

بررسی مدل‌های تابش بر روی کلکتور مثلثی

حمید باغنوی^۱ و طاها طالبیان^{۲*}

۱ کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، گرایش تبدیل انرژی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

۲ استادیار گروه مهندسی مکانیک، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران (نویسنده مسئول)

چکیده

در این مقاله به شبیه سازی عددی و بررسی مدل‌های تابشی مختلف بر روی کلکتور مثلثی خورشیدی پرداخته شده است. در این مطالعه تأثیر تغییر دمای دیوار کف، زاویه رأس ۸۰ و ۴۰ درجه، تغییرات دماهای دیواره های جانبی مثلث، مطالعه انواع مدل های تابشی مختلف در حالت پایا و گذرا، همچنین تأثیر تغییرات عدد گراشف، ناسلت و ضریب انتقال حرارت بر عملکرد کلکتور و کانتورهای دما، فشار و سرعت در حالت پایا بررسی شده است. با انجام فعالیت های ذکر شده، نتایج حالت پایا به شرح زیر ذکر می گردند:

- ۱- در همه حالات درون محفظه دو جریان مجزا که در اثر اختلاف دمای دیواره ها و سطح پایین می باشد ایجاد می شود.
 - ۲- ضریب انتقال حرارت دارای حداقل مقدار در وسط یا میانه دیواره است. دلیل این امر وجود نقطه سکون و حداقل سرعت در این نقطه است. میزان انتقال حرارت از لبه های سمت راست و چپ به سمت میانه جاذب کاهش می یابد.
 - ۳- تغییرات سرعت در دیواره پایینی جاذب از میزان حداکثر در دو دیواره سمت چپ و راست به میزان حداقل در میانه می رسد.
 - ۴- فشار هم دارای حداکثر مقدار در دو سمت راست و چپ می باشد و در قسمت میانی که نقطه سکون است مقدار حداقل فشار را خواهیم داشت.
 - ۵- شدت توزیع کانتور دمای استاتیکی در وسط دیوار کف بیشتر و با حرکت به سمت اضلاع و رأس مثلث از این شدت کاسته می شود.
 - ۶- شدت توزیع کانتور فشار دینامیکی در وسط دیوار کف و نزدیک اضلاع مثلث بیشتر از قسمت های دیگر می باشد.
 - ۷- شدت توزیع کانتور فشار استاتیکی با حرکت از دیوار کف به سمت رأس مثلث افزایش می یابد.
 - ۸- نرخ ضریب انتقال حرارت و در نتیجه انتقال حرارت برای زاویه ۴۰ درجه بیشتر از زاویه ۸۰ درجه است.
 - ۹- کلکتور دارای زاویه رأس ۸۰ درجه نسبت به ۴۰ درجه دمای استاتیکی متوسط کمتری را داراست
 - ۱۰- عدد ناسلت متوسط و ضریب انتقال حرارت با افزایش عدد گراشف افزایش می یابد. همچنین عدد ناسلت متوسط و ضریب انتقال حرارت با افزایش زاویه رأس کلکتور کاهش می یابد.
 - ۱۱- حداکثر مقدار تابع جریان زاویه ۴۰ درجه بیشتر از زاویه ۸۰ درجه است
- نتایج حالت گذرا به شرح زیر ذکر می گردند:
- ۱- شار حرارتی در حالت گذراری کف ثابت نیست و دارای حداکثر مقدار در میانه است و به ترتیب تا دیواره های سمت چپ و راست کاهش می یابد.
 - ۲- رفتار تغییرات فشار و سرعت در حالت گذرا مشابه حالت پایدار است.
 - ۳- در حالت گذرا عدد ناسلت از ابتدای زمان تحلیل با افزایش گام های زمانی کاهش می یابد تا پس از ۸ ثانیه تغییرات عدد ناسلت به کمترین مقدار خود می رسد و پس از آن ثابت می ماند.
 - ۴- در حالت گذرا فشار استاتیکی، دینامیکی و اندازه سرعت با افزایش گام زمانی افزایش می یابد.

واژه های کلیدی: انتقال حرارت، عدد ناسلت، عدد گراشف، کلکتور خورشیدی، مدل های تابشی و حل عددی

۱- مقدمه

شوک های نفتی دهه های ۷۰ و خطر پایان پذیری منابع انرژی فسیلی و از طرفی آلاینده های نیروگاه های اتمی، انسان را به سوی منابع جدیدی از انرژی سوق داد که مشکلات و معضلات منابع مذکور را نداشته باشد. خورشید یکی از منابع عمده انرژی است که می تواند به عنوان یک منبع مفید و تأمین کننده انرژی در اکثر نقاط جهان به کار گرفته شود. مطالعات بسیاری در مورد تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی، حرارتی و یا هر دو در سال های اخیر شده است که نشان دهنده اهمیت این موضوع می باشد [۱۳]. همچنین گستردگی و کاربرد روز افزون صنایع تبرید، سردخانه، برج های عظیم و تجاری جهت تهویه مطبوع تابستانی، صنایع غذایی کوچک تا صنایع عظیم نفت و گاز و پتروشیمی برای تبخیر، تقطیر و جداسازی، لزوم استفاده از انرژی جایگزین را بیان می کند. از کلکتورهای خورشیدی می توان برای گرمای مورد نیاز، سیستم های سرمایشی و گرمایشی، گرم کردن فضاهای مورد نظر، خشک کردن محصولات کشاورزی، نساجی و دریایی استفاده نمود.

در سال ۱۸۸۰ اولین کلکتور تخت خورشیدی به وسیله چارلز تیلور ساخته شد. در قرن نوزدهم دستگاه های آب شیرین کن خورشیدی رواج پیدا کردند. همچنین در ۲ آذر ۱۳۹۱ اولین کلکتور خورشیدی کاملاً ایرانی در نیروگاه خورشیدی شیراز به بهره برداری رسید. اولین بار در سال ۱۹۵۹ کلکتور آب چکه توسط هری تامسون برای بام خانه ای در مریلند ساخته و نصب شد [۲۲]. همچنین در سال ۲۰۱۵ چن و همکارانش سیستم کلکتور خورشیدی ترکیبی فتوولتاییک لوله حرارتی را معرفی و مطالعه کردند. نوع جدید از کلکتور خورشیدی دوکاربره به شکل کاشی توسط لیو و همکاران در سال ۲۰۱۵ پیشنهاد شد. کلکتور خورشیدی که ترکیبی آب و هم هوا به عنوان سیال عامل استفاده می کند توسط جریمی و همکاران در سال ۲۰۱۶ ارائه شد

تعدادی از عواملی که در طراحی این کلکتورها در نظر گرفته می شود به صورت زیر می باشد:

- عملکرد حرارتی
 - هزینه
 - طول عمر، دوام یا پایداری، سهولت در نصب و راه اندازی
- سیستم های خورشیدی را می توان به طور گسترده به پنج گروه زیر طبقه بندی کرد:

- سیستم های فتوویولوژی
 - سیستم های فتوشیمیایی
 - سیستم های فتوولتاییک
 - سیستم های حرارتی
 - سیستم های فتوولتاییک حرارتی
- اما انواع کلکتورها عبارتند از: [۴۲ و ۴۹]
- کلکتورهای صفحه تخت
 - کلکتورهای متمرکز کننده
 - کلکتورهای غیر متمرکز کننده
- اما از کاربردهای غیر نیروگاهی سیستم حرارتی خورشیدی می توان به موارد زیر اشاره کرد:
- سیستم گرمایش خورشیدی پسیو [۵۲ و ۵۳]
 - سیستم گرمایش خورشیدی فعال [۵۳]
 - سیستم سرمایش خورشیدی [۵۴]
 - آب شیرین کن خورشیدی [۵۰]
 - اجاق خورشیدی [۵۱]

