دانشکده مهندسی

گروه مکانیک

عنوان پایان‌نامه:

طراحی ، ساخت و تحلیل تئوری مولد ترموالکتریک خورشیدی

ارائه شده جهت اخذ درجه کاشناسی ارشد

در رشته مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

مولف: مهدی افضلی

استاد راهنما: دکتر کیانی‌فر

زمستان ۹۰

تاییدیه

پایان‌نامه حاضر تحت عنوان:

طراحی، ساخت و تحلیل تئوری مولد ترموالکتریک خورشیدی

که توسط آقای مهدی افضلی کاریزک تهیه و به هیات داوران ارائه گردیده است، مورد تایید کمیته تحصیلات تکمیلی گروه مکانیک می‌باشد.

تاریخ دفاع: ۹۰/۱۱/۱۵ نمره: درجه ارزشیابی:

اعضای هیات داوران:

نام و نام خانوادگی	سمت	امضا
دکتر علی کیانی‌فر	استاد راهنما	
دکتر حسین عجم	استاد دفاع	
دکتر مجتبی ماموریان	استاد دفاع	
دکتر محمد پسندیده‌فرد	نماینده تحصیلات تکمیلی	

تعهدنامه

اینجانب مهدی افضلی کاریزک دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان نامه **" طراحی، ساخت و تحلیل تئوری مولد ترموالکتریک خورشیدی"** تحت راهنمایی دکتر علی کیانی فر متعهد می‌شوم:

- ✓ این پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا درجه علمی ارائه نشده است.
- ✓ تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- ✓ در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- ✓ در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط واصول اخلاقی رعایت شده است.
- ✓ در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

سپاسگزاری

سپاس و ستایش خدای را سزاست که کسوت هستی را بر اندام آفرینش پوشانید، او که تمامی ستایش-گران از ستایش او عاجزند و تمامی حسابگران از شکر نعمت‌های او ناتوان.

پس از حمد و ستایش خداوند متعال بر خود لازم می‌دانم از تک تک افراد خانواده‌ام تشکر و قدردانی نمایم، چرا که به واسطه لطف و ارشاد آنها این امکان برایم فراهم گشت تا به یاری خداوند بتوانم این مسیر از زندگی را نیز با موفقیت پشت سر بگذارم. از استاد محترم و فرزانه جناب آقای دکتر کیانی‌فر کمال تشکر و قدردانی را دارم و خوشه‌چینی از خرمن معرفت ایشان را مفتخرم که با هدایت و همکاری ایشان و با ارایه نکته نظرات و پیشنهادات سودمند باعث پیشرفت کار می‌شدند. از اساتید محترم جناب آقایان دکتر ماموریان و دکتر عجم به عنوان اساتید دفاع پایان‌نامه، جهت شرکت در جلسه دفاع و استفاده از نکته نظرات سودمندشان تشکر می‌نمایم.

از شرکت گاز استان خراسان رضوی به خاطر حمایت‌های مالی از این پایان‌نامه، کمال تشکر را دارم. از آقای پروفسور اکبرزاده[1] از دانشگاه RMIT به خاطر راهنمایی‌ها و نظرات سودمندشان در زمینه مولدهای ترموالکتریک و همچنین ارایه سالانه سمینار و کارگاه آموزشی در زمینه انرژی‌های پاک خورشیدی که موجب افزایش آگاهی از علوم روز و نیز افزودن ذوق و شوق جهت پیمودن ادامه کار می‌شدند صمیمانه تشکر می‌کنم. از جناب آقایان دکتر رندیپ[2] و مهندس فن[3] از دانشگاه RMIT که از طریق ایمیل راهنمایی‌های علمی و تخصصی فراوانی نمودند، تشکر می‌کنم. از دوستان عزیزم آقایان مهندس حمیدرضا صادقی از دانشگاه فردوسی مشهد و مهندس نویدرضا رجبی از دانشگاه آزاد مشهد نیز صمیمانه متشکرم. در خاتمه از تمامی دوستانی که در طول دوران تحصیل از کمک و مساعدت ایشان بهره برده‌ام تشکر می-کنم و آرزوی موفقیت دارم.

[1]Aliakbar Akbarzadeh, Energy Conservation and Renewable Energy, RMIT University, Australia
[2]Randeep Singh, Energy Conservation and Renewable Energy, RMIT University, Australia
[3]Hongnan Fan, Energy Conservation and Renewable Energy, RMIT University, Australia

بسمه تعالی

مشخصات رساله / پایان‌نامه تحصیلی دانشجویان

دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان رساله / پایان‌نامه: طراحی، ساخت و تحلیل تئوری مولد ترموالکتریک خورشیدی

نام نویسنده: مهدی افضلی

نام استاد راهنما: دکتر علی کیانی‌فر

دانشکده: فنی و مهندسی	گروه: مکانیک	رشته تحصیلی: تبدیل انرژی
تاریخ تصویب:		تاریخ دفاع: ۹۰/۱۱/۱۵
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد●	دکتری○	تعداد صفحات: ۱۱۲

چکیده رساله / پایان‌نامه:

با پشرفت تکنولوژی و افزایش جمعیت، تقاضای انرژی جهانی به سرعت در حال افزایش می‌باشد. این امر دانشمندان بسیاری را به تحقیق و بررسی در زمینه بهره‌برداری از منابع انرژی تجدیدپذیر همچون خورشید و باد و ... واداشته است.

