

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی انرژی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

عنوان

تحلیل اگزرژی

سلول های فتوولتائیک حرارتی با خنک کن هوا

استاد راهنما:

دکتر رضا علائی

استاد مشاور:

دکتر مجتبی میرزایی

پژوهشگر:

میلاد زمانی

اسفند ماه ۱۳۹۵

باسمه تعالی



این فرم باید توسط دانشجو تایپ شده به تعداد خواسته شده، در روز دفاع تحویل داده شود.

تاریخ صورتجلسه گروه آموزشی	
شماره دانشجویی	
کد دفاع	
تاریخ صورتجلسه شورای پژوهشی	

صورتجلسه دفاع

با تأییدات خداوند متعال جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم/ آقای	
در رشته:	تحت عنوان:
با حضور استاد راهنما، استاد(استادان) مشاور و هیأت داوران در مؤسسه آموزش عالی انرژی سازه در تاریخ	
در این جلسه، پایان نامه: □ با موفقیت مورد دفاع قرار گرفت □ نیازمند اصلاحات است □ مردود اعلام گردید.	
نامبرده نمره	با امتیاز
(بدون احتساب نمره مقاله) دریافت نمود.	

نام و نام خانوادگی استاد راهنما	محل امضاء
نام و نام خانوادگی استادمشاور	محل امضاء
هیأت داوران: ۱- ۲-	محل امضاء ۱ محل امضاء ۲
مدیر گروه یا رئیس تحصیلات تکمیلی واحد: نام و نام خانوادگی محل امضاء	معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه آموزش عالی انرژی سازه

***** (اطلاعات این قسمت حتما توسط کارشناس پژوهشی تکمیل گردد) *****

نمره حاصل از ارزشیابی مقاله/ مقالات دانشجو برابر ضوابط (از سقف ۲ نمره) محاسبه و نمره نهایی پایان نامه (مجموع نمره دفاع و مقاله) به عدد به حروف با درجه به تصویب رسید. / موارد اصلاحیه جهت اجرا به اطلاع دانشجو رسید.

تأیید معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه آموزش عالی انرژی سازه

تأیید کارشناس حوزه پژوهشی



حوزه معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی موسسه آموزش عالی انرژی

تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته که در تاریخ از
پایان نامه خود با عنوان
با کسب نمره و درجه دفاع نموده ام بدین وسیله اعتراف می کنم:

(۱) این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و ...) استفاده کرده ام، مطابق ضوابط موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست منابع ذکر و درج نموده ام.

(۲) این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و مؤسسات آموزش عالی داخلی و خارجی ارائه نشده است.

ضمناً متعهد می شوم:

(۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ مقاله، کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه را داشته باشم، از استاد محترم راهنما و گروه آموزشی مربوطه مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

(۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و موسسه آموزش عالی انرژی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام، هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضاء:

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم

که با صبوری مرا در این تحقیق یاری کردند

تشکر و قدر دانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود در اینجا لازم میدانم که از تمامی اساتید بزرگوار به ویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده اند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی جناب آقای دکتر رضا اعلائی که راهنمایی اینجانب را در نگارش این پایان نامه تقبل فرمودند نهایت تشکر را دارم.

چکیده

یک کلکتور فتوولتائیک-حرارتی مدلی است که فقط الکتریسیته تولید نمیکند بلکه بطور همزمان به عنوان یک جاذب گرمای اضافی و هدر رفت سلول های PV^1 راجذب کرده و تولید گرما میکند. روش های متفاوتی در ادغام ویکپارچه سازی PV ها وجود دارد از این میان میتوان به انتخاب آب یا هوا به عنوان خنک کننده سلول های خورشیدی، گردآورنده صفحه تخت یا متمرکز کننده، پانل های شیشه دار یا غیر شیشه دار، جریان اجباری یا طبیعی سیال و... اشاره کرد همه موارد بالا باید به خوبی برای سیستم انتخاب و ارزیابی شوند تا هم راندمان افزایش یابد و هم سود حاصله دو چندان گردد.

هدف این تحقیق آنالیز اگزرژی کلکتور فتوولتائیک-حرارتی با خنک هوا میباشد. روش آنالیز اگزرژی یک روش جدید و جاگزینی مناسب برای روش های قدیمی تر است این روش بر مبنای مفهوم اگزرژی پایه ریزی شده است. اگزرژی با کمی سهل انگاری به عنوان قابلیت انجام کار یا کیفیت انواع مختلف انرژی نسبت به یک محیط مشخص تعریف میشود آنالیز اگزرژی یک فرایند یا یک سیستم نشان میدهد که چه مقدار از قابلیت انجام کار یا اگزرژی ورودی توسط آن فرایند یا سیستم مصرف شده یا به عبارت دیگر تلف شده است.

مواد و روش ها: در این تحقیق سعی کرده ایم یک پنل فتوولتائیک حرارتی معمولی با خنک هوا را از نظر اگزرژی بررسی کنیم برای این کار سعی کرده ایم متغیرهای تاثیر گذار عملکردی از دید مکانیک را مشخص کنیم این متغیرها شامل:

۱- دما هوای ورودی ۲- دبی هوای ورودی ۳- طول (تعداد مدول هایی که به صورت سری به هم وصل میشوند) تاثیر تغییر هر کدام از متغیرها را بر مبنای شرایط آب و هوایی ساوه با استفاده از نرم افزار متلب شبیه سازی شده است. و در نهایت نتایج را با PVT^2 با خنک کن آب مقایسه کرده ایم

نتیجه گیری: در این تحقیق مشاهده کردیم به ازای افزایش دمای هوای ورودی به پنل راندمان اگزرژی کاهش میابد و همچنین مشاهده شد بهینه ترین دبی هوا 0.012 کیلوگرم بر ثانیه است و به ازای 0.8 متر طول بالاترین راندمان را خواهیم داشت.

کلمات کلیدی: سلول خورشیدی، فتوولتائیک حرارتی، خنک کن با هوا، آنالیز اگزرژی

¹Photovoltaic

²Photovoltaic Thermal

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۱-۱-۲ انرژی خورشیدی.....	۶
۱-۱-۳ بررسی امکان استفاده از انرژی خورشیدی از دیدگاه اقتصادی.....	۶
۱-۲ آنالیز انرژی و مقایسه با سایر روش های بهینه سازی.....	۸
۱-۳ اصول کلی آنالیز انرژی گذرشی کلکتور فتوولتاییک حرارتی با خنک هوا.....	۱۲
۱-۴ پیشینه تحقیق.....	۱۳
فصل دوم سلول های فتوولتاییک حرارتی با خنک کن هوا.....	۱۹
۱-۲ مبانی فتوولتاییک.....	۲۰
۱-۲-۱ طیف خورشید و فوتونها.....	۲۰
۱-۲-۲ تولید الکترون و حفره.....	۲۱
۱-۲-۳ لزوم استفاده از نیمه رساناها برای تولید الکترون و حفره.....	۲۳
۱-۲-۴ ارتباط بین نیمه رساناها و سلول های خورشیدی.....	۲۴
۱-۲-۵ اثر فوتولتایی.....	۲۶
۲-۲ برخی از آنالیزهای مربوط به سلول های خورشیدی.....	۲۶

۱-۲-۲	آنالیز جریان-ولتاژ سلول خورشیدی (Solar Cell J-V Analysis)	۲۶
۲-۲-۲	اندازه‌گیری بازده طیفی سلول خورشیدی (Incident Photon to Current Conversion Efficiency)	۲۷
۳-۲-۲	اندازه‌گیری سطح فرمی و بار تجمع یافته (Fermi level and accumulated charge)	۲۸
۴-۲-۲	طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (Electrochemical Impedance Spectroscopy)	۲۸
۳-۲	انواع سلول‌های خورشیدی	۲۹
۱-۳-۲	سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی	۲۹
۲-۳-۲	سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ (Dye-sensitized Solar Cell, DSSC)	۳۰
۳-۳-۲	سلول‌های خورشیدی پلیمری	۳۲
۴-۳-۲	سلول‌های خورشیدی مبتنی بر کریستال‌های مایع	۳۳
۵-۳-۲	سلول‌های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون کریستالی	۳۳
۶-۳-۲	سلول‌های خورشیدی لایه نازک GaAs	۳۵
۷-۳-۲	سلول‌های خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی	۳۵
۴-۲	فناوری‌های سیستم‌های حرارتی خورشیدی	۳۵
۱-۴-۲	انواع گردآورنده‌ها	۳۷
۲-۴-۲	تقسیم بندی کلکتورها از نظر نوع سیال عامل	۳۷
۳-۴-۲	گردآورنده‌های متمرکز کننده	۴۰
۵-۲	تکنولوژی ترکیبی فتوولتائیک حرارتی (PVT)	۴۱

۴۲.....	۲-۵-۱ انواع کلکتورهای فتوولتاییک حرارتی
۴۴.....	۲-۵-۲ بخش های یک پنل فتوولتاییک حرارتی
۴۵	۲-۵-۳ دسته بندی PVT ها با خنک کن هوا
۴۶.....	۲-۵-۴ اثر کاور شیشه ایی بر راندمان PVT
۴۸.....	۲-۶-۱ تعریف سیستم
۴۹.....	۲-۶-۲ نقشه سیستم مورد مطالعه
۵۰.....	۲-۶-۳ مشخصات طراحی پنل مورد مطالعه
۵۲	فصل سوم تحلیل اگزرژی پنل های فتوولتاییک با خنک کن هوا
۵۳.....	۳-۱ پیشگفتار
۵۳.....	۳-۲ مبانی تحلیل اگزرژی
۵۵.....	۳-۳ مفاهیم و روابط اساسی در تحلیل اگزرژی
۵۵.....	۳-۳-۱ تعریف اگزرژی
۵۵.....	۳-۳-۲ حالت مرده
۵۶.....	۳-۳-۳ حالت مرده محدود
۵۶	۳-۳-۴ تعریف محیط از دیدگاه تحلیل اگزرژی
۵۶.....	۳-۴ معیارهای عملکرد از دیدگاه تحلیل اگزرژی
۵۷	۳-۵ اصول آنالیز اگزرژی پنلهای فتوولتاییک حرارتی با خنک کن هوا

۶-۳	بالانس اگزرژی در حالت کلی برای PVT	۶۰
۷-۳	آنالیز اگزرژی پل های فتوولتایک با خنک کن هوا	۶۱
۱-۷-۳	لایه روی مجرای هوا	۶۱
۲-۷-۳	آنالیز اگزرژی برای سیال درون مجرای هوا	۶۲
۶۳	فصل چهارم نتایج و بحث	
۱-۴	پارامترهای موثر در تحلیل اگزرژی	۶۴
۲-۴	نتایج حاصل از تحلیل اگزرژی	۶۵
۱- ۲-۴	بررسی اثر تغییر دمای هوای ورودی بر راندمان اگزرژی	۶۵
۲-۲-۴	بررسی اثر تغییر دبی هوا بر راندمان اگزرژی	۶۷
۳-۲-۴	بررسی اثر تغییر طول بر راندمان اگزرژی	۶۸
۳-۴	مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج حاصل تحقیق مرجع (آنالیز اگزرژی پل فتوولتایک با خنک کن آب)	۶۹
۴-۴	بحث نتیجه گیری کلی	۷۳
۵-۴	پیشنهادهای برای ادامه کار	۷۶
۷۷	منابع	
۸۱	پیوست	

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) تحلیل انرژی ۹
- شکل (۲-۱) نمای کلی از یک PVT با خنک کن هوا ۱۲
- شکل (۱-۲) تهیج الکترون به وسیله نور خورشید ۲۵
- شکل (۲-۲) دستگاه اندازه گیری تست آی-وی ۲۷
- شکل (۳-۲) سلول خورشیدی حساس شده با رنگ ۳۰
- شکل (۴-۲) عملکرد سلول خورشیدی حساس شده با رنگ ۳۱
- شکل (۵-۲) کلکتور صفحه تخت ۳۸
- شکل (۶-۲) اجزای یک کلکتور با مایع ۳۹
- شکل (۷-۲) مزایای استفاده از کلکتورهای فتوولتائیک - حرارتی ۴۲
- شکل (۸-۲) دسته بندی کلکتورهای فتوولتائیک حرارتی صفحه تخت ۴۳
- شکل (۹-۲) اجزای یک سیستم فتوولتائیک حرارتی ۴۴
- شکل (۱۰-۲) دسته بندی انواع PVT ها با خنک کن هوا ۴۵
- شکل (۱۱-۲) انواع PVT ها با خنک کن هوا ۴۶
- شکل (۱۲-۲) اضافه کردن کاور شیشه ای به PVT ۴۷
- شکل (۱۳-۲) نقشه کلکتور مورد مطالعه ۴۹

شکل (۱-۳) تحلیل اگزورژی..... ۵۸

شکل (۲-۳) نمای کلی از یک PVT باخنک کن هوا..... ۵۹

فهرست جداول و نمودارها

- نمودار (۱-۲) اثر اضافه کردن کاور شیشه ایی بر راندمان انرژی و آگزرژی ۴۷
- جدول (۱-۲) مشخصات طراحی پنل مورد مطالعه ۵۰
- نمودار (۱-۴) اثر تغییر دمای هوای ورودی بر راندمان آگزرژی ۶۶
- نمودار (۲-۴) بررسی اثر تغییر دبی هوا بر راندمان آگزرژی ۶۷
- نمودار (۳-۴) بررسی اثر تغییر طول بر راندمان آگزرژی ۶۸
- نمودار (۴-۴) بررسی تغییر دمای آب ورودی بر راندمان آگزرژی ۷۰
- نمودار (۵-۴) بررسی اثرات تغییر دبی ورودی بر راندمان آگزرژی ۷۱
- نمودار (۶-۴) بررسی اثرات تغییر طول بر راندمان آگزرژی ۷۱
- جدول (۱-۴) مقایسه بین PVT با خنک کن آب با PVT با خنک هوا ۷۲

علايم واختصارات

b	عرض (m)
C_f	ظرفيت گرمایی ویژه هوا (J/kg K)
d	عمق (m)
dt	المان زمان (s)
dx	المان طول (m)
E x	اگرژژی (kW h)
F_R	ضريب هدر رفت حرارت
h	ضريب انتقال حرارت $W/m^2 K$
h_b	ضريب انتقال حرارت سيال به محيط اطراف $W/m^2 K$
h_{bi}	ضريب انتقال حرارت پشت تدلار به $W/m^2 K$
h_i	ضريب انتقال حرارت سلول خورشیدی به هوا $W/m^2 K$
h_{p1}	فاكتور جريمه بخاطر کاور شیشه ایی
$I(t)$	شدت تابش نورخورشيد W/m^2
L	طول (m)
m_f	جرم هوای جریان یافته kg/s
n_{pv}	تعداد ردیف های مدول

Q_u حرارت مفید جذب شده از هوا

N تعداد مدول ها

t زمان (s)

T دما (C)

h_T ضریب انتقال حرارت پشت تدلار به محیط اطراف ($W/m^2 K$)

\bar{T} دمای میانگین (C)

U ضریب انتقال حرارت کلی ($W/m^2 K$)

U_b ضریب انتقال حرارت کلی هوا به محیط اطراف ($W/m^2 K$)

U_L ضریب انتقال حرارت کلی شیشه به تدلار ($W/m^2 K$)

U_{tca} ضریب انتقال حرارت کلی سلول خورشیدی به محیط اطراف از طریق شیشه ($W/m^2 K$)

V سرعت هوا (m/s)

زیر نویس

a محیط

c سلول خورشیدی

eff موثر

f سیال (هوا)

f_i سیال ورودی

f_o سیال خروجی

g شیشه

i شدت تابش

m مدول

p پنل

T تدلار

حروف یونانی

α جذب

$(\alpha\tau)_{eff}$ ضریب جذب موثر

β فاکتور پک

β_0 ضریب راندمان دمایی (1/K)

η راندمان (%)

τ انتقال یافته

ρ چگالی (kg/m^3)

فصل اول مقدمه

امروزه تبعات مداخله انسان در محیط زیست بیش از هر زمانی متجلی شده است. مفهوم توسعه با رعایت حفاظت از محیط طبیعی و زیست محیط مترادف است و در شاخص های اقتصادی حساب های ملی، همچون تولید ناخالص داخلی، ملحوظ نمودن منابع طبیعی و زیست محیطی نیز مطرح است.

انرژی، یک نیاز اساسی برای استمرار توسعه اقتصادی، تدارک و تأمین رفاه و آسایش زندگی بشری است. در حال حاضر، مصرف انرژی جهان معادل ۱۰ میلیارد تن نفت خام در سال بوده و پیش بینی شود که این ارقام در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۱۲ و ۱۴ میلیارد تن نفت خام افزایش یابد این ارقام نشان می دهند که میزان مصرف انرژی جهان در قرن آینده عظیم بوده و بالطبع، این سؤال مهم مطرح است که آیا منابع انرژی های فسیلی در قرن آینده جوابگوی نیاز انرژی جهان برای بقا، تکامل و توسعه خواهند بود؟ حداقل به سه دلیل عمده، جواب این سؤال منفی است و باید منابع جدید انرژی را جانشین منابع قدیم کرد. این دلایل عبارتند از: محدودیت و در عین حال مرغوبیت انرژی های فسیلی که از نظر منطقی کاربردهای بهتر از احتراق دارند و همچنین مسائل و مشکلات زیست محیطی، به طوری که امروزه حفظ سلامت اتمسفر، از مهم ترین پیش شرط های توسعه اقتصادی پایدار جهانی به شمار می آید. (۱)

آلاینده های ناشی از احتراق و افزایش غلظت دی اکسیدکربن در اتمسفر و پیامدهای آن، جهان را با تغییرات برگشت ناپذیر و تهدید آمیزی مواجه ساخته است. افزایش دمای کره زمین، تغییرات آب و هوای، بالا آمدن سطح دریاها و در نهایت، تشدید منازعات بین المللی، از جمله این پیامدها محسوب می شوند. از سوی دیگر، اتمام قریب الوقوع منابع فسیلی و پیش بینی افزایش قیمت، سیاست گذاران را به پیشنهاد موازین و سیاست هایی برای کنترل محیط زیست و پژوهشگران را به توسعه منابع با آلودگی کمتر و تجدیدپذیری که توان بالقوه ای برای جانشینی با سیستم انرژی کنونی دارند، ترغیب می کند.

کلیه انرژی های تجدید پذیر، روزه روز سهم بیشتری در سیستم تأمین انرژی جهان به عهده می گیرند. این منابع، امکان پاسخ گویی همزمان به هردو شکل اساسی منابع فسیلی را نوید می دهند. انرژی های تجدیدپذیر،

اساساً با طبیعت سازگار بوده و آلودگی ندارند و چون تجدیدپذیرند پایانی برای آنها وجود ندارد. ویژگی های دیگر این منابع، پراکندگی و گستردگی آنها در تمام جهان، نیاز به فناوری پایین تر، انرژی های تجدیدپذیر را - به ویژه برای کشورهای در حال توسعه - ازجاذبه بیشتری برخوردار کرده هم ازاین رو، در برنامه ها و سیاست های بین المللی، از جمله در برنامه های سازمان ملل متحد، در راستای توسعه پایدار جهانی، نقش ویژه ای به منابع تجدیدپذیر انرژی محول شده است. اما سازگار کردن منابع تجدیدپذیر؛ با سیستم کنونی مصرف انرژی جهان، هنوز با مشکلاتی همراه است که برای حل آنها، حجم مهمی از تحقیقات علمی جهان را در دهه های اخیر به خود اختصاص داده است.

با توجه به فناوری کنونی بشر، انرژی هسته ای و انرژی برق آبی، دو نوع انرژی جانشین برای سوخت فسیلی می باشند. گفتنی است که پتانسیل برق آبی در جهان محدود بوده و از طرف دیگر انرژی اتمی نیز، تقریباً در تمامی اروپا، ساخت نیروگاه های اتمی متوقف شده است. کشور ایران از لحاظ منابع مختلف انرژی، یکی از غنی ترین کشورهای جهان محسوب می شود و از یک سو دارای منابع گسترده فسیلی نفت و گاز است و از سوی دیگر، دارای پتانسیل فراوان انرژی های تجدیدپذیر، همچون باد، ژئوترمال، خورشیدی و... می باشد. اما ایران، کشور کم آبی است و نیروگاه های آبی بزرگ، دارای پتانسیل محدودی هستند. لذا در چشم انداز دراز مدت جانشین دیگری غیر از تجدیدپذیری به عنوان منبع انرژی دیده نمی شود. (۱)

از منظری دیگر، هر انرژی به لحاظ فناوری ساخت و بهره برداری، مسائل زیست محیطی، ویژگی های فنی، امکان دستیابی، توزیع جغرافیایی و سایر ویژگی ها، دارای مشخصه های خاص خود است. بنابراین، تنوع استفاده از انرژی های مختلف، کشور را به لحاظ تأمین انرژی در وضعیت مطمئن تری قرار خواهد داد و لازم است فناوری آنها در کشور ایجاد شود. البته، فناوری که به میزان زیادی متکی به صنعت، مواد اولیه منابع داخلی است خودبخود، محتاج ارز خارجی کمتری است و از سوی دیگر، فرصت های اشتغال و افزایش تولید داخلی را هموار می سازد. برای رسیدن به این هدف ها، لازم است نظام قیمت گذاری انواع حامل های انرژی، با توجه به هزینه واقعی آنها اصلاح شده و اقدامات اساسی جهت تشویق سرمایه گذاری بخش خصوصی صورت گیرد. ضروری است دولت با پرداخت وام های دراز مدت، واگذاری یارانه های تخصیص یافته در بخش سوخت

های فسیلی به سرمایه گذاری در بخش انرژی های تجدیدپذیر و فراهم آوردن امکان انتقال دانش فنی، زمینه های لازم را برای ساخت و توسعه تأسیسات انرژی های گفته شده در کشور فراهم آورد .

چشم انداز انرژی و محیط زیست جهان تا سال ۲۰۳۰ آب و هوای زمین در نتیجه فعالیت های انسان، به ویژه در بخش انرژی، تغییرات بسیاری یافته است، عمده تغییرات آب و هوایی و زیست محیطی در جهان در سال های اخیر را می توان به شرح زیر خلاصه کرد: (۱)

-میزان انتشار CO_2 در، ۲۰۰ سال گذشته ۳۱ درصد افزایش یافته است .

-میزان انتشار CH_4 از سال ۱۸۰۰ به دو برابر افزایش یافته است .

-دمای سطحی کره زمین در قرن گذشته نسبت به متوسط، ۱۴ درجه سانتی گراد معمول، از ۰/۴ تا ۰/۸ درجه افزایش یافته است .

-دهه ۱۹۹۰ به احتمال زیاد گرم ترین دهه در ۱۰۰ سال گذشته بوده است .

-از دهه ۱۹۵۰، دمای حداقل در شب به دو برابر دمای حداقل در روز افزایش یافته است .

-تعداد روزهای سرد سال، تقریباً برای تمام نواحی زمین در قرن گذشته کاهش یافته است .

