شبیه‌سازی عددی نیروگاه دودکش خورشیدی (SCPP) در شهرهای جنوبی ایران با استفاده از شبیه‌سازی عددی حجم محدود

رضا بابائی اسپوئی
دکتری، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران
babaeitmu@gmail.com

مصطفی ذکریاپور
استادیار، گروه مهندسی مکانیک و هوافضا، واحد رامسر، دانشگاه آزاد اسلامی، رامسر، ایران (نویسنده مسئول)
m.zakariapour@iauramsar.ac.ir

رضا ناصری
استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران
rnaseri@tvu.ac.ir

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۲/۳۱

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۸/۱۴

کلمات کلیدی:
نیروگاه دودکش خورشیدی
شهرهای جنوبی ایران
حجم محدود
انسیس فلوئنت
توان خروجی

چکیده

در کار حا ضر، شبیه سازی عددی حجم‌محدود نیروگاه خور شیدی با ا ستفاده از نرم‌افزار انسیس‌فلوئنت (FLUENT-ANSYS) در شرایط آب و هوایی شهر های اهواز، بندرعباس، کرمان و شیراز انجام شد. در این شبیه سازی، شرایط آب و هوایی شهرها با در نظر گرفتن میزان تشعشع خورشید، دمای محیط و سرعت باد در نظر گرفته می شود. کانتورهای سرعت و فشار نشان داد که تغییرات عمده در سرعت و فشار در ناحیه اتصال کلکتور و دودکش اتفاق می‌افتد. افت فشار متوسط برای شهرهای اهواز، بندرعباس، کرمان و شیراز به ترتیب ۱۲۰,۹، ۱۱۹,۸۳، ۱۳۴ و ۱۲۷ پاسکال و میزان سرعت متوسط به ترتیب ۱۳,۵، ۱۳,۴۴، ۱۴,۲۵ و ۱۳,۸۸ متر بر ثانیه است. نتایج نشان داد که در نیروگاه خورشیدی با مساحت ۴۷۰۰۰ مترمربع، کرمان بهترین عملکرد در تولید توان با ۴۵,۷ کیلووات را دارد و شیراز با ۴۲,۱ کیلووات در رتبه بعدی است. اهواز و بندرعباس توان خروجی تقریباً برابر و در حد ۳۹ کیلووات دارند. همچنین مشاهده شد که میزان توان تولیدی در شهر کرمان حدود ۱۷ درصد بیشتر از اهواز می‌باشد؛ در حالی که میزان تشعشع اهواز و کرمان تقریباً برابر با ۷۵۰ وات بر مترمربع است. بنابراین در یک مقدار تشسعشع برابر، هر چه دمای محیط کمتر و سرعت باد بیشتر باشد؛ میزان توان تولیدی افزایش خواهد یافت. همچنین شبیه سازی برای فصول مختلف و در طول روز نشان داد که توان تولیدی در هنگام ظهر در فصل زمستان ۱۲,۱ کیلووات و افزایش میزان توان تولیدی برای ف صول پاییز، بهار و تابستان نسبت به زمستان به ترتیب ٪۴۲,۲ (۱۷,۲)، ٪۱۳۳,۱۱ (۲۸,۳) و ٪۱۹۰,۹ (۳۵,۱۵) است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۱. مقدمه

در حال حاضر، بیش از ۸۰ درصد از کل مصرف انرژی جهان مربوط به سوخت‌های فسیلی است [۱]. طبق پیش‌بینی‌ها قرار است که تا سال ۲۰۳۰ سهم سوخت‌های فسیلی به ۷۳ درصد برسد. دلیل تلاش برای کاهش سهم سوخت‌های فسیلی، محدودیت منابع و اثرات مخرب زیست‌محیطی آن است و از این رو تمایل بشر به استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر[۱] مانند انرژی خورشیدی به شدت افزایش یافته است [۲]. یکی از تکنولوژی‌های ساده و مدرن در استفاده از انرژی خورشیدی، نیروگاه دودکش خورشیدی[۲] (SCPP) می‌باشد. هزینه بهره‌برداری و نگهداری بسیار پایین، مهمترین امتیاز نیروگاه خورشیدی است. مناطق جنوبی کشور ایران با دریافت ۳۸۰۰ تا ۵۴۰۰ کیلووات ساعت در روز، جزء مناطق مستعد در زمینه کاربردهای انرژی خورشیدی می‌باشند [۳]. نیروگاه خورشیدی شامل کلکتور[۳]، دودکش[۴]، توربین باد[۵] و لایه جاذب انرژی[۶](بستر خاکی) است که در آن یک اثر گلخانه‌ای بین کلکتور و کف بستر خاک به وجود می‌آید. هوای داغ و سبک با گذر از توربین و چرخش آن، از دودکش نیروگاه خارج می شود. کوپلینگ بین توربین و ژنراتور وظیفه تبدیل انرژی جنبشی به الکتریکی را بر عهده دارد [۴].

اولین نمونه عملی نیروگاه خورشیدی در شهر مانزانارس اسپانیا با ظرفیت ۵۰ کیلووات آزمایش شد که نتایج کار آنها مبنای اولیه تحقیقات بسیاری بوده است [۴]. پاسمارتی و شریف[۷][۵] از مدل تحلیلی-ریاضی جهت بررسی اثرات هندسی و محیطی بر روی نیروگاه خورشیدی استفاده کردند. پاستور و همکاران[۸][۶] یک مدل ترکیبی عددی-تحلیلی جهت ارائه توزیع دمایی در دامنه حل نیروگاه خورشیدی ارائه دادند. تینگژن و همکاران[۹][۷] برای اولین بار یک شبیه‌سازی عددی بر روی توربین واقعی انجام دادند و نشان دادند که برای نمونه اسپانیایی توربین سه‌تیغه‌ای و برای نیروگاه جدید در اندازه مگاوات توربین پنج‌تیغه‌ای مناسب است. در حوزه افزایش راندمان سیستم نیروگاه خورشیدی تحقیقاتی در زمینه دور توربین، تعداد تیغه توربین، ارتفاع دودکش و قطر کلکتور [۸]، شعاع و ارتفاع کلکتور و دودکش و همچنین مقدار شار تابشی خورشید [۹]، زاویه تقعر و شیب دودکش و کلکتور [۱۰]، اندازه کف تا آینه کلکتور [۱۱] و سرعت باد و مقادیر تابشی [۱۲] صورت گرفته است. غلامعلی‌زاده و کیم[۱۰][۱۳] با استفاده از الگوریتم ژنتیک و روش PSO به بهینه‌سازی هندسی نیروگاه خورشیدی مدل اسپانیا شامل قطر کلکتور و شعاع دودکش پرداختند. همچنین سپس از این الگوریتم بهینه‌سازی برای شرایط آب و هوای کرمان نیز استفاده و مقادیر بهینه ارتفاع و قطر دودکش و شعاع کلکتور توسط غلامعلی‌زاده و کیم گزارش شد. در این مطالعه مقادیر ارتفاع ورودی و خروجی کلکتور را ۱,۵ و ۲,۹۵ متر بدست آوردند [۱۴]. نجم و شعبان[۱۱] [۱۵] با استفاده از مدل شبیه‌سازی توربین نشان دادند که در یک شار تابشی ۵۰۰ وات بر متر مربع مقدار افت فشار بهینه توربین به میزان ۱۵۰ پاسکال می‌باشد. کیوان و سلیم[۱۲] [۱۶] با استفاده از مدل ترکیبی نیروگاه خورشیدی آب شیرین کن، راندمان سیستم را از یک درصد به پنج درصد افزایش دادند. ترابی و همکاران[۱۳] [۱۷] به بررسی زوایای واگرایی دودکش پرداختند. آنها نشان دادند که در زوایای ۱، ۲ و ۳ درجه به ترتیب ۵۷، ۷۵ و ۸۰ درصد افزایش نسبت به حالت صفر درجه ایجاد