در این پژوهش آزمایشگاهی، پتانسیل سلول‌های ترموالکتریک در سیستم‌های تولید توان با استفاده از متمرکزکننده خورشیدی به طور کامل بررسی گردیده است. یک نمونه آزمایشگاهی از مولد ترموالکتریک خورشیدی با بکارگیری متمرکزکننده سهموی نقطه‌ای به قطر ۰/۹۵ متر، سیستم خنک‌کاری و سلول-های ترموالکتریک BiTe در دانشگاه فردوسی مشهد ساخته شد. جهت دست‌یابی به ضخامت بهینه تجهیزات انتقال حرارت، شبیه‌سازی عددی توسط نرم‌افزار Abaqus انجام گردید و توزیع دما در صفحات جاذب و خنک‌کننده در سیستم انتقال حرارت بدست آمد. آزمایشات زیادی جهت دست‌یابی به ظرفیت واقعی متمرکزکننده انجام گرفت و ماکزیمم دمای صفحه جاذب $120^{\circ}C$ با بازده کلی ۱۴درصد بدست آمد و مولد قادر به تولید $11/5W$توان الکتریکی در اختلاف دمای $52^{\circ}C$ شد. همچنین بازده مولد ترموالکتریک ۲/۸ درصد محاسبه گردید.

کلیدواژه: ۱- مولد ترموالکتریک خورشیدی ۲- متمرکزکننده خورشیدی ۳- مدل‌سازی ریاضی ۴- سلول‌های ترموالکتریک BiTe	امضای استاد راهنما تاریخ

فهرست علایم

سطح متمرکزکننده خورشیدی	A_c
سطح جاذب	A_r
سطح کل خنک‌کننده	A_w
ظرفیت گرمای ویژه در فشار ثابت	C_p
توان الکتریکی مفید تولیدشده توسط سلول ترموالکتریک	E_o
ضریب انتقال حرارت جابجایی	h_a
جریان الکتریکی	I
جریان الکتریکی از a به b	I_{ab}
تابش مستقیم	I_b
تابش پخش	I_d
جریان متناظر با توان ماکزیمم	I_{mpp}
تعداد سلول‌های ترموالکتریک	m
تعداد ترموکوپل‌های موجود در سلول	n
توان الکتریکی منتقل‌شده به بار	P_L
گرمای گرفته شده از محیط	Q
گرمای جذب‌شده در محل اتصال گرم	Q_h
مقاومت داخلی سلول ترموالکتریک	R_i
مقاومت الکتریکی بار	R_L
مقاومت الکتریکی نیمه‌هادی نوع n	R_n
مقاومت بار خارجی	R_o
مقاومت الکتریکی نیمه‌هادی نوع p	R_p
مقاومت الکتریکی نیمه‌هادی نوع p و n	R_{pn}
مقاومت گرمایی جاذب	R_{sp}
مقاومت گرمایی کل مولد ترموالکتریک خورشیدی	R_t
مقاومت گرمایی سلول ترموالکتریک	R_{teg}

مقاومت گرمایی نیمه‌هادی نوع n	R_{tn}
مقاومت گرمایی نیمه‌هادی نوع p	R_{tp}
دمای نقطه ۱	T_1
دمای نقطه ۲	T_2
دمای محیط	T_a
دمای اتصال سرد	T_C
دمای اتصال گرم	T_H
دمای ورودی آب خنک‌کننده	T_{in}
دمای میانگین سیال خنک‌کننده (آب)	T_m
دمای خروجی آب خنک‌کننده	T_{out}
دمای جاذب	T_r
ولتاژ	V
ولتاژ متناظر با توان ماکزیمم	V_{mpp}
ولتاژ مدار باز	V_{oc}
سرعت باد	V_w
رقم شایستگی ترموالکتریک	Z
رقم شایستگی بدون بعد	ZT

علائم یونانی

ضریب سیبک نیمه‌هادی نوع n	α_n
ضریب سیبک نیمه‌هادی نوع p	α_p
ضریب نشر صفحه جاذب آلومینیومی	ε
بازده تبدیل سلول ترموالکتریک	η
بازده انتقال حرارت	η_h
بازده کلی	η_o
ضریب بازتاب ماده بازتابنده	η_r
هدایت گرمایی	λ
هدایت الکتریکی	σ

عنوان **فهرست مطالب** **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ ارزش و اهمیت تامین انرژی در آینده ۲

