

بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد هوا گرمکن خورشیدی

ولی کلانتر^۱، مژگان زارع زاده^۲، مرجان زارع زاده^۳

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۹۲/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۹۲/۰۵/۳۱

چکیده:

هوای گرم در صنعت، کشاورزی و دامپروری و امور خانگی کاربرد فراوان دارد. یکی از روش‌های تولید هوای گرم، استفاده از انرژی خورشیدی در هوا گرمکن‌های خورشیدی می‌باشد. در این مقاله، به بررسی کارایی و عملکرد کلکتور خورشیدی در حالت پایا و به صورت دو بعدی با در نظر گرفتن جریان مغشوش و تشعشع خورشید پرداخته و نتایج مربوط به آن ارائه شده است. همچنین دبی جرمی هوای گرم تولیدی و شکل‌گیری خود به خودی جریان هوا در داخل کلکتور به همراه دمایی ایجاد شده مورد ارزیابی قرار گرفته و نمودارهای مربوط به آن رسم گردیده و تفسیر فیزیکی شده است. در این پژوهش، ابتدا با بررسی هندسه‌ها و مش بندی‌های مختلف و مقایسه نتایج، بهترین هندسه را برای کلکتور پیدا نموده، سپس با تغییر فاصله بین صفحه جاذب و سطح شفاف تأثیر آن را بررسی کرده و بهترین حالت را انتخاب نموده و با در نظر گرفتن آن، فاصله بهینه، ابعاد دریچه ورودی و خروجی با اندازه‌های مختلف بررسی می‌گردد. پارامتر دیگری که بررسی می‌شود تأثیر ضخامت شیشه و نیز دو جداره بودن آن می‌باشد. همچنین شیاردار بودن سطح جاذب نیز بررسی شده که سه نوع شیار موجی، مثلثی و مستطیلی با اندازه‌های مختلف بررسی گردیده است.

کلمات کلیدی:

تشعشع خورشیدی، جریان مغشوش، حالت پایدار، شیشه سازی عددی

vkalantar@yazduni.ac.ir

zarazade.mojgan@yahoo.com

marjan.zarezade@yahoo.com

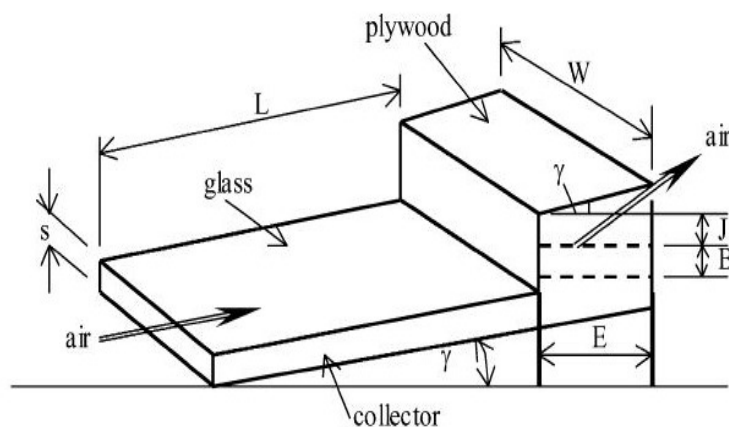
(۱) استادیار دانشگاه یزد

(۲) دانشجوی مهندسی مکانیک دانشگاه یزد (نویسنده مسئول)

(۳) دانشجوی مهندسی مکانیک دانشگاه یزد

مقدمه

دورنمایی از اتمام ذخایر فسیلی جهان طی چند دهه آینده و همچنین موضوع جهانی شدن و به دنبال آن افزایش رقابت بین کشورهای جهان باعث شده است تا بهینه سازی مصرف انرژی، به عنوان یک سیاست راهبردی از سوی اقتصاددانان و دولتمردان کشور های جهان مطرح و زمینه جایگزین کردن انرژی های نو به جای سوخت های فسیلی ضروری گردد. هر ساله روش های جدیدی برای بهینه سازی انرژی در جهان مطرح می شود. در سال های اخیر، بحث استفاده از انرژی های نو به عنوان جایگزین، نظر مهندسين و معماران را به خود معطوف ساخته است. با توجه به این موضوع که بخش وسیعی از کشور در ناحیه آب و هوایی گرم قرار دارد، اجرای روش های مناسبی با بکارگیری انرژی خورشیدی به منظور کاهش هزینه ها قابل تأمل است [۲۰]. به عنوان مثال، هوای گرم در صنعت، امور خانگی و کشاورزی و... کار برد زیادی دارد. به کمک هوای گرم و خشک براحتی می توان محصولات کشاورزی را به صورت بهداشتی خشک نمود. خشک کن های خورشیدی به علت عدم نیاز به برق، در مزارع براحتی قابل استفاده اند. همچنین برای محصولاتی که تابش مستقیم خورشید اثر نامطلوبی روی کیفیت آنها دارد، خشک کن های خورشیدی مفید می باشند. برای شرح عملکرد کلی یک خشک کن خورشیدی، از یک مدل ساده مانند آنچه در شکل (۱) نمایش داده شده است، استفاده می کنیم.



