تحلیل عددی کامل یک گردآورنده تخت خورشیدی در کوتاه ترین و طولانی ترین روز سال

سید اسماعیل رضوی[۱]، محمد حسن نوری همدانی[۲و*]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۸۹/۹/۴
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۸۹/۱۲/۱۵

چکیده:

هدف از این پژوهش شبیه سازی یک گردآورنده تخت خورشیدی و بررسی عملکرد آن از نظر تغییرات دمای ایجاد شده در سیال عامل گردآورنده تخت خورشیدی در کوتاه ترین و طولانی ترین روز سال در موقعیت جغرافیایی شهر تهران می باشد. این شبیه سازی به صورت عددی و به طور کامل انجام شده است. در این پژوهش از ابعاد هندسی و شرایط اولیه و مرزی حقیقی برای حالات بدون پمپ و با پمپ استفاده گردیده است. مقادیر و تغییرات ضریب جابجایی حرارتی، مقدار نوسلت و تنش در طول رایزر مورد بررسی قرار می گیرد. در آخر نتیجه می شود که در طول کوتاه ترین روز سال گردآورنده به طور رضایت بخشی توانایی تبدیل انرژی خورشیدی به گرمایی را دارد.

کلمات کلیدی:
تابش خورشیدی، تحلیل عددی، گردآورنده تخت، معادلات نویر- استوکس

۱) دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز
۲) دانشجوی مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز
* نویسنده مسئول، Hasan.nouri@gmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

مقدمه

خورشید را می توان به عنوان منبع عظیم انرژی تا ۵ میلیارد سال آینده به حساب آورد. دما در مرکز آن حدود ۱۰ تا ۱۴ میلیون درجه سانتیگراد می‌باشد که از سطح آن با دمایی نزدیک به $5600\ ^{o}C$ در فضا منتشر می‌شود. با توجه به محدودیت منابع سوخت فسیلی و زیان بار بودن استفاده غیر اصولی این گونه سوخت ها برای سلامت محیط زیست، تحقیقات و کاربرد انرژی های تجدید پذیر در مجامع صنعتی و علمی از اهمیت ویژه ای برخوردار گشته است. در کشور ما میزان تابش خورشیدی به $2000\ kwh$ در سال می رسد و در بسیاری از نقاط تعداد ساعات آفتابی از ۲۸۰۰ ساعت در سال فراتر می رود. روش های گوناگونی برای استفاده از انرژی خورشیدی وجود دارد، اما گرمایش آب با آبگرمکن های خورشیدی، آسان ترین و اقتصادی ترین روش است که می توان انرژی خورشید را برای گرمایش آب مصرفی منازل و حتی کاربرد های صنعتی به کار برد.

در سال ۱۹۸۵، Ram [۷] برای اولین بار از جریان متناوب در محاسبات تحلیلی خود استفاده کرد و شکاف های دمایی بین شیشه و جذب کننده را در نظر گرفت. او در محاسبات خود ضریب جابجایی گرمایی را یک بعدی، چگالی و ضریب جابجایی گرمایی جریان درون لوله را ثابت فرض نمود. معلوم شد که وجود پوشش های شیشه ای به دلیل حبس هوا درون گردآورنده باعث افزایش کارایی گردآورنده می شود. Weitbrecht (۲۰۰۴)[۸] با ترکیب محاسبات تجربی (استفاده از یک گردآورنده مدل PERPEX) و تحلیلی، توزیع جریان آرام درون رایزر های گردآورنده را بررسی کرد. هدف از این آزمایشات، نشان دادن حساسیت توزیع جریان به پارامترهای گردآورنده بود. توجه بیشتر او بر کاهش فشار در محل های اتصال و مقدار انرژی از دست رفته توسط اصطکاک بود. برای بدست آوردن بیشینه سرعت جریان در درون و خروجی هر رایزر از روش LDV (Laser Doppler Velocimetry) و برای محاسبه مقدار فشار که سیال در طول رایزر از دست می دهد، از حل دو معادله انرژی و پیوستگی استفاده شده است. معلوم شد که همگن بودن جریان با مقدار انرژی سیال درون رایزر ارتباط مستقیم دارد. Alvarez (۲۰۱۰) [۱] نوع جدیدی از گردآورنده ها را پیشنهاد نمود. با خمیدن (مارپیچی شکل) رایزر ها، مقدار سطح مقابل خورشید و مقدار سطح در تماس با سیال عامل را افزایش یافت. او هم به وسیله آزمایش های تجربی (یک گردآورنده معمولی و گردآورنده ی خودساز) و هم محاسبات هیدرودینامیکی و گرمایی (روش المان محدود) دو نوع گردآورنده را با هم مقایسه کرد. با این آزمایشات و مقایسه ها نتیجه گرفت در شرایط یکسان، کارایی گردآورنده با لوله های خمیده بسیار بهتر از گردآورنده های معمول با لوله های موازی می باشد. Moghaddam (۲۰۱۰) [۶] برای بهینه سازی گردآورنده های خورشیدی، بر روی زاویه شیب گردآورنده کار کرد. محاسبات با برنامه MATLAB برای دوره های زمانی معین (روزانه، ماهانه، فصلی، نیم ساله و سالیانه) انجام گردیده بود و زاویه ای که بیشترین مقدار انرژی دریافتی را محاسبه شد. پیشنهاد او آن بود که به جای عرض جغرافیایی، از رابطه $\beta = 0.917\varphi + 0.32$ (φ عرض جغرافیایی محل) استفاده گردد. با این زاویه، مقدار انرژی جذبی توسط گردآورنده در طول یکسال را افزایش یافت. همچنین برای تأیید محاسبات خود از یک سلول خورشیدی هم استفاده کرد که مقدار انرژی خورشیدی را که توسط دستگاه در زوایای مختلف بدست می آمد را با نتایج حاصل از محاسبات خود مقایسه کرد و نتایج یکسانی بدست آورد. Fakoor (۲۰۱۰) [۴] با یک گردآورنده به صورت تجربی بر انتقال گرما در لوله های گردآورنده کار کرد و به این نتیجه رسید که گردآورنده های خلأ، بازده بیشتری نسبت به گردآورنده هایی دارند که با سیال کار می کنند.