-نزولات جوی در نیمکره شمالی، ۵ تا ۱۰ درصد افزایش یافته است، هرچند در نواحی خشک (به خصوص

آفریقای شمالی و غربی)، این روند معکوس بوده است .

-در اثر افزایش نزولات جوی در عرصه های جغرافیایی میانی و بالا شاهد سیل و طوفان های عظیم و افزون بوده ایم .

-در قرن گذشته، سطح آب های آزاد دریاها در جهان به طور متوسط سالانه ۱ الی ۲ میلی متر افزایش یافته است .

-از دهه ۱۹۵۰ تاکنون، در تابستان یخ های دریای شمال تا ۴۰ درصد نازک تر و ۱۰ تا ۱۵ درصد کم عرض تر شده اند .

-پدیده ال.نی.نو، به کرات و به طور شدیدتر و پایداری اتفاق افتاده است .

-فصل رویش تا حدود ۱ تا ۴ روز در هر دهه، در عرض ۴۰ سال گذشته طولانی تر شده اند. - پرندگان، گیاهان، حشرات و ماهیان به طرف قطب ها و عرض های بالاتر تغییر مکان داده اند. پیش بینی می شود بیش از ۶۰ درصد افزایش مصرف انرژی پایه در جهان در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۰ ناشی از رشد تقاضای انرژی در کشورهای در حال توسعه، به ویژه آسیا خواهد بود. طبق پیش بینی های انجام شده توسط آژانس بین المللی انرژی، براساس سناریوی ادامه روند موجود، تقاضای جهانی برای انرژی پایه، بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۰ با میانگین نرخ رشد ۱/۷ درصد در سال به ۱۵/۳ میلیارد تن معادل نفت خواهد رسید، این امر، به معنی افزایش ۶۷ درصدی مصرف انرژی پایه، معدل ۶/۱ میلیارد تن معادل نفت نسبت به سطح مصرف کنونی ظرف ۳۰ سال آینده است .

در ۳۰ سال آینده میزان انتشار دی اکسیدکربن در اثر تولید و مصرف انرژی، با آهنگی سریع تراز رشد مصرف انرژی پایه، افزایش خواهد یافت. میزان انتشار آن بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۰ با رشد یکنواخت ۱/۸ درصد در سال، در نهایت به ۳۸ میلیارد تن در سال خواهد رسید که به منزله ۷۰ درصد افزایش نسبت به میزان انتشار سالانه کنونی است. دو سوم این افزایش ناشی از مصرف در کشورهای در حال توسعه خواهد بود و بخش تولید نیرو و حمل و نقل، بیش از ۷۵ درصد افزایش انتشار دی اکسیدکربن را موجب خواهند شد و مکان جغرافیایی رشد انتشار دی اکسیدکربن از کشورهای صنعتی به کشورهای در حال توسعه منتقل خواهد شد. (۱)

● تقسیم بندی انواع انرژی

انرژی، استعداد و توانایی انجام کار را بیان می کند، انرژی شکل های مختلفی دارد که عبارتند از :
انرژی مکانیکی، انرژی زمین گرمایی، شیمیایی، الکتریکی، تابشی و انرژی اتمی، که همه انواع انرژی می توانند

به همدیگر تبدیل شوند. به طور کلی وبه لحاظ اقتصادی که موضوع اصلی چگونگی استفاده از انواع انرژی می باشد، انرژی در جهان به چهار گروه عمده زیر تقسیم می شود: (۱)

الف: انرژی های آلوده کننده و تجدید ناپذیر؛

ب: انرژی های آلوده کننده و تجدید پذیر؛

ج: انرژی های بدون آلودگی و تجدید ناپذیر؛

د: انرژی های بدون آلودگی و تجدید ناپذیر و نامحدود .

۱-۱-۲ انرژی خورشیدی

حدود دو دهه پس از ورود سلول های فتوولتائیک به عرصه عمومی تولید انرژی، ارتباط تنگاتنگ سیاست و منابع انرژی موجب شد تا دیگرجایی برای بحث توجیه اقتصادی یافتن برای روی آوردن به سمت بهره گیری از انرژی خورشید و تولیدی الکتریسته نماند. در ایران، چون ایران روی کمربند خورشیدی جهان قرار گرفته است و یکی از کشورهایی است که از تابش نور خورشید با قدرت و توان مطلوب برخوردار بوده و از مناطق بسیار مستعد برای بهره گیری از این انرژی است، به طوری که میزان تابش متوسط روزانه آفتاب به ۴ کیلووات ساعت بر متر مربع می رسد و متوسط تعداد ساعات آفتابی، از ۲۸۰۰ ساعت در سال بیشتر است. البته، مقادیر ذکر شده به طور متوسط بیان شده اند و در شهرهای کویری کشور همچون یزد، ساعات آفتابی به ۳۲۰۰ ساعت نیز می رسد. با توجه به این که، ایران کشور کوهستانی است که اکثر نقاط آن در ارتفاعی بالاتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا واقع شده اند توان دریافتی از تابش نور خورشید آن بیشتر خواهد بود. (۱)

گفتنی است که مصرف انرژی های تجدید پذیر ایران پایین بوده و از این رو، هنوز انرژی خورشیدی رسماً تجاری نشده است. مناطقی که پتانسیل بالایی برای انرژی خورشیدی دارند؛ عبارتند از: شیراز، تهران، خراسان، یزد و سمنان. طرح های خورشیدی شامل نیروگاه دریافت کننده مرکزی، سهموی خطی، سیستم فتوولتائیک و آبگرمکن های خورشیدی می باشند. (۱)

۱-۳ بررسی امکان استفاده از انرژی خورشیدی از دیدگاه اقتصادی

هر چند هزینه استفاده از انرژی خورشیدی بسیار بالاست، ولی امروزه در سیاست گذاری ها فقط هزینه سیستم های خورشیدی در نظر گرفته نمی شود، بلکه فواید حاصل از بکارگیری آنها، مانند کاهش آلودگی محیط زیست نیز مدنظر قرار می گیرد، با وجود تمام مسائلی که مطرح می شود، می توان مناطقی از کشور را یافت که استفاده از انرژی خورشیدی در آنها توجیه اقتصادی دارد. به عنوان نمونه، استفاده از سلول های خورشیدی در مناطق دور دست رامی توان در عرض چند سال به قیمت روز رساند. با توجه به فناوری های موجود و وسعت استفاده از انرژی خورشیدی در دنیا، به نظر می آید در بخش هایی مانند گرمایش ساختمان ها، تولید آب گرم، طبخ غذا، خشک کن ها و آب شیرین کن ها، این انرژی می تواند با انرژی های رایج رقابت کند. تحقیقات انجام شده نشان می دهد که در حال حاضر، ساخت نیروگاه های مستقل خورشیدی به صرفه نیست بلکه نیروگاه های چرخه ترکیبی، همچون خورشیدی-گازی یا خورشیدی-بخاری بسیار اقتصادی خواهند بود. یکی از موانع مهم در استفاده از انرژی های خورشیدی، سرمایه بر بردن صنایع خورشیدی است که باید راهکارهای اساسی آن اندیشیده شوند. انواع مختلف انرژی های تجدیدپذیر بر اثر وجود آفتاب تولید شده اند. سلول های فتوولتائیکی که تولید برق می کنند، سیستم های سهموی و برج های متمرکز کننده خورشیدی، انرژی باد و انرژی زمین گرمایی همگی انرژی خود را از خورشید می گیرند، هم اکنون در کشورهای اروپایی به شدت روی انرژی خورشیدی کار می شود و استفاده از این انرژی، حرف اول زندگی بشر را در آینده خواهد زد. (۱)

۱-۲ آنالیز اگزرژی و مقایسه با سایر روش های بهینه سازی

هدف این تحقیق آنالیز اگزرژی کلکتور فتوولتائیک- حرارتی با خنک هوا میباشد روش آنالیز اگزرژی یک روش جدید و جاگزین مناسب برای روش های قدیمی تر است این روش بر مبنای مفهوم اگزرژی پایه ریزی شده است اگزرژی با کمی سهل انگاری به عنوان قابلیت انجام کار یا کیفیت انواع مختلف انرژی نسبت به یک محیط مشخص تعریف میشود آنالیز اگزرژی یک فرایند یا یک سیستم نشان میدهد که چه مقدار از قابلیت انجام کار یا اگزرژی ورودی توسط آن فرایند یا سیستم مصرف شده یا به عبارت دیگر تلف شده است .

اتلاف اگزرژی یا به عبارت دیگر بازگشت ناپذیری میزان ناکارآمدی سیستم مورد مطالعه را به صورت کمی نشان میدهد علاوه بر آن اگر سیستم فوق از چند جز تشکیل شده باشد آنالیز اگزرژی چگونگی توزیع بازگشت ناپذیری کلی سیستم را بین اجزا آن نشان داده و مشخص میکند که چه اجزایی نقش بیشتری در بازگشت ناپذیری کلی دارند.(۲)

برخلاف معیارهای عملکرد رایج مفهوم بازگشت ناپذیری اساسا بر مبنای هر دو قانون ترمودینامیک پایه ریزی شده است . اصولا رابطه ایی که برای آنالیز اگزرژی به کار میرود از ترکیب معادله انرژی حالت پایدار(قانون اول) با نرخ تولید آنتروپی (قانون دوم) بدست میآید اگرچه در آنالیز اگزرژی به صراحت از قانون دوم استفاده نمیشود اما همان طور که بیان شد به کاربردن روش فوق برای ارزیابی سیستم ، بطور ضمنی مستلزم به کاربردن نتایج حاصل از قانون دوم است اصولا مطالعه صورت های مختلف بازگشت ناپذیری در مقایسه با مطالعه صرف روبات و فرمول های مربوط به قانون دوم ،درک بهتری از آن بدست میدهد.(۲)



شکل (۱-۱) تحلیل انرژی (۲)

همواره راندمان بالای یک سیستم شرط کافی برای قابل اجرا بودن و مقرون به صرفه بودن آن نمیباشد عواملی همچون هزینه های اولیه هزینه تعمیر و نگه داری و سوخت مصرفی میتواند بر عملی بودن یا نبودن یک پروژه تاثیر گذار باشد.

بطور کلی میتوان ارزیابی کلکتورهای PVT را به دو روش عمده انجام داد

الف) تحلیل انرژی ب) تحلیل انرژی

تحلیل انرژی نقص هایی دارد که از جمله آن ها میتوان به

۱) تحلیل انرژی به جهت اجرای فرایند کار ندارد. در قانون اول به بالانس انرژی اهمیت داده میشود مثلا در این قانون اهمیت ندارد از محیط با دمای کمتر به محیط با دمای بیشتر برود مهم مقدار گرمای انتقال یافته میباشد .

۲) تحلیل انرژی کیفیت انرژی را مشخص نمیکند مثلا یک وات گرما برابر یک وات کار یا الکتریسیته معرفی میکند .

۳) تحلیل انرژی برخی از فرایندها را درست تفسیر نمیکند مثلا هوای محیط زمانی که به صورت همدم فشرده میشود تغییرات انرژی آن برابر صفر است در حالی که انرژی از صفر بزرگتر است

۴) تحلیل انرژی بازگشت ناپذیری درونی را نشان نمیدهد و معیار کاملی برای ارزیابی کلکتور PVT نمیباشد (۳)

اگرژی و پینچ^۱

اگرژی یکی از راه های تحلیل انرژی است، که در برگرفته تمامی انرژی های جریان سیال است. این انرژی میتواند ناشی از حرکت واکنش و یا هر چیز دیگر هم باشد.

$G=H-TS$ ، پایه تحلیل اگرژی است. در واقع به جای موازنه انرژی که برای یک جریان در راکتور نوشته می شود باید از رابطه فوق استفاده شود.

در چند دهه اخیر مباحث ترکیب فرایندها مطرح شده است. قبلاً تصور میشد تنها با کار آمد کردن تک تک فرایندهای یک سیستم میتوان بهترین شرایط عملکرد سیستم را بدست آورد اما بررسی اثر متقابل فرایندها و تاثیر آنها هم بر یکدیگر و بر کل سیستم به کار آمد شدن سیستم منجر می شود. این روش دو قسمت دارد: ابزار تحلیلی که اگرژی و ابزار کاربردی پینچ . اگرژی بر مبنای قانون دوم ترمودینامیک و پینچ بر مبنای قانون اول ترمودینامیک می باشد

روش اگرژی یک راهکار برای آنالیز ترمودینامیکی فرایند هاست که به طور تقریبی بصورت اندازه گیری جهانی پتانسیل کار یا کیفیت شکل های مختلف انرژی در ارتباط با یک محیط تعریف میشود. یک کاربرد موازنه اگرژی بیان میدارد که چقدر از پتانسیل کار قابل استفاده (مفید) وارد شده به فرایند بوسیله فرایند مصرف شده است. این میزان اتلاف همان بازگشت ناپذیری است.

پینچ در واقع یک ابزار کاربردی در صنایع است که از قانون اول ترمودینامیک استفاده می کند. بر اساس نظریه چشمه و چاه انرژی، تحلیلگر پینچ سعی می کند انرژی را از چشمه یعنی جایی که انرژی تولید می شود به سمت محلی که به انرژی نیاز است (چاه) هدایت کند و به این ترتیب از انرژی موجود در سیستم برای رفع نیاز استفاده شود. مسلماً این روش باعث کاهش اتلافات انرژی خواهد شد. چشمه انرژی میتواند یک جریان گرم سیال و چاه، جریان سرد سیال باشد که البته گرم یا سرد بودن نسبت به جریانهای دیگر معنی پیدا می

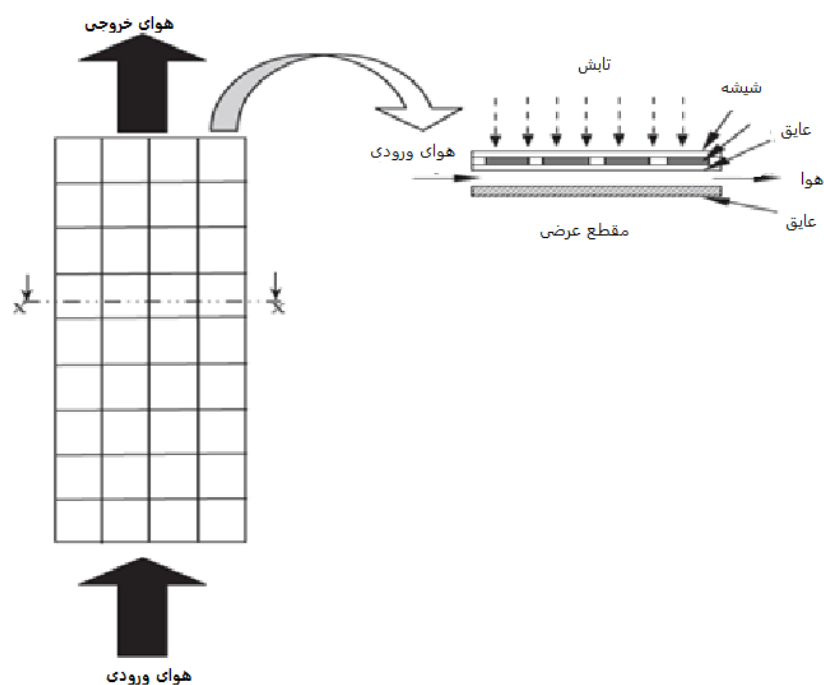
¹Pinch

کند. تحلیلگر پینچ با در نظر گرفتن مجموعه ای از جریانات و با محاسبات به دمایی میرسد که نقطه پینچ گفته می شود. این نقطه دمای بهینه تبادل جریانات سیستم رو نشان می دهد. برای رسیدن به این نقطه از مبدل‌های حرارتی مناسب استفاده می کنند و مشخص میکنند که کدام جریانه‌ها وارد چه مبدلی بشوند.

وقتی سیکل یک ماشین گرمایی بررسی می شود، با قانون اول موازنه انرژی نوشته می شود و با استفاده از قانون دوم مشخص می شود که چقدر گرما میتواند به کار تبدیل شود، که از بازده کارنو استفاده می شود در یک مثال کاربردی وقتی برای یک واحد صنعتی تحلیل پینچ استفاده میشود ، اول باید موازنه انرژی واحد نوشته شود تا معلوم شود چقدر انرژی های موجود قابل تبدیل به یکدیگر هستند ، چون کیفیت انرژی ها با هم متفاوت است ، مثلا در تماس دو جسم سرد و گرم قانون اول بیان می کند که کل انرژی که جسم گرم از دست می دهد جسم سرد دریافت می کند ، اما تحلیل انرژی بیان می کند فقط قسمتی از آن انرژی قابل انتقال است. پس میشود گفت انرژی قابلیت تبادل انرژی را مشخص می کند و پینچ چگونگی آن را که این دو روش باهم برای برهم نهی انرژی فرایند استفاده میشوند .

۳-۱ اصول کلی آنالیز انرژی کلکتور فتوولتایک حرارتی با خنک هوا

در شکل زیر شمای کلی یک PVT نشان داده شده است



شکل (۱-۲) نمای کلی از یک PVT با خنک کن هوا (۴)

بالانس انرژی برای کلکتور فرم زیر پیشنهاد شده است: (۵)

$$\sum Ex_{out} = \sum Ex_{thermal} + \sum Ex_{electrical} + \sum Ex_{dust} \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

همان طوری که از رابطه فوق مشخص است اگزرژی ورودی که ناشی از تابش خورشید است منهای اگزرژی گرمایی و اگزرژی الکتریکی برابر اتلاف اگزرژی خواهد بود همچنین بالانس انرژی برای کلکتور فوق توسط آقای تیواری به فرم زیر پیشنهاد شده است: (۶) رابطه (۱-۲)

نرخ انرژی دریافتی از خورشید = نرخ انرژی که از سطح سلول به محیط اطراف هدر میرود + انرژی که به هوا (سیتم خنک کن) منتقل میشود + نرخ انرژی الکتریکی تولیدی

رابطه فوق پایه ایی برای برای روابط بعدی میباشد که بسط آن از حوصله این بحث خارج است .

بطور کلی در فوق دو معادله اساسی و پایه را مطرح کردیم این دو معادله اساس

آنالیز انرژی و اگزرژی کلکتورهای PVT میباشد در نهایت به کمک آنها میتوان به معادلات کاربردی تر دست یافت در این تحقیق سعی شده که آنالیز بر اساس پارامترهای طراحی و عملکردی انجام شود و هدف یافتن نقاط بهینه در پارامترهای عملکردی و طراحی میباشد بطوری که راندمان اگزرژی حداکثر شود (۷)

۴-۱ پیشنهاد تحقیق

ولف^۱ در سال ۱۹۷۰ مفاهیم اساسی کلکتورهای PVT را مطرح کرد (۸)

کاکس و راگورامن^۲ در سال ۱۹۸۵ شبیه سازی کامپیوتری برای میزان جذب تشع خورشید و میزان صدور اشعه مادون قرمز در گردآورنده های فتوولتاییک حرارتی با سیال عامل آب و هوا کار میکند کمتر از نوعی است که با سیال عامل آب کار میکند (۹)

^۱ wolf

^۲ COX and raghuraman

گارگ و آدیکاری^۱ در سال ۱۹۷۷ مدل دائمی از گردآورنده های فتو ولتاییک حرارتی که با سیال عامل هوا کار میکنند ارائه نمودند تاثیر پارامترهای مختلف را در دو نوع با یک سرپوش شیشه ایی و یک سرپوش شیشه ایی مورد بررسی قرار دادند (۱۰)

فوجی سارا و تانی^۲ در سال ۱۹۹۷ عملکرد سالیانه یک کلکتور مایع صفحه تخت - یک مدول فتوولتاییک - یک کلکتور PVT با پوشش شیشه ایی و یک کلکتور PVT بدون پوشش شیشه ایی را مقایسه کردند و نشان دادند که کلکتور PVT با پوشش شیشه ایی بهترین عملکرد را دارد و بر مبنای تحلیل اگزرژی کلکتور PVT بدون پوشش شیشه ایی بهترین عملکرد را دارد (۱۱)

حجازی در سال ۲۰۰۰ آنالیز محاسباتی بر روی چهار نمونه از گردآورنده های فتوولتاییک حرارتی با سیال عامل هوا را ارائه داد و آن ها را از نظر الکتریکی حرارتی هیدرولیکی و... با هم دیگر مقایسه کردند و مناسب ترین نوع را پیش نهاد داد (۱۲)

بوسانگ^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۳ تحلیل اکسرژی از یک سیستم PVT مایعی را به صورت مختصر انجام دادند و یک راندمان اگزرژی ماکزیمم ۱۲ درصد و راندمان انرژی کلی حدود ۶۰ درصد را ارائه دادند (۱۳)

شاهین و همکاران در سال ۲۰۰۷ به تحلیل اکسرژی مدول فتوولتاییک خورشیدی پرداختند و ضمن معرفی مولفه های اگزرژی در مدول فتوولتاییک راندمان اکسرژی مدول فتوولتاییک را به دست آوردند (۱۴)

جوشی و تیواری^۴ در سال ۲۰۰۷ راندمان انرژی و اکسرژی کلکتور PVT را ارائه دادند آنها راندمان انرژی و اگزرژی گردآورنده PVT را به ترتیب ۵۵-۶۵ و ۱۲-۱۵ ارائه دادند (۱۵)

نایاک و تیواری^۵ در سال ۲۰۰۸ عملکرد اگزرژی یک مدول فتوولتاییک متصل به گلخانه را بررسی کردند و راندمان اگزرژی ۴ درصد برای سیستم مورد نظر را ارائه دادند (۱۶)

^۱ Garg and Adhikari

^۳ Bosance

^۵ Nayak and Tiwari

^۲ Fujisawa and Tani

^۴ Joshi and Tiwari

محققین چاو^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۹ مقاله ایی در باره آنالیز اگزورژیک و انرژیک یک سلول فتوولتاییک حرارتی بدون کاور شیشه ایی را انجام دادند استفاده از کاور شیشه ایی برای پروسه فتوترمیک مناسب است در صورتی که استفاده از کاور برای پروسه فتوولتاییک مناسب نیست و به دلیل کاربردهای گوناگون دقیقاً نمیتوان مشخص کرد که استفاده از کدام یک به صرفه تر است در این تحقیق اشاره شده بود که برمبنای محاسبات عددی معتبر و نتایج تجربی کاور شیشه‌ای برای PVT با خنک کن آب با ترمو سیفون مناسب تر است همچنین ازدید قانون اول استفاده از کاور برای بدست آوردن انرژى گرمایی بیشتر مناسب تر است ولی از نقطه نظر تحیل اگزورژى و نیز افزایش راندمان تولید الکتریسیته و نسبت وزن به آب کلکتور مدل بدون کاور مناسب تر توصیف شده است و در نهایت پس از بیان تفاوت های بین این دو نوع کلکتور با در نظر گرفتن شش فاکتور آنالیز اگزورژى و انرژى برای سلول فتوولتاییک حرارتی بدون کاور شیشه ای انجام شده است (۱۷)

شهسواری و عامری در سال ۲۰۱۰ به بررسی آرمایشگاهی راندمان الکتریکی و راندمان حرارتی یک کلکتور PVT با سیال عامل هوا پرداختند آن ها توان مورد نیاز برای فن را مستقیماً از پنل فتوولتاییک تا مین کردند و نشان دادند برای حالت استفاده از دو فن بیشترین راندمان برای کلکتور های مورد بررسی وجود دارد (۱۸)

