بسم الله الرحمن الرحيم

پردیس بین المللی ارس

گروه نانو فناوری - نانو الکترونیک

پایاننامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشتهی

مهندسی نانوفناوری-گرایش نانو الکترونیک

عنوان

شبیه سازی و طراحی متمرکز کننده های سلول خورشیدی

استاد راهنما

دکتر حامد باغبان

استاد مشاور

دکتر علی رستمی

پژوهشگر

سامان شعرباف کلاقیچی

تابستان93

نام خانوادگی دانشجو : **شعرباف کلاقیچی** نام : **سامان**

عنوان پایان نامه : **شبیه سازی و طراحی متمرکز کننده های سلول خورشیدی**

استادان راهنما :**دکتر حامد باغبان**

استادان مشاور : **دکتر علی رستمی**

مقطع تحصیلی :**کارشناسی ارشد** رشته :**مهندسی نانوفناوری**
گرایش :**مهندسی نانوالکترونیک**

دانشگاه :**پردیس بین المللی ارس دانشگاه تبریز**
دانشکده :**مهندسی فناوری های نوین** تاریخ فارغ التحصیلی تعداد صفحه : 93

کلید واژه ها : ضریب تمرکز هندسی ، زاویه پذیرش ، متمرکز کننده مرکب سهموی ، متمرکز کننده مرکب بیضوی ، اپتیک غیر تصویری ، الگرانژ یا ، اشعه لبه ، ضریب شکست ، سایه ، تعقیب کننده خورشیدی ، طول مسیرنوری ، متمرکز کننده ایده آل .

چکیده :
عنصراصلی مبدلهای خورشیدی و یا ماژولهای خورشیدی که نورخورشید را به الکتریسیته تبدیل می کنند سلولهای خورشیدی است که بدلیل شکنندگی وظرافتی که دارند، تحمل شرایط محیطی را نداشته و نمی توانند مستقیما مورد استفاده قرار بگیرند وتوان الکتریکی کمی را تولید

می‌کنند و برای بکارگیری آنها درشرایط مختلف آب وهوایی ، دسترسی به ولتاژ و توان مورد نیاز ، افزایش مقاومت مکانیکی ، کاهش تغییرات مشخصات الکتریکی سلول خورشیدی برای مدت طولانی ، سلولها را به صورت مجموعه ای درون قاب فلزی قرار می‌دهند و ماژول خورشیدی را می‌سازند.

باتوجه به اینکه اکثر قریب به اتفاق کشور ها به این انرژی لایزال خداوندی دسترسي دارند توسعه در به کار گیری این انرژی ، کمک به استقلال انرژیک کشورها و قطع وابستگي به کشورهای صنعتی را به همراه دارد. در این پروژه به بررسي سیستمهاي فتوولتائیک و شبیه سازی طراحی متمرکز کننده های سلول خورشیدی می پردازیم.

سیستم‌هاي متمرکز کننده سلول‌هاي خورشیدي سیستم‌هایي هستند که با استفاده از ادوات اپتیکي مثل لنزها و آینه‌هاي منحني مقدار زیادي از نور خورشید را به یك منطقه کوچك از سلول خورشیدي براي تولید الکتریسته منعکس مي‌کنند، از آنجایي که سلول‌هاي خورشیدي کوچك مورد نیاز است در مقایسه با سلول‌هاي خورشیدي معمولي سیستم‌هاي متمرکز کننده مي‌توانند در هزینه‌هاي سلول خورشیدي صرفه‌جویي کنند.

سیستم‌هاي متمرکز کننده نیازمند هزینه‌هایي شامل ادوات اپتیکي مثل آینه‌ها، لنزها و تعقیب کننده‌هاي خورشیدي هستند. بنابراین امروزه بیشتر از سلول‌هاي خورشیدي معمولي استفاده مي‌شود.

