



تعیین اندازه بهینه دهانه گیرنده محفظه‌ای کلکتور بشقابی خورشیدی با نرم‌افزار CATIA

مازیار فیض‌اله‌زاده^{۱*}، اسعد مدرس مطلق^۲، احمد بناکار^۳

۱-به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۳-استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران

ایمیل مکاتبه کننده: mazynas@gmail.com

چکیده

در این مقاله، تحلیل اپتیکی گیرنده ارائه شد. کارایی اپتیکی از طریق انتگرال‌گیری کارایی اپتیکی محلی هر نقطه انعکاسی در کل سطح انعکاسی بدست آمد. در نهایت تابعی تحلیلی برای تعیین کارایی اپتیکی بدست آمد. همچنین اثرات ضریب برخورد و شعاع دهانه در کارایی کلکتور بررسی گردید. نرم‌افزار CATIA بعنوان یک جایگزین برای روش ترسیم پرتو جهت بهینه‌سازی اپتیکی و تعیین اندازه مطلوب گیرنده محفظه‌ای استفاده گردید. نتایج نشان داد که بیشترین اندازه تصویر برای کلکتورهای با فواصل کانونی ۱، ۱/۲۵ و ۱/۵ متر به ترتیب برابر با ۱۹۵، ۱۲۵ و ۱۰۳ میلیمتر و در شعاع دهانه ۱/۵ متر کلکتور خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: کلکتور خورشیدی، گیرنده محفظه‌ای، کارایی اپتیکی، CATIA

مقدمه

دو چالش کاربرد موثر انرژی خورشیدی را می‌توان بصورت مقابل ارائه نمود: (۱) چگالی پایین انرژی خورشیدی برحسب وات بر متر مربع. (۲) تغییرات انرژی خورشیدی با توجه به موقعیت جغرافیایی و زمان. به همین علت ارزشیابی انرژی خورشیدی توسط شاخص‌های مقابل صورت می‌گیرد: (۱) چگالی توان خورشید یا میزان تشعشع. (۲) زاویه تابش نور خورشید. (۳) توزیع طیف نورانی. در هر حال حداکثر چگالی توان نور خورشید در سراسر کره زمین نمی‌تواند بیش از ۱۳۶۵ وات بر متر مربع باشد که به آن ثابت خورشیدی گفته می‌شود. از طرفی به علت جو زمین و گرد و غبار و ابر و سایر پارامترها، در بهترین شرایط فقط ۷۰ درصد نور تابشی به زمین می‌رسد و در نتیجه حداکثر انرژی خورشیدی در دسترس به حدود ۱۰۰۰ وات بر متر مربع کاهش می‌یابد (رفیعی، ۱۳۸۹).

با توجه به ظرفیت موجود، سیستم‌های مختلفی برای بهره‌برداری از این انرژی فراوان و رایگان توسعه یافته است. در حالت کلی دو نوع کلکتور خورشیدی وجود دارد: کلکتورهای غیر متمرکزکننده (ثابت) و کلکتورهای متمرکزکننده (Kalogirou, 2003). انواع مختلفی از این دو نوع کلکتور توسعه یافته و در بازار موجود می‌باشند. با این وجود تحقیقات متعددی در خصوص بهینه‌سازی بخش‌های مختلف کلکتورها، کاربردهای مختلف و تجاری‌سازی صورت



گرفته است. آنچه در کشاورزی تاکنون کاربرد گسترده‌تری داشته، استفاده از انرژی حرارتی خورشید و مربوط به استفاده از کلکتورهای مختلف در خصوص فرآوری محصول و عمدتاً خشک نمودن محصولات بوده و در این بین کلکتورهای صفحه تخت رایج‌تر می‌باشد. تولید حرارت از طرفی توسط متمرکزکننده‌های انرژی خورشیدی (Concentrating Solar Power - CSP) که با راندمان بیشتری کار می‌کنند نیز صورت می‌گیرد:

• کلکتور سهموی خطی (Parabolic Trough Collector)

• برج قدرت (Power Tower)

• کلکتور بشقابی (Dish Collector)

بشقاب‌های سهموی بطور گسترده‌ای برای متمرکز نمودن تابش خورشیدی و تبدیل آن به حرارت دما متوسط - بالا، شامل اجاق‌های خورشیدی (Badran et al., 2010)، تولید هیدروژن خورشیدی (Joshi et al., 2011; Furler et al., 2012) و سیستم بشقابی/استرلینگ برای اخذ الکتریسیته (Mancini et al., 2003; Mills, 2004) به کار می‌روند. از دیدگاه نظری کلکتور بشقابی روش مطلوبی برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی ارائه می‌نماید زیرا در این سامانه از آنجاییکه انرژی خورشیدی در یک نقطه متمرکز می‌گردد، دمای کار بسیار بالایی بدست می‌آید و به همین دلیل راندمان حرارتی افزایش یافته و می‌توان انرژی بیشتری را به کار تبدیل نمود. با یک کلکتور بشقابی که به خوبی طراحی شده باشد می‌توان حرارت‌های بالایی تولید نمود که حرارت بدست آمده را می‌توان ذخیره نمود و یا مستقیماً از آن استفاده نمود. راندمان این روش در مقایسه با دو روش دیگر بیشتر می‌باشد (رفیعی، ۱۳۸۹).

بشقاب‌های سهموی چند مزیت عمده دارند: (Kalogirou et al., 1994).

۱. سیال عامل می‌تواند به دماهای بالاتری در مقایسه با کلکتورهای صفحه تخت با سطح دریافتی یکسان دست یابد و این به معنی کارایی ترمودینامیکی بالاتر این سیستم‌ها می‌باشد.
۲. با کلکتور متمرکز کننده می‌توان به یک انطباق ترمودینامیکی بین سطح گرمایی و وظیفه مورد نظر رسید. وظیفه مورد نظر می‌تواند وسایل ترمیونیک، ترمودینامیک و یا سایر تجهیزات دما بالا باشد.
۳. کارایی گرمایی به علت سطح اتلاف حرارتی کوچک گیرنده بیشتر می‌باشد.
۴. سطوح انعکاسی به مواد کمتری نیاز دارد و بنابراین ساده‌تر از کلکتورهای صفحه تخت می‌باشد. در کلکتور متمرکز کننده هزینه واحد سطح کمتر می‌باشد.
۵. با توجه به سطح تماس کوچک در مقایسه با انرژی خورشیدی ورودی هزینه‌های استفاده از سطوح انتخابی و استفاده از خلا برای افزایش راندمان کلکتور کمتر خواهد شد.
۶. به دلیل واقع شدن به سمت خورشید بیشترین کارایی را در بین همه کلکتورها دارند.
۷. دارای ضرایب تمرکزی از ۶۰۰ تا ۲۰۰۰ می‌باشند، بنابراین برای سیستم‌های تبدیل و جذب انرژی گرمایی، کارایی بالایی دارند.



۸. واحدهای کلکتور و دریافت کننده مجزا دارند که می‌توانند بطور مستقل نسبت به هم یا بعنوان بخشی از یک سیستم بزرگتر از بشقاب‌ها عمل کنند.