کاربردهای نیروگاهی سیستم حرارتی خورشیدی عبارتند از:

- نیروگاههایی که گیرنده آنها آینه های سهموی خطی هستند [۶۱]
- نیروگاه هایی که گیرنده آنها در برج قرار دارند و نور خورشید توسط آینه های بزرگی به نام هلیوستات به آن منعکس می شود. (دریافت کننده مرکزی) [۵۹ و ۶۰]
- نیرو گاه های از نوع بشقابی [۵۹]

۲- استخراج معادلات

نتایج حاصل از حل عددی هزینه و زمان کمتری نسبت به حل های تحلیلی و آزمایشگاهی در بر دارد. با توجه به اینکه برای رسیدن به شرایط بهینه در کارهای آزمایشگاهی، مجبور به چندین مرحله تکرار در آزمایش شده، بنابراین این روش هزینه ی زیادی خواهد داشت. همچنین با توجه به پیچیدگی نسبی در معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر نمونه، حل های تحلیلی ارائه شده با فرض های زیادی همراه هستند که دقت نتایج را کاهش می دهند.

1-2: معادله پیوستگی

اصل بقاء جرم بیان می کند که جرم نه تولید می شود و نه از بین می رود و این اصل توسط معادله پیوستگی بیان می گردد [۳۷ و ۳۸]:

برای سیالات تراکم پذیر:

$$(1) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

برای سیالات تراکم ناپذیر:

$$(2) \quad (\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) = 0$$

که در آن V بردار سرعت، ρ دانسیته، و t زمان می باشد.

2-2: معادله مومنتوم

مکانیک سیالات تنها با داشتن معادله پیوستگی مشخص نمی شود، بلکه باید اصل بقاء اندازه حرکت یا قانون دوم نیوتون را درباره آن بیان کرد.

با در نظر گرفتن جریان غیرقابل تراکم و ثابت فرض کردن ضریب ویسکوزیته، شکل معادله ناویر استوکس به صورت زیر می باشد [۳۷ و ۳۸]:

$$(3) \quad \rho \frac{D\mathbf{V}}{Dt} = \rho \mathbf{f} - \nabla P + \mu \nabla^2 \mathbf{V}$$

که در آن V بردار سرعت، P بیانگر فشار، f نیروهای حجمی و μ ویسکوزیته می باشد. $\frac{D}{Dt}$ بیانگر مشتق مادی بوده و به صورت $\left(\frac{D\varphi}{Dt} = \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \varphi\right)$ تعریف می گردد.

معادلات ناویر- استوکس با فرض لزجت ثابت و صرف نظر کردن از نیروهای حجمی به صورت زیر ساده می شوند [۳۷ و ۳۸]:

$$(4) \quad \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + u \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + v \frac{\partial(\rho u)}{\partial y} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho u \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)$$

$$(5) \quad \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + u \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} + v \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \rho v \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)$$

۲-۳: معادله انرژی

بنابر اصل بقای انرژی، مجموع انرژی های ورودی و تولید شده برابر با مجموع انرژی های خروجی و ذخیره شده در حجم کنترل است. بقای انرژی با فرض ناچیز بودن عبارت اضمحلال انرژی و ضریب هدایت ثابت به صورت زیر در می آید [۳۷ و ۳۸]:

$$(6) C_p \left(\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + u \frac{\partial(\rho T)}{\partial x} + v \frac{\partial(\rho T)}{\partial y} + \rho T \frac{\partial u}{\partial x} + \rho T \frac{\partial v}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

که در آن V بردار سرعت، ρ دانسیته، و t زمان می‌باشد.

معادلات بقای جرم، ناویر استوکس و انرژی برای انتقال حرارت ناپایدار هندسه بیان شده به صورت زیر می‌باشد [۳۷ و ۳۸]:

$$(7) \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$(8) \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

$$(9) \quad \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{(\rho\beta)}{\rho} (T - T_c)$$

$$(10) \quad \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

که u و v به ترتیب موافه‌ی افقی و عمودی سرعت، β ضریب انبساط گرمایی و T_c دمای دیواره کلکتور می‌باشد. شرایط مرزی و اولیه بدون بعد برای مسئله پیش رو به شرح زیر می‌باشد:

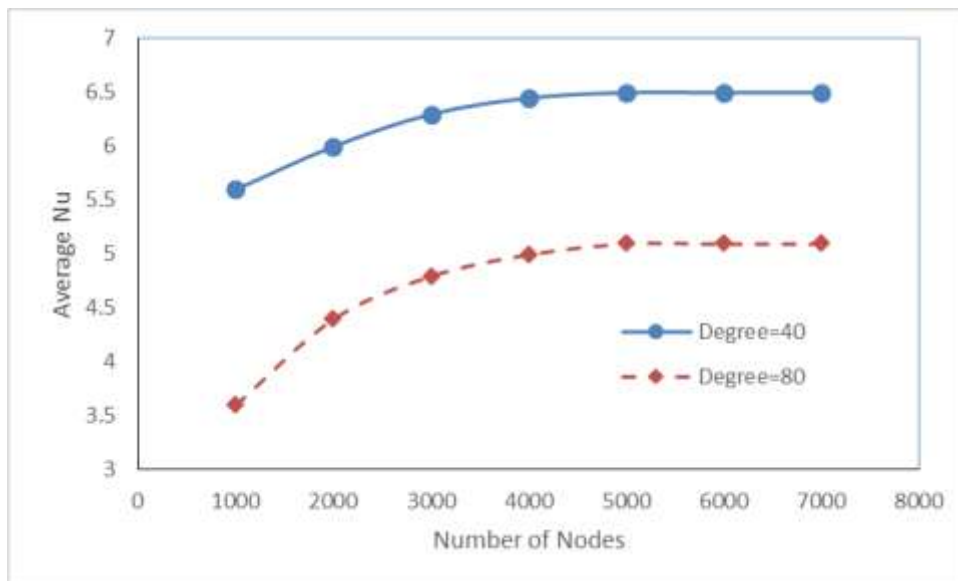
$$t=0: u=v=0, T=T_c$$

$$(10)$$

$$t>0: u=v=0, T=T_h; u=v=0, T=T_c$$

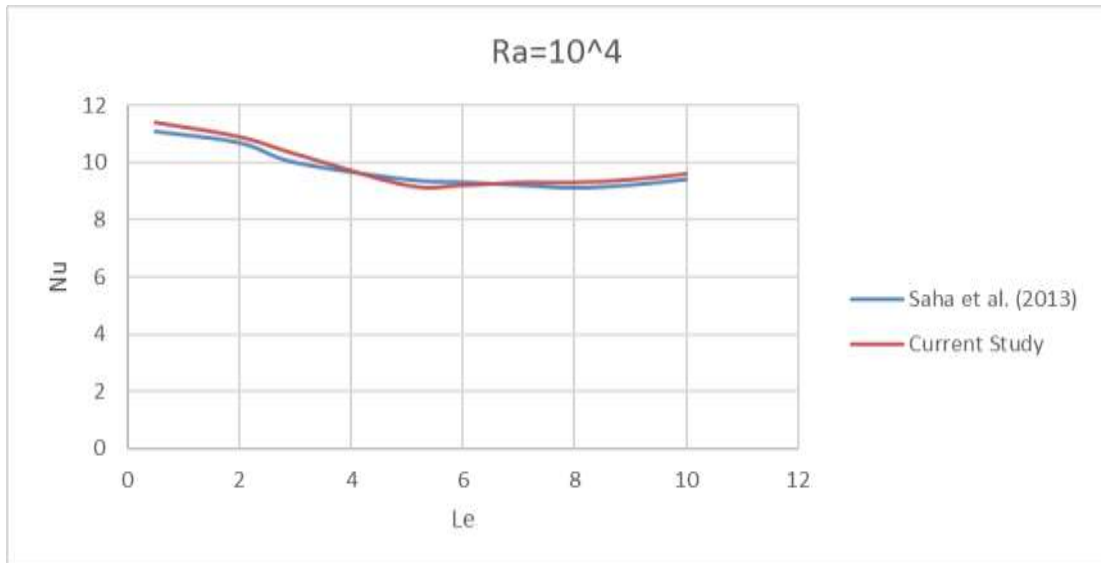
$$(11)$$

۳- استقلال شبکه و اعتبار سنجی حل عددی حاضر



شکل (۳-۱): استقلال شبکه

در شکل (۳-۱) استقلال از شبکه به ازای زوایای رأس کلکتور ۴۰ و ۸۰ درجه بر حسب تغییرات عدد ناسلت میانگین نشان داده شده است. در انتها برای زاویه ۴۰ درجه و ۸۰ درجه به ترتیب شبکه با ۵۷۰۱ و ۶۷۰۰ گره به جهت تحلیل‌ها به عنوان تعداد مش مناسب انتخاب گردید.



شکل (۲-۳): اعتبار سنجی حل عددی حاضر با مرجع [۵۵]

تغییرات ناسلت بر حسب عدد لوئیس حاصل از مدل عددی حاضر همراه با داده های ساها و همکاران در مرجع [۵۵] در شکل (۲-۳) نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود تطابق قابل قبولی بین نتایج ساها و همکاران و مدل عددی حاضر مشاهده می شود.

۴ - خواص ترموفیزیکی، شرایط اولیه و مرزی حل مسئله، فرضیه ها و هندسه مورد مطالعه

در شبیه سازی کلکتور خورشیدی مثلثی دیوارهای جانبی از جنس شیشه در نظر گرفته شده اند و خواص ترموفیزیکی شیشه در جدول (۱-۴) بیان شده است. همچنین شرایط مرزی و اولیه مسئله در جدول (۲-۴) ذکر شده است.

جدول (۱-۴) خواص ترموفیزیکی شیشه [۲۱]

کمیت	مقدار
چگالی (kg/m^3)	۲۵۰۰
گرمای ویژه در فشار ثابت (J/kg-k)	۸۰۰
هدایت حرارتی (W/m-k)	۰/۸

جدول (۲-۴) شرایط مرزی و اولیه مسئله

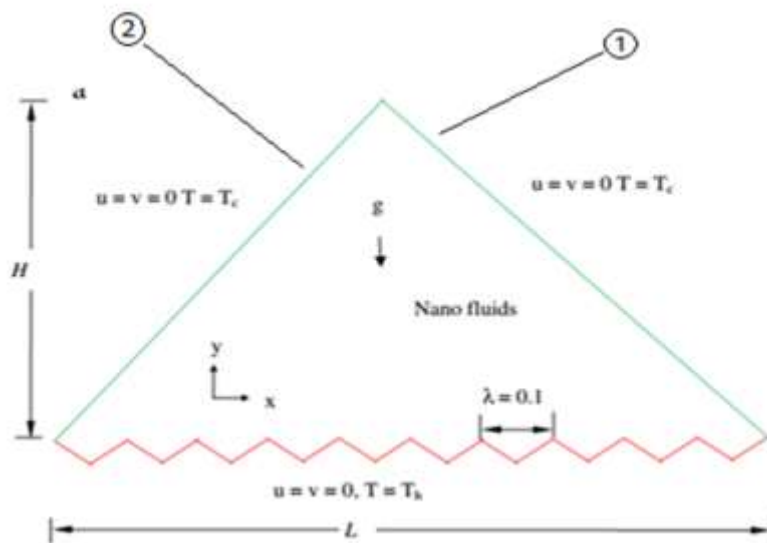
پارامتر	مقدار
بازه های زمانی حل (S)	۰-۹
نوع حل	پایا-گذرا
سیال مورد مطالعه	هوا
دمای ابتدای دیواره های مثلث (T_c)	۳۱۰ درجه کلوین
دمای ابتدای کف مثلث (T_h)	۳۵۰ درجه کلوین

جدول (۲-۴) شرایط مرزی و اولیه مسئله

فرضیه ها عبارتند از:

- صفحه افقی راه راه کف از نوع کلکتور متمرکز کننده بوده و به عنوان جاذب عمل می کند.
- دمای دیوارهای شیب دار و دیواره کف متغیر می باشد.

- دمای متغییر دیوار کف بالاتر از دمای متغییر دیواره های شیب دار است.
- طول افقی L و طول عمودی H می باشد.
- سرعت در کل دیواره ها صفر می باشد.
- دمای مبنای دیواره های جانبی و دیواره کف کلکتور در ابتدا به ترتیب ۳۱۰ و ۳۵۰ درجه کلوین در نظر گرفته می شوند.
- سپس به منظور بررسی اثر تغییرات دما، این دما ها افزایش می یابند.
- نوع انتقال حرارت تابشی تشعشی و همرفت طبیعی خواهد بود.
- انتقال حرارت در نهایت به حالت تعادل می رسد که در اینجا مسئله به ازای حالت تعادل یعنی پایا و حالت گذرا حل می شود.



شکل (۳-۴) هندسه مسئله مورد مطالعه [۱۶]

۵- انواع مدل های تابش، آشنایی با آنها و بررسی آنها در حالت پایا

پنج مدل تابشی مختلف در نرم افزار فلوئنت موجودند که عبارتند از:

- Discrete Ordinate Model (DOM)
- Discrete Transfer Radiation Model (DTRM)
- P1 Radiation Model
- Rosseland Model
- Surface-to-Surface (S2S)

۱-۵: مدل تشعشی دسته بندی گسسته (DOM)

روش دسته بندی گسسته معادله انتقال تشعشع را برای تعداد محدودی از زوایای فضایی حل می کند. بر خلاف مدل انتقال گسسته، مدل دسته بندی گسسته به صورت تعقیب پرتو عمل نمی کند. این مدل معادله انتقال تشعشع را به مختصات خصوصی (X, Y, Z) منتقل کرده و حل می کند. این مدل به همراه مدل انتقال حرارت تشعشی سطح به سطح در مسائل احتراق و همچنین انتقال حرارت در محیط نیمه شفاف را نیز شامل می شود [۲۳ و ۲۴]. این مدل معادله انتقال تابشی را برای یک تعداد محدود از زوایای سه بعدی گسسته حل می کند. هرکدام از این زوایا با یک جهت (\vec{s}) که در سیستم جهانی کارترین ثابت شده است نمایش داده می شوند. فرمول این مدل به شرح زیر است [۲۵]:

$$(12) \nabla \cdot (I(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \cdot \Phi(\vec{r}, \vec{s}') \cdot d\Omega'$$

که در آن Γ بردار موقعیت، S بردار جهت پخش، a ضریب جذب، σ_s ضریب پخش، σ ثابت استفان-بولتزمن، T دما، n ضریب شکست و $(a + \sigma_s)I(\vec{r}, \vec{s})$ ضخامت نوری محیط است.