شکل (۱) مدلی ساده از یک خشک کن غیر مستقیم [۳]

یکی از قسمتهای اصلی خشک کن خورشیدی، محفظه ای به نام کلکتور^۱ می باشد. کلکتور دارای سطح بالایی شفاف جهت عبور تشعشع و سطح پایینی مات و تیره در نقش جذب کننده تشعشع می باشد. هوا از قسمت پایینی وارد کلکتور شده، بین دو صفحه حرکت کرده و گرم می شود. در طول حرکت هوا در کلکتور، دمای هوا افزایش یافته و در نتیجه، ظرفیت

1) collector

جذب رطوبت آن افزایش می‌یابد و هوا از کلکتور خارج می‌شود. جریان هوا در کلکتور بر اثر جابجایی طبیعی^۱ می‌باشد. هوای گرم سپس وارد محفظه خشک‌کن^۲ می‌شود و با عبور روی محصولات که معمولاً روی سینی‌هایی به صورت طبقه طبقه قرار گرفته‌اند، رطوبت محصول را جذب کرده و از محفظه خشک‌کن خارج می‌شود.

خشک‌کن‌های خورشیدی را از نظر جذب تابش خورشید، به سه نوع مستقیم، غیرمستقیم و مختلط می‌توان تقسیم کرد. در حالت غیرمستقیم، محفظه خشک‌کن غیر شفاف است و محصولات در معرض تابش قرار نمی‌گیرند. در حالت مستقیم، محفظه خشک‌کن شفاف بوده و سینی‌های حاوی محصولات به گونه‌ای قرار می‌گیرند که همگی در معرض تابش می‌باشند. در این روش، گاهی کلکتور حذف می‌شود و محفظه خشک‌کن نقش کلکتور را نیز ایفا می‌کند. در حالت مختلط، محفظه خشک‌کن از جنس شفاف است ولی سینی‌های حاوی محصولات به صورتی قرار می‌گیرند که فقط بعضی از طبقات (طبقات بالایی) در معرض تابش هستند. از لحاظ جریان هوا، خشک‌کن‌های خورشیدی به دو دسته جابجایی طبیعی و جابجایی اجباری تقسیم می‌شوند. در خشک‌کن‌های خورشیدی جابجایی اجباری، علاوه بر جابجایی طبیعی از یک فن جهت کمک به جریان هوا استفاده می‌شود.

در بعضی از خشک‌کن‌های خورشیدی برای استفاده ۲۴ ساعته از خشک‌کن و یکنواخت کردن عملکرد آن از یک گرم‌کن اضافی با مدار کنترل‌کننده استفاده می‌شود. در کل، استفاده از خشک‌کن‌های خورشیدی، یک پدیده نسبتاً جدید می‌باشد، بخصوص با توجه به اهمیت استفاده از انرژی‌های غیر از سوخت‌های فسیلی، در سال‌های اخیر استفاده و تحقیق و پژوهش در این مورد رو به رشد می‌باشد. پژوهش‌هایی در زمینه‌های کشاورزی، صنایع غذایی و انرژی در مورد خشک‌کن‌های خورشیدی صورت گرفته است.

در این مقاله، تحقیق و پژوهش بر روی کلکتور یک خشک‌کن غیرمستقیم با جابجایی آزاد صورت می‌گیرد. تحقیقات شامل اندازه و فواصل بهینه و شبیه‌سازی عملکرد کلکتور در نرم‌افزار Fluent می‌باشد. برای جلوگیری از تلفات گرمایی باید دیواره‌ها و سطح زیرین جاذب عایق بندی شوند. بنابراین، عایقی از جنس فایبرگلاس به ضخامت ۲ و ۳ سانتیمتر به کلکتور افزوده و تأثیر آن را بررسی نموده‌ایم. در نهایت، با بررسی عدد رایلی از فرض اولیه که جریان را مغشوش در نظر گرفته بودیم، اطمینان حاصل می‌کنیم.

