

تحلیل عددی و بهینه‌سازی هندسی باهدف بهبود عملکرد دودکش خورشیدی

رضا افشاری*^۱

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

[*Reza_afshari@mecheng.iust.ac.ir](mailto:Reza_afshari@mecheng.iust.ac.ir)

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از شبیه‌سازی عددی، تأثیر دو پارامتر هندسی مهم یعنی زاویه گلوگاه و زاویه جمع‌کننده بر عملکرد دودکش خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است. دودکش خورشیدی به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوین تولید انرژی پاک، توانایی تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی را داراست. در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار آنسیس و مدل توربولانسی SST k- ω ، جریان هوا درون دودکش شبیه‌سازی شده و پارامترهای مختلفی مانند سرعت جریان، دما و توان تولیدی محاسبه گردیده است. نتایج نشان می‌دهند که تغییرات در زاویه گلوگاه و زاویه جمع‌کننده تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دودکش دارند. با بهینه‌سازی این دو پارامتر، می‌توان به افزایش قابل توجه توان تولیدی دست یافت. به طور خاص، نتایج نشان دادند که در زاویه گلوگاه ۸۵ درجه و زاویه جمع‌کننده ۸ درجه، بیشترین توان تولیدی حاصل می‌شود که نسبت به حالت پایه حدود ۱۰۰ درصد افزایش دارد. این پژوهش نشان می‌دهد که با انجام مطالعات دقیق و شبیه‌سازی‌های عددی، می‌توان به طراحی بهینه دودکش‌های خورشیدی دست یافت و از این طریق به افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید انرژی کمک کرد.

کلمات کلیدی: دودکش خورشیدی، شبیه‌سازی عددی، آنسیس، زاویه گلوگاه، زاویه جمع‌کننده، توان تولیدی

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، با افزایش روزافزون تقاضای انرژی در سراسر جهان، نیاز به منابع انرژی پایدار و تجدیدپذیر بیش از پیش احساس می‌شود. سوخت‌های فسیلی که به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌سرعت در حال اتمام هستند و استفاده از آن‌ها با مشکلات زیست‌محیطی جدی مانند آلودگی هوا و تغییرات اقلیمی همراه است [۱]. در این میان، انرژی خورشیدی به‌عنوان یکی از منابع تجدیدپذیر و پاک، توجه بسیاری از پژوهشگران و مهندسان را به خود جلب کرده است.

انرژی خورشیدی به دلیل فراوانی، دسترسی آسان و عدم تولید آلودگی، یکی از بهترین گزینه‌ها برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی محسوب می‌شود. استفاده از این منبع انرژی می‌تواند به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی کمک کند. یکی از روش‌های بهره‌برداری از انرژی خورشیدی، استفاده از دودکش‌های خورشیدی است.

دودکش خورشیدی یک سیستم ساده و کارآمد برای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی حرارتی و سپس به انرژی مکانیکی است. این سیستم شامل یک کلکتور خورشیدی است که هوا را گرم می‌کند و سپس هوای گرم به سمت بالا حرکت کرده و

از طریق یک دودکش بلند خارج می‌شود. این جریان هوا می‌تواند برای تولید برق یا تهویه مطبوع ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد. بررسی و بهینه‌سازی پارامترهای هندسی دودکش خورشیدی می‌تواند به بهبود عملکرد و افزایش کارایی این سیستم کمک کند [۲]. اولین دودکش خورشیدی در سال ۱۹۳۱ توسط هانس گونتر پیشنهاد شد. دو سال بعد اولین نسخه این نیروگاه در مانزاس اسپانیا ساخته شد. پس از آن، هاف و همکاران و شلاپش عملکرد کلی دودکش خورشیدی را ارائه دادند و نتایج مربوط به نیروگاه نمونه در مانزاس^۱ را ارزیابی کردند [۳]، [۴]، [۵].

عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی تحت تأثیر پارامترهای هندسی مانند ارتفاع دودکش، قطر دودکش، قطر جمع‌کننده، ارتفاع سقف جمع‌کننده و شیب سقف جمع‌کننده قرار می‌گیرد [۶]. دهکردی و قاسمی تأثیر تغییرات هندسه صفحه جاذب بر عملکرد دودکش خورشیدی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع دیوار جاذب میانی در مرکز دودکش خورشیدی، بیشینه سرعت جریان هوا افزایش می‌یابد [۷].