۱-۲ انرژی خورشیدی ۴

۱-۲-۱ سیستم های فتوبیولوژی ۵

۱-۲-۲ سیستم های شیمی خورشیدی ۵

۱-۲-۳ سیستم های فتوولتاییک ۷

۱-۲-۴ سیستم های حرارتی خورشیدی (روش گرما خورشیدی) ۱۰

۱-۳ ترموالکتریک ۱۰

۱-۴ اهداف پژوهشی ۱۲

۱-۴-۱ سوالات پژوهشی ۱۲

۱-۴-۲ اهداف پروژه ۱۳

۱-۵ رئوس مطالب پایان نامه ۱۳

فصل دوم: گردآورنده های خورشیدی ۱۵

۲-۱ کلکتور یا گردآورنده های خورشیدی ۱۶

۲-۲ کلکتورهای تخت ۱۶

۲-۳ کلکتورهای لوله ای تخلیه شده ۱۷

۲-۴ کلکتورهای متمرکزکننده ۱۸

۲-۴-۱ متمرکزکننده تخت لبه دار ۱۹

۲-۴-۲ متمرکزکننده سهموی خطی ۲۰

۲-۴-۳ متمرکزکننده سهموی مرکب ۲۰

۲-۴-۴ متمرکزکننده سهموی نقطه ای ۲۱

۲-۴-۵ متمرکزکننده فرسنل ۲۲
۲-۴-۶ متمرکزکننده هلیواستات..... ۲۳
فصل سوم: ترموالکتریسیته ۲۴
۳-۱ ترموالکتریسیته ۲۵
۳-۱-۱ اثر سیبک ۲۵
۳-۱-۲ اثر پلتیر ۲۶
۳-۱-۳ اثر تامسون ۲۶
۳-۱-۴ روابط کلوین ۲۷
۳-۲ رقم شایستگی و بازده ترموالکتریک..... ۲۷
کاربردهای اثر ترموالکتریک ۳۰
۳-۳ کاربردهای اثر سی بِک: تولید توان..... ۳۰
۳-۳-۱ تولید توان های زیاد ۳۰
۳-۳-۱-۱ تولید توان برای مأموریت های فضایی ۳۰
۳-۳-۱-۲ تولید توان در سیستم های کنترلی و مخابراتی و اتوماسیون ۳۱
۳-۳-۱-۳ بازیافت حرارتی از گازهای خروجی در وسایل نقلیه ۳۱
۳-۳-۱-۴ بازیافت حرارت اتلافی در کاربردهای صنعتی..... ۳۳
۳-۳-۲ تولید توان های کم ۳۴
۳-۴ کاربردهای اثر پلتیر ۳۶
۳-۴-۱ کاربردهای سرمایش و گرمایش..... ۳۶
۳-۴-۱-۱ سرمایش و گرمایش صندلی خودرو..... ۳۶
۳-۴-۱-۲ خنک کن / گرم کن آب در خودرو..... ۳۷
۳-۴-۲ کاربردهای خنک سازی ۳۷
۳-۴-۲-۱ تهویه هوای اتاق و یخچالها..... ۳۷
۳-۴-۲-۲ خنک سازی تراشه..... ۳۸

۳-۵ خلاصه ای از فاکتورهای تصمیم گیری ۳۹
۳-۶ نتیجه گیری ۴۰
فصل چهارم: تحلیل تئوری ۴۲
۴-۱ مولد ترموالکتریک خورشیدی ۴۳
۴-۲ محاسبات تئوری مولد ترموالکتریک خورشیدی ۴۹
۴-۲-۱ تحلیل متمرکزکننده خورشیدی ۴۹
۴-۲-۲ بازده گرمایی سیستم خنک کننده ۵۲
۴-۲-۳ تحلیل گرمایی کل سیستم ۵۳
فصل پنجم: طراحی مکانیکی و ساخت دستگاه ۵۸
۵-۱ مولد ترموالکتریک خورشیدی ۵۹
۵-۲ متمرکزکننده سهموی نقطه ای ۵۹
۵-۳ سلول های ترموالکتریک ۶۱
۵-۴ طراحی و ساخت سیستم انتقال حرارت ۶۲
۵-۶ اندازه گیری دما ۶۸
فصل ششم: بررسی خطای مربوط به نتایج اندازه گیری ۶۹
۶- ۱ تعریف عدم قطعیت و روابط آن ۷۰
۶-۲ محاسبه عدم قطعیت مربوط به توان خروجی سلول های ترموالکتریک ۷۲
۶-۲-۱ محاسبه u_V ۷۲
۶-۲-۲ محاسبه u_I ۷۴
۶-۲-۳ محاسبه u_P ۷۵
فصل هفتم: ارائه و بررسی نتایج ۷۷
۷ -۱نتایج آزمایشگاهی متمرکزکننده به همراه صفحه جاذب ۷۸
۷-۲ نتایج آزمایشگاهی سیستم انتقال حرارت ۷۹
۷-۳ نتایج آزمایشگاهی مولد ترموالکتریک خورشیدی ۸۰