معادلات حاکم بر جریان

معادلات حاکم بر حرکت سیال در داخل کلکتور به عنوان حجم کنترل یا ناحیه محاسباتی عبارتند از:

1- Natural Convection
2- Drying Chamber

معادله بقاء جرم

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = S_m \quad (1)$$

S_m عبارت چشمه می باشد که از جریان اصلی حذف یا به آن اضافه می گردد و در ارتباط با پدیده تبخیر آب یا چگالش آن می باشد [۴]. در رابطه فوق، ρ جرم حجمی هوا می باشد که در ورود کمترین مقدار را دارد و با پاشش آب داخل آن افزایش می یابد و باعث سنگین شدن آن می گردد. این پدیده مطلوب بوده، یک نوع شناوری منفی ایجاد گردیده، باعث می گردد هوای سنگین به سمت پایین به حرکت درآید. با محاسبه رطوبت مطلق و همچنین فشار کل و فشار جزئی بخار آب و هوای خشک در هر گره، جرم حجمی کل و یا جزءهای بخار آب و هوای خشک قابل محاسبه می باشد [۵ و ۷].

معادلات مومنتم

معادله متوسط گیری شده ناویر استوکس و حاکم بر جریان خواهد بود:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = \\ \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} [\mu (\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i})] + \\ \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) + f_i \end{aligned} \quad (2)$$

عبارت $\overline{\rho u'_i u'_j}$ معرف تنش های رینولدز می باشد که در ارتباط با نوسانات سرعت حول مقدار متوسط با بکار گیری فرض بویزینسک حاصل شده است و f_i معرف نیروی وزن سیال در جهت مورد نظر می باشد [۴].

معادله انرژی

برای محاسبه توزیع دما در داخل ساختمان به معادله انرژی نیاز می باشد که عبارت است از:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + P)] = \\ \frac{\partial}{\partial x_j} [(\lambda + \frac{c_p \mu_t}{Pr_t}) \frac{\partial T}{\partial x_j} - \sum_j h_j J_j] + S_h \end{aligned} \quad (3)$$

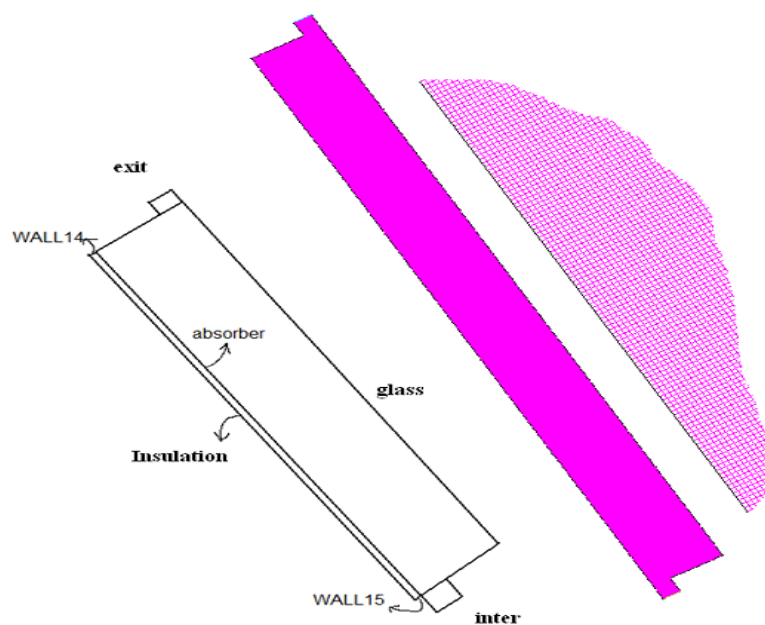
در این معادله، E عبارت است از:

$$E = \sum h_j Y_j + \frac{u^2}{2} \quad (۴)$$

λ ضریب هدایت حرارتی سیال و J شار نفوذی جزء j می‌باشد و S_{Hj} مربوط به هرگونه چشمه انرژی است.

معرفی روش عددی انتخاب شده، شبکه محاسباتی و شرایط مرزی

ناحیه محاسباتی یا شبکه در نظر گرفته شده شامل کلکتور خورشیدی (نشان داده شده در شکل ۲) به ابعاد ۲۰۰۰ در ۱۰۰۰ در ۲۰۰ میلی متر می‌باشد. در این قسمت، با اعمال شرایط مرزی مناسب، میدان جریان به صورت دو بعدی و مغشوش حل عددی گردیده و دبی هوای عبوری از کلکتور مشخص گردیده است. چون عدد رایلی بالا می‌باشد (طول در امتداد جریان قابل توجه است)، جریان در داخل حجم کنترل مغشوش و بر اساس مدل $k-\epsilon$ با الگوریتم Simple حل گردیده است. نرم افزار مورد استفاده FLUENT 6.3 بوده که شبکه انتخابی و شرایط مرزی براساس شکل (۲) می‌باشد.