سانداراراج^۲ و همکاران [۸] برای مطالعه متغیرهای طراحی بر روی عملکرد سیستم^۳ SSCP متشکل از یک کلکتور نیمه بسته مجهز به دودکش برج واگرا از تکنیک CFD و روش تجربی استفاده کردند. نتیجه CFD نشان می‌دهد که کلکتور همگرا، با تغییر دمای میانگین ۱۸ کلوین، باعث افزایش اثر جریان صعودی می‌شود.

الزواوی و همکاران [۹] تأثیر قطر کلکتور بر عملکرد دودکش برج را با دو قطر متفاوت ۹ و ۱۲ متر مطالعه کردند. نتایج نشان داد که قطر کلکتور بیشتر باعث افزایش سرعت، دما و میانگین راندمان روزانه سیستم می‌شود. لی^۴ و همکاران [۱۰] روی مطالعه SSCP کار کرده و تأثیر شعاع کلکتور بر کارایی دودکش را بررسی کردند. آنها توان خروجی ۵۳ کیلووات را در شعاع ۱۲۲ متر به دست آوردند. هنگامی که شعاع به ۲۴۴ متر افزایش یافت، انرژی ۱۸۸ کیلووات بود، که نشان می‌دهد انرژی خروجی با افزایش شعاع کلکتور افزایش می‌یابد.

کریمی‌پور فرد و بهشتی [۱۱] نشان دادند که افزایش ارتفاع دودکش برج باعث کاهش تولید و راندمان انرژی الکتریکی می‌شود و خاطر نشان کردند که دودکش برجی با ارتفاع ۲ متر دارای قدرت ۴۴ کیلو وات و بازده ۰.۸ درصد است در حالی که دودکش برجی با ارتفاع ۳ متر کاهش انرژی در حدود ۱۱.۴٪ یا ۳۵.۹ کیلو وات و کاهش بازده ۰.۵۶٪ مشاهده شد.

دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای بررسی نیروگاه‌های دودکش خورشیدی توسط هرمن فاضل و همکاران مورد استفاده قرار گرفت، آنها ارتفاعات مختلف برج و شعاع جمع‌کننده را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مکان انتقال آرام - آشفته به شدت بر انتقال حرارت در کلکتور تأثیر می‌گذارد [۱۲].

خوالا^۵ و لاربی^۶ [۱۳] یک تحلیل نظری ارائه کردند و بررسی کردند که چگونه قطر دودکش برج بر عملکرد آن تأثیر می‌گذارد. یافته‌ها نشان داد که افزایش قطر دودکش برج از (۱۰-۳۰) سانتی متر منجر به افزایش تولید برق از (۵۱.۸-۸۲.۸) کیلووات، به ترتیب، تقریباً ۶۰٪ می‌شود. غلامعلی زاده و منصور [۱۴] بر روی یک مطالعه نظری در ایران با استفاده از برنامه CFD کار کردند. آنها دریافتند که با افزایش قطر یک SSCP از (۳-۵) متر، سرعت جریان به بیش از ۱۵۰٪ افزایش یافت.

ماندال^۷ و همکاران [۱۵] اثر واگرایی برج و جاذب شیب بر عملکرد سیستم SSCP را مورد مطالعه قرار دادند. یک تحلیل عددی برای بررسی دقیق اثر اشکال مختلف دودکش بر عملکرد یک SSCP به دست آمد. در مقایسه با کارخانه سنتی