۷-۴ نتیجه گیری ۸۹
۷-۵ پیشنهادات ۹۰
مراجع ۹۱
ضمایم ۹۳

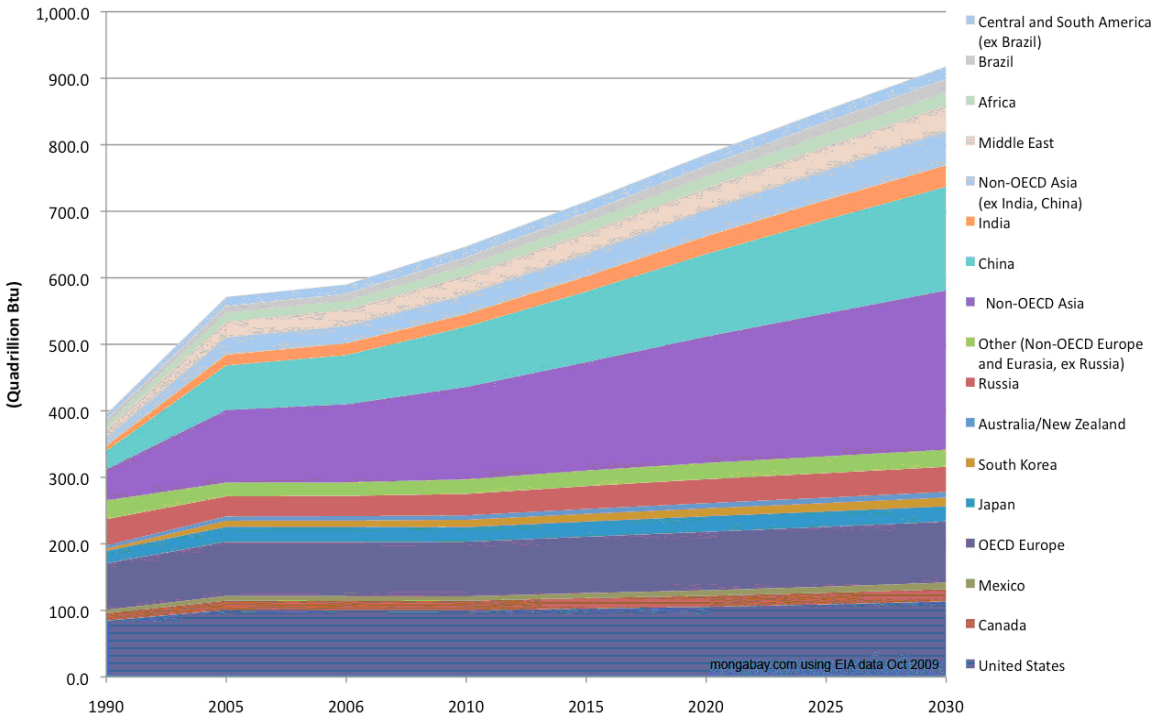
فصل اول

مقدمه

۱-۱ ارزش و اهمیت تامین انرژی در آینده

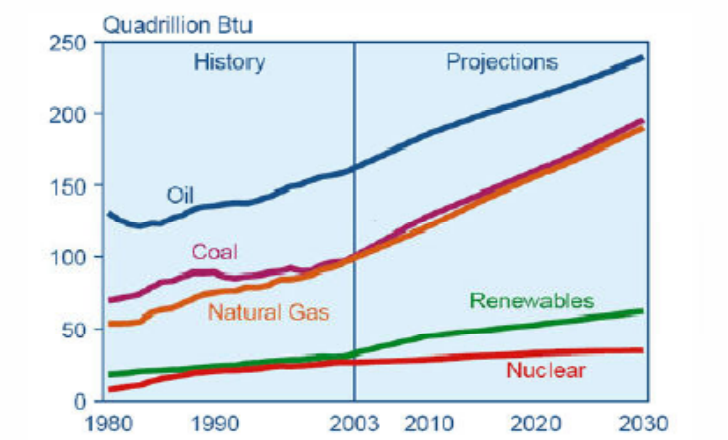
در میان مشکلات زیادی که جوامع صنعتی امروزه با آن مواجه می‌باشند دو مشکل : آلودگی محیط زیست و تحلیل منابع انرژی از همه مهمتر و ارتباط مستقیم بیشتری با یکدیگر دارند. جوامع صنعتی و نیمه صنعتی از یک طرف آشکارا در حال غرق شدن در میان باقیمانده‌ها و فضولات تمدن ماشینی خود می‌باشند و از طرف دیگر مواجه با کمبود ذخایر سوخت و انرژی برای صنایعی می‌باشند که خود موجب چنین آلودگی‌ها یی می‌شوند. این جوامع با استفاده روز افزون از انرژی برای ادامه زندگی ماشینی خود نه تنها هوا، زمین و آبها را آلوده می‌کنند، بلکه موجب تمام شدن هر چه سریعتر منابع سوخت می‌شوند[۱].

همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود، تقاضای انرژی جهانی با آهنگ شدیدی در حال افزایش است و تا ۹۰۰×۱۰^{۳۰}BTU در سال ۲۰۳۰ پیش بینی می‌شود که رشد قابل توجهی را نسبت به میزان مصرف انرژی در سال ۲۰۱۰، ۶۵۰×۱۰^{۳۰}BTU نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ میزان مصرف انرژی جهانی طی ۲۰ سال آینده [۲]

شکل ۱-۲ افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی را تا سال ۲۰۳۰ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود سرانه مصرف سوخت‌های تجدید ناپذیر در ۲۰ سال آینده به شدت افزایش خواهد یافت.

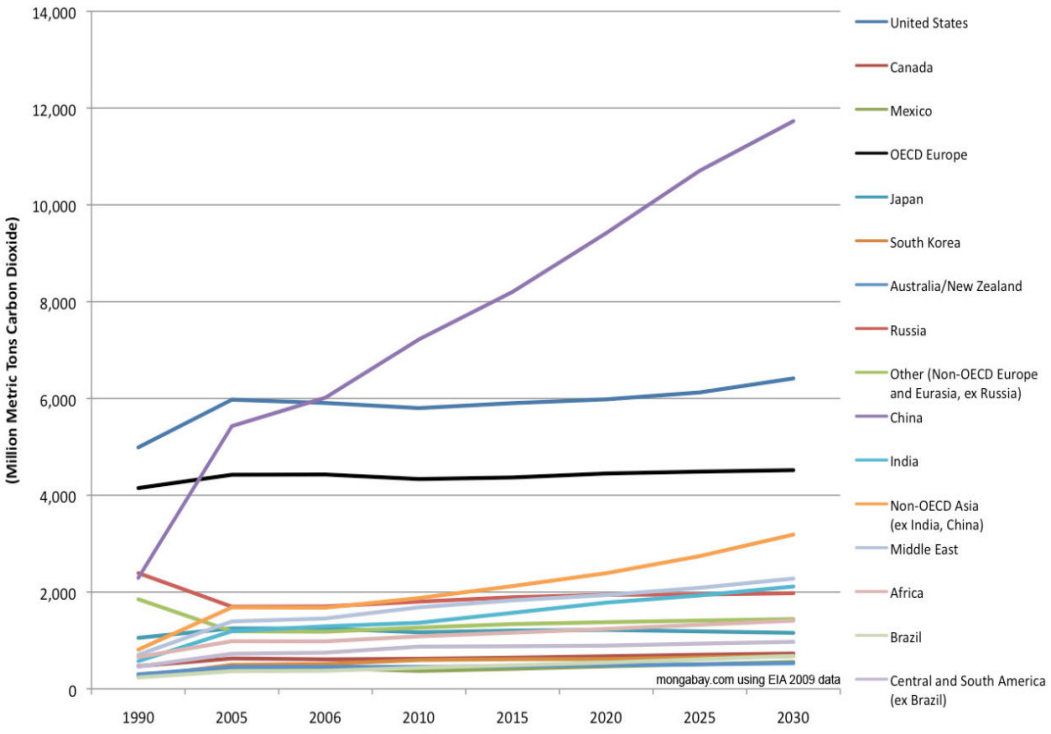


شکل ۱-۲ میزان مصرف انرژی جهانی بر اساس سوخت‌های مختلف از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۳۰ [۳]