سرحدی و همکاران در سال ۲۰۱۰ به ارزیابی و بهینه سازی عملکرد یک آرایه فتوولتاییک از منظر اگزورژى پرداختند و نشان دادند بهترین حالت زمانی رخ می دهد که دمای مدول فتوولتاییک نزدیک به دمای اطراف باشد (۱۹)

محققین آگروال و تیواری^۲ در سال ۲۰۱۱ مقاله ای در باره آنالیز اگزورژیک و انرژیک برای یک مدل فتوولتاییک حرارتی با طرح میکرو کانال (MCPVT) را انجام دادند در این تحقیق فرض بر این است سیستم تحت یک جریان جرمی ثابت از هوا باشد و سپس برای پارامترهای مختلف تحت شرایط آب و هوایی مختلف ارزیابی صورت گرفته است برای این منظور سیستم در شرایط آب و هوایی چهار شهر مختلف در هندوستان قرار گرفت و پارامترهای مختلف بهبود داده شده اند علاوه بر این آنالیز برای PVT با کانال یگانه انجام شده و با MCPVT مقایسه شده است بر اساس داده ها گرمایی واقعی و اگزورژى بدست آمده سالیانه در مقایسه با مدل

^۱Chow

^۲ Agrawal and Tiwari

تک راهه به ترتیب ۷۰ و ۱۹/۶۰ درصد افزایش یافته است این مقایسه برای سه شهر دیگر در هندوستان هم انجام شده است (۲۰)

محققین راجاریا^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۲ مقاله ایی در باره آنالیز کلی اگزرتیک و انرژیک آرایه های فتوولتائیک حرارتی را انجام داده اند در واقع این آنالیز برای آرایش ها مختلف آرایه ها انجام شده است برای نیل به این منظور سه آرایش مختلف در نظر گرفته شده است و برای شرایط آب و هوایی مختلف تلاش شده که بهترین آرایش انتخاب شود (۲۱)

محققین آگروال و تیواری^۲ در سال ۲۰۱۳ مقاله ایی در باره آنالیز کلی اگزرتیک و انرژیک و اعتبار کربن برای انواع فتوولتائیک حرارتی با کلکتور هوا انجام داده اند در واقع مقایسه و آنالیز انواع PVT گوناگون شامل PVT بدون کاور شیشه ایی و PVT با کاور شیشه ایی و PVT معمولی برای آب و هوایی ترکیبی سنگال هندوستان انجام شده است همه گرمای بدست آمده و اگزرتی حاصله در طول یک سال برای PVT بدون کاور در مقایسه با PVT معمولی به ترتیب ۲۷ و ۲۹ درصد افزایش یافته است و همچنین PVT با کاور در مقایسه با PVT معمولی به ترتیب ۶۱ و ۵۹٫۸ درصد افزایش داشته است و همچنین راندمان اگزرتی بدون کاور شیشه و با کاور به ترتیب ۹/۶ و ۵۳ درصد در مقایسه با PVT معمولی افزایش داشته است (۲۲)

محققین سالوکس و تی سدودر^۳ سال ۲۰۱۳ مقاله ایی در باره آنالیز سلول های فتوولتائیک PV و فتوولتائیک حرارتی PVT بر اساس متد اگزرتی انجام دادند برای این منظور یک مدل ساده فتوولتائیک حرارتی برای بررسی در نظر گرفته شده است علاوه بر این انرژی و بالانس اگزرتی برای نشان دادن منابع مختلف اتلاف اگزرتی با هم در نظر گرفته شده است جریان الکتریسیته و فاکتور کاهش ولتاژ برار هدر رفت انرژی در PV است و از این دو دیاگرام برای نشان دادن کاهش اگزرتی استفاده شده است مرحله اول اتلاف اگزرتی هنگام تبدیل نور خورشید صورت میگیرد و مرحله دوم اتلاف بر اثر تاثیر متقابل پتانسیل الکتریکی و کاهش جریان صورت میگیرد هدف مطالعه PVT و مطالعه و بررسی آنها در شرایط گوناگون یعنی شدت تابش و دماهای گوناگون محیط که بازگشت ناپذیری با توجه به انرژی و راندمان اگزرتی محاسبه و آنالیز شود (۲۳)

^۱ Rajoria

^۳ Saloux and Teyssedou

^۲ Agrawa l and Tiwari

محققین میسرا و تیواری^۱ در سال ۲۰۱۳ مقاله ای در باره ی آنالیز اگزرژی و انرژی برای سلول فتوولتاییک حرارتی با کلکتور آب با دمای ثابت آب کلکتور انجام داده اند این آنالیز به بررسی انرژی گرمایی و الکتریکی و اگزرژی خروجی حاصل از دو آرایش متفاوت میپردازد در آرایش اول مدول PV بخشی از سیستم را میپوشاند و در آرایش دوم مدول PV همه ی سیستم را میپوشاند و نتایج با یک مدل FPC مقایسه شده است و اثر ناحیه پوشانده شده با PV بر بهبود عملکرد PVT بررسی شده است و معادلات را برای حالت اول و حالت دوم بازنویسی شده است در واقع مورد اول بیشتر برای دریافت انرژی حرارتی مناسب است و مورد دوم بیشتر برای تولید الکتریسیته مناسب است برای مورد اول در یک سال ۴۱۶۳۷ انرژی گرمایی و ۱۰۲۳/۷ انرژی الکتریکی حاصل شد و برای مورد دوم در یک سال ۳۲۰۰۶۵ انرژی گرمایی و ۱۳۷۷/۶۳ انرژی الکتریکی حاصل شد در مقایسه کیس اول نسبت به دوم انرژی گرمایی ۹/۴۸ درصد و اگزرژی دریافت شده ۳۹/۱۶ درصد افزایش یافته است (۲۴)

آقایان میسرا و تیواری^۲ در سال ۲۰۱۳ مقایسه بین انواع گوناگون PVT تحت دمای ورودی یکسان از نقطه نظر اگزرژی را انجام دادند آنها دریافتند که بیشترین دریافت سالانه انرژی و اگزرژی از مدول های نوع سلیکون حاصل میگردد (۲۵)

محققین اولما و مارلتا^۳ در سال ۲۰۱۴ مقاله ای در باره آنالیز اگزرژی و ترمو اکونومیک برای سلولهای فتوولتاییک حرارتی با کلکتور آب و با کاور شیشه انجام داده اند در واقع تحلیلی بر اساس قانون دوم مبتنی بر شبیه سازی داده شده است همچنین بهینه ترین عملکرد این تکنولوژی اراه شده است میدانیم مناسب ترین حالت برای تولید الکتریسیته در دماها پایین است در صورتی که ما در کلکتور به دنبال حرارت بیشتر هستیم در این تحقیق برای هر شرایط کاری بهینه ترین آب ورودی در صورتی که حداکثر تولید اگزرژی در سیستم را داشته باشیم محاسبه شده است و در نهایت یک تحلیل ترمو اکونومیک بر مبنای قیمت انرژی گرمایی تولید شده به وسیله کلکتور به عنوان تابعی از اگزرژی اراه شده است (۲۷)

^۱Mishra and Tiwari

^۳Evola and Marletta

محققین یزدان پناهی و همکاران در سال ۲۰۱۵ مقاله ایی در باره بررسی آزمایشگاهی راندمان آگزرژی سلول های فتوولتاییک حرارتی بر اتلاف آگزرژی را انجام داده اند در واقع به وسیله آزمایش و عددی مورد بررسی قرار میگیرد و پارامترهای عملیاتی آن مورد ارزیابی قرار گرفته اند پارامترهای ارزیابی شده شامل شدت تابش خورشید سرعت باد دمای محیط دمای سلول خورشیدی دمای سیال ورودی و خروجی ولتاژ مدار باز جریان مدار کوتاه باز نقطه ماکزیمم ولتاژ نقطه حداکثر جریان قدرت بود شبیه سازی عددی بر مبنای یک مدل با ابعاد و گرمای ثابت و چهار پارامتر مدل جریان ولتاژ صورت میگیرد در نهایت آگزرژی متفاوت هر جز PVT با خنک کن آب حساب شده است و یک رابطه بر اساس اتلاف آگزرژی بدست آورده شده است (۳)

محققین غلام پور و امیری در سال ۲۰۱۶ مقاله ایی در باره تحلیل آگزریک یک سلول فتوولتاییک با کلکتور مسطح ترانسپایر انجام داده ند در تحقیق هم مطالعه آزمایشگاهی صورت گرفته و هم مطالعه تئوری. این فرم از PVT ها که بر اساس سیستم خنک شوندگی مبتی بر هوا کار میکنند هردو نوع انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی را تولید میکنند برای توسعه و محک قابلیت های سیستم فوقالذکر یک نمونه ساخته شده و در شرایط محیطی در دانشگاه شهید باهنر کرمان تست شده است به منظور تحلیل ریاضی و محاسبه عدد ناسلت برای PV و قسمت ترانس پایر از تکنیک CFD استفاده شده است و در نهایت براساس حداکثر تابش دریافتی آگزرژی حساب شد. نتایج بدست آمده تئوری تطابق خوبی با شرایط آزمایشگاهی داشته است (۲۸)

فصل دوم سلول های فتوولتاییک حرارتی با خنک کن هوا

۲-۱ مبانی فتوولتایک

1-1-2 طیف خورشید و فوتون‌ها

سؤال این است که نور خورشید چگونه توصیف می‌شود؟ مشاهده رنگ‌های طیف نشان می‌دهد که نور خورشید می‌تواند به رنگ‌های مختلفی تقسیم شود. همچنین، استفاده از خطوط موازی بسیار نزدیک، به عنوان تئوری پراش، نشان می‌دهد که رنگ‌ها می‌توانند با فاصله خطوط مرتبط باشند. بدین معنی که طول موجی مربوط به هر رنگ وجود دارد. از این رو نور یک موج الکترومغناطیسی است و می‌توان یک طول موج به آن نسبت داد. از سوی دیگر، با مشاهده پدیده‌هایی چون اثر فوتوالکتریک می‌شود توضیح داد که نور به صورت بسته‌های کوچک انرژی حرکت می‌کند، که مانند ذره رفتار می‌کنند و فوتون نامیده می‌شوند. در واقع بنا به نظریه کوانتومی، امواج به ظاهر پیوسته الکترومغناطیسی، گسسته اند و از بسته های گسسته‌ای به نام فوتون تشکیل شده‌اند که هر فوتون دارای انرژی مشخصی است که مقدار آن فقط به فرکانس بستگی دارد.

در این بخش، مروری بر انرژی خورشید، مکانیزم تولید و راه‌های انتقال آن داشتیم. همچنین طیف خورشید را در شرایط مختلف بررسی کرده و عوامل مهم اثرگذار بر روی شدت نور خورشید را مطالعه نمودیم. در نهایت مبنایی را برای قابل مقایسه شدن تحقیقات صورت گرفته بر روی سلول‌های خورشیدی معرفی کردیم. این معیار بیانگر یک شدت معین از طیف خورشید در شرایط استاندارد است. (۲۹)

مواد از نظر خواص هدایت الکتریکی، به سه دسته رسانا، نیمه‌رسانا و نارسانا تقسیم‌بندی می‌شوند. در سلول‌های خورشیدی، ما نیاز به استفاده از مواد نیمه‌رسانا داریم. مواد نیمه‌رسانا موادی هستند که گاف انرژی آنها کم‌تر از گاف انرژی مواد نارسانا است. بنابراین اگر بتوان انرژی مورد نیاز را برای الکترون‌ها تامین کرد، الکترون‌ها می‌توانند از سد انرژی ناشی جاذبه هسته عبور کرده و به تراز هدایت بروند. در مواد رسانا، عملاً این

جاذبه هسته کمتر است و الکترون‌ها به راحتی می‌توانند وارد تراز بالایی شده و در رسانش ماده همکاری کنند. اکنون سوال این است که چرا برای تولید جریان الکتریکی فقط مواد نیمه‌رسانا قابل استفاده هستند؟

۲-۱-۲ تولید الکترون و حفره

به منظور تولید جریان الکتریکی، به الکترون‌ها نیاز داریم. در واقع، باید بتوانیم تعدادی الکترون را تولید کرده و آنها را در یک سیم یا مدار به حرکت درآوریم. پس دو شرط لازم برای تولید جریان الکتریکی عبارتند از: اول تولید الکترون و دوم به حرکت در آوردن الکترون تولید شده.

مواد رسانا به خودی خود تعداد بسیار زیادی الکترون آزاد دارند و شرط اول را به خوبی مهیا می‌کنند. برای تولید الکترون در مواد نیمه‌رسانا و نارسانا، لازم است شرایطی فراهم شود که الکترون‌های تراز ظرفیت بتوانند بر سد پتانسیل ناشی از گاف انرژی غلبه کرده و خود را به تراز هدایت ماده برسانند. در این صورت، این الکترون‌ها می‌توانند در هدایت الکتریکی ماده نقش ایفا کنند. برای غلبه بر این سد انرژی، باید به ماده انرژی بدهیم. این انرژی می‌تواند به شکل گرما یا امواج الکترومغناطیسی باشد. همچنین امواج الکترومغناطیسی نیز دارای انرژی هستند. انرژی امواج الکترومغناطیسی بر حسب طول موج آنها مطابق با رابطه زیر قابل محاسبه است: (۲۹)

$$E = h.c/\lambda \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

در این رابطه، E انرژی موج (j) ، (h) یک عدد ثابت به نام ثابت پلانک، c سرعت نور (m/s) و λ طول موج نور (m) است. همان طور که در این رابطه مشاهده می‌کنید، انرژی هر موج، با طول موج آن رابطه عکس دارد . (۲۹)

یکی دیگر از راه‌های تامین انرژی مورد نیاز الکترون‌های تراز ظرفیت برای رسیدن به تراز هدایت و غلبه بر سد انرژی، استفاده از نور خورشید است که گستره‌ای از خانواده امواج الکترومغناطیسی را در بر می‌گیرد. طبق رابطه بالا، اگر سد پتانسیل خیلی بزرگ باشد (مانند مواد نارسانا)، برای تامین انرژی غلبه برسد، نیاز به طول موج‌های کوچک‌تر داریم؛ در حالیکه در مواد نیمه‌رسانا، این سد انرژی کوچک‌تر است و با استفاده از امواج با طول موج‌های بزرگ‌تر می‌توان بر این انرژی غلبه کرد.

واحد انرژی در سیستم یکاهای بین‌المللی SI، ژول (J) است. این واحد انرژی برای بررسی ساختار الکترونی مواد، واحد بسیار بزرگی است و نیاز داریم از واحدی کوچک‌تر استفاده کنیم. واحد جایگزین، واحدی با عنوان الکترون-ولت با نماد eV است که بیانگر انرژی لازم برای اعمال اختلاف پتانسیل یک ولت به یک الکترون است. در فیزیک دبیرستان دیدیم که انرژی الکتریکی از رابطه $E=qV$ به دست می‌آید. در این رابطه q بار الکتریکی و V اختلاف پتانسیل الکتریکی است. بنابراین برای تبدیل این دو واحد می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود: (۲۹)

$$eV = -1.6 \times 10^{-19} \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

همان طور که مشاهده می‌کنید، واحد eV بسیار کوچک‌تر از واحد ژول است. این واحد برای استفاده در مباحث مربوط به نیمه رساناها و سلول‌های خورشیدی مناسب است. گاف انرژی برای مواد نیمه رسانا کم‌تر از eV و برای مواد نارسانا بیشتر از این مقدار است. از این به بعد، برای نمایش بزرگی انرژی، از واحد eV استفاده می‌کنیم. با این توضیح، می‌توان رابطه انرژی هر موج را به صورت زیر بازنویسی کرد: (۲۹)

$$E(eV) = 1240 / \lambda(nm) \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

با توجه به اینکه در محدوده طول موج‌های مرئی و UV طول موج‌ها از مرتبه چند صد و چند ده نانومتر هستند، رابطه (۲-۳) برای محاسبه انرژی بر حسب eV بسیار مناسب است.

۲-۱-۳ لزوم استفاده از نیمه‌رساناها برای تولید الکترون و حفره

رابطه ۲-۳ را می‌توان برای محاسبه انرژی هر موج مشخص به کار برد. با استفاده از این رابطه مشخص می‌شود که انرژی نور مرئی خورشید که سهم عمده نور خورشید رسیده به سطح زمین را تشکیل می‌دهد، طول موج ناحیه مرئی خورشید در محدوده ۴۰۰ تا ۷۰۰ است. در مواد عایق، برای جبران انرژی گاف به طول موج‌های بسیار کم‌تری از نور مرئی نیاز داریم. بنابراین استفاده از مواد عایق در سلول‌های خورشیدی به عنوان تولید کننده زوج الکترون-حفره امکان‌پذیر نیست. با توجه به این توضیحات؛ برای استفاده در سلول‌های خورشیدی، مواد نارسانا امکان تولید الکترون و ایجاد جریان را ندارند و برای این منظور مناسب نیستند. البته اگر موج‌هایی با انرژی بسیار بالاتر از نورهای مرئی مورد استفاده قرار گیرند، مواد عایق نیز امکان تولید الکترون و حفره دارند؛ ولی در سلول‌های خورشیدی، قرار است از نور خورشید استفاده کنیم که بیش‌ترین شدت آن بر روی زمین در ناحیه مرئی طیف نور است. (۲۹)

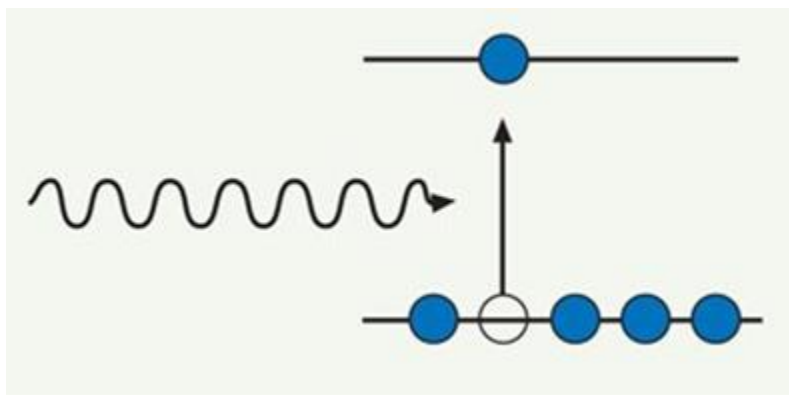
بر اساس آنچه به عنوان شرط دوم استفاده از یک ماده در سلول خورشیدی بیان شد، برای استفاده از الکترون‌های تولید شده، لازم است که یک اختلاف پتانسیل بین الکترون‌ها ایجاد شود. بنابراین، فلزات علیرغم اینکه به خودی خود الکترون‌های آزاد بسیار زیادی را در اختیار ما قرار می‌دهند، نمی‌توانند شرط دوم تولید جریان را مهیا نمایند. رساناها فقط در مواردی استفاده می‌شوند بخواهیم با اعمال یک اختلاف پتانسیل الکتریکی، تعدادی الکترون از جایی به جای دیگر منتقل کنیم. در این شرایط رساناها به دلیل تعداد قابل توجه الکترون آزاد (الکترون‌هایی که در تراز آخر اتم وجود دارند)، به راحتی این جریان الکترون‌ها منتقل می‌کنند. به عبارت دیگر، با استفاده از فلزات نمی‌توان پتانسیل داخلی در سیستم ایجاد کرد و نیاز به ایجاد یک اختلاف پتانسیل بیرونی برای انتقال حامل‌های آزاد داریم. ولی در نیمه‌رساناها، به دلیل فاصله ترازهای انرژی از یکدیگر،

با استفاده از یک سیستم چندلایه‌ای، می‌توان یک پتانسیل داخلی در سیستم ایجاد کرد و باعث جدا شدن الکترون‌ها و حفره‌ها از یکدیگر شد. در این شرایط الکترون‌ها به سمت الکتروود مثبت و حفره‌ها به سمت الکتروود منفی می‌روند.

۲-۱-۴ ارتباط بین نیمه‌رساناها و سلول‌های خورشیدی

در سلول‌های خورشیدی، برای تولید الکترون و در نتیجه ایجاد جریان، از مواد نیمه‌رسانا استفاده می‌شود. در واقع، قلب یک سلول خورشیدی، یک ماده نیمه‌رسانا است که می‌تواند با دریافت نور خورشید، الکترون تولید نماید. در فیزیک کوانتوم گفته می‌شود که نور خورشید شامل بسته‌های انرژی است. در واقع فرض می‌شود که انرژی، به صورت بسته‌های مجزا و جداگانه منتقل می‌شود. این بسته‌های جداگانه، فوتون نامیده می‌شوند. می‌توان اینگونه فرض کرد که یک باریکه نور خورشید، شامل تعداد بسیار زیادی تک موج است که هر کدام از آنها را می‌توان معادل یک بسته انرژی یا فوتون فرض کرد. انرژی هر فوتون، بر اساس همان رابطه انرژی موج که قبلاً به آن اشاره شد، مشخص می‌شود. زیرا هر فوتون مانند یک موج، دارای طول موج معین است. پس از برخورد فوتون با ماده نیمه‌رسانا، انرژی فوتون به الکترون داده می‌شود. اگر انرژی فوتون برابر یا بیشتر از انرژی سد پتانسیل یا همان گاف انرژی باشد، الکترون می‌تواند بر سد انرژی گاف غلبه کرده و خود را به تراز هدایت ماده برساند. این پدیده در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که در نانوالکترونیک خوانده‌اید، به محض اینکه الکترون از تراز ظرفیت ماده جدا شده و به سمت تراز هدایت می‌رود، به جای آن یک حفره ایجاد می‌شود. مادامی که نور خورشید در حال برخورد به ماده نیمه‌رسانا است، الکترون تولید شده و به تراز هدایت ماده می‌رود. مشابه این پدیده را در زندگی روزمره خود بسیار دیده‌ایم. برای مثال، توپی را در نظر بگیرید که در حالت طبیعی خود تمایلی به بالا رفتن ندارد. پرتاب نمودن این توپ به ارتفاع بالاتر از دیدگاه «انرژی» معادل این است که بخواهید آن را از سطح انرژی پتانسیل گرانشی پایین‌تر (ارتفاع کم‌تر) به سطح انرژی پتانسیل گرانشی بالاتر (ارتفاع بالاتر) منتقل نمایید. بنابراین اگر بخواهید به نحوی توپ را به بالا پرتاب کنید، باید مقدار مناسبی انرژی به توپ بدهید تا بتواند بر سد نیروی گرانشی زمین غلبه کرده و به بالا برود؛ مثلاً توپ را شوت

کنید! پس از اینکه توپ بالا رفت و به ارتفاع مورد نظر رسید، چون این سطح انرژی برای توپ غیرتعادلی است، توپ برای رسیدن به تعادل، دوباره به پایین بر می‌گردد. در واقع توپ تمایل دارد با کاهش انرژی پتانسیل خود، به شرایط تعادلی اولیه‌اش برگردد. بنابراین به پایین سقوط می‌کند



شکل (۱-۲) تهیج الکترون به وسیله نور خورشید (۲۹)

مشابه این اتفاق برای الکترون‌ها هم رخ می‌دهد. پس از اینکه الکترون با دریافت انرژی بر سد پتانسیل الکتریکی گاف غلبه کرد و به تراز هدایت رفت، هیچ تمایلی به باقی ماندن در آن ندارد و به سرعت می‌خواهد به تراز ظرفیت برگشته تا به سطح پایدار برسد. اگر این اتفاق رخ دهد، دیگر نمی‌توان از الکترون استفاده کرد و در نتیجه، امکان تولید هیچ جریانی وجود ندارد. پس باید شرایطی برای الکترون ایجاد کرد که این اتفاق رخ ندهد.