تحقیق درباره‌ي سیستم‌هاي متمرکز کننده سلول‌هاي خورشیدي از سال 1970 در آزمایشگاه ملي سانديادي کالیفرنیا شروع شده است و اولین سیستم متمرکز کننده خورشید مدرن در آنجا ساخته شده است .

موانع اصلي رقابت انرژي فتوولتاييک با منابع اصلي انرژي به صورت زير است

1- بهره کمتر

2- چگالي انرژي توليد شده کمتر نسبت به محيط اشغال شده توسط فتوولتاييك

3- گران بودن مواد تشکيل دهنده و نياز به تنظيم داشتن فتوولتاييك که وابسته به شرايط آب و هوايي است.

در صورتي که براي نکته آخر راه حلها وابسته به تکنولوژيهاي بيروني فتوولتاييک و طرحهايي درباره مديريت شبکه و توزيع پانلهاي خورشيدي هدف در تحقيقات فتوولتاييک است.

يك روش ، جستجو کردن راهي براي بهبود بازده و کاهش هزينه ها، متمرکز کننده هاي سلول خورشيدي است متمرکز کردن نور اجازه بازده بيشتر در تبديل نور به الکتريسيته در سلولهاي خورشيدي را ميدهد و همچنين اجازه جايگزينيهاي ارزان قيمت متمرکز کننده نور به جاي مواد فتوولتاييك را ميدهد.

در طراحی متمرکز کننده ها جنس آیینه ها باید طوری باشد که بیشترین نور را منتقل کند معمولا از آلومینیوم استفاده می شود که بیشترین درخشندگی را داشته باشد و از یک ماده با ظریب شکست بالاتر از یک به عنوان دی الکتریک استفاده می شود تا میزان بازتابش کلی در داخل متمرکز کننده افزایش یابد و نور بیشتری داخل متمرکز کننده حبس شود و هندسه متمرکز کننده در طراحی بسیار مهم است با توجه به مدل سازی انجام شده متمرکز کننده، متمرکز کننده های مرکب سهموی به حالت ایده آل نزدیک است و بیشترین تمرکز را در روزنه خروجی دارد که محل قرار گرفتن سلول

خورشیدی است .

فهرست مطالب

1-1- مقدمه ..... 13.....

1-2- کمیت و کیفیت انرژي خورشیدي 14.....

1-3- سیستمهای فتوولتایک 15.....

1-4- سیستم هاي حرارتي خورشیدي 16.....

1-4-1 سیستم هاي آبگرم خورشیدي .....16.....

1-4-2 سیستم هاي گرمایش و سرمایش ساختمان .16.....

1-4-3 سیستم هاي تهیه آب شیرین و آب مقطرگیري .16.....

1-4-4 سیستم هاي انتقال و پمپاژ .....16.....

1-4-5 سیستم هاي تولید فضاي سبز(گلخانه ها) .16.....

1-4-6 سیستم هاي خشك كن و خوراك پز خورشیدي .16.....

1-4-7 سیستم هاي سردكننده خورشیدي .....16.....

1-4-8 برج هاي نیرو و نیروگاه هاي خورشیدي .16.....

1-5- سیستم هاي گرما خورشیدي 17.....

1-6- سیستم هاي تولید قدرت و نیروگاه هاي خورشیدي 18....

1-7- سیستم های متمرکز کننده 19.....

1-8- موانع اصلي رقابت انرژي فتوولتاليك با منابع اصلي انرژي 20
1-8-1 بهره كمتر 19
1-8-2 چگالي انرژي توليد شده كمتر 19
1-8-3 گران بودن مواد تشكيل دهنده 19
1-9- چالشها 21
1-10- اپتيك غير تصويري 22
1-11- موارد استفاده از اپتيك غير تصويري 22
1-11-1 هزينه توليد كمتر 21
1-11-2 اجزاي تركيبي كمتر 21
1-11-3 قابليت حركت سيستم نسبت به جهت باد در صورت نياز 21
1-11-4 تجمع بالاي نور خورشيد 21
1-11-5 موارد استفاده وسيع 21
1-11-6 بهتر كردن بهره در سلولهاي خورشيدي 21
1-11-7 طراحي قابل انعطاف. 21
1-11-8 سلولهاي خورشيدي كوچكتر 21
1-12- سيستم ها 22
1-13- آینده و بازار 30
1-14- اصول مورد استفاده در طراحی 35
1-14-1 اصل فرما 35
1-14-2 اصل پرتوي لبه ايي 35
1-14-3 روش خطی 37
1-14-4 روش رشته ایی 41
1-14-5 طول مسیر نوری 42
1-15- متمرکز کننده های مرکب سهموی 43

