



## ساخت و ارزیابی سامانه شبیه‌ساز خورشیدی برای بررسی آزمایشگاهی دودکش خورشیدی

مهران صادقی دلویی<sup>۱</sup>، محمودرضا گلزاریان<sup>۲</sup>، محمد طیبی زاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، [sadeghi.mehran@mail.um.ac.ir](mailto:sadeghi.mehran@mail.um.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، [m.golzarian@um.ac.ir](mailto:m.golzarian@um.ac.ir)، نویسنده مسئول

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، [tabasizadeh@um.ac.ir](mailto:tabasizadeh@um.ac.ir)

### چکیده

یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های بشر امروزی تأمین انرژی می‌باشد. انرژی‌های تجدید پذیر راه‌حل مناسب و جایگزینی پاک برای سوخت‌های فسیلی هستند. دودکش خورشیدی فناوری مناسبی برای کشورهایی با سطوح بالای تابش خورشیدی و مناطق کویری وسیع است. این فناوری به دلیل راندمان پایین نیازمند مطالعات فراوانی می‌باشد. به خاطر طبیعت گذرا و ناپایدار خورشید و عوامل محیطی از جمله بادهای عرضی، پژوهشگران نیازمند محیط آزمایش کنترل شده هستند. در این پژوهش یک سامانه شبیه‌ساز خورشیدی ساخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. این ارزیابی نشان داد که شبیه‌ساز خورشیدی دارای عدم یکنواختی ۱۶/۴۱٪ و راندمان تبدیل ۱۸/۷٪ بوده است. نتایج آزمون دودکش خورشیدی نشان داد که بیشینه دما و سرعت جریان هوا در ورودی دودکش خورشیدی شبیه‌سازی شده به  $41.5^{\circ}\text{C}$  و  $0.35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  می‌رسد.

کلید واژه‌ها: شبیه‌ساز خورشیدی، انرژی خورشیدی، عدم یکنواختی، راندمان تبدیل

## Construction and Evaluation of a Solar Simulator System for the Laboratory Assessment of Solar Chimney

Mehran Sadeghi Delooee<sup>1</sup>, Mahmood Reza Golzarian<sup>2</sup>, Mohammad Tabasizadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.S. Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

### Abstract

One of the main concerns of modern community is the energy supply. Renewable energies can act as a suitable solution and a clean substitute for the fossil fuels. The solar chimney is a great technology for countries with high levels of solar radiation and vast desert areas. This technology requires many studies due to its low efficiency. Because of the transient and unstable nature of the sun and environmental factors, including cross winds, researchers need a controlled environment. In this study, a solar simulator was constructed and evaluated. The results of simulator evaluation showed that the solar simulator had a 16.41% non-uniformity and an 18.7% conversion efficiency. The test of a solar chimney indicated that the maximum temperature and velocity of airflow at the chimney inlet reached  $41.5^{\circ}\text{C}$  and  $0.35 \text{ m/s}$ , respectively.

**Keywords:** Solar Simulator, Solar Energy, Non-uniformity, Conversion Efficiency



امروزه با افزایش چشمگیر جمعیت جهان و بالا رفتن تقاضای انرژی بیش از هر زمانی نیاز به انرژی‌های تجدیدپذیر احساس می‌شود. در میان انواع انرژی‌های تجدید پذیر، انرژی خورشیدی دارای پتانسیل مناسبی در ایران می‌باشد. یکی از فناوری‌های خورشیدی که طی سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران بوده است دودکش خورشیدی می‌باشد. این فناوری مناسب مناطقی با سطوح بالای تابش خورشیدی و همچنین زمین‌های کویری وسیع می‌باشد (Ming, Gong, de Richter, Liu, & Koonsrisuk, 2016). لذا این فناوری می‌تواند برای کشور ایران گزینه‌ای مناسب باشد.

دودکش خورشیدی بر اساس تغییر چگالی سیال (هوا)<sup>۱</sup> و ایجاد نیروی شناوری<sup>۲</sup> کار می‌کند. نیروگاه‌های دودکش خورشیدی دارای ۳ جزء اساسی جمع کننده<sup>۳</sup> (کلکتور)، دودکش (برج)<sup>۴</sup> و توربین<sup>۵</sup> هستند. با تابش خورشید به سطح جمع‌کننده، هوای زیر جمع‌کننده گرم شده و چگالی آن کاهش می‌یابد از طرفی به خاطر وجود یک دودکش در وسط جمع‌کننده، هوای گرم تمایل به خروج از دودکش را دارد، با قرار دادن یک توربین در ورودی دودکش می‌توان انرژی جنبشی هوا را به انرژی الکتریکی تبدیل نمود (Jörg Schlaich, 1995).