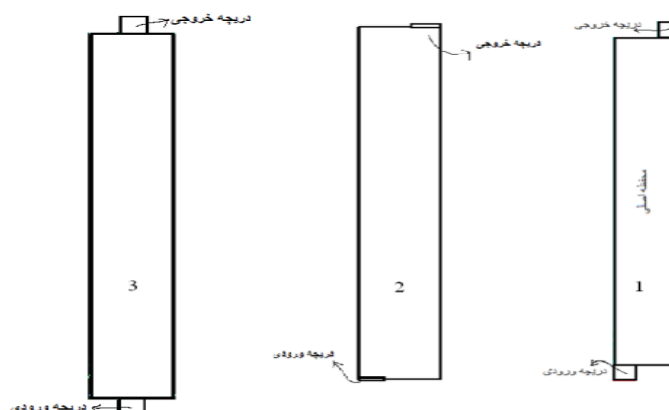
شکل ۲) ناحیه محاسباتی و شبکه انتخاب شده

مطابق شکل (۲)، کل دیواره‌های اطراف عایق انتخاب شده‌اند و از بالا روی شیشه تابش خورشید برای شرایط شهر یزد مدل شده است [۵]. در ورود شرط مرزی Pressure Inlet و در خروجی شرط مرزی Pressure Outlet اعمال گردیده است. در مورد شبکه انتخابی، به گونه‌ای اندازه‌ها و تعداد گره‌ها انتخاب شده است که حل مستقل از شبکه گردد و دقت محاسبات تا $0/000001$ در نظر گرفته شده است. زمان اجرای برنامه برای رسیدن به دقت فوق باتوجه به گستردگی شبکه (دو بعدی) و ریز بودن ابعاد آن با یک رایانه معمولی طولانی بوده و حدود چهار ساعت برای هر اجرا می‌باشد.

نتایج

بررسی محل نصب دریچه ورود و خروج هوا

برای دریچه ورود و خروج هوا سه حالت مطابق شکل (۳) در نظر گرفته شده و پس از انجام محاسبات، نتایج بدست آمده در جدول (۱) آمده است.



شکل (۳) تاثیر محل دریچه روی دما و دبی جرمی

جدول (۱) تاثیر محل دریچه روی دما و دبی جرمی

Y-Plus	دبی جرمی	دمای حداکثر (K)	دمای خروجی (K)	
۳,۹۷۱	۰,۰۱۴۱	۳۷۳,۵۸۸۵	۳۳۵,۲۵۸۷	هندسه ۱
۷,۸۷۳	۰,۰۱۵۶	۳۵۸,۳۷۱۱	۳۲۷,۱۱۱۱	هندسه ۲
۴,۲۸۴	۰,۰۱۱۰	۳۶۵,۸۴۴۱	۳۲۱,۱۶۱۵	هندسه ۳

همانطور که از جدول (۱) پیداست، دمای خروجی در هندسه ۱ از بقیه بیشتر است و دبی هوا در هندسه ۲ بیشتر است. برای انتخاب بهترین هندسه می‌توانیم از تفاوت ناچیز دبی در هندسه ۱ و ۲ صرف‌نظر کنیم و از هندسه ۱ استفاده کنیم، چرا که هدف از استفاده کلکتور بیشتر افزایش دماست.