دریافت کننده پس از جذب اشعه خورشیدی آن را به انرژی گرمایی در یک سیال کاری تبدیل می‌کند. انرژی گرمایی نیز می‌تواند از طریق یک موتور-ژنراتور که به دریافت کننده متصل است، به انرژی الکتریکی تبدیل گردد و یا از طریق لوله به سیستم مرکزی تبدیل انرژی منتقل شود. برخی از سیستم‌های بشقابی سهموی می‌توانند دماها را به بیش از ۱۵۰۰ درجه سیلیسیوس نیز برسانند زیرا دریافت کننده‌ها در سرتاسر میدان کلکتور پخش شده‌اند (آقانجفی و دهقانی، ۱۳۸۶). کلکتور بشقاب سهموی خورشیدی بطور خلاصه مشتمل بر ۳ بخش می‌باشد: متمرکز کننده، جاذب/گیرنده محفظه‌ای و ساختار حامل (نگهدارنده) همراه با تدابیر رهگیری. کارایی کلکتور بشقابی خورشیدی وابسته به دقت و قابلیت اطمینان این بخش‌ها می‌باشد. توزیع شار در ناحیه کانون متمرکز کننده‌های بشقاب خورشیدی نقش کلیدی در طراحی ساختار گیرنده محفظه‌ای ایفا می‌کند. این کار می‌تواند از طریق تحلیل اپتیکی یا اندازه گیری مستقیم پیش‌بینی گردد (آقانجفی و دهقانی، ۱۳۸۶).

دو روش برای تحلیل کارایی نوری متمرکزکننده بشقابی خورشیدی وجود دارد. روش ردیابی پرتو (ترسیم اشعه) یک روش میکروسکوپی است که در حالات زیادی می‌تواند به کار رود و مقادیر زیادی اطلاعات عددی را فراهم نماید. کدبندی آن راحت بوده و توسط تعداد زیادی از محققین توسعه یافته است (Daly, 1979; Johnston, 1998; Shuai et al., 2008)، اما روابط تابعی را نامفهوم نموده و زمان‌بر است (Bendt and Rabl, 1981).

روش دیگر مربوط به محاسبه شار تابشی در سطح گیرنده در ابتدای کار می‌باشد، سپس انرژی کل برخوردی از طریق یکپارچه‌سازی بدست می‌آید. توابع زیادی برای پیش‌بینی شار در گیرنده پیشنهاد شده است. اولین تابع برای محاسبه شار تابشی گیرنده خورشیدی توسط هوکو و می (Hukuo and Mii, 1957) براساس این فرض که منبع تابش خورشیدی یک قرص یکنواخت است ارائه شد. توابع دیگری توسط هیسفر و همکاران (Hiesfer et al., 1957)، اُنیل و هادسون (O'Neill and Hudson 1978) با فرض مشابه پیشنهاد گردید. این فرض متفاوت از قرص واقعی خورشیدی است که به علت تاثیر لبه‌های تاریک خورشیدی می‌باشد. ترومب توزیع روشنایی قرص خورشیدی را در نظر گرفت، اما از خطاهای اپتیکی صرف نظر نمود (Trombe and Vinh, 1973). بیگز و ویتیتو توزیع بیضوی از خطای اپتیکی جهت پیشنهاد یک تابع کلی برای متمرکزکننده خورشیدی در نظر گرفتند که در برنامه Helios به کار رفته بود (Biggs and Vittitoe 1979). این فرض در برنامه CIRCE توسعه بیشتری یافته است تا عملکرد کلکتورهای متمرکزکننده مختلف بشقابی خورشیدی را تحلیل نماید (Ratzel and Boughton, 1987). به هر حال این توابع برای محاسبه شار تابشی در سطح گیرنده برای یکپارچه‌سازی تحلیلی خیلی پیچیده می‌باشند و بنابراین روش عددی معمولاً ترجیح داده می‌شود. براساس تقریب روشنایی نرمال، بندت و رابل یک تابع پذیرش زاویه‌ای برای هر دو نوع گیرنده کروی و تخت جهت تعیین کارایی اپتیکی ارائه نمودند (Bendt and Rabl, 1981). استین و هاریگان یک معادله متفاوت را گزارش نمودند که آنهم براساس تقریب گاوس می‌باشد (Stine and Harrigan 1985). به هر حال در



این تحقیقات تاثیر زاویه برخورد بر ضریب انعکاس آینه یا ضریب جذب گیرنده نادیده گرفته شده است. آزمایشات قبلی چین نشان می‌دهد که ضریب انعکاسی آینه مرتبط با زاویه برخورد می‌باشد (Chin 1978). کار هلگسون نشان می‌دهد که ضریب عبور شیشه خورشیدی نه تنها با ماده آن بلکه همچنین توسط زاویه برخورد مشخص می‌گردد (Helgesson et al., 2000). جتر سابقاً یک نتیجه متفاوت در مطالعه عملکرد سیستم سهموی خطی در حالیکه اگر ضریب عبور پوشش شیشه‌ای گیرنده و ضریب جذب گیرنده وابسته به زاویه برخورد باشد، برای جایگذاری پارامترهای ثابت به کار برده است (Jeter, 1987). بنابراین تاثیر زاویه برخورد بر عملکرد سیستم بشقاب خورشیدی باید بررسی گردد.

از منظر بهینه‌سازی سیستم بشقابی خورشیدی، جافه روشی را براساس معادله تحلیلی جهت محاسبه عملکرد اپتیکی بشقاب خورشیدی پیشنهاد نمود (Jaffe, 1983). اما معادله او با نتایج عملی به خوبی منطبق نبود (FRASER, 2008). در تحقیق هوآ ایرویی و همکاران، عملکرد اپتیکی بشقاب خورشیدی و گیرنده محفظه‌ای با دریچه شیشه‌ای و یا بدون آن با بکارگیری روشی براساس کارایی هر نقطه انعکاسی که قبلاً ارائه شده بود (Huang et al., 2012) با لحاظ تاثیرات زاویه برخورد، خطای اپتیکی و اتلاف حرارتی برای طرح‌های مختلف مطالعه شد (Huairui et al., 2013). تحلیل اپتیکی می‌تواند با روش تحلیلی (Wen et al., 1980; Sharma et al., 1983; Jeter, 1986) و یا تکنیک ترسیم پرتو (Schubnell, 1992; Jones and Wang, 1995; Johnston, 1998; Shuai et al., 2007) انجام شود. محققین متعددی توزیع شار را برای ساختارهای مختلف گیرنده‌ها بررسی نموده‌اند. در این خصوص ون و همکاران (Wen et al., 1980) روشهای تحلیلی مختلفی را برای محاسبه توزیع شار در صفحه کانونی یک متمرکز کننده خورشیدی سهمی‌گون مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که نوع روش انتخابی وابسته به رشد و تکامل طراحی و داده‌های در دسترس می‌باشد.

در این مقاله علاوه بر بررسی کارایی هر نقطه انعکاسی، با استفاده از نرم افزار CATIA مقدار اندازه تصویر کانونی در یک کلکتور منحصر به فرد، بدست آمده و در نهایت اندازه بهینه برای انواع مختلفی از کلکتورها با شعاع دهانه و فاصله کانونی بدست خواهد آمد.