۱ Renewable energy
۲ Solar Chimney Power Plant
۳ Collector
۴ Chimney
۵ Wind Turbine
۶ Energy Storage Layer
۷ Pasumarthi and Sherif
۸ Pastohr et al
۹ Tingzhen et al
۱۰ Gholamalizaheh and Kim
۱۱ Najm and Shaaban
۱۲ Kiwan and Salim
۱۳ Torabi et al

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

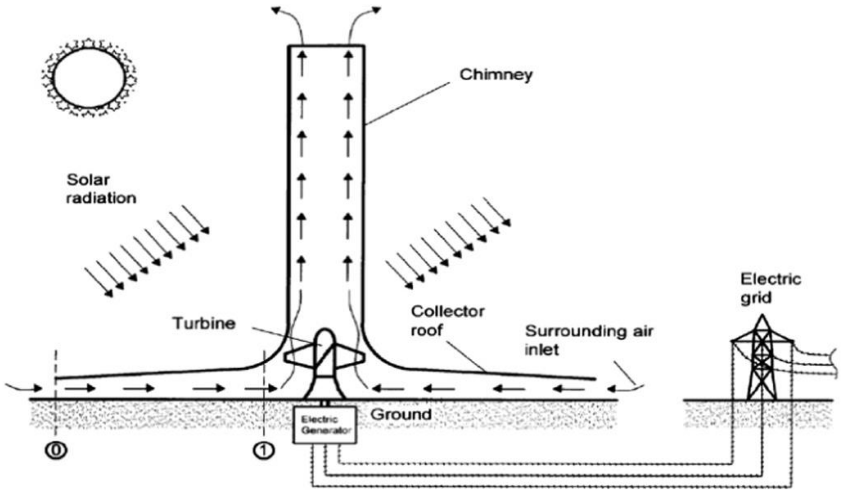
می‌گردد. ولی و همکاران[۱] [۱۸] به بررسی و امکان‌سنجی احداث نیروگاه خورشیدی در شمال کشور عراق پرداختند. آنها نشان دادند که در این منطقه، نیروگاه خورشیدی توانایی تولید توان تا ۴۷,۷ کیلووات را دارد. امودان و چندرموهان[۲] [۱۹] به بررسی سیستم‌های ذخیره انرژی و اثر آن بر روی سرعت جریان و توان خروجی پرداختند.

در زمینه نیروگاه خورشیدی مطالعات مختلفی انجام شده است، اما تحقیقات در زمینه شبیه سازی احداث نیروگاه خورشیدی مجهز به توربین بادی بهینه‌سازی شده در شهرهای ایران اندک است. همچنین در مطالعات قبلی، مبنای محاسبات براساس شار تابشی بوده است و از اثر دمای محیط و سرعت باد صرف نظر شده است در حالی که در کار حاضر بررسی توان تولیدی یک نیروگاه خورشیدی با در نظر گرفتن همزمان شار تابشی، دمای محیط و سرعت باد مختص هر شهر انجام پذیرفته است.

۲. روش‌شناسی

۲. ۱. بیان مسئله

در تحقیق حاضر یک شبیه سازی عددی بر روی نیروگاه دودکش خورشیدی انجام می شود (شکل ۱). در ابتدا جهت اعتبار سنجی نتایج شبیه‌سازی از مدل فیزیکی ساخته شده در مانزانارس اسپانیا [۳] استفاده می‌گردد سپس با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی شامل شار تابشی، دما و سرعت باد به بررسی چهار شهر جنوبی ایران شامل اهواز، بندرعباس، کرمان و شیراز پرداخته خواهد شد. یک دید کلی از مدل فیزیکی و مشخصات هندسی مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. در این مدل ارتفاع دودکش ۱۹۶,۶ متر، قطر دودکش ۱۰ متر، شعاع کلکتور ۱۲۱,۶ متر (مساحت ۴۷۰۰۰ متر مربع)، ارتفاع کف تا سقف کلکتور در ورودی و خروجی به ترتیب ۱,۹۵ متر و ۶ متر و همچنین ضخامت بستر خاک[۳] به عنوان ضخامت بخش ذخیره‌ساز انرژی ۵ متر می‌باشد. خواص هوا و خاک شامل دانسیته[۴]، گرمای ویژه[۵]، هدایت حرارتی[۶]، ضریب تخلخل[۷] و ضریب انبساط حجمی[۸] در جدول ۱ آمده است [۲۰].



۱ Weli et al

۲ Amudam and Chandramohan

۳ Soil

۴ Density

۵ Specific heat capacity

۶ Thermal conductivity

۷ Porosity

۸ Thermal expansion coefficient

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

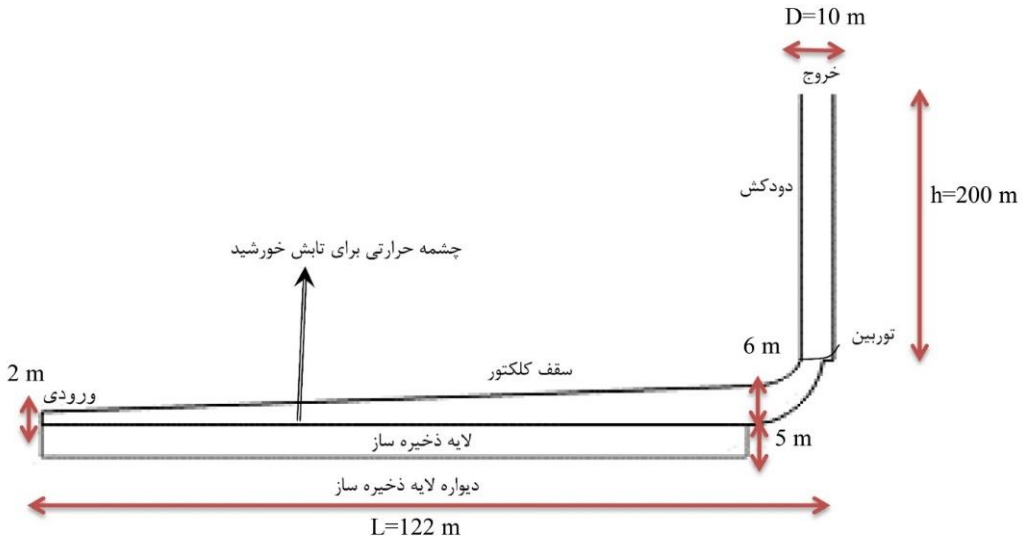
شکل ۱. نیروگاه دودکش خورشیدی [۴]

