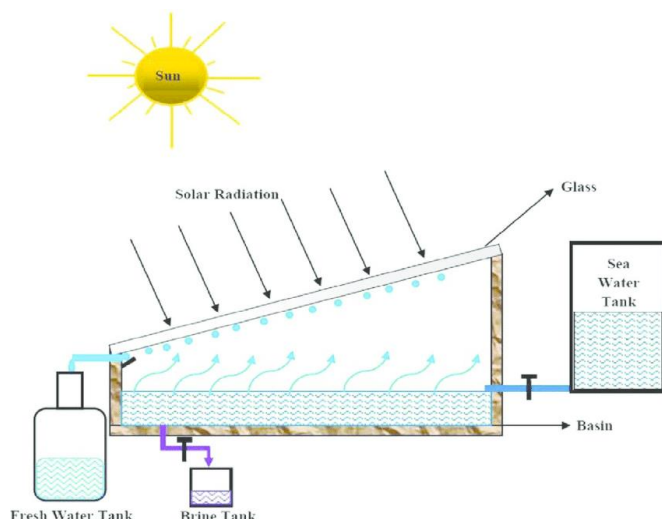


شکل ۹-۱ مکانیزم تبادل یونی در تصفیه آب [18]

در بین این روش‌ها MSF, MED و RO در مقیاس‌های بزرگ استفاده می‌شوند که همان‌طور نیز برق بیشتری مصرف می‌کنند [19] اما در بعضی مناطق که در مقیاس بزرگ لازم نیست شیرین سازی انجام شود، این روش‌ها مقرون به صرفه نمی‌باشند. بنابراین برای محیط کم جمعیت تر و در معرض تابش خوب خورشیدی روش‌های دیگر به صرفه تر می‌باشند.

۴-۱ آب شیرین کن‌های خورشیدی

روش کار ساده تر و ارزان تر آب شیرین کن‌های خورشیدی از مهم‌ترین مزیت‌هایشان نسبت به بقیه روش‌ها می‌باشد. به طوری که در یک محیط بسته، یک بستر آب شور می‌باشد و با تابش خورشید و بخار شدن آب و دوباره عمل میعان آب بدون ناخالصی به دست می‌آید (شکل ۱۰-۱).

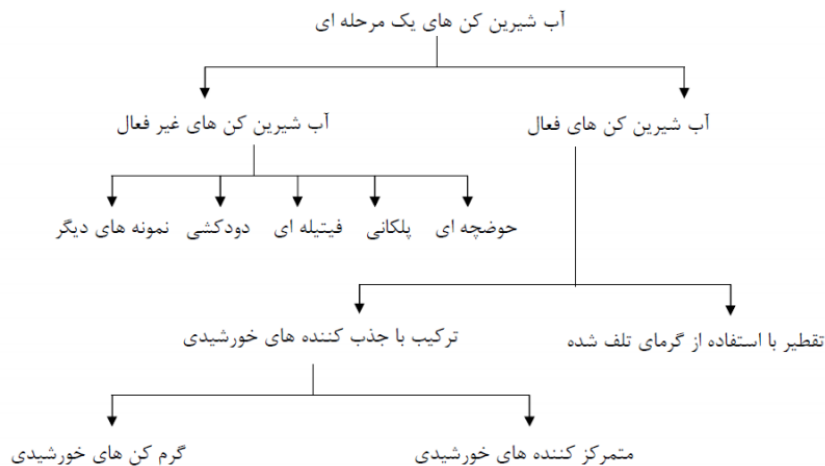


شکل ۱-۱۰ نمایی از کارکرد سیستم تقطیر خورشیدی [20]

عمق آب شور، جنس بستر آب شور، دمای محیط و آب، سرعت باد و تابش خورشید پارامترهایی هستند که روی عملکرد آب شیرین کن‌ها تأثیر دارند. هرچند بعضی از این موارد هم چون سرعت باد و تابش خورشید و ... را نمی‌توان کنترل و پیش‌بینی کرد اما برخی پارامترها قابل کنترل هستند از جمله : عمق آب بستر، مواد ساخت بدنه محفظه، زاویه سطح شفاف برای عبور تابش، دمای آب در بستر، ضخامت عایق‌ها و ... هرچه دمای آب داخل بستر با دمای سطح چگالش بیشتر باشد، تبخیر و همین‌طور میعان بیشتر می‌شود و راندمان بالاتر می‌رود هم‌چنین اگر عمق آب در بستر کمتر شود، راندمان بالاتر می‌رود [21].

آب شیرین کن‌های خورشیدی به دودسته تقسیم می‌شوند (شکل ۱-۱۱):

- آب شیرین کن‌های خورشیدی غیرفعال
- آب شیرین کن‌های خورشیدی فعال



شکل ۱-۱۱ دسته بندی آب شیرین کن های خورشیدی

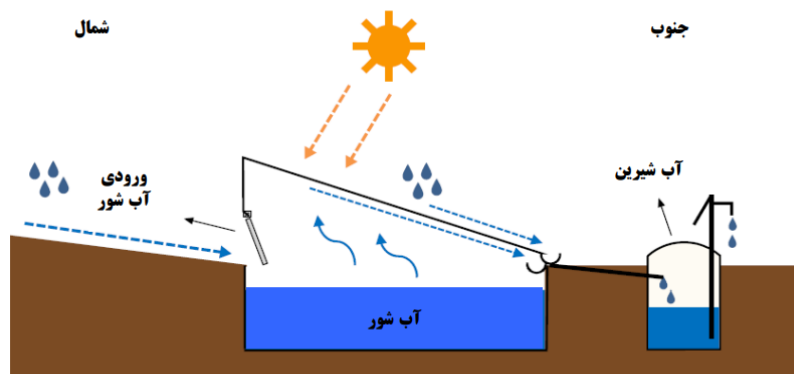
۱-۴-۱ آب شیرین کن های خورشیدی غیر فعال

در این روش تنها منبع برای بالا بردن دمای آب تابش می باشد. تابش مستقیم به روی بستر آب می تابد که این روش نرخ پایینی دارند. برای بهبود این روش آب شیرین کن های خورشیدی فعال ارائه شد [21].

۱-۴-۱-۱ آب شیرین کن خورشیدی حوضچه ای تک مرحله ای

در این گونه آب شیرین کن ها، همان طور که در شکل ۱-۱۲ نشان داده شده است، انرژی تابشی خورشید از پوشش شیشه ای و شفاف می گذرد و به صورت انرژی گرمایی جذب سطح سیاه حوضچه که در تماس با آب شور ۱، می شود. آب گرم شروع به تبخیر می کند، بخار ایجاد شده در سطح پوشش شیشه ای چگالیده می شود زیرا سطح شیشه به علت تماس با هوای بیرون سردتر از نقاط دیگر دستگاه می باشد و سپس در جهت شیب سطح به درون یک ناودان و سپس به درون یک تانک ذخیره کننده آب خالص هدایت می شود. این دستگاه روی یک زمین روباز نصب می شود به طوری که طول آن در امتداد شرق-غرب قرار گیرد. از جمله اشکالات موجود در این دستگاه، افقی بودن سطح آب داخل حوضچه است که با اشعه ی

خورشید بر خورد کمتری دارد، به علاوه ظرفیت زیاد آب شور داخل حوضچه میزان افزایش دما و در نتیجه میزان تولید آب شیرین را محدود می کند [22].



شکل ۱-۱۲ آب شیرین کن خورشیدی حوضچه‌ای تک مرحله‌ای [22]

۱-۴-۲ آب شیرین کن خورشیدی چند مرحله‌ای

این دستگاه شامل صفحات موازی فاصله‌دار و مایلی است که فضای بین هر دو صفحه یک مرحله عمل تقطیر را تشکیل می‌دهد. در این آب شیرین کن، هر صفحه نقش تبخیرکننده برای یک مرحله و تقطیرکننده برای مرحله بعدی را بازی می‌کند. طرز عمل در این دستگاه به این ترتیب است که اشعه خورشید از شیشه گذشته و در صفحه جذب‌کننده، تولید گرما می‌کند و صفحه بعدی در اثر عبور جریان آب شور، سرد می‌شود. هنگام عبور آب شور از سطح زیرین صفحه جذب‌کننده، آب تبخیر شده و روی سطح بالایی صفحه دیگر، تقطیر می‌گردد. در این عملیات گرمای دفع شده در اثر تقطیر، نقش پیش گرم‌کن برای مرحله بعدی را دارد. به این ترتیب آب‌های تقطیر شده از طریق چند صفحه و آب شور تبخیر نشده به وسیله چند سطح دیگر جریان یافته و از جریان خارج می‌شوند [22].

۱-۴-۳ آب شیرین کن خورشیدی فیتله‌ای

در این دستگاه فیتله پر منفذی از جنس پارچه سیاه وجود دارد که آب شور به آرامی از روی آن عبور داده می‌شود. نور خورشید که از روی شیشه عبور کرده باعث گرم شدن پارچه شده و عمل تبخیر

شروع می‌شود. بخار آب در برخورد با شیشه یا پلاستیک پوشش دستگاه تقطیر شده، در کانالی که در پوشش پایینی پوشش قرار دارد، جمع می‌شود و آب‌های شور نیز از ابتدای فتیله به بیرون از آب شیرین کن ریخته می‌شود. این دستگاه به علت قرار گرفتن مناسب در مقابل اشعه خورشید، همچنین به دلیل داشتن ظرفیت گرمای کمتر، دارای میزان تولید زیادی به ازای هر مترمربع از سطح جاذب هست ولی به علت خشک-شدن مای مکرر و پوسیدگی سریع فتیله از لحاظ اقتصادی به صرفه نیست [22,23].

۴-۱-۴-۱ آب شیرین کن خورشیدی پلکانی

در آب شیرین کن‌های پلکانی به علت فاصله کم شیشه و پلکان، فضای خالی سریع‌تر اشباع می‌شود و لذا راندمان آن‌ها برای تولید آب شیرین نسبت به سایر آب شیرین کن‌ها بالاتر است. از دیگر مزایای این نوع آب شیرین کن آن است که زاویه آن نسبت به نور خورشید قابل تنظیم است و می‌توان آن را در هر عرض جغرافیایی طوری تنظیم کرد که نسبت به نور خورشید بیشترین دریافت را داشته باشد. این دستگاه قابلیت تولید آب شیرین و آب گرم را به طور هم‌زمان دارا می‌باشد [22].

۴-۱-۴-۱ آب شیرین کن خورشیدی دودکشی

این دستگاه شبیه یک آب شیرین کن حوضچه‌ای است که آب شور روی صفحه سیاه‌رنگ در اثر تابش خورشید تبخیر می‌شود. بخار حاصله بنا بر جابه‌جایی طبیعی یا اجباری وارد دودکش شده و آنجا در اثر برخورد با یک مبدل گرمایی که از درون لوله‌های آن، آب شور سرد جریان دارد، تقطیر می‌گردد. در اثر فرآیند تقطیر و دفع گرما، آب شور ورودی به دستگاه، پیش گرم شده و آب شیرین تهیه شده در بخش پایین دودکش جمع و مورد استفاده قرار می‌گیرد [22].

۱-۴-۱ آب شیرین کن خورشیدی لوله‌ای هم‌مرکز

این دستگاه از دو لوله‌ی هم‌محور تشکیل شده که لوله‌ی بزرگ‌تر آن از جنس پلاستیک شفاف و لوله‌ی کوچک‌تر که درون لوله‌ی بزرگ‌تر قرار گرفته از فلز سیاه‌رنگی ساخته شده است و به‌عنوان صفحه‌ی جذب‌کننده، کار می‌نماید. آب‌شور به کمک لوله‌ای که دور لوله‌ی کوچک‌تر پیچیده شده، به درون دستگاه جریان می‌یابد و از طریق سوراخ‌هایی که روی لوله ایجاد شده به بیرون تراوش می‌نماید. روش کار در این آب‌شیرین‌کن به‌این ترتیب می‌باشد که هوا به فضای حلقوی بین دو لوله فرستاده می‌شود، تابش خورشید به‌وسیله‌ی سطح بیرونی و سیاه‌رنگ لوله‌ی کوچک جذب شده و موجب افزایش رطوبت هوا به دلیل تبخیر آب‌شور گردیده و هوای مرطوب وارد بخش درونی لوله‌ی کوچک‌تر می‌گردد. رطوبت هوا روی سطح درونی لوله‌ی کوچک تقطیر و جمع‌آوری می‌گردد [22].

۱-۴-۲ آب شیرین کن‌های خورشیدی فعال

در این روش برای بهبود تبخیر و نرخ تولید بیشتر انرژی گرمایی به‌عنوان منبع خارجی به آب داخل بستر اعمال می‌شود. سامانه‌های آب‌شیرین‌کن خورشیدی به ۳ دسته فعال با یک جمع‌کننده خورشیدی، آب پیش‌گرم شده و تولید شبنامه تقسیم می‌شوند [21].

۱-۴-۲-۱ آب شیرین کن خورشیدی فعال با یک جمع‌کننده

در این نوع از آب‌شیرین‌کن‌ها دمای آب با فراهم نمودن انرژی گرمایی اضافی از طریق کلکتورهای خورشید^۱ به تشک، افزایش می‌یابد. برای تبخیر بهتر دما از ۲۰-۵۰ درجه به ۷۰-۸۰ در سامانه‌های تقطیر تغییر پیدا می‌کند. آب‌شیرین‌کن خورشیدی فعال با جمع‌کننده به حالت زیر دسته‌بندی می‌شود:

- آب‌شیرین‌کن خورشیدی فعال با کلکتور صفحه تخت

¹ Solar Collector

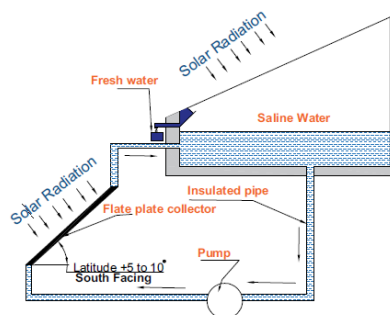
- آب شیرین کن‌های خورشیدی با متمرکز کننده سهموی
- آب شیرین کن خورشیدی همراه با کلکتورهای لوله خلأ

الف) آب شیرین کن خورشیدی فعال با کلکتور صفحه تخت^۱

کلکتورهای صفحه تخت به دو روش گردش اجباری^۲ یا روش گردش طبیعی^۳ کار می‌نمایند. در روش گردش اجباری، پمپی برای فراهم آوردن آب استفاده می‌شود و در روش گردش طبیعی آب به دلیل اختلاف دانسیته جاری می‌گردد. آب شیرین کن‌های فعال دمابالا با کلکتور تخت به گروه‌های زیر نیز تقسیم می‌شوند.

○ نوع جابجایی اجباری

در این نوع آب شیرین کن، آب گرم شده در کلکتور خورشیدی توسط یک پمپ سیرکولاسیون کوچک به درون تشتک آب شیرین کن منتقل شده و این جریان دائمی باعث افزایش دمای آب درون تشتک می‌گردد. بدیهی است که افزایش تعداد کلکتورها به دلیل افزایش سطح حرارتی و جمع‌آوری انرژی حرارتی بیشتر باعث بالاتر رفتن دمای آب سیستم می‌گردد (شکل ۱-۱۳).



شکل ۱-۱۳ طرح‌واره آب شیرین کن ساده خورشیدی نوع جابجایی اجباری [24]

¹ Flat Plate Collector (FPC)

² Forced Circulation

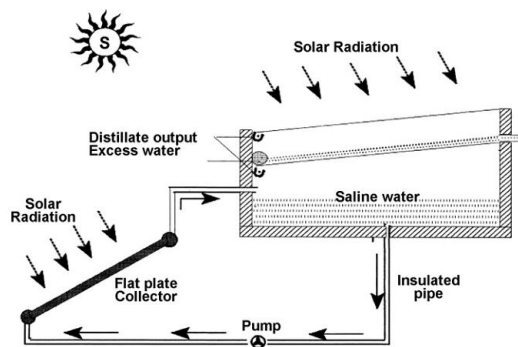
³ Natural Circulation

○ نوع جابجایی طبیعی

اساس کار در این سامانه‌ها جریان ترموسیفون می‌باشد. با گرم شدن آب درون کلکتور خورشیدی، چگالی آب کاهش یافته و به سمت بالا حرکت می‌کند. با قرار دادن سیستم آب‌شیرین‌کن در ارتفاعی بالاتر از کلکتور، آب گرم شده در کلکتور به صورت طبیعی به درون تشتک منتقل می‌شود.

○ آب‌شیرین‌کن خورشیدی فعال دو اثره^۱

در این سیستم به منظور بالا بردن اختلاف دمای بین آب درون تشتک و سطح شیشه‌ای، از شیشه‌ای دوجداره استفاده می‌شود که بین آن‌ها آب در جریان است. جریان آب باعث پایین آمدن دمای سطح تقطیر می‌گردد و بازده سیستم را بالا می‌برد. برخی تحقیقات تجربی حاکی از این است که این روش باعث بالا رفتن ۲۰ تا ۳۰ درصدی راندمان سیستم می‌گردد [25].



شکل ۱-۱۴ طرحواره آب‌شیرین‌کن خورشیدی فعال دو اثره [26]

○ آب‌شیرین‌کن خورشیدی فعال با بازیاب^۲

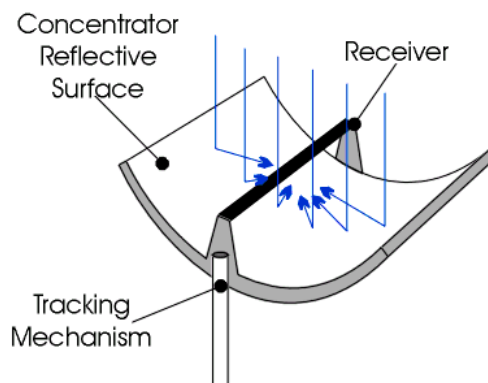
¹ Double effect active solar still

² active regenerative solar still

در این مدل، آب درون تشتک وارد یک مبدل حرارتی شده و بدین طریق علاوه بر انرژی خورشیدی از یک منبع گرمایی دیگر برای بالا بردن دمای آب استفاده می‌شود. این منبع گرمایی می‌تواند گازهای داغ حاصل از احتراق یک بویلر باشد که در این صورت از انرژی تلف‌شده در بویلر هم بهره‌برداری می‌گردد.

ب) آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی با متمرکز کننده سهموی^۱

متمرکز کننده سهمی شکل یا کلکتور خورشیدی، تشعشع خورشید را در سطح وسیعی روی جاذب کوچک یا سطح دریافت‌کننده‌ای متمرکز می‌کند. عملکرد متمرکز کننده‌ها بسیار وابسته به مکانیزم پی‌گیری تابش خورشید است. مکانیزم پیگیری باید کلکتورها را در طول روز حرکت دهد تا برای دستیابی به بازده بالاتر آن‌ها را متمرکز بر اشعه خورشید نگه دارد (شکل ۱-۱۵) [27].



شکل ۱-۱۵ متمرکز کننده سهمی [28]

این نوع کلکتورهای خورشیدی در مقایسه با کلکتورهای صفحه تخت به دمای بالاتری می‌رسند زیرا سطح اتلاف گرما را کاهش می‌دهند. برای دستیابی به بازده بالاتر در آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی، متمرکز کننده برای افزایش دمای آب داخل تشتک، با آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی کوپل شده است. آب یا روغن توسط جابجایی طبیعی یا اجباری، به لوله دریافت‌کننده تغذیه خواهد شد [27].

¹Solar still coupled with parabolic concentrator

ج) آب شیرین کن خورشیدی همراه با کلکتورهای لوله خلأ^۱

کلکتورهای خورشیدی لوله خلأ با صرفه تر از کلکتورهای تخت برای گرم کردن آب می باشند. کلکتورهای لوله خلأها به خاطر بازده بالایشان در مقایسه با کلکتورهای صفحه تختها به خوبی شناخته شده هستند. در کلکتورهای صفحه تخت در اشعه خورشید تنها در ظهر عمود بر کلکتور است و بنابراین سهمی از نور خورشید که به سطح کلکتور برخورد می کند، احتمالاً همیشه بازتاب می شود. اما در کلکتورهای لوله خلأ به علت شکل استوانه ای اشعه خورشید بیش تر روز عمود بر سطح شیشه است. لوله های خلأ اتلافات گرمایی را با ایجاد خلأ در جداره لوله ها به مقدار زیادی کاهش می دهند.

۱-۴-۲ آب شیرین کن خورشیدی فعال با آب پیش گرم شده^۲ و فعال شبانه^۳

در روش آب پیش گرم شده، از آب پیش گرم شده برای افزایش دمای آب داخل تشتک استفاده می شود. این آب توسط روش های مختلف می تواند پیش گرم شده باشد. البته بهترین و پاک ترین و اقتصادی ترین روش برای پیش گرمایش، استفاده از انرژی تلف شده در بویلرها یا انرژی هرز رفته در صنایع مختلف مانند صنایع شیمیایی، غذایی، کاغذسازی و ... می باشد [29]. در فعال شبانه تولید آب شیرین در غیاب تابش خورشید و حتی در طول شب، از اهداف ساخت این نوع آب شیرین کن می باشد. انرژی اضافه شده به مجموعه در طول شب ممکن است توسط انرژی خورشیدی ذخیره شده یا از طریق اتلاف حرارتی از منابع دیگر به دست آید [30].

۱-۵ ترموالکتریک

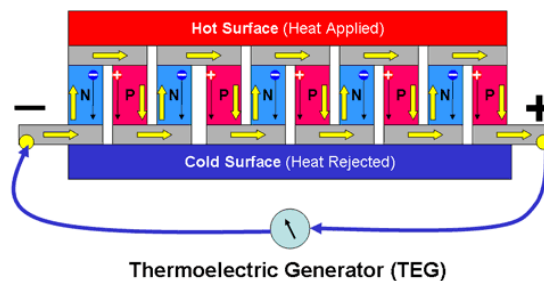
یکی از روش های مناسب به منظور تولید توان از انرژی حرارتی استفاده از ترموالکتریک می باشد. سلول های ترموالکتریک از عناصر نیمه هادی نوع p (موادی که در آنها تعداد حفره ها از تعداد الکترون ها

² Evacuated Tube Collector (ETC)

¹ Preheated water active solar still

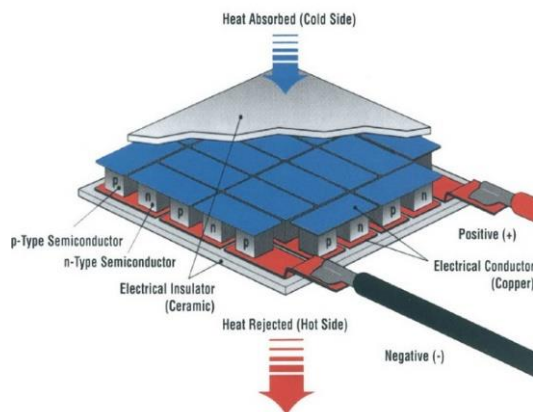
² Nocturnal active solar still

بیشتر می‌باشد) و نوع n (موادی که در آن‌ها تعداد الکترون‌ها از حفره‌ها بیشتر است) تشکیل شده‌اند. نحوه تولید برق در شکل ۱-۱۶ نشان داده شده است. در نیمه‌هادی نوع n الکترون‌ها در منطقه با دمای بالا فعال شده و به ناحیه با دمای پایین‌تر حرکت می‌کنند و ایجاد نیروی محرکه الکتریکی می‌نمایند، بنابراین پتانسیل الکتریکی در طرف گرم آن افزایش می‌یابد. از طرف دیگر در نیمه‌هادی نوع p، حفره‌ها در ناحیه با دمای بالا فعال شده و به سمت ناحیه با دمای کمتر حرکت می‌کنند و ایجاد نیروی محرکه الکتریکی می‌نمایند. بنابراین، پتانسیل الکتریکی در طرف سرد آن افزایش می‌یابد. هنگامی که این دو نیمه‌هادی به هم متصل شوند، جریانی بین دو نیمه‌هادی نوع n و p برقرار می‌شود [31].

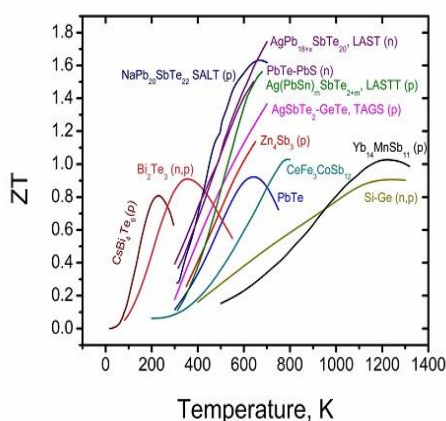


شکل ۱-۱۶ شماتیک تولید توان در سلول ترموالکتریک [33]

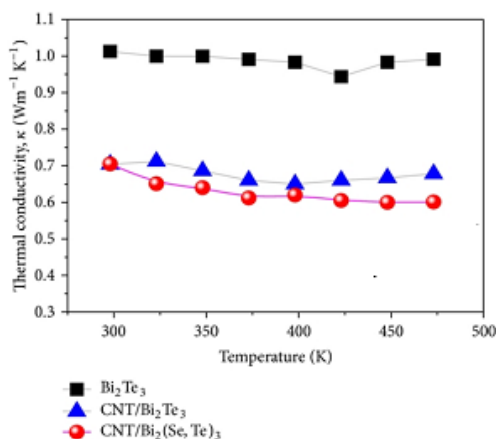
سلول‌های ترموالکتریک با هدایت الکترون، گرما را نیز انتقال می‌دهند که باعث به وجود آمدن اختلاف دمایی کم بین دو سطح سلول‌های ترموالکتریک می‌شود [34]. در طراحی آن‌ها می‌توان آن‌ها را بسته به شکل منبع حرارتی و یا منبع سرمایی مورد نظر به شکل تخت، سیلندر و ... ساخت. زوج‌های N/P از نظر الکتریکی باهم سری از نظر گرمایی باهم موازی می‌باشند [35]. در شکل ۱-۱۷ ساختار مدول ترموالکتریک و شکل ۱-۱۸ هدایت حرارتی و رقم شایستگی مواد سازنده ترموالکتریک نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۷ ساختار مدول ترموالکتریک [35]



ب



الف

شکل ۱-۱۸ (الف) هدایت حرارتی مواد ترموالکتریک (بیسموت تلورايد) [36] (ب) رقم شایستگی مواد ترموالکتریکی [36]

۱-۵-۱ اثرات ترموالکتریک

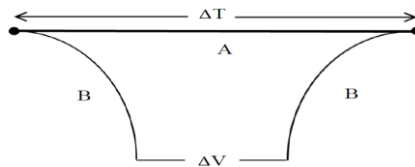
ترموالکتریک ها ۳ اثر سیبک، پلتیر و تامسون دارند که در ادامه هر کدام توضیح داده شده است.