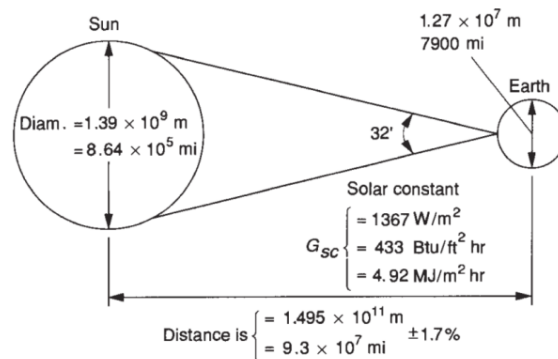
مواد و روش‌ها

خورشید یک منبع نقطه‌ای از نور نیست و مقدار جزئی غیر موازی بودن پرتو خورشیدی و همچنین نواقص سیستم کلکتور می‌تواند در کاهش تابش خورشیدی برخوردی با گیرنده دخالت داشته باشد (Stine and Harrigan 1985). بهبود کارایی نوری اولین گام جهت بهینه‌سازی متمرکز کننده خورشیدی بشقابی سهموی می‌باشد (Huairui et al., 2013).

شکل ۱ نشان دهنده هندسه رابطه خورشید-زمین است. خروج از مرکز مدار زمین به گونه ای است که فاصله بین زمین و خورشید ۱/۷٪ تغییر می‌کند. در فاصله‌ای با فاصله نجومی، یعنی $10^{11} \times 1/495$ متر، که فاصله متوسط مرکز



زمین از خورشید است، خورشید با زاویه ۳۲ دقیقه (۰/۵۳۳ درجه) نسبت به زمین بزرگ میشود. تابش منتشر شده توسط خورشید و رابطه فضایی آن با زمین، منجر به یک شدت تقریباً ثابتی از تابش خورشیدی در خارج از جو زمین میگردد. ثابت خورشیدی، G_{sc} ، انرژی است که از خورشید در واحد زمان دریافت میشود. سطحی که این انرژی را دریافت می‌کند مساحتی واحد دارد که عمود بر جهت انتشار تابش در فاصله‌ای متوسط بین زمین و خورشید در خارج از جو می‌باشد (Duffie and Beckman, 2013).

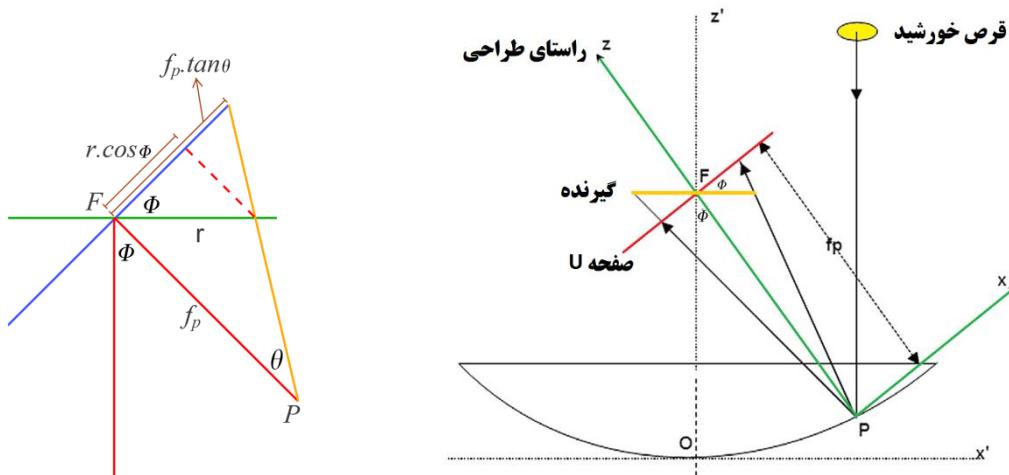


شکل ۱: تصویر شماتیک هندسه مربوط به خورشید-زمین

برای یک نقطه انعکاسی P بر روی بشقاب، توزیع نرمال تابش بازتاب شده بصورت $B(\theta)$ در نظر گرفته می‌شود. همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده پرتو مرکزی بعنوان محور Z و صفحه U عمود بر محور Z و بعنوان صفحه مبنا در نظر گرفته شده است. اگر ضریب انعکاس کلکتور ρ ، ضریب انتقال دریچه شیشه‌ای τ و ضریب جذب گیرنده α باشد، آنگاه عملکرد اپتیکی برای تابش منعکس شده از نقطه P بصورت زیر فرض می‌گردد (Huang et al., 2012):

$$\eta_p = \rho \tau \alpha \times B(\theta) \theta d\theta d\phi \quad 1$$

که در آن D کل محدوده‌ای است که توسط اندازه گیرنده مشخص شده است. بر روی صفحه مبنا U ، محدوده کلی D بصورت یک سطح بیضوی است که در واقع تصویر گیرنده می‌باشد. بیضی دارای یک نیم محور بزرگ r و یک نیم محور کوچک $r \cos \phi$ است که ϕ زاویه لبه یا دهانه (rim angle) مربوط به نقطه P می‌باشد (Bendt and Rabl, 1981).



شکل ۲: تصویر پرتو انعکاسی از نقطه P و روابط هندسی

با در نظر گرفتن پرتوهایی با زاویه شعاعی یکسان θ ، یک حلقه مدور با شعاع $f_p(\tan\theta)$ روی صفحه مبنای U ایجاد خواهد شد که مقدار f_p بیانگر فاصله بین F و P می‌باشد و طبق تعریف معادله سهمی، برابر مقدار زیر می‌باشد:

$$f_p = f + \frac{x^2}{4f} = \frac{4f^2 + x^2}{4f} = \frac{A^2}{4f} = f \frac{A^2}{4f^2} = \frac{f}{\left(\frac{2f}{A}\right)^2} = \frac{f}{\cos^2 \frac{\phi}{2}} \quad ۲$$

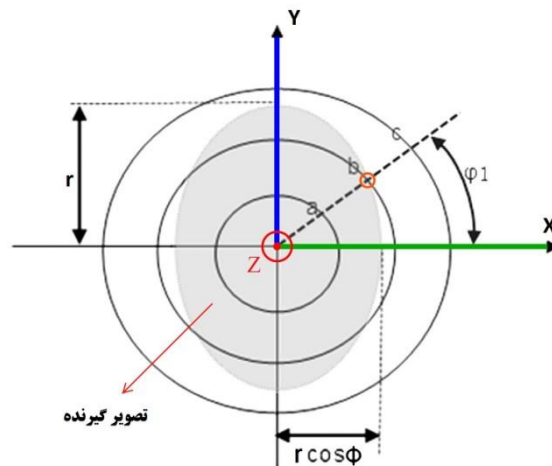
طبق رابطه هندسی بین بیضی و حلقه مدور، سه نوع وضعیت برخوردی پرتوها بوجود می‌آید (شکل ۳).

در حالت (a) شعاع حلقه مدور کمتر از محور کوچک بیضی می‌باشد، یعنی $\theta \leq \tan^{-1} \left[\frac{r \cos \phi}{f_p} \right]$ که با جایگذاری f_p به عبارتی $\theta \leq \tan^{-1} \left[\frac{r}{f} \cos \phi \cos^2 \frac{\phi}{2} \right]$ و کل مخروط نوری با گیرنده برخورد می‌کند.