بررسی فاصله سطح شفاف و جاذب

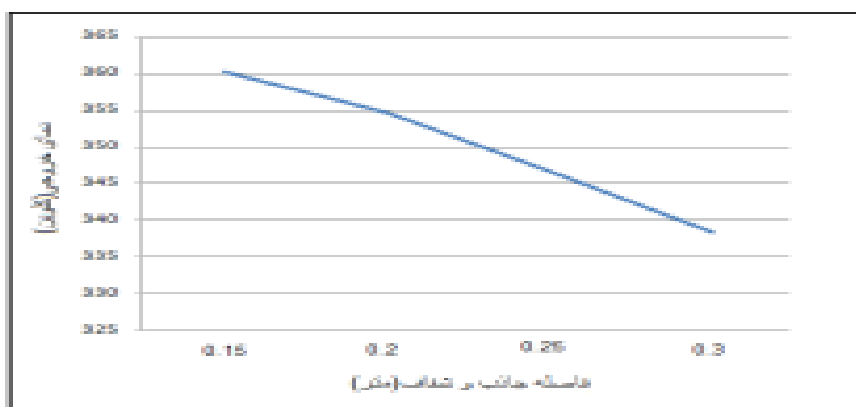
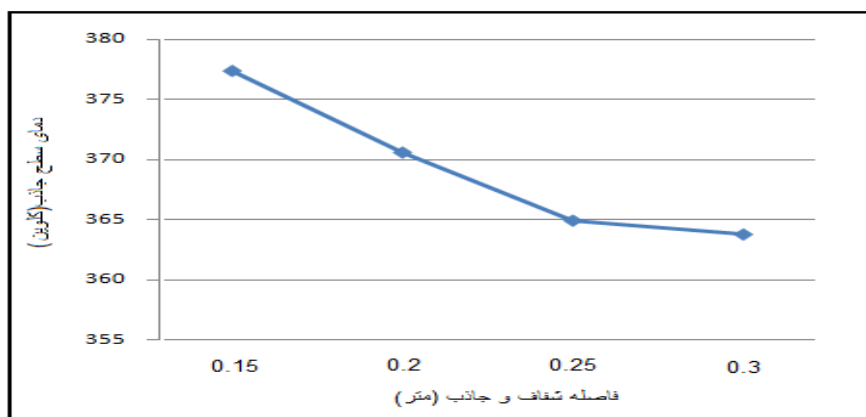
بعد از اینکه نوع هندسه و مش بندی را انتخاب کردیم، نوبت به بررسی پارامترهای مختلف می‌رسد که بر عملکرد کلکتور اثر می‌گذارد؛ پارامترهایی چون فاصله سطح شفاف و جاذب، اندازه دریچه، شارهای مختلف، ضخامت شیشه و دوجداره بودن آن و...

برای بررسی فاصله سطح شفاف و جاذب، از فاصله ۳۰ سانتیمتری شروع می‌کنیم و طول کلکتور را ۲ متر و دریچه را به صورت مربعی با ابعاد ۱۰ سانتیمتر در نظر می‌گیریم و اثر فاصله را در اندازه‌های مختلف بررسی می‌کنیم. دمای خروجی و دمای سطح جاذب و دبی جرمی مربوط به فاصله‌های مختلف در جدول (۲) و شکل (۴) آمده است. همانطور که در جدول و نمودارهای مربوط آمده است، با کاهش فاصله بین سطح شفاف و جاذب، دمای خروجی همانطور که انتظار می‌رفت افزایش می‌یابد و دبی خروجی هوا کاهش می‌یابد.

برای فاصله ۱۵ سانتیمتر بیشترین دمای خروجی را دارد ولی برای انتخاب یک کلکتور مناسب پارامترهای دیگری مثل دبی نیز برای ما حائز اهمیت است. در این فاصله با کاهش قابل توجه دبی، مواجه هستیم. بنابراین، به نظر می‌رسد فعلاً انتخاب فاصله ۲۰ سانتیمتر که دمای نسبتاً خوب و دبی معقول تری دارد، مناسب تر باشد.

جدول ۲) تاثیر فاصله بین شیشه و جاذب روی دما و دبی جرمی

فاصله (m)	دمای خروجی (K)	دمای صفحه جاذب (K)	دبی جرمی (kg/s)
۰,۳	۳۳۸,۳۴	۳۶۳,۷۷	۰,۰۱۲۱
۰,۲۵	۳۴۶,۶۸	۳۶۴,۹۲	۰,۰۰۹۹
۰,۲	۳۵۴,۵۸	۳۷۰,۵۷	۰,۰۰۷۶
۰,۱۵	۳۶۰,۱۷	۳۷۷,۳۴	۰,۰۰۵۳