جدول ۱. خواص ترموفیزیکی هوا و خاک [۲۰]

	پارامتر	مقدار	پارامتر ورودی و خروجی
خاک	دانسیته	۱۷۰۰	ρ (Kg/m^3)
	گرمای ویژه	۲۰۱۶	Cp (J/Kg.K)
	هدایت حرارتی	۰,۷۸	K (W/m.K)
	ضریب تخلخل	۰,۳	ε (-)
هوا	دانسیته	۱,۲	ρ (Kg/m^3)
	گرمای ویژه	۱۰۰۵	Cp (J/Kg.K)
	هدایت حرارتی	۰,۰۲۴	K (W/m.K)
	ضریب انبساط حجمی هوا	۰,۰۰۳۴	β (^{1}/K)

با توجه به اینکه در نظر گرفتن کل مجموعه نیاز به هزینه محاسباتی بالایی دارد؛ دامنه حل به صورت شرط محوری[1] در نظر گرفته می‌شود. فشار هوا در ورودی کلکتور و خروجی دودکش به میزان فشار اتمسفر در نظر گرفته می شود. دمای هوای ورودی و تابش خور شید با توجه به دما و میزان تابش خورشـید مختص هر شـهر در تیر ماه با توجه به جدول ۲ تنظیم می‌گردد. برای مرز لایه ذخیره‌سـاز ضـخامت ۰/۱ میلی‌متر جهت جذب تابش خورشید در نظر گرفته می‌شود [۲۱]. جهت تعیین شرایط مرزی سقف شیشه‌ای کلکتور از شرایط دمایی محیط و ضریب جابجایی مختص هر شهر ا ستفاده می‌گردد و ضریب جابجایی تابعی از سرعت باد محیط می‌با شد که از رابطه زیر بد ست می‌آید [۲۲]:

$$h = 5.7 + 3.8\ V_w \qquad (۱)$$



شکل ۲. مشخصات هندسی نیروگاه دودکش خورشیدی مورد مطالعه و مانزانارس (اسپانیا)

۱ Axial

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

جدول ۲. تنظیمات شرایط مرزی در نرم‌افزار انسیس فلوئنت

شهر	تابش خورشید (W/m^2)	دمای ورودی به کلکتور (K)	سرعت باد هنگام ظهر (m/s)	ضریب جابجایی ($W/m^2.K$)
مانزانارس (اسپانیا)	۸۰۰-۱۰۰۰ [۳]	۲۹۳ [۳]	۱ [۳]	۱۰
بندرعباس	۷۰۰ [۲۳]	۳۰۸ [۲۴]	۲,۷ [۲۴]	۱۶
اهواز	۷۵۰ [۲۳]	۳۱۳ [۲۴]	۲,۶ [۲۴]	۱۵,۶
شیراز	۷۳۲ [۲۵]	۳۰۷ [۲۳]	۲,۲ [۲۵]	۱۴
کرمان	۷۵۰ [۲۶]	۳۰۴ [۲۷]	۲,۷۵ [۲۶]	۱۶,۱۵

۲. ۲. معادلات حاکم

جهت شبیه سازی نیروگاه خور شیدی، معادلات پیو ستگی، بقای مومنتوم، بقای انرژی و آ شفتگی به صورت کوپل حل می شوند. خواص دان سیته هوا به و سیله تقریب بوزین سک[۱] بیان می شود. معادلات حاکم در دو ناحیه شامل ناحیه دودکش و ناحیه متخلخل[۲] جاذب حرارت (بستر خاکی) به صورت مجزا در ادامه بررسی می‌گردد.

- معادله پیوستگی [۲۸]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\, u_i)=0 \qquad (۲)$$

- معادله انتقال مومنتوم در ناحیه کلکتور و دودکش (ناویر- استوکس[۳]) [۲۹]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\, u_i)+u_j\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\, u_i)=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}[(\mu+\mu_t)\overline{S}_{ij}]+\rho\, g\beta\,(T-T_{ref}) \qquad (۳)$$

- معادله انتقال مومنتوم در ناحیه بستر خاکی (ماده متخلخل) به صورت مدل دارسی- فریشمر[۴] [۲۹]:

$$\frac{\rho}{\varepsilon}\left[\frac{\partial u_i}{\partial t}+\frac{1}{\varepsilon}u_j\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right]=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}[\mu\ \overline{S}_{ij}]-\frac{\mu\, u_i}{\alpha}-\rho\ \frac{C_2 u_i u_i}{2} \qquad (۴)$$

$$\alpha=\frac{{d_p}^2}{150}\frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \qquad (۵)$$

$$C_2=\frac{3.5}{d_p}\frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \qquad (۶)$$

۱ Boussinesq

۲ Porous media

۳ Navier–Stokes

۴ Forchheimer-Darcy Model

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

در معادلات مذکور، ε ضریب تخلخل بستر خاک، α ضریب عبور بستر خاکی[۱]، C_2 ضریب مقاومت اینرسی[۲] و dp قطر دانه خاک می‌باشد.

- معادله انرژی در ناحیه کلکتور و دودکش [۳۰]:

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho c_p u_i T\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[K\frac{\partial T}{\partial x_j}\right] \quad (۷)$$

- معادله انرژی در ناحیه بستر خاکی [۲۱]:

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho c_p u_i T\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[K\frac{\partial T}{\partial x_j}\right] \quad (۸)$$

$$\left(\rho c\right)_m=(1-\varepsilon)\left(\rho c\right)_s+\varepsilon\left(\rho c\right)_f \quad (۹)$$

$$K_m=(1-\varepsilon)K_s+\varepsilon K_f \quad (۱۰)$$

در معادلات مذکور، اندیس f ، s و m به ترتیب خواص هوا، ماده متخلخل (بستر خاکی) و خواص مرکب بستر خاکی را بیان می‌کند [۲۱].

- معادلات آشفتگی [۳۱]:

در کار حاضر از مدل اغتشاشی RNG k-ε استفاده می‌گردد که در آن انرژی جنبشی اغتشاشی[۳] (k)، نرخ استهلاک اغتشاشی[۴] (ε) و لزجت اغتشاشی[۵] (μ_t) در ادامه آمده است [۳۱].