در حالت (b) شعاع حلقه مدور بیشتر از قطر کوچک و کمتر از قطر بزرگ بیضی می‌باشد و بخشی از پرتو با گیرنده برخورد می‌کند؛ یعنی $\tan^{-1} \left[\frac{r}{f_p} \right] < \theta \leq \tan^{-1} \left[\frac{r \cos \phi}{f_p} \right]$ یا به عبارتی $\tan^{-1} \left[\frac{r}{f} \cos^2 \frac{\phi}{2} \right] < \theta \leq \tan^{-1} \left[\frac{r \cos \phi}{f} \cos^2 \frac{\phi}{2} \right]$. زاویه مرکزی بخش برخوردی برابر است با $4\left(\frac{\pi}{2} - \phi_1\right)$ که ϕ_1 از طریق نقطه برخورد حلقه و بیضی بدست آمده است (Bendt and Rabl, 1981).

$$\phi_1 = \arccos \left[\cot \phi \sqrt{\frac{\cos^2 \frac{\phi}{2} \left(\frac{r}{f}\right)^2}{\theta^2} - 1} \right] \quad ۳$$

در حالت (c) شعاع حلقه مدور بیشتر از قطر بزرگ بیضی است یعنی $\theta > \tan^{-1} \left[\frac{r}{f_p} \right]$ یا به عبارتی $\theta > \tan^{-1} \left[\frac{r}{f} \cos^2 \frac{\phi}{2} \right]$ و هیچکدام از پرتوهای موجود در حلقه به محفظه برخورد نمی‌کنند.



شکل ۳: سه حالت مختلف پرتو منعکس شده به سمت گیرنده

در نهایت معادله کلی (۱) را می‌توان بصورت زیر ساده‌سازی نمود (Huang et al., 2012):

$$\eta_p = \rho\tau\alpha \left[\int_0^{\theta_1} 2\pi B(\theta)\theta d\theta \right] + \int_{\theta_1}^{\theta_2} 4\text{arc sin} \left[\cot \phi \sqrt{\frac{\cos^2 \frac{\phi}{2} \left(\frac{r}{f}\right)^2}{\theta^2} - 1} \right] B(\theta)\theta d\theta \quad ۴$$

که در آن به ترتیب داریم: $\theta_2 = \tan^{-1} \left[\frac{r}{f} \cos^2 \frac{\phi}{2} \right]$ و $\theta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{r}{f} \cos \phi \right]$. با توجه به تقارن دورانی سهمی‌گون، عملکرد سیستم را می‌توان با انتگرال‌گیری معادله (۴) برای کل متمرکزکننده بدست آورد:

$$\eta_{opt} = \int_0^{R_{dish}} \frac{\eta_p 2\pi R}{S} dR = \frac{2}{\tan^2 \frac{\phi_{rim}}{2}} \int_0^{\tan \frac{\phi_{rim}}{2}} \eta_p w dw \quad ۵$$

$$= \frac{2}{\tan^2 \frac{\phi_{rim}}{2}} \int_0^{\tan \frac{\phi_{rim}}{2}} \rho\tau\alpha \left[\int_0^{\theta_1} 2\pi B(\theta)\theta d\theta \right] w dw + \int_{\theta_1}^{\theta_2} 4\text{arc sin} \left[\cot \phi \sqrt{\frac{\cos^2 \frac{\phi}{2} \left(\frac{r}{f}\right)^2}{2\theta^2} - 1} \right] B(\theta)\theta d\theta$$

که در آن R فاصله شعاعی نقطه انعکاسی P از محور اپتیکی بشقاب می‌باشد و $R=2f \tan(\phi/2)$ می‌باشد. متغیر انتگرال عبارت $w=\tan(\phi/2)$ بوده و از سایه بوجود آمده توسط گیرنده صرف نظر شده است (Huang et al., 2012). روشهای دیگری نیز برای تعیین عملکرد اپتیکی توسط محققین دیگری همچون کالوگرو (Kalogirou, 2004) و پالاوراس و باکوس (Palavras and Bakos, 2006) ارائه شده است.

ضریب برخورد

برای یک متمرکز کننده واقعی خورشیدی، توزیع روشنایی منبع موثر، آمیخته‌ای از توزیع روشنایی برخوردی و توزیع خطای اپتیکی است. دو نوع خطا وجود دارد؛ خطاهای تصادفی (همچون خطای شیب (slope) سطوح) و خطاهای سیستمیک (همچون ردیابی، تنظیم محوری، کج شدن و عیب ساختاری) (Yellowhair et al., 2010).



خطاهای تصادفی در ساختاری که به خوبی طراحی شده باشد، غالب می‌باشند. در حالیکه خطاهای سیستمیک به علت رهگیری و تنظیم خوب، نسبتاً ناچیز می‌باشد. در چنین حالتی خطاهای اپتیکی را می‌توان تقریباً بصورت گاوسی (نرمال) فرض نمود که توسط اطلاعات محدود در دسترس اثبات شده است (Bendt and Rabl, 1981). حتی اگر توزیع برای خطاهای اپتیکی خاص، کاملاً گاوسی نباشد، قضیه حد مرکزی آمار (central limit theorem of statistics) اشاره دارد که توزیعی که از درهم آمیختگی آنها نتیجه می‌شود را می‌توان نزدیک به حالت گاوس در نظر گرفت به شرطی که یک مولفه غیر گاوسی منفرد بر توزیع غالب نشده باشد. وقتیکه انحراف معیار خطاهای اپتیکی خیلی بزرگتر از عرض زاویه‌ای قرص خورشیدی (تقریباً ۲/۵۱ میلی رادیان) باشد (Collado, 2010) بعنوان مثال با فرض خطای شیب ۴ mrad برای یک متمرکزکننده خورشیدی کاربردی [۳۷]، خطای اپتیکی ممکن است بیشتر از ۸ mrad باشد. در این حالت مدل گاوس تقریبی مفید می‌باشد و توزیع منبع موثر توسط بندت و رابل (Bendt and Rabl, 1981) ارائه می‌گردد:

$$B(\theta) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{\theta^2}{2\sigma^2}} \quad ۶$$

$$\sigma^2 = \sigma_{sun}^2 + \sigma_{opt}^2 \quad ۷$$

$$\sigma_{opt}^2 = 4\sigma_{slope}^2 + \sigma_{specular}^2 + \sigma_{tracking}^2 + \dots \quad ۸$$

که در آن σ خطای اپتیکی (میلی رادیان) می‌باشد. مدل گاوس برای تحلیل اپتیکی بسیار ساده می‌باشد و بویژه برای سیستمی با خطای اپتیکی بزرگ مناسب است. زمانیکه خطای اپتیکی بیشتر از ۱۰ mrad باشد، انحراف کمتر از ۱٪ خواهد بود (Biggs and Vittitoe 1979).