۱-۵-۱-۱ اثر سیبک

اثر سیبک^۱ در سال ۱۱۲۱ میلادی توسط دانشمندی به نام سیبک کشف شد. وی دریافت که هرگاه یک طرف ماده‌ای داغ‌تر از طرف دیگر باشد، الکترون‌های سمت داغ‌تر، سریع‌تر حرکت می‌کنند. در این

¹ Seebeck effect

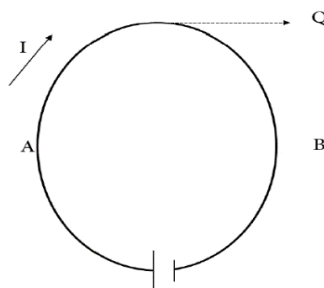
فرآیند برخی از این الکترون‌ها به سمت ناحیه سرد حرکت کرده و جریان الکتروسیسته به وجود می‌آورند. بنابراین اگر اختلاف دمایی ΔT بین دو فلز ناهم‌جنس ایجاد شود، اختلاف پتانسیلی (V) بین دو سر فلزات به وجود می‌آید. در شکل ۱۹-۱، A و B دو فلز غیر هم‌جنس می‌باشند.



شکل ۱۹-۱ شماتیک اثر سبیک [37]

۱-۵-۱ اثر پلتیر

جن پلتیر ثابت کرد که جریان عبوری از میان دو هادی غیرمشابه، باعث می‌شود که گرما منتشر شود و یا در محل اتصال جذب شود این پدیده برعکس پدیده سبیک است، به این معنا که جریان عبوری از محل اتصال دو فلز غیرمشابه (I) در یک‌جهت گرما (Q) تولید می‌کند و در جهت دیگر گرما جذب می‌کند. اثر پلتیر^۱، به پیوندگاه هم‌دمای بین دو ماده متفاوت نسبت داده می‌شود. وقتی از این پیوندگاه جریانی در یک‌جهت عبور کند، گرما ایجاد می‌شود و با معکوس کردن جهت این جریان باعث جذب همان مقدار گرما می‌شود. این گرما با چگالی جریان نسبت مستقیم دارد. در شکل ۲۰-۱، حروف A و B بیانگر دو فلز غیر هم‌جنس و I جریان عبوری و Q حرارت تولیدی است [37].



شکل ۲۰-۱ شماتیک اثر پلتیر [37].

¹Peltier effect

۱-۵-۳ اثر تامسون

اثر تامسون^۱ در سال ۱۱۳۴ میلادی توسط ویلیام تامسون ملقب به لرد کلونین ریاضیدان، فیزیکدان و مهندس ایرلندی-اسکاتلندی کشف شد. این اثر در ماده واحدی که گرادیان دمایی هم داشته باشد، رخ می‌دهد. جریان در یک جهت گرما تولید می‌کند، در حالی که در جهت مخالف همان گرما را جذب می‌کند. در واقع دو پدیده پلتیر و تامسون مبین این امر هستند که اختلاف پتانسیل الکتریکی می‌تواند اختلاف دما به وجود آورد و در اساس، ولتاژ در برق مانند اختلاف دما در انتقال حرارت است. در انتقال حرارت می‌توان یک سامانه گرمایی را با یک مدار الکتریکی معادل‌سازی کرد و به جای کار با اجسام و خواص انتقال حرارت با آن مدار معادل الکتریکی مسئله را تحلیل کرد.

۱-۵-۲ کاربردهای ترموالکتریک

فناوری ترموالکتریک در کاربردهای گسترده‌ای از قبیل خنک‌کننده‌های لیزر دیودی کوچک، یخچال‌های قابل حمل، خنک‌کننده‌های مایع و غیره استفاده می‌شود. یکی از کاربردهای ترموالکتریک، استفاده از آن‌ها در حفاظت کاتدیک می‌باشد. ژنراتورهای ترموالکتریک برق لازم جهت حفاظت از خوردگی لوله‌های نفت و گاز را تأمین می‌کنند. در این حالت ژنراتورهای ترموالکتریک می‌توانند به مدت طولانی با کمترین هزینه تعمیر و نگهداری، جریان لازم جهت حفاظت کاتدی خطوط لوله‌های نفت و گاز را که اغلب نصب تجهیزات متداول تأمین انرژی الکتریکی برای این هدف با هزینه‌های گزاف انجام می‌گیرد را به‌سادگی تأمین کنند [38]. ترموالکتریک به‌عنوان سرما سازهای موضعی برای قطعات الکترونیکی حساس مانند آشکارسازهای مادون قرمز، مدارهای مجتمع و تثبیت‌کننده دما در لیزرهای دیودی و نوری دوربین‌های دیجیتال و آشکارسازهای CCD کاربرد دارند [39].

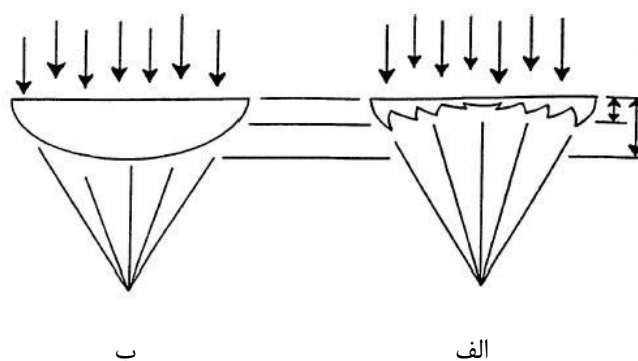
¹ Thomson effect

۱-۶-۱ لنز فرزنل

لنز فرزنل توسط آگوستین جان فرزنل در سال ۱۸۲۲ ساخته شد [40]. لنز فرزنل نسبت به بقیه لنزها سبک‌تر است چون مواد کمتری در آن به کار رفته است. در این نوع لنزها قابلیت جداسازی تابش مستقیم غیرمستقیم وجود دارد به همین خاطر دمای بالاتری ایجاد می‌کند [41].

۱-۶-۱ اصول کارکرد لنز فرزنل

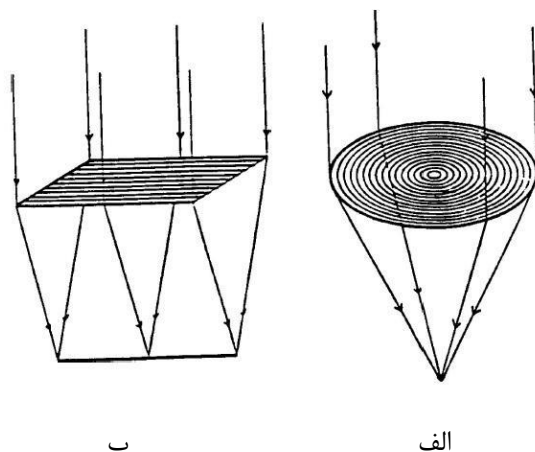
لنز فرزنل یک قطعه شفاف است که سطح آن شیارهای زیادی دارد که هر یک از این شیارها به نوعی مانند یک لنز معمولی هستند (شکل ۱-۲۱).



شکل ۱-۲۱ الف) لنز فرزنل [41] ب) لنز معمولی [41]

۱-۶-۲ انواع لنز فرزنل

با توجه به کاربرد لنز فرزنل به دودسته تصویرساز و غیر تصویرساز تقسیم می‌شوند. نوع تصویرساز نور رسیده از شیء را در روی فاصله کانونی خود تصویر می‌کند. نوع غیر تصویر سازش در سامانه‌های خورشیدی که نیازی به تصویر نیست و فاصله کانونی کوتاه‌تری لازم است، استفاده می‌شوند. هم‌چنین لنزهای فرزنل با توجه به نوع شیار به دو دسته تقسیم می‌شوند: خطی و دایره‌ای. لنز فرزنل خطی دارای شیارهای موازی هست که تابش را بر روی یک خط متمرکز می‌کند و لنز فرزنل دایره‌ای شیارهایی دایرویی هم‌مرکز هستند که تابش بر روی یک نقطه متمرکز می‌کنند (شکل ۱-۲۲).



شکل ۱-۲۲ الف) لنز فرزنل دایره‌ای ب) لنز فرزنل خطی [41]

۷-۱ تعریف مسأله

بشر به منظور تأمین آب آشامیدنی در مصارف خانگی، بهداشتی، صنعتی و کشاورزی به منابع آب‌های زیرزمینی، رودخانه‌ها و دریاچه‌های آب شیرین وابسته است. با این وجود رشد سریع صنعت و افزایش جمعیت باعث تقاضای زیاد آب شیرین شده است که به این مشکل، آلودگی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها به وسیله فاضلاب‌های صنعتی اضافه می‌شود. در مقیاس جهانی، آلودگی منابع آب ناشی از فعالیت‌های انسان، در حال تبدیل شدن به یکی از بزرگ‌ترین دلایل کمبود آب آشامیدنی هست. هم‌چنین مشکل توزیع نابرابر آب شیرین در جهان نیز وجود دارد. برای مثال کشور کانادا با یک درصد جمعیت جهان، ۱۰٪ از منابع آب شیرین را در اختیار دارد [42]. شرایط خشک‌سالی به خصوص در سال‌های اخیر در مناطق مختلف ایران به‌ویژه در جنوب کشور منجر به کاهش دسترسی به آب آشامیدنی گردیده است. در این مناطق عموماً آب شیرین به صورت جاری وجود نداشته و تأمین آب از طریق حفر چاه‌های بسیار عمیق امکان‌پذیر است. این موضوع علاوه بر هزینه‌های گزاف، مشکل غیربهداشتی و شور بودن آب‌های زیرزمینی را نیز در بر دارد. از طرفی تأمین آب آشامیدنی از طریق انتقال آب از شهرهای بزرگ به مناطق دورافتاده و محروم مشکلات دیگری شامل هزینه بالای انتقال و احداث شبکه آبرسانی دارد که این امر را غیراقتصادی می‌نماید. روش متداولی که برای تأمین آب شرب در مناطق خشک به کار گرفته می‌شود استفاده از دستگاه‌های معمول آب‌شیرین‌کن می‌باشد که مشکلاتی از قبیل تأمین انرژی و سوخت

موردنیاز، فناوری بالا در این گونه سامانه‌ها، هزینه بالای ساخت و تعمیر و نگهداری، ظرفیت بالا و عدم کاربری آن برای مناطق با جمعیت محدود باعث می‌شود که استفاده از این گونه سامانه‌ها در روستاها امری غیرممکن باشد [43]. بررسی‌ها نشان می‌دهد تنها سامانه‌ای که بتواند حائز تمامی شرایط فوق باشد، سامانه‌های آب‌شیرین‌کن خورشیدی می‌باشند. برآوردها نشان می‌دهد که کشورهای جهان انرژی خورشید را به‌عنوان یکی از منابع اصلی تأمین‌کننده انرژی در آینده می‌دانند و بر این اساس از هم‌اکنون برنامه‌ریزی‌ها و فعالیت‌های گسترده‌ای در جهت گسترش کاربرد این انرژی در مصارف مختلف به انجام رسانده‌اند [44]. اما از نور خورشید به‌طور مستقیم نمی‌توان به‌جای سوخت‌های فسیلی بهره برد بلکه باید دستگاه‌هایی ساخته شود که بتوانند انرژی تابشی خورشید را به انرژی قابل‌استفاده نظیر انرژی مکانیکی، حرارتی، الکتریسیته و ... تبدیل کنند. انرژی خورشید به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم می‌تواند دیگر اشکال انرژی همانند گرما و الکتریسیته تبدیل شود.

۸-۱ اهداف تحقیق

در این پایان‌نامه ابتدا روش‌های شیرین‌سازی آب و انواع آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی توضیح داده شده و در ادامه به معرفی ترموالکتریک، کاربردها و راندمان آن و همچنین لنز فرزنل و خواص آن پرداخته شده است. سپس دو سیستم خورشیدی ساخته شده و اجزای آن‌ها به‌طور مفصل تشریح گردیده و درنهایت، نتایج حاصل از آزمایش سامانه‌ها ارائه گردیده است. اهداف تحقیق به‌طور خلاصه عبارت‌اند از:

۱- طراحی و ساخت دو سامانه ترکیبی خورشیدی به‌منظور تولید حرارت، آب شیرین، برق و ایجاد سرمایه به کمک لوله خلأ و لنز فرزنل.

۲- بررسی میزان تأثیر لنز فرزنل در زمان لازم برای رسیدن به نقطه‌جوش آب و همچنین میزان تبخیر آب در زاویه‌های مختلف.

۳- بررسی قابلیت افزایش راندمان آب‌شیرین‌کن خورشیدی.

فصل دوم
پیشینه تحقیق

۲-۱ مقدمه

در سامانه‌های ترکیبی ترموالکتریک- خورشیدی، انرژی خورشید با کمک سلول‌های ترموالکتریک به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. در این فرآیند به کمک اثر سبیک و حرارت خورشید در سمت گرم ترموالکتریک و حرارت زدایی سمت دیگر آن اختلاف دمایی در طول سلول ترموالکتریک حاصل شده و جریان الکتریکی در مدار ایجاد می‌شود [45]. تحقیقات زیادی در زمینه ی آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی انجام شده که در بعضی موارد از ترموالکتریک برای افزایش دمای حوضچه آب استفاده شده است به طوری که ترموالکتریک را در کنار شیشه حوضچه قرار می‌دهند و سطح داغ آن دمای درون حوضچه را بالا می‌برد و هم چنین از ترموالکتریک برای بخار کردن آب بدون استفاده از انرژی خورشید استفاده می‌شود که انرژی ورودی آن از برق تامین می‌شود و از لنز فرزنل معمولا برای پیش‌گرمایش آب استفاده می‌شود.

۲-۲ کارهای انجام شده توسط محققین دیگر در گذشته

آتیک [46] شبیه‌سازی عددی یک مولد ترموالکتریک- خورشیدی (STEG) را مورد ارزیابی قرارداد. در مدل او، سمت گرم ترموالکتریک به وسیله‌ی کلکتورهای سهموی گرم شده و سمت سرد مدول به وسیله‌ی آب در دمای ثابت، سرد می‌شد. او همچنین رفتار حرارتی و الکتریکی متمرکز کننده‌ها و ترموالکتریک را بررسی کرد. هوانگ و همکاران گزارش داد که دو عامل اصلی برای افزایش کارایی ماژول ترموالکتریک، مقاومت حرارتی سینک حرارتی و ظرفیت خنک کاری مناسب برای رسیدن به عملکرد مطلوب است.

کاسینر و همکاران [47] یک آزمایش تجربی و تحلیلی برای یک سیستم ترموالکتریک پیش سرمایه‌گذاری با هوا و پیش گرم ارائه کردند و دریافتند که سیستم می‌تواند به ضریب عملکرد (COP) ۱/۵ در حالت خنک کننده و حدود ۲ در حالت گرمایش برسد. گیلوت و همکاران [48] از ماژول‌های ترموالکتریک

برای فضای کوچک استفاده کردند. بهینه‌سازی مربوطه و ساخت یک نمونه اولیه سیستم که شامل بود از هشت ماژول خنک‌کننده برای تولید یک ظرفیت خنک‌کننده تا ۲۲۰ ولت با COP ۰/۴۸ و ورودی ۴/۶ آمپر. چن [49] در مورد بازده تئوری مولد ترموالکتریک- خورشیدی تحقیقاتی انجام داد. او نتیجه گرفت که برای یک نسبت تمرکز اپتیکی مشخص، دمای بهینه سمت گرم ترموالکتریک بستگی به مواد سازنده آن، ضریب شایستگی بی‌بعد مدول، ویژگی‌های اپتیکی سطوح و بازده نوری سیستم دارد.

آمر و اینفیلد [50] مدل تئوری یک مدول ترموالکتریک را مورد بررسی قرار دادند. در این مدل، بهینه‌سازی هندسی پایه‌های المنت و عملکرد بهینه‌ی مدول در شرایط تولید توان مورد ارزیابی قرار گرفت. دو سال بعد آن‌ها موفق شدند، یک متمرکز کننده خورشیدی دومرحله‌ای برای تولید توان از مدول ترموالکتریک را طراحی کنند. مانیوان و خداری [51] سامانه‌ای متشکل از کلکتورهای خورشیدی سقفی و ترموالکتریک را طراحی کردند. توان تولیدشده در این سیستم، باعث حرکت یک فن جریان محوری برای ایجاد هوای مطبوع اتاق‌های کوچک زیرشیروانی شده است. آن‌ها برای شبیه‌سازی نور خورشید از یک لامپ هالوژنی با توان متغیر بین ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ وات استفاده کردند و موفق شدند به‌طور تجربی در شدت تابش 800 w/m^2 و در هوای محیط بین ۳۰ تا ۳۵ درجه به $1/2$ وات توان دست یابند.

چامپیر و همکارانش [52] به‌طور آزمایشگاهی یک نمونه اجاق آشپزی بیوماس را ساخته و مورد آزمایش قرار دادند. آن‌ها یک محفظه‌ی احتراق با بازدهی بالا طراحی کرده و مدول‌های ترموالکتریک را در دو سمت اجاق نصب کردند. نتایج نشان داد که از ۴ مدول ترموالکتریک حدود ۶ وات توان از این اجاق تولیدشده است. نوی هید و دستیارانش [53] یک اجاق ترموالکتریکی خانگی را مورد آزمایش قرار دادند. آن‌ها در این اجاق از جریان طبیعی جابجایی جهت سرمایه‌ی سمت سرد ترموالکتریک استفاده نمودند. نتایج نشان داد که توان تولیدی در حالت ماکزیمم در یک مدول ترموالکتریک، حدود ۰/۹ وات توان

بود. همچنین نشان دادند که اگر از چندین مدول ترموالکتریک و یک چاه حرارتی استفاده کنند، توان تولیدی سیستم کاهش می‌یابد.

او و دستیارانش [54] ترکیب لوله‌های حرارتی- خورشیدی با مولد ترموالکتریک (TEG-SHP) را با لوله‌های شیشه‌ای دو پوسته‌ای تحت خلأ مقایسه کردند. مدل تحلیلی آن‌ها تأثیرات پیچیده‌ی پارامترهایی نظیر شدت تابش، دمای آب سرد و غیره را روی ماکزیمم توان خروجی و بازده تبدیل نشان می‌داد. در سال ۲۰۱۲، زائو و همکارانش [55] مدل المان محدود سه‌بعدی یک مدول ترموالکتریک را بر اساس مواد ترموالکتریکی (بیس‌موت تلوراید) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌داد که طراحی حرارتی معقولانه یک مولد ترموالکتریک می‌تواند روی خصوصیات مواد ترموالکتریک تأثیر گذاشته و به‌طور مؤثرتر باعث بهبود عملکرد الکتریکی مدول شود.

دای و همکاران [56] یخچال و فریزر ترموالکتریک که توسط سلول‌های PV خورشیدی هدایت می‌شود ساختند. دمای یخچال در بین ۵ تا ۱۰۱ درجه سانتی‌گراد است و COP آن حدود ۰/۳ است. یک مطالعه توسط ویان و همکاران انجام شد [57]. آن‌ها یک نمونه اولیه رطوبت‌سنج کوچک را که از سه ماژول خنک‌کننده ترموالکتریک و یک مدل محاسباتی (AERO) برای طراحی و بهینه‌سازی عملکرد ماژول‌ها ساخته‌شده بود را توسعه دادند. سیستم آن‌ها ۱۰۰ وات را به‌طور مطلوب مصرف کرد که COP ۰/۸۲٪، که بسیار پایین‌تر از فشار بخار بود. او و همکاران [54] روش‌های تجربی و تحلیلی برای ترکیب ماژول‌های ترموالکتریک با کلکتور خورشیدی heat tube شیشه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد نتایج شبیه‌سازی و داده‌های تجربی یکسان هستند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که برای دمای آب ۴۵ درجه سانتی‌گراد و تابش خورشید بزرگ‌تر از 600 w/m^2 واحد SHP-TE ممکن است دارای بازده حرارتی حدود ۵۵ درصد و بازده الکتریکی بالاتر از ۱٪ باشد.

حسن نیا و همکاران [58] به مطالعه تولید هم‌زمان برق و آب پیش‌گرم شده توسط سلول‌های ترموالکتریک پرداختند. در تحقیق خود، یک لنز فرزنل و یک ماژول ترموالکتریک استفاده شد. نتایج

نشان داد در برابر تابش خورشید با شدت $705/9 \text{ w/m}^2$ توان خروجی $1/08$ وات با بهره‌وری $51/33\%$ بود. قدرت برق برای یک جریان با نرخ $0/002$ کیلوگرم در ثانیه و دمای اولیه 19 درجه سانتی‌گراد $1/038$ وات بود.

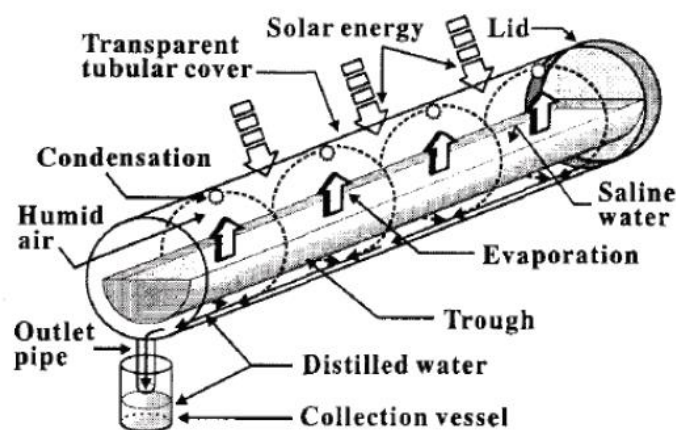
فن و همکاران [59] ژنراتور ترموالکتریک متمرکز (CTEG) را به صورت تئوری و تجربی با استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی مورد تحلیل قرارداد. تحت حداکثر شار حرارتی، یک ژنراتور TEG تنها $4/9$ وات (اختلاف دمای 109 درجه سانتی‌گراد) تولید می‌کند و بهره‌وری برق $2/9$ درصد است. سیستم کلی CTEG قادر به تولید توان الکتریکی تا $5/9$ وات (تفاوت دما در 35 درجه سانتی‌گراد) با دمای گرم 68 درجه سانتی‌گراد است. کریمر و همکارانش [60] یک کلکتور تخت خورشیدی را تشریح کردند که قادر به تولید توان بر اساس اثر سیبک و نسبت تمرکز بالا بود. بازده مولد ترموالکتریکی خورشیدی آن‌ها تحت شدت تابش 1 kw/m^2 حدود $4/6$ درصد بوده است که $7-8$ مرتبه بیشتر از موارد قبلی گزارش شده در مورد ترکیب پنل های تخت خورشیدی و مدول ترموالکتریک می‌باشد.

هی^۱ و دستیارانش [61] ترکیب لوله های حرارتی خورشیدی^۲ با مولد ترموالکتریک (SHP-TEG) را با لوله های شیشه ای دوپوسته ای تحت خلاء مقایسه کردند. مدل تحلیلی آنها تاثیرات پیچیده ی پارامتر های شدت تابش، دمای آب سرد و غیره را روی ماکزیمم توان خروجی و بازده نشان میداد. رودریگوز و کاماچو به بررسی سیستم تقطیر خورشیدی چند مرحله ای متصل شده به جمع کننده سهموی برای نمک زدایی آب دریا پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از سامانه متمرکزکننده عملکرد بالاتری در طول سال برای مناطق ساحلی دارد [62]. نتایج تحقیق بکارگیری سیستم نمک زدایی خورشیدی، متصل شده به جمع کننده سهموی با لوله کانونی و مبدل گرمایی نتایج نشان داد با بکارگیری این سامانه، تولید آب به طور متوسط 18% افزایش می دهد [63].

⁴ He et.al.

⁵ Solar heat pipe

سامی^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۷ [64] به ساخت یک آب شیرین کن غیر فعال دست زدند. آنان با اندازه گیری پارامتر های مختلف حاکم بر دستگاه، میزان کارایی دستگاه خود را تا ۳۰٪ و میزان خروجی آن را در تابستان ۳/۱ لیتر بر متر مربع اعلام کردند. هیدوری^۲ و همکاران [65] نیز با ترکیب یک سیکل تبرید با یک آب شیرین کن ساده خورشیدی، به بررسی عملکرد دستگاه در شرایط مختلف پرداختند. آنان افزایش بیش از ۶ برابری در تولید آب شیرین و بیش از ۴ برابری در کارایی دستگاه را گزارش نمودند. در سال ۲۰۰۴ ایسلام و همکاران [66] با در نظر گرفتن اثرات هوای مرطوب درون آب شیرین کن لوله ای به مدل سازی عملکرد این دستگاه پرداختند. در سال ۲۰۰۵ آقای ایسلام و فوکوهارا [67] در تحقیق دیگری نشان دادند که در نظر گرفتن هوا به صورت اشباع در درون آب شیرین کن لوله ای باعث ایجاد خطا در محاسبات عددی خواهد شد. نتایج تحقیق آنان هم چنین نشان داد که همواره بین شروع فرایندهای تبخیر و تقطیر فاصله زمانی وجود خواهد داشت. شکل ۱-۲ شماتیک سیستم آن ها را نشان می دهد.

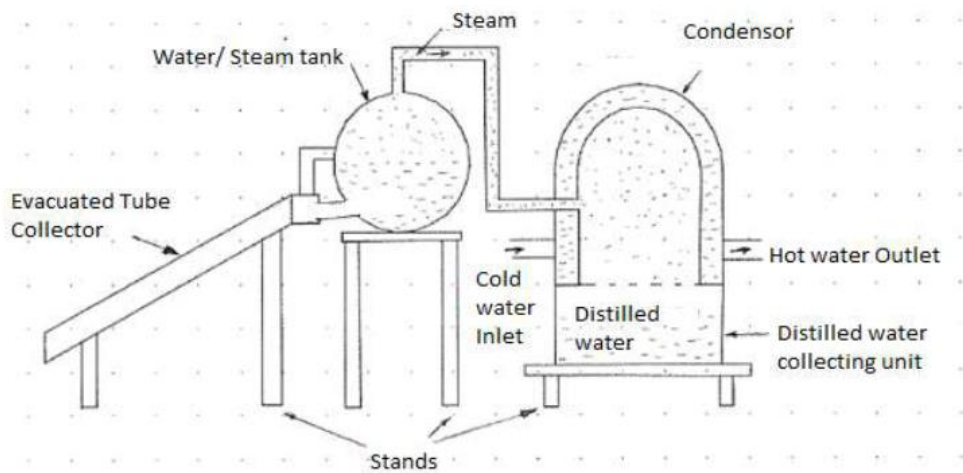


شکل ۱-۲ شماتیک دستگاه مورد استفاده در تحقیق ایسلام و فوکوهارا [67]

⁸ Mirza
¹⁵ Hidouri

آقای رحیم^{۱۶} [68] استفاده از چند تکنیک ساده را برای افزایش کارایی آب شیرین کن خورشیدی مورد بررسی قرار داد. وی با قرار دادن یک صفحه مشکی کمی پایین تر از سطح آب، جدا کردن محفظه تبخیر و تقطیر و پاشیدن آب بر روی جداره بیرونی، در تمامی موارد افزایش کارایی را در آب شیرین کن گزارش نمود. در سال ۲۰۰۶ تریپاتی^۲ و تیواری [69] به مدل سازی تاثیر ارتفاع آب بر روی عملکرد یک آب شیرین کن خورشیدی ترکیبی با یک کلکتور حرارتی پرداختند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که افزایش ارتفاع آب داخل آب شیرین کن به کاهش دمای آب و در نتیجه کاهش ضریب انتقال حرارت جابجایی منجر خواهد شد.

آقای جایپاندیان در سال ۲۰۱۷ به بررسی و ساخت دستگاه آب شیرین کن خورشیدی با استفاده از ۱۵ عدد لوله خلأ پرداخت شکل ۲-۱ شماتیک سامانه را نشان می دهد. در سامانه آن‌ها بخار آب تولیدشده از بالای مخزن آبگرمکن خارج و داخل کندانسور سرد می‌شد ۲/۵ لیتر آب شیرین با میزان TDS، ۹۰ PPM و راندمان ۲۳٪ تولید می‌شود.