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j k\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+G+B-\rho\varepsilon \quad (۱۱)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j \varepsilon\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right]+\frac{\varepsilon}{k}\left(C_1 G-C_2\rho\varepsilon+C_1 B\right) \quad (۱۲)$$

$$\mu_t=C_\mu\rho\frac{k^2}{\varepsilon} \quad (۱۳)$$

۳. روش حل

۳. ۱. مدل‌سازی

جهت مدل سازی نیروگاه خور شیدی از نرم‌افزار تجاری گمبیت[۶] جهت تر سیم هند سی و شبکه‌بندی م سئله و از نرم‌افزار انسیس فلوئنت[۷] جهت تحلیل حرارتی-سیالاتی استفاده شده است. جهت کوپلینگ معادلات سرعت-فشار از الگوریتم سیمپل[۸]، گسسته‌سازی معادله فشار از

۱ Permeability

۲ Inertial resistance factor

۳ Turbulence kinetic energy

۴ Rate of energy dissipation

۵ Turbulent viscosity

۶ Gambit

۷ Ansys fluent

۸ SIMPLE

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

روش گسسته‌سازی پرزتو[۱] و برای دیگر معادلات از روش مرتبه سوم کوئیک[۲] بهره گرفته شده است. مقدار باقیمانده[۳] برای معادله انرژی ۸-۱۰ و برای بقیه معادلات ۵-۱۰ انتخاب شده است. جهت مدل سازی اغتشاشی نیز از مدل RNG k-epsilon در نرم‌افزار انسیس فلوئنت استفاده شد.

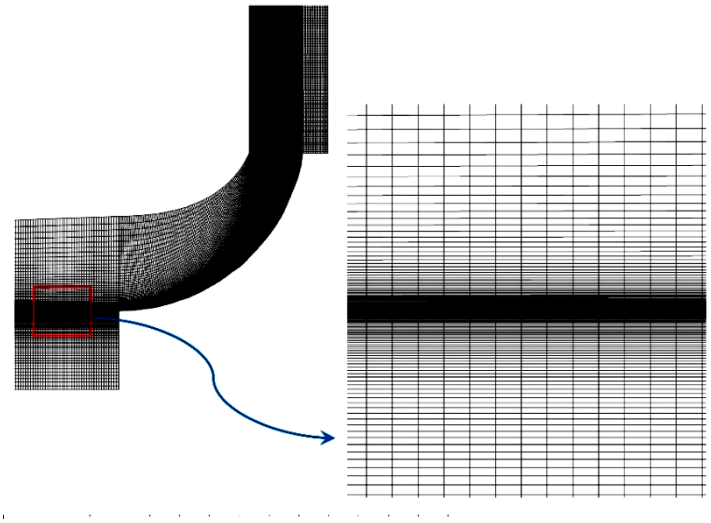
۳. ۲. شبکه‌بندی و شرایط مرزی

در کار حاضر شبکه بندی به صورت شبکه با سازمان[۴] و غیر هم اندازه انجام می‌پذیرد. به منظور افزایش دقت حل، شبکه در اطراف چشمه حرارتی و توربین ریز شده است (شکل ۳). اندازه اولین گره شبکه در اطراف چشمه حرارتی ۰,۱ میلی‌متر می‌باشد و اندازه شبکه‌های بعدی با یک نسبت مشخص افزایش می‌یابند. بر روی دیوارها شرط عدم لغزش[۵] برقرار است.

٤. نتایج و بحث

۴. ۱. استقلال از شبکه و اعتبارسنجی

جهت بررسی استقلال از شبکه، مقدار سرعت خروجی از دودکش نیروگاه خورشیدی نمونه مانزانارس اسپانیا [۳] برای ۴ شبکه مختلف ارزیابی شد. با توجه به شکل ۴، تعداد شبکه ۵۴۲,۰۰۰ به عنوان شبکه مناسب انتخاب می‌گردد و نیازی به تعداد شبکه بیشتر نیست.



شکل ۳. شبکه‌بندی هندسه نیروگاه خورشیدی

۱ PRESTO

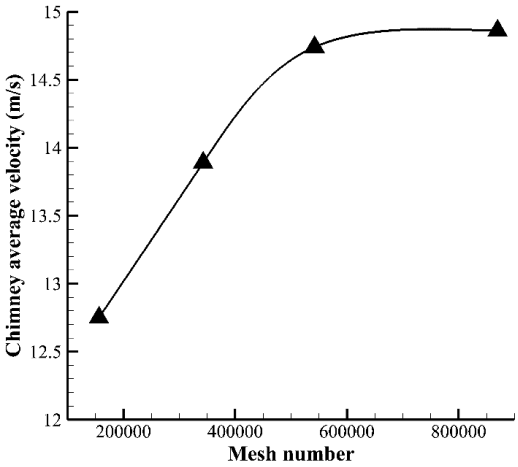
۲ QUICK

۳ Residual

۴ Structured

۵ No slip

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



شکل ۴. بررسی استقلال از شبکه

جهت صحت‌سنجی نتایج حل عددی، مقادیر سرعت خروجی از دودکش، افزایش دما و توان خروجی ارزیابی می‌شود. میزان توان خروجی از توربین توسط رابطه زیر بیان می‌شود [۳۲]:

$$P_{ouput} = \eta_{tur}.x.\Delta p.\sqrt{1-x}.Q \qquad (۱۴)$$

در رابطه بالا Δp افت فشار و Q دبی حجمی است. x نیز نسبت افت فشار توربین به افت فشار کل سیستم است که در حالت بهینه ۰٫۸۱ می‌باشد. همچنین η راندمان توربین می‌باشد که ٪۸۰ در نظر گرفته می‌شود [۲۱]. جدول ۳ نتایج حل عددی را در شار تابشی ۱۰۰۰W/m۲ نشان می‌دهد. میزان خطا برای میزان افزایش دما و سرعت خروجی از دودکش به ترتیب ۷٫۵ و ۵٫۳ درصد می‌باشد. بنابراین می‌توان به نتایج شبیه‌سازی در کار حاضر برای شهرهای مختلف اعتماد نمود.