۲-۵: مدل تشعشعی P۱

مدل پی-۱ دارای کاربرد بیشتری نسبت به مدل تشعشع انتقال گسسته میباشد. در روش پی-۱ معادله انتقال تشعشع به صورت یک معادله دیفیوژن است که برای حل آن به کامپیوتر با واحد پردازش ضعیفتری نیاز می باشد. این مدل شامل تأثیرات پخش نیز می باشد و همچنین میتواند به آسانی برای مدل های پیچیده استفاده شود. این مدل شارهای حرارتی تشعشعی را از روی چشمه ها یا چاه های حرارتی محلی پیش بینی می کند. مدل پی-۱ بر مبنای انتشار شدت تشعشع I به صورت مجموع پرتوهای هماهنگ کروی عمود بر هم می باشد [۲۳ و ۲۴]. معادله این روش به صورت زیر می باشد [۲۷]:

$$(13) \quad \nabla \cdot \left(\frac{1}{3a + (3-c)\sigma_s} \nabla G \right) + a(4\sigma T^4 - G) = 0$$

۳-۵: مدل تشعشعی روزلند

مدل تشعشعی روزلند یا تقریب دیفیوژن تشعشع زمانی به کار می رود که محیط از نظر نوری ضخیم باشد. این روش برای مسائلی با ضخامت نوری بزرگتر از ۳ نتایج خوبی می دهد. این مدل برگرفته از معادلات مدل پی-۱ با در نظر گرفتن تقریب هائی می باشد و تفاوت آنها در این است که در مدل روزلند فرض بر این است که شدت تشعشع برابر شدت تشعشع جسم سیاه در دمای گاز می باشد. در حالیکه در مدل پی-۱ محاسبات روی معادله انتقال صورت می گیرد. مدل روزلند همانند مدل پی-۱ اثر پخش را نیز در نظر می گیرد [۲۳ و ۲۴].

۴-۵: مدل تشعشعی انتقال گسسته (DTRM)

فرض اصلی که در مدل تشعشعی انتقال گسسته استفاده شده بدین صورت می باشد که تشعشع خروجی از المان های سطحی در محدوده خاصی از زوایای فضایی می تواند توسط یک پرتو تقریب زده شود. در این روش فرض می شود تمام سطوح دیفیوژن هستند، به عبارت دیگر انعکاس تشعشع ورودی به صورت همگن در تمام جهات صورت می گیرد. اثر پخش در این مدل در نظر گرفته نمی شود و حل مسأله با تعداد زیادی پرتو یک محدودیت برای واحد پردازش کامپیوتر (CPU) ایجاد می کند.

انرژی ایجاد شده ناشی از تشعشع در سیال توسط مجموع تغییرات شدت تشعشع در مسیر هر پرتو که از المان حجمی سیال عبور می کند، محاسبه می شود. تکنیکی که در این روش استفاده میشود تعقیب پرتو بوده و می تواند بدون اینکه ضریب دید سطوح نسبت به هم محاسبه شوند یک پیش بینی از انتقال حرارت تشعشعی بین سطوح انجام دهد. دقت این روش به تعداد پرتوهای ارسالی و همچنین شبکه بندی محاسباتی بستگی دارد [۲۳ و ۲۴]. معادله تابش در این مدل به صورت زیر است:

$$(13) \quad \frac{dl}{ds} + al = a \frac{\sigma T^4}{\pi}$$

که در آن I شدت تشعشع است. با انتگرال گیری از معادله بالا خواهیم داشت [۲۶]:

$$(14) \quad I(s) = \frac{\sigma T^4}{\pi} (1 - \exp(-as)) + I_0 \exp(as)$$

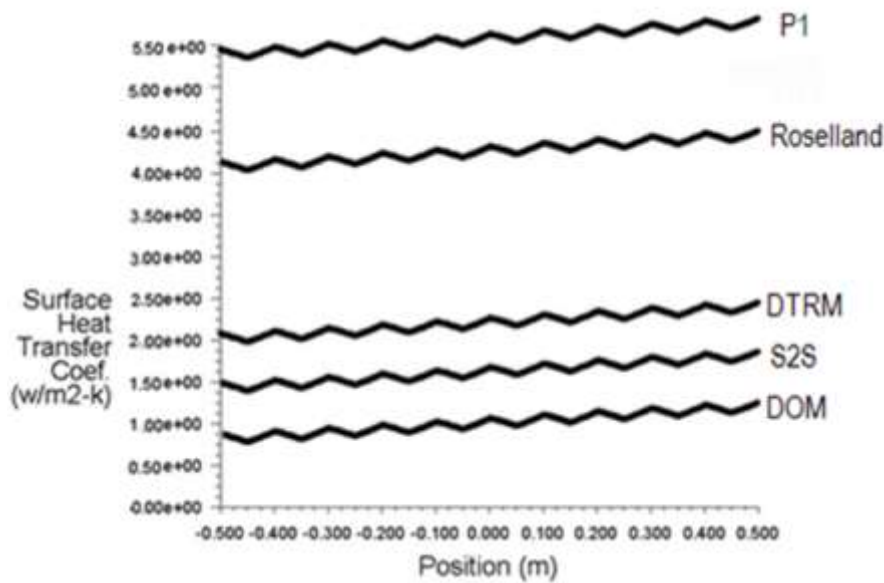
۵-۵: مدل تشعشعی سطح به سطح (S2S)

این روش شامل تقسیم بندی ناحیه حل به ناحیه های هم دمای سطحی می باشد. بالانس انرژی کلی برای هر ناحیه بر حسب تشعشع رسیده از طرف سایر ناحیه ها نوشته می شود و سپس این معادلات بر حسب ضرایب تبادل که به سطوح شار جهتدار (SS) معروفند نوشته می شوند.

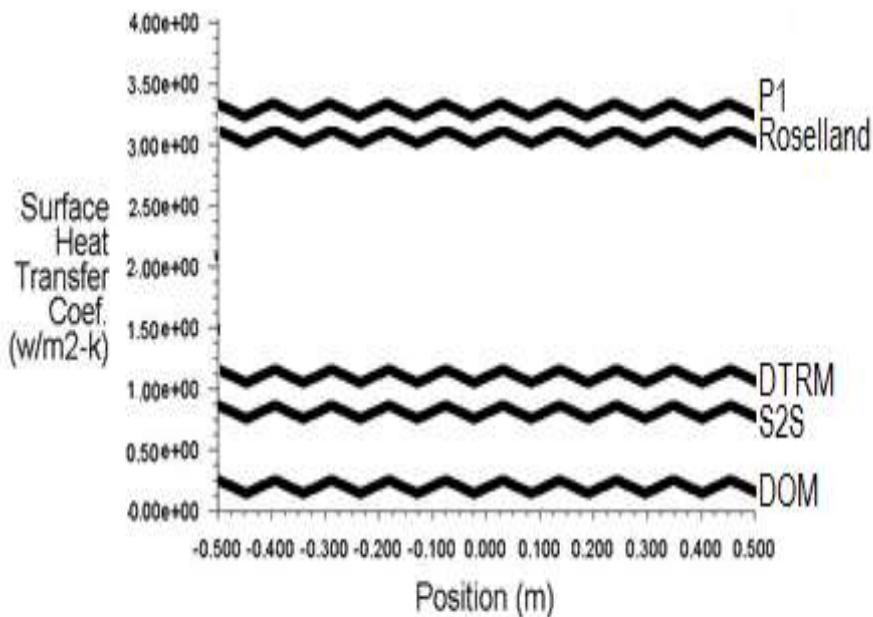
انتقال انرژی تشعشعی بین دو ناحیه متناسب با سطح شارجهتدار آنهاست. تبادل خالص انرژی تشعشعی بین دو ناحیه نوشته می شود که بطور مثال برای ناحیه گازی i و ناحیه سطحی j بصورت زیر است [۲۸ و ۲۹]:

$$Q_{i \leftrightarrow j} = G_i \bar{S}_j E_{g,i} - G_i \bar{S}_j E_{s,j} \quad (15)$$