کارهای تحقیقاتی در زمینه نیروگاه‌های دودکش خورشیدی تقریباً از دهه ۱۹۷۰ یعنی پس از ساخت نمونه اولیه ۵۰ کیلوواتی در مانزانارس اسپانیا (شکل ۱) شروع شد. این نیروگاه آزمایشی بین سال‌های ۱۹۸۲-۱۹۸۹ فعال و بین سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۹ به شبکه محلی برق متصل بوده است. آزمایش‌ها نشان دادند که نیروگاه آزمایشی از نظر کارکرد به صورت قابل اطمینان بوده و از نظر فنی امکان‌پذیر است (Jorg Schlaich, Bergermann, Schiel, & Weinrebe, 2005). از آن زمان مطالعات زیادی روی دودکش خورشیدی انجام شده است.

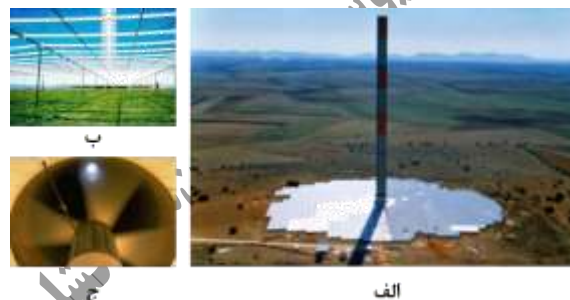


Fig. 1 a) The solar chimney prototype plant in Manzanares, Spain, b) Glass roof and c) Turbine of the prototype plant (Jorg Schlaich et al., 2005)

شکل ۱- الف) نمونه اولیه نیروگاه دودکش خورشیدی در مانزانارس اسپانیا، ب) سقف شیشه‌ای و ج) توربین نیروگاه (Jorg Schlaich et al., 2005)

یک یافته مشترک در اکثر مقالات این است که راندمان نیروگاه‌های دودکش خورشیدی بسیار پایین است و با افزایش اندازه نیروگاه افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه تنها نیروگاه‌های بزرگ‌مقیاس که در آن‌ها ارتفاع دودکش ۱۰۰۰ متر یا بیشتر است در منابع پیشنهاد می‌شود (Nizetic, Ninic, & Klarin, 2008; Jörg Schlaich, 1995). از این رو طی دهه‌های اخیر پژوهشگران متعددی با انجام آزمایش‌های تجربی و همچنین شبیه‌سازی‌های عددی به دنبال راهکاری برای ارتقاء راندمان سامانه‌های دودکش خورشیدی بوده‌اند. در ادامه خلاصه‌ای از پژوهش‌های تجربی شاخص در داخل و خارج از ایران

<sup>1</sup>Fluid Density Variation

<sup>2</sup>Buoyancy Force

<sup>3</sup>Collector

<sup>4</sup>Chimney (Tower)