در پژوهش حاضر برای تحلیل تغییرات دما و تنش دریک گردآورنده تخت خورشیدی، معادلات RANS (اثر آشفتگی روی معادلات میانگین زمانی ناویر – استوکس)، معادلات آشفتگی مدل K-ε و معادلات تشعشع با روش حجم کنترل

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

حل می شوند. نتایج عددی دما، عدد نوسلت و ضریب انتقال گرمای جابجایی از تحلیل جریان با نرم افزار FLUENT با نتایج صنعتی موجود مقایسه می شود.

معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان آشفته، شامل پیوستگی، مومنتوم و انرژی به صورت RANS عبارتند از: [۵]

$$\frac{\partial\bar{\rho}}{\partial t} + \nabla.(\overline{\rho u}) + \nabla.(\overline{\rho' u'}) = 0 \quad (۱)$$

$$\rho\left[\frac{\partial\overline{u_i}}{\partial t} + \overline{u_j}\frac{\partial\overline{u_i}}{\partial x_j}\right] + \frac{\partial\bar{p}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\rho\overline{u'_i u'_j} - \mu\frac{\partial\overline{u_i}}{\partial x_j}\right] = \rho g_i \quad (۲)$$

$$\rho C_p\left(\frac{\partial T}{\partial t} + u_j\frac{\partial T}{\partial x_j}\right) = \nabla.\left(k\nabla.T - \rho C_p\overline{u'_j T'}\right) + \Phi \quad (۳)$$

$$\rho\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial y}\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial K}{\partial y}\right) + \mu_l\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 - \rho\varepsilon - 2.0\mu\left(\frac{\partial K^{\frac{1}{2}}}{\partial y}\right)^2 \quad (۴)$$

$$\rho\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial y}\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial\varepsilon}{\partial y}\right) + c_1 f_1\frac{\varepsilon}{K}\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 - c_2 f_2\frac{\rho\varepsilon^2}{K} - 2.0\frac{\mu\mu_T}{\rho}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)^2 \quad (۵)$$

که در آن معادلات به ترتیب پیوستگی، مومنتوم، انرژی، k و ε را نشان می دهند. ضرایب به کار رفته در معادلات K-ε در جدول ۱ داده شده اند. شرح دیگر پارامتر ها در زیر آورده شده است:

$$\mu_T = \frac{c_\mu f_\mu \rho K^2}{\varepsilon} \quad (۷) \quad , \quad f_1 = 1 \quad (۶)$$

$$f_2 = 1.0 - 0.03\exp(-Re^2) \quad (۹) \quad , \quad f_\mu = \exp\left(\frac{-2.5}{1+\frac{Re}{50}}\right) \quad (۸)$$

جدول۱: ثابتهای معادلات آشفتگی مدل K-ε

c_μ	c_1	c_2	σ_k	σ_ε
۰/۰۹	۱/۴۴	۲	۱	۱/۳

مقدار توان جذب شده توسط سیال عامل عبارت است از: [۳]

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

$$Q_u = A_c\left[S - U_L\left(T_{pm} - T_a\right)\right]$$

(۱۰)

مقدار تابش جذب شده توسط گردآورنده در واحد سطح از رابطه زیر محاسبه می شود: [3]

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d (\tau\alpha)_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho_g I (\tau\alpha)_g \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)$$

(۱۱)

$\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right)$ در فرمول (۱۱) ضریب دید گردآورنده به آسمان و $\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)$ ضریب دید آسمان به گردآورنده می باشد.