1-16- ساختار متمرکز کننده های فوتوولتاییک 45
فصل دوم 52
2-1- روشهاي طراحي 52
2-2- ضريب تمرکز هندسي 57
2-3- تعريف پرتو اسکی 65
2-4- انواع متمرکز کننده 65
2-4-1 متمرکز کننده مخروطي 66
2-4-2 متمرکز کننده تغار 67
2-4-3 متمرکز کنندهاي سهميوار ترکيبي دو بعدي 67
2-4-4متمرکز کننده هاي قوهاي شکل 70
2-4-5 ترکيب سه بعدي متمرکز کنندهاي سهمي وار 71
2-4-6 متمرکزکنندهاي نامتقارن 72
2-5 طرحهای دیگری از متمرکز کنندههاي فوتوولتاييك 72
2-5-1 متمرکز کنندههای دو رنگ 74
2-5-2 متمرکز کننده های درخشان 74
فصل سوم
.....
.....
76.....
3-1- مدل سازی 75
3-2- مدل سازی متمرکز کننده مرکب سهموی 75
3-3- مدل سازی متمرکز کننده خطی 79
3-4- مقایسه متمرکز کننده مرکب سهموی ومتمرکز کننده خطی
یا تغار 83

3-5- پیشنهاد
.....
.....
87.....

مراجع .....87.....

فهرست اشکال

شکل1-1 سیستم تعقیب نو**رمتمرکز کننده** . . . . . .
. . . . . .
. 24

شکل 1-2 یک آرایه فشرده شده۳۰×۳۰ سانتیمتری از سلولهای خورشیدی سیلیکونی . . . . . .
26

شکل 1-3- سیستمهای **متمرکز کننده** در کارخانه آمونیکس نوادا . . . .
. . . . . .
32 . . . .

شکل 1-4 اصل پرتو لبه 36

شکل 1-5 متمرکز کننده مرکب بیضوی 38

شکل1-6 متمرکز کننده مرکب سهموی 39

شکل1-7 پرتوهایی که زاویه پذیرش را نشان می‌دهند 40

شکل1-8 روش رشته ایی 42

شکل 1-9 باز تابش کلی در متمرکز کننده ها ی دی الکتریک 43

شکل 1-10 مقایسه بین متمرکز کننده مرکب سهموی و متمرکز کننده سهموی 44

شکل1-11 شماتیک از یک متمرکز کننده 48

شکل 1-12 راندمان اپتیکی در مقابل زاویه برخورد برای متمرکز کننده های خورشیدی 50

شکل 2-1 تصویری از روش لبه اشعه که درمورد یک متمرکز کننده سهمی گون 53

شکل 2-2 طراحی کلاسیک برای متمرکزکننده های فوتوولتاییک می‌باشد 54

شکل2-3 نمونه هایی از هندسه ی متمرکز کننده دوم 56

شکل 2-4 لنزهای بشقابی دانه‌ای برای متمرکز کننده‌های خورشیدی . . . . . 57. . . .

شکل 2-5 متمرکز کننده دو بعدی که به عنوان یک جعبه سیاه مدل شده است . . . . . 58 .

شکل 2-6 متمرکز کننده ایی را نشان می دهد که با شیشه پر شده است . . . . . 63 . .

شکل 2- 7 سه صفحه مریدین از یک متمرکز کننده سه بعدی . . . . . 65 . . . . .