¹ Manzanares

² Sundararaj

³ Solar Chimney Power Plant

⁴ Li

⁵ Ikhlef

⁶ S. Larbi

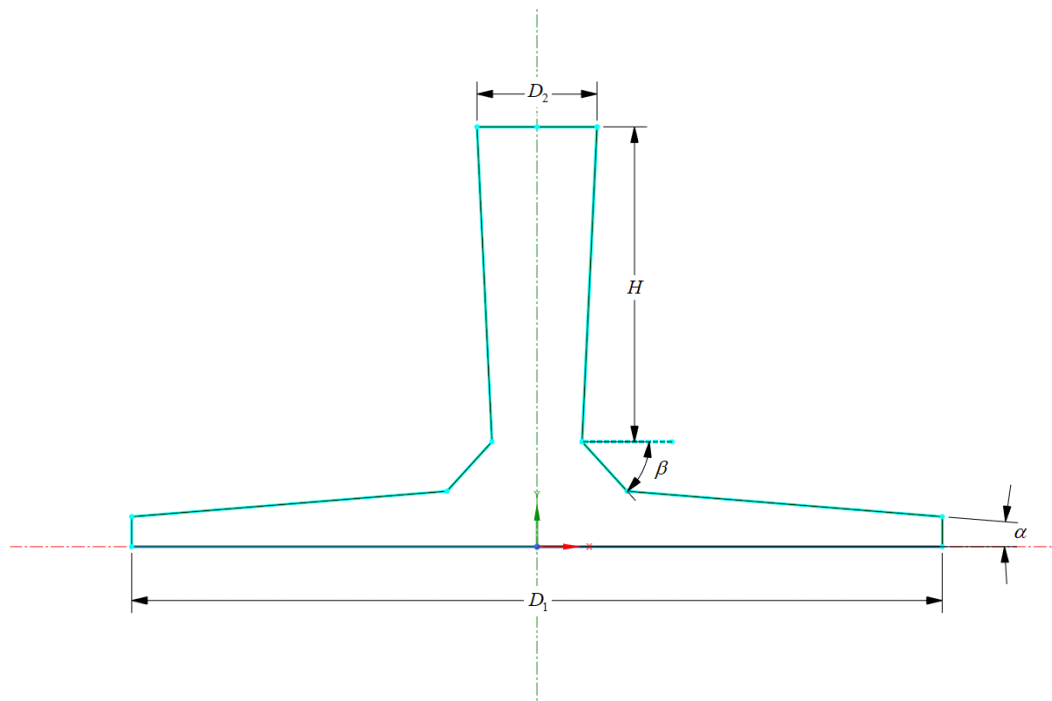
⁷ Mandal



مانزائارس، جاذب شیب دار زمین و دودکش واگرا افزایش تولید برق را تا ۸۰ درصد نشان می‌دهد. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که پارامترهای هندسی تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دودکش‌های خورشیدی دارند. در سال‌های اخیر پژوهشگران اشکال متفاوتی را مورد بررسی قرار دادند. پارامترهای مؤثر بر عملکرد دودکش به چند بخش تقسیم می‌شوند. جاذب که به‌عنوان یکی از اجزای دودکش برج در نظر گرفته می‌شود، جایی است که انرژی خورشیدی را جذب می‌کند. شعاع، فاصله از زمین و شیب جاذب مهم‌ترین عوامل در طراحی جاذب هستند که بر عملکرد دودکش تأثیر گذارند. در دودکش، بخشی که هوا درون جاذب از طریق آن به بیرون هدایت می‌شود نیز ارتفاع، قطر و زاویه همگرایی اهمیت دارد. در پژوهش حاضر تأثیر دو پارامتر هندسی دیگر با استفاده از انسیس فلونت مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پارامترهای مورد بررسی زاویه سطح جاذب و زاویه گلوگاه دودکش هستند. ادامه پژوهش به‌صورت زیر سازماندهی شده است.

۲. تعریف مسئله

هندسه مورد ارزیابی در این تحقیق بر اساس مرجع [۱۶] انتخاب شده و به‌صورت تقارن سه‌بعدی طراحی گردیده است. که در شکل ۱ به نمایش درآمده است. این رویکرد به‌منظور تسهیل در تحلیل‌های عددی و افزایش کارایی شبیه‌سازی‌های مربوط به جریان سیال اتخاذ شده است. در این مدل، با اعمال دمایی بالاتر از دمای محیط بر روی سطح زمین، جریان طبیعی سیال به وجود آمده است.



شکل ۱- نمایی از هندسه مورد مطالعه

مدل حاضر تحت تأثیر میدان گرانشی به سمت محور عمودی و فشار اتمسفر در خارج از دامنه محاسباتی قرار دارد. برای مرز ورودی، شرایط ثابت فشار (۱۰۱ کیلو پاسکال) و دما (۳۰۳ کلوین) به‌عنوان شرایط مرزی اعمال شده‌اند. همچنین، در مرز خروجی، فشار ثابت (۱۰۱ کیلو پاسکال) نیز حفظ گردیده است تا اطمینان از صحت شبیه‌سازی جریان برقرار باشد.