با فرض اینکه ضریب بازتابش سطح آینه و ضریب انتقال دریچه شیشه‌ای در گیرنده یک باشد، کارایی اپتیکی معادل با ضریب برخورد می‌باشد. با اعمال روابط ۶ و ۷ در معادله ۴، ضریب برخورد محلی برای منابع موثر گاوسی نقطه انعکاسی P بصورت ذیل (Huang et al., 2012) بدست می‌آید:

$$\gamma_p = 1 - \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2} \cos^2 \phi \cos^2 \frac{\phi}{2}\right) + 4 \int_{\theta_1}^{\theta_2} \arcsin \left[\cot \phi \sqrt{\frac{\cos^2 \frac{\phi}{2} \left(\frac{r}{f}\right)^2}{2\theta^2} - 1} \right] \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{\theta^2}{2\sigma^2}} \theta d\theta \quad ۹$$

معادله ۹ نشان می‌دهد که ضریب برخورد محلی γ توسط نسبت $r/f/\sigma$ و زاویه لبه نقطه تعیین می‌گردد. تغییرات ضریب برخورد محلی نسبت به $r/f/\sigma$ و زاویه لبه توسط روش عددی قابل حل می‌باشد. برای تسریع در محاسبه، یک تقریب چند جزئی برای γ_p وابسته به زاویه لبه در مقادیر مختلف $r/f/\sigma$ توسط هوآ ایرویی و همکاران بکار رفت (Huairui et al., 2013):



$$\gamma_p = 1 \quad \tan \frac{\phi}{2} \leq v_1$$

$$\gamma_p = \sum_{i=1}^n a_i \times \left(\tan \frac{\phi}{2}\right)^i \quad \tan \frac{\phi}{2} > v_1$$

۱۰

ضرایب a_i و v_1 وابسته به $r/f/\sigma$ می‌باشد. نتایج حقیقی و شبیه‌سازی از بسط چهار جمله‌ای نشان می‌دهد که ضریب برخورد یک نقطه بازتابش با زاویه لبه بزرگتر و قتیکه $r/f/\sigma$ مقدار مشابهی باشد، کمتر است یعنی ضریب برخورد نقطه بازتابش نزدیک محیط بشقاب کمتر از نقاط نزدیک به راس خواهد بود. بعلاوه یک $r/f/\sigma$ بزرگتر ضریب برخورد بالاتری را در زاویه لبه یکسان ایجاد می‌کند. یک تقریب چهارجمله‌ای و قتیکه انحراف کمتر از ۰/۱ درصد است در بیشتر حالات دارای دقت کافی می‌باشد. با اعمال رابطه ۱۰ در رابطه ۵ ضریب برخورد سیستم بدست می‌آید:

$$\gamma_{system} = \left[v_1^2 + \sum_{i=0}^4 \frac{2a_i w^{i+2}}{i+2} \right]_{\substack{w = \tan \frac{\phi_{rim}}{2} \\ w = v_1}} / \tan^2 \frac{\phi_{rim}}{2} \quad 11$$

بندت و رابل از عبارت $\sigma^2 C$ برای تعیین ضریب برخورد سیستم استفاده نمودند (Bendt and Rabl, 1981) که C نسبت تمرکز هندسی می‌باشد:

$$\sigma^2 C = \frac{4 \tan^2 \frac{\phi_{rim}}{2}}{\frac{r^2}{f^2 \sigma^2}} \quad 12$$

داده‌های عملی در مورد بشقاب خورشیدی کاربردی، ناقص می‌باشد. بعنوان مثال ضریب برخورد اندازه‌گیری شده و گزارش شده در روزهای آفتابی برای (Schlaich-Bergermann und Partner Euro Dish) SBP و (Stirling Energy) SES (Systems' Dish-Stirling System) به ترتیب ۰/۹۲۵ و ۰/۹۶۸ می‌باشد (Mancini et al., 2003). با استفاده از اطلاعات r/f و زاویه دهانه، خطاهای اپتیکی کل مربوطه به ترتیب برای دو بشقاب مذکور به ترتیب ۵/۱ و ۳/۷۵ میلی رادیان بدست آمد. نتایج بدست آمده برای SES نسبتاً بیشتر از داده‌های عملی می‌باشد (Andraka, 2008). علت احتمالی این می‌باشد که مدل گاوسی برای حالاتی که عیب اپتیکی کمتر از ۵ میلی رادیان می‌باشد مناسب نمی‌باشد. دلیل دیگر این می‌باشد که سطح انعکاسی سیستم SES یک سطح تکه تکه تقریباً سهموی شکل می‌باشد.

به هر حال با وجود یک سازه مناسب و سطوح انعکاسی با کیفیت بالا سیستم‌های بشقابی ممکن است دارای خطای کلی نظیر اندازه خورشید برخوردی باشد. در این حالت درهم آمیختگی توزیع روشنایی برخوردی تابش خورشیدی و توزیع خطای اپتیکی جهت تعیین توزیع تابش موثر نیاز می‌باشد: یک تابع چند جمله‌ای برای شبیه‌سازی توزیع تابش موثر به جای مدل گاوسی می‌تواند به کار گرفته شود. همچنین الگوریتم یکپارچه‌سازی برای حل کارایی اپتیکی سیستم نیازمند زمان محاسبه بیشتری می‌باشد.



اثرات زاویه برخورد

برای یک گیرنده حجمی، پرتوهایی که از دریچه شفاف عبور می‌کند توسط ماده واسط (عامل) جذب می‌شود. ضریب انتقال دریچه تاثیر زیادی بر عملکرد سیستم دارد. تحقیق هلگسون نشان می‌دهد که ضریب انتقال شیشه خورشیدی نه فقط توسط ماده بلکه زاویه برخورد نیز تعیین می‌گردد (Helgesson et al., 2000). زاویه برخورد بزرگتر ضریب انتقال کمتری را فراهم می‌کند، بخصوص زمانی که زاویه برخورد بزرگتر از ۴۰ درجه باشد. فرمول تعیین ضریب انتقال دریچه پیشنهادی توسط هلگسون بصورت زیر ارائه شده است:

$$\tau = \tau_0 \left[1 - b \left(\frac{1}{\cos \phi} - 1 \right) \right] \quad ۱۳$$

که $\tau_0 = 0.9458$ و $b = 0.1224$ می‌باشد.

تحقیقات نشان می‌دهد که ضریب انتقال دریچه با افزایش زاویه برخورد کاهش می‌یابد. اگر چه ضریب انعکاس سطح آینه نیز تغییر می‌کند، اما این تغییرات مطمئناً کم می‌باشد زیرا زاویه برخورد پرتو انعکاسی نصف زاویه دهانه می‌باشد. بنابراین ضریب تابش ثابت فرض می‌شود.