<sup>5</sup>Turbine



جدول ۱: مروری بر مطالعات تجربی انجام شده روی دودکش خورشیدی

شرح مختصر پژوهش و نتایج	پژوهشگران
پژوهشگران یک دودکش خورشیدی در فلوریدا ساختند. به دلیل محدودیت‌های فنی و اقتصادی در افزایش ارتفاع دودکش و به منظور افزایش راندمان دودکش مساحت جمع‌کننده افزایش یافت و یک نوع جاذب از جنس برزنت به آن اضافه شد. نتایج این پژوهش برای ارزیابی یک مدل ریاضی نیز مورد استفاده قرار گرفت و یکی از معتبرترین پژوهش‌های موجود در زمینه دودکش خورشیدی است.	Pasumarthi & ) (Sherif, 1998a, 1998b
یک نمونه آزمایشگاهی دودکش خورشیدی به منظور اعتبارسنجی یک مدل ریاضی توسط پژوهشگران در برزیل ساخته شد. این سامانه دارای یک دودکش به ارتفاع $1.2/3 m$ ، جمع‌کننده‌ای به شعاع $2/5 m$ و دهانه جمع‌کننده متغیر بین $5$ تا $5.0 cm$ بود. در این پژوهش اثرات ویژگی‌های هندسی دودکش خورشیدی بر جریان هوا و با توجه به ابعاد دودکش بررسی شد. پژوهشگران مشاهده کردند که مهم‌ترین متغیر فیزیکی در یک دودکش خورشیدی ابعاد دودکش است به گونه‌ای که افزایش ارتفاع و قطر آن باعث افزایش سرعت و کاهش دمای جریان هوا می‌گردد.	Maia, Ferreira, ) (Valle, & Cortez, 2009
یک نمونه آزمایشگاهی دودکش خورشیدی در پردیس دانشگاه زنجان توسط پژوهشگران ساخته شد. پوششی از صفحه پلی کربنات دولایه یک جمع‌کننده با قطر $1.0 m$ را می‌پوشاند و دودکشی از جنس پلی‌اتیلن با ارتفاع $1.2 m$ روی آن نصب گردید. پژوهشگران به مطالعه توزیع دما در جمع‌کننده پرداختند. آنها یافتند که در روزهای سرد پدیده ی وارونگی دما رخ می‌دهد و با افزایش دما در روز این پدیده محو می‌گردد. پژوهشگران در این پژوهش به بیشینه سرعت $2/9 \frac{m}{s}$ رسیدند در حالی که سرعت هوا در دهانه ورودی جمع‌کننده صفر بود.	Kasaeian, Heidari, ) (& Vatan, 2011
پژوهشگران یک دودکش خورشیدی را در کرمان ساختند. این سامانه دارای یک دودکش به ارتفاع $6.0 m$ به قطر $3 m$ و جمع‌کننده‌ای مربعی به ابعاد $4.0 \times 4.0 m$ بود. طی این پژوهش بررسی پارامترهای مؤثر برای بهینه‌سازی عملکرد دودکش خورشیدی به همراه تحلیل اقتصادی انجام شد. در پایان پژوهش پیشنهاد شد که استفاده از آسفالت یا لاستیک در زیر جمع‌کننده، دولایه کردن شیشه‌های شفاف بالای جمع‌کننده، کاهش ارتفاع جمع‌کننده به $1/3 m$ و نصب یک مخروطی شکل در ورودی دودکش می‌تواند باعث افزایش توان خروجی دودکش گردد.	Najmi, Nazari, ) Mansouri, & Zahedi, (2012
پژوهشگران یک دودکش خورشیدی را طراحی کرده و ساختند که دارای دو تشدیدکننده به منظور تقویت تابش خورشیدی در دورتادور دودکش بود. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تشدیدکننده‌ها باعث افزایش سرعت جریان هوا و در نتیجه افزایش توان تولیدی شدند.	Shahreza & Imani, ) (2015
پژوهشگران به بررسی دو پارامتر مؤثر ابعاد هندسی و جنس جاذب با استفاده از یک ستاپ آزمایشگاهی دودکش خورشیدی پرداختند. این ستاپ دارای دودکشی به ارتفاع $3 m$ و جمع‌کننده‌ای به قطر $3 m$ بود. پژوهشگران بهترین ابعاد ابعاد سامانه را گزارش کردند و همچنین یافتند که جاذب آلومینیوم آهنگ انتقال حرارت بیشتری از آهن داشت.	Ghalamchi, ) Kasaeian, Ghalamchi, & (Mirzahosseini, 2016
پژوهشگران به منظور بهبود راندمان دودکش خورشیدی به جای استفاده از یک دودکش استوانه‌ای اقدام به بررسی یک دودکش شیپوره‌ای کردند. با تغییر ارتفاع و زاویه شیپوره، اختلاف دمای بین هوای محیط و هوای داخل کانوی را مورد آزمون تجربی و تحلیلی قرار دادند. با انجام این مراحل به این نتیجه رسیدند که دودکش با زاویه نیمه‌باز $4^\circ$ درجه بهترین شکل را دارد و سریع‌ترین بالامکش را در نمونه‌های تجربی و تحلیلی ایجاد می‌نماید. سپس رابطه‌ی بین سرعت بالامکش و اختلاف دما و یا ارتفاع دودکش را یافتند. نتیجه به این صورت بود که سرعت بالامکش متناسب با مجذور ارتفاع دودکش و یا اختلاف ارتفاع است.	Ohya, Wataka, ) Watanabe, & Uchida, (2016
پژوهشگران یک دودکش خورشیدی را در مرکز تحقیق و توسعه انرژی در تونس ساختند. در این دودکش سرعت هوای گرم به وسیله یک نازل همگرا افزایش می‌یافت. در این پژوهش اثرات اقلیمی محل آزمایش، ارتفاع دودکش و قطر جمع‌کننده بر مقدار برق تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین توزیع دما در نقاط متفاوت ثبت شد.	Jemli, Naili, Farhat, ) (& Guizani, 2017

<sup>1</sup>Intermediate Canvas Absorber

<sup>2</sup>Intensifier

<sup>3</sup>Diffuser-type Chimney

<sup>4</sup>Semi-open angle

<sup>5</sup>Convergent Nozzle

طبیعت گذرا و ناپایدار انرژی خورشیدی چالشی بزرگ برای آزمایش دستگاه‌ها و فناوری‌های خورشیدی است. آزمایش‌های محیط باز در شرایط واقعی اما غیرقابل کنترل انجام می‌گیرد. برای مثال شدت تابش خورشیدی شدیداً به شرایط اتمسفر و صافی آسمان در مدت زمان آزمایش بستگی دارد. بنابراین توسعه سریع و ارزان قیمت فناوری‌های خورشیدی نیازمند به محیط‌های قابل کنترل می‌باشد (Tawfik, Tonnellier, & Sansom, 2018).