شکل ۲-۲ سامانه نمک زدایی با ۱۵ عدد لوله خلأ

¹² Rahim
¹⁶ Tripathi

فصل سوم

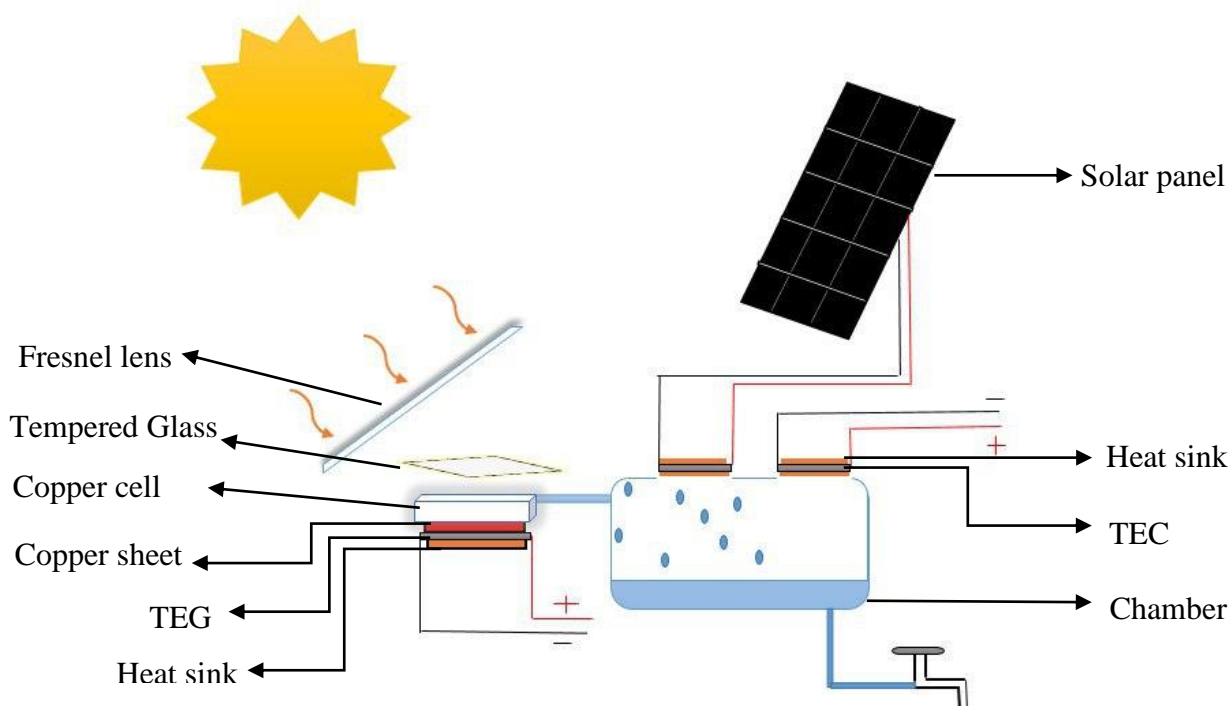
تشریح دستگاه های ساخته شده

۳-۱ مقدمه

در ابتدای این فصل به معرفی قسمت‌های مختلف دو سیستم ترکیبی ترموالکتریک-خورشیدی برای تولید آب شیرین و برق و سپس به بررسی تجربی سامانه‌ها پرداخته شده است.

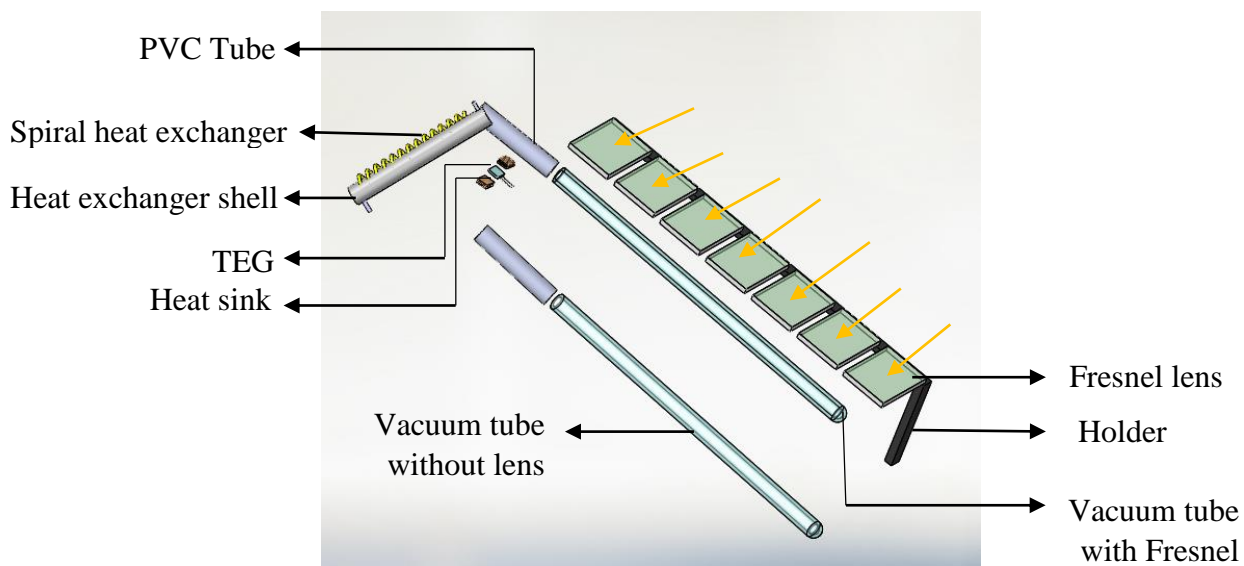
۳-۲ سیستم ترموالکتریک-خورشیدی تولید آب شیرین و برق

سیستم اول در مقیاس کوچک و سیستم دوم در مقیاس بزرگ به تولید آب شیرین و قدرت پرداخته شده است. سیستم اول شکل ۳-۱ سیستم ترموالکتریک-خورشیدی تولید آب شیرین و برق را نشان می‌دهد. این سیستم شامل محفظه مسی، شیشه سکوریت شفاف دما دیده، متمرکز کننده لنز فرزنل دایره‌ای، پنل خورشیدی، پایه نگه‌دارنده لنز فرزنل، ژنراتور ترموالکتریک، ترموالکتریک خنک‌کننده، دماسنج میله مدل TP101، فین آلومینیومی، تابش‌سنج مدل kimo sl100، مالتی متر، خمیر سیلیکونی، درزگیر سیلیکون و اتصالات هست.



شکل ۳-۱ سیستم اول: تولید هم‌زمان آب شیرین، قدرت

در سیستم دوم شکل ۲-۳ سیستم ترموالکتریک-خورشیدی تولید آب شیرین و برق دیگری را نشان می‌دهد. این سیستم شامل متمرکز کننده لنز فرزنل دایره‌ای، ژنراتور ترموالکتریک، ترموالکتریک خنک‌کننده، لوله شیشه‌ای دوجداره خلأ، شاسی نگه‌دارنده، دماسنج میله مدل TP101، فین مسی و آلومینیومی، مبدل حرارتی، تابش‌سنج مدل kimo sl100، مالتی متر، خمیر سیلیکونی، درزگیر سیلیکون و اتصالات می باشد که در ادامه به تشریح اجزاء پراخته می شود.



شکل ۲-۳ سیستم دوم: تولید همزمان آب شیرین و قدرت

۱-۲-۳ متمرکز کننده فرزنل

برای متمرکز کردن تابش خورشید روش های زیادی وجود دارد یکی از بهترین این روش ها استفاده از متمرکز کننده لنز فرزنل است (شکل ۳-۳). لنز فرزنل نسبت به لنز های دیگر دمای بالاتری ایجاد می کند هم چنین سبک تر و باریک تر نیز می باشد. زمانی که که به تمرکز نقطه ای نیاز است از لنز فرزنل با شیار های دایره ای استفاده می شود. در سیستم اول از ۱ و در سیستم دوم از ۷ عدد لنز فرزنل با

مشخصات زیر استفاده شده است. لنزها روی پایه نگهدارنده با قابلیت تنظیم دستی قرار گرفته شده اند. به دلیل جلوگیری از خطای رنگی^۱ و خطاهای کروی^۲ طرف صاف لنز به سمت آفتاب قرار می گیرد.

جدول ۳-۱: مشخصات فیزیکی لنز فرزنل

تعداد	وزن (گرم)	طول (cm)	عرض (cm)	ضخامت (cm)	نسبت تمرکز
۷	۱۰۵	۲۲	۱۷	۰/۲	۱۵۰۰



شکل ۳-۳: لنزهای های فرزنل با شیارهای دایره ای

۳-۲-۲ ژنراتور ترموالکتریک (TEG)

در هر سیستم از یک ژنراتور ترموالکتریک مدل SP1848-27145 SA استفاده شده است (شکل ۳-۴). این محصول که یک مولد می باشد با توجه به اختلاف دما بین دو صفحه ماژول ، اختلاف پتانسیل بوجود می آید. لازم به ذکر است صفحه ای که هیچ چیزی به روی آن نوشته نشده است، طرف گرم ماژول بوده و صفحه دیگر طرف سرد آن می باشد.

^۱ Chromatic Aberration

^۲ Spherical Aberration



شکل ۳-۴ ژنراتور ترموالکتریک SP1848-27145 SA

جدول ۲-۳ مشخصات فیزیکی ژنراتور ترموالکتریک

وزن	۲۷ گرم
ابعاد	۴۰*۴۰*۳/۴ میلیمتر
جنس	سرامیک/ بیسموت تلوراید
تعداد ترموالمنت های هر مدول	۱۲۷
ولتاژ بیشینه	۴/۸ ولت
مقاومت الکتریکی	۱/۲ اهم
جریان بیشینه	۰/۶۶۹ آمپر
حداکثر دمای کاری سطح گرم	۱۵۰ درجه سانتیگراد
ماکزیمم اختلاف دما	۱۰۰ درجه سانتی گراد

جدول ۳-۳ مشخصات فنی مولد TEG SP1848-27145 SA

اختلاف دما (°C)	ولتاژ مدار باز (V)	جریان (A)
۲۰	۰/۹۷	۰/۲۲۵
۴۰	۱/۸	۰/۳۶۸
۶۰	۲/۴	۰/۴۶۹
۸۰	۳/۶	۰/۵۵۸
۱۰۰	۴/۸	۰/۶۶۹

۳-۲-۱-۲-۱ رقم شایستگی و بازده ترموالکتریک

مبدل ترموالکتریک یک موتور گرمایی می‌باشد که مانند همه موتورهای گرمایی از قوانین ترمودینامیک پیروی می‌کند. اگر مبدل ترموالکتریک یک مولد ایده آل در نظر گرفته شود، بازده مولد از نسبت توان الکتریکی منتقل شده به بار (P_L) به گرمای گرفته شده از منبع گرم (Q_h) به دست خواهد آمد [43]. همان‌طور که اشاره شد یک مولد ترموالکتریک از نیمه‌هادی های نوع n و نوع p تشکیل شده است که از یک سر به یک صفحه فلزی در منبع گرما با دمای T_h و طرف سرد پایه‌ها در دمای T_c به یک بار مقاومتی R_L متصل شده‌اند. اگر ولتاژ را با V نمایش دهیم، توان منتقل شده به بار P_L برابر است با [70]:

$$P_L = I^2 * R_L \quad (۱-۳)$$

بازده مبدل الکتریکی عبارت است از [70]:

$$\eta = \frac{P_L}{Q_h} = \frac{I^2 * R_L}{(T_h - T_c) \lambda_{pn}} \quad (۲-۳)$$

که λ_{pn} هدایت گرمایی نیمه‌هادی نوع n و نوع p به صورت موازی می‌باشد. بازده بیشینه به صورت زیر بیان می‌شود [70]:

$$\eta_{max} = \frac{T_h - T_c}{T_h} * \frac{zT_h}{4} \quad (۳-۳)$$

که $\eta = \frac{T_h - T_c}{T_h}$ بازده کارنو می‌باشد. هم‌چنین داریم [60]:

$$Z = \frac{\sigma * \alpha^2}{\lambda_{pn}} \quad (۴-۳)$$

که σ هدایت الکتریکی مواد ترموالکتریک می باشد. با ضرب کردن دمای میانگین $\frac{T_h + T_c}{2}$ در Z ، رقم شایستگی بدون بعد ZT به دست می آید که کاربرد آن رایج تر و راحت تر می باشد [70]. بازده سلول ترموالکتریک به صورت زیر بیان می شود [60]:

$$\eta_{\text{teg}} = \frac{T_h - T_c}{T_h} * \frac{M - 1}{M + \frac{T_c}{T_h}} \quad (5-3)$$

که $M = \sqrt{1 + (ZT)}$ می باشد.

۳-۲-۳ ترموالکتریک خنک کننده (TEC)

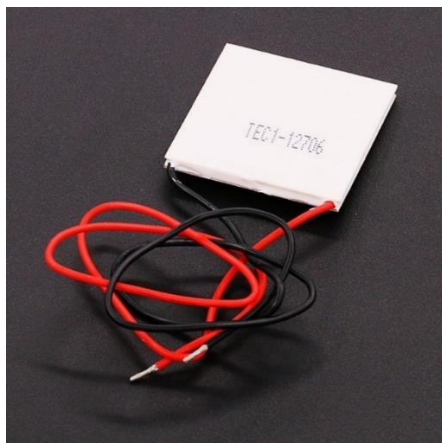
در سیستم اول از دو ترموالکتریک خنک کننده شرکت hebei مدل TEC1-12706 استفاده شده است (شکل ۳-۵). خنک کننده ترموالکتریک از اثر پلتیر برای ایجاد یک شار حرارتی بین محل اتصال دو نوع مختلف از مواد استفاده می کند. می توان آن را هم برای گرم کردن یا خنک کردن استفاده کرد. اگر چه در عمل برنامه اصلی خنک کننده است. مزایای اصلی یک خنک کننده پلتیر در مقایسه با یک یخچال بخار فشرده، عدم حرکت قطعات آن یا مایع در گردش، عمر بسیار طولانی، آسیب ناپذیری به نشت، اندازه کوچک، و شکل انعطاف پذیر آن است. معایب اصلی آن عبارت اند از هزینه بالا و بهره وری ضعیف است.

خنک کننده های ترموالکتریک توسط اثر پلتیر عمل می کنند. این دستگاه دارای دو طرف است، و هنگامی که یک جریان الکتریکی DC از طریق دستگاه جریان می یابد، حرارت را از یک طرف به طرف دیگر می برد به طوری که یک طرف سردتر می شود در حالی که طرف دیگر گرم تر می شود. سمت گرم به یک چاهک حرارت متصل است به طوری که در دمای محیط باقی می ماند، در حالی که طرف سرد به دمای زیر دمای اتاق می رود.

یک TEC به طور معمول حداکثر اختلاف دمای ۷۰ درجه را بین قسمت گرم و سرد ایجاد خواهد کرد. هرچه گرمای بیشتری که با استفاده از TEC انتقال می‌یابد بهره‌وری کمتری به وجود می‌آورد زیرا TEC نیاز به پراکنده کردن گرمایی که انتقال می‌یابد و هم گرمایی که خودش با استفاده از مصرف برق ایجاد می‌کند، دارد. در کاربردهای خنک‌کننده در حدود ۱۰-۱۵٪ بهره‌وری چرخه ایده‌آل کارنو را ارائه می‌دهند. با توجه به این بهره‌وری پایین، خنک‌کننده ترموالکتریک به طور معمول فقط در محیط‌هایی استفاده می‌شود که طبیعت حالت جامد (بدون قطعات متحرک، تعمیر و نگهداری کم، اندازه جمع و جور، و عدم حساسیت جهت گیری) مهم تر از بهره‌وری خالص است. عملکرد خنک‌کننده (ترموالکتریک) پلیتر تابعی از درجه حرارت محیط، عملکرد مبدل حرارتی (چاه حرارتی) سمت سرد و گرم، بار حرارتی، هندسه واحد پلیتر (گرماسنج)، و پارامترهای الکتریکی پلیتر است.

جدول ۳-۴ مشخصات فیزیکی TEC

وزن	۲۳/۸ گرم
ابعاد	۳/۸*۴۰*۴۰ میلی‌متر
جنس	سرامیک/ بیسموت تلوراید
تعداد ترموالمنت های هر مدول	۱۲۷
ولتاژ بیشینه	۱۲ ولت
مقاومت حرارتی	۱/۸ k/w کلوین بر وات
مقاومت الکتریکی	۲ اهم
جریان بیشینه	۶ آمپر
حداکثر اختلاف دما دوطرف	۶۸ درجه سانتیگراد
دمای کاری	-۵۵ درجه تا +۱۳۰ درجه سانتی گراد
توان سردکنندگی ماکزیمم	۷۲ وات



شکل ۳-۵ ترموالکترونیک TEC1-12704

۳-۲-۴ اندازه گیری شدت تابش خورشید

به منظور اندازه گیری شدت تابش خورشیدی حسگر شکل ۳-۶ مورد استفاده قرار گرفت. این حسگر به نام KIMO SL100 محصول شرکت کیمو می باشد. این حسگر تابش کل خورشیدی بر واحد سطح را در خروجی نمایش می دهد. واحد اندازه گیری w/m^2 می باشد. خطای اندازه گیری این حسگر $\pm 5\%$ گزارش شده است.

مدل SL100 یک سولاریمتر پرتابل و دیجیتال است که قابلیت اندازه گیری میزان تشعشع خورشید را دارا می باشد. همانطور که در تصویر مشاهده می کنید دارای سنسور مجزا می باشد، به این منظور که سنسور دستگاه با استفاده از کابلی به طول $1/25$ متری به دستگاه متصل می شود که این امر موجب شده تا کاربری دستگاه نسبت به مدل های پراب سرخود بسیار بیشتر شود. از قابلیت های دیگر آن می توان به نمایش حداقل، حداکثر و میانگین مقادیر اندازه گیری شده اشاره کرد.

مشخصات فنی سنسور :

- نوع فتوولتاییک
- محدوده اندازه گیری اشعه تابشی خورشید از ۱ وات بر متر مربع تا ۱۳۰۰ وات بر متر مربع
- محدوده اندازه گیری چگالی توان تشعشعی از ۱ تا ۵۰۰ کیلو وات ساعت بر متر مربع

- ذخیره تا ۳ روز در صورت روشن بودن دستگاه
- محدوده پاسخ طیفی از ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر



شکل ۳-۶ حسگر شدت تابش خورشید

۳-۲-۵ پنل خورشیدی

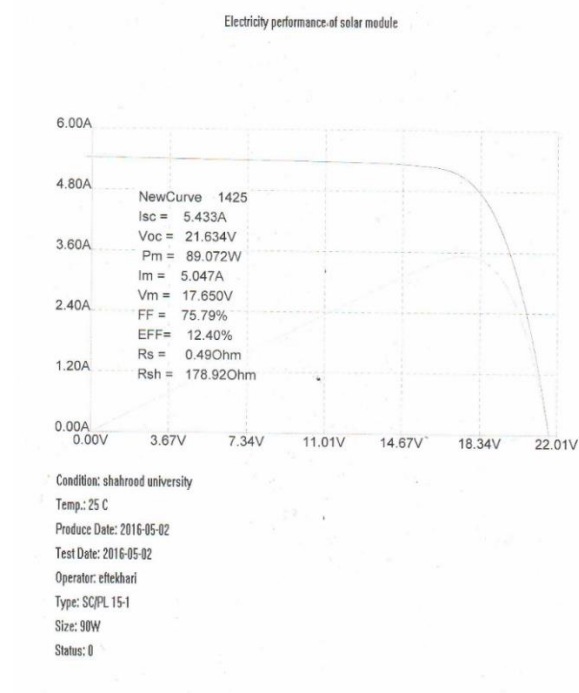
سلول های خورشیدی مربع های نازک دیسک ها یا فیلم هایی از جنس نیمه هادی هستند که ولتاژ و جریان کافی را در زمان قرار گرفتن در معرض تابش نور خورشید تولید می کنند. پنل های خورشیدی متداول به ۳ نوع مونو کریستال و پلی کریستال و صفحات فتوولتائیک نواری تقسیم می شوند. از کنار هم قرار دادن تعدادی سلول خورشیدی (PV Cell) یک ماژول خورشیدی (PV Module) ساخته می شود. از قرار دادن چند ماژول خورشیدی در کنار هم یک صفحه خورشیدی (PV Panel) ساخته می شود که عموماً در مصارف بزرگ ردیف های زیادی از صفحه خورشیدی در کنار هم قرار می گیرند و یک سری خورشیدی (PV Array) تشکیل می دهند. پنل استفاده شده ساخت شرکت صنایع الکترونیک سازان می باشد. پنل از ۳۶ سلول که توان هر کدام ۲/۵ وات است تشکیل شده است که توان کلی پنل ۹۰ وات می باشد (شکل ۳-۷). پنل مورد استفاده دارای ابعاد ۳۸*۵۹۰*۱۳۰۰ میلی متر است. شکل ۳-۸ عملکرد پنل استفاده شده (جریان و ولتاژ، ولتاژ مدار باز و ...) را نشان می دهد.



شکل ۳-۷ پنل خورشیدی ۹۰ واتی

جدول ۳-۵: مشخصات فنی پنل خورشیدی

توان ماکزیمم	۹۰ وات
ولتاژ مدار باز (حداکثر ولتاژ)	۲۱/۶۳ ولت
جریان اتصال کوتاه (حداکثر جریان)	۵/۴۳ آمپر
ولتاژ عملکرد	۱۷/۶۵ ولت
جریان عملکرد	۵/۰۴۷ آمپر
دمای کاری	-۴۰ تا +۸۵



شکل ۳-۸ نمودار عملکرد پنل خورشیدی مورد استفاده در آزمایش

۳-۲-۶ اندازه گیری دما

برای اندازه گیری دما در سیستم اول از ۲ دماسنج و در سیستم دوم از ۳ دماسنج که در هر سیستم از یک دماسنج ضدآب میله ای مایعات و جامدات مدل JR-7 و مابقی از دماسنج میله ای دیجیتال مدل TP101 استفاده شده است (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹ الف) دماسنج میله ای JR-7 شکل ب) دماسنج میله ای TP101

جدول ۳-۶ مشخصات فیزیکی و فنی دماسنج ها

JR-7	TP101	مدل / مشخصات
۳۲ گرم	۳۵ گرم	وزن
۲۱/۶ * ۲ * ۲ سانتیمتر	۲۳ * ۲ * ۲ سانتیمتر	ابعاد
۵۰- تا ۳۰۰+ درجه سانتیگراد	۵۰- تا ۳۰۰+ درجه سانتیگراد	دامنه اندازه گیری
۰/۱ درجه سانتیگراد	۱ درجه سانتیگراد	دقت اندازه گیری
پلاستیک درجه یک از نوع ABS	پلاستیک درجه یک از نوع ABS	جنس بدنه
<ul style="list-style-type: none"> با قابلیت ذخیره میزان حداقل و حداکثر دما نمایش دما در دو مقیاس سانتی گراد و فارنهایت 	<ul style="list-style-type: none"> با قابلیت ذخیره میزان حداقل و حداکثر دما نمایش دما در دو مقیاس سانتی گراد و فارنهایت 	سایر ویژگی ها

۳-۲-۷ هیت سینک

کلمه هیت سینک از دو کلمه انگلیسی HEAT به معنی حرارت و SINK به معنی پایین آورنده تشکیل شده است. هیت سینک در مجاورت هر عامل و منبع ایجاد حرارت با این شرط که اتصال بین هیت سینک با آن منبع تولید حرارت درست باشد، می تواند حرارت تولیدی از منبع حرارتی را گرفته و با جذب در بدنه خود این حرارت را به مرور زمان از خود خارج کند. این خروج حرارت بسته به نوع طراحی هیت سینک و کاربرد آن در تعامل با هوای محیط یا مایعاتی مثل آب یا روغن صورت می گیرد. طلا از لحاظ انتقال حرارت بهترین شرایط را برای انتقال و دفع حرارت دارد ولی به دلیل بالا بودن بهای این فلز نمی توان از آن در ساخت هیت سینک استفاده کرد و فقط در برخی صنایع خاص و وابسته به شرایط از این فلز جهت ساخت هیت سینک استفاده می شود. مس هم پس از طلا دارای توان هدایت گرمایی بالایی است، ولی این فلز هم در قیاس با آلومینیوم به دلیل چگالی بالایی که دارد، خیلی سنگین می شود که همین باعث بالا رفتن قیمت تمام شده ساخت هیت سینک از جنس مس می گردد. متداول ترین فلز در ساخت هیت سینک، فلز آلومینیوم با آلیاژ ۶۰۶۳ که رسانندگی گرمایی ای معادل 201 W/m.k را دارند می باشد. آلومینیوم فلزی است که نسبت به طلا و مس برای ساخت هیت سینک ارزان است و همچنین در همه جا در دسترس است. برتری دیگر آلومینیوم این است که میتوان آن را آلیاژ سازی کرد هم چنین خاصیت شکل پذیری این فلز نیز یک امتیاز مهم و ویژه برای آلومینیوم به حساب می آید. در سیستم اول از ۴ عدد هیت سینک آلومینیومی و ۱ عدد مسی در سیستم دوم از ۲ عدد هیت سینک آلومینیومی استفاده شده است (شکل ۳-۱۰) که علاوه بر انتقال حرارت نقش پایه و نگهدارنده را نیز دارند. هیت سینک ابزاری مناسب برای افزایش سطح تماس است. هرچه سطح بیشتر شود، انتقال حرارت بیشتر می شود و انتقال حرارت در سطح گرم TEC بالا می رود و سطح سرد را می توان افزایش داد. هم چنین در TEG می توان سطح سرد بیشتری در تبادل با محیط باشد و سطح گرم که در سیستم دوم درون آب قرار دارد، تماس بیشتری داشته باشد. هیت سینک های مربعی (آبی

آلومینیومی و دیگری مسی) دارای ابعاد $10 * 40 * 40$ میلی متر است که کاملاً هم لبه ترموالکتریک ها می شوند.



