



عملکرد متمرکز کننده سهموی خطی خورشیدی با روش دینامیک سیال محاسباتی

ابوالفضل ضیالالدینی^{۱*} حمید مرتضی پور^۲ محسن شمسی^۳ امیر صرافی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- استادیار، بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- دانشیار، بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۴- دانشیار، بخش مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: Abolfazlzia@gmail.com

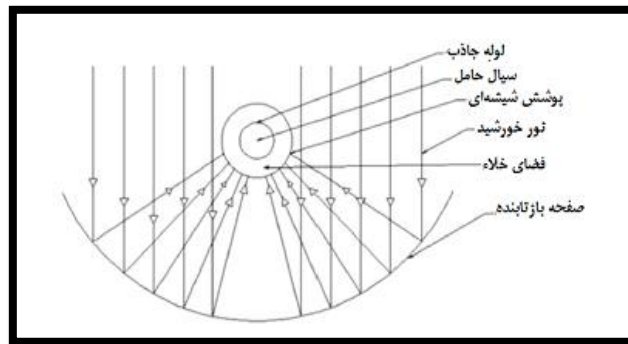
چکیده

برای بهره‌مندی از انرژی گرمایی خورشید از جمع‌کننده‌های حرارتی خورشیدی استفاده می‌شود. متمرکزکننده‌های سهموی خطی، نوعی از گردآورنده توان تابشی خورشیدی هستند که، دارای ساختمان ساده و دمای کاری بالاتری در مقایسه با جمع‌کننده‌های تخت می‌باشند. برای رسیدن به عملکرد مناسب متمرکزکننده سهموی خطی می‌بایست در یک جهت (شمالی-جنوبی یا شرقی-غربی) خورشید را تعقیب کنند. در تحقیق حاضر شبیه‌سازی یک متمرکزکننده خورشیدی سهموی خطی با سیال عامل آب با روش دینامیک سیال محاسباتی و نرم افزار Fluent مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان دادند شبیه‌سازی انجام شده به طور قابل قبولی قادر به پیش‌بینی نتایج تجربی بودند. همچنین بازده حرارتی متمرکزکننده در حالت تعقیب خورشید در جهت شرقی-غربی ۲۶/۲۰ و در تعقیب شمالی-جنوبی تا ۲۶/۵۶ درصد بوده است.

واژه‌های کلیدی: متمرکزکننده سهموی خطی، دینامیک سیال محاسباتی، تعقیب

مقدمه

با توجه به ترازنامه انرژی ایران در سال ۱۳۹۲ بیش از دو سوم مساحت کشور ایران در سال ۳۰۰ روز آفتابی با متوسط تابش ۴/۵ تا ۵/۵ کیلووات ساعت بر متر مربع دارد (ایران ۱۳۹۲). بنابراین کشور ما، از پتانسیل بسیار بالایی برای استفاده از این انرژی بی‌انتهای و پاک برخوردار است. برای بهره‌مندی از انرژی گرمایی خورشید از جمع‌کننده‌های حرارتی خورشیدی مانند جمع‌کننده‌های حرارتی و انواع ترکیبی فتوولتائیک حرارتی و ... استفاده می‌شود. یکی از انواع سامانه‌های حرارتی خورشیدی، متمرکزکننده‌ها هستند. یک متمرکزکننده سهموی خورشیدی با توجه به شکل ۱ شامل بخش‌های اصلی چون، صفحه سهموی بازتابنده، لوله جاذب که با یک پوشش شیشه‌ای اطراف آن احاطه شده است و یک سیال حامل و یک سیال حامل حرارت می‌باشد. در این سامانه نور مستقیم خورشید پس از برخورد به صفحه بازتابنده، به یک سطح کوچک‌تر (لوله جاذب)، هدایت و از آن برای تولید حرارت استفاده می‌شود (کهرباییان و محمدی ۱۳۷۹؛ کهرباییان و محمدی، ۲۰۰۸) (شکل ۱).