جدول ۳. مقایسه نتایج حل عددی با نتایج مدل فیزیکی مانزانارس (اسپانیا) و دیگر کارهای عددی

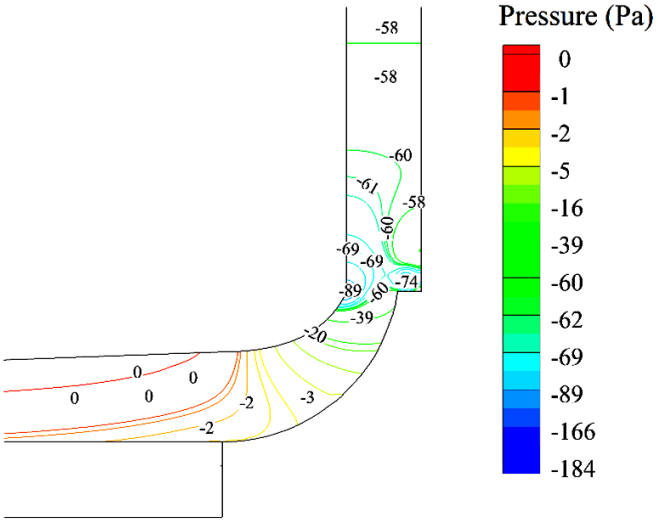
نتایج	افزایش دما درطول کلکتور (K)	سرعت خروجی از دودکش (m/s)	توان خروجی (kW)
مانزانارس (اسپانیا) [۳]	۲۰	۱۵	۳۶
ژو و همکاران [۳۳]	–	–	۴۰
رابحی و همکاران [۳۴]	ذ۲۵	۱۶	۴۵
کار حاضر	۱۸٫۵	۱۴٫۲	۳۸
درصد خطا برای کار حاضر (٪)	۷٫۵	۵٫۳	۶

۴. ۲. بررسی نتایج

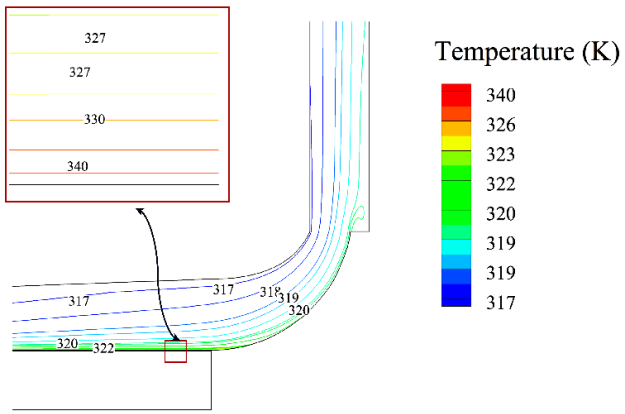
شکل ۵ کانتور فشار استاتیکی را برای نیروگاه خورشیدی برای شهر اهواز را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که فشار ورودی و خروجی در فشار اتمسفر قرار دارد و عمده کاهش فشار در محل اتصال کلکتور و دودکش اتفاق می‌افتد که به صورت مقادیر منفی در شکل ۵ آمده

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

است. کانتور دما (شکل۶) نشان می‌دهد که در مرز جاذب، افزایش دما تا حدود ۳۴۰ کلوین (۶۷ دره سانتی‌گراد) ایجاد شده که سبب ایجاد جابجایی هوا به سمت دودکش می‌شود. شکل‌های ۷ و ۸ نیز کانتور سرعت جریان را برای شهرهای اهواز، بندرعباس، کرمان و شیراز نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است؛ افزایش سرعت در نزدیکی اتصال کلکتور و دودکش اتفاق می‌افتد که با کاهش فشار در این ناحیه هماهنگی دارد. میزان سرعت متوسط برای شهرهای اهواز، بندرعباس، کرمان و شیراز در نرم‌افزار انسیس فلوئنت به ترتیب ۱۳,۵، ۱۳,۴۴، ۱۴,۲۵ و ۱۳,۸۸ متر بر ثانیه بدست می‌آید. مقادیر سرعت بدست آمده با در نظر گرفتن مساحت ورودی دودکش، دبی حجمی را نتیجه می‌دهند. افت فشار متوسط محاسبه برای شهرهای اهواز، بندرعباس، کرمان و شیراز در نرم‌افزار انسیس فلوئنت نیز به ترتیب ۱۲۰,۹، ۱۱۹,۸۳، ۱۳۴ و ۱۲۷ پاسکال بدست می‌آید. این مقادیر سبب گردش توربین خواهند شد. شکل ۹ نیز میزان توان خروجی از نیروگاه دودکش خورشیدی را برای چهار شهر اهواز، بندرعباس، کرمان و شیراز نشان می‌دهد که این توان خروجی بین ۳۸,۵ تا ۴۵,۷ کیلووات می‌باشد.