۲-۱-۵ اثر فوتوولتایی

پدیده تبدیل پرتو نوری به انرژی الکتریکی، اثر فوتوولتایی PV، نامیده می‌شود. دو قطعه مهم که بر اساس اثر فوتوولتایی کار می‌کنند، سلول خورشیدی و آشکارساز نوری هستند. هنگامی که یک فوتون با انرژی $h\nu$ (ثابت پلانک h و فرکانس نور ν است) که بزرگ‌تر یا مساوی با گاف نواری است، با یک نیمه رسانا برخورد می‌کند، جذب نور و در نتیجه تولید یک جفت الکترون-حفره می‌تواند رخ دهد که تولید انرژی الکتریکی بر همین پایه است. در این روش با بکارگیری سلول‌های خورشیدی، تولید مستقیم الکتریسیته از تابش خورشید امکان‌پذیر می‌شود. پدیده‌ی فوتوولتائیک فقط با برخی از طول موج‌ها ایجاد می‌شود. این به آن دلیل است که بسته‌های نور (فوتون‌ها) باید یک حداقل انرژی برای برانگیختن الکترون‌های ماده داشته باشند. بخشی از فوتون‌ها که انرژی کافی برای برانگیختن الکترون در مولکول یا نیمه رسانا را نداشته باشند، توسط ماده فوتوولتائیک جذب نمی‌شوند. از سوی دیگر، اگر انرژی فوتون بیش‌تر از میزان انرژی لازم برای برانگیختن الکترون باشد، انرژی اضافی هدر می‌رود. این دو پدیده باعث می‌شود که ۷۰ درصد از انرژی خورشید بدون مصرف باقی بماند. (۲۹)

۲-۲ برخی از آنالیزهای مربوط به سلول‌های خورشیدی

۲-۲-۱ آنالیز جریان-ولتاژ سلول خورشیدی^۱

تست I-V اولین و پایه‌ای‌ترین آنالیز سلول خورشیدی است. در این آنالیز بازده سلول و همچنین ولتاژ مدار باز، جریان مدار کوتاه و فاکتور پر کنندگی سلول تعیین می‌شود. علاوه بر این، از شکل منحنی جریان-ولتاژ اطلاعاتی نیز در مورد مقاومت‌های سری و موازی سلول بدست می‌آید. به طور کلی در این تست با تابش نور سفید و بستن یک ولت متر و یک آمپر سنج به کمک یک رئوستا مقاومت افزایش می‌یابد و در نتیجه با افزایش مقاومت

^۱Solar Cell J-V Analysis

تا بی نهایت شدت جریان به صفر می رسد و در این زمان می شود رابطه ی بین ولتاژ و آمپر را مقایسه کرد و توان ماکزیموم را حساب نمود و طبق فرمولی با داشتن مساحت سلول و همچنین شدت نور سفید تابانده شده به راندمان سلول دست یافت.



شکل (۲-۲) دستگاه اندازه گیری تست آی-وی (۲۹)

۲-۲-۲ اندازه گیری بازده طیفی سلول خورشیدی^۱

اندازه گیری بازده طیفی سلول خورشیدی یا بازده کوانتومی خارجی سلول با تاباندن نور با طول موج مشخص به سلول و اندازه گیری جریان سلول انجام می شود. با مقایسه جریان سلول با جریان یک فوتودیود کالیبره شده در هر طول موج می توان بازده طیفی را اندازه گرفت. [۲۹]

^۱Incident Photon to Current Conversion Efficiency

۳-۲-۲ اندازه‌گیری سطح فرمی و بار تجمع یافته^۱

این آنالیز عمدتاً برای سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای انجام می‌شود. با استفاده از این آنالیز چند پارامتر مهم سلول خورشیدی رنگدانه‌ای به شرح زیر قابل اندازه‌گیری است:

اندازه‌گیری تراز فرمی در حالت مدار باز در شدت‌های مختلف نور

اندازه‌گیری جریان اتصال کوتاه در شدت‌های مختلف نور

اندازه‌گیری تراز فرمی الکتروود در حالت اتصال کوتاه

اندازه‌گیری عمق و چگالی ترازهای انرژی در الکترودهای نانوساختاری در حالت مدار باز

اندازه‌گیری چگالی بار تجمع یافته در حالت اتصال کوتاه (۲۹)

۴-۲-۲ طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی^۲

طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی یکی از مهم‌ترین روش‌های مشخصه‌یابی سیستم‌های الکتروشیمیایی و از جمله‌ی آن سلول‌های خورشیدی فوتوالکتروشیمیایی رنگدانه‌ای است. امپدانس به صورت نسبت ولتاژ به جریان سیگنال تعریف می‌شود. (۲۹)

^۱ Fermi level and accumulated charge

^۲ Electrochemical Impedance Spectroscopy

۲-۳ انواع سلول‌های خورشیدی

مواد گوناگونی تاکنون در ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده شده‌اند که بازده و هزینه‌های ساخت متفاوتی دارند. در واقع این سلول‌ها باید طوری طراحی شوند که بتوانند طول موج‌های نور خورشید را که به سطح زمین می‌رسد با بازده بالا به انرژی مفید تبدیل کنند. در منابع مختلف انواع گوناگونی از تقسیم‌بندی‌ها در زمینه سلول‌های خورشیدی انجام می‌شود. بر حسب موادی که برای ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شوند سلول‌های خورشیدی در چهار نسل قرار می‌گیرند که در ذیل به آنها اشاره شده است:

ویفرهای سیلیکون تک بلوری سیلیکون بی‌شکل، سیلیکون چندبلوری، کادمیوم تلوراید، آلیاژ مس-ایندیوم-گالیم-دی سلناید

سلول‌های نانوبلور، سلول‌های فوتوالکتروشیمیایی، سلول‌های پلیمری، سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ بلورهای معدنی هیبرید شده داخل ماتریکس پلیمری همچنین سلول‌های خورشیدی را از نظر فناوری ساخت می‌توان به سه دسته تقسیم کرد، که سلول‌های خورشیدی آلی یکی از این موارد است که جزو نسل سوم سلول‌های خورشیدی هستند.

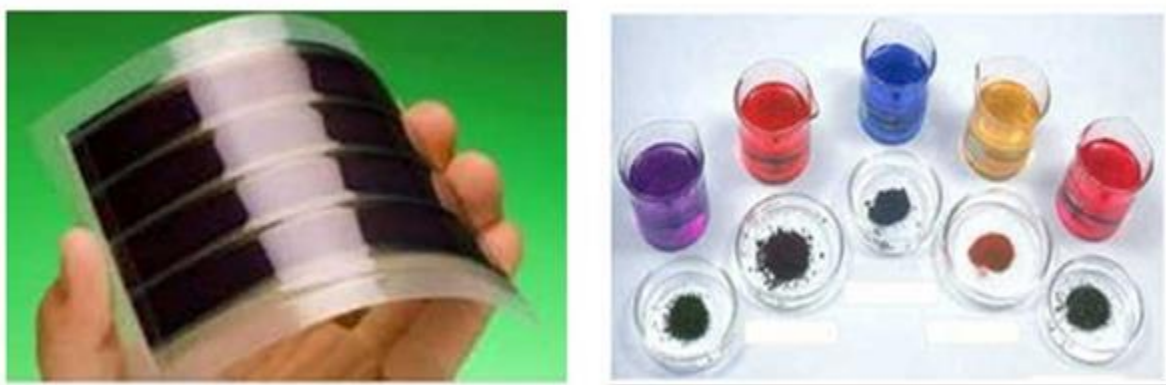
۲-۳-۱ سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی

سلول‌های خورشیدی ساخته شده از مواد آلی در مقایسه با همتایان دیگر خود بازده بسیار کم‌تری دارند. اما به دلیل هزینه ساخت پایین و همچنین قابلیت‌هایی مانند انعطاف‌پذیری برای مصارف غیرصنعتی مناسب هستند. به صورت کلی این نوع از سلول‌های خورشیدی مزیت‌های متعددی از قبیل فراوری آسان، انعطاف‌پذیری، سبک وزنی و هزینه ساخت کم را دارا هستند. انواعی از سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی شامل سلول‌های

خورشیدی حساس به رنگ، سلول‌های خورشیدی پلیمری و سلول‌های خورشیدی مبتنی بر کریستال‌های مایع^۱ هستند. (۲۹)

۲-۳-۲ سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ^۲

امروزه، بیش‌ترین سلول‌های خورشیدی تجاری از سیلیکون (بیش از ۸۶ درصد) ساخته شده‌اند، در حالیکه استفاده از سیلیکون در دستگاه فوتوولتائیک ممکن است به دلیل قیمت بالای تولید محدود شود. به طور کلی، از ویژگی‌های سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ در مقایسه با سلول‌های خورشیدی معدنی می‌توان به هزینه‌ی پایین تولید، تنوع رنگ و شکل، انعطاف‌پذیری و سبک وزنی اشاره کرد (شکل ۲-۳). این در حالی است که سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ نسبت به سلول‌های خورشیدی معدنی بازده پایین‌تری نشان می‌دهند که لازم است به طور قابل توجهی بهبود داده شود. سلول خورشیدی حساس شده با رنگ از دسته سلول‌های لایه نازک به شمار می‌آید و تنها نمونه‌ای از فناوری نسل سوم سلول‌های خورشیدی است که تاکنون به مرحله‌ی تجاری سازی رسیده است.

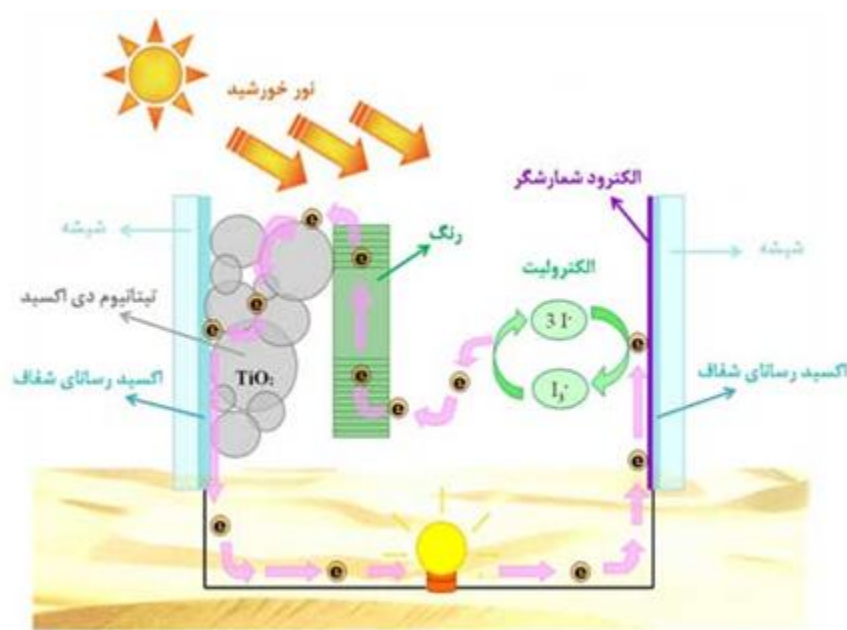


شکل (۲-۳) سلول خورشیدی حساس شده با رنگ (۲۹)

^۱ Liquid Crystals

^۲ Dye-sensitized Solar Cell, DSSC

سطح شبکه بزرگ طراحی می‌شود و هر قسمت آن با یک تک لایه‌ای از یک رنگ یا پوششی از نقاط کوانتومی، که به عنوان رنگ عمل می‌کنند، پوشانده می‌شود. سپس یک الکترولیت برای نفوذ ساختار شبکه پوشش داده شده حاصل، مورد استفاده قرار می‌گیرد تا یک کانال یا مجرای بین رنگ و آند ایجاد کند. رنگ نور را جذب می‌کند و تولید اکسیتون (الکترون-حفره) می‌کند، که در سطح مشترک رنگ - نیمه هادی تفکیک می‌شود و منجر به ایجاد الکترون‌ها توسط فوتون برای نیمه هادی و مولکول‌های رنگ اکسید شده به وسیله الکترولیت (که باید کاهش یابد و دوباره تولید شوند) می‌شود. اجزای تشکیل دهنده سلول خورشیدی حساس شده با رنگ شامل بخش‌های مهمی همچون شیشه‌ی پوشیده شده با اکسید رسانای شفاف، نانوذرات تیتانیوم دی اکسید^۱، رنگ‌های حساس به نور، الکترولیت اکسایش- کاهش، الکتروود شمارشگر (کاتد) و مواد ضد نشت (شکل ۲-۱۲) است. (۲۹)



شکل (۲-۴) عملکرد سلول خورشیدی حساس شده با رنگ (۲۹)

^۱ Titanium dioxide, TiO₂

به طور کلی با نگاه اجمالی در ساختار سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ، باید این سلول‌ها را مشابه با یک باتری قلیایی تجاری دانست که در آن یک آند و یک کاتد در دو طرف الکترولیت مایع قرار می‌گیرند. به این ترتیب که نور خورشید از طریق الکتروود شفاف وارد لایه‌ی رنگ شده و الکترون‌های آن را برانگیخته می‌کند. سپس این الکترون‌ها به نانوذرات تیتانیوم دی اکسید نیمه رسانا منتقل خواهد شد. با جذب الکترون‌ها در این نوار ممنوعه، میدان الکتریکی و سپس جریان ایجاد می‌شود. این جریان وارد مدار شده و به کاتد انتقال می‌یابد. کاتد همچنین نقش یک کاتالیزور را دارد و الکترون‌ها را وارد محلول الکترولیت (یدید/ تری یدید) می‌کند تا از طریق واکنش شیمیایی در الکترولیت، الکترون‌ها دوباره وارد مولکول رنگ شوند.

۲-۳-۳ سلول‌های خورشیدی پلیمری

از ویژگی‌های بارز سلول‌های خورشیدی پلیمری می‌توان به مواردی مانند: هزینه کم، وزن سبک و ساخت راحت اشاره نمود. اما آنچه بر اهمیت آنها می‌افزاید، قابلیت حل شدن مواد مورد استفاده در حلال‌های آلی است که تهیه سلول‌های خورشیدی انعطاف‌پذیری را امکان‌پذیر می‌سازد.

سلول‌های خورشیدی پلیمری دارای ویژگی‌های خاصی هستند. چون مواد اکتیو استفاده شده برای ساخت قطعات قابل حل شدن در حلال‌های آلی بسیاری هستند، بنابراین سلول‌های خورشیدی پلیمری دارای پتانسیل لازم برای انعطاف‌پذیری و قابلیت ساخت در یک فرآیند چاپ پیوسته همانند چاپ روزنامه را دارند.

اخیرا بازده تبدیل توان حدود ۶ درصد گزارش شده است ولی این مقدار با مقادیر لازم برای کاربردهای معمول فاصله دارد. (۲۹)

۲-۳-۴ سلول‌های خورشیدی مبتنی بر کریستال‌های مایع

در نمونه‌ای از سلول‌های خورشیدی از این نوع، از کریستال‌های مایع ستونی برای ساخت سلول استفاده می‌شود. گروهی از کریستال‌های مایع می‌توانند به حالت ستونی وجود داشته باشند. حالت ستونی حالتی است که مولکول‌های تشکیل‌دهنده کریستال‌های مایع که می‌توان آنها را به دیسکی تشبیه کرد روی هم قرار گرفته و ستون‌هایی را تشکیل می‌دهند. در ابتدا این گروه از کریستال‌های مایع، کریستال‌های مایع دیسکی نامیده می‌شدند. زیرا هر ستون از روی هم چیده شدن صفحات دیسک مانند مولکول‌ها روی هم درست می‌شود. تحقیقات اخیر نشان داده است که بعضی از کریستال‌های مایع ستونی از واحدهای غیردیسکی ساخته می‌شوند در نتیجه بهتر است به این گروه از مواد کریستال‌های مایع ستونی گفته شود.

۲-۳-۵ سلول‌های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون کریستالی

رایج‌ترین ماده توده برای سلول خورشیدی، سیلیکون کریستالی است. ماده توده سیلیکون با توجه به نوع کریستال و اندازه کریستال به چندین بخش تقسیم می‌شود:

سیلیکون تک کریستالی

سیلیکون پلی کریستالی یا چند کریستالی

سلول‌های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون لایه نازک غیرکریستالی (آمورف)

هزینه پایین یکی از مزایای سلول‌های خورشیدی برپایه سیلیکون آمورف (a-Si) است. دو جزء اصلی آلیاژ a-Si، سیلیکون و هیدروژن است. علاوه براین، مشخصه یک آلیاژ a-Si داشتن ضریب جذب بالاست. تنها یک لایه نازک برای جذب نور نیاز است و این باعث کاهش هزینه مواد می‌شود. (۲۹)

۲-۳-۶ سلول‌های خورشیدی لایه نازک^۱

اولین لازمه موادی که باید در یک قطعه مبدل انرژی فتوولتائیک خورشیدی به کار برود، تطبیق گاف انرژی با طیف خورشیدی و نیز داشتن قابلیت تحرک بالا و طول عمر حامل‌های زیاد هستند. این شرایط توسط سیلیسیم برآورده می‌شوند. مواد گروه V - III علی‌رغم هزینه‌های بالای استحصال و ساخت این نیمه هادی‌ها، با موفقیت زیاد در کاربردهای فضایی که در آنها هزینه، فاکتور مهمی نیست مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در سال ۱۹۶۱، کوپیز و شوکلی^۲ با در نظر گرفتن یک سلول خورشیدی پیوندی به شکل یک جسم سیاه با دمای ۳۰۰ کلوین نشان دادند که بیش‌ترین بازدهی یک سلول خورشیدی صرف نظر از نوع فناوری بکار رفته در آن، ۳۰ درصد است که برای سلولی با گاف انرژی ماده برابر 1.39 eV بدست می‌آید. با توجه به اینکه انرژی شکاف گالیم آرسناید برابر 1.424 eV است می‌تواند ماده مناسبی برای طراحی سلول‌های خورشیدی باشد. سلول‌های خورشیدی ساخته شده بر پایه لایه نازک به عنوان نسل دوم سلول‌های خورشیدی نام‌گذاری می‌شوند. (۲۹)

^۱ GaAs

^۲ Shockley and Queisser

۲-۳-۷ سلول‌های خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی

یک فاکتور محدود کننده برای بازده تبدیل انرژی در سلول‌های خورشیدی با یک شکاف انرژی این است که انرژی فوتون جذب شده بالای شکاف انرژی نیمه هادی در اثر اندرکنش الکترون - فوتون به صورت گرما تلف می‌شود تا حامل‌ها به لبه شکاف باند انرژی رسیده و به اصطلاح به آرامش برسند.

در سال‌های اخیر روش‌هایی برای کاهش این تلفات با استفاده از ساختارهای کوانتومی از جمله چاه‌های کوانتومی و نقاط کوانتومی ارائه شده است. در این ساختارها هنگامی که حامل‌ها در نیمه هادی به وسیله سدهای پتانسیل به نواحی خاصی که کوچک‌تر یا قابل مقایسه با شعاع بوهر اکسیتون‌ها در نیمه هادی توده است محدود می‌شوند، دینامیک آرامش کاملاً متفاوت خواهد بود. (۲۹)

۲-۴ فناوری‌های سیستم‌های حرارتی خورشیدی

سیستم‌های حرارتی خورشیدی شامل سیستم‌هایی می‌شود که بر پایه گردآورنده‌های حرارتی با دمای پایین عمل می‌نماید. این سیستم‌ها از منبع خورشیدی برای مصرف نهائی حرارتی استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها خود شامل ۲ گروه گردآورنده‌های تخت (کلکتورهای تخت) و گردآورنده‌های با تمرکز کم (کلکتورهای متمرکز کننده) می‌شوند.

سیستم‌های حرارتی دارای یک بخش ذخیره هستند تا حرارت خورشید را برای استفاده در شب ممکن نمایند. اکثر سیستم‌های حرارتی خورشیدی برای گرمایش آب بطور تجاری، استخرهای شنا یا آب مصرفی خانه‌های

ویلائی، آپارتمانی و هتل ها و ...، و همچنین بخش بزرگی از تقاضا برای گرمایش فضای ساختمان و برای تامین انرژی مدارهای پمپ حرارتی جذبی و نظایر آن به منظور تامین سرمایش فضای ساختمان ها نیز بکار می رود. با توجه به پتانسیل بالای شهرستان ساوه در زمینه تولید انرژی خورشیدی با تابش حدود ۲۳۰۰ کیلو وات ساعت بر متر مربع (۳۰)(۳۱)(۳۲) زمینه مساعدی را برای تولید برق فراهم آورده است برخی مفاهیم اولیه در سیستمهای حرارتی به شرح زیر می باشد: (۳۱)

سیال عامل : در اغلب سیستم ها، حرارت جذب شده توسط کلکتور برای اینکه به نقاط دیگر منتقل شده و مورد استفاده مناسب قرار گیرد به یک سیال انتقال حرارت که ممکن است روغن، آب، هوا و ... باشد منتقل می شود این سیال را سیال عامل می نامند .

سطوح جاذب: سطوح تیره دارای قابلیت جذب بهتر اشعه های تابیده شده خورشید هستند در سیستم های خورشیدی، جایی که نور خورشید تابیده شده یا متمرکز می شود، سطوح جاذب در معرض آن قرار می گیرند. این سطوح با روشهای مختلف صنعتی ساخته می شوند که بتوانند حداکثر جذب انرژی حرارتی را داشته باشند .

سیستم ذخیره حرارتی: برای اینکه در طول شب یا در ساعات ابری بتوان از انرژی خورشید استفاده نمود لازم است مقداری از انرژی حرارتی خورشید در منابعی ذخیره شود. در آبگرمکنهای خورشیدی از مخازن ذخیره آب گرم استفاده می شود و در سیستم های نیروگاهی، انرژی حرارتی در مخازنی که حاوی روغن و شن هستند ذخیره می شود تا در هنگام عدم تابش خورشید، مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۴-۱ انواع گردآورنده ها

گرد آورنده ها: بصورت تخت یا دارای انحنا می باشند.

گردآورنده های تخت از جذب حرارت خورشید توسط یک ورقه فلزی تیره که حرارت را توسط یک سیال جاذب حرارت (مثل آب یا هوا) منتقل می کند استفاده می کنند. یک کلکتور تخت شامل اجزاء زیر می باشد (۳۱)

۱- صفحه شفاف که ممکن است یک یا چند لایه شیشه و یا پلاستیک شفاف باشد.