شکل ۱. نمایش شماتیک از یک متمرکزکننده سهموی (Jebasingh and Herbert, 2016)

کاربرد سامانه متمرکزکننده‌های سهموی را، می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم کرد. اولین و مهم‌ترین استفاده آن، در تولید برق به کمک انرژی گرمایی خورشید از طریق متمرکزکننده‌ها می‌باشد. که در این موارد عرض دهانه جمع‌کننده تا حدود ۶ متر، کل طول مجموع متمرکزکننده‌ها ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر است. این سامانه‌ها دما را تا ۴۰۰-۳۰۰ درجه سلسیوس بالا می‌برند و پروژه‌های زیادی در سطح دنیا برای تولید برق از این راه به بهره‌برداری رسیده است. برای نمونه نیروگاه خورشیدی با ۹ واحد جمع‌کننده با ظرفیت ۳۵۴ مگاوات بزرگترین نیروگاه خورشیدی با استفاده از متمرکزکننده‌های خورشیدی با نام، سامانه مولد انرژی خورشیدی در ایالات متحده آمریکا فعال می‌باشد. نیروگاه دیگری در آمریکا با ۶ واحد ذخیره‌کننده دارای ظرفیت ۲۸۰ مگاوات با نام ایستگاه تولید سولانا در حال فعالیت می‌باشد. در کشورهای دیگر هم چون اسپانیا، چین، هند و ... نیروگاه‌های با ظرفیت‌های مختلف وجود دارد (بی‌نام، ۲۰۱۵). گروه دیگر از برنامه‌های کاربردی استفاده از این متمرکزکننده‌ها در فرآیندهای گرما تا دما حدود ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد که بیشتر در صنعت و تقاضا برای حرارت با دمای پایین و نرخ مصرف بالا در زمینه‌های آب داغ خانگی، بهداشت، گرمایش فضا، استخرهای شنا و ... است. در این نوع کاربردها عرض متمرکزکننده بین ۱ تا ۳ متر، طول کل آن از ۲ تا ۱۰ متر متناسب با کاربرد



متفاوت می‌باشد. همچنین از این نوع در پمپ کردن آب آبیاری، آب شیرین‌کن و سم‌زدایی استفاده می‌شود (Fernandez-Garcia et al., 2010). جمعی از محققین سال ۲۰۰۱ در سامانه فتوولتایک گرمایی به صورت ترکیبی از متمرکز کننده سهموی استفاده کردند که دمای سطح سلول‌های سیلیکونی را کاهش دهند و خروجی سالانه ۲۵۰ کیلووات ساعت برق و ۸۰۰ کیلووات ساعت گرما در دماهای پایین در هر متر مربع مساحت سلول‌های خورشیدی نتیجه این تحقیق بوده است (Brogren et al., 2001). همچنین نیلسون و همکاران در سوئد از متمرکز کننده سهموی در سامانه فتوولتایک استفاده کردند (Nilsson et al., 2007). با توجه به کاربرد گسترده این نوع سامانه‌ها بررسی عملکرد آن‌ها حائز اهمیت می‌باشد و پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است. یعقوبی و موسوی سال ۲۰۱۱ شبیه‌سازی سه بعدی حرارتی در دریافت کننده سامانه متمرکز کننده سهموی برای نیروگاه خورشیدی شیراز انجام دادند که پارامترهای چون سرعت سیال، شکل لوله جاذب، جنس آن و ... در نظر گرفته شد (Yaghoubi and Akbarimoosavi, 2011). گزارشی در سال ۲۰۱۴ در ترکیه مبنی بر مدل‌سازی حرارتی عددی برای یک متمرکز کننده سهموی مشاهده شد (Yılmaz and Söylemez, 2014).

هدف از تحقیق حاضر تحلیل یک متمرکز کننده سهموی خطی کوچک، با استفاده از نرم افزار Fluent بود. در ادامه نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج تجربی مقایسه شدند. از دیگر اهداف این تحقیق، بررسی اثر تعقیب خورشید در دو جهت مختلف بر بازده حرارتی متمرکز کننده بود که به صورت تجربی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از یک متمرکز کننده خورشیدی سهموی خطی که در بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهید باهنر کرمان به منظور تأمین حرارت مورد نیاز یک گلخانه تحقیقاتی ساخته شده بود، استفاده شد. متمرکز کننده دارای صفحه بازتابنده به ابعاد $۰/۹۳ \times ۱/۶۶$ متر از جنس استیل براق و دریافت کننده به طول $۱/۶۶$ متر با قطر خارجی ۷ سانتی‌متر شامل لوله جاذب که، جریان سیال از آن عبور می‌کند و شیشه محاطی با ضخامت ۲ میلی‌متر که، فضای بین لوله جاذب و شیشه محاطی خلاء می‌باشد. دریافت کننده در مرکز خط کانونی سهموی قرار دارد (شکل ۲).