شکل 2-8 متمرکز کننده مخروطی . . . . . 66 . . . . . .

شکل 2-9 ساختار یک متمرکز کننده با زاویه پذیرش 20 درجه . . . . . 68 . . . . .

شکل 2-10 متمرکزکننده قوه ای شکل . . . . . 70 . . . . . .

شکل 2-11 متمرکز کننده سهمی وار مرکب نامتقارن . . . . . 72 . . . . . .

شکل 2-12 طرح اصلی از متمرکز کننده ساده درخشان . . . . . 75 . . . . .

شکل 3-1 تصویری از مدل سازی یک متمرکز کننده مرکب سهموی . . . . . 77 .

شکل3-2 متمرکز کننده مرکب سهموی که به جای شیشه با هوا پر شده است 78

شکل 3-3 نمودار میدان بر حسب arc length 79

شکل 3-4 نمودار میدان بر حسب فاصله گیرنده از روزنه ورودی در متمرکز کننده مرکب سهموی 79

شکل 3-5 تصویری از مدل سازی یک متمرکز کننده خطی 81

شکل 3-6 متمرکز کننده خطی که به جای شیشه با هوا پر شده است 82

شکل 3-7 نمودار میدان بر حسب arc length برای متمرکز کننده خطی یا تغار 83

شکل 3-8 نمودار میدان بر حسب فاصله روزنه ورودی وخروجی 83

شکل 3-9 نمودار میدان بر حسب طول موج در متمرکز کننده مرکب سهموی 85

شکل 3-10 نمودار میدان بر حسب طول موج در متمرکز کننده خطی 85

شکل 3-11 مقایسه متمرکز کننده سهموی و متمرکز کننده خطی بر حسب نمودار میدان و طول موج 86

شکل 3-12 طیف نور خورشید 86

1-1- مقدمه

با آنکه حدود600 میلیون سال از عمرخورشید می‌گذرد، هنوز سه میلیارد سال دیگر می‌توان از انرژی لایزال آن استفاده نمود.
استفاده از انرژی نورانی وحرارتی خورشید جهت تولید الکتریسیته بسیار مورد توجه قرارگرفته است . این پدیده اولین بار درسال 1839 میلادی کشف گردید و مهمترین گام دراواخر دهه 1940 با تولید سیلیکون خالص برداشته شد.
اولین مبدل نور به الکتریسیته از جنس نیمه هادی سیلیکون درسال 1954 درآزمایشگاه بل ساخته شد و در سال 1975 مراحل کاهش هزینه های مبدلها واستفاده از ساخت صنعتی با حجم زیاد انجام شد.
عنصراصلی مبدلهای خورشیدی و یا ماژولهای خورشیدی که نورخورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند سلولهای خورشیدی است که بدلیل شکنندگی و ظرافتی که دارند، تحمل شرایط محیطی را نداشته و نمی‌توانند مستقیما مورد استفاده قرار

بگیرند و توان الکتریکی کمی را تولید می کنند و برای بکارگیری آنها در شرایط مختلف آب و هوایی دسترسی به ولتاژ و توان مورد نیاز ، افزایش مقاومت مکانیکی ، کاهش تغییرات مشخصات الکتریکی سلول خورشیدی برای مدت طولانی ، سلولها را به صورت مجموعه ای درون قاب فلزی قرار می دهند و ماژول خورشیدی را می‌سازند.