در رابطه بالا E_g قدرت تشعشعی جسم سیاه هم دمای گاز است. $G_i(S_j)$ و $G_i(S_i)$ سطح شار جهت دار می باشند. معادلات بالانس انرژی برای هر ناحیه گازی و سطحی نوشته می شود بنابراین یک دستگاه معادلات غیرخطی که با حل آن دمای هر ناحیه و نرخ انتقال حرارت به هر ناحیه محاسبه می شوند، بوجود می آید. اکنون به بررسی جداول، نمودارها، دیاگرام ها و کانتورهای رسم شده از پنج مدل تابش ذکر شده با زاویه رأس 40° و 80° درجه می پردازیم:

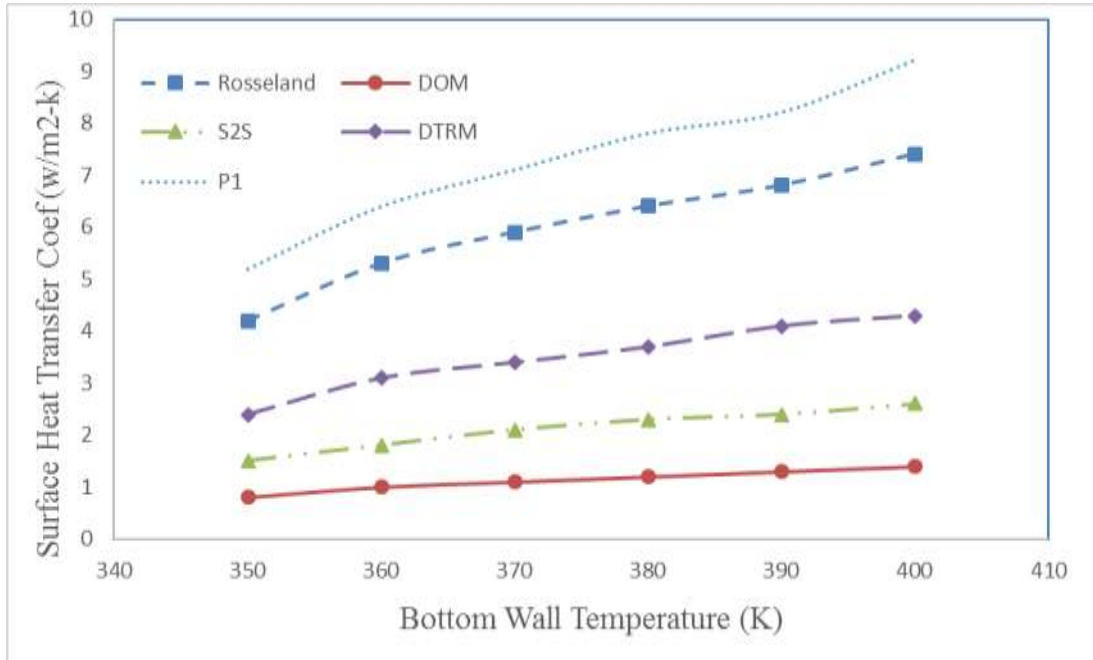


شکل (۵-۱) تغییرات ضریب انتقال حرارت روی دیواره کف (با زاویه ی رأس 40° درجه)

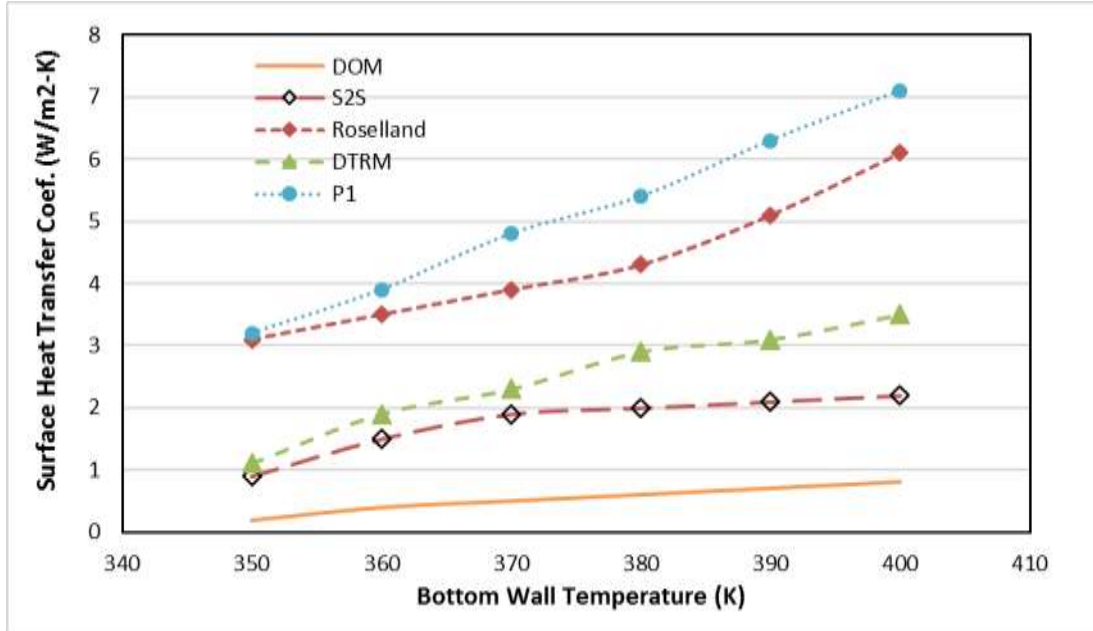


شکل (۵-۲) تغییرات ضریب انتقال حرارت روی دیواره کف (با زاویه ی رأس 80° درجه)