شرایط و فرض های به کار رفته

با توجه به آنکه در فصل زمستان امکان یخ زدن آب در لوله وجود دارد، به عنوان زد یخ از ماده اتیلن گلیکول استفاده شده است. درصد حجمی به کار رفته برای سیال عامل درون رایزر ۲۵٪ اتیلن گلیکول و ۷۵٪ آب می باشد. شبیه سازی در دو حالت انجام می گیرد، ابتدا پمپ محرک برای سیال عامل وجود ندارد و سرعت ورودی m/s ۱ است. در حالت دوم سرعت ورودی m/s ۱۰ در نظر گرفته شده و سرعت جریانی است که پمپ آن را ایجاد می کند. با فرض لزجت دینامیکی $kg/m^2.s$ ۳/۴ ×۱۰$^{-۳}$ و چگالی Kg/m^3 ۱۰۳۱ برای مدار بدون پمپ عدد رینولدز برابر است با $Re = 3032.35$ و با پمپ برابر با $Re = 30323.5$ می باشد[۹]. بنابراین جریان در دو حالت، آشفته است. در کوتاه ترین روز سال (اول دی ماه) دمای محیط k° ۲۷۰ و بلند ترین روز سال (اول تیر ماه) دمای محیط k° ۲۹۸ در نظر گرفته شد، همچنین دمای جریان ورودی در کوتاه ترین روز سال k° ۲۷۵ و بلند ترین روز k° ۲۸۷ درنظر گرفته شد. ظرفیت گرمایی محلول آب و اتیلن گلیکول برابر با $kj/kg.C$ ۳/۷۴ و ضریب جابجایی گرمایی برابر با $W/m.C$ ۰/۴۹ می باشد. خواص مورد نیاز شیشه کم آهن در جدول ۲ آورده شده است

جدول۲: خواص شیشه کم آهن

ضریب رسانش گرمایی $W/m.C$	ضریب صدور	ضریب جذب	ظرفیت گرمایی $Kj/Kg.C$	چگالی Kg/m^3
۰/۰۴۴	۰/۱	۰/۹	۰/۹	۱۶

برای گسسته سازی شار های جا بجایی از روش بالا دست مرتبه دوم (2nd-order upwind) همراه با روش SIMPLE استفاده شده است.

برای مرز های جامد شرط عدم لغزش (سرعت صفر) استفاده شد. در مرز های ورود جریان، سرعت ثابت و فشار برون یابی شده است.

در مرز های خروجی فشار ثابت فرض شده و مؤلفه های سرعت از داخل میدان محاسبه شده اند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

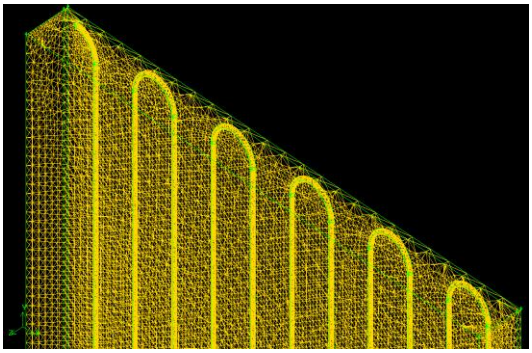
مشخصات هندسی و شبکه بندی

تمام ابعاد با توجه به نمونه های استاندارد صنعتی و قابل ساخت [۱۰]، سه بعدی مدل و شبکه بندی گردیده است. به دلیل آنکه گردآورنده خورشیدی می بایست عمود بر تابش خورشید باشد، با توجه به عرض جغرافیایی تهران (عرض جغرافیایی ^{o} ۳۵/۷ و طول جغرافیایی ^{o} ۵۱/۴) و مقدار تابش خورشیدی ۲۶۷ وات بر متر مربع [۲]، گردآورنده زاویه ^{o} ۳۵/۷ نسبت به محور افقی دارد. جدول ۳ مشخصات هندسی گردآورنده تخت طراحی شده را نشان می دهد.

جدول۳: مشخصات هندسی گردآورنده تخت

۱/۹ متر	ارتفاع گردآورنده
۱ متر	عرض گردآورنده
۰/۰۲ متر	ضخامت گردآورنده
۳۵/۷ درجه	زاویه گردآورنده با افق
۰/۰۱ متر	قطر لوله
۰/۰۴۵ متر	فاصله بین دو لوله

در این مقاله با توجه به پیچیده بودن شکل از شبکه مثلثی بی سازمان استفاده شده است. تعداد سلول های چهار وجهی ۱۵۸۹۴۱۶ می باشد که بخشی از هندسه شبکه بندی شده را می توان در شکل (۱) مشاهده نمود. شرایط مرزی در ورودی به صورت سرعت و در خروجی به صورت جریان خروجی تعریف شده است.



شکل ۱: بخشی از گردآورنده، شبکه بندی شده

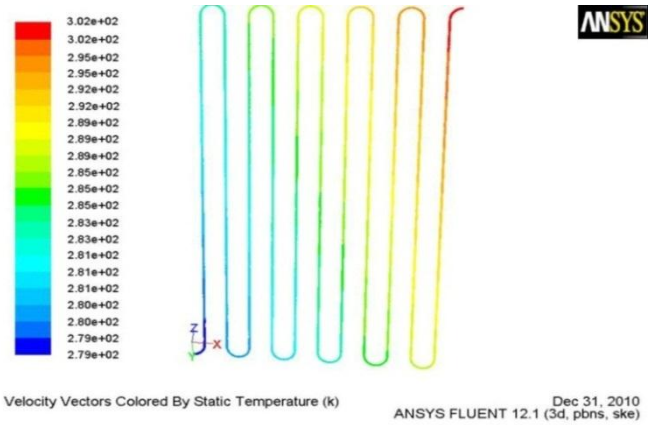
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

نتایج عددی

با اعمال شرایط مرزی گفته شده مدل، تحلیل شده و نتایج حاصل از شبیه سازی را با نتایج واقعی [۱۱] مقایسه می شوند، تحلیل و محاسبات برای حالت اول (بدون پمپ) در کوتاه ترین روز سال در تکرار ۴۵۸۹ و در بلند ترین روز سال در تکرار ۵۸۷۵ به همگرایی رسید و برای حالت دوم (با پمپ) در کوتاه ترین روز سال در تکرار ۶۷۸۹ و در بلند ترین روز سال در تکرار ۸۵۷۹ به همگرایی رسید. دقت همگرایی جواب ها $۱۰^{-۶}$ می باشد.