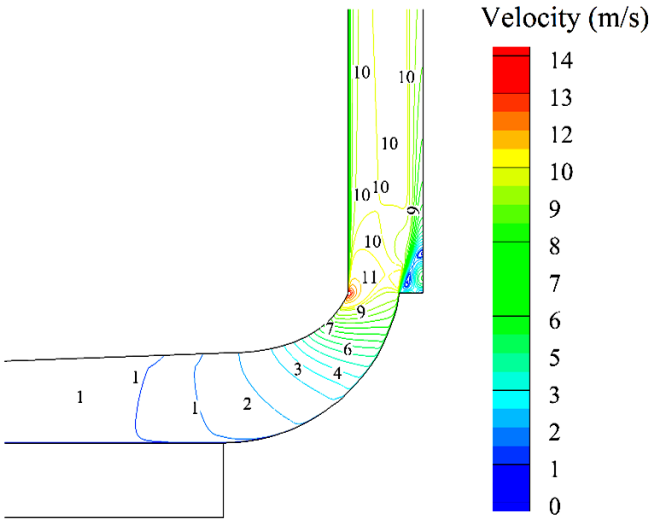


شکل ۵. کانتور فشار استاتیکی برای شرایط آب و هوایی شهر اهواز

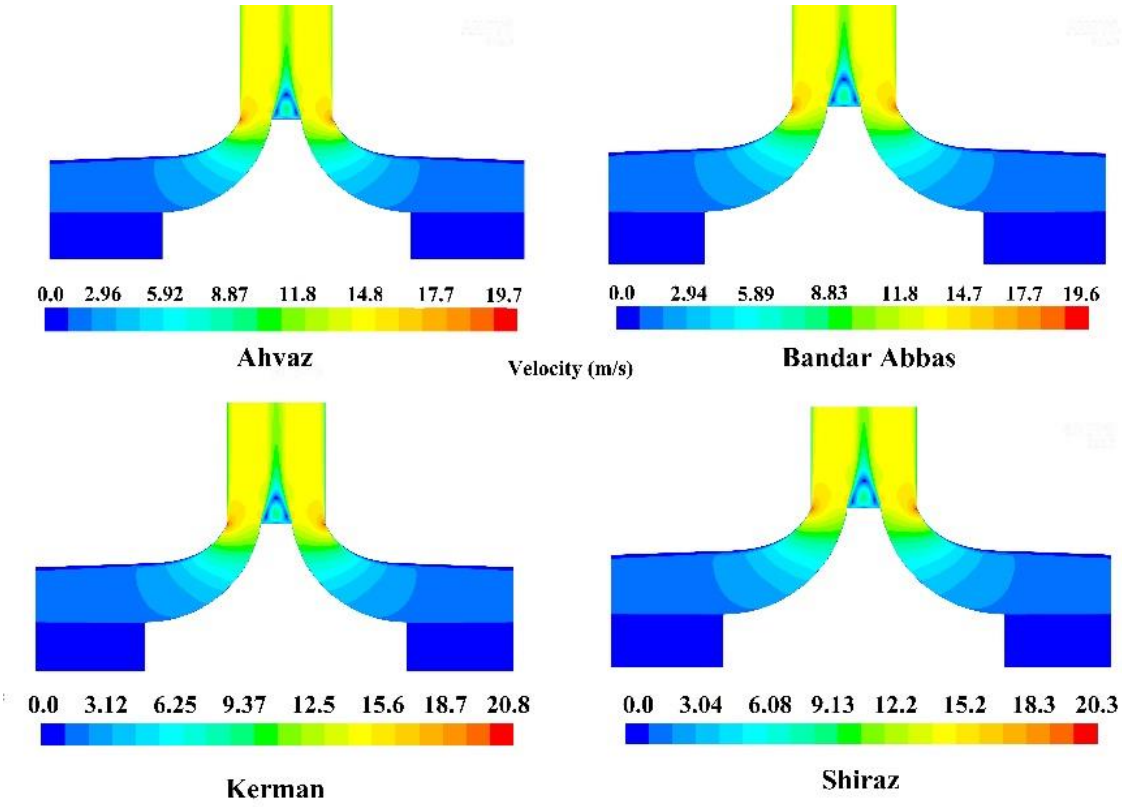


شکل ۶. کانتور دمای استاتیکی برای شرایط آب و هوایی شهر اهواز

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

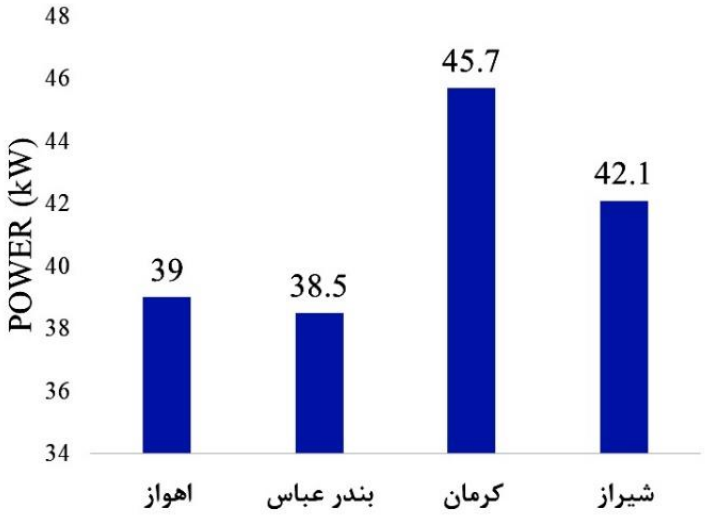


شکل ۷. کانتور سرعت برای شرایط آب و هوایی شهر اهواز



شکل ۸. کانتور سرعت برای شهرهای مختلف

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



شکل ۹. توان خروجی تولیدی توسط نیروگاه خورشیدی برای شهرهای مختلف

جهت بررسی تغییرات روزانه و فصول مختلف بر روی عملکرد نیروگاه خورشیدی، شرایط آب و هوایی شهر اهواز با توجه به جدول ۴ در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۴. شرایط آب و هوایی شهر اهواز در فصول مختلف [۳]

نتایج	تابش حداکثر (W/m^2)	دمای میانگین ($^{\circ}C$)
بهار (اول فروردین)	۶۸۸	۲۲,۵
تابستان (اول تیر)	۹۰۰	۳۸
پاییز (اول مهر)	۶۱۲	۲۸
زمستان (اول دی)	۵۱۹	۱۴

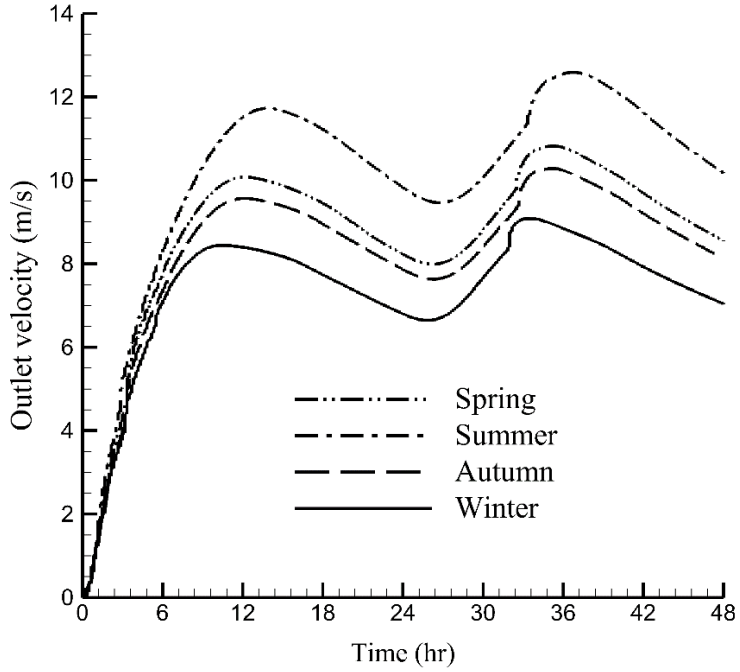
جهت مدل‌سازی تغییرات تابش روزانه خورشید از رابطه ۱۵ استفاده می‌شود. در این رابطه پارامتر N تعداد روزهای آفتابی (دو روز پشت سر هم) و $\phi_{solar,\max}$ تابش در زمان ظهر است. کد برنامه به صورت[۱] UDF به نرم‌افزار فلوئنت معرفی می‌شود.

$$\phi_{solar} = \phi_{solar,\max} \sin\left(\frac{t-1440n}{720}\pi\right)$$
$$0 < t-1440n < 720 \quad (n = 0,1) \qquad (۱۵)$$
$$\phi_{solar} = 0 \quad 720 < t-1440n < 1440 \quad (n = 0,1)$$