۲ -لوله ها و یا گذرگاههایی برای عبور سیال انتقال حرارت

۳- صفحه جاذب که می تواند صاف، موجدار، شیاردار باشد که معمولا به رنگ تیره بوده و لوله ها و گذرگاهها به آن متصل می شوند.

۴- مانیفولد یا هدرهایی برای عبور و تخلیه سیال ناقل حرارت که معمولا در قسمت بالا و پائین کلکتور نصب شده اند.

۵- عایق بندی دستگاه برای کاهش اتلاف حرارتی که معمولا اطراف و پشت کلکتور و لوله ها را شامل می شود.

۶- قاب مخصوص که اجزاء کلکتور را در خود جای داده و آنها را از غبار و رطوبت و دیگر عوامل خارجی مصون می دارد.

۲-۴-۲ تقسیم بندی کلکتورها از نظر نوع سیال عامل

کلکتورهای تخت از نظر نوع سیال عامل، ساختمان و عملکرد به ۳ دسته تقسیم می شوند که عبارتند از: (۳۱)

کلکتور با آب چکه

کلکتور با هوا

کلکتور با مایع



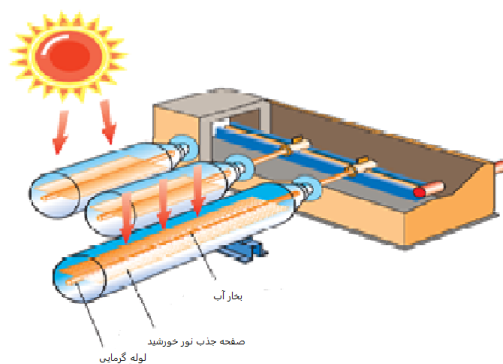
شکل (۲-۵) کلکتور صفحه تخت (۳۱)

کلکتور با آب چکه که از صفحات فلزی تیره رنگ کنگره ای ساخته می شود اولین بار در سال ۱۹۵۹ توسط دکتر هاری تامسون^۱ برای بام خانه ای در مریلند ساخته و نصب شد. در این نوع کلکتورها آب از لوله ای در قسمت فوقانی، بر روی شیارهای صفحه کنگره ای می چکد. آب در حین عبور با جذب حرارت از صفحه تیره رنگ کنگره ای گرم شده و در پائین جهت مصرف و یا ذخیره در یک ناودانی جمع می شود .

^۱ Harry Tamason

کلکتور با هوا، یکی دیگر از گردآورنده هایی هستند که در آنها از هوا یا گاز به عنوان سیال برای انتقال حرارت استفاده می شود. نگهداری آسان و عدم یخ زدگی هوا از مزایای این نوع کلکتورها نسبت به دیگر انواع مایعی آنهاست. بعلاوه در این نوع گردآورنده ها هوای گرم مستقیماً وارد ساختمان یا محفظه ذخیره می شود. از معایب آن می توان به موارد زیر اشاره کرد: مشکل گرم کردن آب مصرفی بوسیله هوای گرم تولید شده، لزوم ساخت و نصب کانالهایی با سطح مقطع مناسب که فضای زیادی از ساختمان را اشغال می کند، احتیاج به هوا رسان با قدرت الکتریکی لازم برای انتقال هوای گرم از کلکتور به محل ذخیره .

کلکتور با مایع، که در این نوع کلکتور، سیال عامل یک نوع مایع مثل آب، روغن و یا مایعی با نقطه انجماد پائین انتخاب می شود زیرا که یخ زدن آب در کلکتور و خوردگی از مشکلات اساسی در این نوع گردآورنده هاست. سیال عامل از قسمت پائین وارد و هنگام عبور از لوله های صفحه جذب کننده، گرم شده و از قسمت فوقانی با پمپ یا بدون آن بطرف مخزن ذخیره جریان پیدا می کند. یک نوع از این کلکتورهای مایع متشکل از چندین لوله گرمائی است که هر کدام از آنها شامل یک لوله شیشه ای، صفحه جاذب و لوله گرمائی می شود. برای جلوگیری از اتلاف حرارتی از روی سطح جاذب و حفظ خواص اپتیکی لایه برگزیده خوابانده شده بر روی سطح جاذب، داخل لوله شیشه ای خلاء ایجاد شده است.



شکل (۲-۶) اجزای یک کلکتور بامایع (۳۱)

کلکتورهای تخت پرتوهای تابش مستقیم و پراکنده خورشید را جمع آوری می کنند و احتیاج به سیستم ردیابی ندارند. کلکتورهای تخت در یک روز صاف با زاویه انحراف عرض جغرافیایی محل، قادرند ۲۵۳۴۵ کیلوژول بر مترمربع انرژی خورشیدی را جذب کنند، اتلاف حرارتی زیادی دارند و با وجود سطح جاذب بزرگتر دمای پائین تر و حرارت کمتری تولید می کنند. برای گرم کردن آب و هوا مناسب هستند و هزینه کمتری نسبت به متمرکز کننده ها دارند .

۲-۴-۳ گردآورنده های متمرکز کننده

گردآورنده های متمرکز کننده تابش مستقیم خورشید و بخشی از تابش پراکنده را با کمک طراحی های هندسی پیشرفته (سهموی و ...) متمرکز می نمایند. در این نوع کلکتورها از سطوح منعکس کننده جهت افزایش پرتوهای خورشیدی استفاده می شود. متمرکز کردن پرتوهای خورشیدی در کانون، بمنظور دست یابی به درجه حرارت بالا می باشد .

کلکتورهای متمرکز کننده جهت دستیابی به حرارت بالا در کانون می بایستی قادر به ردیابی خورشید در مدت تابش روزانه باشند. این نوع کلکتورها در یک روز صاف ۳۶۲۵۲ کیلوژول بر مترمربع از انرژی خورشید را جمع آوری می کنند. تمرکز در ناحیه کانونی باعث افزایش انرژی دریافت شده در واحد سطح می گردد. در متمرکز کننده ها بعلاوه کاهش سطح جذب کننده ها، اتلاف حرارتی کاهش یافته و دمای بالاتر و حرارت بیشتری تولید می شود. برای مناطق ابری مناسب نیستند و نیازی به پوشش شیشه ای ندارند. نسبت به کلکتورهای تخت هزینه بیشتری لازم دارند. از نظر راندمان در دماهای پائین از کلکتورهای تخت کم تر بوده ولی در دماهای بالا، دارای راندمان خوبی هستند. میزان دریافت شدت تابش خورشیدی در متمرکز کننده ها می تواند در حدود ۷۰-۸۰ برابر نسبت به کلکتورهای تخت باشد. نیازی به عایق بندی ندارند در صورتی که در کلکتور های تخت، عایق بندی نکته حائز اهمیتی است.

۲-۵ تکنولوژی ترکیبی فتوولتایک حرارتی (PVT)

یک کلکتور فتوولتایک-گرما مدلی است که فقط الکتریسیته تولید نمیکند بلکه بطور همزمان به عنوان یک جاذب حرارتی گرمای اضافی و هدر رفت سلول های PV را جذب کرده و تولید گرما میکند روش های متفاوتی در ادغام وویکپارچه سازی PV ها وجود دارد از این میان میتوان به انتخاب آب یا هوا به عنوان خنک کننده سلول های خورشیدی، نوع کلکتور صفحه تخت یا متمرکز کننده، پانل های شیشه دار یا غیر شیشه دار، جریان اجباری یا طبیعی سیال و.... اشاره کرد همه موارد بالا باید به خوبی برای سیستم انتخاب و ارزیابی شوند تا هم راندمان افزایش یابد و هم سود حاصله دو چندان گردد از ویژگی های PVT میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

(۳۴)

-PVT ها اهداف دو منظوره دارند یعنی بطور همزمان هم برق و هم حرارت تولید میکنند

-کارآمد وانعطاف پذیر هستند، بازده یک سیستم ترکیبی همیشه از دو سیستم مجزا بیشتر است

-کاربرد وسیعی دارند، گرمای خروجی با استفاده از تجهیزاتی میتواند هم برای گرمایش و هم برای سرمایش، بستگی به فصل مورد نظر، استفاده قرار گیرد

مزایای استفاده از کلکتورهای فتوولتائیک - حرارتی

جلوگیری از افزایش دمای پنل های فتوولتائیک

تولید همزمان الکتریسیته و حرارت

استفاده از یک سیستم ترکیبی به جای استفاده از دو سیستم به طور مجزا

عدم نیاز به منبع الکتریکی خارجی برای به چرخش در آوردن سیال عامل در گردآورنده خورشیدی

دوام بیشتر سلول ها به واسطه کاهش دما

بازگشت سرمایه در مدت زمان کوتاه تر

شکل (۹-۲) مزایای استفاده از کلکتور های فتوولتائیک - حرارتی (۳۴)

۲-۵-۱۱ انواع کلکتورهای فتوولتائیک حرارتی

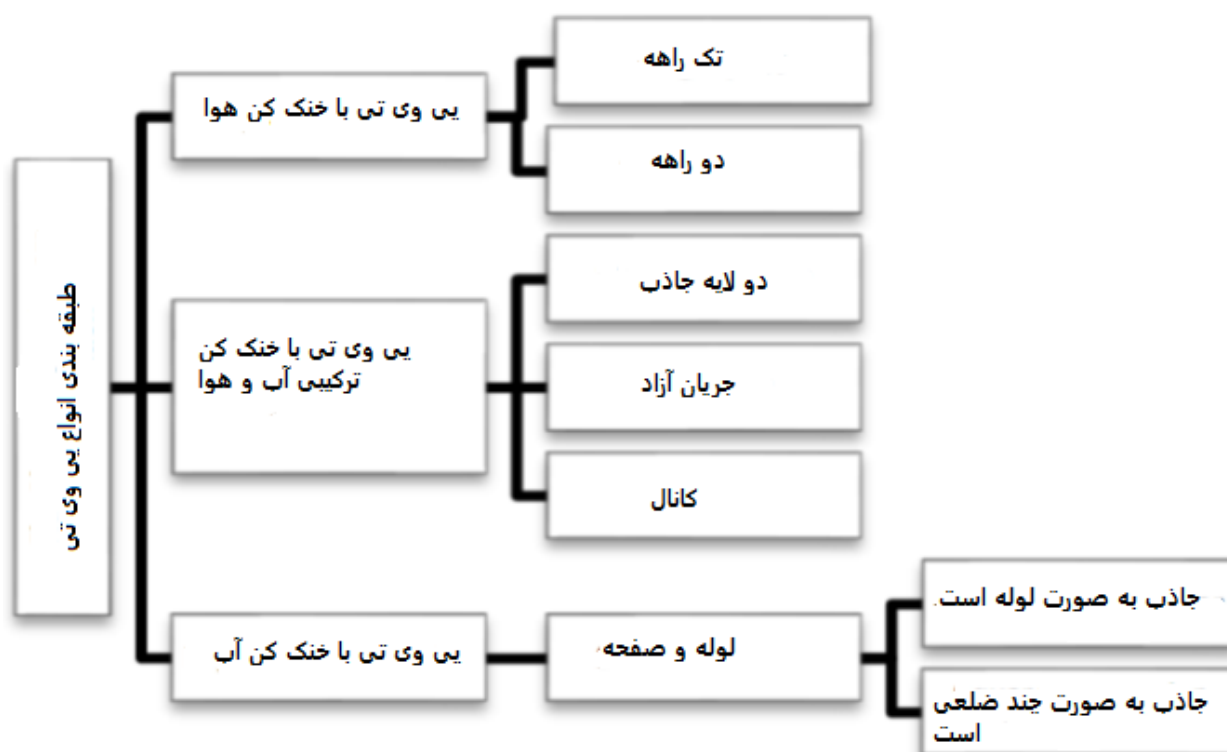
وسایل و اسباب آلات PVT میتواند در طرح های مختلف برای کاربرهای گوناگون تغییر کند مثل سیستم های PVT تولید آب گرم خانگی یا تولید هوای گرم بازار سرار جهان به سرعت برای هر دو تکنولوژی در حال رشد میباشد برای PVT ها میتوان همان رشد را به علت یکپارچه بودن ، اقتصادی بودن و افزایش راندمان ترکیبی بالا تر از سیستم های مستقل را انتظار داشت PVT ها دامنه وسیعی از کاربرد ها را دارا میباشد از گرمایش آب گرم گرفته تاتهوویه مطبوع ساختمان پیش گرمکن های هوا در طول زمستان برای گرمایش ساختمان و...

انواع مختلف PVT ها عبارتند از (۳۴)

-کلکتورهای PVT که از آب به عنوان سیال خنک کننده استفاده میکنند

-کلکترهای **PVT** که از هوا به عنوان سیال خنک کننده استفاده میکنند

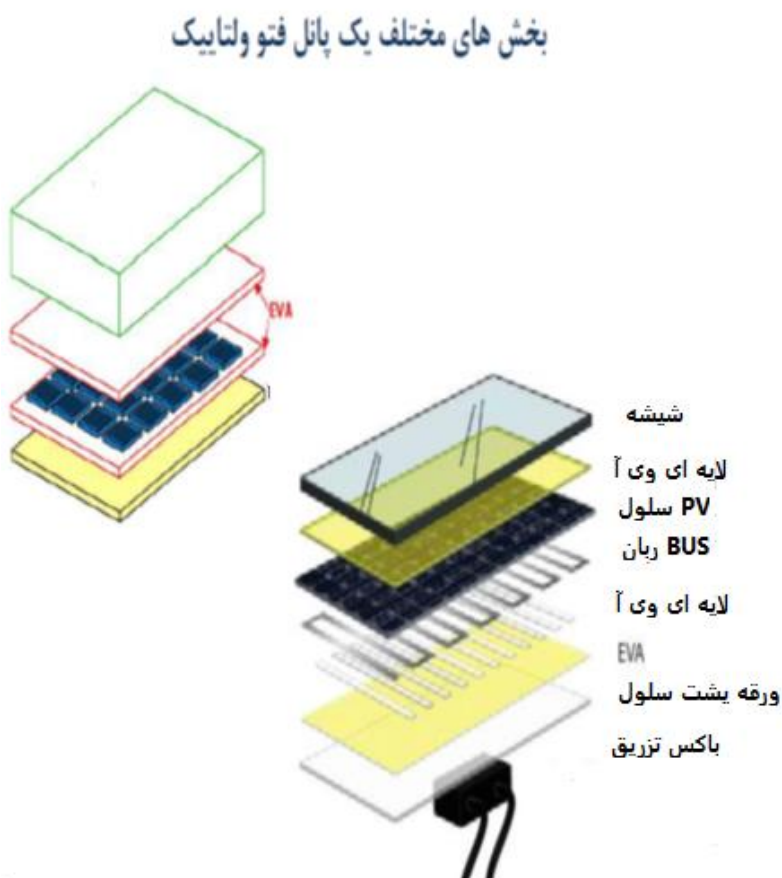
-**PVT** متمرکز کننده نور خورشید



شکل (۲-۱۰) دسته بندی کلکترهای فتوولتائیک حرارتی صفحه تخت (۴)

۲-۵-۲ بخش های یک پنل فتوولتاییک حرارتی

در کلکتور های حرارتی با سیال عامل هوا یک فضای خالی بین مدول PV و عایق وجود دارد که هوا با دمای پایین و سرعت مشخص به این فضای خالی تزریق میشود هوا در ضمن حرکت با مدول تبادل حرارت کرده و حرارت مدول را پایین میآورد و در نتیجه باعث راندمان بهتر مدول میشود و در نهایت هوا با دمای بیشتر از طرف دیگر خارج میشود (۳۴)

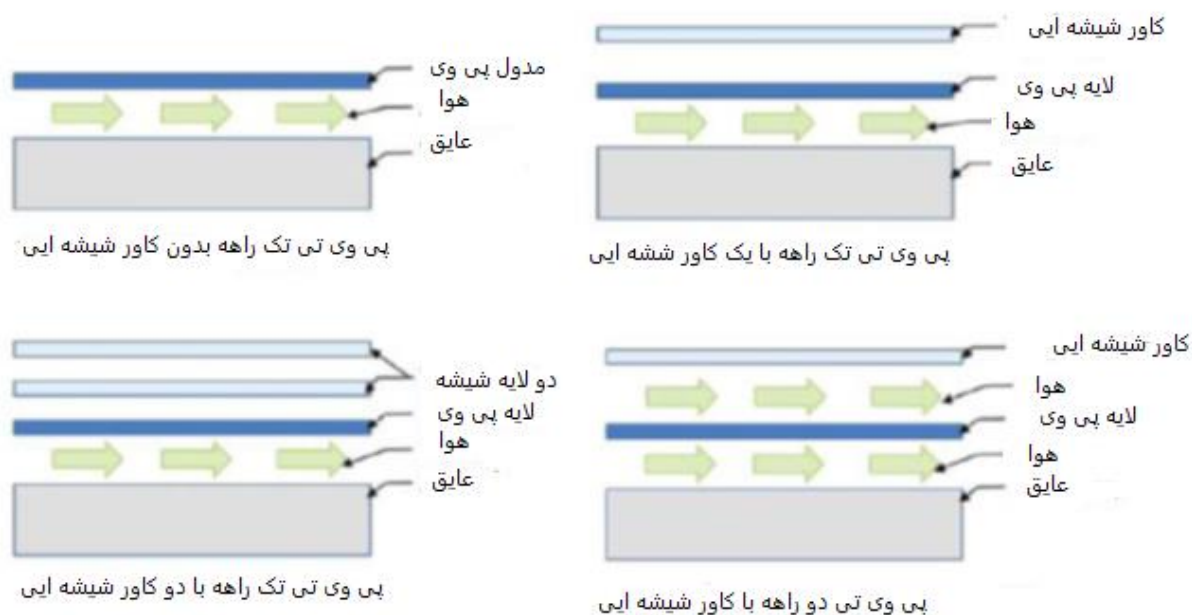


شکل (۲-۱۱) اجزای یک سیستم فتوولتاییک حرارتی (۴)

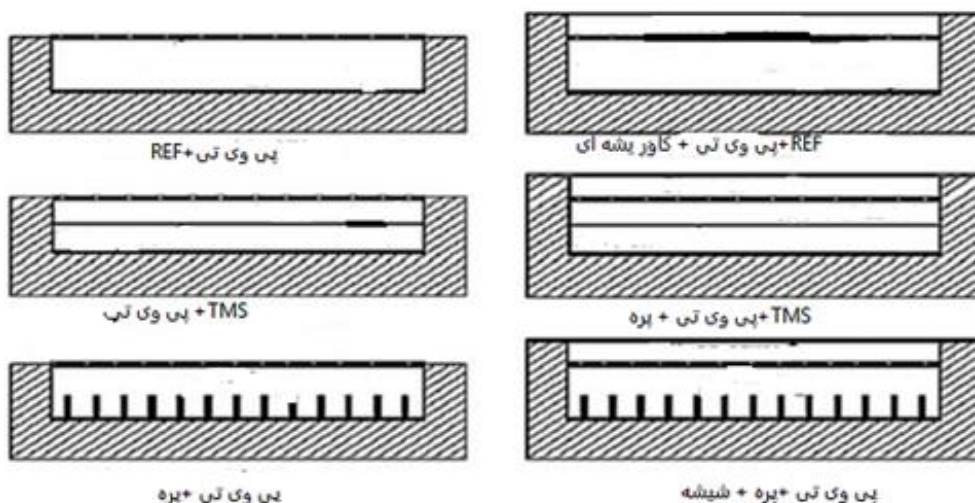
در شکل فوق اجزای یک سیستم فتوولتائیک حرارتی نشان داده شده است معمولا برای خنک کردن مدول خورشیدی آب یا هوا و یا ترکیبی از هر دو تزریق میشود و در نهایت پس از خنک کردن مدول و انتقال حرارت به خارج هدایت میشود از حرارت سیال میتوان برای مصارف گوناگون استفاده کرد

۲-۵-۳ دسته بندی PVT ها با خنک کن هوا

انواع مختلفی از PVT ها با خنک کن هوا وجود دارد این تقسیم بندی ها بر اساس یک راهه یا دو راهه بودن، وجود یا عدم وجود پوشش شیشه ایی، همچنین جهت تزریق هوا صورت میگیرد.