برای سطح زمین، شرط عدم لغزش در معادلات مومنتوم و دمای ثابت (۳۲۳ کلوین) لحاظ شده است. علاوه بر این، در دیواره‌های گلوگاه و جمع‌کننده، شرایط عدم لغزش برای معادلات مومنتوم و شرایط آدیاباتیک برای معادله انرژی در نظر گرفته شده‌اند. این انتخاب‌ها به منظور اطمینان از دقت و صحت نتایج شبیه‌سازی به کار گرفته شده است. جهت اعتبارسنجی نتایج، هندسه اولیه بر اساس مطالعات پیشین طراحی گردید. در ادامه، باهدف بررسی تأثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد سیستم و یافتن پیکربندی بهینه، زاویه گلوگاه و زاویه جمع‌کننده به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. این زوایا در بازه‌های ۳۵ تا ۸۵ درجه برای گلوگاه و ۰ تا ۱۵ درجه برای جمع‌کننده، تغییر داده شده و تأثیر آن‌ها بر توان تولیدی سیستم ارزیابی گردید.

۳. معادلات حاکم

منتر^۱ [۱۷] در سال ۱۹۹۴ با ترکیب دو مدل توربولانسی k-ε و k-ω مدل SST k-ω را معرفی کرد. این مدل در نزدیکی دیواره از مدل k-ω و در جریان آزاد از مدل k-ε استفاده می‌کند. برای ترکیب این دو مدل از یک تابع آمیختگی استفاده شده است. معادلات انتقال این مدل به‌صورت زیر است:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \rho P_k - \rho \beta^* k \omega + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \omega}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial \omega}{\partial x_i} = \alpha \rho S^2 - \rho \beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \right] + 2\rho(1-F_1)\sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (2)$$

لزجت آشفتگی به‌صورت زیر مدل می‌شود:

$$\mu_t = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, SF_2)} \quad (3)$$

ضرایب معادلات (۱) تا (۳) به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$F_1 = \tanh \left(\left[\min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4\sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} y^2} \right] \right]^2 \right) \quad (4)$$

$$F_2 = \tanh \left[\left(\max \left(2 \frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\mu}{\rho y^2 \omega} \right) \right)^2 \right] \quad (5)$$

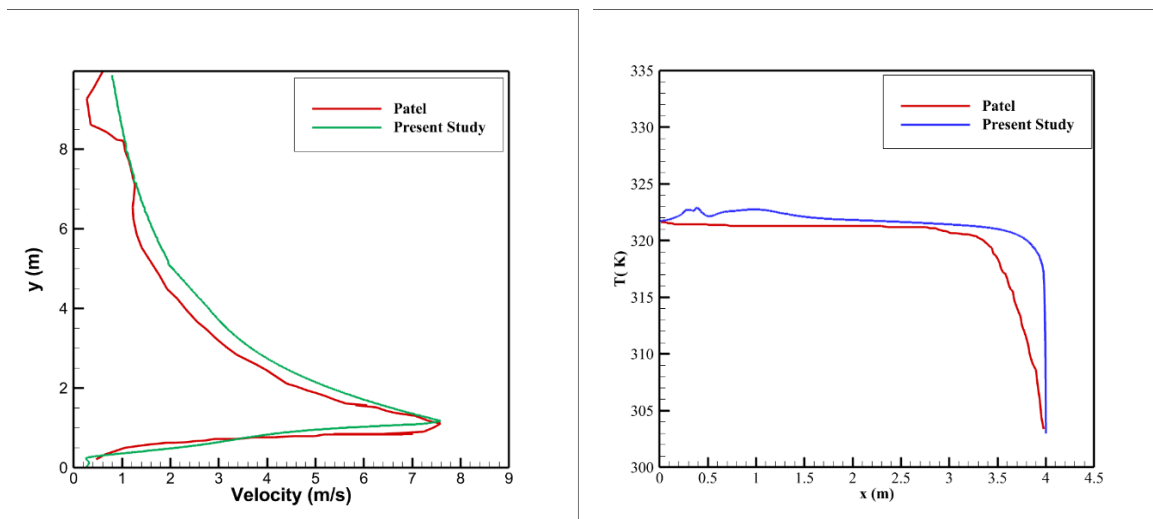
$$CD_{k\omega} = \max \left(2\rho\sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}, 10^{-10} \right) \quad (6)$$