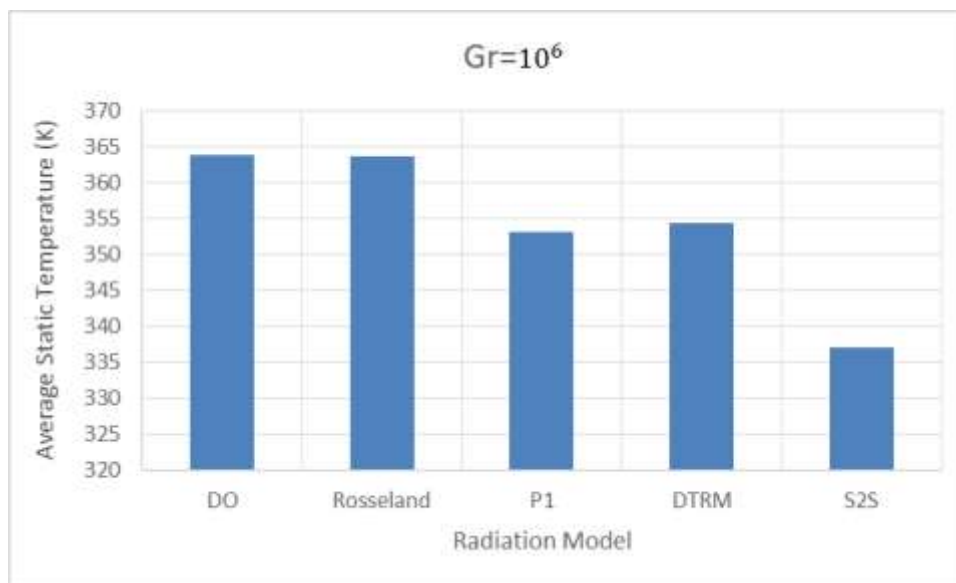
همانطور که در شکل های (۱-۵) و (۲-۵) مشاهده می شود مدل P1 بیشترین و مدل DOM کمترین میزان ضریب انتقال حرارت را گزارش می دهد. و تغییرات از ابتدای دیواره به سمت انتهای دیواره در فواصل متعدد روند نزولی و صعودی دارد و نامنظم بوده ولی در نهایت نقطه پایان نسبت به شروع روند تقریباً صعودی دارد. همچنین مشاهده می شود که در زاویه رأس ۸۰ درجه به علت کاهش در ارتفاع مثلث، ضریب انتقال حرارت کاهش می یابد.



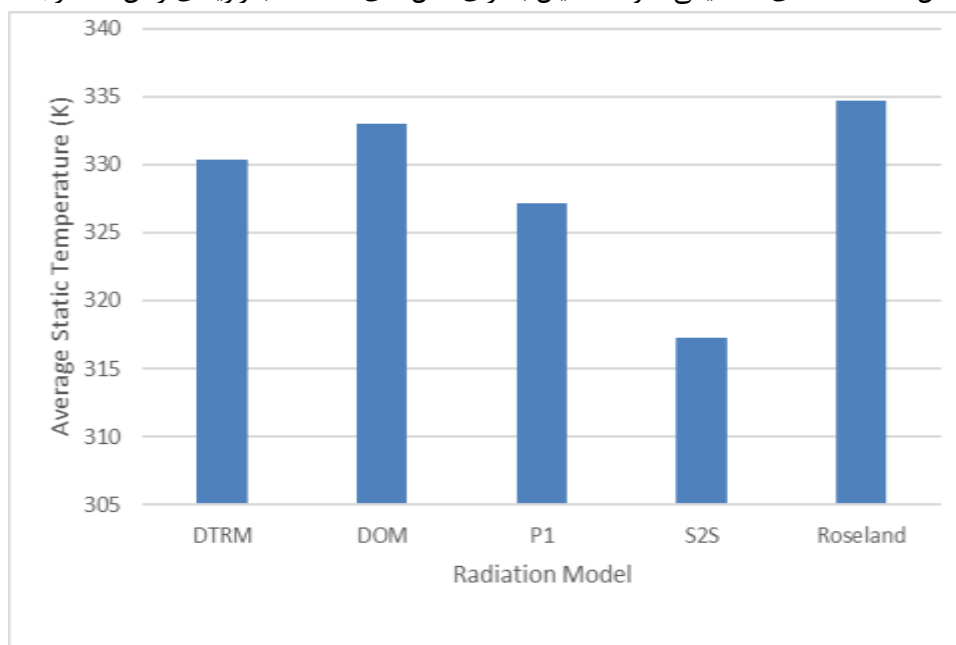
شکل (۳-۵): تغییرات ضریب انتقال حرارت نسبت به تغییرات دمای دیواره کف (با زاویه ی رأس ۴۰ درجه)



شکل (۴-۵): تغییرات ضریب انتقال حرارت نسبت به تغییرات دمای دیواره کف (با زاویه ی رأس ۸۰ درجه) همانگونه که در شکل های (۳-۵) و (۴-۵) مشاهده می شود با افزایش دمای دیواره کف میزان ضریب انتقال حرارت و در نتیجه میزان انتقال حرارت افزایش می یابد و روند صعودی دارد. همچنین مدل P1 بیشترین ضریب انتقال حرارت و مدل DOM کمترین میزان ضریب انتقال حرارت را تخمین می زند. همچنین مشاهده می شود که در زاویه رأس ۸۰ درجه به علت کاهش در ارتفاع مثلث، ضریب انتقال حرارت کاهش می یابد.

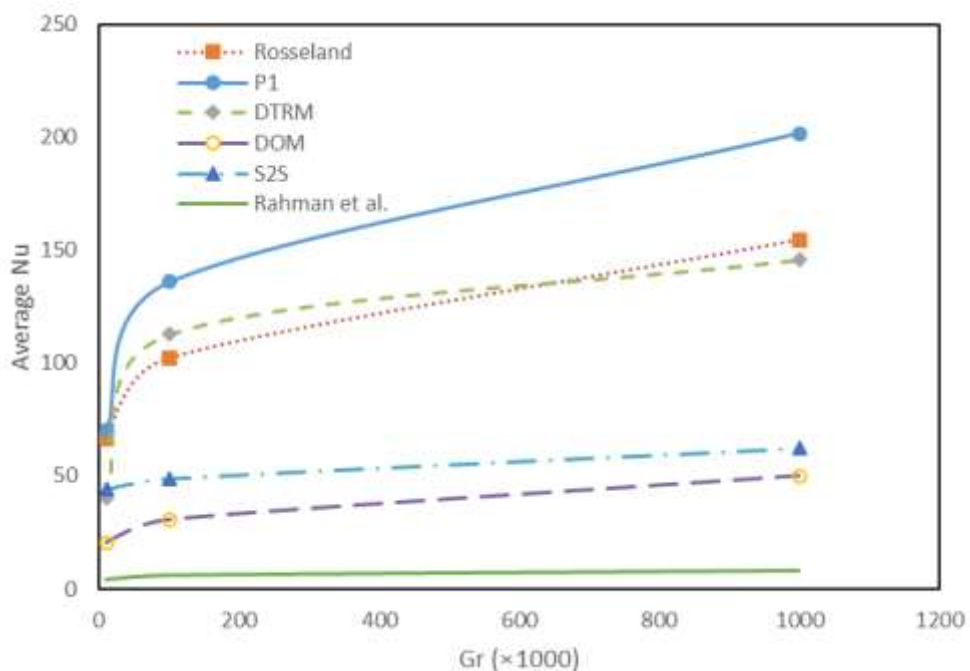


شکل (۵-۵): دماهای استاتیکی متوسط سیال به ازای مدل های مختلف (با زاویه ی رأس ۴۰ درجه)