با اعمال روابط ۱۰ و ۱۳ بر معادله ۵ کارایی اپتیکی سیستم براساس منبع موثر گاوسی حاصل می‌گردد:

$$\eta_{opt} = \frac{2\rho}{\tan^2 \frac{\phi_{rim}}{2}} \int \tau(w) \gamma_P w dw \quad ۱۴$$

$$\eta_{opt} = \frac{2\rho\tau_0}{\tan^2 \frac{\phi_{rim}}{2}} \left\{ (0.5 + b)v_1^2 + b \ln(1 - v_1^2) + [z_1 + 2bz_2 - bz_3] \Big|_{w=v_1}^{w=\tan \phi_{rim}/2} \right\} \quad ۱۵$$

که $w = \tan(\phi/2)$ و

$$z_1 = \sum_{i=0}^4 a_i \frac{1}{i+2} w^{i+2}$$

$$z_2 = (a_1 + a_3)w + \frac{(a_0 + a_2 + a_4)w^2}{2} + \frac{(a_1 + a_3)w^3}{3} + \frac{(a_2 + a_4)w^4}{4} + \frac{(a_3)w^5}{5} + \frac{(a_4)w^6}{6}$$

$$z_3 = (a_0 + a_2 + a_4)(-\ln(1 - w^2)) + (a_1 + a_3)(\ln(1 + w)/(1 - w))$$

نتایج هوا آبرویی و همکاران (Huairui et al., 2013) بیان می‌دارد که (۱) عملکرد اپتیکی با افزایش $(r/f)/\sigma$ افزایش می‌یابد اما زمانی که $(r/f)/\sigma$ به اندازه کافی زیاد شود، کارایی به حداکثر خود می‌رشد و ثابت می‌ماند؛ (۲) اختلاف آشکاری بین دو مدل انتقال، بخصوص برای طرح با زاویه لبه بزرگتر وجود دارد. بعنوان مثال حداکثر کارایی اپتیکی برای زاویه لبه ۶۰ درجه زمانی که خطای اپتیکی ۵ میلی رادیان باشد با طرح انتقال متغیر حدود ۸ درصد کمتر از طرح ثابت می‌باشد. با اعمال طرح انتقال ثابت، سیستم دارای حداکثر کارایی اپتیکی مشابه در زوایای مختلف لبه می‌باشد در حالیکه با استفاده از مدل متغیر، سیستم با زاویه لبه بزرگتر دارای حد کارایی بالای کمتری می‌باشد. کار قبلی جتر در مورد سهموی خطی دارای نتایج مشابهی بود (Jeter, 1987).

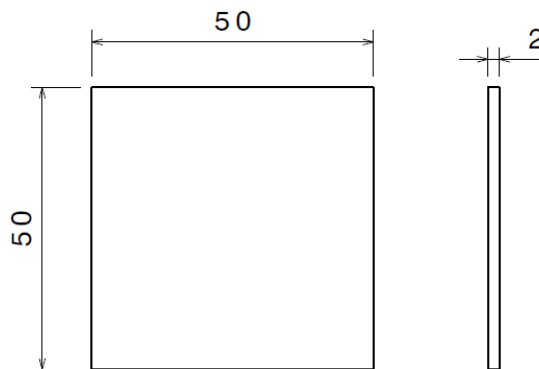


کارایی اپتیکی وابسته به f/λ و خطای اپتیکی، براساس توزیع تابش موثر چند جمله‌ای و مدل انتقال وابسته به زاویه می‌باشد. نتایج دارای روند مشابهی با مدل گاوسی می‌باشد که خطای اپتیکی کوچک و f/λ بزرگ کارایی اپتیکی مطلوب را سبب می‌شود. به هر حال، طرح با زاویه لبه کوچک نیازمند یک f/λ کوچک جهت دستیابی به حد بالای کارایی می‌باشد.

طبق معادله Fresnel بهترین انتقال در برخورد قائم رخ می‌دهد درحالی‌که بازتابش قویتر و انتقال کمتر در برخورد سطحی اتفاق می‌افتد. بعلاوه پرتویی با زاویه تابش بزرگ، موقعی‌که از دریچه شیشه‌ای گیرنده عبور می‌کند دارای مسیر طویل‌تری در شیشه است که دارای میزان جذب بیشتر در مقابل انتقال کمتر است، بنابراین کارایی اپتیکی سیستم بشقابی خورشیدی در صورتیکه تاثیرات تابش خورشیدی بر انتقال دریچه شیشه‌ای در گیرنده مورد توجه قرار گیرد، کاهش خواهد یافت.

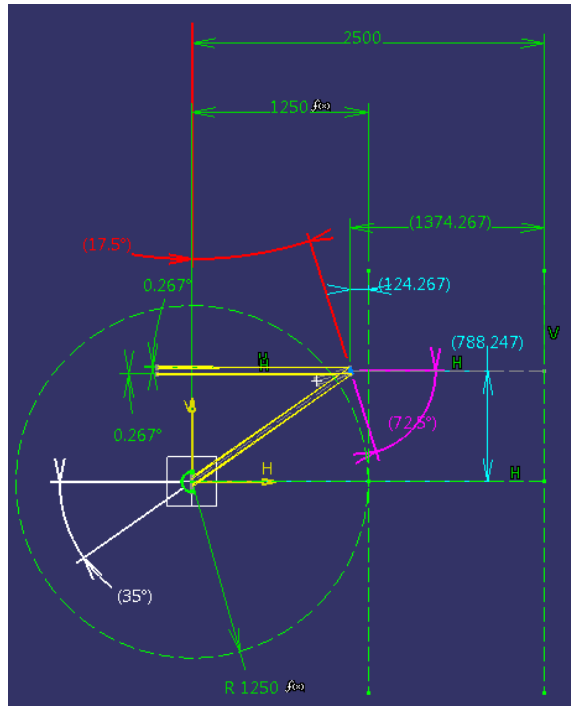
تعیین ابعاد گیرنده محفظه‌ای

با توجه به اینکه در تحقیقات مختلف داخلی و خارجی تاکنون تست بیش از سه واحد متمرکز کننده در یک تحقیق مشاهده نشده و عملاً تعیین پارامترهای متمرکزکننده‌ها مشکل می‌باشد، در این مقاله با استفاده از نرم‌افزار CATIA مدلی از پرتوی تابشی از خورشید با زاویه تابش 32° دقیقه بر روی سطح یک کلکتور با سطوح تکه تکه شبیه سازی و مقادیر مختلف فاصله کانونی و شعاع دهانه برای تعیین مقدار بهینه اندازه دهانه گیرنده بدست آمد. در این تحقیق به جای یک سطح سهموی کامل از سطوح آینه ای کوچک به ابعاد $2 \times 50 \times 50$ میلی‌متر استفاده شده است و براساس آن پرتوی انعکاسی از روی این آینه در محل کانون سهمی بدست می‌آید (شکل ۴).



شکل ۴: ابعاد سطح انعکاسی

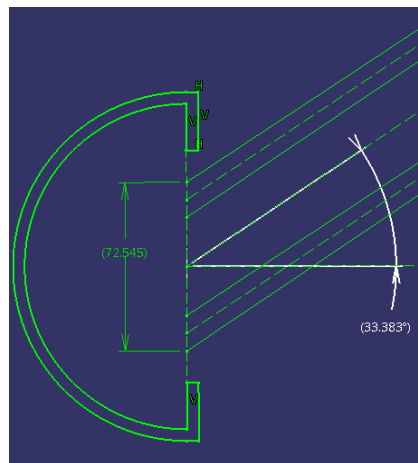
برای شبیه‌سازی فرآیند تابش و بازتابش پرتو خورشیدی از محیط Sketcher نرم‌افزار استفاده شد و پارامترهای لازمه اعمال شد (شکل ۵).



شکل ۵: شبیه‌سازی پرتو انعکاسی در CATIA

مزیت روش مذکور را می‌توان در توانایی برای شبیه‌سازی هر نوع کلکتور بشقابی دانست، چرا که می‌توان به راحتی شعاع دهانه بشقاب، فاصله کانونی و عمق بشقاب مختلف را در آن ایجاد نمود. برای این منظور در تحقیق حاضر سه فاصله کانونی ۱، ۱/۲۵ و ۱/۵ متر مورد بررسی قرار گرفت و تصویر کانونی ایجاد شده در این سه حالت با در نظر گرفتن شعاع دهانه از صفر تا ۱/۵ متر بدست آمد.