این در حالی است که مطالعات تجربی انجام شده بر نیروگاه‌های دودکش خورشیدی عموماً در محیط‌های باز انجام شده و پژوهشگران کمی به سمت طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سامانه‌های شبیه‌ساز دودکش خورشیدی رفته‌اند، در صورتی که برای مطالعه اثر برخی پارامترها از جمله پره‌های هادی و باد عرضی محیطی، نیاز به محیطی کاملاً کنترل شده است.

گو و همکاران برای اولین بار در جهان اقدام به ساخت یک آزمایشگاه شبیه‌سازی مصنوعی محیط<sup>۲</sup> (AESL) باهدف مطالعه تجربی دودکش خورشیدی کردند. این مرکز به منظور کنترل پارامترهای محیطی مجهز به یک شبیه‌ساز خورشیدی و یک سامانه کنترل دما می‌باشد (Guo, Wang, Meng, & Li, 2016).

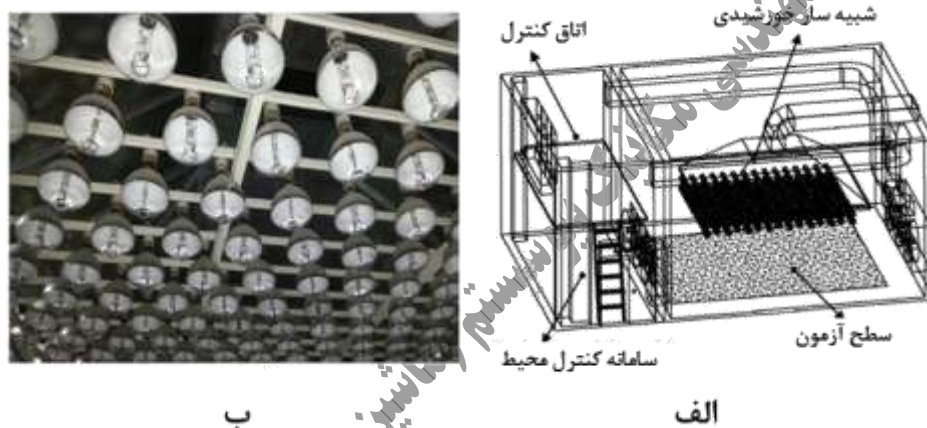


Fig 2: a) Schematic of the AESL and b) a photo of the solar simulator (Guo, Wang, Meng, & Li, 2016)

شکل ۲: الف) شماتیک AESL و ب) تصویری از شبیه‌ساز خورشیدی (Guo, Wang, Meng, & Li, 2016)

همان‌طور که پیشتر بیان شد مشکل عمده نیروگاه‌های دودکش خورشیدی راندمان کم آن‌ها می‌باشند پس پژوهشگران این حوزه تمایل دارند تا با بررسی‌های تجربی و عددی به ارتقاء راندمان دودکش خورشیدی کمک کنند. در این پژوهش یک شبیه‌ساز خورشیدی شار پایین ساخته و ارزیابی شد تا تأثیر پره‌های هادی در زیر جمع‌کننده و همچنین اثر باد عرضی بر راندمان سامانه دودکش خورشیدی مورد ارزیابی قرار گیرد.

<sup>1</sup> Ambient Cross Wind (ACW)

<sup>2</sup>Artificial Environment Simulation Laboratory (AESL)

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- اجزاء شبیه‌ساز خورشیدی

برای ساخت سازه سامانه نورپردازی به ابعاد  $230 \times 110 \times 110$  cm از ورق‌های MDF سفید استفاده شد که کمترین جذب و ذخیره‌سازی انرژی گرمایی را در خود داشته باشد (شکل ۳). در بالای سازه، صفحه‌ای با سوراخ‌های دایره‌ای ایجاد شده تا منبع نور (لامپ‌ها) را در خود جای دهد.