شکل ۳-۱۰ نمونه هیت سینک های استفاده شده در هر دو سیستم

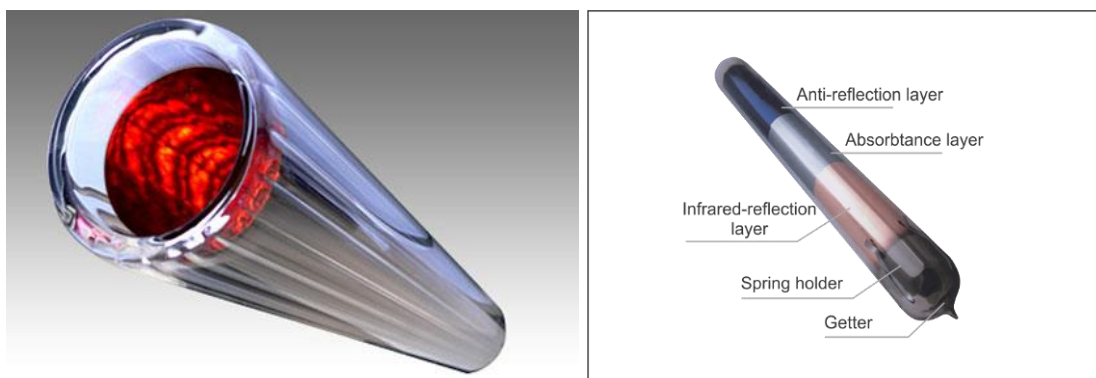
۳-۲-۸ لوله خلاء

کلکتورهای لوله خلاء به سه دسته تقسیم بندی می گردند:

۱. کلکتورهای لوله خلاء متشکل از شیشه های دو جداره که آب در آنها به صورت مستقیم جریان پیدا می کند و گرم می شود.
۲. کلکتورهای لوله خلاء متشکل از شیشه های دو جداره و مغزی مسی دارای سیال مخصوص که یک سر آن در مخزن و سر دیگر درون مخزن آب سرد قرار می گیرد. با تابش آفتاب بر روی شیشه های کلکتور سیال درون مغزی مسی شروع به داغ شدن می کند و با حرکت درون لوله گرما را به سمت مخزن منتقل می کند. در این اصطلاح این نوع کلکتورها را Heat Pipe می نامند.
۳. کلکتورهای لوله خلاء متشکل از شیشه های دو جداره و لوله مسی متصل به صفحه جاذب که یک سر آن در مخزن و سر دیگر در لوله قرار می گیرد. صفحه جاذب به کار رفته در لوله ها به صورت نوار نازک شده ساخته شده است که طرز کار آن مانند صفحه جاذب کلکتورهای صفحه تخت می باشد. آب

سرد مخزن وارد این لوله های مسی شده و گرمای خورشید را از طریق صفحه جاذب جذب می نماید. در اصطلاح به این نوع کلکتورها Metal Glass گویند.

لوله های خلاء از یک لوله دو جداره تشکیل شده اند که ما بین دو جداره خلاء است (شکل ۳-۱۱). جداره داخلی با پوشش جاذبی اندود شده است. در تکنولوژی لوله های خلاء، جنس پوشش جاذب انرژی دارای اهمیت است. این جنس یا از سه عنصر (مس و آلومینیوم و استیل) و یا از یک عنصر نیکل ساخته می شود و از نظر کیفیت پوشش سه عنصری از تک عنصری دارای راندمان بهتری است. در اثر تابش آفتاب، جداره جاذب انرژی خورشید گرم می شود و متعاقباً آب درون آن گرم شده به سمت بالا حرکت می کند و یک جریان ترموسیفونی به صورت طبیعی ایجاد می شود. کلکتورهای لوله خلاء شیشه ای با قابلیت تولید آبگرم با دمای بین ۷۰-۵۰ درجه سانتیگراد است که در روزهای تابستان تا ۹۰ درجه نیز افزایش می یابد. جنس شیشه لوله خلاء، شیشه بروسیلیکات است.

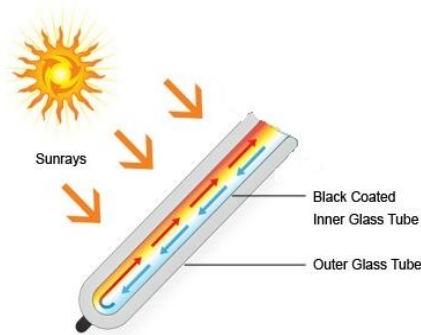


شکل ۳-۱۱ لوله خلاء

۳-۲-۸-۱ اصل ترموسیفون حرارتی

در یک سیکل بسته از سیال، در صورتی که قسمتی از مدار که در ارتفاع پایین تر قرار دارد گرم تر از قسمت بالاتر باشد، به دلیل اینکه چگالی کمتری دارد به سمت بالا حرکت می کند و تداوم این اختلاف دما و ارتفاع، باعث ایجاد جریان سیال در این مدار می شود و سیال به صورت طبیعی و بدون نیاز به پمپ به گردش در می آید. به این نوع جریان سیال، جریان ترموسیفونی می گویند (شکل ۳-۱۲).

حرکت ترموسیفونی تا زمانی که انرژی خورشید موجود باشد ادامه دارد. این حرکت با افول خورشید متوقف می شود.



شکل ۳-۱۲ جریان ترموسیفون لوله خلاء

ابعاد لوله شیشه خلاء استفاده شده:

- قطر خارجی ۵۸ میلی متر
- طول لوله ۱۸۰۰ میلی متر
- ضخامت شیشه های لوله خلاء بین $\frac{1}{6}$ تا $\frac{2}{5}$ میلی متر متغیر

۳-۲-۹ محفظه مسی

در سیستم اول با استفاده از ورق مسی به ضخامت ۱ میلی متر محفظه کوچکی به مساحت ۳ سانتی متر مربع در سطح بالا و مساحت ۴ سانتی متر مربع در کف و به ارتفاع ۲ سانتی متر با سرباز ساخته شده است. یک سوراخ با قطر ۶ میلی متر برای ورود جریان آب در آن ایجاد گردیده است. شیشه دما دیده بر روی آن قرار می گیرد و در کف آن مولد ترموالکتریک از طریق یک صفحه مسی دیگر به ابعاد 40×40 میلی متر با خمیر سیلیکونی می چسبد. یک خروجی بخار از جنس مس در گوشه بالای آن قرار گرفته است.

۳-۲-۱۰ شاسی نگهدارنده لوله ولنزها

در سیستم اول از پایه متحرک به ارتفاع قابل تنظیم تا حداکثر ۵۰ سانتیمتر که قابلیت چرخش به ۳۶۰ درجه را دارد استفاده شده است. سیستم دوم از یک شاسی فلزی به همراه بست برای قرار دادن لوله های خلاء و از رگال برای قراردادن لنزهای فرزنل استفاده شده است. نگهدارنده و لوله ها در سیستم دوم با زاویه ۲۲ درجه قرار گرفته اند تا آب درون لوله ها تخلیه نشود و سطح بالای لوله از داخل در تماس با آب باشد و هم چنین لنزها در یک راستا روی لوله قرار بگیرند.

۳-۲-۱۱ خمیر سیلیکون و درزگیر سیلیکون

اغلب تماس بین سطوح مرکب یک تماس کامل و ایده آل نبوده و به دلیل زبری سطوح، سطح تماس واقعی کمتر از سطح غیرواقعی آن می باشد، بدین ترتیب انتقال حرارت در مساحت کمتری صورت می گیرد. به منظور کاهش مقاومت تماسی و افزایش میزان انتقال حرارت در محل تماس مولد ترموالکتریک با سطح مسی و هیت سینک و هم چنین سطوح هیت سینک و ترموالکتریک خنک کننده از خمیر سیلیکون سرنگی HC-131 استفاده شده است. برای عایق بندی و آب بندی سطوح از چسب آکواریوم آکفیکس مدل 100AQ استفاده شده است. این چسب دارای مدت ماندگاری بالایی است و تا زمان زیادی پس از مصرف دچار تغییر رنگ یا ترک خوردن نمی شود. هم چنین دارای قدرت چسبندگی مناسب و مقاوم در برابر مواد شیمیایی است و در مجاورت رطوبت هوا خشک می شود. حداکثر دمای قابل تحمل ۳۳۰ درجه سانتی گراد است.

۳-۲-۱۲ شیشه سکوریت دما دیده

در سیستم اول به دلیل تمرکز بالای لنزها روی شیشه و وجود آب در حال جوشش و بخار در پشت شیشه، شیشه های مختلف با ضخامت و جنس مختلف تست شده است که تحمل دمای بالا در طول آزمایش را نداشتند به همین دلیل از شیشه ی دما دیده ی سکوریتی استفاده شد. شیشه سکوریت

شیشه‌ای است که با اعمال یک فرآیند عملیات حرارتی، استحکام بالایی یافته و در برابر ضربه‌ها و تنش‌های مکانیکی و حرارتی تا پنج برابر شیشه آنیل مستحکم است. شیشه‌های سکوریت، از لحاظ فیزیکی و حرارتی، مقاوم تر از شیشه‌های عادی هستند. انقباض بیشتر لایه داخلی حین ساخت، تنش فشاری را در سطح شیشه نتیجه می‌دهد که با تنش کششی در بدنه شیشه تعدیل می‌شود. برای شیشه‌ای که سکوریت محسوب می‌شود، این تنش فشاری در سطح شیشه باید حداقل به ۶۹ مگاپاسکال (10000 psi) برسد. برای این که شیشه ایمن محسوب شود، تنش فشاری سطحی باید بالاتر از ۱۰۰ مگاپاسکال (15000 psi) باشد. هرچه قدر تنش فشاری بیشتر باشد، شیشه هنگام شکستن به قطعات کوچک تری تقسیم می‌شود. شیشه سکوریت تحت فشار باد، ۴ برابر شیشه تاب دیده، قدرت دارد. این شیشه ۲ برابر بیشتر در مقابل پرتابه‌های کوچکی که به شیشه تاب دیده برخورد می‌کند، مقاومت می‌کند. شیشه سکوریت حاصل شده تا دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد بالای صفر و سرمای ۸۰ درجه زیر صفر را به راحتی تحمل می‌نماید. مقاومت خمشی شیشه معمولی حدوداً ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می‌باشد ولی در شیشه سکوریت ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است.

۳-۲-۱۳ مولتی متر

برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان مولد ترموالکترونیک از مولتی متر دیجیتال MS 88 اتورنج استفاده شده است (شکل ۳-۱۳). مولتی متر یکی از ابزارهای بسیار مهم و کاربردی در اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی از قبیل اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و مقاومت الکتریکی می‌باشد.

مولتی مترها به دو دسته دیجیتال و آنالوگ تقسیم بندی می‌شوند. در نوع آنالوگ، داده‌های اندازه‌گیری به واسطه یک عقربه بر روی یک صفحه مدرج نمایش داده می‌شود و در نوع دوم که دیجیتال نام دارد، داده‌ها توسط یک صفحه نمایش به کاربر نمایش داده می‌شود.



شکل ۳-۱۳ مولتی متر MS 88

۳-۲-۱۴ مبدل حرارتی هلیکال (مارپیچی)

انتقال انرژی حرارتی از یک سیال به سیالی دیگر در صنعت توسط دستگاهی بنام مبدل حرارتی (Heat exchanger) صورت می گیرد. در مبدل های حرارتی دو سیال با دمای متفاوت وجود دارد که این دستگاه شرایطی را فراهم می آورد تا تبادل گرما میان دو سیال برقرار شود. معمولا مبدل های حرارتی به منظور خنک کردن سیال گرم و یا گرم کردن سیال با دمای پایین تر و یا هر دو، مورد استفاده قرار می گیرند.

مبدل حرارتی استفاده شده در این سامانه از نوع مبدل مارپیچی که از لوله ای مسی به طول ۲۱۸ سانتی متر با قطر خارجی ۶ میلی متر و ضخامت ۱ میلی متر به صورت مارپیچ درون لوله PVC (به طول ۵۰ سانتی متر) که از مواد نئوپتروشیمی است و در برابر حرارت و شعله ور شدن مقاوم می باشد، قرار گرفته است. قطر خارجی لوله پلیکا آن ۶۳ و قطر داخلی ۶۰ میلی متر می باشد. لوله پلیکا رسانایی حرارتی کمتری نسبت به لوله های قدیمی تر دارد. این باعث می شود که لوله پلیکا برای بسیاری از پروژه های عایق حرارتی مناسب و مطلوب باشد. لوله پلیکا هیچ تاثیر منفی ای روی کیفیت آب نمی گذارد. لوله PVC با دیواره های صاف تری که دارد باعث کاهش اصطکاک سیال و مقاومت در برابر جریان می شود. هندسه مارپیچی این مبدل ها اجازه تحمل دماها و فشارهای بالا را می دهد. مجرای ورودی لوله PVC بخار آب و خروجی آن آب میعان شده می باشد. مجرای ورودی لوله مسی آب سرد

و خروجی آب گرم با دبی ۱ لیتر بر دقیقه می باشد (شکل ۳-۱۴). از معایب و مزایای این نوع از مبدل‌ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

معایب:

۱- به دلیل کوچک بودن لوله مارپیچ تعمیر و جوشکاری آنها مشکل و زمان بر است.

۲- به دلیل مارپیچ بودن لوله ها تمیز کردن آنها عملا مشکل است.

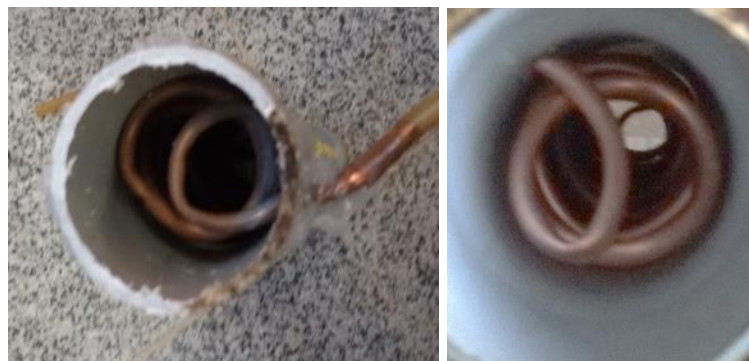
مزایا:

۱- راندمان بالا

۲- مونتاژ آسان

۳- مقاومت مکانیکی در مقابل انبساط و انقباض

۴- مناسب برای دبی های کم و بارهای حرارتی پایین



شکل ۳-۱۴ مبدل حرارتی سیستم دوم

نرخ انتقال حرارت عبوری از لوله خنک کار از رابطه (۳-۶) بدست می آید:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p (T_{out} - T_{in}) \quad (۳-۶)$$

در این رابطه \dot{m} دبی جرمی عبوری، c_p ظرفیت گرمایی ویژه، T_{out} و T_{in} به ترتیب دمای خروجی و ورودی است.

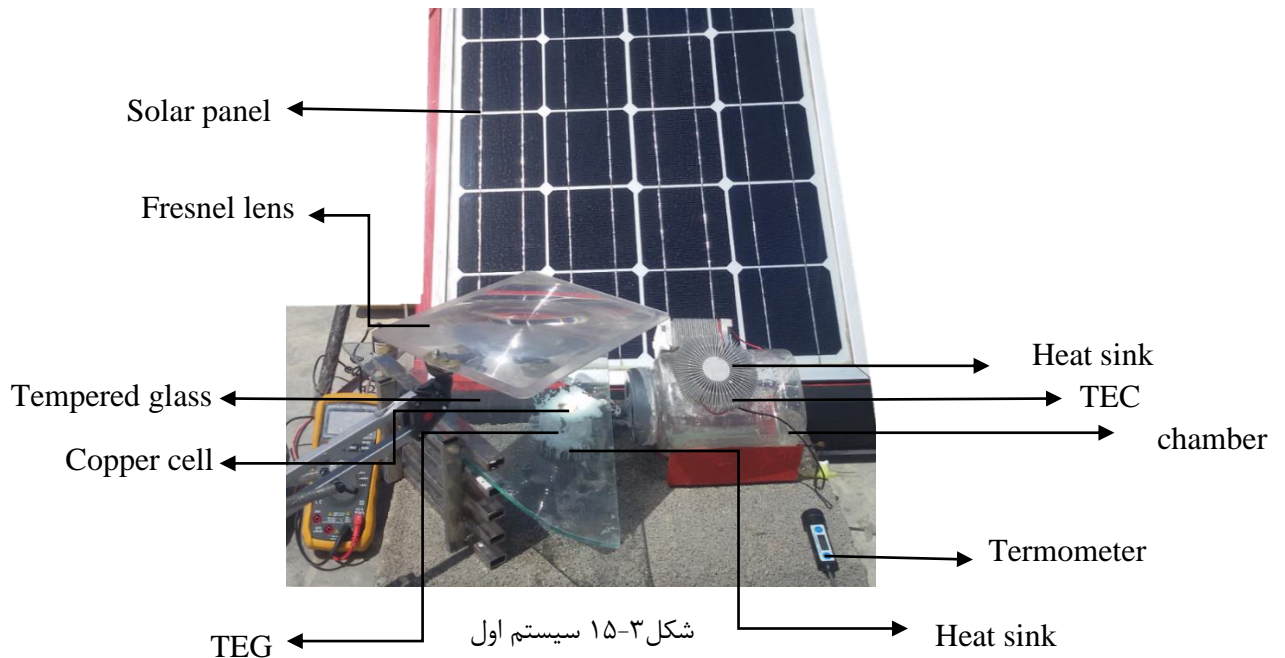
۳-۳ مونتاژ سیستم ها

بعد از طراحی و ساخت قسمت های مختلف دو سیستم، نوبت به مونتاژ آنها می رسد. این سیستم ها جهت بررسی عملکرد در شرایط آب و هوایی شهر شاهرود طی ۶ روز (۳۱، ۳۰، ۲۹، ۲۳، ۱۹، ۱۶ تیرماه ۱۳۹۷) مورد آزمایش قرار گرفته اند. جهت یکی بودن شرایط، هر روز کلیه آزمایشات سیستم اول از ساعت ۱۲ تا ۱۴ و سیستم دوم از ساعت ۱۱:۴۵ تا ۱۵:۴۵ صورت گرفته و در طی هر بازه آزمایش، مقادیر دمای هوا، دمای سیال در حال تبخیر با لنز فرزنل و بدون لنز، جریان و ولتاژ مولد ترموالکتریک، دمای دوطرف مولد ترموالکتریک، تابش خورشید، انرژی جذب شده از خورشید، دمای آفتاب، سرعت باد، میزان تولید آب شیرین، TDS (سختی) ورودی و خروجی آب ثبت گردیده است.

۳-۳-۱ سیستم اول

سمت داغ مولد ترموالکتریک به محفظه مسی و سمت سرد آن به کمک خمیر سیلیکونی به هیت سینک چسبانیده شده است. شیشه سکوریت را با استفاده از درزگیر سیلیکونی روی محفظه قرار داده شده است تا بخار و انتقال حرارت به حداقل برسد. ورودی آب شور از طریق یک سرم به صورت قطره قطره با دبی بسیار اندک وارد محفظه می شود. لنز فرزنل تابش خورشید را روی سلول متمرکز می کند. آب داخل بستر دائماً در حال جوشیدن می باشد در صورتی که دبی بالاتر برود از حالت دائم در حال جوشی بودن خارج می شود. به همین دلیل از سرم با دبی بسیار کم استفاده شده است. بخار خروجی از طریق یک لوله مسی به قطر ۱۰ میلیمتر به سمت محفظه خنک سازی می رود. در محفظه خنک سازی، دو ترموالکتریک خنک کننده که در دو طرف آن ها هیت سینک با خمیر سیلیکونی چسبانده شده، قرار دارند. آب بندی و عایق کاری محفظه نیز با چسب آکوارיום انجام شده است. سمت سرد TEC ها درون محفظه و سمت داغ آن در محیط زیر یک سایه بان می باشد. برق ورودی TEC ها از پنل خورشیدی است. ترموالکتریک های خنک کننده به صورت سری در مدار قرار دارند تا جریان ثابت و ولتاژ بالا برود.

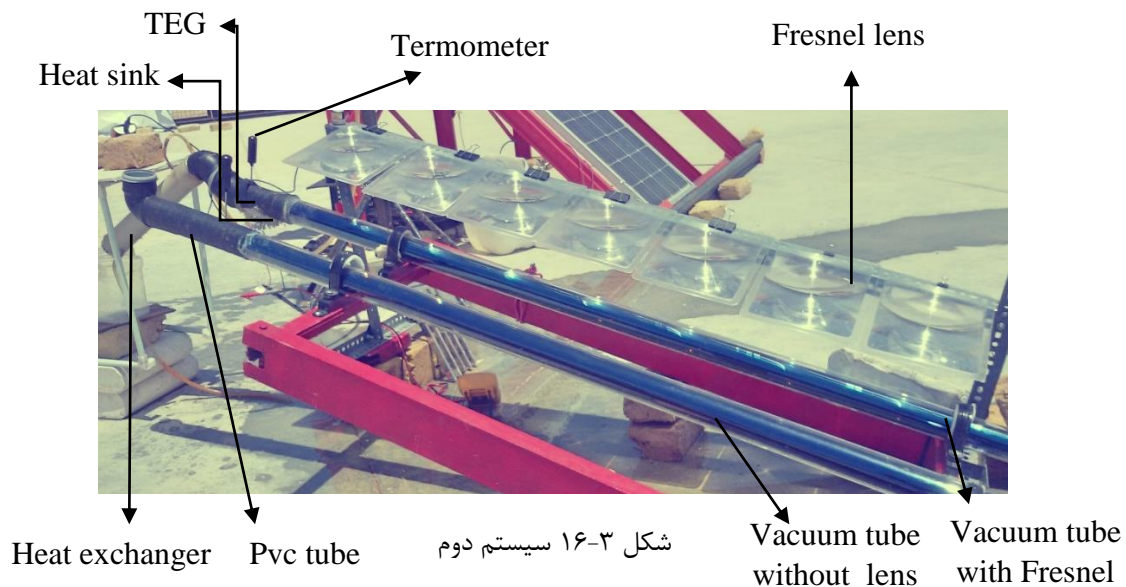
دمای آفتاب با دماسنج میله ای و ولتاژ، جریان، تابش و انرژی جذب شده با دستگاه های مربوطه ثبت شده است. شکل ۳-۱۵ سیستم مونتاژ شده اول را نشان می دهد.



۳-۳-۲ سیستم دوم

دو عدد لوله خلاء با بست روی شاسی نگهدارنده قرار گرفته اند. یک لوله جزء برای سیستم شیرین سازی و تولید برق می باشد و لوله دیگر برای مقایسه اختلاف زمان به جوش رسیدن می باشد. شاسی با زاویه ۲۲ درجه نسبت به زمین قرار گرفته است تا سطح بالای لوله با آب در تماس باشد و هم چنین لنزها نیز در یک راستا با شیب ۲۲ درجه می باشند. به ابتدای هر لوله، لوله PVC با چسب آکواریوم چسبانده شده است. سطح خارجی PVC ها با پشم شیشه و چسب پرایمر پوشانده شده است. مولد ترموالکتریک که دوطرف آن هیت سینک چسبانده شده است، سطح داغ آن، زیر لوله PVC در تماس با آب داخل لوله قرار گرفته است. آب بندی و عایق کاری اطراف آن نیز انجام شده است. به انتهای لوله PVC یک زانویی ۴۵ درجه و یک زانویی ۹۰ درجه متصل شده (تا آب در حال جوشش به داخل مبدل وارد نشود) و سپس مبدل به آن وصل می شود. یک منبع آب در ارتفاع ۲ متری قرار دارد تا آب سرد را وارد مبدل کند. دبی آب وارد شده ۱ لیتر بر دقیقه است. یک ظرف برای جمع آوری آب شیرین شده

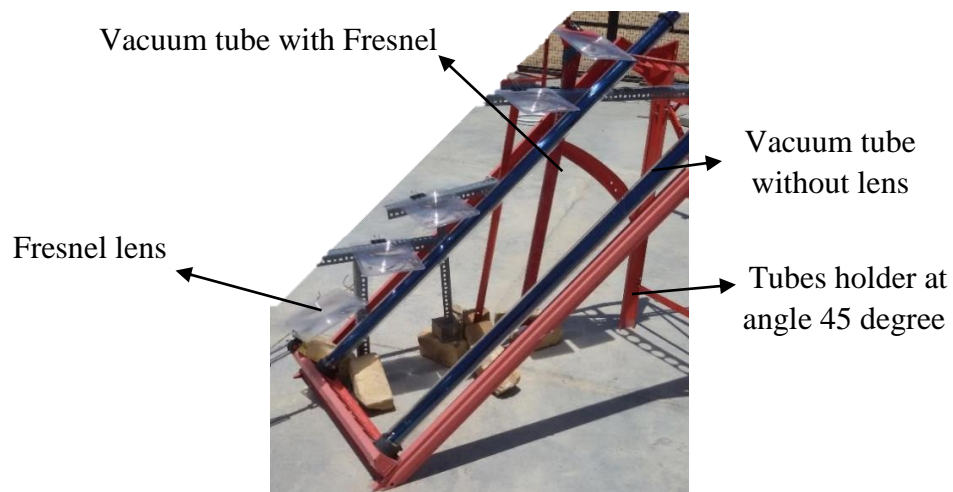
در انتهای مبدل قرار گرفته است. ۷ عدد لنز روی پایه نگهدارنده خود با ۷ نقطه تمرکز روی لوله خلاء قرار گرفته اند. شکل ۱۶-۳ سیستم مونتاژ شده دوم را نشان می دهد.



حجم آب شور داخل لوله، ۲/۸ لیتر با $TDS=33600$ ppm می باشد. دستگاه نشان داده شده در شکل ۱۷-۳ میزان هدایت الکتریکی آب را محاسبه می کند و در دمای ۲۵ درجه این مقدار در $1/6$ ضرب می گردد و میزان TDS بدست می آید. آزمایش دیگری در زاویه ی ۴۵ درجه انجام گرفته است تا بررسی شود آیا در زوایای دیگر میزان تبخیر آب با لنز تفاوت عمده ای دارد یا خیر که نتایج در فصل بعدی آورده شده است. شکل ۱۸-۳ این آزمایش را با ۵ عدد لنز فرزنل نشان می دهد.



شکل ۱۷-۳ دستگاه سنجش هدایت الکتریکی آب شور



شکل ۳-۱۸ مقایسه زمان رسیدن به نقطه جوش آب در لوله‌های خلاء در زاویه ۴۵ درجه

فصل ۴
نتایج آزمایشگاهی

۴-۱ مقدمه

دستگاه تولید هم‌زمان آب شیرین و برق پس از طراحی و ساخته شدن، مورد آزمایش قرار گرفت. هم‌چنین در سیستم دوم به مقایسه تأثیر لنز فرزنل در زمان رسیدن به نقطه جوش و میزان تبخیر لوله‌های خلأ در دو زاویه ۲۲ و ۴۵ درجه مورد بررسی قرار گرفته است. در این فصل ابتدا به جزئیات انواع مختلف آزمایش انجام شده، پرداخته شده است و سپس نتایج آزمایش‌ها در هر روز به وسیله نمودارهای به دست آمده، نمایش داده شده‌اند. این نمودارها شامل تابش، دماهای مختلف (با و بدون لنزها)، انرژی جذب شده، جریان و ولتاژ مولد، راندمان و ... بر حسب زمان و دما نمایش داده شده‌اند.

۴-۲ نتایج آزمایش

آزمایش‌ها در شهر شاهرود که ارتفاع از سطح دریا ۱۳۸۰ متری می باشد انجام گرفته است. دستگاه‌ها در محیط باز و در محلی که در طول روز هیچ سایه‌ای بر روی آن نباشد و بتواند تابش مستقیم نور خورشید را دریافت نماید قرار گرفته اند.

۴-۲-۱ سیستم اول

این آزمایش‌ها در روزهای ۲۹، ۳۰ و ۳۱ تیرماه ۱۳۹۷ انجام شده است. ساعت شروع و پایان به ترتیب ۱۲ و ۱۴ ظهر می باشد. در هر ۱۰ دقیقه کلیه پارامترها یادداشت شده است.