شکل ۴) بررسی اثر فاصله سطح شفاف و جاذب

بررسی اندازه دریچه

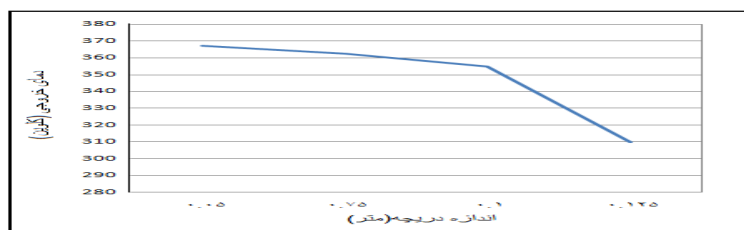
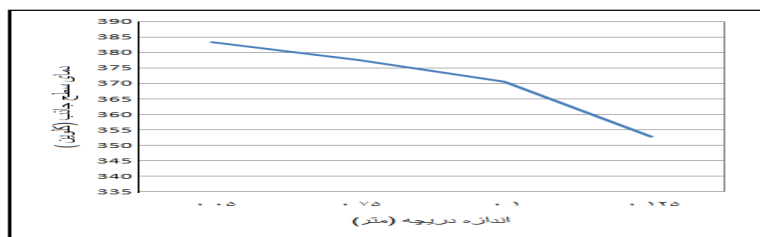
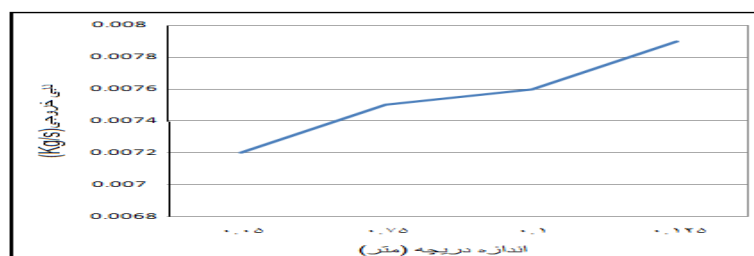
حال به بررسی مقدماتی اندازه دریچه می‌پردازیم. برای این کار، فاصله سطح شفاف و جاذب را ثابت و برابر ۲۰ سانتیمتر در نظر می‌گیریم و اندازه‌های مختلفی به دریچه می‌دهیم. چون معمولاً متداول نیست که دریچه خیلی بزرگ باشد، اندازه آن را حداکثر ۱۰ سانتیمتر در نظر می‌گیریم.

نتایج بررسی دریچه‌ها در جدول (۳) و شکل (۵) آمده است.

همانطور که از جدول و نمودارها پیداست، با افزایش اندازه دریچه، دمای خروجی کاهش و دبی افزایش می‌یابد. بنابراین، با توجه به نتایج، انتخاب دریچه ۵ سانتیمتری بد به نظر نمی‌رسد. لذا فعلاً حالت بهینه را کلکتوری با طول ۲ متر، عرض ۲۰ سانتیمتر و دریچه ۵ سانتیمتر در نظر می‌گیریم و سایر پارامترها را بررسی می‌کنیم.

جدول ۳) تاثیر اندازه دریچه روی دما و دبی جرمی

دریچه (m)	دمای خروجی (K)	دمای سطح جاذب (k)	دبی جرمی (kg/s)
۰,۱۲۵	۳۰۹,۹۸	۳۵۲,۸	۰,۰۰۷۹
۰,۱	۳۵۴,۵۷	۳۷۰,۵۷	۰,۰۰۷۶
۰,۰۷۵	۳۶۲,۵۱	۳۷۷,۵۴	۰,۰۰۷۵
۰,۰۵	۳۶۷,۰۲۳	۳۸۳,۲۸	۰,۰۰۷۲



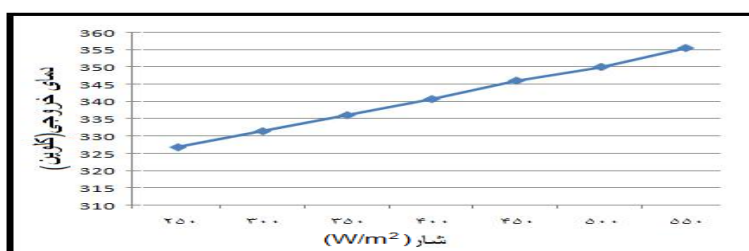
شکل ۵) بررسی اثر اندازه دریچه ورود و خروج هوا

بررسی شارهای مختلف

یک کلکتور در ساعات مختلف یک روز و همچنین روزهای مختلف سال، بسته به اینکه تابستان باشد یا زمستان، شارهای متفاوتی دریافت می کند. البته شار ورودی به زاویه خود کلکتور و زاویه ای که نور خورشید در ساعات مختلف روز به کلکتور می تابد نیز بستگی دارد. می خواهیم اثر این شارهای متفاوت را بررسی کنیم. برای این کار، کلکتور بهینه را در نظر گرفته و نتایج را در شارهای مختلفی که به آن می دهیم، بررسی می کنیم. نتایج این قسمت در جدول (۴) و شکل (۶) آمده است.

جدول ۴ (تاثیر میزان تشعشع روی دمای خروجی

دمای خروجی K	شار ورودی W/m^2
۳۵۹,۲۸۰۲	۶۰۰
۳۵۵,۴۶۷۲	۵۵۰
۳۵۰,۰۱۶۳	۵۰۰
۳۴۶,۰۶۳۴	۴۵۰
۳۴۰,۷۵۱۸	۴۰۰
۳۳۶,۱۱۹	۳۵۰
۳۳۱,۴۸۶۸	۳۰۰
۳۲۶,۸۵۳۶	۲۵۰

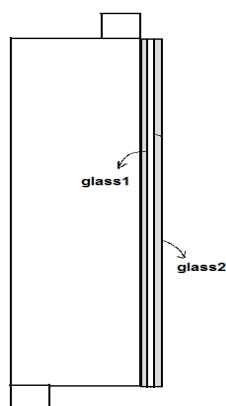


شکل ۶ (تاثیر میزان تشعشع روی دمای خروجی

همانطور که انتظار می‌رفت و از نمودار فوق پیداست، با افزایش شار ورودی، دمای خروجی نیز افزایش می‌یابد.