. در این رابطه آمار های جهانی نشاندهنده این نکته است که درمقابل رشد ده برابری سایر انرژی های تجدید پذیر انرژی نوری ولتی تا سال 2020 میلادی رشدی 100 برابر خواهد داشت . علاوه برآن بدلیل رشد جمعیت که طبق آمارمرکز تحقیقات اروپا در سال 2050 میلادی جمعیت جهان بالغ بر 10 بیلیون نفر خواهد رسید که می بایست جهت تامین انرژی ؛ سالانه بیش از 20 TW انرژی تولید گردد وبه عبارتی هر دو روز یک راکتور جهت تولید انرژی ساخته شود

1-2- کمیت و کیفیت انرژي خورشيدي

مهم ترين تغييرات درشدت تابش خورشيد و دماي هواي محيط ناشي از حركت طبيعي زمين به دور خورشيد و مورب بودن محور چرخش كره زمين است كه حول اين محور داراي حركت وضعي است. تغييرات فصول و همچنين تغييرات تابش خورشيد برروي سطح زمين و تغييرات در ساعات روشنايي و تاريكي همه ناشي از تغييرات روزانه زاويه ميل هستند.

انرژي خورشيدي در مسير خود به زمين به علت جذب هاي متعدد كاهش مي يابد و علل كاهش را مي توان به شرح زير بيان داشت :

اولين مرحله كاهش در اثر وجود اوزن درخارج جو زمين است كه سبب جذب امواج تشعشعي ماوراء بنفش تا طول موج 29 / . µm مي باشد.

براي جذب امواج تشعشي با طول موج هاي بلندتر، مواد جاذب ديگري مانند بخارآب و دي اكسيدكربن وجود دارد. بالاخره مجموع امواج تشعشعي جذب شده در هر مكان را مي توان به وسيله ضخامت اتمسفر هوا درمسير اشعه و نيز تركيبات اتمسفر محاسبه كرد.

1-3- سيستمهای فتوولتاييک[1]

به پديده‌ای كه در اثر تابش نور بدون استفاه از مكانيزم‌های محرک، الكتريسيته توليد كند پديده فتوولتائيک و به هر سيستمی كه از اين پديده‌ها استفاده كند سيستم فتوولتاييک گويند. سيستم‌های فتوولتائيک يكی از پر مصرفترين كاربرد انرژی‌های نو می‌باشند و تاكنون سيستم‌های گوناگونی با ظرفيت‌های مختلف (۵/۰ وات تا چند مگاوات) در سراسر جهان نصب و راه اندازی شده‌است و با توجه به قابليت اطمينان و عملكرد اين سيستم‌ها هر روزه بر تعداد متقاضيان آنها افزوده می‌شود. از سری و موازی كردن سلولهای آفتابی می‌توان به جريان و ولتاژ قابل قبولی دست يافت. در نتيجه به يک مجموعه از سلولهای سری و موازی شده پنل[2] فتوولتائيک می‌گويند. امروزه اينگونه سلولها عموماً از ماده سيليسيم تهيه می‌شود و سيليسيم مورد نياز از شن و ماسه تهيه می‌شود

[1] -photovoltaic
[2] -panel

که در مناطق کویری کشور، به فراوانی یافت می‌گردد. بنابراین از نظر تأمین ماده اولیه این سلولها هیچگونه کمبودی در ایران وجود ندارد.

1-4- سيستم هاي حرارتي خورشيدي(روش گرما خورشيدي)

روش هاي گرما خورشيدي، با استفاده از انواع كلكتورها و روش هاي غيرفعال، براي جذب و جمع آوري انرژي حرارتي خورشيدي، طراحي شده و براي منظورهايي از قبيل گرم كردن آب، هوا، توليد بخار و سردكردن و... به كاربرده مي شده اند. سيستم هاي گرما خورشيدي را مي توان به ترتيب زير طبقه بندي كرد:

1-4-1 سيستم هاي آبگرم خورشيدي

1-4-2 سيستم هاي گرمايش و سرمايش ساختمان

1-4-3 سيستم هاي تهيه آب شيرين و آب مقطرگيري

1-4-4 سيستم هاي انتقال و پمپاژ

1-4-5 سيستم هاي توليد فضاي سبز(گلخانه ها)

1-4-6 سيستم هاي خشك كن و خوراك پز خورشيدي

1-4-7 سيستم هاي سردكننده خورشيدي

1-4-8 برج هاي نيرو و نيروگاه هاي خورشيدي كه وسيله جمع آوري حرارت خورشيدي، كلكتورها (گرم آورها) هستند.