شکل ۲. متمرکزکننده خورشیدی سهموی

آزمایشات به منظور ارزیابی عملکرد متمرکزکننده در خرداد ماه ۱۳۹۵ از ساعت ۹:۳۰ تا ۱۷:۳۰ با دو جهت تعقیب شرقی-غربی و شمالی-جنوبی انجام شد. در هر دو روز پس از نصب دستگاه و اتصال لوله‌های آب، جریان سیال (آب) با دبی ثابت ۰/۵ لیتر بر دقیقه انجام شد. برای اندازه‌گیری دمای محیط، آب ورودی و خروجی از متمرکزکننده از دو حسگر دما (مدل SMT 160) استفاده گردید. شدت تابش خورشید بر روی صفحه متمرکزکننده توسط یک سولاریمتر (مدل TES 1333، ساخت شرکت TES در تایوان) که در راستای عمود بر مرکز متمرکزکننده نصب شده بود، تعیین گردید.

پس از ثبت داده‌ها، عملکرد دستگاه با تحلیل در نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ بررسی شد و تاثیر شدت تابش، دمای ورودی و دمای خروجی در زمان‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق دریافت‌کننده سامانه متمرکزکننده سهموی با نرم‌افزار Gambit 2.4.6 شبیه‌سازی و مش‌بندی گشت (شکل ۴) و حل عددی آن در Fluent 6.3.26 انجام و نتایج حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های تجربی مقایسه شد. شار حرارتی ورودی در مرز برای دریافت‌کننده به این صورت اعمال شد که برای هر لحظه از بالا شدت تابش خورشید که با سولاری‌متر اندازه‌گیری شد و از پایین متناسب با بازتاب صفحه منعکس‌کننده در نظر گرفته شد. برای شبیه‌سازی و حل مساله از مشخصات و خواص مواد موجود در جدول ۱ استفاده شد.

جدول ۱. خواص و مشخصات برخی مواد استفاده شده در شبیه‌سازی

مشخصات جنس	قطر (cm)	طول (cm)	ضریب انتقال حرارت (w/m.k)	گرمای ویژه (j/kg.k)
شیشه	۷	۱۶۶	۵/۹	۸۴۰
آلومینیوم	۴/۵	۱۶۶	۲۰۲/۴	۸۷۱
مس	۲/۵	۱۶۰	۳۸۷/۶	۳۸۱
آب			۰/۶	۴۱۸۲

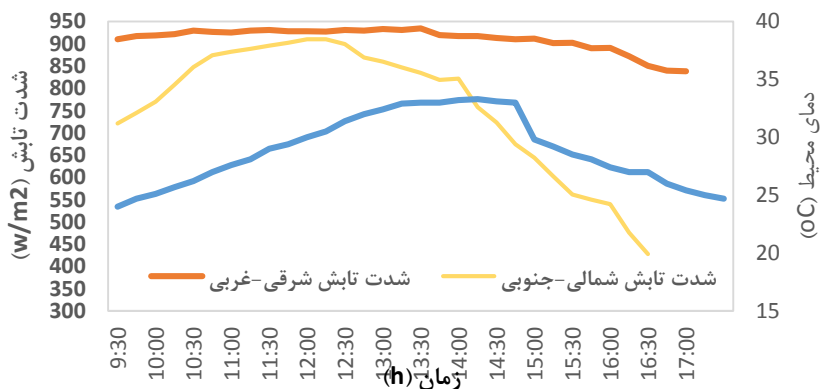
پس از بدست آوردن دمای سیال خروجی از متمرکزکننده، بازده حرارتی آن از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$\zeta = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{I.A_c} \quad (1)$$

که در این رابطه \dot{m} دبی جرمی (kg/s)، C_p گرمای ویژه آب (J/kg K)، I شدت تابش خورشیدی (W/m^2)، A_c مساحت دهانه متمرکزکننده (m^2)، T_i دمای ورودی و T_o دمای خروجی متمرکزکننده ($^{\circ}C$) هستند.