امروزه تاثیر مخرب تولید بیش از حد گازکربنیک Co_2 بر محیط زیست برای جامعه علمی پوشیده نیست.پرتو خورشید شامل طیف وسیعی از طول موج‌ها می‌باشد که به جو زمین برخورد کرده و در نهایت پس از گذر از جو زمین، جذب می‌شود. این پرتوهای جذب شده موجب افزایش دمای پوسته زمین می‌شود. طبق قوانین ترمودینامیک هر جسمی با توجه به دمای آن، طیف خاصی از طول موج‌ها را از خود پراکنده می‌سازد و با توجه به دمای پایین سطح زمین طول موج‌های بلند ساتع می‌گردد. از طرفی گازکربنیک موجود در جو زمین برای طول موج‌های کوتاه نسبت به طول موج‌های بلند قابلیت عبور بیشتری دارد؛ این امر باعث می‌شود که در طول روز انرژی جذب زمین گشته و در طول شب امواج منتشره از سطح زمین با برخورد به مولکول‌های Co_2 دوباره به سطح زمین برگشته و کره زمین نتواند تعادل گرمایی مناسبی برقرار کند. تولید عمده گاز Co_2 به دلیل سوختن منابع فسیلی می‌باشد که در نتیجه کربن موجود در آن با اکسیژن هوا ترکیب شده و گاز کربنیک تولید می‌شود. هر چند وجود گاز کربنیک برای رشد گیاهان مفید می‌باشد ولی انباشته شدن بیش از حد استاندارد، به خاطر افزایش دمای محیط، برای گیاه نیز مضر می‌باشد. علاوه بر این، گازهای گلخانه ای (شکل ۱-۳) تاثیرات مخربی بر آینده بشر خواهد گذاشت. رقیق شدن و از بین رفتن لایه ازن، تغییرات آب و هوایی، گرمتر شدن کره زمین، آب شدن یخ‌های قطب‌ها که در واقع کولرهای خنک کننده طبیعی می‌باشند، وقوع باران‌های اسیدی، انقراض گونه‌های جانوری و گیاهی و ... انسان را وادار ساخت تا نگاه دیگری به محیط زیست خود بیاندازد و به فکر جایگزین‌های ی برای سوخت‌های تجدیدناپذیر و کاهش آلودگی‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی باشد[۴]. یکی از جایگزین‌های مناسب، انرژی خورشید می‌باشد.

۱-۲ انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی نتیجه فرایند پیوسته هم جوشی هسته ای در خورشید است. توان تابشی خورشید در مدار میانگین کره زمین از شدتی برابر با $۱/۳۶۷kW/m^2$ برخوردار می‌باشد. محیط زمین ۴۰ هزار کیلومتر و در



شکل ۱-۳ میزان انتشار دی اکسید کربن در جهان به تفکیک منطقه[۲]

نتیجه توان رسیده به مدار زمین به ۱۷۴۰۰ TW می‌رسد. حداکثر شدت این انرژی در سطح دریا نوعا ۱ kW/m^2 است و میانگین ۲۴ ساعته سالیانه در سطح زمین نوعا برابر با $۰/۲kW/m^2$ است.

این مقدار برابر با ۱۰۲۰۰۰ TW انرژی در جهت تداوم محیط ما است که به آن برای تامین حیات مداوم خود متکی هستیم. این انرژی در ضمن تمام انواع دیگر انرژی‌های تجدیدشدنی را (به غیر از انرژی ژئوترمال و انرژی هسته ای) در بر می‌گیرد.

اگرچه کل انرژی خورشیدی ۴۰۰۰۰ برابر مصرف انرژی فعلی بشر است اما اندک بودن شدت این توان و تنوع زمانی و جغرافیایی آن مشکلات عمده ای را فراهم می‌نماید که احتمالا سهم این انرژی را در مخلوط کل انرژی محدود می‌نماید[۵].

سیستم‌های خورشیدی، سیستم‌هایی هستند که با استفاده از آنها تمام و یا قسمتی از انرژی لازم جهت تامین احتیاجات جوامع بشری از انرژی خورشید تامین می‌گردد و اهم آنها عبارتند از :

سیستم‌های فتوبیولوژی، سیستم‌های شیمیایی، سیستم‌های فتوولتاییک، سیستم‌های حرارتی و برودتی.

۱-۲-۱ سیستم‌های فتوبیولوژی

عملکرد فتوسنتز در گیاهان، قدیمی ترین و گسترده ترین روش استفاده از انرژی خورشید است. گیاهان تشعشع خورشید را جذب کرده و با کمک آن گازکربنیک و آب را به مواد قندی تبدیل می‌کنند. همچنین در این فعل و انفعال گیاهان اکسیژن را آزاد و نیتروژن و مواد فسفری را که برای ادامه حیات و رشد خود لازم دارند، جذب می‌کنند. نتیجه این فرایند، ذخیره سازی بیولوژیکی انرژی خورشید می‌باشد. انرژی ذخیره شده در گیاهان و درختان، به علت بازدهی پایین آنها پایین می‌باشد. راندمان این فرایند بین ۲۵ درصد تا ۵۰ درصد می‌باشد[۶]که نسبت به بازدهی اشکال دیگر استفاده از انرژی خورشید، به طور قابل توجهی کمتر است ولی با وجود این بازدهی بسیار کم، هزینه تولید انرژی از بعضی از گیاهان با هزینه تولید سوخت‌های فسیلی قابل مقایسه می‌باشد. همچنین از سلولز که نتیجه مستقیم فرایند فتوسنتز بوده و به مقدار زیادی در مواد مازاد کشاورزی و گیاهان موجود است، می‌توان به عنوان یک منبع انرژی زا، برای تهیه مواد غذایی، یا مواد شیمیایی استفاده کرد.