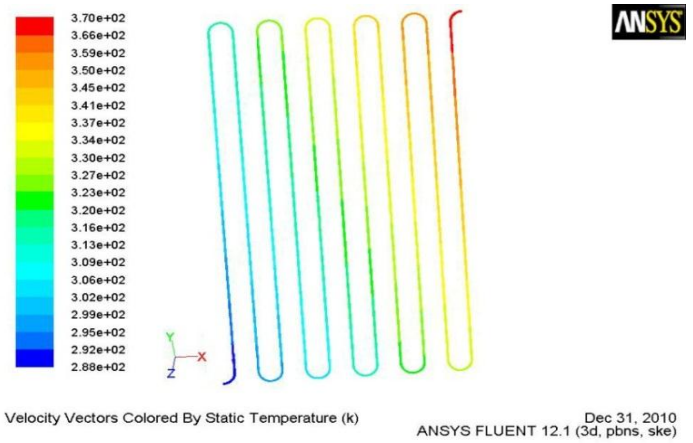
برای رینولدز ۳۰۳۲/۲۵ مطابق شکل ۲ مقدار افزایش دما در کوتاه ترین روز سال که گردآورنده کمترین مقدار تابش خورشید را دریافت می کند، در حدود ۲۵ °C و مطابق شکل (۳) در طولانی ترین روز سال که بیشترین مقدار تابش را دریافت می کند ۷۸°C می باشد.

در شکل های (۴ و ۵) با افزایش سرعت ورودی (افزایش عدد رینولدز)، مقدار گرمای جذب شده توسط سیال عامل بیشتر می شود و ملاحظه می شود که برای کوتاه ترین روز سال دمای سیال به ۳۱۲ °C و برای طولانی ترین روز سال دمای سیال به ۳۸۰ °C می رسد.

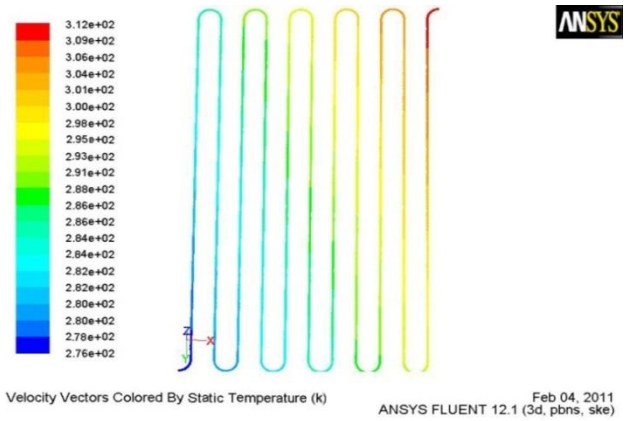


شکل ۲: توزیع دمای جریان ورودی از چپ به رایزر برای کوتاه ترین روز سال ، Re=3032.35

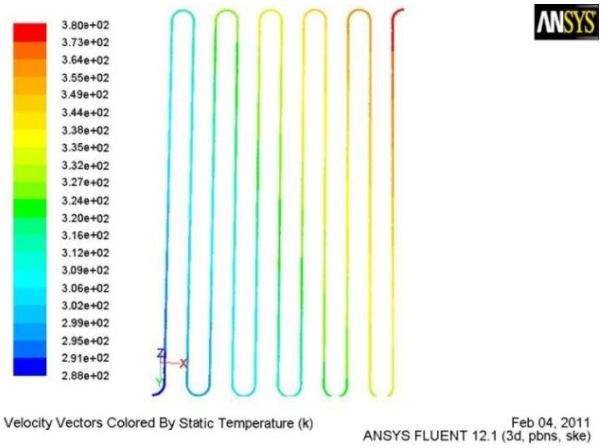
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]



شکل ۳: توزیع دمای جریان ورودی از چپ به رایزر برای طولانی ترین روز سال، Re=3032.35



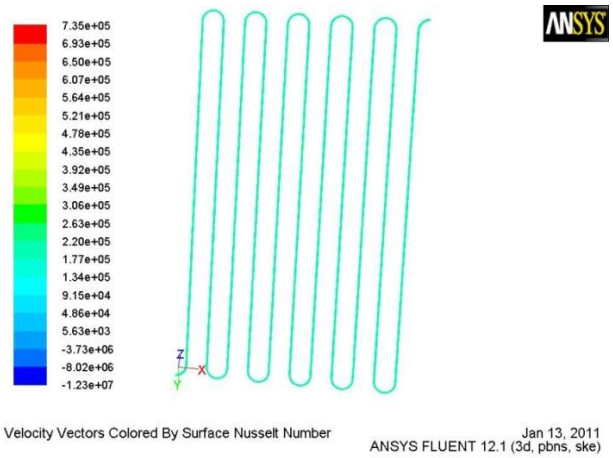
شکل ٤: توزیع دمای جریان ورودی از چپ به رایزر برای کوتاه ترین روز سال، Re=30323.5