بررسی تأثیر دو جداره بودن شیشه

بدنه اصلی کلکتور را مطابق قبل با طول ۲ متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر و با پهنای دریچه ۵ سانتی‌متر ایجاد می‌کنیم.



شکل ۷ (تاثیر دو جداره بودن شیشه روی دمای خروجی

نتایج برای مقایسه در جدول (۵) آمده است:

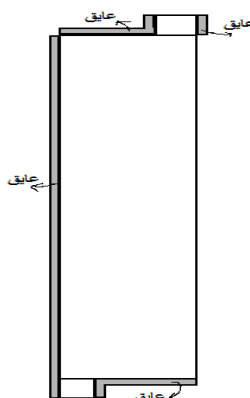
جدول (۵) تاثیر دو جداره بودن شیشه روی دما

شیشه دوجداره	شیشه با ضخامت ۳ میلی‌متر	
۳۹۰,۱۸	۳۶۷,۴۵	دمای خروجی K
۴۰۳,۵۹	۳۸۳,۶۶	دمای سطح جاذب K

ملاحظه می‌گردد که چون اتلاف گرما از کلکتور کاهش یافته، دمای جاذب و خروجی افزایش می‌یابد.

بررسی تأثیر عایق

با انجام محاسبات برای ایجاد عایقی با ضخامت ۲ و ۳ سانتیمتر مطابق شکل (۸)، نتایج مربوط به تأثیر ضخامت عایق در جدول (۶) آمده است:



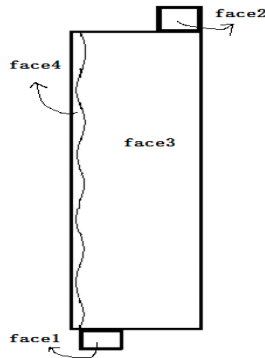
شکل (۸) تاثیر عایق روی دمای خروجی

جدول (۶) تاثیر عایق روی دمای خروجی

ضخامت عایق (متر)	دمای خروجی (کلوین)	دمای جاذب (کلوین)
۰,۰۲	۳۶۶,۸۷	۳۸۳,۱۱
۰,۰۳	۳۶۷,۳۳	۳۸۳,۶۵

بررسی تأثیر شیار دار کردن سطح جاذب

نتایج بررسی شیاردار کردن سطح جاذب و اثر آن روی دمای خروجی مطابق شکل (۹) در جدول (۷) آمده است:



شکل ۹) تأثیر شیپار دار کردن سطح جاذب روی دمای خروجی

جدول ۷) تأثیر شیپار دار کردن سطح جاذب روی دمای خروجی

دمای جاذب K	دمای خروجی K	شکل شیپار
۳۸۴,۹۷	۳۶۷,۹	
۳۸۴,۰۲	۳۶۷,۳۴	
۳۸۴,۹۵	۳۶۷,۵۴	
۳۸۴,۰۹	۳۶۷,۲۱	
۳۸۴,۲۵	۳۶۷,۵۱	
۳۸۳,۳۵	۳۶۸,۱۹	
۳۸۴,۳۲	۳۶۸,۵۴	

بررسی مغشوش بودن جریان

در تمام حل مسئله جریان داخل کلکتور مغشوش فرض شد. حال برای اینکه مطمئن باشیم چنین فرضی درست بوده است، عدد رایلی را محاسبه کرده و آن را مقایسه می کنیم. اگر عدد رایلی بزرگتر از 10^4 باشد، جریان مغشوش است و فرض

ما درست بوده است. عدد رایلی از رابطه زیر به دست می آید:

$$Ra = \frac{g\beta(T_2 - T_1)\delta^3}{\nu^2} Pr \quad (5)$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1.7894 \times 10^{-5}}{1.225}$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad \alpha = \frac{K}{\rho C_p} = \frac{0.0242}{1.225 \times 1006.43}$$

خواص هوا را می توان از نرم افزار فلونتت به دست آورد.

T_1 دمای محیط و برابر ۳۰۰ درجه کلون است و T_2 دمای جاذب بر حسب کلون می باشد.

β ضریب انبساط حرارتی و معادل معکوس دمای متوسط مجرا می باشد.

δ طول سطح جاذب و معادل ۲ متر می باشد.