قبل از پیدایش سوخت‌های فسیلی، چوب به عنوان تنها ماده قابل اشتعال، مورد استفاده قرار می‌گرفت اما در عصر حاضر از چوب برای تامین انرژی حرارتی زیاد استفاده ن می‌شود زیرا چوب دارای قدرت حرارتی بسیار کمی است و از نظر ارزش حرارتی در مقایسه با سایر مواد سوختی، در رده پایین قرار دارد. به علاوه حمل و نقل چوب، نسبت به سوخت‌های مایع و گازی شکل، مشکل تر و پرخرج تر می‌باشد.

کاه، یکی دیگر از سوخت‌های جامد می‌باشد. در سال‌های ۱۹۴۰ الی ۱۹۶۱ در کشور فرانسه حدود ۱۰۰۰ دستگاه تولید گاز متان از کاه ساخته شد[۶]. طرز کار این دستگاه‌ها به این ترتیب بود که خمره-های بزرگی را از کاه پر می‌کردند و پس از تخمیر کاه، گاز متان به دست می‌آمد. میزان گاز حاصل از یک متر مکعب کاه، روزانه یک متر مکعب گاز متان بود که همراه با گازکربنیک و یا بعد از جداکردن گازکربنیک از آن، مورد استفاده قرار می‌گرفت. در حال حاضر و در بعضی از کشورهای جهان، پژوهش-های لازم جهت بالابردن راندمان دستگاه‌های مورد استفاده در تولید گاز از تخمیر کاه و کاهش هزینه تولید ادامه دارد.

۱-۲-۲ سیستم‌های شیمی خورشیدی

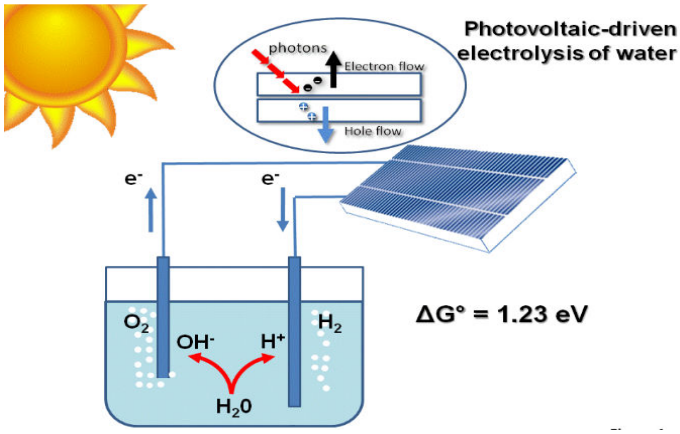
سیستم‌های شیمی خورشیدی به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

۱- سیستم‌های فتوشیمیایی که در آنها از تشعشع خورشید در عملیات شیمیایی استفاده می‌شود.

۲- سیستم‌های هلیوترمیک که در انها از حرارت خورشید به عنوان یک منبع حرارتی بهره گیری شده و عملیات شیمیایی انجام می‌گیرد.

شکل ۱-۴ نشان می‌دهد که برای تهیه سوختی مثل هیدروژن، چگونه از روش فتوشیمیایی در الکترولیز می‌توان استفاده کرد و هیدروژن ذخیره شده را برای تولید انرژی مکانیکی، حرارتی و الکتریکی و غیره به کار برد.

عملیات فتوسنتز در گیاهان و تشکیل سوخت‌های فسیلی در زیر زمین، و ذخیره سازی بیولوژیکی انرژی خورشیدی در مواد، و بالاخره تهیه سوخت‌هایی از قبیل الکل و متان و هیدروژن، همگی تابع یک سری فعل و انفعالات شیمیایی بوده و می‌توان آنها را بخشی از سیستم‌های شیمی خورشیدی به حساب آورد.



شکل ۱-۴ تولید هیدروژن با استفاده از سلول های فتوولتایی [۷]

در سال ۱۹۶۹ دو پژوهشگر ژاپنی نتیجه تحقیقات خود را به عنوان رشته جدیدی از سلول‌های الکترولیز اعلام کردند. این دو پژوهشگر یک صفحه تیتانیوم دی اکسید از نوع $(TiO_2)H$ را با یک صفحه از پلاتینیوم به هم اتصال داده، هر دو صفحه را در محفظه ای پر از اب که در آن سلول‌های فتوشیمیایی قرار داشت، نصب کردند[۶].

با تابش اشعه ماورابنفش به الکترود $(TiO_2)H$، جریان الکتریکی بین دو قطب کاتد و آند برقرار شد و آب نیز به دو عنصر تشکیل دهنده خود، یعنی اکسیژن و هیدروژن تجزیه می‌گردید. نتیجه اصلی که از این آزمایش به دست آوردند این بود که با مطالعه و پیشرفت‌هایی در این گونه آزمایشات، و انتخاب سلول‌های نوری مشابه، می‌توان از اشعه خورشید به عنوان مولد اصلی این آزمایش و تهیه اکسیژن و هیدروژن استفاده کرد. تهیه الکتریسیته با استفاده از سلول‌های خورشیدی، در رشته شیمی نیز با استفاده از الکترولیز امکان پذیر بوده و به علاوه از سلول‌های فتوالکتریک برای تجزیه شیمیایی و تهیه و ذخیره هیدروژن با روش‌های گوناگون استفاده می‌شود.