جدول ۱-۴ پارامترهای ثبت شده ۲۹ تیرماه (سیستم اول)

زمان	تابش (w/m^2)	انرژی جذب شده (wh/m^2)	جریان (A)	ولتاژ (V)	توان مولد (w)	دمای محیط ($^{\circ}C$)	سرعت باد (m/s)
۱۲:۰۰	۹۹۲	۰	۰/۰۱۳	۰/۰۳۱	۰/۰۰۱	۳۰/۲	۳/۶
۱۲:۱۰	۱۰۰۱	۱۸۳	۰/۱۴۳	۰/۵۴۴	۰/۰۶۲	۳۱	۳/۶
۱۲:۲۰	۱۰۲۱	۳۲۴	۰/۱۴۴	۰/۵۴۸	۰/۰۶۳	۳۱/۴	۳/۸
۱۲:۳۰	۱۰۲۰	۴۸۲	۰/۱۶۱	۰/۵۹۰	۰/۰۷۳	۳۱/۷	۳/۷
۱۲:۴۰	۱۰۱۶	۶۹۹	۰/۱۶۰	۰/۵۸۸	۰/۰۷۲	۳۲	۳/۸
۱۲:۵۰	۱۰۰۳	۸۴۴	۰/۱۸۹	۰/۶۲۰	۰/۰۸۰	۳۲	۳/۷
۱۳:۰۰	۹۹۹	۱۰۲۷	۰/۱۹۱	۰/۶۴۰	۰/۰۸۵	۳۳/۵	۳/۴
۱۳:۱۰	۹۹۳	۱۱۶۳	۰/۱۹۹	۰/۶۶۱	۰/۰۹۱	۳۳/۹	۳/۳
۱۳:۲۰	۹۸۹	۱۳۶۰	۰/۱۸۷	۰/۶۳۰	۰/۰۸۳	۳۴/۵	۳/۳
۱۳:۳۰	۹۸۳	۱۵۲۳	۰/۱۸۶	۰/۶۲۰	۰/۰۸۰	۳۴/۵	۳/۳
۱۳:۴۰	۹۷۵	۱۶۸۶	۰/۱۹۱	۰/۶۵۰	۰/۰۸۸	۳۴/۱	۳/۵
۱۳:۵۰	۹۶۸	۱۸۲۱	۰/۱۹۱	۰/۶۴۹	۰/۰۸۸	۳۳	۳/۴
۱۴:۰۰	۹۶۶	۱۹۹۶	۰/۱۸۲	۰/۶۷	۰/۰۹۴	۳۳	۳/۶

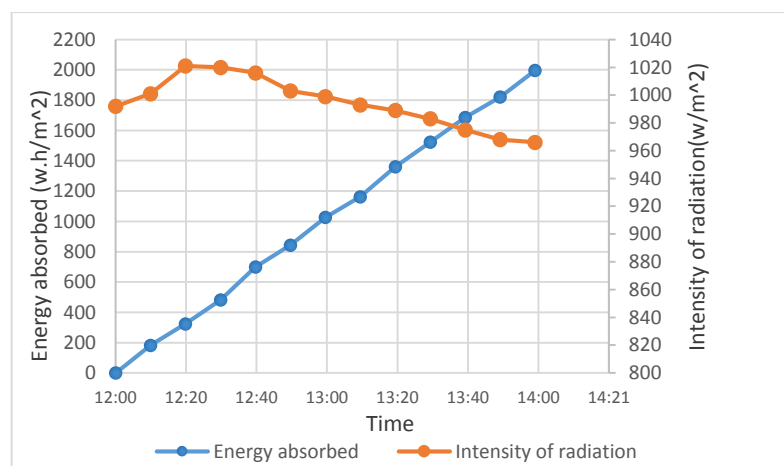
جدول ۲-۴ پارامترهای ثبت شده ۳۰ تیرماه (سیستم اول)

زمان	تابش (w/m^2)	انرژی جذب شده (wh/m^2)	جریان (A)	ولتاژ (V)	توان مولد (w)	دمای محیط ($^{\circ}C$)	سرعت باد (m/s)
۱۲:۰۰	۹۹۷	۰	۰/۰۱۷	۰/۰۳۴	۰/۰۰۱	۳۱	۲/۳
۱۲:۱۰	۱۰۰۱	۱۴۳	۰/۱۶۸	۰/۵۸۱	۰/۰۷۰	۳۲/۲	۲/۳
۱۲:۲۰	۱۰۱۳	۳۲۹	۰/۱۷۷	۰/۵۹۵	۰/۰۷۴	۳۲/۲	۲/۴
۱۲:۳۰	۱۰۱۹	۵۰۴	۰/۱۸۶	۰/۶۰۳	۰/۰۷۶	۳۳	۱/۹
۱۲:۴۰	۱۰۱۱	۷۱۲	۰/۱۹۱	۰/۶۱۴	۰/۰۷۹	۳۳/۳	۲/۲
۱۲:۵۰	۱۰۱۰	۸۹۵	۰/۱۹۷	۰/۶۴۰	۰/۰۸۵	۳۳/۹	۲/۲
۱۳:۰۰	۱۰۱۹	۱۰۰۳	۰/۱۹۲	۰/۶۲۳	۰/۰۸۱	۳۴	۲/۱
۱۳:۱۰	۱۰۰۵	۱۲۴۸	۰/۱۹۳	۰/۶۲۱	۰/۰۸۰	۳۳/۸	۱/۸
۱۳:۲۰	۱۰۰۴	۱۳۶۳	۰/۱۸۶	۰/۶۱۰	۰/۰۷۸	۳۳/۸	۱/۸
۱۳:۳۰	۹۹۹	۱۵۰۹	۰/۱۸۱	۰/۶۰۴	۰/۰۷۶	۳۳/۹	۱/۸
۱۳:۴۰	۹۸۹	۱۷۲۹	۰/۱۸۱	۰/۶۰۳	۰/۰۷۶	۳۴/۲	۲
۱۳:۵۰	۹۷۴	۱۸۶۱	۰/۱۷۲	۰/۵۹۸	۰/۰۷۵	۳۳/۹	۲/۲
۱۴:۰۰	۹۷۱	۲۰۰۳	۰/۱۶۸	۰/۵۷۲	۰/۰۶۸	۳۳/۱	۲/۱

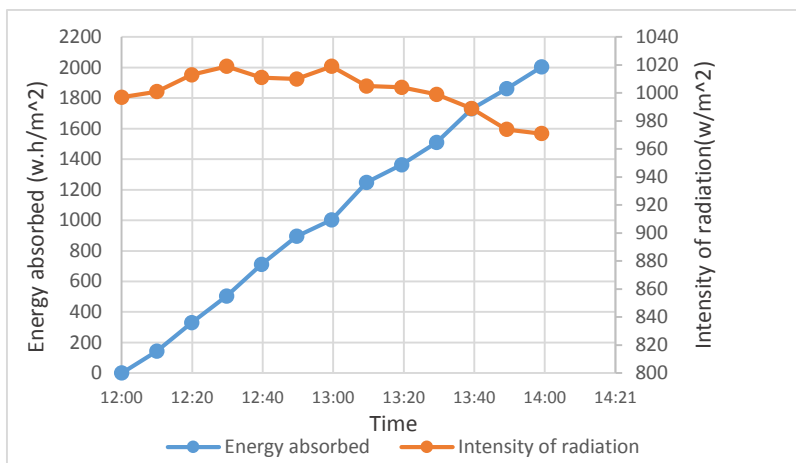
جدول ۳-۴ پارامترهای ثبت شده ۳۱ تیرماه (سیستم اول)

زمان	تابش (w/m^2)	انرژی جذب شده (wh/m^2)	جریان (A)	ولتاژ (V)	توان مولد (w)	دمای محیط ($^{\circ}C$)	سرعت باد (m/s)
۱۲:۰۰	۹۹۴	۰	۰/۰۱۵	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱	۳۰/۹	۳/۱
۱۲:۱۰	۱۰۰۰	۱۷۸	۰/۱۴۲	۰/۵۲۲	۰/۰۵۷	۳۳	۳/۱
۱۲:۲۰	۱۰۰۴	۳۶۱	۰/۱۴۶	۰/۵۳۱	۰/۰۵۹	۳۳/۱	۳/۶
۱۲:۳۰	۱۰۰۳	۵۰۲	۰/۱۷۸	۰/۵۹۰	۰/۰۷۳	۳۳/۱	۲/۷
۱۲:۴۰	۱۰۰۵	۶۵۹	۰/۱۸۱	۰/۶۰۲	۰/۰۷۶	۳۳/۹	۳/۲
۱۲:۵۰	۱۰۱۰	۸۲۱	۰/۱۷۹	۰/۵۸۹	۰/۰۷۲	۳۴/۲	۲/۶
۱۳:۰۰	۱۰۰۰	۹۹۳	۰/۱۸۶	۰/۶۰۷	۰/۰۷۷	۳۴/۵	۳/۴
۱۳:۱۰	۱۰۰۶	۱۱۸۳	۰/۱۸۲	۰/۵۵۹	۰/۰۷۵	۳۴/۳	۳/۴
۱۳:۲۰	۱۰۰۶	۱۳۳۲	۰/۱۸۲	۰/۵۹۶	۰/۰۷۴	۳۳/۹	۳/۵
۱۳:۳۰	۱۰۰۴	۱۴۸۱	۰/۱۶۴	۰/۵۴۰	۰/۰۶۱	۳۴/۴	۳/۳
۱۳:۴۰	۹۹۹	۱۶۹۹	۰/۱۵۳	۰/۵۲۱	۰/۰۵۷	۳۴/۳	۳/۱
۱۳:۵۰	۹۸۷	۱۷۹۳	۰/۱۵۹	۰/۵۲۲	۰/۰۵۷	۳۴/۲	۳/۲
۱۴:۰۰	۹۶۹	۱۸۹۶	۰/۱۴۴	۰/۵۰۶	۰/۰۵۳	۳۴/۵	۳/۳

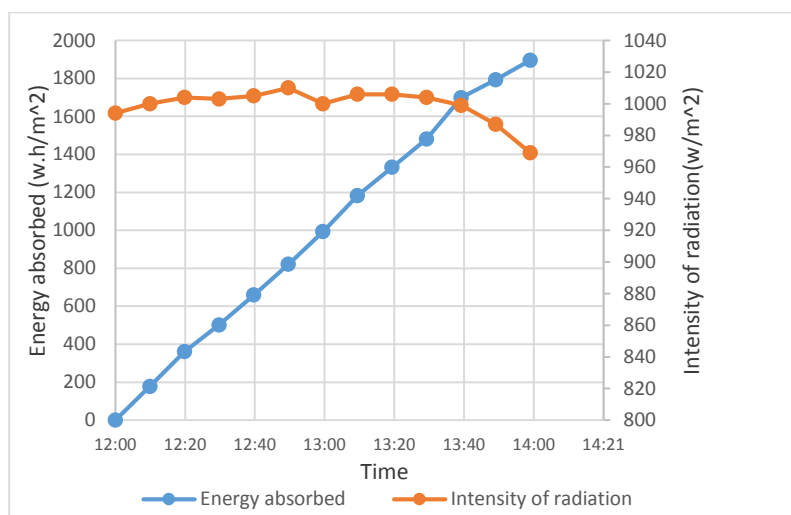
همانطور که در جداول مشخص است هرچه سرعت باد بیشتر و دمای محیط پایین تر باشد دمای سرد مولد ترموالکتریک پایین تر می شود و اختلاف دما باعث افزایش اختلاف پتانسیل می شود. شکل ۱-۴ و ۲-۴ و ۳-۴ شدت تابش و انرژی جذب شده از خورشید را در ۳ روز آزمایش نشان می دهد.



شکل ۱-۴ نمودار شدت تابش و انرژی جذب شده از خورشید برحسب زمان در ۲۹ تیر

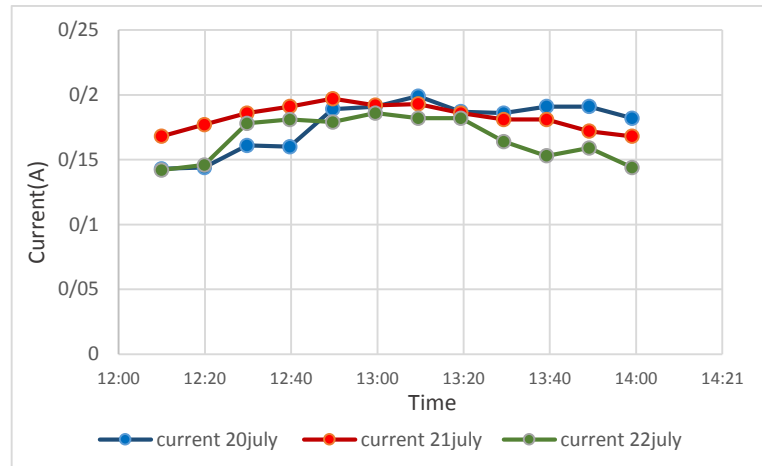


شکل ۴-۲ نمودار شدت تابش و انرژی جذب شده از خورشید بر حسب زمان در ۳۰ تیر

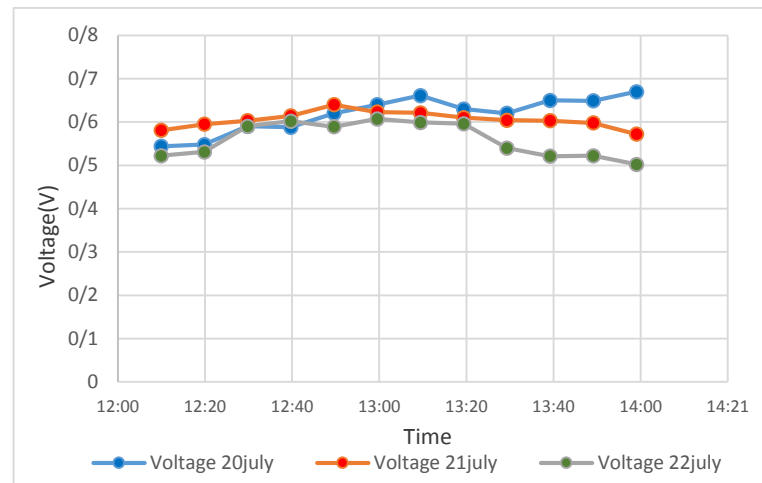


شکل ۴-۳ نمودار شدت تابش و انرژی جذب شده از خورشید بر حسب زمان در ۳۱ تیر

با توجه به نمودارها، هرچه شدت تابش بالاتر باشد انرژی بیشتری از خورشید جذب می شود. شدت تابش خورشید یک ساعت قبل و بعد از ظهر بیشترین مقدار را دارد. شدت تابش در شروع آزمایش از مقدار $990 \frac{W}{m^2}$ وات بر مترمربع روند افزایشی داشته و در سپس سیر نزولی پیدا کرده است اما انرژی جذب شده از خورشید با روندی تقریباً ثابت افزایش پیدا میکند که در نهایت طی ۲ ساعت به مقدار $2003 \frac{wh}{m^2}$ می رسد. شکل ۴-۴ و ۴-۵ ولتاژ و جریان خروجی از ژنراتور ترموالکتریک را نشان می دهد.

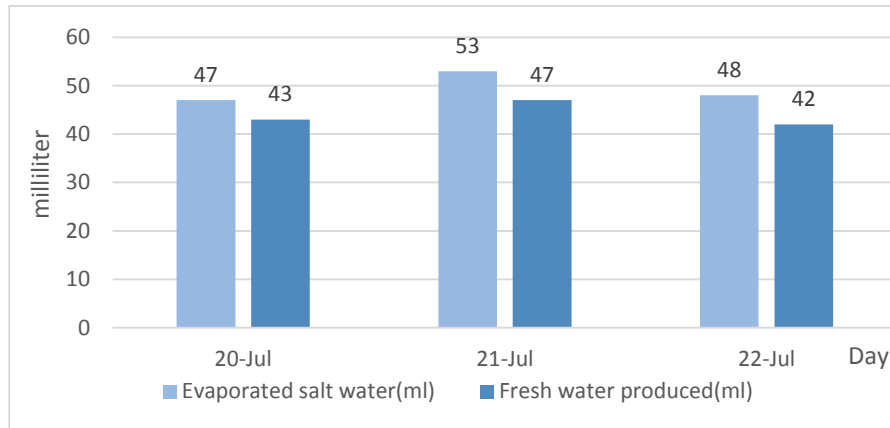


شکل ۴-۴ نمودار جریان خروجی مولد ترموالکتریک نسبت به زمان در ۳ روز



شکل ۴-۵ نمودار ولتاژ خروجی مولد ترموالکتریک نسبت به زمان در ۳ روز

هرچه اختلاف دمای دو طرف ژنراتور بیشتر باشد، ولتاژ و جریان بیشتر شده و به دنبال آن توان ترموالکتریک بیشتر می‌شود. دمای سطح داغ را که در تماس با کف محفظه آب در حال جوشش می‌باشد را بالاتر نمی‌توان برد اما سمت سرد آن را می‌توان خنک‌تر کرد. همان‌طور که در نمودارها مشخص است چون آب دائماً در حال جوشیدن است، محدوده ولتاژ و جریان در طول آزمایش تقریباً ثابت و در روزهای مختلف نزدیک به هم می‌باشد. در نمودار زیر میزان آب شوری که بخار شده و میزان آب شیرین تولیدشده را نشان می‌دهد (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۶ نمودار آب شیرین تولیدشده به ازای آب شور ورودی (سیستم اول)

میزان آب بخار شده به ۲ روش اندازه گیری شده است یک روش تغییر ارتفاع آب و محاسبه حجم بخار شده و روش دوم در پایان آزمایش میزان آب باقیمانده وزن شده است و هم چنین میزان آب شیرین تولید شده در محفظه سردسازی جمع گردیده و حجمش محاسبه شده است. در طی ۳ روز آزمایش در طی ۲ ساعت میزان آب بخار شده در سلول بین ۴۵ تا ۵۵ میلی لیتر و میزان آب شیرین میعان شده در محدوده ۴۰ تا ۵۰ میلی لیتر می باشد.

۴-۲-۱-۱ راندمان TEG

دمای دو طرف مولد با توجه به اینکه آب دائم در حال جوشیدن می باشد، تقریباً مقدار ثابتی اختلاف دارند بنابراین یک راندمان ترموالکتریک برای هرروز محاسبه می گردد. راندمان ترموالکتریک طبق رابطه (۲-۸) محاسبه می شود:

$$\eta_{teg} = \frac{T_h - T_c}{T_h} * \frac{M - 1}{M + \frac{T_c}{T_h}}$$

که $M = \sqrt{1 + (ZT)}$ و مقدار رقم شایستگی مولد ترموالکتریک $\frac{1}{k} = 0.002949$ می باشد.

جدول ۴-۴: دمای سطوح و راندمان ترموالکتریک

η_{teg}	M	دمای سطح سرد ترموالکتریک (K)	دمای سطح داغ ترموالکتریک (K)	تیر
٪ ۲/۶۵	۱/۴۱۷	۳۱۷/۶	۳۶۶/۸	۲۹
٪ ۲/۳۳	۱/۴۱۹	۳۲۰/۱	۳۶۶/۸	۳۰
٪ ۲/۳۲	۱/۴۱۹	۳۱۹/۹	۳۶۶/۸	۳۱

۲-۱-۲-۴ راندمان حرارتی آب شیرین

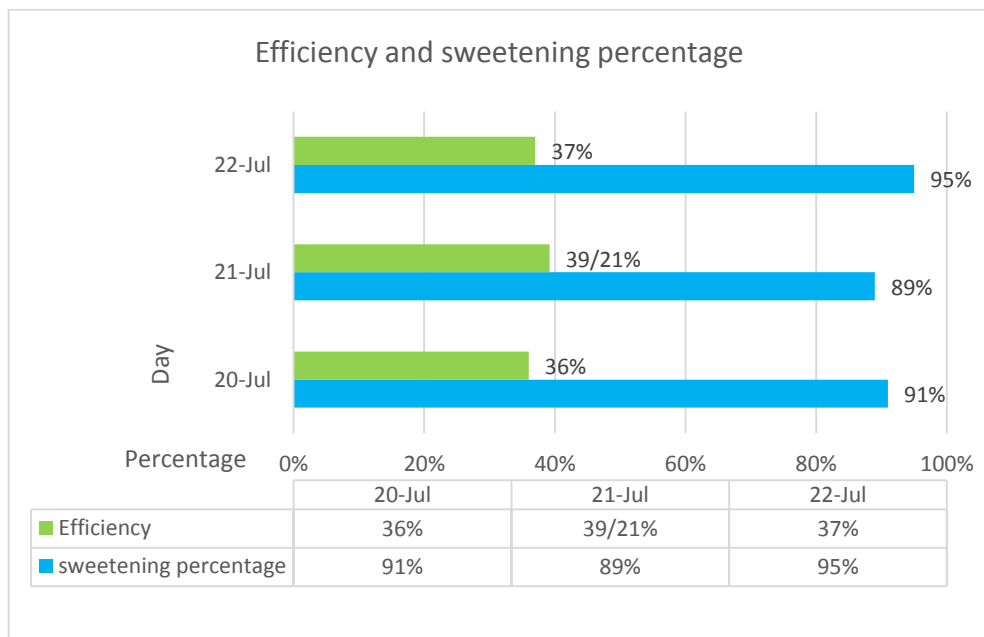
راندمان آب شیرین کن در طی ۲ ساعت آزمایش از رابطه (۲-۴) محاسبه می‌گردد.

$$\eta_h = \frac{m \cdot h_{fg}}{A \cdot I_b} \quad (2-4)$$

m وزن آب شیرین تولیدشده برحسب کیلوگرم ، h_{fg} آنتالپی تبخیر آب که $\frac{kJ}{kg}$ ، $2250 \cdot A$ مساحت

لنز فرزنل برحسب مترمربع و I_b انرژی جذبشده برحسب $\frac{kJ}{m^2}$ است. راندمان آب شیرین سامانه

۳۹/۲۱٪ می‌باشد. هم چنین درصد شیرین سازی ۹۵٪ است (شکل ۷-۴).



شکل ۷-۴ نمودار راندمان حرارتی و درصد شیرین سازی آب شور

۳-۱-۲-۴ راندمان الکتریکی

$$P_{sys} = \frac{V_{oc}^2}{4R_L} \quad (3-4)$$

در معادله بالا v ولتاژ مدارباز، R_L مقاومت داخلی که $1/2$ اهم می‌باشد و هم‌چنین P_{sys} توان الکتریکی مولد ترموالکتریک است. راندمان الکتریکی از رابطه (۴-۴) به دست می‌آید:

$$\eta_e = \frac{P_{sys}}{I_{fl}} \quad (4-4)$$

I_{fl} مقدار تابشی است که سطح لنز فرزنل دریافت می‌کند برحسب وات. مساحت لنز فرزنل 0.374 مترمربع می‌باشد.

جدول ۴-۵ توان تولیدی سیستم اول و راندمان الکتریکی در ۳ روز

تیرماه ۳۱			تیرماه ۳۰			تیرماه ۲۹			زمان
η_e (%)	I_{fl} (w)	P_{sys} (w)	η_e (%)	I_{fl} (w)	P_{sys} (w)	η_e (%)	I_{fl} (w)	P_{sys} (w)	
۰/۱۵۲	۳۷/۴	۰/۰۵۷	۰/۱۸۷	۳۷/۴	۰/۰۷۰	۰/۱۶۶	۳۷/۴	۰/۰۶۲	۱۲:۱۰
۰/۱۵۷	۳۷/۵	۰/۰۵۹	۰/۱۹۶	۳۷/۸	۰/۰۷۴	۰/۱۶۵	۳۸/۲	۰/۰۶۳	۱۲:۲۰
۰/۱۹۵	۳۷/۵	۰/۰۷۳	۰/۱۹۹	۳۸/۱	۰/۰۷۶	۰/۱۸۹	۳۸/۱	۰/۰۷۲	۱۲:۳۰
۰/۲۱۳	۳۷/۶	۰/۰۸۰	۰/۲۰۹	۳۷/۸	۰/۰۷۹	۰/۱۸۹	۳۸	۰/۰۷۲	۱۲:۴۰
۰/۱۹۵	۳۷/۷	۰/۰۷۲	۰/۲۲۵	۳۷/۷	۰/۰۸۵	۰/۲۱۳	۳۷/۵	۰/۰۸۰	۱۲:۵۰
۰/۲۰۶	۳۷/۴	۰/۰۷۷	۰/۲۱۳	۳۸/۱	۰/۰۸۱	۰/۲۲۸	۳۷/۳	۰/۰۸۵	۱۳:۰۰
۰/۱۹۴	۳۷/۷	۰/۰۷۳	۰/۲۱۲	۳۷/۶	۰/۰۸۰	۰/۲۴۵	۳۷/۱	۰/۰۹۱	۱۳:۱۰
۰/۱۹۶	۳۷/۷	۰/۰۷۴	۰/۲۰۸	۳۷/۵	۰/۰۷۸	۰/۲۲۴	۳۷	۰/۰۸۳	۱۳:۲۰
۰/۱۶۲	۳۷/۵	۰/۰۶۱	۰/۲۰۴	۳۷/۳	۰/۰۷۶	۰/۲۱۸	۳۶/۷	۰/۰۸۰	۱۳:۳۰
۰/۱۵۲	۳۷/۳	۰/۰۵۷	۰/۲۰۵	۳۷	۰/۰۷۶	۰/۲۴۲	۳۶/۴	۰/۰۸۸	۱۳:۴۰
۰/۱۵۲	۳۶/۹	۰/۰۵۶	۰/۲۰۶	۳۶/۴	۰/۰۷۵	۰/۲۴۳	۳۶/۲	۰/۰۸۸	۱۳:۵۰
۰/۱۴۶	۳۶/۲	۰/۰۵۳	۰/۱۸۷	۳۶/۳	۰/۰۶۸	۰/۲۵	۳۷/۲	۰/۰۹۳	۱۴:۰۰

۲-۲-۴ سیستم دوم:

این آزمایش‌ها در روزهای ۱۶، ۱۹ و ۲۳ تیرماه ۱۳۹۷ انجام شده است. ساعت شروع و پایان به ترتیب ۱۱:۴۵ و ۱۵:۴۵ ظهر می‌باشد. هر ۱۰ دقیقه کلیه پارامترها ثبت شده است. شیب لوله خلأ نسبت به افق ۲۲ درجه و تعداد لنزهای فرزنل ۷ عدد می‌باشد. دبی مبدل حرارتی ۱ لیتر بر دقیقه است.