1-5- سيستم هاي گرما خورشيدي[3]

تهيه آبگرم خورشيدي مصرفي ساختمان ها، از اقتصادي ترين روش هاي استفاده از انرژي خورشيدي است. بدون شك گرم كننده هاي ترموسيفوني بيشترين استفاده را در تهيه و طرح آب گرم كن هاي خورشيدي عهده دار هستند. ساده ترين سيستم آبگرم كن خورشيدي از يك گردآور تخت و يك مخزن ذخيره تشكيل شده كه آب يا سيال عامل، به سبب اختلاف درجه حرارت به طور طبيعي و با استفاده از عمل ترموسيفون در آن گردش مي كند. شرايط لازم در نصب اين آبگرم كن آن است كه قسمت فوقاني گردآور پايين تر از قسمت تحتاني مخزن ذخيره قرار گيرد و حداقل درجه انحراف گردآورد نسبت به سطح افق تحقق جريان ترموسيفون، در حدود 20 درجه رو به جنوب ضروري است. به منظور جلوگيري از تلفات حرارتي گردآورد لوله هاي هادي كاملاً عايق بندي مي‌شوند. يک لوله عايق شده قسمت پايين مخزن را به هدر پايين گردآور متصل كرده و لوله ديگر نيز هدر بالايي را به قسمت فوقاني مخزن وصل مي كند. آب سرد تغذيه كننده از قسمت پايين به مخزن ذخيره هدايت شده و آب گرم مصرفي نيز از بالاترين نقطه مخزن به طرف شيرهاي مصرف لوله كشي مي‌شود. به علت بسته بودن سيستم و جلوگيري از خطر انبساط حرارتي سيال، وجود يک مخزن انبساط و يا لوله انبساطي كه به يک شير اطمينان مجهز باشد در سيستم هاي آبگرم كن خورشيدي ضروري است.

[3] -Thermal solar energy

1-6- سيستم هاي توليد قدرت و نيروگاه هاي خورشيدي

دستگاه هايي كه با استفاده از انرژي خورشيدي قادر به توليد انرژي مكانيكي باشند به نام موتور خورشيدي و يا پمپ خورشيدي ناميده مي‌شوند. ساده ترين و مهم ترين عملكرد يک موتور حرارتي خورشيدي، پمپ كردن آب بدون استفاده از ساير منابع انرژي شناخته شده است. از موتورهاي خورشيدي علاوه بر پمپاژ آب در روستاها، در رشته مخابرات، راديو تلويزيون و جهت ايجاد نيروي الكتريكي نيز مي توان استفاده كرد. در اين موتورها، همانند ساير موتورهاي حرارتي ديگر، سيال عامل در اثر جذب حرارت از خورشيد منبسط و تبخير شده و در اثر دفع حرارت منقبض و يا متراكم مي شود. از انبساط سيال استفاده شده و يک توربين و يا پمپ پيستوني يا سانتريفوژي به حركت در مي آيد.

در صورتي كه از انرژي مكانيكي ايجاد شده به صورت مستقيم استفاده نشده معمولاً آن را با استفاده از يک دينام يا ژنراتور، به انرژي الكتريكي تبديل مي‌كند. واضح است در اين حالت، براي ذخيره انرژي الكتريكي به باتري ذخيره نيز نياز خواهد بود كه هزينه آن را بايد به هزينه سيستم توليد الكتريسيته كه شامل يک سري گردآور متمركز كننده و يک موتور خورشيدي مي باشد، اضافه كنيم.

جهت توليد درجات حرارت خيلي بالا در موتورهاي خورشيدي، احتياج به سيستم متمركز كننده و تعقيب كننده خورشيدي خواهيم داشت كه بازدهي اين سيستم ها خيلي بالاست ولي در مقابل، پيچيدگي مكانيزم سيستم و مشكل استفاده از آن با هزينه بالاي آنها، از مشكلات اين سيستم ها محسوب مي شوند.