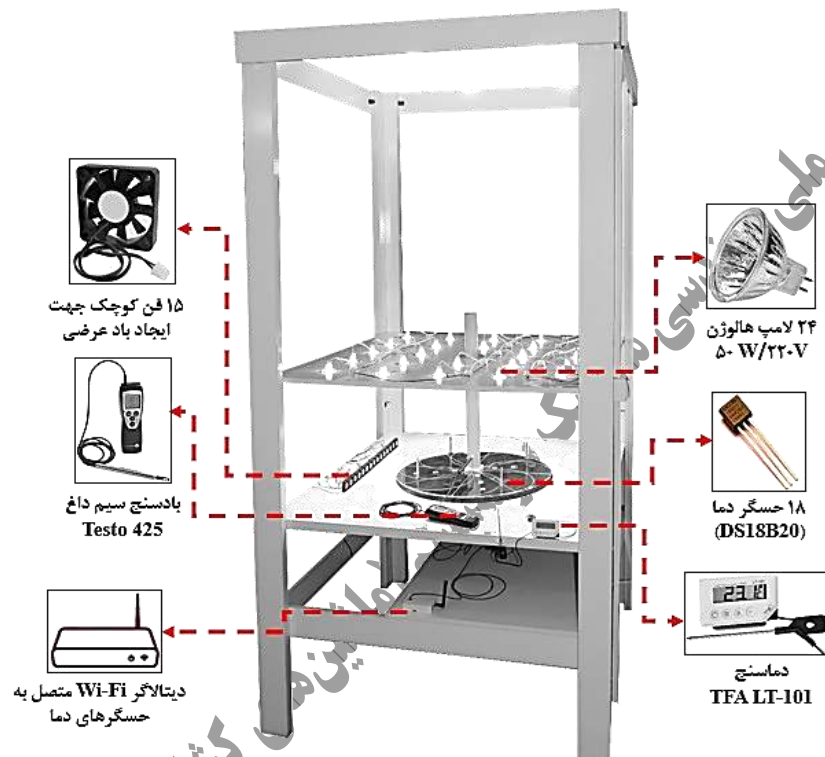
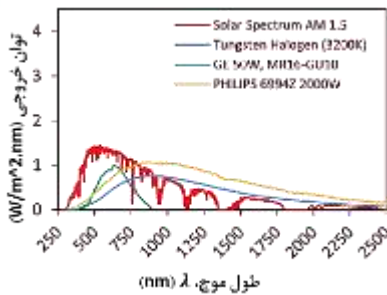


Fig 3: The solar simulator system and the measuring units

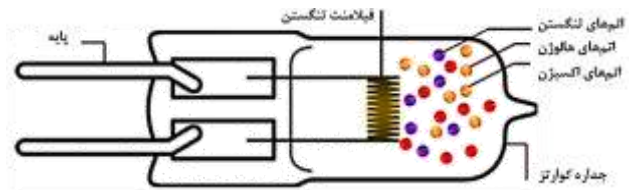
شکل ۳: سامانه شبیه‌ساز خورشیدی و واحدهای اندازه‌گیری

انتخاب منبع نور یک گام بسیار مهم در طراحی شبیه‌ساز خورشیدی است و بستگی به کاربرد شبیه‌ساز دارد (کاربرد گرمایی یا فتوولتائیک). در شبیه‌سازهایی که برای کاربردهای گرمایی استفاده می‌شوند شار بیشینه، توان و توزیع چگالی شار بسیار مهم است. این گونه شبیه‌سازها حساسیت کمتری به ناحیه فرابنفش و مرئی نسبت به ناحیه فروسرخ طیف دارند، زیرا ناحیه فروسرخ نمایانگر اکثر تابش حرارتی منتشر شده از اشیاء است. بنابراین، در چنین شبیه‌سازهایی از یک نوع لامپ از جمله قوس آرگون، متال هالاید، تنگستن-هالوژن و قوس زنون با ترکیبی خاص بهره می‌گیرند (Tawfik et al., 2018).





ب



الف

Fig 4: a) Schematic of Tungsten Halogen Lamp and b) The comparison between Tungsten Halogen Lamp spectrum and standard spectrum (Tawfik et al., 2018)

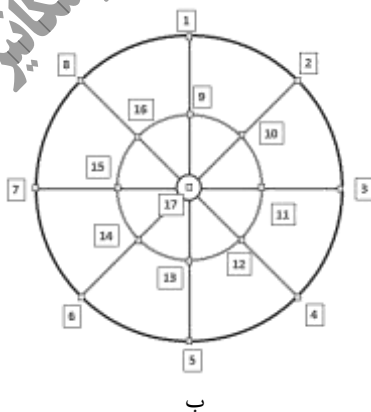
شکل ۴: الف) شماتیک لامپ تنگستن-هالوژن و ب) مقایسه طیف لامپ تنگستن-هالوژن با طیف استاندارد (Tawfik et al., 2018)

از میان این لامپ‌ها، لامپ هالوژن، تابش ضعیفی در ناحیه فرابنفش و تابش قوی‌تری در ناحیه فروسرخ دارند. از این رو لامپ هالوژن به دلیل دارا بودن شباهت طیفی با خورشید، هزینه پایین‌تر و نور خروجی بسیار عالی می‌توانند گزینه‌ای مناسب برای شبیه‌سازهای خورشیدی با کاربرد گرمایی باشد (Tawfik et al., 2018). در طراحی این شبیه‌ساز نیز از لامپ هالوژن  $220\text{ V} / 50\text{ W}$  استفاده شده است.