¹ Menter

۴. نتایج

۱.۴. اعتبارسنجی

به منظور اطمینان از صحت مراحل شبیه‌سازی، داده‌های به دست آمده با نتایج معتبر موجود مقایسه شده‌اند. پروفیل سرعت در خط مرکزی دودکش خورشیدی با داده‌های پژوهش پاتل^۱ و همکاران [۱۶] مقایسه شد. این مقایسه نشان‌دهنده همخوانی قابل قبول نتایج این پژوهش است.



(ب)

(الف)

شکل ۲- اعتبارسنجی مدل عددی حاضر با مرجع [۱۶]

در شکل نمودار دما نیز در خطی به فاصله ۰.۱۲۵ از زمین مورد بررسی قرار گرفت و نشان می‌دهد که شبیه‌سازی انجام شده برای معادلات انرژی نیز از دقت بالایی برخوردار است.

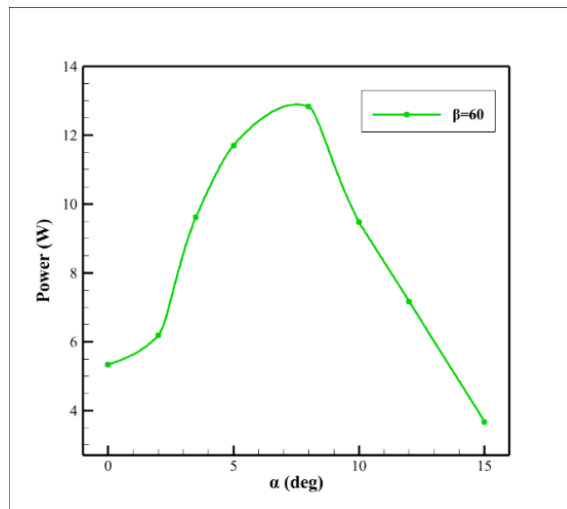
۲.۴. بررسی تغییر زاویه جمع‌کننده

توان قابل دسترس در توربین با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۶].

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (7)$$

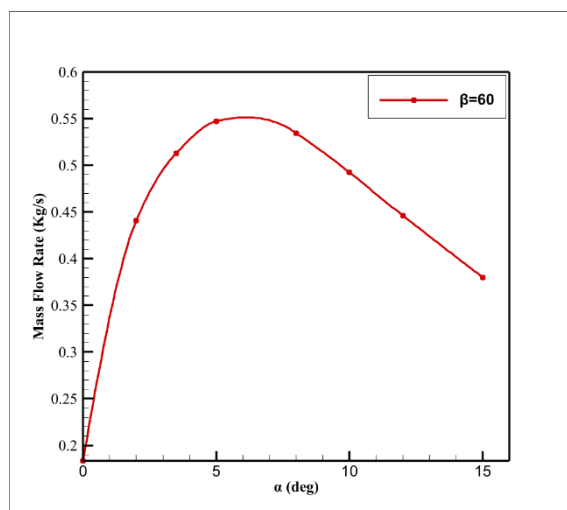
در تحقیق پیش‌رو با تغییر زاویه جمع‌کننده توان در دسترس محاسبه شده است. در شکل بالاترین مقدار توان در دسترس و بالاترین دبی جرمی برای زوایای مختلف گزارش شده است. با افزایش سرعت و دبی جرمی تبادل حرارتی با محیط کمتر شده و باعث می‌شود که سیال صعود سریع‌تری به طرف بالای دودکش حرارتی داشته باشد.

¹ Patel



شکل ۳- تأثیر تغییر زاویه جمع‌کننده بر توان تولیدی در دسترس

در زاویه ۸ درجه، تلفات حرارتی به حداقل می‌رسد و بیشترین مقدار انرژی حرارتی به تبدیل به انرژی جنبشی جریان هوا اختصاص می‌یابد. این امر باعث افزایش ۳۵ درصدی توان تولیدی توربین می‌شود.