در مقايسه گردآورهاي استوانه اي متمركز كننده كه نيروي لازم جهت راه اندازي موتورهاي خورشيدي را دارا هستند، با بازدهي بسيار خوبي مي توانند در موتورها و پمپ هاي خورشيدي، كاربرد مناسب داشته باشند.

موتورهاي خورشيدي را به لحاظ سيال عامل، مي توان به دو نوع: موتورهاي خورشيدي و موتورهاي هواي گرم تقسيم بندي كرد كه هر يک داراي مزايا و معايبي هستند.

1-7- سيستم های متمركز كننده

سيستم هاي متمركز كننده سلول‌هاي خورشيدي [4] سيستم‌هايي هستند كه با استفاده از ادوات اپتيكي مثل لنزها و آينه‌هاي منحني مقدار زيادي از نور خورشيد را به يك منطقه كوچك از سلول خورشيدي براي توليد الكتريسته منعكس مي‌كنند، از آنجايي كه سلول‌هاي خورشيدي كوچك مورد نياز است در مقايسه با سلول‌هاي خورشيدي معمولي سيستم‌هاي متمركز كننده مي‌توانند در هزينه‌هاي سلول خورشيدي صرفه‌جويي كنند.

سيستم‌هاي متمركز كننده نيازمند هزينه‌هايي شامل ادوات اپتيكي مثل آينه‌ها، لنزها و تعقيب كننده‌هاي خورشيدي هستند. بنابراين امروزه بيشتر از سلول‌هاي خورشيدي معمولي استفاده مي‌شود.

تحقيق درباره‌ي سيستم‌هاي متمركز كننده سلول‌هاي خورشيدي از سال 1970 در آزمايشگاه ملي سانديادي كاليفرنيا شروع شده است و اولين سيستم متمركز كننده خورشيد مدرن در آنجا ساخته شده است اولين سيستم خطي [5] براي تمركز نقطه‌اي از

[4] -cpv
[5]- trough

لنزفرنسل[6] و از سلول خورشيدي سليكوني و يك سيستم تعقيب دو محوره و سيستم خنك كنندگي با آب بود و سيستم رامان ار اس [7] در سال‌هاي بعد از 1970 گسترش يافت كه از سلول هيبريد سيليكون و لنز شيشه‌اي‌فرسنل استفاده مي‌شد

1-8- موانع اصلي رقابت انرژي فتوولتاليك با منابع اصلي انرژي به صورت زير است:

1-8-1 بهره كمتر

1-8-2 چگالي انرژي توليد شده كمتر نسبت به محيط اشغال شده توسط فتوولتاتيك.

1-8-3 گران بودن مواد تشكيل دهنده و نياز به تنظيم داشتن فتوولتاتيك

كه مورد آخر وابسطه به شرايط آب و هوايي است در صورتي كه براي نكته آخر راه حل‌ها وابسطه به تكنولوژي‌هاي بيروني فتوولتاييک و طرح‌هايي درباره مديريت شبكه و توزيع پانل‌هاي خورشيدي هدف در تحقيقات فتوولتاييک است.

يك روش، جستجو كردن راهي براي بهبود بازده و كاهش هزينه‌ها، متمركز كننده‌هاي سلول خورشيدي است. متمركز كردن نور اجازه بازده بيشتر در تبديل نور به الكتريسيته در سلول‌هاي خورشيدي را مي‌دهد و همچنين اجازه جايگزيني‌هاي ارزان قيمت متمركز كننده نور به جاي مواد فتوولتاييك را مي‌دهد.

متاسفانه در كنار نقاط مثبت بعضي از محدوديت‌ها براي سيستم هاى متمركز كننده وجود دارد.

آشكارترين آنها ضرورت اينكه سلول خورشيد بايد بر روي يك تعقيب كننده خورشيدي قرار گيرد و فقط ظرفيت تبديل نور

[6]-acrylic fresnel
[7]- Raman Areces