جدول ۴-۶ پارامترهای ثبت شده در ۱۶ تیرماه (سیستم دوم)

زمان	شدت تابش (w/m^2)	انرژی جذب شده (wh/m^2)	دمای آب و سطح داغ مولد ($^{\circ}C$)	دمای آب لوله بدون لنز ($^{\circ}C$)	دمای سطح سرد مولد ($^{\circ}C$)	ولتاژ (V)	جریان (A)	دمای محیط ($^{\circ}C$)	سرعت باد (m/s)
۱۱:۴۵	۱۰۲۹	۰	۲۹/۱	۲۹/۱	۲۹/۳	۰/۰۸۷	۰/۰۲۳	۲۹/۳	۳/۴
۱۲:۰۰	۱۰۳۷	۱۷۳	۴۷/۲	۳۵/۹	۳۰/۲	۰/۱۴۸	۰/۰۴۱	۲۹/۸	۳/۴
۱۲:۱۰	۱۰۳۰	۲۱۸	۵۵/۷	۴۷/۸	۳۰/۹	۰/۱۷۳	۰/۰۴۸	۲۹/۹	۳/۴
۱۲:۲۰	۱۰۳۵	۳۹۹	۶۰/۶	۵۱/۱	۳۱/۳	۰/۲۳۸	۰/۰۶۹	۳۰/۱	۳
۱۲:۳۰	۱۰۳۳	۵۰۷	۶۶/۱	۵۵/۲	۳۴	۰/۲۷۷	۰/۰۸۲	۳۰/۱	۳/۱
۱۲:۴۰	۱۰۳۴	۷۵۵	۷۲/۱	۶۰	۳۴/۸	۰/۳۸۳	۰/۰۹۴	۳۱/۲	۳/۱
۱۲:۵۰	۱۰۳۰	۸۹۱	۷۶/۲	۶۲/۶	۳۹/۹	۰/۴۱۸	۰/۱۲۵	۳۱/۳	۳/۱
۱۳:۰۰	۱۰۲۸	۱۱۰۱	۸۰/۸	۶۵/۸	۳۸/۳	۰/۴۶۸	۰/۱۴۲	۳۲/۵	۳/۲
۱۳:۱۰	۱۰۲۰	۱۲۷۹	۸۴/۲	۶۸/۵	۳۹/۹	۰/۵۰۲	۰/۱۴۴	۳۲/۵	۳/۳
۱۳:۲۰	۱۰۲۱	۱۴۷۳	۸۷/۴	۷۰	۴۳/۷	۰/۶۱۴	۰/۱۶۹	۳۱/۴	۳/۳
۱۳:۳۰	۱۰۲۴	۱۵۸۰	۹۶/۶	۷۳/۲	۴۶/۷	۰/۶۵۹	۰/۱۸۰	۳۱/۴	۳/۴
۱۳:۴۰	۱۰۲۳	۱۹۶۶	۹۷/۵	۷۵/۳	۴۷/۴	۰/۶۸۸	۰/۲۰۱	۳۱/۶	۳/۵
۱۳:۵۰	۱۰۱۸	۲۱۱۷	۹۷/۵	۷۷/۱	۴۷/۸	۰/۷۰۷	۰/۱۹۲	۳۱/۶	۳/۶
۱۴:۰۰	۱۰۱۵	۲۳۸۱	۹۷/۷	۷۸/۸	۴۹/۲	۰/۷۰۱	۰/۲۰۳	۳۱/۶	۳/۶
۱۴:۱۰	۱۰۱۴	۲۵۲۸	۹۷/۵	۸۰/۹	۴۸/۷	۰/۷۰۲	۰/۲۰۰	۳۲	۳/۹
۱۴:۲۰	۱۰۰۸	۲۶۹۱	۹۷/۳	۸۲/۸	۴۸/۲	۰/۹۰۳	۰/۲۹۵	۳۲/۴	۴/۱
۱۴:۳۰	۱۰۰۹	۲۸۲۲	۹۶/۴	۸۴/۱	۴۸/۲	۰/۹۵۵	۰/۳۰۲	۳۲/۴	۴/۲
۱۴:۴۰	۱۰۰۶	۲۹۸۱	۹۶/۵	۸۵/۳	۴۸/۱	۰/۸۵۱	۰/۲۸۵	۳۲/۴	۴/۶
۱۴:۵۰	۱۰۰۶	۳۱۰۵	۹۶/۴	۸۶/۴	۴۷/۹	۰/۸۵۲	۰/۲۵۱	۳۴/۷	۴/۶
۱۵:۰۰	۱۰۰۶	۳۲۹۰	۹۶/۴	۸۷/۱	۴۸	۰/۸۵۰	۰/۲۵۳	۳۴/۷	۴/۷
۱۵:۱۰	۱۰۰۴	۳۴۴۲	۹۶/۳	۸۸/۵	۴۷/۸	۰/۷۸۳	۰/۲۴۳	۳۲/۵	۵/۵
۱۵:۲۰	۱۰۰۰	۳۶۱۰	۹۶/۳	۸۹/۱	۴۷/۷	۰/۶۵۰	۰/۲۴۵	۳۲/۵	۵/۱
۱۵:۳۰	۹۹۹	۳۷۸۵	۹۶/۳	۹۰	۴۷/۷	۰/۷۳۵	۰/۲۲۰	۳۱/۳	۵/۲
۱۵:۴۰	۹۸۳	۳۸۹۰	۹۶/۳	۹۰/۷	۴۷/۷	۰/۶۹۰	۰/۲۲۲	۳۲	۵/۲
۱۵:۴۵	۹۸۱	۴۱۲۱	۹۶/۳	۹۱	۴۷/۶	۰/۶۹۴	۰/۲۲۴	۳۱/۸	۵/۳

جدول ۷-۴ پارامترهای ثبت شده در ۱۹ تیرماه (سیستم دوم)

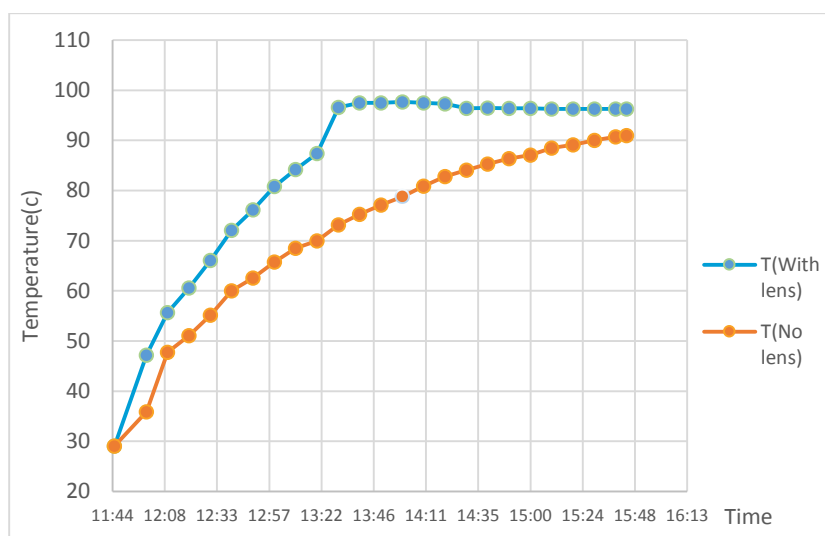
زمان	شدت تابش (w/m^2)	انرژی جذب شده (wh/m^2)	دمای آب و سطح داغ مولد ($^{\circ}C$)	دمای آب لوله بدون لنز ($^{\circ}C$)	دمای سطح سرد مولد ($^{\circ}C$)	ولتاژ (V)	جریان (A)	دمای محیط ($^{\circ}C$)	سرعت باد (m/s)
۱۱:۴۵	۹۷۰	۰	۲۹/۹	۲۹/۹	۲۸/۴	۰/۰۹۶	۰/۰۲۸	۲۷/۲	۱/۹
۱۲:۰۰	۹۸۱	۲۲۹	۴۹/۷	۴۰	۲۸/۶	۰/۱۵۱	۰/۰۶۲	۲۷/۲	۱/۹
۱۲:۱۰	۹۹۲	۳۶۳	۵۶/۳	۴۶/۵	۲۸/۸۹	۰/۱۹۴	۰/۰۷۱	۲۷/۵	۲/۴
۱۲:۲۰	۱۰۱۰	۵۳۵	۶۲/۲	۵۱/۹	۲۹/۸	۰/۲۲۴	۰/۰۷۷	۲۸/۱	۳/۴
۱۲:۳۰	۱۰۰۹	۷۴۴	۶۷	۵۵/۸	۳۲	۰/۲۴۸	۰/۱۲۹	۲۹	۳/۴
۱۲:۴۰	۱۰۱۵	۸۸۰	۷۰	۶۰/۴	۳۳/۱	۰/۴۰۴	۰/۱۸۰	۲۹	۳/۴
۱۲:۵۰	۱۰۱۴	۱۰۵۳	۷۴/۲	۶۲/۵	۳۳/۹	۰/۵۱۰	۰/۲۰۷	۲۹/۳	۳/۴
۱۳:۰۰	۱۰۲۲	۱۲۴۵	۷۷/۷	۶۵/۱	۳۵	۰/۶۲۱	۰/۲۳۳	۳۰/۸	۱/۲
۱۳:۱۰	۱۰۳۲	۱۴۶۰	۸۰/۵	۶۸/۲	۳۸/۳	۰/۷۰۱	۰/۲۴۰	۳۰/۸	۱/۵
۱۳:۲۰	۱۰۲۵	۱۵۵۰	۸۳/۱	۷۰/۱	۴۰/۲	۰/۷۵۵	۰/۲۵۲	۳۱/۲	۳/۳
۱۳:۳۰	۱۰۲۷	۱۷۵۲	۸۵/۱	۷۲/۴	۴۳/۷	۰/۸۵۰	۰/۲۸۰	۳۳	۳/۶
۱۳:۴۰	۱۰۲۲	۱۸۸۰	۸۷/۸	۷۴/۲	۴۶/۷	۰/۹۵۱	۰/۲۸۴	۳۳/۳	۳/۳
۱۳:۵۰	۱۰۲۰	۲۰۴۷	۹۷/۲	۷۶/۲	۴۹/۹	۰/۹۵۳	۰/۳۱۰	۳۳	۲/۸
۱۴:۰۰	۱۰۰۷	۲۲۵۹	۹۷/۴	۷۸/۴	۵۰/۲	۰/۹۹۰	۰/۳۰۴	۳۲/۳	۲/۷
۱۴:۱۰	۱۰۰۶	۲۴۰۷	۹۷/۳	۸۰/۷	۵۰/۲	۰/۹۸۴	۰/۳۰۴	۳۲/۳	۳
۱۴:۲۰	۱۰۰۰	۲۶۴۰	۹۷/۳	۸۲/۵	۵۰/۱	۰/۹۸۰	۰/۳۰۰	۳۲	۳
۱۴:۳۰	۱۰۱۳	۲۷۴۶	۹۷/۲	۸۳/۲	۵۰	۰/۹۴۹	۰/۲۹۰	۳۲/۳	۳
۱۴:۴۰	۱۰۱۰	۲۹۷۶	۹۶/۳	۸۴/۸	۵۰/۱	۰/۹۴۰	۰/۲۷۲	۳۲/۱	۱/۸
۱۴:۵۰	۱۰۰۰	۳۲۴۷	۹۶/۴	۸۶/۵	۴۸/۷	۰/۸۷۹	۰/۲۳۱	۳۲	۱/۸
۱۵:۰۰	۹۹۹	۳۴۰۱	۹۶/۳	۸۶/۷	۴۸	۰/۷۰۹	۰/۲۱۲	۳۱/۸	۱/۸
۱۵:۱۰	۱۰۰۰	۳۶۲۴	۹۶/۲	۸۷/۱	۴۷/۶	۰/۷۱۷	۰/۲۲۲	۳۱/۶	۲
۱۵:۲۰	۱۰۰۱	۳۷۳۶	۹۶/۲	۸۸/۲	۴۷/۶	۰/۷۲۰	۰/۲۳۳	۳۱/۶	۲
۱۵:۳۰	۱۰۰۰	۳۸۲۳	۹۶/۳	۸۹/۳	۴۷	۰/۷۳۱	۰/۲۳۹	۳۱/۵	۲
۱۵:۴۰	۹۹۸	۳۹۷۶	۹۶/۳	۸۹/۷	۴۶/۷	۰/۷۳۰	۰/۲۳۰	۳۱/۶	۱/۸
۱۵:۴۵	۹۸۹	۴۰۷۲	۹۶/۳	۸۹/۹	۴۶/۸	۰/۷۳۱	۰/۲۳۲	۳۱/۵	۱/۵

جدول ۴-۸ پارامترهای ثبت شده در ۲۳ تیرماه (سیستم دوم)

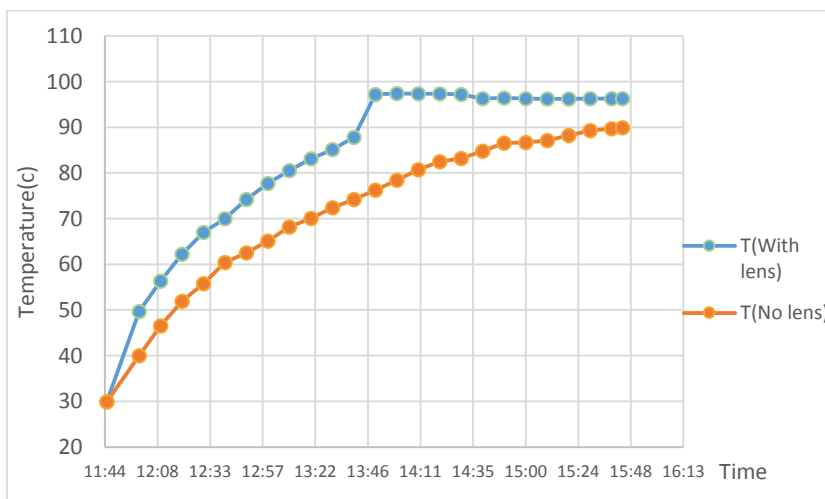
زمان	شدت تابش (w/m^2)	انرژی جذب شده (wh/m^2)	دمای آب و سطح داغ مولد ($^{\circ}C$)	دمای آب لوله بدون لنز ($^{\circ}C$)	دمای سطح سرد مولد ($^{\circ}C$)	ولتاژ (V)	جریان (A)	دمای محیط ($^{\circ}C$)	سرعت باد (m/s)
۱۱:۴۵	۱۰۰۸	۰	۳۰/۲	۳۰/۲	۲۸/۱	۰/۰۹۸	۰/۰۳۰	۲۷/۵	۰/۹
۱۲:۰۰	۱۰۱۴	۲۱۴	۴۴	۳۷	۲۸/۷	۰/۱۳۴	۰/۰۳۷	۲۷/۵	۰/۹
۱۲:۱۰	۱۰۴۹	۳۳۲	۵۳/۴	۴۵	۲۹/۲	۰/۱۴۵	۰/۰۵۰	۲۸/۴	۱/۲
۱۲:۲۰	۱۰۵۱	۴۸۲	۵۸/۵	۵۰/۵	۳۲	۰/۲۹۴	۰/۱۱۲	۳۰/۱	۱/۹
۱۲:۳۰	۱۰۶۸	۶۷۴	۶۴/۸	۵۴/۲	۳۳/۷	۰/۴۰۱	۰/۱۷۱	۳۰/۳	۱/۹
۱۲:۴۰	۱۰۴۱	۷۹۹	۶۷/۷	۵۷/۱	۳۶/۶	۰/۴۵۷	۰/۱۹۲	۳۰/۳	۱/۹
۱۲:۵۰	۱۰۱۴	۹۳۵	۷۱/۱	۵۹/۸	۳۷/۳	۰/۵۱۰	۰/۱۹۴	۳۰/۲	۱/۹
۱۳:۰۰	۱۰۱۰	۱۱۹۰	۷۸/۳	۶۳/۱	۳۹/۳	۰/۵۸۰	۰/۱۹۵	۳۰	۱/۹
۱۳:۱۰	۱۰۰۸	۱۳۴۱	۸۲/۳	۶۵/۴	۴۱/۴	۰/۶۰۸	۰/۲۰۱	۳۲/۳	۲/۱
۱۳:۲۰	۱۰۰۶	۱۵۶۰	۸۹	۶۹/۱	۴۴/۷	۰/۷۴۳	۰/۲۹۱	۳۲/۵	۲/۱
۱۳:۳۰	۱۰۰۵	۱۷۰۴	۹۰/۷	۷۰/۶	۴۷/۱	۰/۸۶۸	۰/۳۳۵	۳۱/۹	۲/۲
۱۳:۴۰	۱۰۰۵	۱۸۷۸	۹۷/۳	۷۳/۱	۴۸/۷	۰/۹۷۷	۰/۳۵۵	۳۲	۲/۳
۱۳:۵۰	۱۰۰۳	۱۹۷۲	۹۷/۵	۷۴/۲	۵۱/۲	۰/۹۹۰	۰/۳۶۰	۳۲/۹	۲/۳
۱۴:۰۰	۱۰۰۴	۲۱۸۱	۹۷/۵	۷۶/۴	۵۲/۷	۰/۹۹۹	۰/۳۸۶	۳۴	۲/۶
۱۴:۱۰	۱۰۰۰	۲۳۷۶	۹۷/۴	۷۸/۴	۵۲/۴	۱/۰۱۰	۰/۴۱۳	۳۵/۵	۲/۸
۱۴:۲۰	۱۰۰۱	۲۵۴۳	۹۷/۶	۷۹	۵۳/۲	۰/۹۸۶	۰/۴۰۱	۳۵/۵	۲/۸
۱۴:۳۰	۱۰۰۷	۲۷۲۸	۹۷/۳	۸۰/۳	۵۳/۲	۰/۹۴۳	۰/۳۶۷	۳۴/۷	۳/۷
۱۴:۴۰	۱۰۰۰	۲۹۰۸	۹۷/۳	۸۲	۵۳/۱	۰/۹۴۱	۰/۳۶۸	۳۴/۶	۳/۱
۱۴:۵۰	۱۰۰۰	۳۰۰۴	۹۷/۱	۸۳/۴	۵۲/۹	۰/۸۹۰	۰/۳۰۶	۳۳/۸	۳/۳
۱۵:۰۰	۹۹۶	۳۲۲۰	۹۷/۲	۸۴/۱	۵۰/۶	۰/۸۳۶	۰/۲۹۹	۳۳/۲	۳/۳
۱۵:۱۰	۹۹۸	۳۳۹۶	۹۷/۲	۸۶/۳	۵۰/۵	۰/۸۲۹	۰/۲۸۱	۳۲/۹	۳/۲
۱۵:۲۰	۹۹۵	۳۵۰۷	۹۷/۳	۸۷/۸	۵۰/۵	۰/۸۶۹	۰/۲۷۶	۳۲/۸	۳/۲
۱۵:۳۰	۹۸۶	۳۷۴۲	۹۷/۲	۸۸/۶	۴۹/۹	۰/۷۶۰	۰/۲۷۰	۳۲/۸	۳/۳
۱۵:۴۰	۹۸۸	۳۸۹۹	۹۷/۲	۹۱	۴۹/۷	۰/۷۶۱	۰/۲۷۳	۳۲/۱	۳/۴
۱۵:۴۵	۹۸۹	۴۱۴۵	۹۷/۲	۹۲/۳	۴۹/۷	۰/۷۵۹	۰/۲۶۱	۳۲/۱	۳/۵

دو لوله خلأ در کنار هم با زاویه یکسان قرار گرفته‌اند. یکی در تماس مستقیم با آفتاب و دیگری از لنز فرزنل استفاده شده است. در زمان کمتر از ۲ ساعت ۲/۸ لیتر آب داخل لوله به نقطه‌ی جوش می‌رسد و تا پایان آزمایش دائماً در حال جوشیدن می‌باشد. با توجه به هوا خنک بودن هیت سینک، دمای طرف

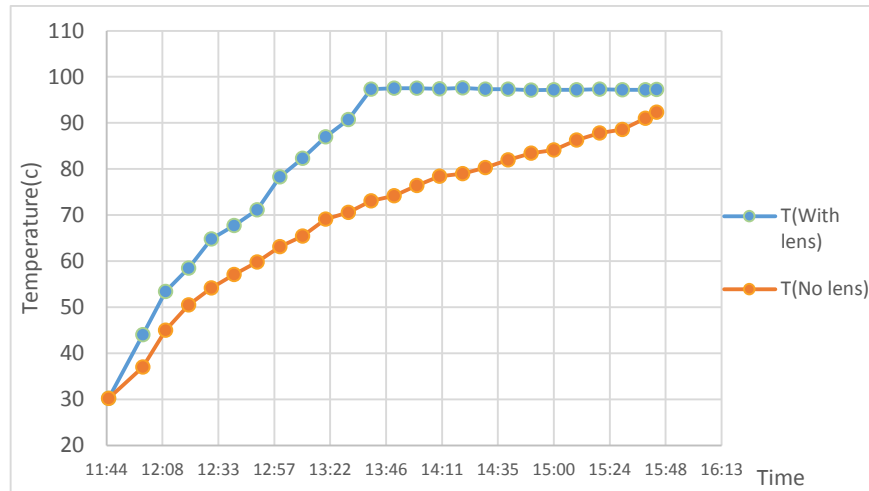
سرد ترموالکتریک در زمان جوشیدن مابین ۴۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که در صورت خنک کاری با آب، دمای طرف سرد مقدار قابل‌ملاحظه‌ای پایین‌تر می‌آید و اختلاف دمای دو طرف مولد بالاتر می‌رود. در شکل‌های ۴-۸ و ۴-۹ و ۴-۱۰ تغییرات دمای آب داخل لوله‌ها برحسب زمان در طی آزمایش را نشان می‌دهد. لوله‌ای که در تماس مستقیم با آفتاب است به جوش نمی‌رسد درحالی‌که لوله دیگر، حدود دو ساعت در حال جوشیدن می‌باشد. در شکل ۴-۱۱ میزان آب‌شور بخار شده در این دو حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸ نمودار تغییرات دمای آب درون لوله خلأ مقایسه حالت با لنز فرزنل و بدون لنز در ۱۶ تیرماه

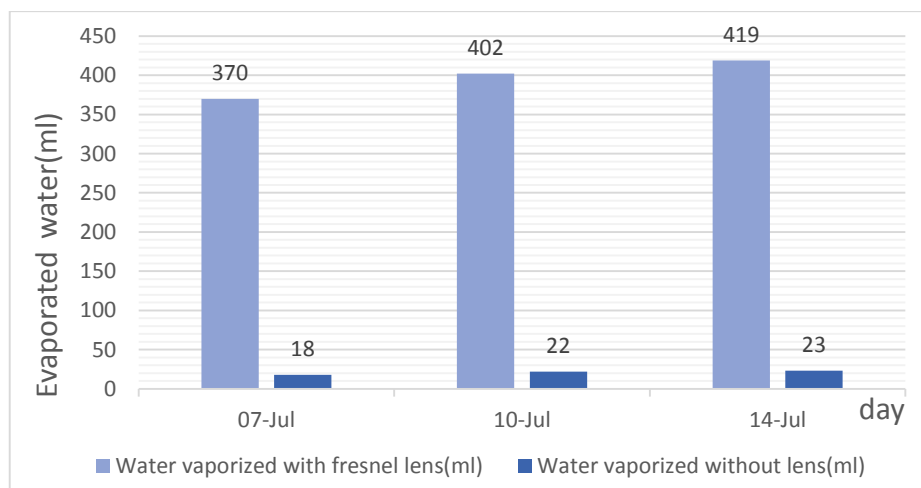


شکل ۴-۹ نمودار تغییرات دمای آب درون لوله خلأ مقایسه حالت با لنز فرزنل و بدون لنز در ۱۹ تیرماه



شکل ۴-۱۰ نمودار تغییرات دمای آب درون لوله خلأ مقایسه حالت با لنز فرزنل و بدون لنز در ۲۳ تیرماه

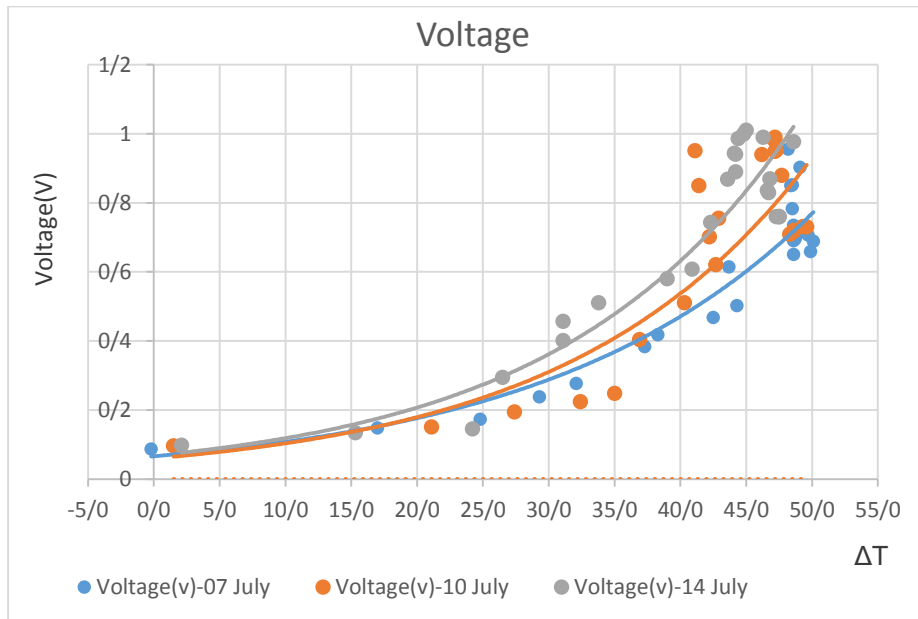
همان گونه که در نمودار نشان داده شده است، دمای اولیه آب در هر دو لوله مقدار یکسانی دارد. با گذشت زمان این اختلاف افزایش می یابد به طوری که در زمان رسیدن به نقطه جوش لوله خلأ به همراه لنز، این اختلاف دما به مقدار بالای ۲۰ درجه سانتی گراد می رسد سپس در لوله خلأ به همراه لنز دما در دمای جوشش باقی می ماند و روند یکنواختی را طی می کند ولی لوله دیگر روند صعودی دارد تا به دمای نزدیک جوشش برسد.



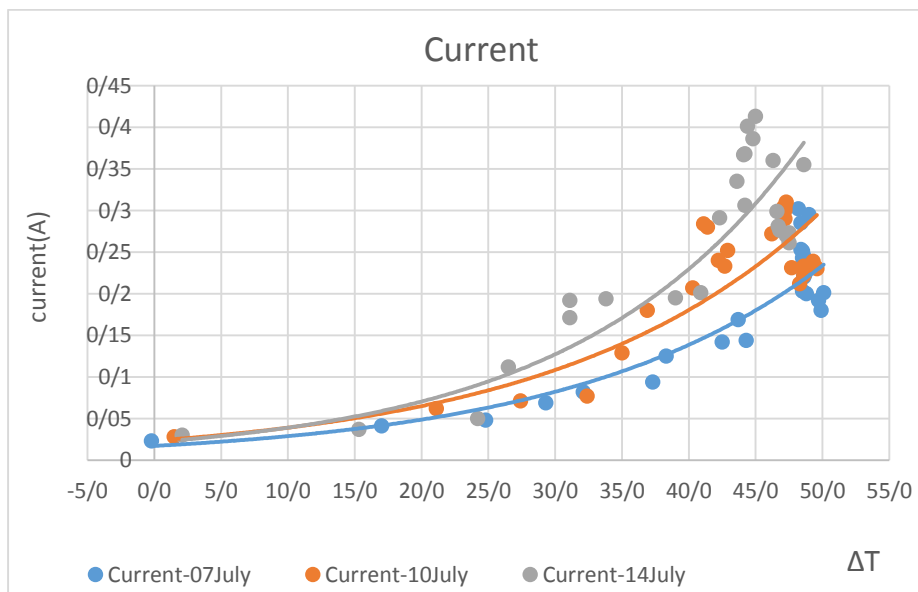
شکل ۴-۱۱ میزان آب شور بخار شده در دو حالت با لنز فرزنل و بدون لنز

با توجه به نمودار، آب بخار شده لوله با لنز فرزنل در ماکزیمم حالت ۴۱۹ میلی لیتر و در لوله بدون لنز ۲۳ میلی لیتر می باشد. در نمودارهای زیر مقدار ولتاژ و جریان تولید شده از ژنراتور ترموالکتریک برحسب

اختلاف دمای دو طرف مولد رسم شده است، مشاهده می‌گردد که هرچه دمای طرف داغ بیشتر می‌شود (اختلاف دما افزایش می‌یابد) مقدار این کمیت‌ها افزایش چشمگیری دارند و در پایان به دلیل بخار آب از روی سطح داغ مولد، دمای سطح داغ کمی کاهش می‌یابد که موجب کاهش جریان و ولتاژ می‌گردد (شکل ۴-۱۲ و ۴-۱۳).