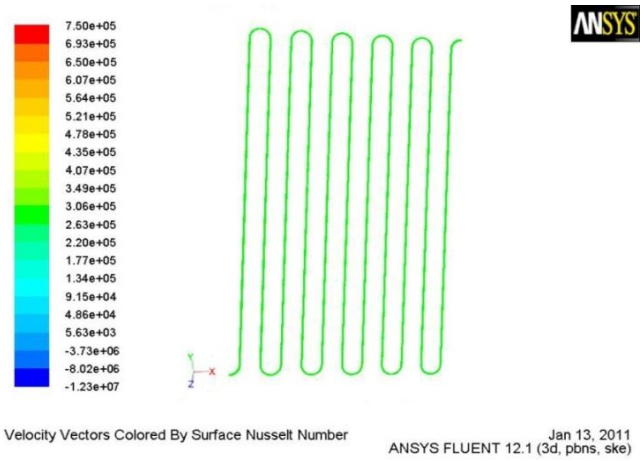
شکل ٥: توزیع دمای جریان ورودی از چپ به رایزر برای طولانی ترین روز سال، Re=30323.5

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

در شکل های (۶ ، ۷ ، ۸ و ۹) توزیع عدد نوسلت در رایزر را برای کوتاه ترین و طولانی ترین روز سال با رینولدز های گوناگون می توان مشاهده نمود. نمودار عدد نوسلت و ضریب انتقال گرمای جابجایی را برای لوله انتهایی رایزر در نمودار های (۱ ، ۲ ، ۳ و ۴) برای بدون پمپ و نمودار های (۵ ، ۶ ، ۷ و ۸) برای با پمپ ارائه گردیده است. در نمودار های ضریب انتقال گرمای جابجایی این نکته معلوم می شود که با رسیدن به انتهای لوله مقدار ضریب جابجایی گرمایی کاهش می یابد. در نتیجه، مقدار توان جذب شده در طول لوله کاهش می یابد.