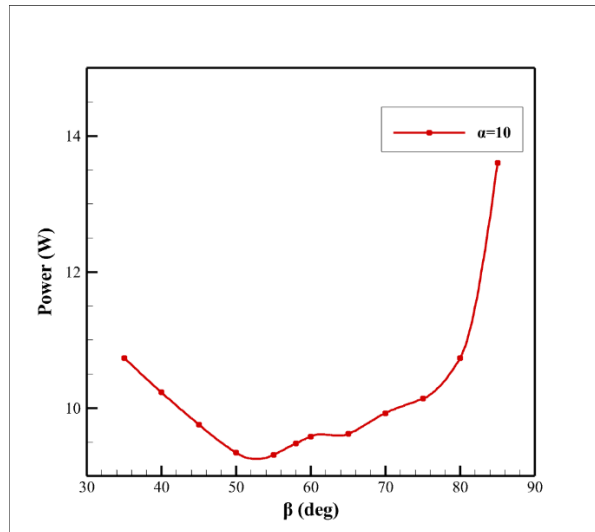


شکل ۴- تأثیر تغییر زاویه جمع‌کننده بر دبی جرمی عبوری از دودکش خورشیدی

همچنین مقدار دبی جرمی بیشینه در $\alpha=5$ گزارش شده که افزایش ۱۲ درصدی را نسبت به حالت پایه در مرجع [۱۶] نشان می‌دهد.

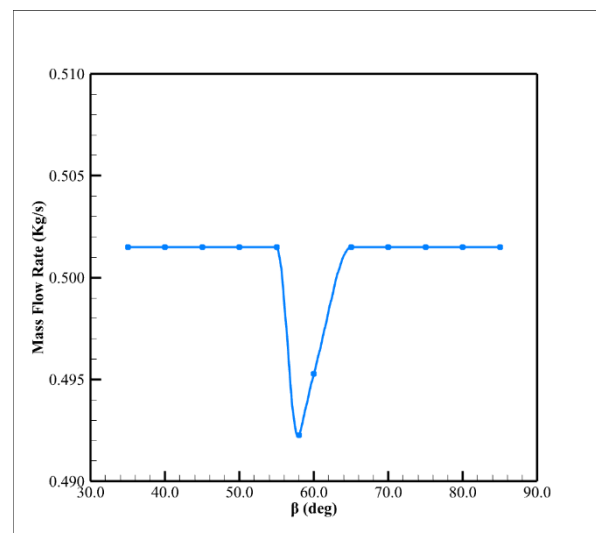
۳.۴. بررسی تغییر زاویه گلوگاه

به‌مانند قسمت قبل برای بررسی و پیدا کردن اثر زاویه گلوگاه بر توان تولیدی در دسترس و دبی جرمی عبوری از دودکش خورشیدی از زاویه ۳۵ تا ۸۵ درجه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.



شکل ۵- تأثیر تغییر زاویه گلوگاه بر توان تولیدی در دسترس

بر اساس نتایج حاصل از نمودار، مشاهده می‌شود که تغییرات زاویه گلوگاه نسبت به حالت پایه، تأثیر مستقیم و قابل توجهی بر توان تولیدی دارد. این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش یا کاهش زاویه گلوگاه از مقدار پایه، توان تولیدی افزایش می‌یابد. در محدوده زوایای کوچک‌تر، حداکثر توان تولیدی در زاویه ۳۵ درجه با افزایش ۱۲ درصدی نسبت به حالت پایه حاصل می‌شود. همچنین، در محدوده زوایای بزرگ‌تر، حداکثر توان تولیدی در زاویه ۸۵ درجه با افزایش ۴۰ درصدی نسبت به حالت پایه مشاهده می‌شود.



شکل ۶- تأثیر تغییر زاویه جمع‌کننده بر دبی جرمی عبوری از دودکش خورشیدی

همچنین در شکل مشاهده می‌شود که با افزایش و کاهش زاویه گلوگاه تا ۲ درصد دبی جرمی افزایش پیدا می‌کند.