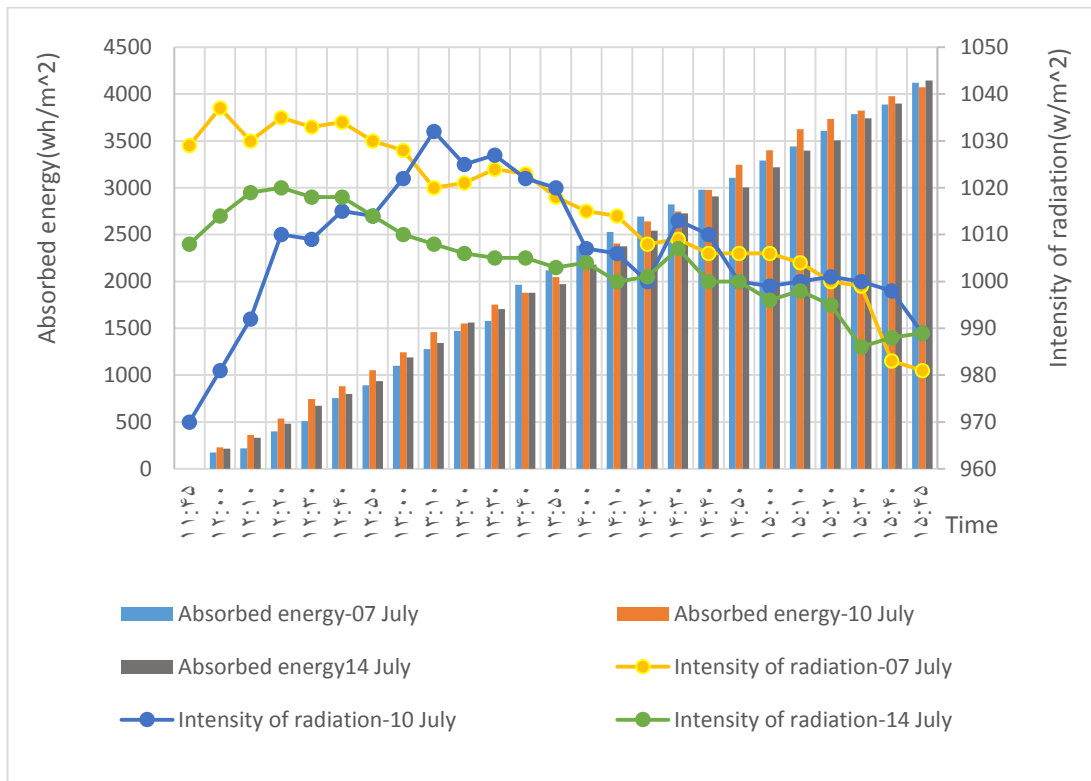


شکل ۴-۱۲ نمودار ولتاژ برحسب اختلاف دمای دو سطح ترموالکتریک در ۳ روز



شکل ۴-۱۳ نمودار جریان برحسب اختلاف دمای دو طرف مولد ترموالکتریک در ۳ روز

مقدار انرژی که از خورشید در هر آزمایش ۴ ساعت جذب شده، همچنین شدت تابش برحسب زمان در نموداری که در شکل ۴-۱۴ می باشد ثبت گردیده است. با توجه به اینکه شدت تابش در این بازه زمانی تقریباً مقدار ثابتی نوسان دارد و پیرامون مقدار $1000 \frac{W}{m^2}$ تغییر می کند، مقدار انرژی که از خورشید جذب می گردد در ۳ روز آزمایش مقدار $4000 \frac{wh}{m^2}$ می باشد.



شکل ۴-۱۴ نمودار شدت تابش و انرژی جذب شده برحسب زمان در ۳ روز

۴-۲-۲-۱ راندمان الکتریکی و TEG

طبق روابط ۴-۳ و ۴-۴ راندمان الکتریکی و طبق رابطه ۳-۵ راندمان ترموالکتریک به صورت زیر به دست می آید:

جدول ۴-۹ راندمان الکتریکی و راندمان مولد ترموالکتریک ۱۶ تیرماه

η_e (%)	I_{fl} (W)	P_{sys} (W)	η_{teg} (%)	M	$T_h - T_c$ (K)	$T_h + T_c$ (K)	T_c (K)	T_h (K)	زمان
۰/۰۰۱	۲۶۹/۳۹۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۱/۳۷۵	-۰/۲	۶۰۴/۴	۳۰۲/۳	۳۰۲/۱	۱۱:۴۵
۰/۰۰۲	۲۷۱/۴۸۷	۰/۰۵۵	۰/۸۸	۱/۳۸۵	۰/۱۷	۶۲۳/۴	۳۰۲/۳	۳۲۰/۲	۱۲:۰۰
۰/۰۰۲	۲۶۹/۶۵۴	۰/۰۰۶	۱/۲۷	۱/۳۹۰	۲۴/۸	۶۳۲/۶	۳۰۳/۹	۳۲۸/۷	۱۲:۱۰
۰/۰۰۴	۲۷۰/۹۶۳	۰/۰۱۲	۱/۵۰	۱/۳۹۳	۲۹/۳	۶۳۷/۹	۳۰۴/۳	۳۳۳/۶	۱۲:۲۰
۰/۰۰۶	۲۷۰/۴۳۹	۰/۰۱۶	۱/۶۳	۱/۳۹۷	۳۲/۱	۶۴۶/۱	۳۰۷/۰	۳۳۹/۱	۱۲:۳۰
۰/۰۱۱	۲۷۰/۷۰۱	۰/۰۳۱	۱/۸۹	۱/۴۰۱	۳۷/۳	۶۵۲/۹	۳۰۷/۸	۳۴۵/۱	۱۲:۴۰
۰/۰۱۳	۲۶۹/۶۵۴	۰/۰۳۶	۱/۹۳	۱/۴۰۵	۳۸/۳	۶۶۰/۱	۳۱۰/۹	۳۴۹/۲	۱۲:۵۰
۰/۰۱۷	۲۶۹/۱۳۰	۰/۰۴۶	۲/۱۴	۱/۴۰۷	۴۲/۵	۶۶۵/۱	۳۱۱/۳	۳۵۳/۸	۱۳:۰۰
۰/۰۲۰	۲۶۷/۰۳۶	۰/۰۵۳	۲/۲۲	۱/۴۰۱	۴۴/۳	۶۷۰/۱	۳۱۲/۹	۳۵۷/۲	۱۳:۱۰
۰/۰۲۹	۲۶۷/۲۹۸	۰/۰۷۹	۲/۱۹	۱/۴۱۴	۴۳/۷	۶۷۷/۱	۳۱۶/۷	۳۶۰/۴	۱۳:۲۰
۰/۰۳۴	۲۶۸/۰۸۳	۰/۰۹۰	۲/۴۸	۱/۴۲۰	۴۹/۹	۶۸۹/۳	۳۱۹/۷	۳۶۹/۶	۱۳:۳۰
۰/۰۳۷	۲۶۷/۸۲۱	۰/۰۹۹	۲/۴۹	۱/۴۲۱	۵۰/۱	۶۹۰/۹	۳۲۰/۴	۳۷۰/۵	۱۳:۴۰
۰/۰۳۹	۲۶۶/۵۱۲	۰/۱۰۴	۲/۴۷	۱/۴۲۱	۴۹/۷	۶۹۱/۳	۳۲۰/۸	۳۷۰/۵	۱۳:۵۰
۰/۰۳۹	۲۶۵/۷۲۷	۰/۱۰۲	۲/۴۱	۱/۴۲۱	۴۸/۵	۶۹۲/۹	۳۲۲/۲	۳۷۰/۷	۱۴:۰۰
۰/۰۳۹	۲۶۵/۴۶۵	۰/۱۰۳	۲/۴۲	۱/۴۲۱	۴۸/۸	۶۹۲/۲	۳۲۱/۷	۳۷۰/۵	۱۴:۱۰
۰/۰۶۴	۲۶۳/۸۹۴	۰/۱۷۰	۲/۴۴	۱/۴۲۱	۴۹/۱	۶۹۱/۵	۳۲۱/۲	۳۷۰/۳	۱۴:۲۰
۰/۰۷۲	۲۶۴/۱۵۶	۰/۱۹۰	۲/۴۰	۱/۴۲۱	۴۸/۲	۶۹۰/۶	۳۲۱/۲	۳۶۹/۴	۱۴:۳۰
۰/۰۵۷	۲۶۳/۳۷۱	۰/۱۵۱	۲/۴۱	۱/۴۲۱	۴۸/۴	۶۹۰/۶	۳۲۱/۱	۳۶۹/۵	۱۴:۴۰
۰/۰۵۷	۲۶۳/۳۷۱	۰/۱۵۱	۲/۴۱	۱/۴۲۱	۴۸/۵	۶۹۰/۳	۳۲۰/۹	۳۶۹/۴	۱۴:۵۰
۰/۰۵۷	۲۶۳/۳۷۱	۰/۱۵۱	۲/۴۱	۱/۴۲۱	۴۸/۴	۶۹۰/۴	۳۲۱/۰	۳۶۹/۴	۱۵:۰۰
۰/۰۴۹	۲۶۲/۸۴۷	۰/۱۲۸	۲/۴۱	۱/۴۲۰	۴۸/۵	۶۹۰/۱	۳۲۰/۸	۳۶۹/۳	۱۵:۱۰
۰/۰۳۴	۲۶۱/۸۰۰	۰/۰۸۸	۲/۴۲	۱/۴۲۰	۴۸/۶	۶۹۰/۰	۳۲۰/۷	۳۶۹/۳	۱۵:۲۰
۰/۰۴۳	۲۶۱/۵۳۸	۰/۱۱۳	۲/۴۲	۱/۴۲۰	۴۸/۶	۶۹۰/۰	۳۲۰/۷	۳۶۹/۳	۱۵:۳۰
۰/۰۳۹	۲۵۷/۳۴۹	۰/۰۹۹	۲/۴۲	۱/۴۲۰	۴۸/۶	۶۹۰/۰	۳۲۰/۷	۳۶۹/۳	۱۵:۴۰
۰/۰۳۹	۲۵۶/۸۲۶	۰/۱۰۰	۲/۴۳	۱/۴۲۰	۴۸/۷	۶۸۹/۹	۳۲۰/۶	۳۶۹/۳	۱۵:۴۵

جدول ۴-۱۰ راندمان الکتریکی و راندمان مولد ترموالکتریک ۱۹ تیرماه

η_e (%)	I_{fl} (W)	P_{sys} (W)	η_{teg} (%)	M	$T_h - T_c$ (K)	$T_h + T_c$ (K)	T_c (K)	T_h (K)	زمان
۰/۰۰۱	۲۵۳/۹۴۶	۰/۰۰۲	۰/۰۸	۱/۳۷۵	۱/۵	۶۰۴/۳	۳۰۱/۴	۳۰۲/۹	۱۱:۴۵
۰/۰۰۲	۲۵۶/۸۲۶	۰/۰۰۵	۱/۰۹	۱/۳۸۶	۲/۱	۶۲۴/۳	۳۰۱/۶	۳۲۲/۷	۱۲:۰۰
۰/۰۰۲	۲۵۹/۷۰۶	۰/۰۰۶	۱/۴۱	۱/۳۸۹	۲۷/۴	۶۳۱/۲	۳۰۱/۹	۳۲۹/۳	۱۲:۱۰
۰/۰۰۴	۲۶۴/۴۱۸	۰/۰۱۲	۱/۶۵	۱/۳۹۳	۳۲/۴	۶۳۸/۰	۳۰۲/۸	۳۳۵/۲	۱۲:۲۰
۰/۰۰۶	۲۶۴/۱۵۶	۰/۰۱۶	۱/۷۹	۱/۳۹۷	۳۵/۰	۶۴۵/۰	۳۰۵/۰	۳۴۰/۰	۱۲:۳۰
۰/۰۱۲	۲۶۵/۷۲۷	۰/۰۳۱	۱/۸۷	۱/۴۰۰	۳۶/۹	۶۴۹/۱	۳۰۶/۱	۳۴۳/۰	۱۲:۴۰
۰/۰۱۴	۲۶۵/۴۶۵	۰/۰۳۶	۲/۰۴	۱/۴۰۲	۴۰/۳	۶۵۴/۱	۳۰۶/۹	۳۴۷/۲	۱۲:۵۰
۰/۰۱۷	۲۶۷/۵۶۰	۰/۰۴۶	۲/۱۶	۱/۴۰۴	۴۲/۷	۶۵۸/۷	۳۰۸/۰	۳۵۰/۷	۱۳:۰۰
۰/۰۱۹	۲۷۰/۱۷۸	۰/۰۵۳	۲/۱۲	۱/۴۰۷	۴۲/۲	۶۶۴/۸	۳۱۱/۳	۳۵۳/۵	۱۳:۱۰
۰/۰۲۹	۲۶۸/۳۴۵	۰/۰۷۹	۲/۱۲	۱/۴۱۰	۴۲/۹	۶۶۹/۳	۳۱۳/۲	۳۵۶/۱	۱۳:۲۰
۰/۰۳۴	۲۶۸/۸۶۹	۰/۰۹۰	۲/۰۸	۱/۴۱۲	۴۱/۴	۶۷۴/۸	۳۱۶/۷	۳۵۸/۱	۱۳:۳۰
۰/۰۳۷	۲۶۷/۵۶۰	۰/۰۹۹	۲/۰۶	۱/۴۱۵	۴۱/۱	۶۸۰/۵	۳۱۹/۷	۳۶۰/۸	۱۳:۴۰
۰/۰۳۹	۲۶۷/۰۳۶	۰/۱۰۴	۲/۳۵	۱/۴۲۲	۴۷/۳	۶۹۳/۱	۳۲۲/۹	۳۷۰/۲	۱۳:۵۰
۰/۰۳۹	۲۶۳/۶۳۳	۰/۱۰۲	۲/۳۴	۱/۴۲۲	۴۷/۲	۶۹۳/۶	۳۲۳/۲	۳۷۰/۴	۱۴:۰۰
۰/۰۳۹	۲۶۳/۳۷۱	۰/۱۰۳	۲/۳۴	۱/۴۲۲	۴۷/۱	۶۹۳/۵	۳۲۳/۲	۳۷۰/۳	۱۴:۱۰
۰/۰۶۵	۲۶۱/۸۰۰	۰/۱۷۰	۲/۳۴	۱/۴۲۲	۴۷/۲	۶۹۳/۴	۳۲۳/۱	۳۷۰/۳	۱۴:۲۰
۰/۰۷۲	۲۶۵/۲۰۳	۰/۱۹۰	۲/۳۴	۱/۴۲۲	۴۷/۲	۶۹۳/۲	۳۲۳/۰	۳۷۰/۲	۱۴:۳۰
۰/۰۵۷	۲۶۴/۴۱۸	۰/۱۵۱	۲/۳۰	۱/۴۲۱	۴۶/۲	۶۹۲/۴	۳۲۳/۱	۳۶۹/۳	۱۴:۴۰
۰/۰۵۸	۲۶۱/۸۰۰	۰/۱۵۱	۲/۳۷	۱/۴۲۱	۴۷/۷	۶۹۱/۰	۳۲۱/۷	۳۶۹/۴	۱۴:۵۰
۰/۰۵۸	۲۶۱/۵۳۸	۰/۱۵۱	۲/۴۰	۱/۴۲۱	۴۸/۳	۶۹۰/۳	۳۲۱/۰	۳۶۹/۳	۱۵:۰۰
۰/۰۴۹	۲۶۱/۸۰۰	۰/۱۲۸	۲/۴۲	۱/۴۲۰	۴۸/۶	۶۸۹/۸	۳۲۰/۶	۳۶۹/۲	۱۵:۱۰
۰/۰۳۴	۲۶۲/۰۶۲	۰/۰۸۸	۲/۴۲	۱/۴۲۰	۴۸/۶	۶۸۹/۸	۳۲۰/۶	۳۶۹/۲	۱۵:۲۰
۰/۰۴۳	۲۶۱/۸۰۰	۰/۱۱۳	۲/۴۵	۱/۴۲۰	۴۹/۳	۶۸۹/۳	۳۲۰/۰	۳۶۹/۳	۱۵:۳۰
۰/۰۳۸	۲۶۱/۲۷۶	۰/۰۹۹	۲/۴۷	۱/۴۲۰	۴۹/۶	۶۸۹/۰	۳۱۹/۷	۳۶۹/۳	۱۵:۴۰
۰/۰۳۹	۲۵۸/۹۲۰	۰/۱۰۰	۲/۴۶	۱/۴۲۰	۴۹/۵	۶۸۹/۱	۳۱۹/۸	۳۶۹/۳	۱۵:۴۵

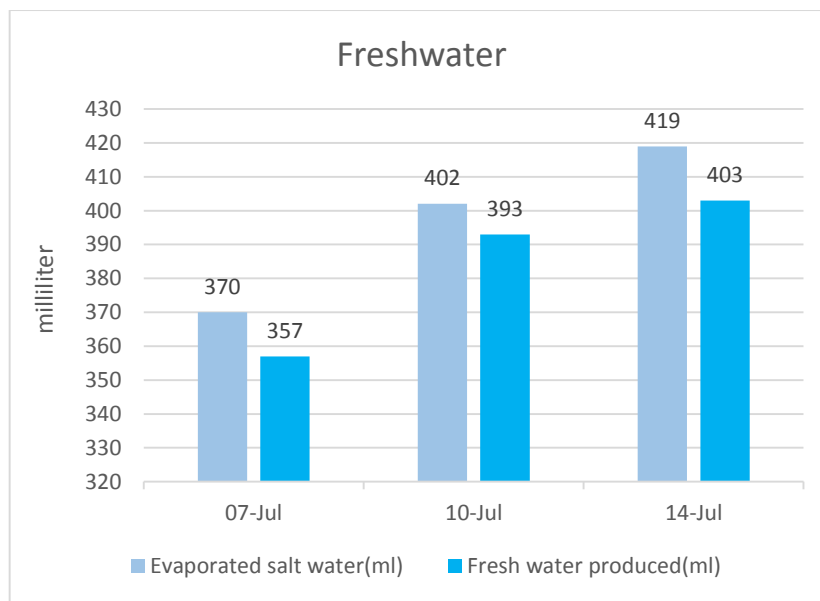
جدول ۴-۱۱ راندمان الکتریکی و راندمان مولد ترموالکتریک ۲۳ تیرماه

η_e (%)	I_{fl} (W)	P_{sys} (W)	η_{teg} (%)	M	$T_h - T_c$ (K)	$T_h + T_c$ (K)	T_c (K)	T_h (K)	زمان
۰/۰۰۱	۲۶۳/۸۹۴	۰/۰۰۲	۰/۱۱	۱/۳۷۵	۲/۱	۶۰۴/۳	۳۰۱/۱	۳۰۳/۲	۱۱:۴۵
۰/۰۰۱	۲۶۵/۴۶۵	۰/۰۰۴	۰/۷۹	۱/۳۸۳	۱۵/۳	۶۱۸/۷	۳۰۱/۷	۳۱۷	۱۲:۰۰
۰/۰۰۲	۲۷۴/۶۲۸	۰/۰۰۴	۱/۲۴	۱/۳۸۸	۲۴/۲	۶۲۸/۶	۳۰۲/۲	۳۲۶/۴	۱۲:۱۰
۰/۰۰۷	۲۷۵/۱۵۲	۰/۰۱۸	۱/۳۶	۱/۳۹۲	۲۶/۵	۶۳۶/۵	۳۰۵	۳۳۱/۵	۱۲:۲۰
۰/۰۱۲	۲۷۹/۶۰۲	۰/۰۳۴	۱/۵۸	۱/۳۹۶	۳۱/۱	۶۴۴/۵	۳۰۶/۷	۳۳۷/۸	۱۲:۳۰
۰/۰۱۶	۲۷۲/۵۳۴	۰/۰۴۴	۱/۵۸	۱/۴۰۰	۳۱/۱	۶۵۰/۳	۳۰۹/۶	۳۴۰/۷	۱۲:۴۰
۰/۰۲۰	۲۶۵/۴۶۵	۰/۰۵۴	۱/۷۱	۱/۴۰۲	۳۳/۸	۶۵۴/۴	۳۱۰/۳	۳۴۴/۱	۱۲:۵۰
۰/۰۲۷	۲۶۴/۴۱۸	۰/۰۷۰	۱/۹۷	۱/۴۰۷	۳۹	۶۶۳/۶	۳۱۲/۳	۳۵۱/۳	۱۳:۰۰
۰/۰۲۹	۲۶۳/۸۹۴	۰/۰۷۷	۲/۱۰	۱/۴۱۰	۴۰/۹	۶۶۹/۷	۳۱۴/۴	۳۵۵/۳	۱۳:۱۰
۰/۰۴۴	۲۶۳/۳۷۱	۰/۱۱۵	۲/۱۲	۱/۴۱۴	۴۲/۳	۶۷۷/۷	۳۱۷/۷	۳۶۰	۱۳:۲۰
۰/۰۶۰	۲۶۳/۱۰۹	۰/۱۵۷	۲/۱۸	۱/۴۱۷	۴۳/۶	۶۸۳/۸	۳۲۰/۱	۳۶۳/۷	۱۳:۳۰
۰/۰۷۶	۲۶۳/۱۰۹	۰/۱۹۹	۲/۴۱	۱/۴۲۱	۴۸/۶	۶۹۲	۳۲۱/۷	۳۷۰/۳	۱۳:۴۰
۰/۰۷۸	۲۶۲/۵۸۵	۰/۲۰۴	۲/۳۰	۱/۴۲۳	۴۶/۳	۶۹۴/۷	۳۲۴/۲	۳۷۰/۵	۱۳:۵۰
۰/۰۷۹	۲۶۲/۸۴۷	۰/۲۰۸	۲/۲۲	۱/۴۲۴	۴۴/۸	۶۹۶/۲	۳۲۵/۷	۳۷۰/۵	۱۴:۰۰
۰/۰۸۱	۲۶۱/۸۰۰	۰/۲۱۳	۲/۲۳	۱/۴۲۳	۴۵	۶۹۵/۸	۳۲۵/۴	۳۷۰/۴	۱۴:۱۰
۰/۰۷۷	۲۶۲/۰۶۲	۰/۲۰۳	۲/۲۰	۱/۴۲۴	۴۴/۴	۶۹۶/۸	۳۲۶/۲	۳۷۰/۶	۱۴:۲۰
۰/۰۷۰	۲۶۳/۶۳۳	۰/۱۸۵	۲/۱۹	۱/۴۲۴	۴۴/۱	۶۹۶/۵	۳۲۶/۲	۳۷۰/۳	۱۴:۳۰
۰/۰۷۰	۲۶۱/۸۰۰	۰/۱۸۴	۲/۱۹	۱/۴۲۴	۴۴/۲	۶۹۶/۴	۳۲۶/۱	۳۷۰/۳	۱۴:۴۰
۰/۰۶۳	۲۶۱/۸۰۰	۰/۱۶۵	۲/۱۹	۱/۴۲۴	۴۴/۲	۶۹۶	۳۲۵/۹	۳۷۰/۱	۱۴:۵۰
۰/۰۵۶	۲۶۰/۷۵۳	۰/۱۴۶	۲/۳۱	۱/۴۲۲	۴۶/۶	۶۹۳/۸	۳۲۳/۶	۳۷۰/۲	۱۵:۰۰
۰/۰۵۵	۲۶۱/۲۷۶	۰/۱۴۳	۲/۳۲	۱/۴۲۲	۴۶/۷	۶۹۳/۷	۳۲۳/۵	۳۷۰/۲	۱۵:۱۰
۰/۰۶۰	۲۶۰/۴۹۱	۰/۱۵۷	۲/۳۳	۱/۴۲۲	۴۶/۸	۶۹۳/۸	۳۲۳/۵	۳۷۰/۳	۱۵:۲۰
۰/۰۴۷	۲۵۸/۱۳۵	۰/۱۲۰	۲/۳۵	۱/۴۲۲	۴۷/۳	۶۹۳/۱	۳۲۲/۹	۳۷۰/۲	۱۵:۳۰
۰/۰۴۷	۲۵۸/۶۵۸	۰/۱۲۱	۲/۳۶	۱/۴۲۲	۴۷/۵	۶۹۲/۹	۳۲۲/۷	۳۷۰/۲	۱۵:۴۰
۰/۰۴۶	۲۵۸/۹۲۰	۰/۱۲۰	۲/۳۶	۱/۴۲۲	۴۷/۵	۶۹۲/۹	۳۲۲/۷	۳۷۰/۲	۱۵:۴۵

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌گردد که هرچه اختلاف دمای دو طرف مولد ترموالکتریک بیشتر می‌شود راندمان ترموالکتریک بیشتر شده و هم‌چنین چون اختلاف دما موجب افزایش ولتاژ گردیده و متعاقباً توان نیز بیشتر می‌گردد. تابش در محدوده کمی تغییر می‌کند در نتیجه عامل اصلی افزایش راندمان الکتریکی، افزایش توان می‌باشد. در رابطه‌ی توان، ولتاژ به صورت توانی از ۲ می‌باشد و

چون مقدار ولتاژ کمتر از ۱ می باشد وقتی اعداد اعشاری کمتر از ۱ به توان می رسند از مقدار اولیه کمتر می شوند به همین خاطر توان کمی تولید می شود. در صورت استفاده از ۲ ترموالکتریک به صورت سری با جریان ثابت و ولتاژ بیشتر، توان افزایش فراوان ای خواهد داشت.

۲-۲-۲-۴ راندمان حرارتی آب شیرین



شکل ۴-۱۵ میزان آب شور بخار شده و آب شیرین تولیدشده

به علت تلفات، تمام آب شوری که بخار شده به آب شیرین تبدیل نشده است. همان طور که در شکل ۴-۱۵ مشخص است در همه ی سه روز آزمایش درصد شیرین سازی بالای ۹۶ درصد بوده که قابل قبول می باشد. راندمان برحسب رابطه (۲-۴) محاسبه می گردد.