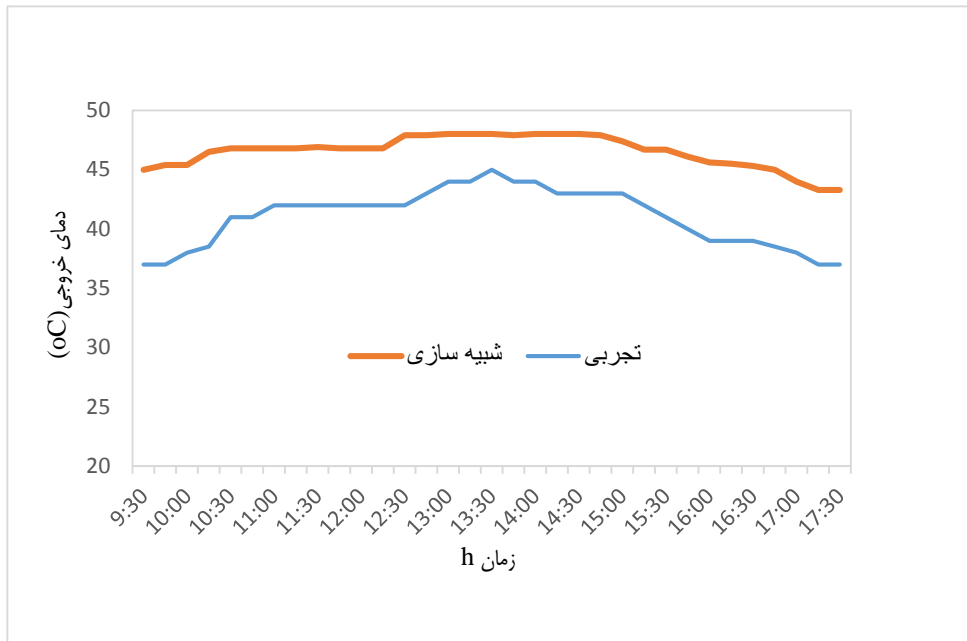
نتایج و بحث

پس از ثبت داده‌ها بررسی و تحلیل آن‌ها در نرم‌افزار اکسل انجام گرفت. با توجه به داده‌های تجربی ثبت شده تغییرات دمای محیط و شدت تابش در حالت شمالی-جنوبی و شرقی-غربی در شکل ۳ مشاهده می‌شود. با توجه به شکل، در مدت انجام آزمایش شدت تابش خورشید در محدوده ۷۸۰ تا ۹۳۵ وات بر متر مربع و برای ردیابی شرقی-غربی در محدوده ۴۲۰ تا ۹۱۰ وات بر متر مربع و دمای محیط بین ۲۴ تا ۳۳ درجه سلسیوس تغییر کرده است. بیشترین شدت تابش خورشید در ساعت حدود ۱۳ عصر برای تعقیب شرقی-غربی و حدود ساعت ۱۲:۳۰ برای ردیابی شمالی-جنوبی و بیشترین دمای محیط در ساعت حدود ۱۵ عصر مشاهده گردید.



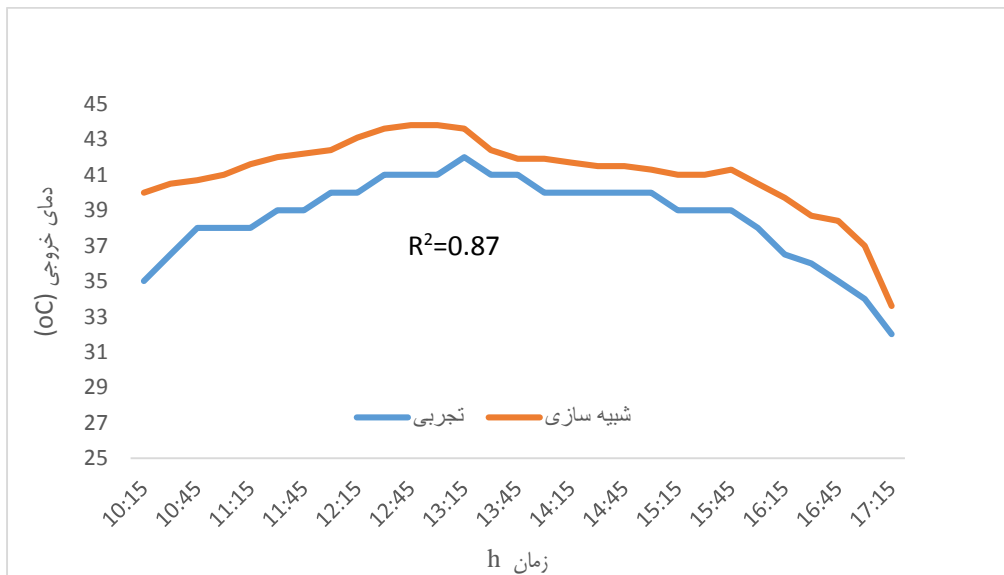
شکل ۳. تغییرات دمای محیط و شدت تابش براساس زمان انجام آزمایش