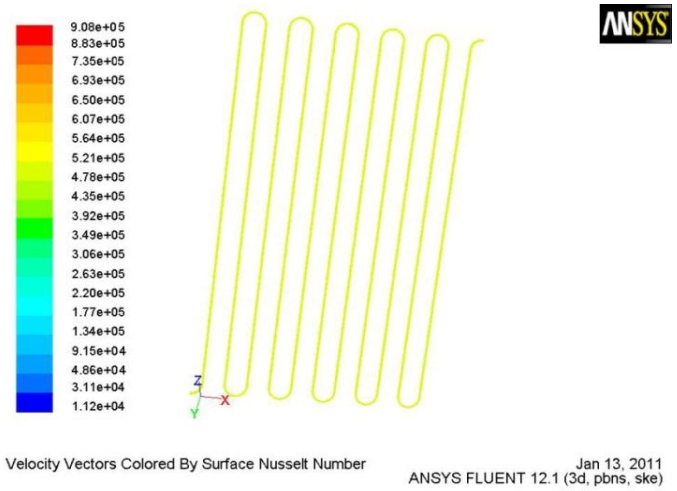


شکل ٦: توزیع نوسلت برای کوتاه ترین روز سال، Re=3032.35

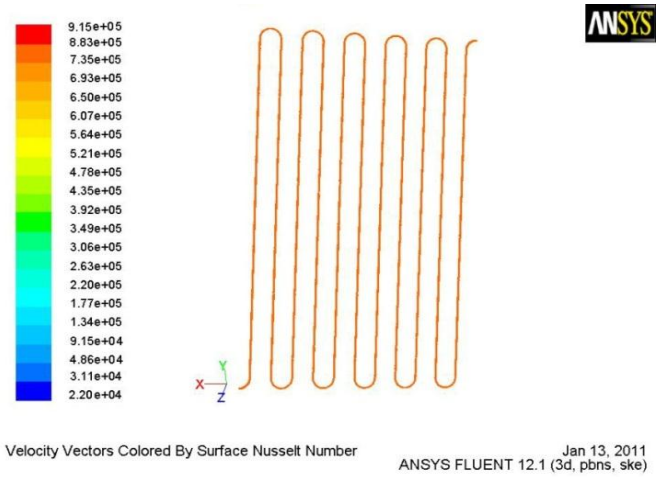


شکل ۷: توزیع نوسلت برای طولانی ترین روز سال، Re=3032.35

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

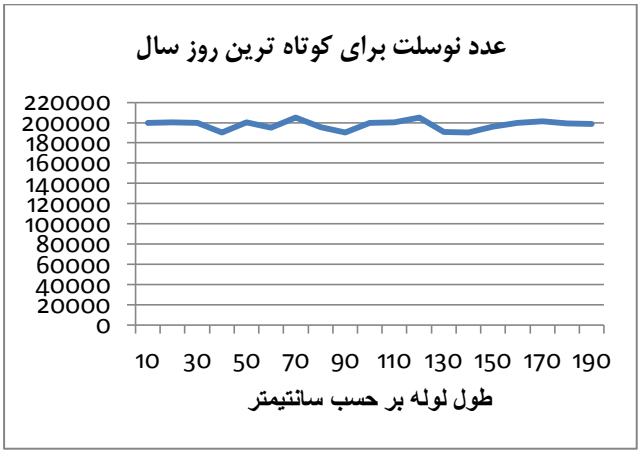


شکل ۸: توزیع نوسلت برای کوتاه ترین روز سال، Re=30323.5

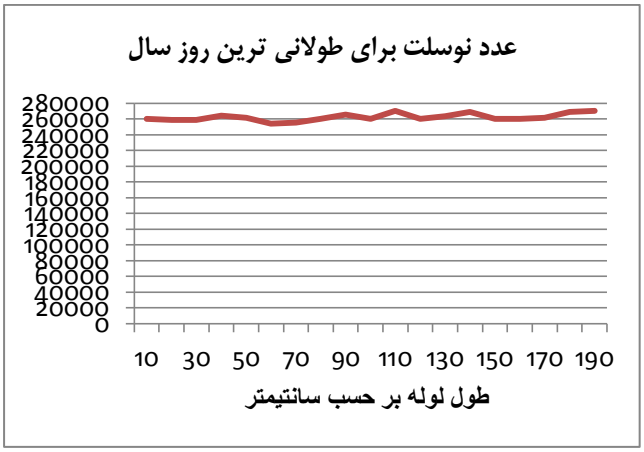


شکل ۹: توزیع نوسلت برای طولانی ترین روز سال، Re=30323.5

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

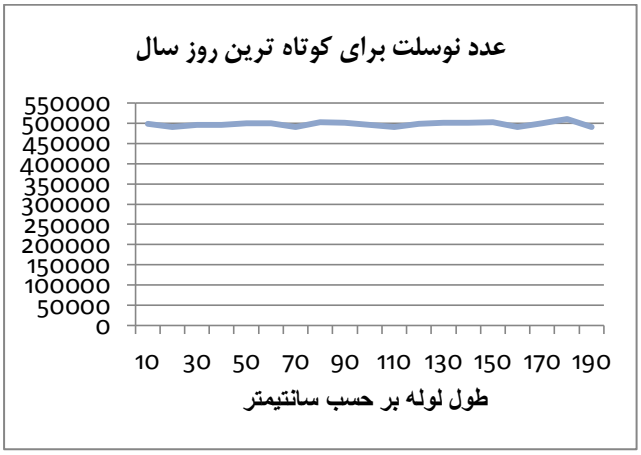


نمودار ۱: توزیع نوسلت برای کوتاه ترین روز سال، Re=3032.35

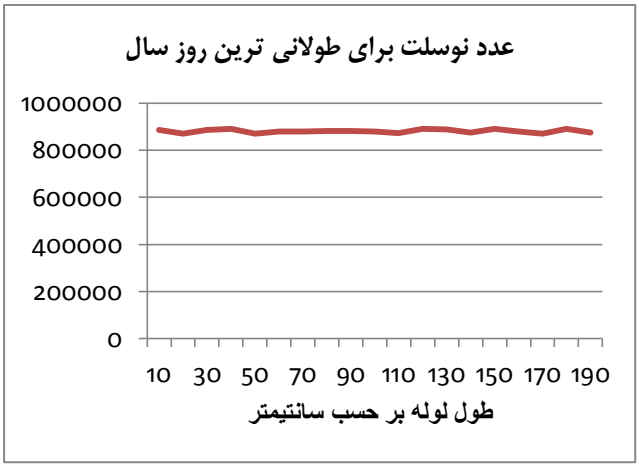


نمودار ۲: توزیع نوسلت برای طولانی ترین روز سال، Re=3032.35

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

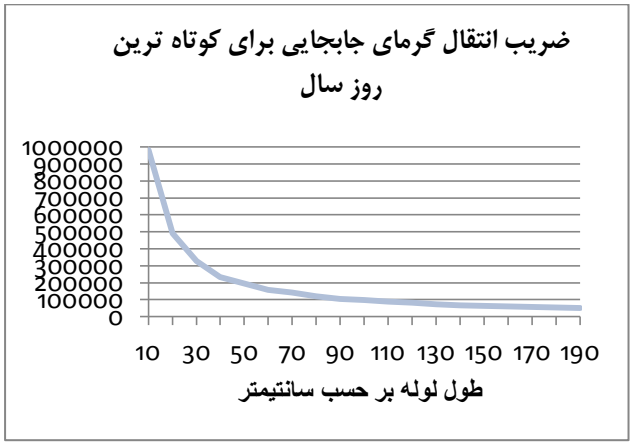


نمودار ۳: توزیع نوسلت برای کوتاه ترین روز سال، Re=30323.5

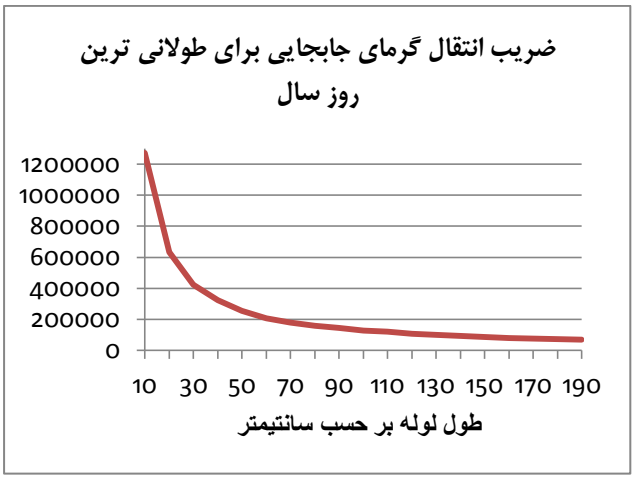