طبق رابطه (۲-۴) داریم:

$$\eta_h = \frac{m \cdot h_{fg}}{A \cdot I_b}$$

$$A = 7 \cdot 0.17 \cdot 0.22 = 0.26 \text{ m}^2$$

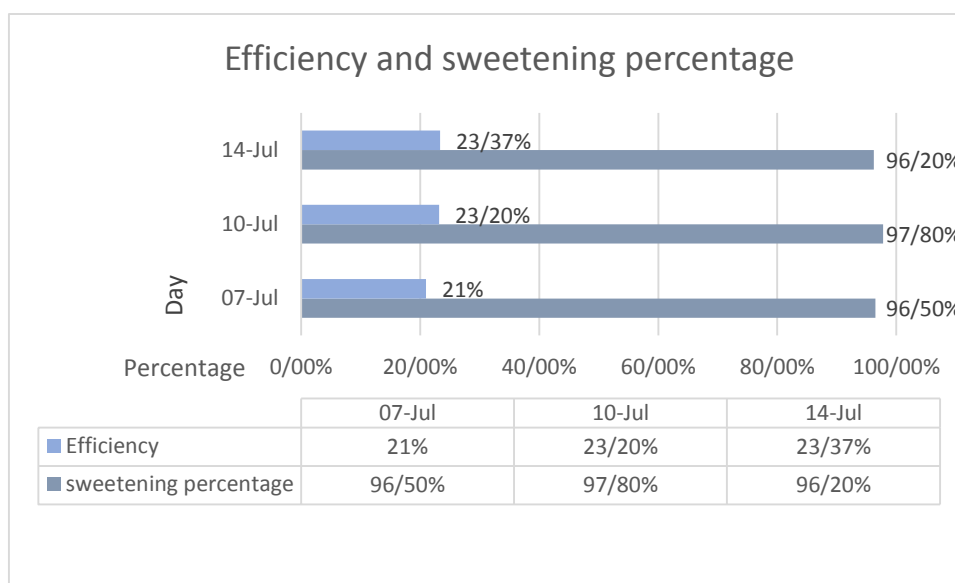
$$h_{fg} = 2250 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

راندمان در روز اول و دوم و سوم به ترتیب برابر است با:

$$\eta_h = \frac{0.357 * 2250}{4121 * 3.6 * 0.26} * 100 = 21 \%$$

$$\eta_h = \frac{0.393 * 2250}{4072 * 3.6 * 0.26} * 100 = 23.20 \%$$

$$\eta_h = \frac{0.403 * 2250}{4145 * 3.6 * 0.26} * 100 = 23.37 \%$$



نمودار ۴-۱۶ راندمان حرارتی و درصد شیرین سازی سیستم دوم

۳-۴ محاسبات مبدل حرارتی

جدول ۴-۱۲ دمای آب ورودی و خروجی از مبدل

دمای آب خروجی از مبدل (°C)	دمای آب ورودی به مبدل (°C)	روز آزمایش
۳۱/۷	۲۷/۲	۱۹ تیر
۳۱/۵	۲۹	۱۶ تیر
۳۳/۱	۳۰/۱	۲۳ تیر

$$-\dot{Q}_v - \dot{m}_v * I_{fg} = \dot{Q}_w \quad (۴-۴)$$

$$\dot{Q}_v = \dot{m}_v * c_{vap} * (T_w - T_v) \quad (۵-۴)$$

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w * c_{\text{water}} * (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \quad (4-6)$$

$$c_{\text{water}} = 4.2 \text{ kJ} / (\text{kg.k})$$

$$\dot{m}_w = 1 \text{ Lit} / \text{min} * 1 \text{ min} / 60 \text{ s}$$

$$c_{\text{vap}} = 2.08 \text{ kJ} / (\text{kg.k})$$

$$l_{\text{fg}} = 2260 \text{ kJ} / \text{kg}$$

روز اول:

$$\dot{m}_v = 403 \text{ ml} / 2 \text{ hr} * 1 \text{ hr} / 3600 \text{ s} * 1 \text{ lit} / 1000 \text{ ml} = 5.597 * 10^{-5} \text{ kg} / \text{s}$$

$$\dot{m}_v * l_{\text{fg}} = 5.597 * 10^{-5} \text{ kg} / \text{s} * 2260 \text{ kJ} / \text{kg} = 0.126 \text{ kJ} / \text{s}$$

طبق رابطه (4-4) داریم:

$$0.126 \text{ kJ} / \text{s} + 5.597 * 10^{-5} \text{ Kg} / \text{s} * 2.08 \text{ kJ} / (\text{kg.K}) * (100 - 50) = 1 \text{ lit} / \text{min} * 1 \text{ min} / 60 \text{ s} * 4.2 \text{ kJ} / (\text{kg.K}) * (T_{\text{out}} - 27.2)$$

$$T_{\text{out}} = 29.8$$

$$T_{\text{out}} = 30.7$$

روز دوم:

$$T_{\text{out}} = 32.06$$

روز سوم:

4-4 لوله‌های خلأ در زاویه 45 درجه

لوله‌های خلأ با زاویه دیگری که این بار لوله‌ها، سرباز و بدون لوله PVC و زانویی بود، صورت گرفته و

نتایج زیر به دست آمده است.

جدول ۴-۱۳ لوله‌های خلأ در زاویه ۴۵ درجه

زمان	تابش (w/m^2)	دما بدون لنز فرزنل ($^{\circ}C$)	دما با ۵ عدد لنز فرزنل ($^{\circ}C$)
۱۱:۴۵	۱۰۰۸	۲۲/۷	۲۲/۷
۱۲:۰۰	۱۰۲۳	۳۲/۳	۴۲/۲
۱۲:۱۵	۱۰۱۰	۴۰/۲	۵۶/۶
۱۲:۳۰	۱۰۰۹	۴۵/۸	۶۰/۲
۱۲:۴۵	۱۰۰۳	۵۲	۶۹/۱
۱۳:۰۰	۱۰۰۳	۵۸/۴	۷۷/۱
۱۳:۱۵	۹۷۹	۶۳	۸۳/۶
۱۳:۳۰	۹۷۶	۶۷/۸	۸۹/۲
۱۳:۴۵	۹۵۵	۷۳/۸	۹۴/۸
۱۴:۰۰	۹۵۵	۷۵	۹۷/۱
۱۴:۱۵	۱۰۲۰	۷۹/۱	۹۷/۳
۱۴:۳۰	۱۰۳۰	۸۳/۸	۹۷/۴
۱۴:۴۵	۱۰۳۱	۸۶/۲	۹۷/۴
۱۵:۰۰	۱۰۱۰	۹۰/۲	۹۷/۴
۱۵:۱۵	۱۰۱۷	۹۰/۸	۹۷/۵
۱۵:۳۰	۱۰۰۰	۹۱	۹۷/۴
۱۵:۴۵	۱۰۰۱	۹۱/۲	۹۷/۴

در این آزمایش از ۵ عدد لنز فرزنل نقطه‌ای استفاده شده است. در زاویه ۴۵ درجه نیز لوله بدون لنز به نقطه جوش نمی‌رسد و در انتهای آزمایش دمایش به ۹۱/۲ درجه می‌رسد درحالی‌که لوله دیگر نیمی از زمان آزمایش در حال جوشیدن می‌باشد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ نتیجه گیری

با توجه به تحقیقات اخیری که در زمینه ی انرژی های تجدید پذیر به خصوص انرژی خورشیدی صورت گرفته، در این پژوهش بران شدیم که دو سیستم ترکیبی از انرژی خورشیدی ساخته شود تا بتواند همزمان آب شیرین، قدرت، سرمایش و حرارت تولید کند.

دستگاه های ساخته شده در محیطی قرار گرفته شده اند تا سایه ای نباشد و تابش مستقیم به سامانه ها برسد. تأثیر پارامترهای دمای شهر، دمای آفتاب، دمای آب در حال گرم شدن، دمای دو طرف مولد ترموالکتریک، سرعت باد، دبی مبل حرارتی، تابش خورشید، انرژی جذب شده، ولتاژ و جریان خروجی از مولد و در پایان میزان آب شیرین تولید شده محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت.

۵-۱-۱ سیستم اول

نتایج حاصل از سامانه ترموالکتریک- خورشیدی اول به شرح زیر است:

- این سیستم به تولید آب شیرین به روش تقطیری (با تغییر فاز آب) پرداخته است.
- راندمان حرارتی آب شیرین در حالت ماکزیمم ۳۹/۲۱٪ است و هم چنین نسبت شیرین سازی آب بخار شده در حالت ماکزیمم ۹۵٪ می باشد.
- راندمان مولد ترموالکتریک با اختلاف دمای ۴۹/۲ دو طرف آن، ۲/۶۵٪ می باشد.
- راندمان الکتریکی مولد ترموالکتریک این سیستم با شدت تابش ۹۹۶ وات بر مترمربع، ۰/۲۵٪ است و هم چنین ماکزیمم ولتاژ گزارش شده، ۰/۶۴ ولت می باشد.
- با استفاده از ۵ عدد مولد ترموالکتریک به صورت سری می توان به توان ۲/۵ وات رسید.
- استفاده از هیت سینک در دو طرف مولد و کولر ترموالکتریک تأثیر بسزایی در افزایش سطح و در نتیجه افزایش انتقال حرارت دارد.

- با استفاده از ۱۰ اسلول با ابعاد ۲*۱/۵ سانتی متر که در مجموع ۰/۰۰۳ مترمربع مساحت را در برمی گیرد، می توان در هر دو ساعت ۴۷۰ میلی لیتر آب شیرین به دست آورد. در صورتی که که از لنز فرزنل خطی با خط تمرکزی به طول ۱ متر استفاده شود می توان در دو ساعت آزمایش حداقل ۳/۱۵۰ لیتر آب شیرین تولید کرد.
- به دلیل اینکه سیستم دائم در حال جوشیدن است دمای طرف سرد و گرم ترموالکتریک تقریباً ثابت است بنابراین ولتاژ و جریان و متعاقباً توان نیز در بازه ی کمی تغییرات دارد.

۵-۱-۲ سیستم دوم

نتایج حاصل از سامانه ترموالکتریک- خورشیدی دوم به شرح زیر است:

- این سیستم نیز به تولید آب شیرین به روش تقطیری (با تغییر فاز آب) پرداخته است.
- راندمان حرارتی آب شیرین در حالت ماکزیمم ۲۳/۳۷٪ است. نسبت شیرین سازی آب بخار شده در حالت ماکزیمم ۹۷/۸٪ می باشد.
- در این سیستم مولد ترموالکتریک با اختلاف دمای دو طرف ۵۰/۱ درجه، توان ۰/۲۱۳ وات را تولید کرده است که راندمان ترموالکتریک این سامانه ۲/۴۹٪ است.
- با استفاده از ۵ عدد مولد ترموالکتریک توان ۲/۱۳ وات به دست می آید.
- هرچه به نقطه جوش آب نزدیک تر شده، به دلیل افزایش دما (افزایش اختلاف دما) توان ترموالکتریک بالاتر می رود، به طوری که زمان جوشیدن آب بیشترین توان تولید می شود.
- زمانی که آب روی سطح داغ ترموالکتریک بخار می شود دمای سطح داغ مولد کمی کاهش پیدا می کند به همین خاطر ولتاژ و جریان مولد نیز کاهش می یابد.
- با تغییر زاویه لوله ها مجدداً لوله ای که لنز فرزنل استفاده شده بود در زمان کمی به جوش رسید و تا پایان آزمایش در حال جوشیدن بود در حالی که لوله دیگر طی چهار ساعت به دمای ۹۱/۲ درجه رسید و آب داخل لوله به جوش نیامده است.

- مبدل مارپیچی به دلیل فضای کم و داشتن پوسته برای تغییر فاز بخار به مایع (میعان) و همچنین یکسر باز تا در فشار محیط باشد، بهترین گزینه برای این سامانه است.

۲-۵ پیشنهادها

با توجه به تجارب به دست آمده در طی ساخت و پژوهش این دو سامانه خورشیدی پیشنهادهایی به منظور استفاده در تحقیقات آینده و بهینه سازی سامانه ها به شرح زیر ارائه می گردد.

۱-۲-۵ سیستم اول

- با توجه به اینکه سیستم ردیاب خورشیدی لنز فرزنل دستی می باشد برای راندمان و کارایی بهتر از ردیاب خودکار استفاده شود.
- هیت سینک مولد ترموالکتریک که هوا خنک می باشد، اگر با آب خنک شود دمای طرف سرد ترموالکتریک به دمای آب می رسد و اختلاف دما دو طرف افزایش یافته در نتیجه توان و راندمان الکتریکی بالا می رود.
- با خنک کاری طرف سرد ترموالکتریک کولر با آب سرد، اختلاف دمای دو طرف TEC بیشتر می شود در نتیجه راندمان حرارتی و درصد شیرین سازی بیشتر می شود.
- یکی از مشکلات در زمینه ی کاربرد آب شیرین کن های خورشیدی تقطیری، تولید کم و راندمان پایین آن ها است. یکی از روش هایی که می توان استفاده کرد، ایجاد فشار خلأ یا فشار پایین تری نسبت به فشار محیط است. در فشار کمتر از جو آب در دمای پایین تری به جوش آمده و شروع تبخیر زودتر می شود در نتیجه آب بیشتری در حال جوشیدن و تبخیر شدن می باشد، به موجب همین راندمان بالاتر می رود. جدول زیر تأثیر فشار بر روی نقطه جوش آب را نشان می دهد.

۵-۲-۲ سیستم دوم

- بهتر است به جای ۷ عدد لنز فرزنل نقطه‌ای از یک لنز فرزنل خطی استفاده شود که به جای نقطه متمرکز شده تمام طول لوله را به صورت یک خط متمرکز کند.
- ایجاد فشار خلأ یا فشار پایین‌تری نسبت به محیط موجب به جوش آمدن در دمای پایین‌تر شده که تبخیر بیشتر در نتیجه راندمان بیشتری خواهد داشت.
- لوله‌های خلأ حجم آب نسبتاً بالایی ظرفیت دارند در صورت وجود لوله‌های خلأ با ظرفیت ۱ لیتر و یا کمتر زمان کمتری برای به جوش آمدن لازم است.
- با توجه به اینکه سیستم ردیاب خورشیدی لنز فرزنل دستی می‌باشد، برای راندمان و کارایی بهتر از ردیاب خودکار استفاده شود.
- قبل از شروع تست، آب و لوله در آفتاب قرار بگیرند تا پیش گرم شده و در دمای بالاتری آزمایش شوند و زودتر به جوش برسند.
- استفاده از پره آلومینیومی اطراف لوله مسی داخل مبدل حرارتی، سطح انتقال حرارت بالاتر رفته و تبادل گرمایی بخار با آب داخل لوله بیشتر می‌شود که در نتیجه درصد شیرین سازی و راندمان حرارتی سامانه بهبود می‌یابد.
- در این سیستم نیز به مانند سیستم اول، هیت سینک مولد ترموالکتریک که هوا خنک می‌باشد. اگر با آب خنک شود دمای طرف سرد ترموالکتریک به دمای آب می‌رسد و اختلاف دما دو طرف افزایش یافته در نتیجه توان و راندمان الکتریکی بالا می‌رود.

- [1] <http://nuclear-news.net> (اخبار جهانی انرژی هسته ای)
- [2] <http://energyinfocenter.ir> (مرکز اطلاعات انرژی ایران)
- [3] <http://en.wikipedia.org>
- [4] <http://www.irna.ir> (خبرگزاری ایرنا)
- ۵- رمضان نژاد کوتنایی، ع. و محمدی نیاس و لطفی نژاد، انرژی خورشیدی و کاربرد نانو تکنولوژی در انرژی خورشیدی، اولین کنفرانس بین‌المللی نفت، گاز، پتروشیمی و زغال‌سنگ، مرکز همایش‌های بین‌المللی المپیک تهران، ۱۳۹۱.
- [6] <http://ana.ir> (خبرگزاری دانشجویی آنا)
- [7] <http://energystar.ir> (شرکت فعال در حوزه بهینه‌سازی انرژی)
- ۸- پری زنگنه، عبدالحسین؛ سیامند رستم زاده؛ سعید رحمانی و مرضیه نهاوندی، نقش انرژی‌های باد و خورشید در گستره‌ی انرژی‌های طبیعی (تحلیل جایگاه آن‌ها در سطح ملی و جهانی)، ششمین همایش ملی مهندسی محیط‌زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست.
- [9] <http://didehbanenergy.ir/?p=1225> (سایت معتبر در زمینه انرژی)
- [10] K. Sampathkumar, T. V. Arjunan, P. Pitchandi, and P. Senthilkumar, "Active solar distillation-A detailed review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1503-1526, 2010.
- [11] www.filterwater.com
- [12] Gasson, C. (2009). "Forecast Trends in Desalination: A River Flowing Backwards from the Sea " Presented at the IDA World Congress, Dubai, UAE .
- [13] Al-Mutaz I, Al-Namlah A. Characteristic of dual purpose MSF desalination plants. *Desalination* 2004;166:287-94.
- [14] Buros OK. The ABC of desalting. 2nd ed. Riyadh, S.A: Produced by The Saline Water Conversion Council for the International Desalination Association; 2000.
- [15] Reverse osmosis. Online document. Available from:< <http://www.water-rightgroup.com/blog/how-do-reverse-osmosis-drinking-water-systems-work/>>.
- [16] <https://xflow.pentair.com/en/technologies/membrane-technology-in-general>.

- [17] Reversible electro dialysis. Solwater. Online document. Available from:<
<http://www.odec.ca/projects/2009/trud9a2/page6.html> >.
- [18] Basics of Ion Exchange Resins. Online document. Available from:<
<https://www.axeonwater.com/blog/ion-exchange-2/>./>
- [19] Xiao, G., et al. (2013). "A review on solar stills for brine desalination." *Applied Energy* 103(0): 642-652.
- [20] Sampathkumar, K .,et al. (2010). "Active solar distillation—A detailed review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(6): 1503-1526.
- [21] Tiwari, G. N. and A. K. Tiwari (2008). *Solar distillation practice for water desalination systems*, Anshan.
- [22] Badran, Ali.A, *A solar still augmented with a flat plate collector*, 2004.
- [23] Hikmaet S, A., Egelioglu, F. and Atikol, U., *An experimental study on an inclined solar water distillation system*, *Desalination*, Vol. 180, pp. 285-289, 2005.
- [24] Abu-HijlehBA,RababahHM.Experimentalsudyofasolarstillwithsponge cubes inbasin .*EnergyConversManag*2003;44(9):1411–8. [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(02\)00162-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(02)00162-0).
- [25] Tiwari GN, Lawrence SA. Thermal evaluation of high temperature distillation Under active mode of operation. *Desalination* 1992; 85:135–45.
- [26] K. Sanjeev and G. N. Tiwari, "Optimization of daily yield for an active double effect distillation with water flow," *Energy Conversion and Management*, vol. 40, pp . 703-715, 1999.
- [27]Tiwari GN, Sinha S. Parametric studies of active regenerative solar still. *Energy, Conversion and Management* 1993; 34(3):209–18.
- [28] https://www.fanavaran-sharif.ir/ab_shirinkon.html.
- [29] Proctor D. The use of waste heat in a solar still. *Solar energy* 1973; 14:433– 49.
- [30] Madhuri, Tiwari GN. Performance of solar still with intermittent flow of waste hot water in the basin. *Desalination* 1985; 52:345–57.
- [31] H.J. Goldsmid, *Introduction to Thermoelectricity*, Springer Series in Materials Science, 2010.
- [32] Zheng, X. F., Liu, C. X., Boukhanouf, R., Yan, Y. Y., & Li, W. Z. (2014). Experimental study of a domestic thermoelectric cogeneration system. *Applied Thermal Engineering*, 62(1), 69-79.
- [33] E. Kiyafar, M. Afzali, *An overview of the power generation using solar concentrator and thermoelectric cells*, in: *First Conference on New Approaches in Energy Conservation*. Tehran, Iran, 2011.

[34] A.P. Freedman, R. Stevens, A Thermoelectric Generation Subsystem Model for Heat Recovery Simulations, Department of Mechanical Engineering Rochester Institute of Technology Rochester, New York, 2011.

[35] N. Miljkovic, E.N. Wang, Modeling and optimization of hybrid solar thermoelectric systems with thermosyphons, *Sol. Energy* 85 (2011) 2843e2855.

[36] Tan, G.; Liu, W.; Chi, H.; Su, X.; Wang, S.; Yan, Y.; Tang, X.; Wong-Ng, W.; Uher, C. Realization of High Thermoelectric Performance in P-Type Unfilled Ternary Skutterudites $\text{FeSb}_2+x\text{Te}_{1-x}$ via Band Structure Modification and Significant Point Defect Scattering. *Acta Mater.* 2013, 61, 7693–7704.

[37] Robert R. Heikes Roland W. Ore, jr Thermoelectricity science and Engeneering, Westinghouse Research Laboratories pittsburgh ,Pensylvania, Interscience Publishers New York – London 1961.

۳۸- کاوه‌ای، صدقی و الله کرمی، چهارمین کنفرانس مهندسی مواد ایران، ۱۳۸۳، صفحه ۴۰۵ تا ۴۱۰.

[39] Chemisana, D., et al. (2011). "Characterization of Fresnel lens optical performances using an opal diffuser." *Energy Conversion and Management* 52(1): 658-663.

[40] R. Leutz, A. Suzuki, Nonimaging Fresnel Lenses: Design and Performance of Solar Concentrators, Springer, 2001.

[41] Robert Foster, Majid Ghassemi, Alma Cota. *Solar Energy; Renewable Energy and the Environment*, CRC Press, 2009.

۴۲- مهدی محمودی یگانه. ۲۰۰۹. طراحی، ساخت سیستم آب‌شیرین کن خورشیدی.

[43] <http://news.tavanir.org.ir> (خبرگزاری شرکت توانیر ایران)

[44] Xie, W.T., Dai, Y.J., Wang, R.Z., Sumathy, K., 2011b. Concentrated solar energy applications using Fresnel lenses: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (6), 2588–2606.

[45] Atik K (2011) Numerical simulation of a solar thermoelectric generator. *Energ Source Part A* 33: 760–767.

[46] Cosnier M, Fraisse G, Luo L. An experimental and numerical study of a thermoelectric air-cooling and air-heating system. *International Journal of Refrigeration* 2008; 31:1051–1062.

[47] Gillot M, Jiang L, Riffat S. An investigation of thermoelectric cooling devices for small-scale space conditioning applications in building. *International Journal of Energy Research* 2010; 34(9): 776–786.

[48] Chen G (2011) Theoretical efficiency of solar thermoelectric energy generators. *J Appl Phys* 109: 104908-1-8.

- [49] Omer SA, Infield DG (2000) Design and thermal analysis of a two stage solar concentrator for combined heat and thermoelectric power generation. *Energ Convers Manage* 41: 737–56.
- [50] Maneewan S, Khedari J, Zeghmati B, Hirunlabh J Eakburanawat (2004) Investigation on generated power of thermoelectric roof solar collector. *Renewable Energy* 29: 743–752.
- [51] Champier D, Bedecarrats JP, Rivaletto M, Strub F (2010) Thermoelectric power generation from biomass cook stoves. *Energy* 35: 935–942.
- [52] Nuwayhid RY, Shihadeh A, Ghaddar N (2005) Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling. *Energ Convers Manage* 46: 1631–1643.
- [53] He W, Su YH, Riffat SB, Hou JX, Ji J (2011) Parametrical analysis of the design and performance of a solar heat pipe thermoelectric generator unit. *Appl Energy* 88: 5083–5089.
- [54] Xiao JS, Yang TQ, Li P, Zhai PC, Zhang QJ (2012) Thermal design and management for performance optimization of solar thermoelectric generator. *Appl Energy* 93: 33–38.
- [55] Dai YJ, Wang RZ, Ni L. Experimental investigation and analysis on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2003; 77(4):377–391.
- [56] Vian JG, Astrain D, Dominguez M. Numerical modeling and a design of a thermoelectric dehumidifier. *Applied Thermal Engineering* 2002; 22(4): 407–422.
- [57] M. Hasan Nia, A. Abbas Nejad, A.M. Goudarzi, M. Valizadeh, P. Samadian, Cogeneration solar system using thermoelectric module and Fresnel lens, *Energy Conv. Manag.* 84 (2014) 305e310.
- [58] H. Fan, R. Singh, A. Akbarzadeh, Electric power generation from thermoelectric cells using a solar dish concentrator, *J. Elec. Mat.* 40 (5) (2011)1311e1320.
- [59] Kraemer D, Poudel B, Feng H-P, Caylor JC, Yu B, Yan X, et al. (2011) High-performance flat-panel solar thermoelectric generators with high thermal concentration. *Nat Mater* 10: 532–538.
- [60] He W, Su YH, Riffat SB, Hou JX, Ji J (2011) Parametrical analysis of the design and performance of a solar heat pipe thermoelectric generator unit. *Appl Energy* 88: 5083–5089.
- [61]- García-Rodríguez, L., et al. (1999). "Application of direct steam generation into a solar parabolic trough collector to multieffect distillation." *Desalination* 125 (1–3): 139–145.

- [62]- Abdel-Rehim, Z. S. and A. Lasheen (2007). "Experimental and theoretical study of a solar desalination system located in Cairo, Egypt ".Desalination 217(1–3): 52-64.
- [63] M. A. Samee, U. K. Mirza, T. Majeed, and N. Ahmad, "Design and performance of a simple single basin solar still," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 11, pp. 543–549, 2007.
- [64] K. Hidouri, R. Ben Slama, and S. Gabsi, "Hybrid solar still by heat pump compression," Desalination, vol. 250, pp. 444-449, 2010.
- [65] K. Islam, T. Fukuhara, and F. Asano, "Mass transfer in Tubular Solar Still," in 59th Annual Conference, JSCE, Nagoya, Japan, 2004, pp. 236–237.
- [66] K. Islam and T. Fukuhara, "Heat and mass transfer in tubular solar still under steady condition," Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, vol. 49, pp. 727-732, 2005.
- [67] N. H. A. Rahim, "Utilisation of new technique to improve the efficiency of horizontal solar desalination still," Desalination, vol. 138, pp. 121-128, 2001.
- [68] R. Tripathi and G. N. Tiwari, "Performance evaluation of a solar still by using the concept of solar fractionation," Desalination, vol. 169, pp. 69-80, Sep 2004.
- [69] M. Afzali, Design, Manufacture and Theory Analysis of Solar Thermoelectric Generator (MSc thesis), Ferdowsi Mashhad University, 2011.

Abstract

Today, energy as one of the factors of production, great contribution to the growth and development of different countries. Non-renewable fossil fuels along with the pollution that they produce, led human to the thought to find new sources for energy. The renewable energies have a much lower environmental impact than fossil fuels and somehow they can't be ended. There are various methods and ideas for the simultaneous generation of heat and electricity using photovoltaic cells and thermoelectric modules to help solar energy but the use of thermoelectric modules and Fresnel lens Solar concentrator provides the possibility of generating electricity and heat with high thermal efficiency. In this study, two different systems for producing fresh water and power have been used. The first system, a small cell made of copper, has a tempered glass at its upper surface and is located on the lower surface of the thermoelectric generator. Sun radiation after crossing the Fresnel lens shines in salt water inside the cell. The steam produced is fed into a chamber that is cooled with a thermoelectric cooler. In this small-sized cell, 47 ml of fresh water is produced within 2 hours. In the second system, 7 Fresnel lenses are placed on the vacuum tube and the thermoelectric generator's hot surface is in contact with the water inside the tube. In this system, 0.403 liters of fresh water is produced within 4 hours. The thermal efficiency of the fresh water of the first system is 39.21%, the thermoelectric generator efficiency is 2.65% and in the second system, the thermal efficiency of fresh water is 23.37%, the thermoelectric generator efficiency is 2.49%.

Keywords: Fresnel lens, Thermoelectric generation, Thermoelectric cooler, Solar energy, Solar desalination system, Vacuum tube



Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering
M.Sc. Thesis in Energy Conversion Engineering

**Experimental Study of Electricity and Freshwater
Simultaneous Production System by Thermoelectric and
Fresnel Lens**

By:

Mehdi Ajami

Supervisor:

Dr.Ali Abbas nejad

January. 2019