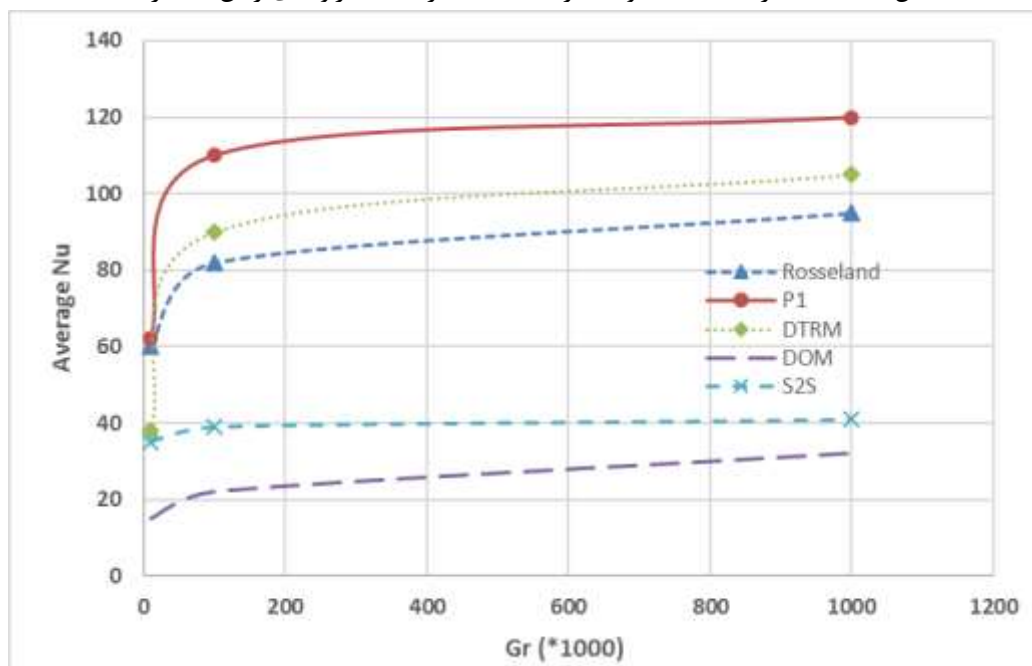


شکل (۶-۵): دماهای استاتیکی متوسط سیال به ازای مدل های مختلف (با زاویه ی رأس ۸۰ درجه)

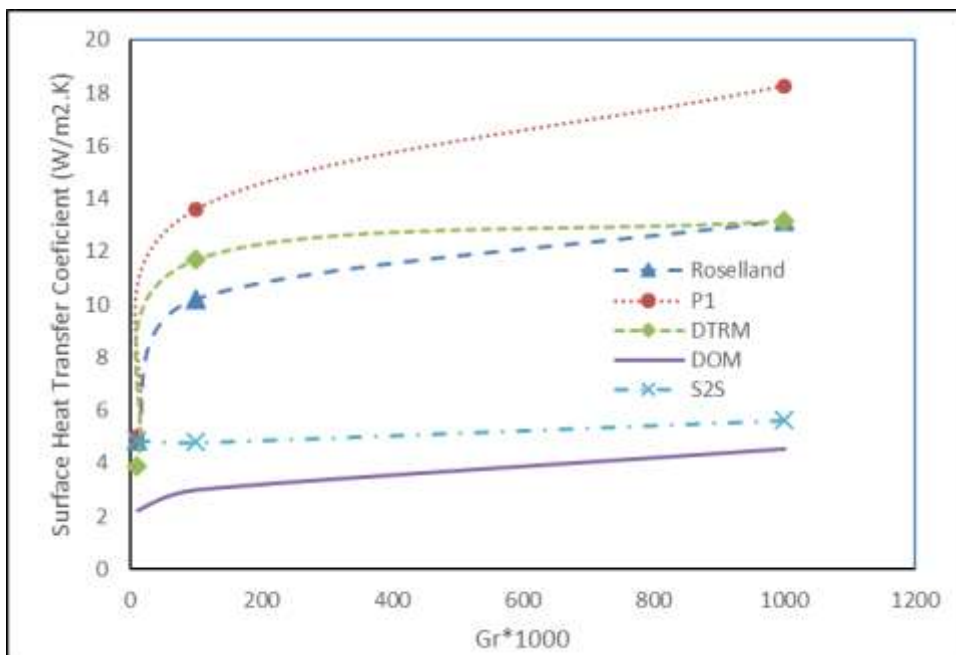
همانگونه که در شکل های (۵-۵) و (۶-۵) مشاهده می شود مدل S2S کمترین مقدار دمای استاتیکی متوسط سیال را گزارش می دهد در این اشکال مشاهده می شود که کلکتور دارای زاویه رأس ۸۰ درجه دمای استاتیکی متوسط کمتری را داراست.



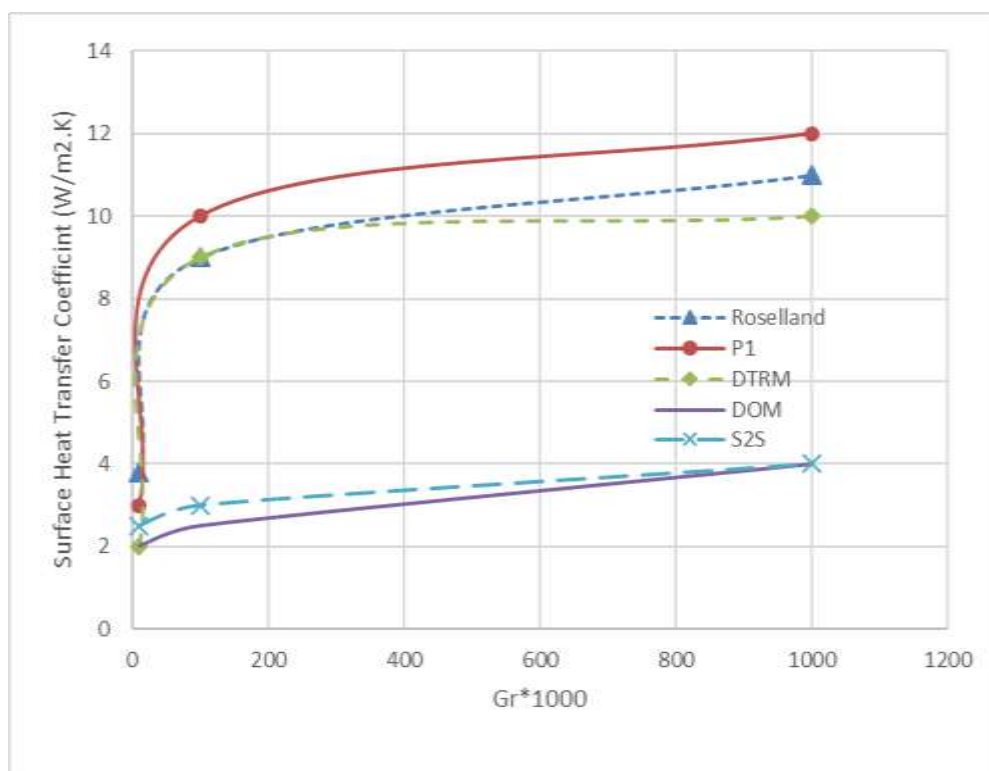
شکل (۷-۵): تغییرات ناسلت متوسط برحسب عدد گراشف (با زاویه ی رأس ۴۰ درجه)