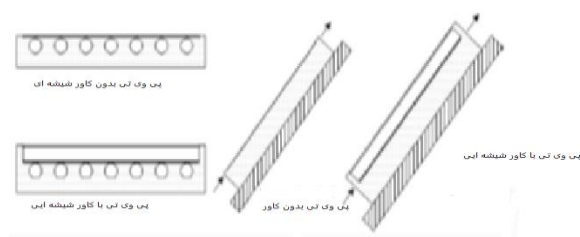
شکل (۲-۱۲) دسته بندی انواع PVT ها با خنک کن هوا (۴)



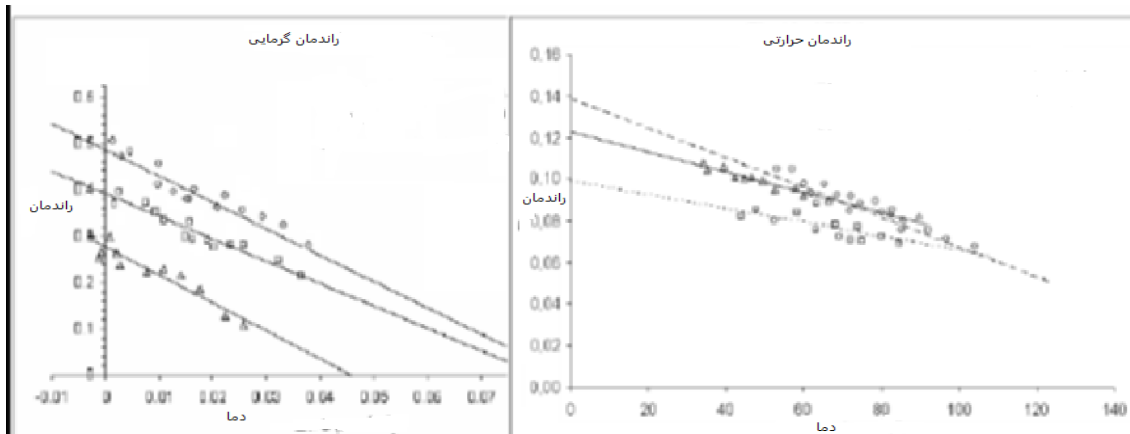
شکل (۲-۱۳) انواع PVT ها با خنک کن هوا (۴)

۲-۵-۴ اثر کاور شیشه ای بر راندمان PVT

اضافه کردن کاور شیشه ایی موجب افزایش راندمان حرارتی و کاهش راندمان الکتریکی در PVT ها میشود در واقع اضافه کردن پوشش شیشه ایی موجب افزایش حرارت خروجی از کلکتور میشود در نمودارهای زیر دو نمونه کلکتور با کاور شیشه ایی و بدون کاور توسط آقای چاو و دیگران رسم شده است در این نمودارها اثر اضافه کردن کاور شیشه ایی به خوبی نشان داده شده است (۱۷)



شکل (۲-۱۴) اضافه کردن کاور شیشه ایی به PVT (۱۷)



نمودار (۱-۲) اثر اضافه کردن کاور شیشه ای بر راندمان انرژی و اکسرژی (۱۷)

۲-۶-۱ تعریف سیستم

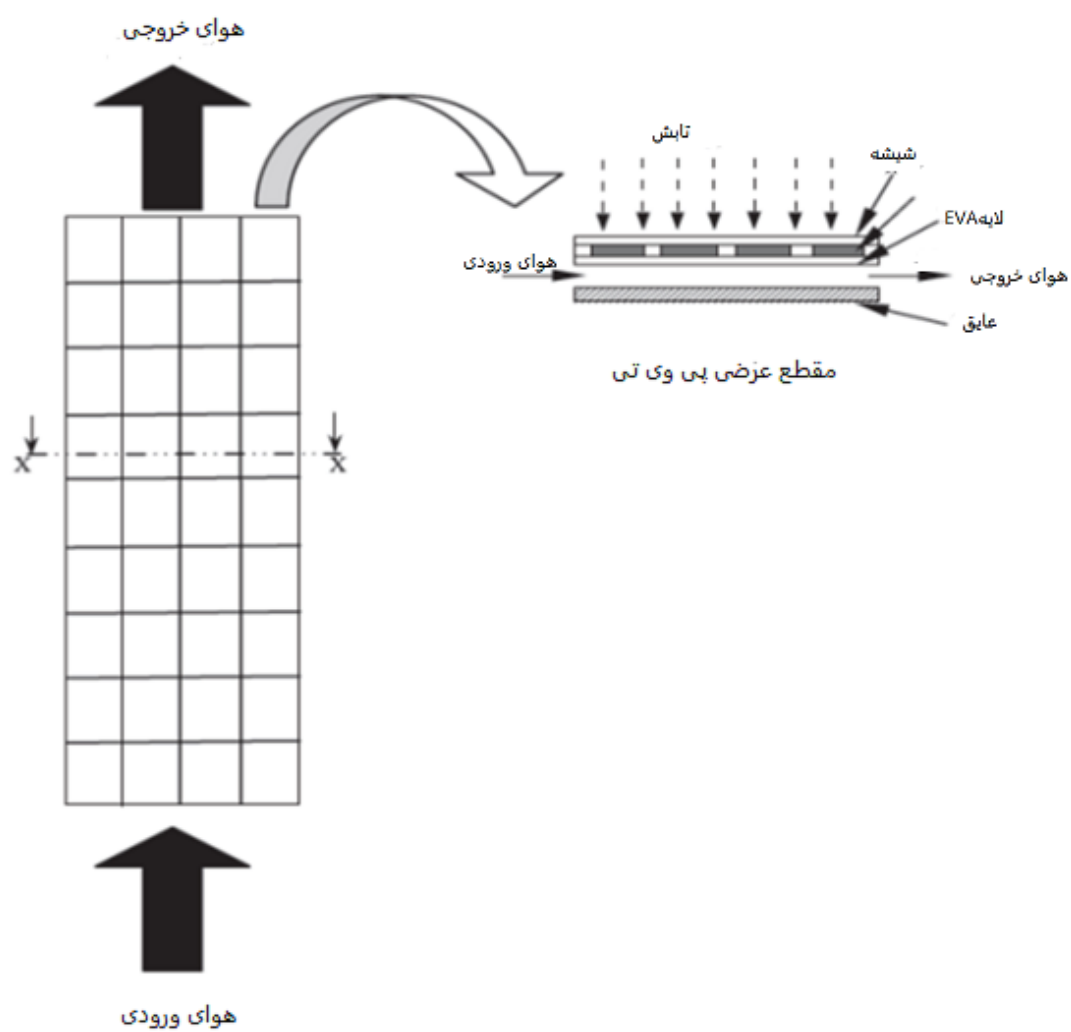
در این تحقیق از یک پنل فتوولتاییک حرارتی با خنک کن هوا مورد استفاده قرار گرفته است این پنل یک پنل معمولی است که در همه تحقیقات پیشین از آن استفاده شده است که مشخصات در ادامه آمده است از جمله ویژگی های پنل :

- ۱ یک پنل یک راهه که تنها یک مسیر برای ورود هوا وجود دارد که اصطلاحاً به آن تک راهه^۱ میگویند. (توجه شود در صورتی که پنل چند راهه باشد تفاوتی در اصول و فرمول ها ایجاد نمیشود)
- ۲ دمای هوای ورودی با دمای محیط یکسان در نظر گرفته شده است

نوع معمولی پنل های فتوولتاییک با خنک کن هوا از شیشه و تدلار با سطح موثر ۰/۶۵ از یک مدول pv تشکیل شده است مدول ها اصطلاحاً یک راهه اند (یعنی هوا تنها از یک مسیر وارد یا خارج میشود) ابعاد مدول 0.54m*1.12m*5mm ساخته شده است نوع مدول از نوع pm75 ساخته شده از منو کریستال سلیکون است شکل سیستم مورد مطالعه در زیر آورده شده است. (۶)

^۱ single path

۲-۶-۲ نقشه سیستم مورد مطالعه



شکل (۲-۱۴) نقشه کلکتور مورد مطالعه (۴)

۲-۶-۳ مشخصات طراحی پیل مورد مطالعه

Parameter	value
C_f (J/kg K)	1012
T_o (°C)	25
α_c	0.9
β_o (1/K)	0.0045
η_o	0.15
τ_g	0.95
v (m/s)	1.5
V (m/s)	0.9
m_f kg/s	0.0108
K_g (W/m K)	1.1
L_g (m)	0.003
h_o (W/m K)	8.55
h_i (W/m K)	5.4
h_b (W/m K)	1
h_{to} (W/m K)	11.4
$h_{b,in}$ (W/m K)	7.3
U_{tca} (W/m K)	11.1
U_{tcf} (W/m K)	4.03
U_b (W/m K)	6.89
U_{fa} (W/m K)	2.94
U_L (W/m K)	9.83
A_c (m ²)	1.32

B (m)	0.54
F_R	0.90
h_T (W/m K)	10.3
L (m)	1.2
h_{p1}	0.375
h_{p2}	0.965
U_T (W/m K)	66
U_t (W/m K)	11.4
U_{tT} (W/m K)	9.72
U_L (W/m K)	5.62
U_{tc,a} (W/m K)	11.4
τ_c	0.95
β_c	0.83
τ_g	0.95
α_τ	0.5

جدول (۱-۲) مشخصات طراحی پنل مورد مطالعه (۶)

فصل سوم تحلیل انرژی پیل های فتوولتایک با خنک کن هوا

1-3 پیشگفتار

قانون اول ترمودینامیک، انرژی های مختلف را فقط از لحاظ کمی ارزیابی می کند. از دیدگاه قانون اول، ۱۰۰ کیلو ژول گرما، با ۱۰۰ کیلو ژول کار، ارزش یکسانی دارد. در حالی که در عمل، کل انرژی گرمایی، به کار تبدیل نمی شود. قانون اول ترمودینامیک، هیچ گونه محدودیتی در مورد جهت عبور کار و گرما قائل نیست.

با ارائه قانون دوم ترمودینامیک، این کاستیها رفع شده است. به طوری که قانون دوم ترمودینامیک، قادر است مسیر جلوروی واکنشها، فرایندها و همچنین مقدار تلفات سیکل را پیشگویی کند. نتیجه مستقیم استفاده از قانون دوم، منجر به ارائه تحلیل اگزرژی گردید که ابزاری قوی و سودمند در ارزیابی کمی و کیفی انرژیهای موجود می باشد. تحلیل اگزرژی با ادغام قانون اول و دوم ترمودینامیک، این امکان را فراهم می آورد که روش مطلوب تحلیل سیستمهای انرژی و همچنین شناخت واضح سطوح انرژی و فرایندهای نامطلوب ترمودینامیکی یک سیستم، مشخص گردد. (۳۴)

2-3 مبانی تحلیل اگزرژی

تحلیل اگزرژی، بر پایه قانون اول و دوم ترمودینامیک، از اوایل قرن گذشته مورد توجه واقع شده و از سال ۱۹۳۰ میلادی، این تحلیل بسط و توسعه بیشتری نموده است. با شروع بحران انرژی در دهه ۷۰ میلادی، تحلیل اگزرژی در رأس تحقیقات ترمودینامیکی سه دهه اخیر قرار گرفت. برطبق قانون دوم ترمودینامیک در هر فرآیند واقعی، آنتروپی تولید شده متناسب با از دست رفتن اگزرژی و نابودی آن در طی فرآیند، می باشد.

بنا بر تعریف، اگسرژی حداکثر کار مفیدی است که از مقدار مشخصی از انرژی موجود یا از جریانی از مواد، حاصل می شود. در تحلیل اگزرژی، هدف اساسی تعیین محل و مقدار تولید بازگشت ناپذیری ها در طی

فرآیندهای مختلف سیکل ترمودینامیکی و عوامل مؤثر بر تولید این بازگشت ناپذیری می باشد. از این طریق، علاوه بر ارزیابی کارایی اجزای مختلف سیکل ترمودینامیکی، راه های افزایش راندمان سیکل نیز شناسایی می گردد. در تحلیل اگزرژی سعی می شود با به کارگیری همزمان قوانین اول و دوم ترمودینامیک و استفاده از محیط پیرامون به عنوان حالت مرجع، بیشترین کار تولید شده در سیکل، به دست آید. تحلیل اگزرژی شامل دو مرحله اساسی می باشد. مرحله اول، شناسایی و بررسی فرآیندهای نامطلوب ترمودینامیکی سیستم بر پایه تعیین اتلافات اگزرژی می باشد. اتلافات اگزرژی با نوشتن موازنه اگزرژی در قسمتهای مختلف سیستم به دست می آید. مرحله دوم، تعیین بیشترین اصلاحات ممکن در سیستم بر پایه مفاهیم اتلافات اگزرژی اجتناب پذیر و اتلافات اگزرژی اجتناب ناپذیر است. کمترین میزان اگزرژی در سیستم طی فرآیندی که نمی توان با تکنیک های موجود و ملاحظات اقتصادی مانع نابودی آن شد، اتلافات اگزرژی اجتناب ناپذیر می نامند. با این تعریف، اتلافات اگزرژی قابل اجتناب، بیشترین پتانسیل بهینه شدن فرآیند را مشخص می سازد. بنابراین یک سیستم، به سرعت توسط تحلیل اگزرژی تحلیل می گردد و نیز فرآیندهای نامطلوب ترمودینامیکی و بیشترین اصلاحات ممکن، مشخص می گردند. (۳۴)

3-3 مفاهیم و روابط اساسی در تحلیل انرژی

تحلیل انرژی از یک سری مفاهیم و روابط اساسی به دست آمده از قوانین اول و دوم ترمودینامیک برای تجزیه و تحلیل سیستم‌ها استفاده می‌کند. همچنین، در این تحلیل، محیط پیرامون به عنوان حالت مرجع، تعریف می‌گردد که در ادامه، این مفاهیم و روابط به طور اختصار توضیح داده می‌شوند (۳۵)

۳-۳-۱ تعریف انرژی

اگر ماده، ضمن یک فرآیند بازگشت پذیر از حالت اولیه خود به حالت مرده برسد، در اینصورت حداکثر کار بازگشت پذیر به دست می‌آید که آن را انرژی یا قابلیت انجام کار ماده می‌نامند (۳۵)

۳-۳-۲ حالت مرده

حالت مرده، به حالتی از ماده گفته می‌شود که در آن حالت، ماده با محیط در تعادل حرارتی، مکانیکی و شیمیایی باشد. در حالت مرده، دمای ماده برابر با دمای محیط و فشار ماده برابر فشار اتمسفر و سرعت ماده نسبت به محیط، صفر و انرژی پتانسیل آن نیز صفر است (۳۵)

۳-۳-۳ حالت مرده محدود

حالت مرده محدود، به حالتی گفته می شود که در آن ماده با محیط در تعادل حرارتی و مکانیکی بوده، سرعت و انرژی پتانسیل آن صفر باشد. هر چند ممکن است تعادل شیمیایی بین ماده و محیط برقرار نباشد (۳۵)

۳-۳-۴ تعریف محیط از دیدگاه تحلیل انرژی

از دیدگاه تحلیل انرژی، محیط جسم بزرگی است که در تعادل ترمودینامیکی کامل قرار دارد و در آن هیچ گونه گرادیانی اعم از فشار، دما و پتانسیل شیمیایی وجود ندارد و بدست آوردن کار از برهم کنش اجزای مختلف آن با یکدیگر غیر ممکن است.

هر سیستمی که خارج از محیط باشد، دارای حداقل یک پارامتر متفاوت با محیط است و از برهم کنش آن سیستم و محیط، امکان بدست آوردن کار وجود دارد. بنابراین، محیط جسم مرجعی است که برای ارزیابی پتانسیل کاردهی سیستمهای مختلف، به کار گرفته می شود (۳۵)

۳-۴ معیارهای عملکرد از دیدگاه تحلیل انرژی

موازنه انرژی بر پایه مفهوم آن، برای سیستمی که در حالت پایا بوده و دارای انرژی ورودی و خروجی باشد بصورت زیر نوشته می شود (۳۵) رابطه (۳-۱)

$$I = \sum_{in} Ex - \sum_{out} Ex$$

بنابراین با توجه به رابطه بالا، می توان بازده اگزرژی را بصورت زیر تعریف کرد: (۳۵)

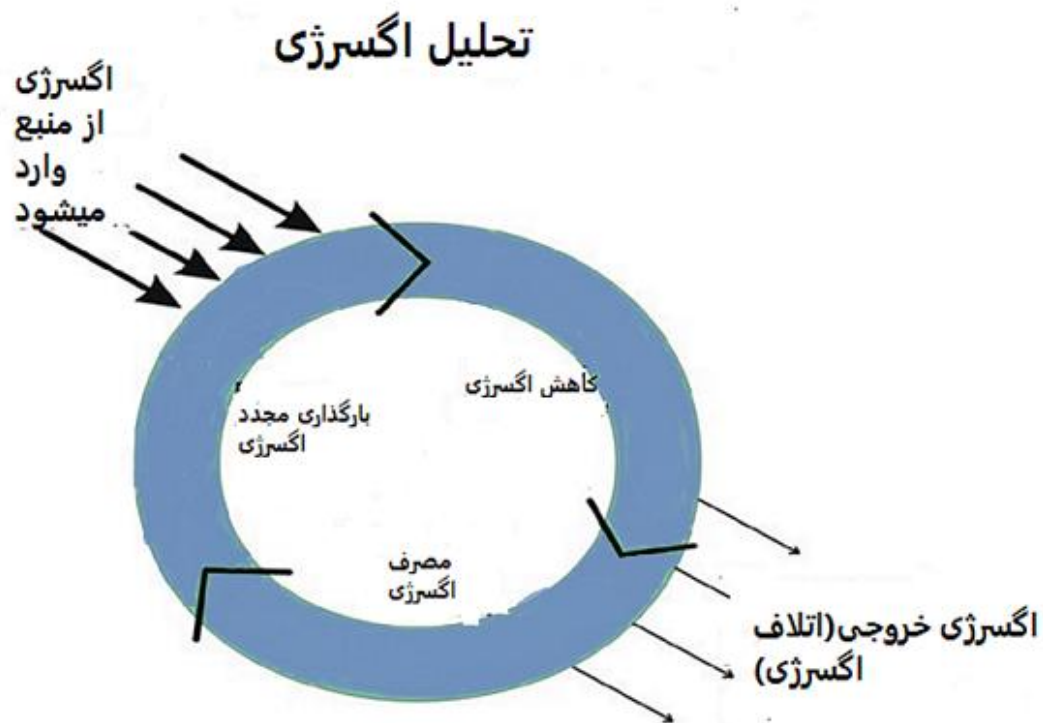
$$\eta_{II} = \frac{\sum_{out} Ex}{\sum_{in} Ex} = 1 - \frac{I}{\sum_{in} Ex} \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

۳-۵ اصول آنالیز اگزرژی پنهای فتوولتاییک حرارتی با خنک کن هوا

هدف این تحقیق آنالیز اگزرژی کلکتور فتوولتاییک- حرارتی با خنک هوا میباشد روش آنالیز اگزرژی یک روش جدید و جاگزین مناسب برای روش های قدیمی تر است این روش بر مبنای مفهوم اگزرژی پایه ریزی شده است اگزرژی با کمی سهل انگاری به عنوان قابلیت انجام کار یا کیفیت انواع مختلف انرژی نسبت به یک محیط مشخص تعریف میشود آنالیز اگزرژی یک فرایند یا یک سیستم نشان میدهد که چه مقدار از قابلیت انجام کار یا اگزرژی ورودی توسط آن فرایند یا سیستم مصرف شده یا به عبارت دیگر تلف شده است .

اتلاف اگزرژی یا به عبارت دیگر بازگشت ناپذیری میزان ناکارآمدی سیستم مورد مطالعه را به صورت کمی نشان میدهد علاوه بر آن اگر سیستم فوق از چند جز تشکیل شده باشد آنالیز اگزرژی چگونگی توزیع بازگشت ناپذیری کلی سیستم را بین اجزا آن نشان داده و مشخص میکند که چه اجزایی نقش بیشتری در بازگشت ناپذیری کلی دارند. (۳۶)

برخلاف معیارهای عملکرد رایج مفهوم بازگشت ناپذیری اساسا بر مبنای هر دو قانون ترمودینامیک پایه ریزی شده است . اصولا رابطه ایی که برای آنالیز اگزرژی به کار میرود از ترکیب معادله انرژی حالت پایدار (قانون اول) با نرخ تولید آنتروپی (قانون دوم) بدست میآید اگرچه در آنالیز اگزرژی به صراحت از قانون دوم استفاده نمیشود اما همان طور که بیان شد به کاربردن روش فوق برای ارزیابی سیستم ، بطور ضمنی مستلزم به کاربردن نتایج حاصل از قانون دوم است اصولا مطالعه صورت های مختلف بازگشت ناپذیری در مقایسه با مطالعه صرف روابط و فرمول های مربوط به قانون دوم ،درک بهتری از آن بدست میدهد. (۳۶)



شکل (۳-۱) تحلیل اگسرژی (۴)

همواره راندمان بالای یک سیستم شرط کافی برای قابل اجرا بودن و مقرون به صرفه بودن آن نمیباشد عواملی همچون هزینه های اولیه هزینه تعمیر و نگه داری و سوخت مصرفی میتواند بر عملی بودن یا نبودن یک پروژه تاثیر گذار باشد.

بطور کلی میتوان ارزیابی کلکتورهای PVT را به دو روش عمده انجام داد

الف) تحلیل اگزرژی ب) تحلیل انرژی

تحلیل انرژی نقص هایی دارد که از جمله آن ها میتوان به

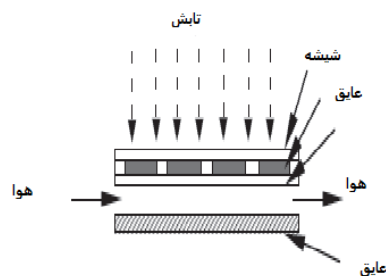
(۱) تحلیل انرژی به جهت اجرای فرایند کار ندارد. در قانون اول به بالانس انرژی اهمیت داده میشود مثلاً در این قانون اهمیت ندارد از محیط با دمای کمتر به محیط با دمای بیشتر برود مهم مقدار گرمای انتقال یافته میباشد.

(۲) تحلیل انرژی کیفیت انرژی را مشخص نمیکند مثلاً یک وات گرما برابر یک وات کار یا الکتریسیته معرفی میکند.

(۳) تحلیل انرژی برخی از فرایندها را درست تفسیر نمیکند مثلاً هوای محیط زمانی که به صورت همدم فشرده میشود تغییرات انرژی آن برابر صفر است در حالی که آگسرژی از صفر بزرگتر است

(۴) تحلیل انرژی بازگشت ناپذیری درونی را نشان نمیدهد و معیار کاملی برای ارزیابی کلکتور PVT نمیباشد. [۳] در ادامه مباحث ریاضی به اجمال مطرح میشوند

در شکل زیر شمای کلی یک PVT نشان داده شده است



شکل (۳-۲) نمای کلی از یک PVT باخنک کن هوا (۶)

بالانس انرژی برای کلکتور فرم زیر پیشنهاد شده است: (۶)

$$\sum Ex_{out} = \sum Ex_{thermal} + \sum Ex_{electrical} \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

۳-۶ بالانس انرژی در حالت کلی برای PVT

همان طوری که از رابطه فوق مشخص است انرژی ورودی که ناشی از تابش خورشید است منهای انرژی گرمایی و انرژی الکتریکی برابر اتلاف انرژی خواهد بود همچنین بالانس انرژی برای کلکتور فوق توسط آقای تیواری به فرم زیر پیشنهاد شده است: (۶)

رابطه (۳-۴)

نرخ انرژی دریافتی از خورشید = نرخ انرژی که از سطح سلول به محیط اطراف هدر میرود + انرژی که به هوا (سیتم خنک کن) منتقل میشود + نرخ انرژی الکتریکی تولیدی

رابطه فوق پایه ایی برای روابط بعدی میباشد که بسط آن در ادامه خواهد آمد .

بطور کلی در فوق دو معادله اساسی و پایه را مطرح کردیم این دو معادله اساس آنالیز انرژی و انرژی کلکتورهای PVT میباشد و در نهایت به کمک آنها میتوان به معادلات کاربردی تر دست یافت در این تحقیق سعی شده که آنالیز بر اساس پارامترهای طراحی و عملکردی انجام شود و هدف یافتن نقاط بهینه در پارامترهای عملکردی و طراحی میباشد بطوری که راندمان آگسرژی حداکثر شود.