۴.۴. بررسی هندسه بهینه

با توجه به نتایج دو قسمت قبل یک مدل جدید با زاویه بهینه گلوگاه و زاویه بهینه جمع‌کننده شبیه‌سازی شده است و انتظار می‌رود توان در این حالت بیشترین مقدار را داشته باشد. نتایج بهینه‌ترین حالت در جدول ۱ نشان‌دادن شده است.

جدول ۱- توان هندسه بهینه

توان در دسترس	زاویه جمع‌کننده	زاویه گلوگاه
۱۸.۲	۸	۸۵

در بهینه‌ترین حالت توان تولیدی در دسترس افزایش ۱۰۰ درصدی را نسبت به حالت پایه نشان می‌دهد.

۵. نتیجه گیری

در این پژوهش، باهدف ارتقا عملکرد دودکش‌های خورشیدی به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوین تولید انرژی پاک، تأثیر دو پارامتر هندسی کلیدی یعنی زاویه گلوگاه و زاویه جمع‌کننده بر عملکرد این سیستم مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی عددی و نرم‌افزار انسیس، رفتار سیال درون دودکش و پارامترهای کلیدی همچون سرعت جریان، دما و توان تولیدی محاسبه و تحلیل گردید.

در این مطالعه، مدل دوبعدی از دودکش خورشیدی با در نظر گرفتن هندسه واقعی و شرایط مرزی مناسب ایجاد شد. سپس با تغییر زاویه گلوگاه و زاویه جمع‌کننده در محدوده‌های مشخص شده، شبیه‌سازی‌های متعدد انجام گردید. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها به‌منظور تحلیل تأثیر تغییرات هندسی بر عملکرد دودکش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی نشان داد که تغییرات در زاویه گلوگاه و زاویه جمع‌کننده تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دودکش خورشیدی دارند. به‌طور خلاصه، نتایج به شرح زیر است:

- **تأثیر زاویه گلوگاه:** با تغییر زاویه گلوگاه، می‌توان به افزایش قابل توجهی در توان تولیدی و دبی جرمی دست یافت. در این حالت دبی جرمی ۲ درصد و توان تولیدی تا ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. این امر به دلیل تغییرات در الگوی جریان سیال درون دودکش و بهبود انتقال حرارت است.
- **تأثیر زاویه جمع‌کننده:** تغییر زاویه جمع‌کننده نیز به نوبه خود، بر افزایش توان و دبی جرمی تأثیرگذار بوده است. زاویه جمع‌کننده بهینه باعث افزایش ۱۲ درصدی دبی جرمی و افزایش ۳۵ درصدی توان تولیدی می‌شود. با انتخاب بهینه زاویه جمع‌کننده، می‌توان به افزایش کارایی جذب انرژی خورشیدی و در نتیجه افزایش توان تولیدی دست یافت.
- **بهینه‌سازی هندسی:** با ترکیب بهینه زاویه گلوگاه و زاویه جمع‌کننده، توانستیم به افزایش حدود ۱۰۰ درصدی توان تولیدی نسبت به حالت پایه دست یابیم. این نشان می‌دهد که با انتخاب مناسب این دو پارامتر، می‌توان به طور قابل توجهی عملکرد دودکش خورشیدی را بهبود بخشید.



- یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که هندسه دودکش خورشیدی نقش بسیار مهمی در عملکرد آن ایفا می‌کند. با انجام مطالعات دقیق و شبیه‌سازی‌های عددی، می‌توان به طراحی بهینه دودکش‌های خورشیدی دست یافت و از این طریق به افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید انرژی کمک کرد.
- برای تکمیل این پژوهش و گسترش دانش در زمینه دودکش‌های خورشیدی، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات آینده بر روی موارد زیر متمرکز شوند:
 - مطالعه تأثیر جنس مواد به‌کاررفته در ساخت دودکش بر عملکرد آن.
 - بررسی اقتصادی و زیست‌محیطی دودکش‌های خورشیدی با هندسه بهینه.
 - توسعه مدل‌های پیشرفته‌تر برای شبیه‌سازی عملکرد دودکش خورشیدی با در نظر گرفتن عوامل محیطی مختلف.
- با انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه، می‌توان به درک عمیق‌تری از عملکرد دودکش‌های خورشیدی دست یافت و از این فناوری به‌عنوان یکی از منابع انرژی پاک و پایدار بهره برد. در نهایت، لازم به ذکر است که این پژوهش تنها یک گام در جهت بهبود عملکرد دودکش‌های خورشیدی است و تحقیقات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است. باتوجه به نتایج این پژوهش، می‌توان امیدوار بود که با پیشرفت فناوری و انجام تحقیقات بیشتر، دودکش‌های خورشیدی در آینده به‌عنوان یکی از منابع مهم تولید انرژی پاک در جهان مورد استفاده قرار گیرند.