حال با داشتن روابط فوق و به کمک نرم افزار EES، عدد رایلی را محاسبه نموده که حاصل آن در جدول های (۸) و (۹) آمده است:

جدول (۸) اعداد مربوط به فاصله سطح شفاف و جاذب

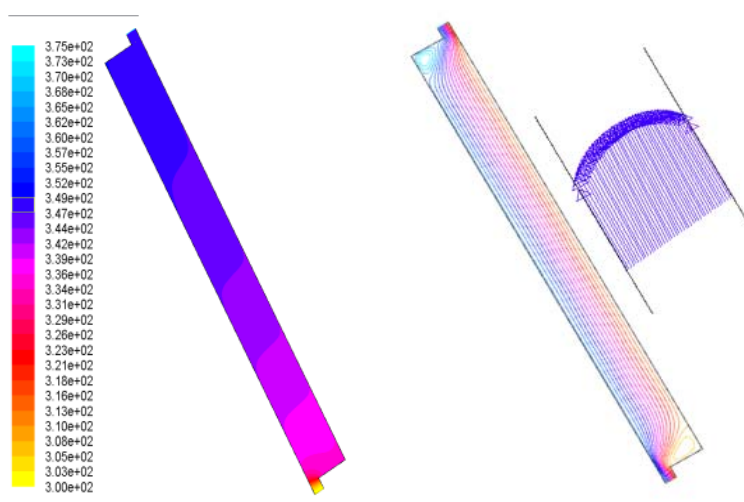
عدد رایلی	دمای جاذب T_2	دمای متوسط T	فاصله (متر)
5.109E+10	363.77	341.64	0.3
5.192E+10	364.92	342.22	0.25
5.56E+10	370.57	346.88	0.2
6.028E+10	377.57	353.2	0.15

جدول (۹) اعداد مربوط به اندازه دریچه

عدد رایلی	دمای جاذب T_2	دمای متوسط T	اندازه دریچه (متر)
4.387E+10	352.8	329.4	0.125
5.584E+10	370.57	346.88	0.1
5.999E+10	377.54	353.8	0.075
6.338E+10	383.38	359.65	0.05

همانطور که دیده می‌شود، اعداد رایلی در همه موارد بزرگتر از 10^8 به دست آمده است و از آنجایی که اکثر پارامترها ثابت بوده و تنها دمای جاذب و متوسط در محدوده کوچکی تغییر می‌کند، در همه موارد عدد رایلی حدود همین مقدار است. در نتیجه، مسئله را با فرض درستی حل کرده‌ایم.

در داخل دودکش خورشیدی در اثر تابش خورشید به داخل آن و عبور از شیشه و برخورد با جاذب، هوا گرم شده که به سمت بالا به حرکت در می‌آید. در شکل (۱۰)، توزیع دما در داخل کلکتور همچنین خطوط جریان در داخل ناحیه محاسباتی و بردارهای سرعت در مقطعی وسط کلکتور ملاحظه می‌گردد.



شکل ۱۰) نمایش توزیع دما، سرعت و خطوط جریان در داخل کلکتور

نتیجه‌گیری

مطابق با نتایجی که از اجرای برنامه در حالت‌های مختلف به دست آمده است، ملاحظه می‌گردد که برای شرایط آب و هوایی شهرهای گرم و خشک نظیر یزد دبی حجمی هوای عبوری از واحد پهنای دودکش در یک ساعت ۳۵ مترمکعب شده که جوابگوی تهویه و تامین سرمایش ساختمانی یا تامین گرمایش در زمستان می‌باشد. همچنین جهت تامین هوای گرم در صنعت یا خشک نمودن انواع حبوبات کشاورزی می‌تواند براحتی مورد استفاده قرار گیرد بدون آن که نیاز به مصرف برق یا سوخت یا نیروی محرکه باشد.

منابع

- [1] Kalantar, V., "Numerical simulation of cooling performance of wind tower (Baud-Geer) in hot and arid region", *Renewable Energy*, Vol 34, No. 1, Pages 246-254, January 2009.
- [2] Kalantar, V., "Natural ventilation the building with wind tower and renewable energy without using fuel oil", the third conference on fuel conservation in building, pp.1566-1577, 13-14 Mar. 2005. Tehran-Irans.
- [3] I.N.Simate, "Optimization of Mixed-mode and Indirect-mode Natural Convection Solar Dryers", *Renewable Energy*, vol 28, 2003, pp435-453.
- [4] User's Guide, FLUENT 6.1, 2000.
- [5] Ashare Handbook, "Fundamentals", American Society of heating, refrigerating and air conditioning Engineers, Inc., Atlanta, Georgia, 1981.