۳-۷ آنالیز اگزرژی پنل های فتوولتایک با خنک کن هوا

۳-۷-۱ لایه روی مجرای سیال

از بالانس اگزرژی مطرح شده در بالا دمای سلول به صورت زیر بدست خواهد آمد.

$$T_C = \frac{((\alpha_{eff} \cdot I(t)) + (U_{tca} \cdot T_a) + (T_{bs} \cdot U_T))}{U_{tca} + U_T} \quad \text{رابطه (۳-۵) (۲۲)}$$

در رابطه فوق α_{eff} برابر (۲۲)

$$\alpha_{eff} = \tau_g (\alpha_c \cdot \beta + \alpha_T \cdot (1-\beta) - \eta \cdot \beta)$$

رابطه بین دما راندمان اگزرژی به صورت زیر بیان میشود:

$$\eta = \eta_0 [1 - \beta_0 (T_c - T_a)] \quad \text{رابطه (۳-۶) (۲۲)}$$

برای سطح پشت مجرای هوا داریم: .رابطه (۳-۷) (۲۲)

$$U_T (T_C - T_{bs}) bdx = h_T (T_{bs} - T_f) bdx$$

۳-۷-۲ آنالیز اگزرژی برای هوای درون مجرای سیال

برای سیال ورودی بالانس زیر را خواهیم داشت :

$$\dot{m}_f C_f \frac{dT_f}{dx} + U_b (T_f - T_a) b dx = hT (T_{bs} - T_f) b dx \quad \text{رابطه (۳-۸) (۲۲)}$$

دمای هوای خروجی از N مدول که به صورت سری بهم وصل شده ان از رابطه زیر حساب میشود
رابطه (۳-۹) (۲۲)

$$T_{foN} = \left[\frac{\alpha_{eff} h_p}{U_l} + T_a \right] \left[1 - \exp \left(- \frac{b L U_l}{\dot{m}_f C_f} \right) \right] + T_{fi} \exp \left(- \frac{b L U_l}{\dot{m}_f C_f} \right)$$

چنانچه اندازه مدول ها یکسان باشد حرارت مفید کسب شده از N مدول که به صورت سری بهم وصل شده اند از رابطه زیر حساب میشود.

$$Q_{U,N} = n_{pv} \times \dot{m}_f C_f \left[1 - \exp \left(\frac{N b U_l L}{\dot{m}_f C_f} \right) \right] \left[\frac{h_p \alpha_{eff}}{U_l} I(t) + T_a - T_{fi} \right] \quad \text{رابطه (۳-۱۰) (۲۲)}$$

که در آن .

$$K_k = \frac{b \cdot L \cdot FR \cdot U_l}{C_f \cdot \dot{m}_f} \quad \text{رابطه (۳-۱۱)}$$

و در پایان اگزرژی الکتریکی کسب شده از پنل از رابطه زیر حساب میشود.

$$Ex_{electrical} = \eta \times N \times I(t) \times A \quad \text{رابطه (۳-۱۲) (۲۲)}$$

فصل چهارم نتایج و بحث

۴-۱ پارامترهای موثر در تحلیل اگزرژی

پارامترهای اثر گذار بر آنالیز اگزرژی عبارتند از (۳۷)

۱- شدت تابش خورشیدی در محیط

۲- سرعت باد

۳- دمای محیط

۴- دمای هوای ورودی و خروجی

۵- دمای سطح مدول فتوولتاییک

۶- ولتاژ مدار باز

۷- جریان اتصال کوتاه

۸- ولتاژ و جریان در نقطه توان ماکزیمم

۹- طول پنل فتوولتاییک (تعداد مدول هایی که به صورت سری به هم متصل میشوند تا تشکیل یک پنل را بدهند)

۱۰- دبی ورودی و....

بسیاری پارامترهای دیگر میباشند در این میان سه پارامتر عملکردی مکانیکی یعنی طول مدول و دمای ورودی و دبی را انتخاب کرده ایم و تاثیر تغییر هر یک از پارامترها را بر اگزرژی کلی و راندمان حرارتی و راندمان الکتریسیته را شبیه سازی کرده ایم

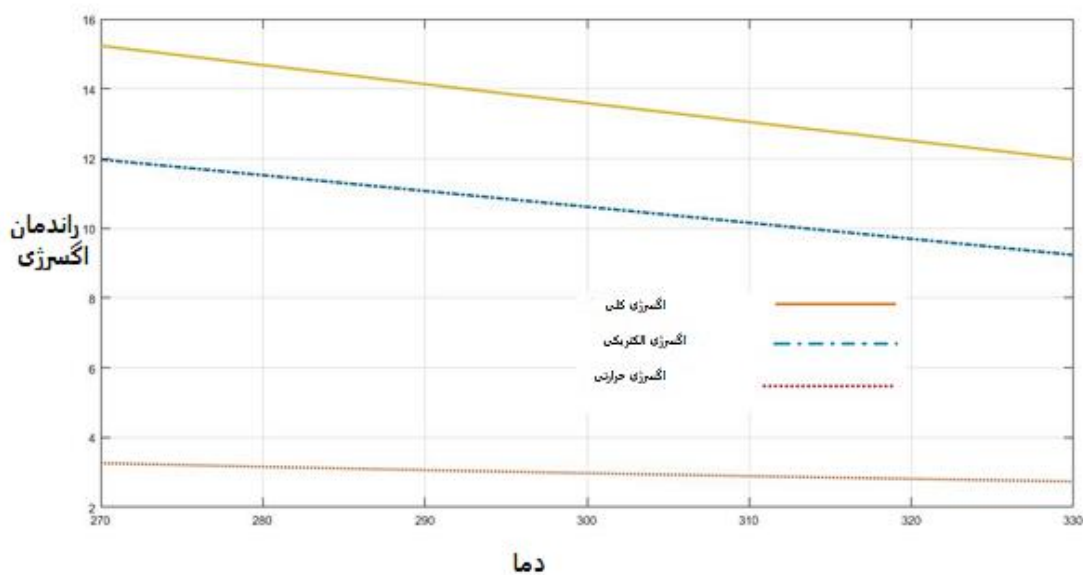
این تحقیق در مبنای شرایط آب و هوایی ساوه میباید اطلاعات مربوط به شرایط آب و هوایی ساوه از تحقیق های معتبر انجام شده در مورد شدت تابش در ساوه و داده های سازمان هواشناسی استخراج شده است

اصولا یکی از معایب در کارهای گذشتگان عدم توجه کافی به تاثیر آب و هوا در راندمان انرژی و تحقیق های پارامتری صرف، بود و تحقیقات انجام شده بجز در چند مورد خاص بر مبنای عملکرد کلکتور در چند روز خاص ارایه شده است در این تحقیق سعی شده است با تکیه بر اطلاعات هواشناسی و جوی ساوه در طول یک مدت طولانی این امر مرتفع گردد و تا حد امکان نتایج تحقیق کاربردی کنیم

۴-۲ نتایج حاصل از تحلیل انرژی

۴-۲-۱ بررسی اثر تغییر دمای هوای ورودی بر راندمان انرژی

در زیر نمودار تغییرات انرژی بر حسب دما ارائه شده است ملاحظه میشود با افزایش دما ورودی به کلکتور راندمان انرژی کاهش پیدا میکند و این امر به دلیل ظرفیت حرارتی محدود هوا میباشد در واقع با افزایش دمای ورودی به پنل هوای ورودی ظرفیت کمتری برای حمل حرارت دارد. بنابراین حرارت کمتری از پنل دفع میشود و در نتیجه کلکتور داغ و راندمان کاهش پیدا میکند



نمودار (۴-۱) اثر تغییر دمای هوای ورودی بر راندمان اگزرژی (منبع یافته های تحقیق)

در نمودار فوق عملکرد پنل در محدوده دمایی ۲۷۰ تا ۳۳۰ درجه کلوین مورد بررسی قرار گرفت مشاهده میشود به ازای هر درجه افزایش دما :

۰/۰۶۴۲ درصد راندمان اگزرژی کلی کم میشود

۰/۰۵۴۸ درصد راندمان الکتریکی کم میشود

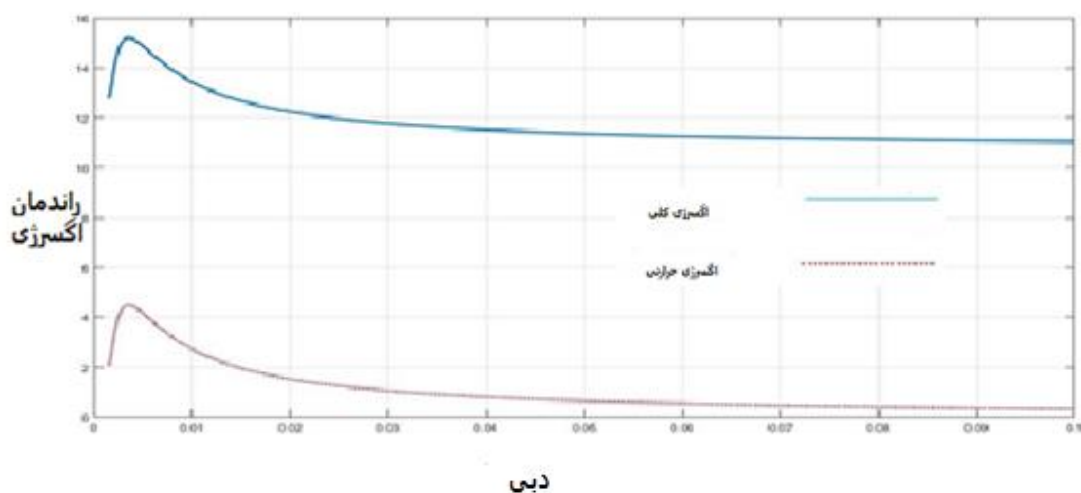
۰/۰۱۰۴ راندمان اگزرژی ناشی از هوای خروجی کاهش میابد

توجه کنید که در صورتی که از خنک هوا استفاده نمیشد به ازای هر درجه افزایش دما ۰.۵ درصد از راندمان اگزرژی کم میشد و این نمودار بخوبی برتری عملکرد پی وی تی ها را در مقایسه با سلول های خورشیدی به ما نشان میدهد .

برای مثال سلول خورشیدی سیلیسیومی که در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد ۲۰ درصد بازده دارد و در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد حدود ۱۲ درصد بازده خواهد داشت. در مورد گالیوم آرسناید مقدار راندمان به ازای هر درجه سانتی گراد ۰/۲ درصد کاهش خواهد یافت.

۴-۲-۱ بررسی اثر تغییر دبی هوا بر راندمان اگزرژی

در نمودار زیر رفتار پنل در دبی های گوناگون مورد بررسی قرار گرفته و نمودار راندمان اگزرژی برای آن رسم شده است



نمودار (۴-۲) بررسی اثر تغییر دبی هوا بر راندمان اگزرژی (منبع یافته های تحقیق)

به پنل $0.002/0.1$ تا 0.1 هوا بر حسب گیلوگرم بر ثانیه به پنل تزریق شد و نمودار راندمان اگزرژی برای آن رسم شد مشاهده در ابتدا با یک شیب تند یک افزایش در راندمان را شاهد هستیم و پس از رسیدن به یک پیک راندمان با یک شیب ملایم کاهش پیدا میکند و دلیل این رفتار ظرفیت حرارتی هوا است با افزایش دبی با افزایش سرعت ورودی انتقال حرارت افزایش میابد و پس از رسیدن به پیک به دلیل کاهش تبادل ملوکول های هوا با مدول به علت سرعت بالای سیال وارده به پنل ظرفیت حرارتی کاهش میابد و در نتیجه دمای هوای خروجی از پنل و در نتیجه راندمان اگزرژی کاهش میابد همان طوری که مشخص است مشخصات نقطه ماکزیمم به صورت زیر است:

0.0035 مترمکعب بر ثانیه بهینه ترین دبی ورودی را داریم

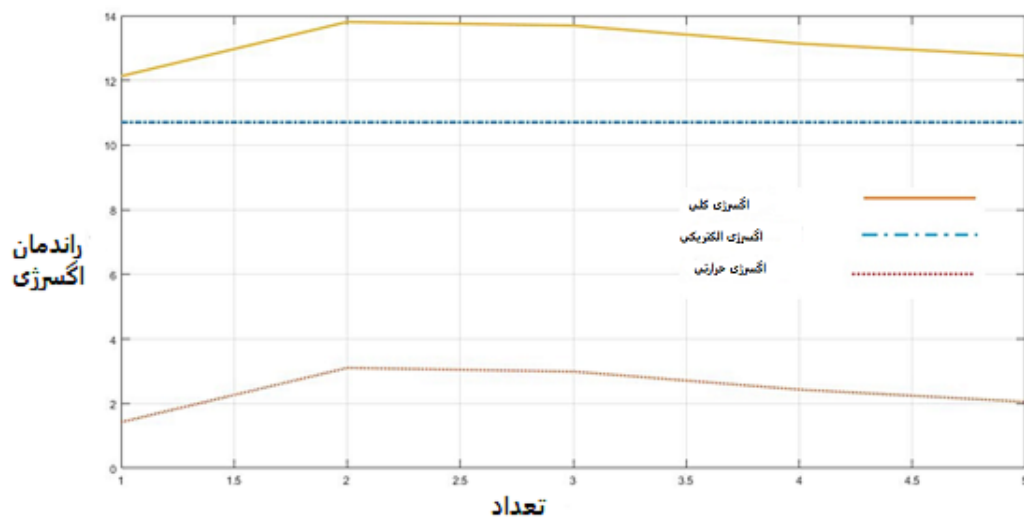
راندمان اگزرژی کلی برابر ۱۵/۲۰ درصد است

راندمان اگزرژی ناشی از حرارت هوا ۴/۴۹ درصد است

و راندمان الکتریکی به دبی وابسته نیست مقدار آن ثابت و برابر ۱۰/۷ درصد خواهد بود

۲-۲-۴ بررسی اثر تغییر طول بر راندمان اگزرژی

در این قسمت به بررسی افزایش اثر افزایش طول بر راندمان اگزرژی پرداخته ایم طول هر مدول ۰.۴ متر است و در زیر افزایش طول از ۱ تا ۶ مدول مورد بررسی قرار گرفته است



نمودار (۳-۴) بررسی اثر تغییر طول بر راندمان اگزرژی (منبع یافته های تحقیق)

همان طوری که از نمودار مشخص است افزایش طول اثری بر راندمان الکتریکی ندارد ولی بر راندمان حرارتی تاثیر گذار خواهد بود مشاهده میشود در مدول دوم به حد اکثر راندمان میرسیم و پس از آن با افزایش طول

شاهد کاهش راندمان خواهیم بود و دلیل این امر به حالت اشباع رسیدن هوا در اثر جذب حرارت کلکتور میباشد در این حالت همیشه مدول های انتهایی داغ تر از مدول های ابتدایی خواهند بود. در نقطه ماکزیمم:

راندمان اگزرژی برابر $13/81$ درصد میباشد

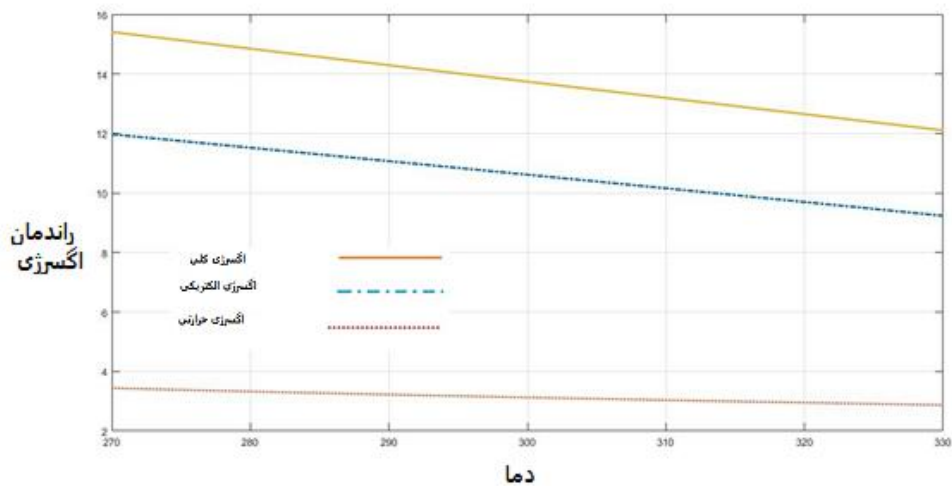
راندمان حرارتی برابر $3/1050$ درصد میباشد

راندمان الکتریکی ثابت و برابر $10/7$ درصد خواهد بود

۳-۴ مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج حاصل تحقیق مرجع (آنالیز اگزرژی پنل فتوولتایک با خنک کن آب)

در ادامه نمودارهای تغییر راندمان اگزرژی برای کلکتور با خنک کن آب بر اساس آب و هوای ساوه ارائه شده اند و یک مقایسه با کلکتور با خنک کن هوا انجام شده است

باید توجه کرد برای کلکتور با خنک کن آب نتایج حاصله تفاوت چندانی با نمودارهای هوا در پنلهای با مساحت کم نداریم فقط در مساحت های بالا برتری کلکتور با خنک کن آب واضح است از جمله مهمترین مزیت های خنک کن های هوا بر سایر خنک کن ها: نصب و راه اندازی ساده-پیچیدگی کمتر-صرفه جویی در مصرف آب-انعطاف پذیری بالاتر است و برای مصارف خانگی بسیار مناسب است در ضمن از هوای داغ خروجی میتوان برای خشک کن های خورشیدی و یا گرم کردن آب استفاده کرد



نمودار (۴-۴) بررسی تغییر دمای آب ورودی بر راندمان انگسرژی کلکتور با خنک کن آب در ساوه (منبع یافته های تحقیق)

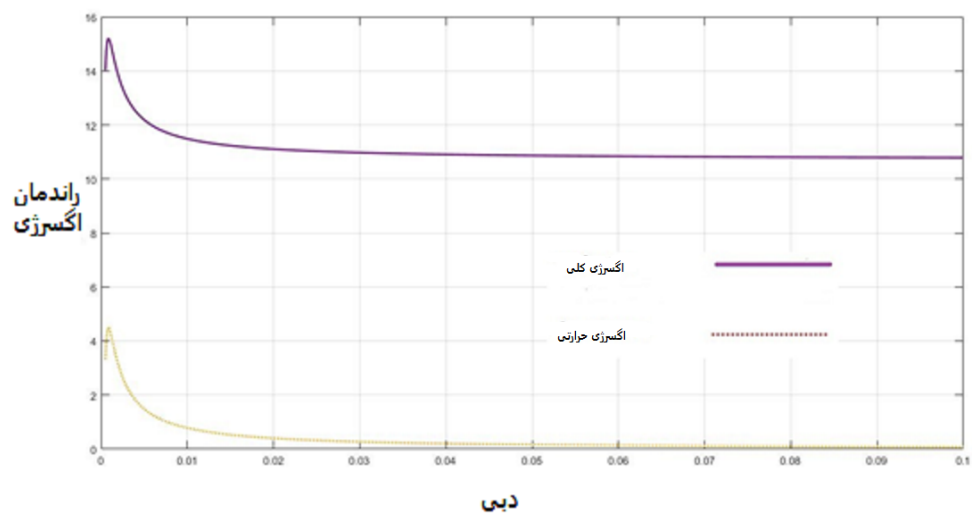
در نمودار فوق همانند آب دما را از ۲۷۰ درجه تا ۳۳۰ تغییر داده ایم ملاحظه میشود که راندمان انگسرژی با شیب ملایم کاهش میابد (همانند هوا) البته به دلیل ظرفیت حرارتی بیشتر آب کاهش راندمان با شیب کمتری صورت میگیرد در هنگام تزریق آب به جای هوا ما راندمان ۱۵/۴۶ درصد را خواهیم داشت که از راندمان هوا ۱۵.۲۳ بود بیشتر است در کل از نمودار فوق داریم:

به ازای هر درجه افزایش دما ۰/۰۶۶۲ درصد از راندمان انگسرژی کم میشود

به ازای هر درجه افزایش دما ۰/۰۰۹۶ درصد از راندمان الکتریکی کم میشود

به ازای هر درجه افزایش دما ۰/۰۵۴۸ درصد از راندمان انگسرژی حرارتی کم میشود

مشاهده میکنیم که تزریق آب از تزریق هوا دارای مزیت بیشتری است. بحث کلی تر در این باره در انتها خواهد آمد



نمودار (۴-۵) بررسی اثرات تغییر دبی ورودی بر راندمان اگزوزی کلکتور با خنک کن آب در ساوه (منبع یافته های تحقیق)

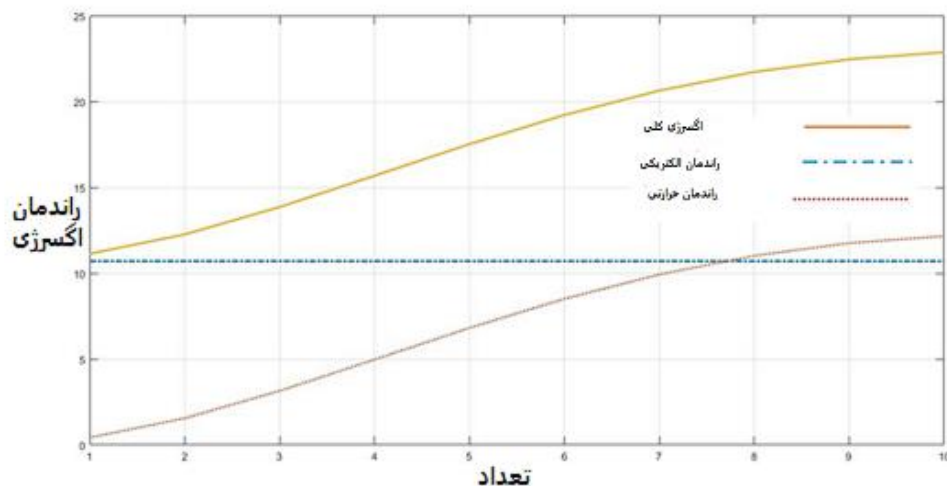
تغییرات اگزوزی بر حسب دبی ورودی

در این قسمت دبی مشابه با دبی هوا را به کلکتور تزریق کردیم و در دبی 0.0009 متر مکعب بر ثانیه حداکثر دبی را به فرم زیر خواهیم داشت :

ماکزیمم راندمان $15/95$ درصد خواهد بود

ماکزیمم راندمان اگزوزی حرارتی $4/48$ درصد خواهد بود

راندمان الکتریکی ثابت و برابر $10/7$ درصد است مشاهده میکنیم که حداکثر راندمان با دبی کمتر و مقدار بیشتر در آب اتفاق میافتد



نمودار (۶-۴) بررسی اثرات تغییر طول بر راندمان اگزرژی کلکتوربا خنک کن آب در ساوه (منبع یافته های تحقیق)

تغییرات اگزرژی بر حسب افزایش طول

در این قسمت طول مدول را از $0/4$ تا 4 متر افزایش دادیم به دلیل ظرفیت گرمایی بیشتر آب هم زمان با افزایش مساحت راندمان اگزرژی افزایش پیدا میکند در ابتدا افزایش اگزرژی با شیب زیاد است سپس به تدریج این شیب کاهش پیدا میکند و افزایش اگزرژی تابعی از افزایش راندمان اگزرژی حرارت آب است به طور متوسط افزایش شیب برای هر مدول :

$0/078$ درصد راندمان اگزرژی و اگزرژی حرارت آب افزوده میشود راندمان الکتریکی ثابت و برابر $10/7$ درصد است به طور خلاصه نتایج در جدول زیر ارائه شده است

متغیر مورد بررسی	آب	هوا
دما	- به ازای هر درجه افزایش دما $0/0662$ درصد از راندمان اگزرژی کم میشود	به ازای هر درجه افزایش دما
	- به ازای هر درجه افزایش دما $0/0096$ درصد از راندمان الکتریکی کم میشود	- $0/0642$ درصد راندمان اگزرژی کلی کم میشود
	- به ازای هر درجه افزایش دما $0/0548$ درصد از راندمان اگزرژی حرارت آب کم میشود	- $0/0548$ درصد راندمان الکتریکی کم میشود
		- $0/0104$ درصد راندمان اگزرژی ناشی از هوای خروجی کاهش میابد

دبی	<p>در این قسمت دبی مشابه با دبی هوا را به کلکتور تزریق کردیم و در دبی ۰/۰۰۰۹ متر مکعب بر ثانیه حداکثر دبی را به فرم زیر خواهیم داشت</p> <ul style="list-style-type: none"> - مکزیمم راندمان ۱۵/۹۵ درصد خواهد بود - ماکزیمم راندمان اگسرژی حرارتی ۴/۴۸ درصد خواهد بود - راندمان الکتریکی ثابت و برابر در ۱۰/۷ درصد است 	<p>۰/۰۰۳۵ متر مکعب بر ثانیه بهینه ترین دبی ورودی را داریم</p> <ul style="list-style-type: none"> - راندمان اگسرژی برابر ۱۵/۲۰ درصد است - اگسرژی ناشی از حرارت هوا ۴/۴۹ درصد است - راندمان الکتریکی به دبی وابسته نیست مقدار آن ثابت و برابر ۱۰/۷ درصد خواهد بود
طول	<p>به طور متوسط افزایش شیب برای هر مدول :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ۰/۰۷۸ راندمان اگسرژی و اگسرژی حرارت آب افزوده میشود - راندمان الکتریکی ثابت و برابر ۱۰/۷ درصد است 	<p>در مدول دوم حداکثر راندمان را داریم که مشخصات آن به فرم زیر است</p> <ul style="list-style-type: none"> - راندمان اگسرژی برابر ۱۳/۸۱ درصد میباشد - راندمان حرارتی برابر ۳/۱۰۵۰ درصد میباشد - راندمان الکتریکی ثابت و برابر ۱۰/۷ درصد خواهد بود

جدول (۴-۱) مقایسه بین PVT با خنک کن آب با PVT با خنک هوا (منبع یافته های تحقیق)

۴-۴ بحث نتیجه گیری کلی :

ابتدا باید به بررسی این نکته پرداخت که چرا با افزایش دما یا سرعت حرکت و یا کاهش سطح تماس ظرفیت حرارتی هوا کاهش پیدا میکند. ابتدا لازم است ، انواع حرکت های ممکن برای یک مولکول را بررسی نماییم:

یک مولکول می تواند دارای حرکت های زیر است:

۱- انتقالی^۱ : عبارت از حرکت مرکز جرم مولکول است .