۶. مراجع

- [1] R. S. Aweid, O. K. Ahmed, and S. Algburi, "Performance of floating photovoltaic/thermal system: Experimental assessment," *Int. J. Energy Res.*, vol. 46, no. 15, pp. 24229–24242, 2022.
- [2] H. H. Al-Kayiem and O. C. Aja, "Historic and recent progress in solar chimney power plant enhancing technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 1269–1292, 2016.
- [3] W. Haaf, K. Friedrich, G. Mayr, and J. Schlaich, "Solar chimneys part I: principle and construction of the pilot plant in Manzanares," *Int. J. Sol. Energy*, vol. 2, no. 1, pp. 3–20, 1983.
- [4] W. Haaf, "Solar chimneys: part ii: preliminary test results from the Manzanares pilot plant," *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 2, no. 2, pp. 141–161, 1984.
- [5] J. Schlaich, *The solar chimney: electricity from the sun*. Edition Axel Menges, 1995.
- [6] A. Ayadi, A. Bouabidi, Z. Driss, and M. S. Abid, "Experimental and numerical analysis of the collector roof height effect on the solar chimney performance," *Renew. Energy*, vol. 115, pp. 649–662, 2018.
- [7] I. Pishkar Dehkordi and B. Ghasemi, "NUMERICAL INVESTIGATION OF THE SOLAR CHIMNEY PERFORMANCE WITH THE INTERMEDIATE ABSORBING WALL," *Sharif J. Mech. Eng.*, vol. 35, no. 2, pp. 57–66, 2019.
- [8] M. Sundararaj, N. Rajamurugu, J. Anbarasi, S. Yaknesh, and R. Sathyamurthy, "Parametric optimization of novel solar chimney power plant using response surface methodology," *Results Eng.*, vol. 16, p. 100633, 2022.
- [9] S. S. Al-Azawiey, H. H. Al-Kayiem, and S. B. Hassan, "On the influence of collector size on the solar chimneys performance," presented at the MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, 2017, p. 02011.
- [10] J. Li, P. Guo, and Y. Wang, "Effects of collector radius and chimney height on power output of a solar chimney power plant with turbines," *Renew. Energy*, vol. 47, pp. 21–28, 2012.
- [11] P. Karimipour-Fard and H. Beheshti, "Performance enhancement and environmental impact analysis of a solar chimney power plant: Twenty-four-hour simulation in climate condition of isfahan province, iran," *Int. J. Eng.*, vol. 30, no. 8, pp. 1260–1269, 2017.
- [12] H. F. Fasel, F. Meng, E. Shams, and A. Gross, "CFD analysis for solar chimney power plants," *Sol. Energy*, vol. 98, pp. 12–22, 2013.
- [13] K. Ikhlef and S. Larbi, "Energy performance analysis of a solar chimney power plant with and without thermal storage system," presented at the 6th International Conference on Automation, Control, Engineering and Computer Science ACECS-2019, İstanbul, Turkey, 2019.
- [14] E. Gholamalizadeh and S. Mansouri, "A comprehensive approach to design and improve a solar chimney power plant: A special case–Kerman project," *Appl. Energy*, vol. 102, pp. 975–982, 2013.



- [15] D. K. Mandal, S. Pradhan, R. Chakraborty, A. Barman, and N. Biswas, “Experimental investigation of a solar chimney power plant and its numerical verification of thermo-physical flow parameters for performance enhancement,” *Sustain. Energy Technol. Assess.*, vol. 50, p. 101786, 2022.
- [16] S. K. Patel, D. Prasad, and M. R. Ahmed, “Computational studies on the effect of geometric parameters on the performance of a solar chimney power plant,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 77, pp. 424–431, 2014.
- [17] F. R. Menter, “Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications,” *AIAA J.*, vol. 32, no. 8, pp. 1598–1605, 1994.