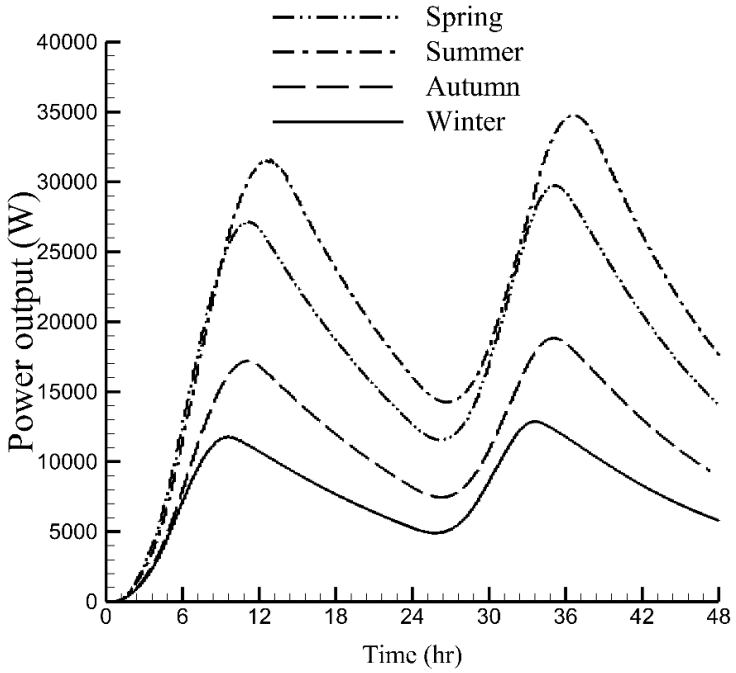
همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است؛ میزان افزایش سرعت هوا در فصول زمستان، پاییز، بهار و تابستان به ترتیب ۹,۱، ۱۰,۲، ۱۰,۶ و ۱۲,۳ متر بر ثانیه می‌باشد. میزان توان خروجی در هر لحظه از روز برای فصول مختلف (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که میزان توان تولیدی در هنگام ظهر در فصول زمستان، پاییز، بهار و تابستان به ترتیب ۱۲,۱، ۱۷,۲، ۲۸,۳ و ۳۵,۱۵ کیلووات می‌باشد.

۱ User Define Function

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



شکل ۱۰. میزان سرعت خروجی برای فصول مختلف برای شهر اهواز



شکل ۱۱. میزان توان خروجی برای فصول مختلف برای شهر اهواز

۵. نتیجه‌گیری

در کار حاضر یک نیروگاه خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار انسیس فلوئنت شبیه‌سازی شده است. شبیه‌سازی برای شرایط آب و هوایی چهار شهر اهواز، بندرعباس، کرمان و شیراز انجام شده است. شبکه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار گمبیت انجام شده است. روش شبیه سازی بدین

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

صورت است که شرایط آب و هوایی شهرهای حاضر با در نظر گرفتن همزمان میزان تشعشع خورشید، دمای محیط و سرعت باد در نظر گرفته می‌شود. کانتورهای سرعت و فشار نشان می‌دهد که تغییرات عمده در سرعت و فشار در ناحیه اتصال کلکتور و دودکش اتفاق می‌افتد. افت فشار متوسط برای شهرهای اهواز، بندرعباس، کرمان و شیراز به ترتیب ۱۲۰,۹، ۱۱۹,۸۳، ۱۳۴ و ۱۲۷ پاسکال و میزان سرعت متوسط برای شهرهای اهواز، بندرعباس، کرمان و شیراز به ترتیب ۱۳,۵، ۱۳,۴۴، ۱۴,۲۵ و ۱۳,۸۸ متر بر ثانیه بدست می‌آید. نتایج نشان داد که کرمان در تولید توان، بهترین عملکرد را با ۴۵,۷ کیلووات دارد. شیراز با ۴۲,۱ کیلووات در رتبه بعدی قرار دارد. اهواز و بندرعباس توان خروجی تقریباً برابر و در حد ۳۹ کیلووات دارند. نتایج نشان داد که دمای محیط و سرعت باد نیز مانند میزان تشعشع خورشید در میزان توان خروجی اثرگذار هستند. نتیجه مهم مطالعه حاضر این است که علاوه بر شدت تابش خورشید، مقادیر دمای ورودی و سرعت باد نیز در نتایج موثر هستند از این رو میزان تشعشع شهرهای اهواز و کرمان تقریباً برابر با ۷۵۰ وات بر مترمربع می شود؛ ولی میزان توان تولیدی در شهر کرمان حدود ۱۷ درصد بیشتر از توان تولیدی شهر اهواز می‌باشد. این نتیجه نشان می‌دهد که در یک مقدار تشعشع برابر، هر چه دمای محیط کمتر و سرعت باد بیشتر باشد؛ میزان توان تولیدی نیز افزایش خواهد یافت. در کار حاضر همچنین یک شبیه سازی بر روی تولید توان الکتریکی در فصول مختلف و در ساعت‌های مختلف در طول روز انجام شد. نتایج نشان داد که میزان توان تولیدی در هنگام ظهر در فصل زمستان ۱۲,۱ کیلووات و افزایش میزان توان تولیدی برای فصول پاییز، بهار و تابستان نسبت به فصل زمستان به ترتیب ۴۲,۲ درصد، ۱۳۳,۱۱ درصد و ۱۹۰,۹ درصد می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

منابع

[۱] Y. Cao, A. Doustgani, A. Salehi, M. Nemati, A. Ghasemi, O. Koohshekan, The economic evaluation of establishing a plant for producing biodiesel from edible oil wastes in oil-rich countries: Case study Iran, Energy ۲۱۳ (۲۰۲۰) ۱۱۸۷۶۰.

[۲] R. Rabehi, A. Chaker, Z. Aouachria, M. Tingzhen, CFD analysis on the performance of a solar chimney power plant system: Case study in Algeria, International Journal of Green Energy ۱٤(۱۲) (۲۰۱۷) ۹۷۱-۹۸۲.

[۳] G. Heidarinejad, S. Delfani, Guidelines for the selection of outdoor design conditions for Iranian cities, Road, Housing & Urban Development Research Center (BHRC) (۲۰۰۷.(

[۴] W. Haaf, K. Friedrich, G. Mayr, J. Schlaich, Solar chimneys part I: principle and construction of the pilot plant in Manzanares, International Journal of Solar Energy ۲(۱) (۱۹۸۳) ۳-۲۰.

[۵] N. Pasumarthi, S.A. Sherif, Performance of a demonstration solar chimney model for power generation, CALIFORNIA STATE UNIV, SACRAMENTO, CA,(USA) (۱۹۹۷) ۲۰۳-۲٤۰.

[۶] H. Pastohr, O. Kornadt, K. Gürlebeck, Numerical and analytical calculations of the temperature and flow field in the upwind power plant, International Journal of Energy Research ۲۸(٦) (۲۰۰٤) ٤۹٥-٥۱۰.

[۷] M. Tingzhen, L. Wei, X. Guoling, X. Yanbin, G. Xuhu, P. Yuan, Numerical simulation of the solar chimney power plant systems coupled with turbine, Renewable Energy ۳۳(٥) (۲۰۰۸) ۸۹۷-۹۰٥.

[۸] A. Kasaeian, A.R. Mahmoudi, F.R. Astaraei, A. Hejab, ۳D simulation of solar chimney power plant considering turbine blades, Energy Conversion Management ۱٤۷.٥٥–٦٥ (۲۰۱۷)

[۹] D. Toghraie, A. Karami, M. Afrand, A.J.E. Karimipour, Effects of geometric parameters on the performance of solar chimney power plants, Energy ۱٦۲ (۲۰۱۸) ۱۰٥۲-۱۰٦۱.