۲- دورانی یا چرخشی^۲ : عبارت از حرکت دورانی مولکول حول محوری که از مرکز جرم آن می گذرد.

۳- ارتعاشی^۳ : شامل نوسان اتم های مولکول به نحوی که مجموعاً تاثیری در حرکت مرکز جرم یا دوران حول این مرکز نداشته باشد.

بررسی انواع حرکت ها در مولکول :

الف : مولکول تک اتمی : این نوع مولکول ها فقط دارای سه حرکت انتقالی در سه جهت محورهای X, Y, Z هستند و دارای حرکت های دیگر نیستند.

ب : مولکول دو اتمی : این نوع مولکول ها دارای سه نوع حرکت انتقالی ، دو حرکت دورانی و یک حرکت چرخشی می باشند . برای نمونه مولکول را در نظر بگیرید . اگر محور X را بعنوان محور پیوند در نظر بگیریم ، که مرکز جرم آن نیز روی این محور قرار دارد ، در خواهیم یافت که مرکز جرم این مولکول در راستای یکی از محورهای X, Y, Z می تواند جابجا شده و دارای سه حرکت انتقالی خواهد بود .

حال اگر محوری که از مرکز جرم آن می گذرد و همین محور راستای پیوند آن نیز باشد و این محور را X بنامیم ، این مولکول دارای دو حرکت چرخشی خواهد بود . یکی حول محور Y و دیگری حول محور Z . در مولکول دو اتم H و می توانند از هم دور و یا نزدیک شوند ، پس دارای یک حرکت ارتعاشی نیز خواهد بود .

این بررسی درمورد کلیه مولکول های خطی صادق است .

بنابر این هر مولکول خطی یا دو اتمی در مجموع می تواند دارای سه حرکت انتقالی ، دو حرکت چرخشی و یک حرکت ارتعاشی باشد .

بنابر این هر مولکول خطی دارای شش درجه آزادی است.

^۱ translation

^۳ vibration

^۲ rotation

ج : سایر مولکول ها : در سایر مولکول ها درجات آزادی از رابطه $3N$ محاسبه می شود. که N تعداد اتم های تشکیل دهنده مولکول است . که 3 حرکت انتقالی ، 3 حرکت چرخشی و بقیه آن ارتعاشی خواهد بود . اگر ماده از حالت گاز به حالت مایع یا جامد تبدیل شود ، از تعداد درجه های آزادی مولکول ها کاسته می شود . به عنوان نمونه اگر هیدروژن کلرید گاز به مایع تبدیل شود وجود نیروهای جاذبه بین مولکولی از چرخش کامل مولکول جلوگیری می کند و مولکول تنها دارای حرکت انتقالی و ارتعاشی می شود . یعنی حد اکثر درجات آزادی آن 4 می شود.

بنا بر این انتظار داریم ظرفیت گرمایی ویژه این ماده در حالت مایع بیشتر از حالت جامد باشد. چون درجات آزادی در حالت مایع بیشتر از حالت جامد است . در حالت مایع میانگین شدت جنبش های انتقالی ، ارتعاشی و چرخشی ممانعت شده و در حالت جامد فقط میانگین شدت جنبش های ارتعاشی باید افزایش می یابد تادمای 1 گرم به اندازه 1 درجه زیاد شود.

وقتی گازی را گرم می کنیم ، انرژی جذب شده ، سبب بالا رفتن انرژی انتقالی آن می شود و در مورد گاز های چند اتمی افزایش انرژی سبب افزایش انرژی چرخشی و ارتعاشی نیز می شود.

گرمای ویژه متوسط در هر دما عبارت است از مجموع گرماهای ویژه جنبشی انتقالی ، چرخشی و ارتعاشی .

اگر ساختمان مولکول خطی باشد ، برای انرژی جنبشی انتقالی و چرخشی همان 5 درجه آزادی وجود دارد ولی تعداد درجه آزادی ناشی از ارتعاش خیلی زیاد است . با توجه به توضیحات بالا رفتار پتل به خوبی توجیه میشود یعنی اینکه با افزایش دما یا سرعت حرکت و یا کاهش سطح تماس به دلیل درجه آزادی متفاوت ملکول های آب با هوا ظرفیت حرارتی هوا کاهش پیدا میکند

بطور کلی ملاحظه میشود که هنگام تزریق آب عملکرد بهتری را از کلکتور شاهد هستیم و این اختلاف عملکرد در مساحت های زیاد چشمگیر تر خواهد بود اما با توجه به سادگی طراحی و ارزان تر بودن و سرعت انتقال و نصب جابجایی آسان تر و نیز عدم نیاز به تاسیسات جانبی (مانند لوله کشی برای انتقال آب گرم) در شرایط بحرانی مانند سیل و زلزله و... و یا شرایطی که فقط تولید الکتریسیته منظور باشد کلکتور با خنک کن هوا پیشنهاد میشود.

۴-۵ پیشنهادها برای ادامه کار

۱- پیشنهاد اول برای ادامه کار در این زمینه تحلیل اگزرژی پنل فتوولتاییک با خنک کن هوا این است که تحقیق حاضر با روش تخریب اگزرژی انجام شود در این فرم عوامل بازگشت ناپذیری اگزرژی در فرایندها به خوبی مشخص خواهد شد و میتوان و برای رفع آن ها چاره اندیشی کرد.

۲- برای تحلیل حاضر یک تحلیل اکونومیک ارائه شود یعنی علاوه بر جنبه های اگزرژیک از لحاظ اقتصادی هم بررسی شود باید توجه داشت توجه به عوامل اقتصادی موجب کاربردی تر و عملی تر شدن تحقیق حاضر خواهد شد .

۳- تحلیل حاضر برای انواع مختلفی از کلکتورهای فتوولتاییک با خنک کن هوا در طرح ها و جنس های مختلف انجام شود و نتایج با هم مقایسه شود با این کار میتوان برای یک موقعیت آب و هوایی خاص بهترین کلکتور را برگزید .

- ۱- مجموعه مقالات متفرقه سولیکا. انرژی های پاک و ضرورت توسعه آن. *www.civilica.com*. آذر ماه ۹۵
- ۲- عمید پور، مجید. آنالیز انرژی روش ها و کاربردها. *www.kntu.ac.ir/amidpour*. آذر ماه ۹۵
- 3- Javad Yazdanpanahi, Faramarz Sarhaddi, Mohsen Mahdavi Adeli. Experimental investigation of exergy efficiency of a solar photovoltaic thermal (PVT) water collector based on exergy losses. *Solar Energy*, Volume 118, August 2015, Pages 197-208.
- ۴- گردهمایی انجمن خورشیدی ایران. دانشگاه سیستان و بلوچستان. آذرماه ۹۳
- 5-A. Bejan, *Advanced engineering Thermodynamics*, New York, 1985
- 6-Arvind, T.D, swapnil ., Energy analysis of integrated photovoltaic thermal solar water heater under constant flow rate and constant collection temperature mode , *Applied Energy* 2009, pages 2592-2597
- ۷- انرژی خورشیدی. تحلیل انرژی سلول های خورشیدی *www.azocleantech.com*. آذر ماه ۹۵
- 8-wolf, M., performance analysis of combine heating and photovoltaic power system residences . *Energy conversion and management*. 1976, pages 79-90
- 9-COX, C.H, raghuraman, P., design consideration for flat plat photovoltaic thermal /collector, *Journal of solar energy* 1997, vol. 11, pages 363-385
- 10-Garg, H.p, Adhikari, R, S. conversation hybrid photovoltaic /thermal air heating collector steady state simulation , *renewable energy* 1997 , vol , 11, pages 363-385
- 11-Fujisawa, T., Tani, T. annual exergy evaluation on photovoltaic thermal hybride collector , *solar energy material and solar cell* 1997, pages 135-148
- 12-Hegazy, A.A, Amiry, M. Comprarative study of the performance photovoltaic /thermal air collector , *energy conversion and management* 2010 , vol . 41, pages. 861-881, 2000
- 13-Bosance , M., Sorensen , B., Ivan , K, Sorensen, h. Bruno , N., Jamal. B. photovoltaic /thermal solar collector and their potention in Denmak , final report EFP.
- 14-(Shahin, A.D., Dincer, I. Rosen, M.A. thermodynamican alysis of solar photovpltaic cell system , *solar energy material and solar cell* 2007, pages 153-159

- 15-Joshi,A.S.,Tiwari,A. energy and exergy efficiencies of hybride photovoltaic –thermal air collector ,renewable energy 2007,pages 2223-2241
- 16-Nayak,s.,Tiwari, G.N.,(),energy and exergy analysis of photovoltaic/thermal integrated with solar greenhouse ,energy and building 2008 ,pages 2015-2021
- 17- T.T. Chow, G. Pei, K.F. Fong, Z. Lin, A.L.S. Chan, J. Ji .Energy and exergy analysis of photovoltaic–thermal collector with and without glass cover.Applied Energy, Volume 86, Issue 3, March 2009, Pages 310-316.
- 18-Shahsavari, A.Ameri,M.,Experimental investigation and modeling of direct-coupled PV/T air collector ,solar Energy,2010 ,pages 1938-1958
- 19-Sarhaddi ,F.,Farahat,S.,Ajam,H.,Behzadmehr.A.Exergetic performance assessment of solar photovoltaic/thermal air collector, energy and building 2010 ,pages 2184-2199
- 20-Sanjay Agrawal, G.N. Tiwari. Energy and exergy analysis of hybrid micro-channel photovoltaic thermal module. Solar Energy, Volume 85, Issue 2, February 2011, Pages 356-370.
- 21-C.S. Rajoria, Sanjay Agrawal, G.N. Tiwari . Overall thermal energy and exergy analysis of hybrid photovoltaic thermal array. Solar Energy, Volume 86, Issue 5, May 2012, Pages 1531-1538.
- 22-Sanjay Agrawal, G.N. Tiwari . Overall energy, exergy and carbon credit analysis by different type of hybrid photovoltaic thermal air collectors. Energy Conversion and Management, Volume 65, January 2013, Pages 628-636.
- 23- E. Saloux, A. Teyssedou, M. Sorin. Analysis of photovoltaic (PV) and photovoltaic/thermal (PV/T) systems using the exergy method. Energy and Buildings, Volume 67, December 2013, Pages 275-285.
- 24-R.K. Mishra, G.N. Tiwari. Energy and exergy analysis of hybrid photovoltaic thermal water collector for constant collection temperature mode . Solar Energy, Volume 90, April 2013, Pages 58-67.
- 25-Mishra ,R.K.,Tiwari,G.N.,Energy matrices analyses of hybride photovoltaic thermal water collector with different PV technology.Sol energy 2013,page161-173
- 26-G. Evola, L. Marletta . Exergy and thermoeconomic optimization of a water-cooled glazed hybrid photovoltaic/thermal (PVT) collector. Solar Energy, Volume 107, September 2014, Pages 12-25.

27-Maysam Gholampour, Mehran Ameri. Energy and exergy analyses of Photovoltaic/Thermal flat transpired collectors: Experimental and theoretical Study .Applied Energy, Volume 164, 15 February 2016, Pages 837-856.

۲۹- خسرو شاهی، روح الله .مجموعه مقالات سایت آموزش ستادنانو . www.kharami.org ۲۰ آذرماه ۹۵

۳۰-شفیعی،م.غریب،الف.ر،اعلایی.مدل سازی میزان تابش در شهرستان ساوه.مجله فنی مهندسی فناوری های نوین، آذر ماه ۹۳.

۳۱-سازمان انرژی های نو ایران سانا.کلکتور های حرارتی خورشیدی. www.sana.org ۲۵ آذر ماه ۹۵

۳۲- شهرداری ساوه.موقعیت جغرافیایی ساوه. www.Saveh.ir ۲۵ آذر ماه ۹۵

۳۳-داده های آب و هوایی برای شهر های مختلف جهان. www.climet-data.org ۲۵ آذر ماه ۹۵

۳۴-میرزایی ضیا پور، ب .و، پالیده . مروری بر پیشرفت های اخیر سیستم های ترکیبی خورشیدی فتوولتاییک حرارتی PVT. مجموعه مقالات دومین همایش انرژی های نو و پاک ،دانشگاه شهید مفتاح همدان ، ۱۴ آذر ماه ۱۳۹۲.

35-Kenneth Wark, Jr., Advanced Thermodynamics for Engineers, McGraw-Hill, New York, 1995.

36-Kenneth Wark, Jr., Advanced Thermodynamics for Engineers, McGraw-Hill, New York, 1995.

۳۷-صبح نمایان،ف.الف،حمیدی.ح،منوری.م،مهدوی.برسی آزمایشگاهی راندمان اگسرژی یک کلکتور PV/T با سیال عامل آب و مقایسه آن با شبیه ساز عددی .

پیوست

پیوست : الگوریتم حل

syms Ta Tbs mf G Q Tc Tout Eout Ein Eel Eth Rth Rel Rnet N b L FR Cf Kk Aeff hp1 UtT ht
Utca UT UL B B0 H A TG Ac AT Enet

$$N=3$$

$$b=0.54$$

$$L=0.4$$

$$FR=0.9$$

$$Cf=4200$$

$$hp1=.375$$

$$UtT=9.72$$

$$ht=10.3$$

$$Utca=11.4$$

$$UT=66$$

$$UL=5.62$$

$$B=0.83$$

$$Ta=298$$

$$B0=0.0045$$

$$mf=0.0005:0.0001:0.01$$

$$Ac=0.9$$

$$TG=0.95$$

$$H=0.15$$

$$G=120$$

$$AT=0.5$$

```

Kk=N.*(b*L*FR*UL)/(Cf.*mf)

Aeff=TG*(Ac*B+AT*(1-B)-H*B)

Ein=N.*b*L*G*(1-(4/3)*(Ta/5000)+(1/3)*(Ta/5000).^4)

Q=(N.^2).*(b*L*FR*Aeff*G*((1-(1-(Kk./(Cf.*mf))).^N)/((Kk./(Cf.*mf)).*N)))

Tbs=((Aeff*G*hp1)+((UtT+ht).*Ta))./(UtT+ht)

Tc=((Aeff*G)+(Utca.*Ta)+(Tbs*UT))./(Utca+UT)

Tout((((Aeff*G)/UL)+Ta).*(1-2.71.^((-N.*b*L*UL)/(Cf.*mf)))+Ta.*2.71.^((-N.*b*L*UL)/(Cf.*mf))

Eth=Q.*(1-(Ta./Tout))

Eel=N.*b*L*B*.12*G*(1-(B0.*(Tc-298)))

Rel=(Eel./Ein)*100

Rth=(Eth./Ein)*100

Enet=Eel+Eth

Rnet=(( Enet)./Ein)*100

plot(mf,Rel,'-',mf,Rth,':',mf,Rnet)

grid on

xlabel('mf')

ylabel('ηex')

title(' نمودار تغییرات اگسرژی بر حسب دبی ')

syms Ta Tbs mf G Q Tc Tout Eout Ein Eel Eth Rth Rel Rnet N b L FR Cf Kk Aeff hp1 UtT ht
Utca UT UL B B0 H A TG Ac AT Enet

N=1:1:10

b=0.54

L=0.4

FR=0.9

Cf=4200

```

$$hp1=0.375$$

$$UtT=9.72$$

$$ht=10.3$$

$$Utca=11.4$$

$$UT=66$$

$$UL=5.62$$

$$B=0.83$$

$$Ta=298$$

$$B0=0.0045$$

$$mf=0.001935$$

$$Ac=0.9$$

$$TG=0.95$$

$$H=0.15$$

$$G=120$$

$$AT=0.5$$

$$Kk=N.*(b*L*FR*UL)/(Cf.*mf)$$

$$Aeff=TG*(Ac*B+AT*(1-B)-H*B)$$

$$Ein=N.*b*L*G*(1-(4/3)*(Ta/5000)+(1/3)*(Ta/5000).^4)$$

$$Q=(N.^2).*(b*L*FR*Aeff*G*((1-(1-(Kk./(Cf.*mf))).^N)./(Kk./(Cf.*mf)).*N)))$$

$$Tbs=((Aeff*G*hp1)+((UtT+ht).*Ta))./(UtT+ht)$$

$$Tc=((Aeff*G)+(Utca.*Ta)+(Tbs*UT))./(Utca+UT)$$

$$Tout((((Aeff*G)/UL)+Ta).*(1-2.71.^((-N.*b*L*UL)/(Cf.*mf)))+Ta.*2.71.^((-N.*b*L*UL)/(Cf.*mf)))$$

$$Eth=Q.*(1-(Ta./Tout))$$

$$Eel=N.*b*L*B*.12*G*(1-(B0.*(Tc-298)))$$

$$Rel=(Eel./Ein)*100$$

$$Rth=(Eth./Ein)*100$$

$$Enet=Eel+Eth$$

$$Rnet=((Enet)./Ein)*100$$

plot(mf,Rel,'-',mf,Rth,'-',mf,Rnet)

grid on

xlabel('N')

ylabel('η_{ex}')

title('نمودار تغییرات اگسرژی بر حسب طول')

syms Ta Tbs mf G Q Tc Tout Eout Ein Eel Eth Rth Rel Rnet N b L FR Cf Kk Aeff hp1 UtT ht
Utca UT UL B B0 H A TG Ac AT Enet

$$N=3$$

$$b=0.54$$

$$L=0.4$$

$$FR=0.9$$

$$Cf=4200$$

$$hp1=0.375$$

$$UtT=9.72$$

$$ht=10.3$$

$$Utca=11.4$$

$$UT=66$$

$$UL=5.62$$

$$B=0.83$$

$$Ta=270:1:325$$

$$B0=0.0045$$

mf=0.001935

Ac=0.9

TG=0.95

H=0.15

G=120

AT=0.5

$Kk=N \cdot (b \cdot L \cdot FR \cdot UL) / (Cf \cdot mf)$

$Aeff=TG \cdot (Ac \cdot B + AT \cdot (1-B) - H \cdot B)$

$Ein=N \cdot b \cdot L \cdot G \cdot (1 - (4/3) \cdot (Ta/5000) + (1/3) \cdot (Ta/5000)^4)$

$Q=(N^2) \cdot (b \cdot L \cdot FR \cdot Aeff \cdot G \cdot ((1 - (1 - (Kk / (Cf \cdot mf)))^N) / ((Kk / (Cf \cdot mf)) \cdot N)))$

$Tbs=((Aeff \cdot G \cdot hp1) + ((UtT + ht) \cdot Ta)) / (UtT + ht)$

$Tc=((Aeff \cdot G) + (Utca \cdot Ta) + (Tbs \cdot UT)) / (Utca + UT)$

$Tout((((Aeff \cdot G) / UL) + Ta) \cdot (1 - 2.71^{(-N \cdot b \cdot L \cdot UL) / (Cf \cdot mf)})) + Ta \cdot 2.71^{((-N \cdot b \cdot L \cdot UL) / (Cf \cdot mf))}$

$Eth=Q \cdot (1 - (Ta / Tout))$

$Eel=N \cdot b \cdot L \cdot B \cdot .12 \cdot G \cdot (1 - (B0 \cdot (Tc - 298)))$

$Rel=(Eel / Ein) \cdot 100$

$Rth=(Eth / Ein) \cdot 100$

$Enet=Eel + Eth$

$Rnet=((Enet) / Ein) \cdot 100$

`plot(mf,Rel,'-',mf,Rth,':',mf,Rnet)`

`grid on`

`xlabel('Ta')`

`ylabel('ηex')`

`title(' نمودار تغییرات اگسرژی بر حسب دما ')`

Abstract

A photovoltaic-thermal collector is of a device which not only produces electricity but also concurrently as an absorbent of excessive heat and wastage which absorbs the heat produced by PV cells. There are numerous parameters used as different options in design of PVs including choosing water or air as cooling agent of solar cells, flat plate collector or concentrator, glassed or non-glassed panels, fluid natural or compulsory flow and All above-mentioned items should be chosen and assessed for the system enhancing efficiency and doubling the profit obtained.

The objective of this study is to analyze photovoltaic-thermal collector exergy with an air cooling system. The exergy analysis method is a new method and suitable alternative in comparison with old ones. This method is based on exergy concept. With a little negligence exergy is defined as ability to work or quality of different levels of energy in relation to a specific condition. Exergy analysis presents the consumed or wasted amount of ability to work or input energy.

Materials and methods

In this study an attempt is made to investigate a usual photovoltaic-thermal collector with the cooling air in terms of exergy. For this the functional influential variables were then specified regarding the mechanics. These variables include:

1-temperature of input air 2- debris of input air 3-length (number of modules which are connected in series). The effect of changes of each variable was studied based on conditions of the city of Saveh using MATLAB software. In the end the results were compared against the results of the PVT with water cooling system.

Conclusion: In this study it was found that with increasing the temperature, the exergy of the input air decreases in relation to exergy performance of the panel and also it was understood that the most optimal air debris is 0.0012kg/s for 0.8m of length.

Key words: solar cell, photovoltaic-thermal, air cooler, analysis of exergy



Energy Institute for Higher Education

Faculty of Engineering

Department of Mechanical Engineering –Energy conversion

Thesis for

Degree Of Master Of Science(M.Sc)

Title

**Exergy analysis of thermal photovoltaic (PVT)
with air collector**

Supervisor

Reza alayi

Advisor

Mojtaba mirzayi

By

Milad zamani

February 2017