علاوه بر سامانه نورپردازی، یک آرایه از فن‌های کوچک در یک‌سوی شبیه‌ساز تعبیه شده تا برای ایجاد بادهای عرضی مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۳). سایر اجزاء شبیه‌ساز به همراه واحدهای اندازه‌گیری دما و سرعت باد و همچنین مدل دودکش خورشیدی در شکل ۳ قابل مشاهده هستند. سطح آزمون شبیه‌ساز با قرارگیری لامپ‌ها در ارتفاع  $45\text{ cm}$  برابر با  $100 \times 100\text{ cm}$  است. در این سطح، یک مدل دودکش خورشیدی با جمع‌کننده‌ای از جنس آکرلیک گلس شفاف و به قطر  $60\text{ cm}$  و ارتفاع  $2\text{ cm}$  قرار می‌گیرد که قابلیت نصب پره‌های هادی را در زیر خود دارد (شکل ۴).

## ۲-۲- ارزیابی شبیه‌ساز خورشیدی

این ارزیابی در دو بخش انجام شد. ابتدا با سنجش شدت تابش شبیه‌ساز (شکل ۵) به بررسی برخی پارامترهای این شبیه‌ساز از جمله عدم یکنواختی و راندمان تبدیل پرداخته شد. سپس یک دودکش خورشیدی دارای جمع‌کننده‌ای به قطر  $60\text{ cm}$  و ارتفاع  $2\text{ cm}$  از جنس آکرلیک گلس و دودکشی به ارتفاع  $60\text{ cm}$  و قطر  $5\text{ cm}$  از جنس پی‌وی-سی در این شبیه‌ساز خورشیدی مورد آزمون قرار گرفت و سرعت و دمای جریان هوا در ورودی دودکش خورشیدی (شکل ۶) ثبت شد.



ب



الف

Fig 5: a) Solarimeter (Standard 1307) and b) Arrangement of irradiation measurement points on the absorber surface

شکل ۵: الف) تابش‌سنج (استاندارد ۱۳۰۷) و ب) ترتیب قرارگیری نقاط اندازه‌گیری شدت تابش روی سطح جاذب

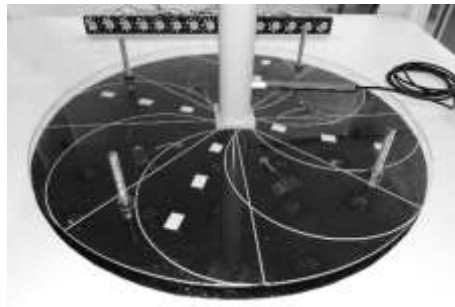


Fig 6: a) Airflow velocity and temperature measurement inside the chimney inlet

شکل ۶: اندازه‌گیری سرعت و دمای جریان هوا در ورودی دودکش

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی سامانه شبیه ساز خورشیدی

نتیجه بررسی آماری انجام شده بر شدت تابش ( $I$ ) را می‌توان در جدول ۲ دید. از این بررسی می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش ارتفاع لامپ‌ها از سطح آزمون به یکنواختی و دقت بیشتری خواهیم رسید. از طرفی مقدار این بهبود در تغییر ارتفاع ۱۵ به ۳۰ cm بسیار قابل توجه بوده است، مثلاً مقدار عدم یکنواختی از ۵۹/۶۱٪ به ۱۶/۶۳٪ کاهش یافته است. اما اکثر پارامترها در تغییر ارتفاع ۳۰ به ۴۵ cm تغییرات زیادی نداشته است، مثلاً عدم یکنواختی از ۱۶/۶۳٪ به ۱۶/۴۱٪ رسیده است. این عدم یکنواختی بسیار زیاد در ارتفاع ۱۵ cm به دلیل این است که در زمان سنجش شدت تابش، برخی نقاط در نزدیکی لامپ‌ها و برخی دیگر دور از لامپ‌ها قرار می‌گیرند و این باعث ثبت شدت‌های تابش بسیار مختلف می‌گردد.

جدول ۲: نتایج ارزیابی شبیه‌ساز دودکش خورشیدی

ارتفاع لامپ‌ها از سطح جاذب			نام/رابطه پارامترهای آماری
h=۴۵ cm	h=۳۰ cm	h=۱۵ cm	
۲۲۴/۳۸	۲۷۶/۸۱	۳۹۸/۸۸	$\mu(I) = \frac{\sum I_i}{n}$ میانگین
۴/۰۷	۶/۶۸	۴۷/۷۲	$SE_{\mu} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ خطای استاندارد میانگین
۱۶/۲۸	۲۶/۷۲	۱۹۰/۹۱	$\sigma(I) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (I_i - \mu)^2}$ انحراف معیار استاندارد
۲۶۵/۰۵	۷۱۳/۷۶	۳۶۴۴۵/۸۵	$Var(I) = \sigma^2$ واریانس نمونه
۷۵	۹۳	۶۷۹	$R(I) = I_{max} - I_{min}$ دامنه
۱۹۱	۲۳۳	۲۳۰	$I_{min}$ تابش حداقل
۲۶۶	۳۲۶	۹۰۹	$I_{max}$ تابش حداکثر
۱۶/۴۱٪	۱۶/۶۳٪	۵۹/۶۱٪	$\tau = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \times 100$ عدم یکنواختی