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود داده‌های به دست آمده از شبیه‌سازی همخوانی خوبی با داده‌های تجربی دارند. ضریب همبستگی در حالت شمالی-جنوبی برابر با ۰/۸۷ و در تعقیب شرقی-غربی ۰/۸۵ بدست آمد. با توجه به شکل ۴، در حدود ظهر با افزایش شدت تابش خورشید و دمای محیط، دمای خروجی از متمرکزکننده بالاترین مقدار بوده است.



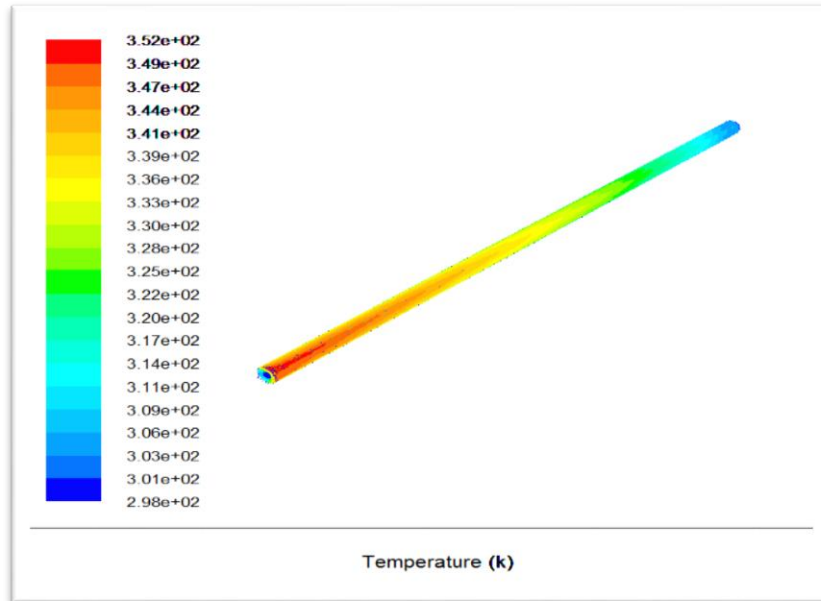
شکل ۴. همبستگی بین دماهای خروجی بدست آمده از شبیه‌سازی و تجربی در حالت شرقی-غربی

در شکل ۵ دیده می‌شود در حالت شمالی-جنوبی نیز داده‌های تجربی و تئوری همخوانی قابل قبولی دارند.



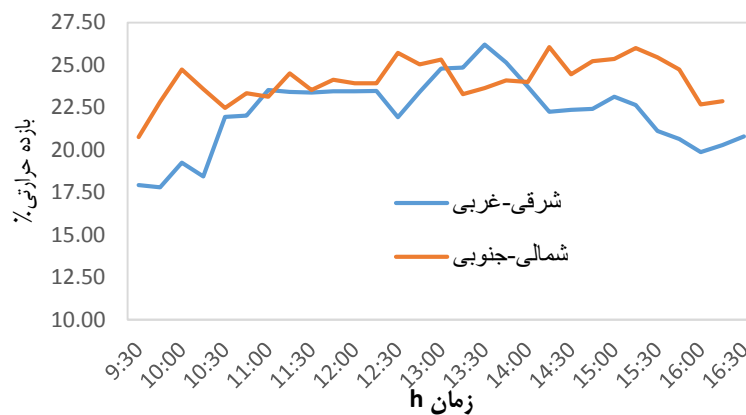
شکل ۵. همبستگی بین دماهای خروجی بدست آمده از شبیه‌سازی و تجربی در حالت شمالی-جنوبی

در شکل ۶ می‌توان نحوه توزیع انتقال حرارت را بر روی لوله جاذب اصلی دید. همان‌طور که مشاهده می‌شود دمای سطح لوله جاذب در انتها تا ۳۵۲ کلوین معادل ۷۹ درجه سلسیوس بالا رفته است.