۱-۲-۳ سیستم‌های فتوولتاییک

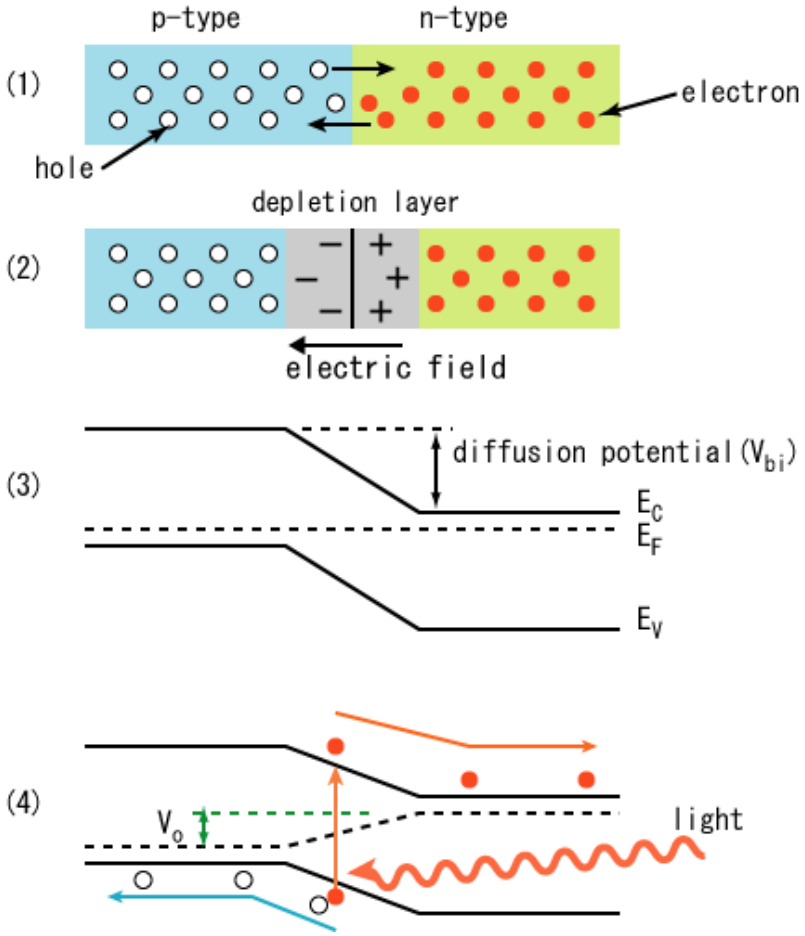
سیستمی که در آن انرژی خورشید بدون بهره گیری از مکانیزم‌های متحرک و شیمیایی، به انرژی الکتریکی تبدیل شود، اثر آن را فتوولتاییک می‌نامند. عاملی که در این فرایند به کار می‌رود سلول خورشیدی نامیده می‌شود. حدود ۵۵ سال پیش برای اولین بار و به عنوان مولد الکتریکی در سفینه‌های فضایی از این سلول‌ها استفاده گردید و مدتی است که بهره گیری از انها در زمین نیز متداول شده است. سلول‌های خورشیدی قادرند انرژی تشعشعی خورشید را با بازدهی معادل ۵ تا ۲۰ درصد مستقیما به الکتریسیته تبدیل کنند[۶]. اگرچه انرژی الکتریکی نوری هنوز به میزان کافی از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد ولی در سال‌های اخیر کاهش چشمگیری در هزینه‌های مربوط به بهره برداری از این سیستم‌ها مشاهده گردیده و انتظار می‌رود در آینده نیز با تحقیقات لازم در نوع سلول‌های نوری، کاهش قیمت ادامه یابد. ولی نباید فراموش کرد که در مناطق دور و در جاهایی که دسترسی به سوخت و الکتریسیته ارزان مقدور نباشد از سیستم‌های فتوولتاییک استفاده می‌گردد. این سیستم‌ها را برق خورشیدی نیز می‌نامند.

با استفاده از اشعه خورشید و سلول‌های خورشیدی، و با ایجاد اختلاف فشار الکتریکی در نیمه هادی‌هایی که به طور مناسب ساخته شده اند الکتریسیته تولید می‌شود. امروزه موثرترین و ارزانترین سلول‌های خورشیدی ماده ای به نام سیلیسیم می‌باشد. ماسه یکی از منابع مهم سیلیسیم بوده که پس از پالایش آن کریستال‌های سیلیسیم به دست می‌آید و پس از بریده شدن به صورت صفحه اماده می‌شود.

سیلیسیم یک نیمه هادی است که به طور خالص از نظر هدایت الکتریکی هادی ضعیفی است ولی اگر در موقع پالایش، به آن فسفر اضافه شود بار منفی (الکترون) پیدا کرده و در صورتی که بور (Bore) اضافه شود بار مثبت (حفره) پیدا می‌کند. نوع اول را سیلیسیم " نوعN " و نوع دوم را سیلیسیم " نوعP " می‌نامند. می‌دانیم که سیلیسیم دارای ۴ الکترون در مدار خارجی خود می‌باشد. هنگامی که تعدادی اتم فسفر به داخل کریستال سیلیسیم وارد شود؛ با توجه به اینکه فسفر دارای ۵ الکترون در مدار خارجی خود می‌باشد؛ ۴ الکترون مدار خارجی فسفر با ۴ الکترون مدار خارجی سیلیسیم یک مدار به وجود آورده و به این ترتیب یک الکترون به صورت آزاد باقی مانده، یعنی سیلیسیم با بار منفی باردار شده و نیمه هادی نوع N به وجود می‌آید. از طرفی اگر به جای فسفر از اتم بور که دارای ۳ الکترون در مدار خارجی می‌باشد استفاده شود، حفره‌هایی که مثل الکترون قابلیت حرکت دارند ایجاد شده و سیلیسیم به طور مثبت باردار می‌شود، یعنی نیمه هادی نوع p به وجود می‌آید.