[۱۰] A. Hassan, M. Ali, A. Waqas, Numerical investigation on performance of solar chimney power plant by varying collector slope and chimney diverging angle, Energy ۱٤۲ (۲۰۱۸) ٤۱۱-٤۲٥.

[۱۱]A. Ayadi, A. Bouabidi, Z. Driss, M.S. Abid, Experimental and numerical analysis of the collector roof height effect on the solar chimney performance, Renewable Energy ۱۱٥ (۲۰۱۸) ٦٤۹-٦٦۲.

[۱۲] N. Jafarifar, M.M. Behzadi, M. Yaghini, The effect of strong ambient winds on the efficiency of solar updraft power towers: A numerical case study for Orkney, Renewable Energy ۱۳٦ (۲۰۱۹) ۹۳۷-۹٤٤.

[۱۳] E. Gholamalizadeh, M.-H. Kim, Thermo-economic triple-objective optimization of a solar chimney power plant using genetic algorithms, Energy ۷۰ (۲۰۱٤) ۲۰٤-۲۱۱.

[۱۴] E. Gholamalizadeh, M.H. Kim, Multi-objective optimization of a solar chimney power plant with inclined collector roof using genetic algorithm, Energies ۹(۱۱) (۲۰۱٦) ۹۷۱.

[۱۵] O.A. Najm, S. Shaaban, Numerical investigation and optimization of the solar chimney collector performance and power density, Energy conversion Management ۱٦۸ (۲۰۱۸) ۱٥۰.۱۶۱–

[۱۶] S. Kiwan, I. Salim, A hybrid solar chimney/photovoltaic thermal system for direct electric power production and water distillation, Sustainable Energy Technologies Assessments ۳۸ (۲۰۲۰) ۱۰۰٦۸۰.

[۱۷] M.R. Torabi, M. Hosseini, O.A. Akbari, H.H. Afrouzi, D. Toghraie, A. Kashani, A.a. Alizadeh, Investigation the performance of solar chimney power plant for improving the efficiency and increasing the outlet power of turbines using computational fluid dynamics, Energy Reports ۷ (۲۰۲۱) ٤٥٥٥-٤٥٦٥.

[۱۸] R.B. Weli, S.A. Atrooshi, R. Schwarze, Investigation of the performance parameters of a sloped collector solar chimney model–An adaptation for the North of Iraq, Renewable Energy ۱۷٦ (۲۰۲۱) ٥۰٤-٥۱۹.

[۱۹] Y. Amudam, V.P. Chandramohan, Influence of thermal energy storage system on flow and performance parameters of solar updraft tower power plant: A three dimensional numerical analysis, Journal of Cleaner Production ۲۰۷ (۲۰۱۹) ۱۳٦-۱٥۲.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

[۲۰] K. Nagano, T. Mochida, S. Takeda, R. Domański, M. Rebow, Thermal characteristics of manganese (II) nitrate hexahydrate as a phase change material for cooling systems, Applied Thermal Engineering ۲۳(۲) (۲۰۰۳) ۲۲۹-۲۴۱.

[۲۱] G. Xu, T. Ming, Y. Pan, F. Meng, C. Zhou, Numerical analysis on the performance of solar chimney power plant system, Energy Conversion Management ۵۲(۲) (۲۰۱۱) ۸۷٦-۸۸۳.

[۲۲] S.A. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, Progress in energy Combustion Science ۳۰(۳) (۲۰۰٤) ۲۳۱-۲۹۵.

[۲۳] P. Motiei, M. Yaghoubi, E. GoshtasbiRad, Transient simulation of a hybrid photovoltaic-thermoelectric system using a phase change material, Sustainable Energy Technologies Assessments ۳٤ (۲۰۱۹) ۲۰۰-۲۱۳.

[۲۴] M. Karami, F. Javanmardi, Performance assessment of a solar thermal combisystem in different climate zones, Asian Journal of Civil Engineering ۲۱(۵) (۲۰۲۰) ۷۵۱-۷٦۲.

[۲۵] M. Baneshi, S.A. Bahreini, Impacts of hot water consumption pattern on optimum sizing and techno-economic aspects of residential hybrid solar water heating systems, Sustainable Energy Technologies Assessments ۳۰ (۲۰۱۸) ۱۳۹-۱٤۹.

[۲۶] A. Mostafaeipour, Economic evaluation of small wind turbine utilization in Kerman, Iran, Energy Conversion Management ۷۳ (۲۰۱۳) ۲۱٤-۲۲۵.

[۲۷] R. Panahi, M.H. Khanjanpour, A.A. Javadi, M. Akrami, M. Rahnama, M. Ameri, Analysis of the thermal efficiency of a compound parabolic Integrated Collector Storage solar water heater in Kerman, Iran, Sustainable Energy Technologies Assessments ۳٦ (۲۰۱۹) ۱۰۰۵٦٤.

[۲۸] N. Askari, M.H. Taheri, Numerical investigation of a MHD natural convection heat transfer flow in a square enclosure with two heaters on the bottom wall, Karafan Quarterly Research Journal ۳۹(۱) (۲۰۲۰) ۱۰۱-۱۲۱.

[۲۹] H. Beji, D. Gobin, Influence of thermal dispersion on natural convection heat transfer in porous media, Numerical Heat Transfer ۲۲(٤) (۱۹۹۲) ٤۸۷-۵۰۰.

[۳۰] M. Masoumnezhad, M.A. Kazemi, N. Askari, M.H. Taheri, M. Ghamati, Semi-Analytical Solution of Unsteady Newtonian Fluid Flow and Heat Transfer between two Oscillation Plate under the Influence of a Magnetic Field, Karafan Quarterly Research Journal ۱۸(۱) (۲۰۲۱) ۳۵-٦۲.

[۳۱] F.R. Menter, Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications, AIAA Journal ۳۲(۸) (۱۹۹۴) ۱۵۹۸-۱۶۰۵.

[۳۲] S. Hu, D.Y.C. Leung, J.C.Y. Chan, Numerical modelling and comparison of the performance of diffuser-type solar chimneys for power generation, Applied Energy ۲۰٤ (۲۰۱۷) ۹٤۸-۹۵۷.

[۳۳] Y. Xu, X. Zhou, Performance of divergent-chimney solar power plants, Solar Energy ۱۷۰ (۲۰۱۸) ۳۷۹-۳۸۷.

[۳۴] R. Rabehi, A. Chaker, T. Ming, T. Gong, Numerical simulation of solar chimney power plant adopting the fan model, Renewable Energy ۱۲٦ (۲۰۱۸) ۱۰۹۳-۱۱۰۱.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]