شکل ۶. توزیع دما در حالت شرقی-غربی

بازده حرارتی متمرکزکننده در دنبال کردن شرقی-غربی و شمالی-جنوبی در شکل ۷ قابل مشاهده می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود بیشترین عملکرد ۲۶/۲۰ در ساعت ۱۳:۳۰ با دمای خروجی ۴۵ درجه سلسیوس می‌باشد (شکل ۷). همچنین عملکرد متمرکزکننده در حالت شمالی-جنوبی در شکل ۷ دیده می‌شود. بیشترین عملکرد مربوط به ساعت ۱۵:۰۰ با ۲۶/۰۴ است با دمای ۴۰ درجه سلسیوس است چون بازده حرارتی به شدت تابش هم وابسته است در این زمان شدت تابش نسبت به زمانی که دمای خروجی ۴۲ درجه سلسیوس است مقدار کمتری دارد.



شکل ۷. بازده حرارتی در حالت شرقی-غربی و شمالی-جنوبی

نتیجه گیری کلی

در تحقیق حاضر عملکرد یک متمرکزکننده خورشیدی سهموی خطی کوچک به صورت تجربی و تئوری مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بررسی اثر جهت تعقیب خورشید، آزمایش‌ها در دو جهت شرقی-غربی و شمالی-جنوبی انجام شدند. نتایج تحقیق نشان داد که داده‌های تجربی با نتایج حاصل از شبیه سازی نزدیکی مناسبی داشتند. بر اساس نتایج شبیه سازی، بالاترین دمای سطح لوله جاذب به حدود ۷۹ درجه سلسیوس در تعقیب کردن شمالی-جنوبی و حدود ۶۶ درجه سلسیوس در تعقیب کردن شرقی-غربی رسید. بازده حرارتی متمرکزکننده در حالت تعقیب خورشید در جهت شرقی-غربی ۲۶/۲۰ و در تعقیب شمالی-جنوبی تا ۲۶/۵۶ درصد بود.

منابع

تراز نامه انرژی ایران (۱۳۹۲). "<http://www.saba.org.ir/fa/energyinfo/tashilat/taraz>".
کهرباییان، ا. و ملک محمدی، ح. (۱۳۷۹). "بهینه سازی انرژی متمرکز کننده های خورشیدی از نوع سهموی خطی".
کهرباییان، ا. و ح. م. محمدی و ح. ملک (۲۰۰۸). "بهینه سازی انرژی متمرکز کننده های خورشیدی از نوع سهموی خطی".
نشریه دانشکده فنی ۴۲ (۱).

Brogren M, Nostell P, Karlsson B. 2001. Optical efficiency of a PV-thermal hybrid CPC module for high latitudes. Solar Energy 69:173-185.
Energy NUSDo. 2015. http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/by_project.cfm.
Fernandez-Garcia A, Zarza E, Valenzuela L, Pérez M. 2010. Parabolic-trough solar collectors and their applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14:1695-1721.
Jebsingh V, Herbert GJ. 2016. A review of solar parabolic trough collector. Renewable and Sustainable Energy Reviews 54:1085-1091.
Nilsson J, Håkansson H, Karlsson B. 2007. Electrical and thermal characterization of a PV-CPC hybrid. Solar Energy 81:917-928.
Yaghoubi M, Akbarimoosavi M. 2011. Three dimensional thermal expansion analysis of an absorber tube in a parabolic trough collector. SolarPACES, Granada, Spain, Sept:20-23.
Yılmaz İH, Söylemez MS. 2014. Thermo-mathematical modeling of parabolic trough collector. Energy Conversion and Management 88:768-784.