حال اگر یک طرف یک سیلیسیم نوع p را از نوع N باردار کنیم، یک اتصال P-N به وجود می‌آید. در طرف نوع P حفره‌های آزاد و اتم‌های بور با بار منفی و ساکن و در طرف نوع N الکترون‌های آزاد و اتم-های فسفر با بار مثبت وجود دارند. حال اگر یک فوتون (ذره ای از نور) به اتصال P-N برخورد کند، الکترون را از اتم سیلیسیم جدا کرده و در نتیجه حفره به وجود می‌آورد. حفره مزبور تحت تاثیر میدان موجود به سمت ناحیه P و الکترون به سوی ناحیه N حرکت کرده و این دو حرکت مخالف با بارهای مختلف، یک جریان الکتریکی به وجود می‌آورند.

با اتصال کنتاکت‌هایی به رویه‌های قطعات نیمه هادی، مداری تشکیل می‌شود که اجازه برگشت الکترون-ها را به اتصال نوع P از میان یک بار خارجی می‌دهد، شکل ۱-۵ دیاگرام شماتیکی یک اتصال P-N را نشان می‌دهد. یک سلول فتوولتاییک معمولا به ضخامت ۳۰۰ میکرون و از صفحات دایره ای سیلیسیم با قطر ۳ تا ۹ سانتی متر ساخته می‌شود. اتصالات در سطح بیرونی سلول که از یک شبکه فلزی پوشیده شده قرار دارند. پشت سلول با یک صفحه یا یک ورقه فلزی پوشیده است.



شکل ۱-۵ دیاگرام شماتیکی یک اتصال P-N [۸]

نوع دیگری از سلول‌های فتوولتاییک نیز وجود دارد که در آن به جای سیلیسیم از کادمیوم استفاده می‌شود. مساحت سلول‌ها تاثیری روی ولتاژ آنها نداشته و معمولا هر سلول دارای ولتاژی برابر با ۰/۵ ولت می‌باشد اما شدت جریان حاصل در سلول‌ها تابع مساحت سطح سلول و شدت تشعشع خورشید می‌باشد. برای ساختن یک ژنراتور، سلول‌ها را به طور سری و یا موازی به هم متصل می‌کنند. مثلا اگر ۲۴ عدد سلول خورشیدی را به طور سری ببندیم ولتاژی معادل (۰/۵×۲۴) برابر با ۱۲ ولت در درجه حرارت $25^{\circ}C$ ایجاد می‌کند. با ازدیاد درجه حرارت قدرت تولید سلول کاهش یافته و با تقلیل درجه حرارت ولتاژ افزایش می‌یابد.

واحد اصلی یک سیستم فتوولتاژ مدول می‌باشد که برای ساختن یک مدول، سلول‌های مستقلی را در حالت‌های سری و یا موازی هم نصب می‌کنند. در صورتی که تعدادی از سلول‌ها به صورت سری بسته شوند ظرفیت ولتاژ برابر مجموع ولتاژها و اگر به صورت موازی بسته شوند ظرفیت جریان برابر با مجموع جریان‌های سلول‌ها خواهد بود. نمونه ای از یک سیستم تبدیل کننده فتوولتاژ، شامل تعدادی از سلول-های خورشیدی می‌باشد که ممکن است به صورت تخت، یا مرکب و یا متمرکزکننده‌های رو به خورشید باشند. در سیستم‌های فتوولتاژ، معمولا یک باطری برای ذخیره انرژی جهت استفاده در شب‌ها به کار برده می‌شود.

خروجی از سیستم فتوولتاژ، برق مستقیم (DC) است که می‌تواند برای ذخیره در باطری و یا عبور مستقیم از مصرف کننده، مورد استفاده قرار گیرد. هنگامی که برق متناوب (AC) مورد احتیاج باشد، باید یک تبدیل کننده برق DC به AC در سیستم تعبیه شود. باطری‌های ذخیره در سیستم‌های فتوولتاژ باید در شرایطی باشند که در دما و رطوبت محیط عمل کرده و احتیاجی به تعمیر نداشته باشند. با استفاده از آلیاژ سرب و کلسیم به جای سرب و آنتیموان در اسید، باطری‌های با راندمان بهتری تولید شده است. در عمل کارآیی و عمر موثر باطری‌ها با پارامترهای زیر مشخص می‌شوند:

۱- ظرفیت (آمپر- ساعت)، نشان دهنده مقدار الکتریسیته ای است که می‌توان از یک باطری در مدت زمان معینی کشید که بستگی به تعداد و طرح صفحات داخل سلول دارد. باطری‌های اسید سربی، در سیستم‌های فتوولتاییک می‌توانند دارای ظرفیت (۱۶ A-H) باشند. بنابراین ۶ سلول با باطری ۱۹ صفحه ای می‌توانند ۴۸۰ آمپرساعت را در صورت استفاده ای با نرخ ۳۰ A-H در ۱۶ ساعت تحویل دهند.

۲- ظرفیت (کیلووات- ساعت)، این مقدار، کل قدرتی را که می‌توان از یک باطری کشید نشان می‌دهد؛ $\left(\frac{\text{ولت}\times\text{آمپر}+\text{ساعت}}{1000}\right)$