راندمان تبدیل<sup>۱</sup> نیز پارامتر مهمی است که بیانگر توانایی شبیه‌ساز در تبدیل انرژی الکتریکی به تابش است. این پارامتر در اینجا تنها برای ارتفاع cm

h=۴۵ محاسبه شد:

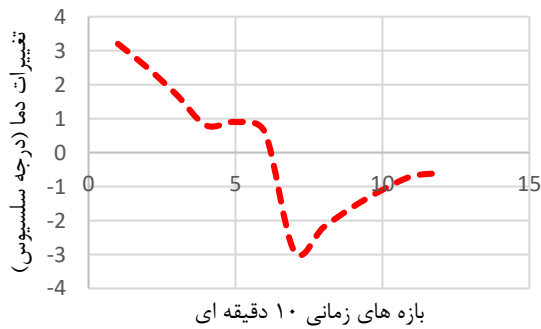
$$\eta_c(\%) = \frac{\text{Total output flux}}{\text{number of lamps} \times \text{lamp} \frac{\text{power}}{\text{target area}}} \times 100 \quad (1)$$

$$\eta_c(\%) = \frac{224.38}{24 \times \frac{50}{1 \times 1}} \times 100 = 18.7\%$$

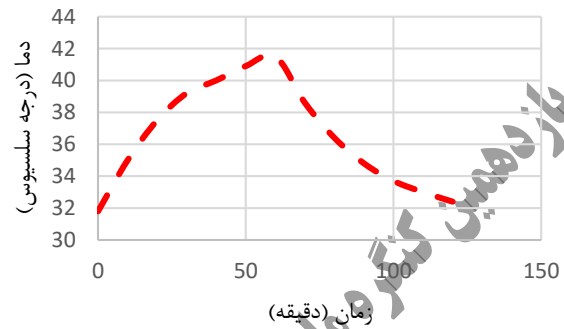
<sup>1</sup> Conversion Efficiency ( $\eta_c$ )

۳-۲- بررسی یک دودکش خورشیدی

یک مدل آزمایشگاهی دودکش خورشیدی (شکل ۶) به مدت ۶۰ دقیقه تحت تابش قرار گرفت اما پس از این مدت تابش قطع شده و داده برداری تا یک ساعت بعد ادامه پیدا کرد. نتایج مربوط به دما و سرعت جریان هوا در ورودی دودکش در شکل‌های ۷ و ۸ قابل مشاهده است.



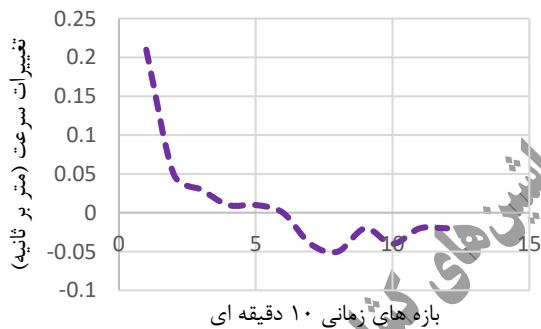
ب



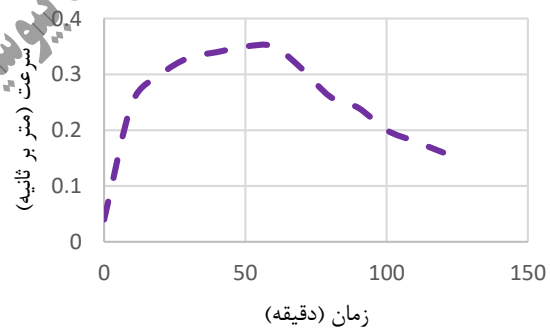
الف

Fig 7: a) Air temperature at the chimney inlet versus time (average ambient temperature 31.7°C) and b) Temperature increase/decrease within 10-minute-intervals

شکل ۷: الف) دمای هوا در ورودی دودکش خورشیدی نسبت به زمان (میانگین دمای محیط ۳۱/۷ °C) و ب) مقدار افزایش/کاهش دما در بازه های ۱۰ دقیقه ای



ب



الف

Fig 8: a) Air velocity at the chimney inlet versus time and b) Velocity increase/decrease within 10-minute-intervals

شکل ۸: الف) سرعت هوا در ورودی دودکش خورشیدی نسبت به زمان و ب) مقدار افزایش/کاهش سرعت در بازه های ۱۰ دقیقه ای

همان طور که در شکل‌های ۷ و ۸ دیده می شود بیشینه دما و سرعت جریان هوا در دودکش خورشیدی طی ۶۰ دقیقه به ۴۱/۵ °C و ۰/۳۵ m/s