تصویر یک نمونه از تست‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. در این شکل اندازه تصویر کانونی برابر با مقدار ۷۲/۵ میلی‌متر برای پرتو انعکاسی در زاویه دهانه ۳۳ درجه نمایش داده شده است. همین روند برای تمام زوایا و در سه اندازه مختلف کانونی بدست آمد.

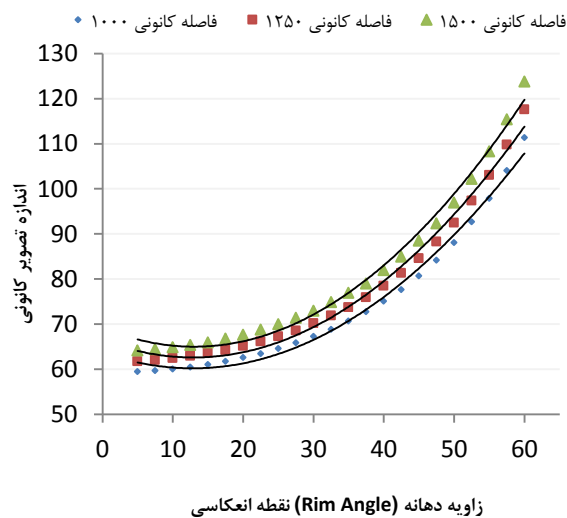


شکل ۶: تصویر بوجود آمده در صفحه گیرنده در زاویه مشخص دهانه برای کلکتوری با فاصله کانونی ۱/۲۵ متر



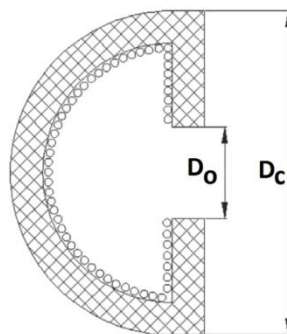
نتایج و بحث

برای سه نوع کلکتور، داده‌های بدست آمده ثبت شده و نمودار تغییرات اندازه تصویر در صفحه گیرنده در نرم افزار EXCEL بدست آمد (شکل ۷). همانگونه که در شکل نیز مشاهده می‌شود، در یک کلکتور با فاصله کانونی یکسان با افزایش زاویه دهانه در تمام موارد اندازه تصویر کانونی بزرگتر می‌گردد (Kalogirou, 2003 ؛ Kalogirou et al., 1994 ؛ Palavras and Bakos, 2006). آقاجفی و دهقانی، ۱۳۸۶؛ Daly, 1979 ؛ Huang et al., 2012 ؛ Kalogirou, 2004). همچنین هر چه فاصله کانونی بیشتر باشد در یک زاویه دهانه یکسان، اندازه تصویر کانونی بیشتر خواهد شد.



شکل ۷: نمودار تغییرات اندازه تصویر کانونی برای سه نوع مختلف کلکتور بشقابی

همچنین بیشترین اندازه تصویر برای کلکتورهای با فواصل کانونی ۱، ۱/۲۵ و ۱/۵ متر به ترتیب برابر با ۱۹۵، ۱۲۵ و ۱۰۳ میلی‌متر و در شعاع دهانه ۱/۵ متر کلکتور بدست آمد. این موضوع شان می‌دهد که برای یک کلکتور با شعاع دهانه یکسان، بهتر است از فاصله کانونی بیشتری استفاده گردد. البته این موضوع برای هر فاصله‌ای صحیح نمی‌باشد، بلکه باید به مقدار بهینه دست یافت (Kalogirou et al., 1994 ؛ Kalogirou, 2003 ؛ آقاجفی و دهقانی، ۱۳۸۶؛ Daly, 1979 ؛ Shuai et al., 2008).





شکل ۸: شماتیک گیرنده محفظه‌ای با اندازه‌های مربوطه برای بهینه‌سازی

با توجه به شکل ۸ مقدار مطلوب برای D_c نباید بیشتر از اندازه تصویر کانونی ایجاد شده باشد زیرا در این صورت مانع از برخورد مقادیر مطلوب پرتو خورشیدی به کلکتور خواهد شد. از طرفی نباید آنقدر کوچک باشد که پرتوهای منعکس شده از کلکتور نتوانند توسط گیرنده جذب و به مبدل ارسال گردند. همچنین شعاع دهانه (D_0) وابسته به پارامترهای مختلفی می‌باشد که یکی از آنها مربوط به اندازه تصویر کانونی است. بنابراین سعی می‌گردد که شعاع دهانه به اندازه‌ای باشد تا بیشترین پرتو مرکزی وارد گیرنده شده و از طرفی آنقدر کوچک باشد که تلفات حرارتی همرفتی به حداقل مقدار خود برسد. در این خصوص محققین مختلف به کاربرد دریچه شیشه‌ای اقدام نموده‌اند (Kalogirou, 2003؛ Kalogirou et al., 1994؛ آقاجفی و دهقانی، ۱۳۸۶؛ Daly, 1979؛ Shuai et al., 2008؛ Huang et al., 2012؛ Kalogirou, 2004؛ Palavras and Bakos, 2006) که دارای مزایا و معایبی می‌باشد، ولی آنچه در این تحقیق اهمیت دارد اندازه قطر پرتو مرکزی است که باید در نظر گرفته شود به همین منظور اندازه مطلوب بصورت ضربی از اندازه تصویر کانونی در نظر گرفته شد.

نتیجه‌گیری

کارایی اپتیکی متمرکزکننده بشقابی خورشیدی با گیرنده محفظه‌ای براساس کارایی نقطه انعکاسی بررسی شد. مدل بوجود آمده همچنین جهت تحلیل گیرنده تخت منطبق می‌باشد. یک معادله تحلیلی بیانگر کارایی اپتیکی براساس منبع موثر شبیه‌سازی شده گاوسی یا چندجمله‌ای و یک مدل انتقال وابسته به زاویه برای گیرنده نتیجه‌گیری شد. کارایی اپتیکی فقط وابسته به $r/f/\sigma$ و زاویه دهانه می‌باشد زمانیکه منبع موثر گاوسی قابل اعمال باشد. در نظر گرفتن اثرات زاویه برخورد پیش‌بینی بهتری از کارایی بشقاب سهموی با یک گیرنده محفظه‌ای ارائه خواهد نمود. زاویه دهانه بزرگتر دارای ضریب برخورد و ضریب جذب کمتری است؛ و زاویه دهانه بهینه زمانیکه زاویه برخورد بر روی ضریب انتقال دریچه شیشه‌ای یا قابلیت جذب گیرنده تخت در نظر گرفته شود، کاهش می‌یابد. نرم افزار CATIA بعنوان ابزاری مناسب برای تعیین اندازه تصویر کانونی و بهینه‌سازی گیرنده محفظه‌ای بکار رفت.

منابع و مأخذ

۱. آقاجفی، س. دهقانی، ع. ۱۳۸۶. انرژی تشعشع خورشیدی پیشرفته و کاربردهای صنعتی. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۲. رفیعی، ر. ۱۳۸۹. انرژی خورشیدی، زمین گرمایی و سایر منابع انرژی پاک. انتشارات آزاده.