نمودار ٤: توزیع نوسلت برای طولانی ترین روز سال، Re=30323.5

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

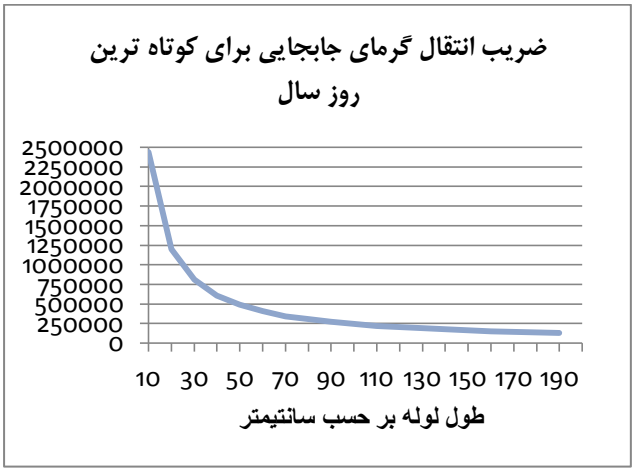


نمودار ٥: ضریب انتقال گرمای جابجایی جریان برای کوتاه ترین روز سال، Re=3032.35

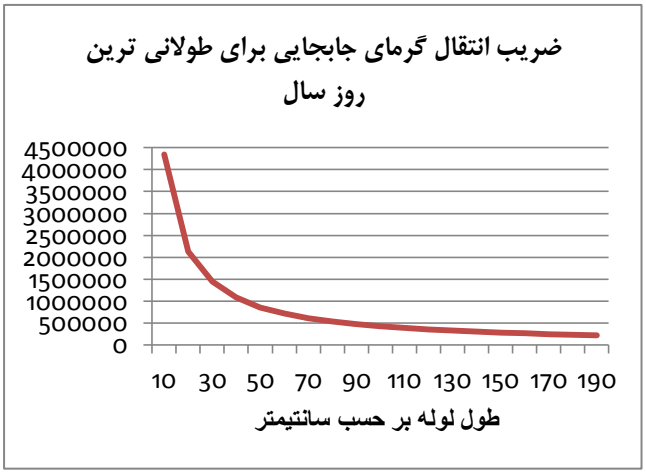


نمودار ٦: ضریب انتقال گرمای جابجایی جریان برای طولانی ترین روز سال، Re=3032.35

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]



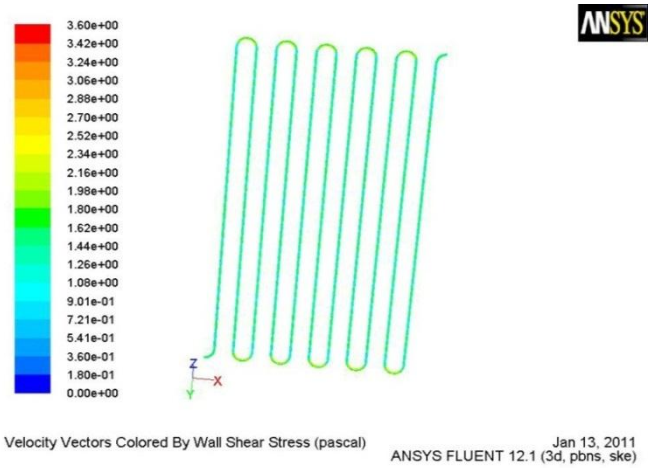
نمودار ۷: ضریب انتقال گرمای جابجایی جریان برای کوتاه ترین روز سال، Re=30323.5



نمودار ۸: ضریب انتقال گرمای جابجایی جریان برای طولانی ترین روز سال، Re=30323.5

با توجه به شکل مربوط به تنش در لوله ها شکل (۱۰ و ۱۱) تنش در خمیدگی ها بیش از هر جای دیگر درون رایزر ها می باشد. در شکل(۱۱) با افزایش عدد رینولدز از ۳۰۳۲/۳۵به ۳۰۳۲۳/۵ می توان دید که تنش در تمام بدنه مخصوصا در ناحیه های خمیده افزایش زیادی داشته است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]