می رسد. معمولاً بیشترین تغییرات در دما و سرعت در بازه های زمانی نزدیک به شروع و قطع تابش رخ می دهد اما با گذشت زمان سرعت این تغییرات کم شده تا در یک نقطه به پایداری نسبی می رسد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش با معرفی فناوری دودکش خورشیدی و بررسی کارهای تجربی پیشین به این نتیجه رسیدیم که برای انجام مطالعات دقیق تر در این زمینه نیاز به یک محیط کنترل شده یا همان شبیه ساز خورشیدی که قادر به کنترل و ایجاد شرایط محیطی مختلف از جمله بادهای عرضی است می باشد. در ادامه با معرفی یک نمونه شبیه ساز خورشیدی ساخته شده در گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد به ارزیابی این شبیه ساز





## یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



پرداخته شد. در ارزیابی این شبیه‌ساز با ثبت شدت تابش در نقاط مختلف روی سطح جاذب به بررسی برخی پارامترهای آماری و عملکردی پرداخته شد. این ارزیابی نشان داد هنگامی که لامپ‌ها در ارتفاع  $45\text{ cm}$  هستند، این شبیه‌ساز دارای عدم یکنواختی  $16/41\%$  و راندمان تبدیل  $18/7\%$  می‌باشد. در ادامه با قرار دادن یک نمونه دودکش خورشیدی در شبیه‌ساز به بررسی بیشینه دما و سرعت جریان هوا در ورودی دودکش خورشیدی بررسی شد. این بررسی نشان داد که حداکثر دما و سرعت جریان هوا در ورودی دودکش به  $41/5\text{ }^{\circ}\text{C}$  و  $0/35\text{ m/s}$  می‌رسد.

### ۵- منابع

- Ghulamchi, M., Kasaeian, A., Ghulamchi, M., & Mirzahosseini, A. H. (2016). An experimental study on the thermal performance of a solar chimney with different dimensional parameters. *Renewable Energy*, 91, 477-483 .
- Guo, P., Wang, Y., Meng, Q., & Li, J. (2016). Experimental study on an indoor scale solar chimney setup in an artificial environment simulation laboratory. *Applied Thermal Engineering*, 107, 818-826 .
- Jemli, M. R., Naili, N., Farhat, A., & Guizani, A. (2017). Experimental investigation of solar tower with chimney effect installed in CRTEn, Tunisia. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(13), 8650-8660 .
- Kasaeian, A., Heidari, E., & Vatan, S. N. (2011). Experimental investigation of climatic effects on the efficiency of a solar chimney pilot power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5202-5206 .
- Maia, C. B., Ferreira, A. G., Valle, R. M., & Cortez, M. F. (2009). Theoretical evaluation of the influence of geometric parameters and materials on the behavior of the airflow in a solar chimney. *Computers & Fluids*, 38(3), 625-636 .
- Ming, T., Gong, T., de Richter, R. K., Liu, W., & Koonsrisuk, A. (2016). Freshwater generation from a solar chimney power plant. *Energy Conversion and Management*, 113, 189-200 .
- Najmi, M., Nazari, A., Mansouri, H., & Zahedi, G. (2012). Feasibility study on optimization of a typical solar chimney power plant. *Heat and Mass Transfer*, 48(3), 475-485 .
- Nizetic, S., Ninic, N., & Klarin, B. (2008). Analysis and feasibility of implementing solar chimney power plants in the Mediterranean region. *Energy*, 33(11), 1680-1690 .
- Ohya, Y., Wataka, M., Watanabe, K., & Uchida, T. (2016). Laboratory Experiment and Numerical Analysis of a New Type of Solar Tower Efficiently Generating a Thermal Updraft. *Energies*, 9, 1077 (12)
- Pasumarthi, N., & Sherif, S. (1998a). Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model—Part I: mathematical model development. *International Journal of Energy Research*, 22(3), 277-288 .
- Pasumarthi, N., & Sherif, S. (1998b). Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model—Part II: experimental and theoretical results and economic analysis. *International Journal of Energy Research*, 22(5), 443-461 .
- Schlaich, J. (1995). *The solar chimney :electricity from the sun*: Edition Axel Menges.
- Schlaich, J., Bergermann, R., Schiel, W., & Weinrebe, G. (2005). Design of commercial solar updraft tower systems—utilization of solar induced convective flows for power generation. *Journal of Solar Energy Engineering*, 127(1), 117-124 .
- Shahreza, A. R., & Imani, H. (2015). Experimental and numerical investigation on an innovative solar chimney. *Energy Conversion and Management*, 95, 446-452 .
- Tawfik, M., Tonnellier, X., & Sansom, C. (2018). Light source selection for a solar simulator for thermal applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 802-813 .