3. Andraka, C.E. 2008. Cost/performance tradeoffs for reflectors used in solar concentrating dish systems. ASME Conference Proceedings. 505–513..
4. Badran, A.A., Yousef, I.A., Joudeh, N.K., Al Hamad, R., Halawa, H., Hassouneh, H.K. 2010. Portable solar cooker and water heater. Energy Conversion and Management. Vol 51(8), 1605–09.
5. Bendt, P., Rabl, A. 1981. Optical analysis of point parabolic radiation. Applied Optics. Vol 20(4), 674–683.
6. Biggs, F., Vittitoe, C.N. 1979. Helios Model for the Optical Behavior of Reflecting Solar Concentrators: Sandia National Laboratories report SAND-76-0347, Albuquerque, NM.



7. Chin, S. 1978. SOLAR REFLECTIVITY AND ABSORPTIVITY STUDIES, Texas Tech University. MS.
8. Collado, F.J. 2010. One-point fitting of the flux density produced by a heliostat. Solar Energy. Vol 84(4), 673–684.
9. Daly, J.C. 1979. Solar concentrator flux distribution using backward tracing. Applied Optics. Vol 18(15), 2696–2700.
10. Duffie J A, Beckman W A. 2013. Solar Engineering of Thermal Processes. New York: Wiley. Fourth Edition.
11. FRASER, P.R. 2008. Stirling Dish System Performance Prediction Model, University of Wisconsin-Madison. Master of Science.
12. Furler, P., Scheffe, J.R., Steinfeld, A. 2012. Syngas production by simultaneous splitting of H₂O and CO₂ via ceria redox reactions in a high-temperature solar reactor. Energy & Environmental Science. Vol 5(3), 6098–6103.
13. Helgeson, A., Karlsson, B., Nostell, P. 2000. Angular dependent optical properties from outdoor measurements of solar glazings. Solar Energy. Vol 69(1-6), 93–102.
14. Hiesfer, N.K., Tietz, T.E., Loh, E., Duwez, P. 1957. Theoretical considerations on performance characteristics of solar furnaces. Jet Propulsion. Vol 27 (6).
15. Huairui Li, Weidong Huang, Farong Huang, Peng Hub, Zeshao Chen. 2013. Optical analysis and optimization of parabolic dish solar concentrator with a cavity receiver. Solar Energy. Vol 92, 288–97.
16. Huang, W., Hu, P., Chen, Z. 2012. Performance simulation of a parabolic trough solar collector. Solar Energy. Vol 86, 746–755.
17. Hukuo, N., Mii, H. 1957. Design problems of a solar furnace. Solar Energy. Vol 1(2–3), 108–114.
18. Jaffe, L.D. 1983. Optimization of dish solar collectors. Journal of Energy. Vol 7(6), 684–694.
19. Jeter, S.M. 1987. Analytical determination of the optical performance of practical parabolic trough collectors from design data. Solar Energy. Vol 39(1), 11–21.
20. Johnston, G. 1998. Focal region measurements of the 20 m² tiled dish at the Australian National University. Solar Energy. Vol 63(2), 117–124.
21. Jones PD, Wang L. 1995. Concentration distributions in cylindrical receiver/paraboloidal dish concentrator systems. Sol Energy. Vol 54, 115-23.
22. Joshi, A.S., Dincer, I., Reddy, B.V. 2011. Solar hydrogen production: a comparative performance assessment. International Journal of Hydrogen Energy. Vol 36(17), 11246–11257.
23. Kalogirou S, Eleftheriou P, Lloyd S, Ward J. 1994. Design and performance characteristics of a parabolic-trough solar collector system. Appl Energy. Vol 47, 341–54.
24. Kalogirou S. 2004. Solar thermal collectors and applications. Prog Energy Combust Sci. Vol 30(3), 231–95.
25. Kalogirou S. 2003. The potential of solar industrial process heat applications. Appl Energy. Vol 76, 337–61.
26. Mancini, T., Heller, P., Butler, B., Osborn, B., Schiel, W., Goldberg, V., Buck, R., Diver, R., Andraka, C., Moreno, J. 2003. Dish–Stirling systems: an overview of development and status. Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of the ASME. Vol 125(2), 135–151.
27. Mills, D. 2004. Advances in solar thermal electricity technology. Solar Energy. Vol 76(1–3), 19–31.
28. O’Neill, M.J., Hudson, S.L. 1978. In Proceedings, Annual Meeting of the US Section of International Solar Energy Society. Denver, Colo. Vol 2(1) 855 pp.
29. Palavras I, Bakos G C. 2006. Development of a low-cost dish solar concentrator and its application in zeolite desorption. Renewable Energy. Vol 31, 2422–2431.
30. Ratzel, A.C., Boughton, B.D. 1987. CIRCE. 001: A Computer Code for Analysis of Point-Focus Concentrators with Flat Targets: SAND-86-1172C, CONF-870307-870306.870303.
31. Reddy K S, Kumar N S, Veershetty G. 2015. Experimental performance investigation of modified cavity receiver with fuzzy focal solar dish concentrator. Renewable Energy. Vol 74, 148-157.
32. Schubnell M. 1992. Influence of circumsolar radiation on aperture, operating temperature and efficiency of a solar cavity receiver. Sol Energy Mat Sol Cell. Vol 27, 233-42.
33. Sharma JK, Dang A, Garg HP, Mathur SS. 1983. Solar flux distributions from circular cylindrical concentrator. Sol Energy. Vol 30(6), 507-12.



34. Shuai, Y., Xia, X.L., Tan, H.P. 2008. Radiation performance of dish solar concentrator/cavity receiver systems. *Solar Energy*. Vol 82(1), 13–21.
35. Stine, W.B., Harrigan, R.W. 1985. *Solar Energy Fundamentals and Design with Computer Applications*. Wiley-Interscience, New York.
36. Trombe, F., Vinh, A.L.P. 1973. Thousand kW solar furnace, built by national-center-of-scientific-research, in Odeillo (France). *Solar Energy*. Vol 15(1), 57–61.
37. Wen L, Huang L, Poon P, Carley W. 1980. Comparative study of solar optics for paraboloidal concentrators, *ASME J. Sol Energy Eng*. Vol 102, 305-15.
38. Yellowhair, J., Iverson, B.D., Andraka, C.E. 2010. A parametric study of the impact of various error contributions on the flux distribution of a solar dish concentrator. In: *Es2010: Proceedings of ASME 4th International Conference on Energy Sustainability*, vol 2, 565–580 pp.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Determination of optimum size of aperture of solar dish collector cavity receiver by CATIA software

Abstract

In this paper, optical analysis of cavity presented. Optical efficiency of this system is obtained through the integration of the local optical efficiency of each reflecting point in the whole reflecting area. Finally, an analytical function for determination of optical efficiency obtained. Also, the effect of intercept factor and rim angle on collector efficiency investigated. CATIA software used as an alternative of ray tracing method for optical optimization and determination of proper size of cavity receiver. Results showed that maximum size of projection surface for collectors with focal length of 1, 1.25 and 1.5 will be 195, 125 and 103 mm respectively in 1.5 m dish radius.

Keywords: solar collectors, cavity receiver, optical efficiency, CATIA.