شکل ۱۰: توزیع تنش در بدنه رایزر، Re=3032.35

شکل ۱۱: توزیع تنش در بدنه رایزر، Re=30323.5

در واقعیت بهترین گردآورنده های موجود در حالت بدون پمپ تنها به ۹۰٪ دمای حاصل از مدل سازی یعنی ۱۹°C برای کوتاه ترین روز سال و ۷۰/۲°C برای بلند ترین روز سال و برای حالت با پمپ ۹۳٪ دمای حاصل از مدل سازی یعنی ۳۳/۵ °Cبرای کوتاه ترین روز سال و ۸۵/۶ °C برای بلند ترین روز سال دست پیدا می کنند که دلایل آن، ناخالصی سیال عامل، عایق نبودن گردآورنده، ثابت نبودن سرعت جریان ورودی، رسوب گذاری درون لوله های رایزر و ساکن نبودن هوای اطراف گردآورنده می باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

نتیجه گیری

تنش در خمیدگی ها بیش از هر جای دیگر درون رایزر ها می باشد که این مسأله باعث آن می شود که ناخاصی مایع درون رایزر (املاح که در حالت واقعی درون آب می باشد) در این مکان ها به دلیل ایجاد ترک ها در سطح بسیار ریز که ناشی از تنش ها می باشند رسوب کنند و در دراز مدت از کارایی گردآورنده بسیار کم شود.

مقدار نوسلت در هر فرآیند ثابت می باشد. ولی با تغییر مقدار انرژیی که به سیال به صورت تابش وارد می شود، تغییر می کند که هرچه این انرژی افزایش یابد، مقدار ضریب انتقال گرمای جابجایی و مقدار افزایش دما بیشتر می شود.

باید دقت کرد که با افزایش طول لوله گردآورنده مقدار ضریب انتقال گرمای جابجایی کاهش می یابد، این مسأله باعث کاهش انرژی جذب شده در سیال می باشد، یعنی می توان به جای افزایش طول لوله ها تعداد آنها را افزایش داد، ولی افزایش تعداد لوله ها هم این مشکل را ایجاد می کند که فشار جریان کم می شود و کارایی گردآورنده بسیار کاهش می یابد، در نتیجه می بایست تعداد و طول مناسب برای لوله های رایزر انتخاب نمود تا بیشترین بازده را داشته باشد.

باید در نظر گرفت که جریانی ورودی به رایزر بدون پمپ باشد. باید در عرض های جغرافیایی بالا به دلیل افزایش زاویه گردآورنده نسبت به افق، نیروی جاذبه بیشتری به سیال عامل وارد می شود و این مسأله بر سرعت جریان در انتهای رایزر و خروجی آن اثر گذار بوده و بازده آن کم می شود. همچنین اگر سرعت جریان درون سیال نیز بیش از مقدار مناسب باشد باعث افزایش تنش درون لوله های می شود و در دراز مدت خرابی گردآورنده را باعث می شود.

فهرست علائم

A_c سطحی از گردآورنده که در مقابل اشعه مستقیم قرار دارد

S مقدار تابش جذب شده توسط گردآورنده در واحد سطح

U_L مقدار تابش از دست داده شده به اطراف توسط جابجایی، هدایت و تابش فرو سرخ

b پرتو تابش

d پراکندگی تابش

g محل دریافت تابش

I_λ مقدار انرژی تابیده شده در یک ساعت با طول موج معین در زوایه خاص

$\tau_\lambda(\theta)$ مقدار تابش عبور کرده با طول موج معین در زاویه خاص

R_b ضریب پرتو افکنی گردآورنده منحرف از افق نسبت به گردآورنده افقی

ρ_g مقدار انعکاس تابش از زمین

$\tau\alpha(\theta)$ ضریب قسمت جذب شده توسط صفحه جذب گر در زاویه معین

$\alpha_\lambda(\theta)$ ضریب جذب در طول موج معین

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]

منابع

[1] Alvarez A. and Cabeza O. and Muniz M.C. and Varel L.M. 2010. “Experimental and Numerical Investigation Of a Flat Plate Solar Collector”, Energy, Vol. 35, PP.3707-3716.

[2] Daneshyar M. 1978 “Solar Radiation Statistics for Iran”, Solar Energy, Vol. 21, PP.345-349.

[3] Duffie John A. and Beckman William A. 2006. “Solar Engineering of Thermal Processes”, John Wiley & Sons, New Jersey.

[4] Fakoor Pakdaman M. and Lashkari A. and Basirat Tabrizi H. and Hosseini, R. 2010. “Performance Evaluation Of a Natural-Convection Solar Air-Heater With a Rectangular-Finned Absorber Plate”, Energy Conversion and Management, Vol. 52, PP.1215-1225.

[5] http://Cfd.iut.ac.ir

[6] Moghadam H. and Farshchi Tabrizi F. and Zolfaghari Sharak A. 2010. “Optimization of Solar Flat Collector Inclination”, Desalination, Vol. 265, PP.107-111.

[7] Ram S. and Singh S. and Bansal N. K. 1985. “Domestic Solar Water Heating System with a Thermal Trap Flat Plate Solar Energy Collector”, Energy, Vol. 19, PP.111-127.

[8] Weitbrecht V. and Lehmann D. and Richter A. 2002.” Flow Distribution in Solar Collectors with Laminar Flow Conditions”, Solar Energy, Vol. 6, PP.433-441.

[9] White, F. M. 1974. “Viscous Fluid Flow”, M c Graw-Hill, New York.

[10] www.Kingspansolar.com

[11] www.Armannovin.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-10-19]