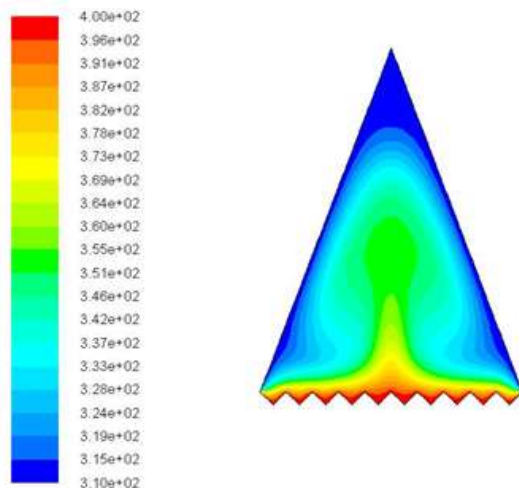
شکل (۸-۵): تغییرات ناسلت متوسط برحسب عدد گراشف (با زاویه ی رأس ۸۰ درجه)



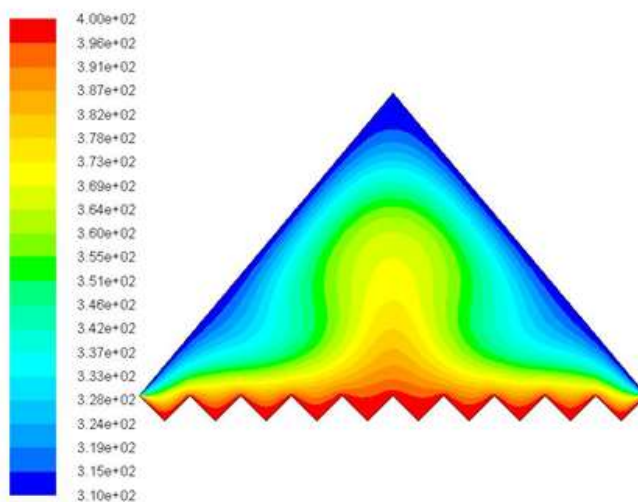
شکل (۵-۹): تغییرات ضریب هدایت حرارتی برحسب عدد گراشف (با زاویه ی رأس ۴۰ درجه)



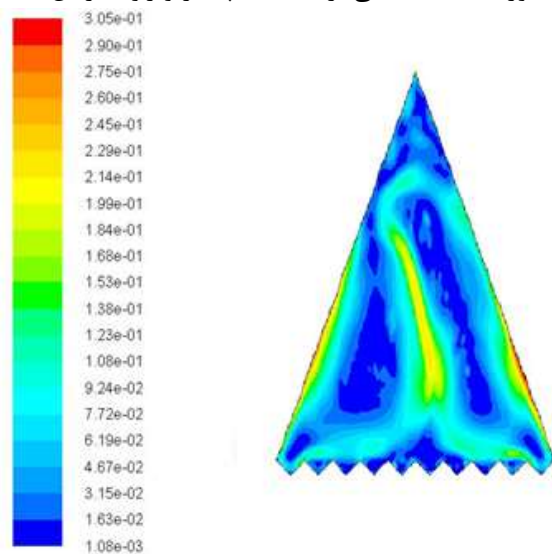
همانطور که در اشکال (۵-۷) تا (۵-۱۰) دیده می شود عدد ناسلت متوسط و ضریب انتقال حرارت با افزایش عدد گراشف افزایش می یابد. همچنین عدد ناسلت متوسط و ضریب انتقال حرارت با افزایش زاویه رأس کلکتور کاهش می یابد. همچنین رفتار جریان کانتورهای فشار و دما و تابع جریان به ازای زاویه رأس ۴۰ و ۸۰ درجه در اشکال (۵-۱۱) تا (۵-۱۸) نشان داده شده است.



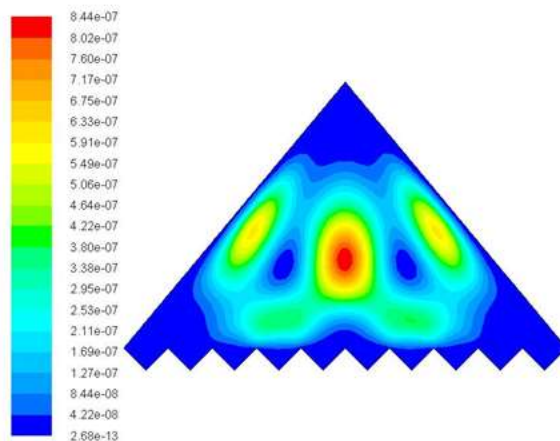
شکل (۵-۱۱): کانتور دمای استاتیکی برای حالت پایدار و زاویه رأس ۴۰ درجه



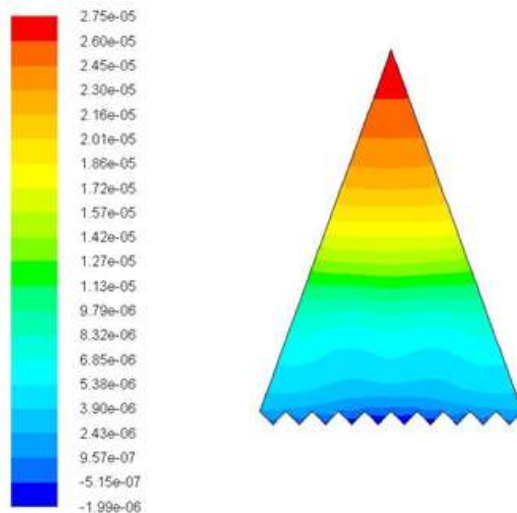
شکل (۵-۱۲): کانتور دمای استاتیکی برای حالت پایدار و زاویه رأس ۸۰ درجه



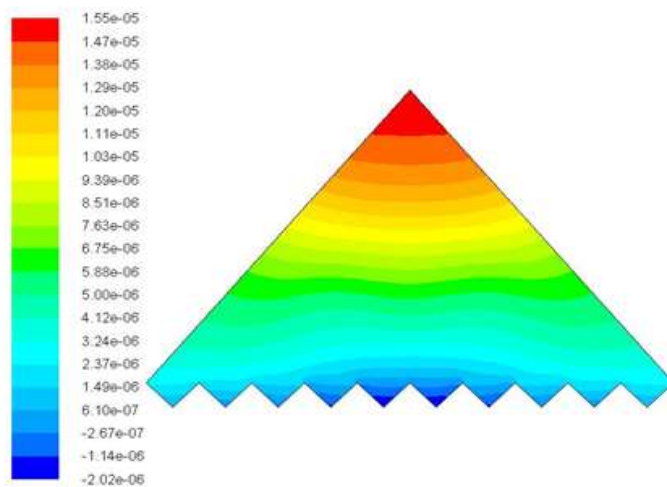
شکل (۵-۱۳): کانتور فشار دینامیکی برای حالت پایدار و زاویه رأس ۴۰ درجه



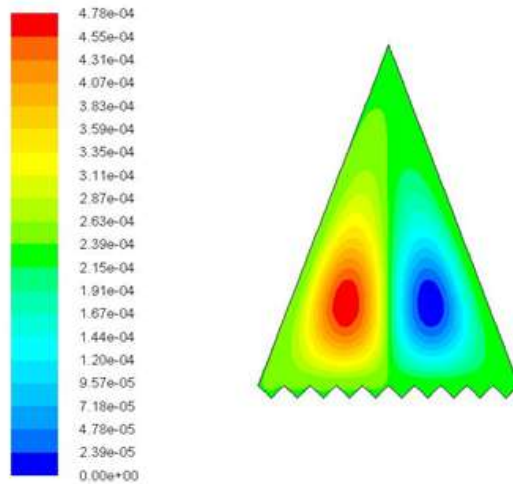
شکل (۵-۱۴): کانتور فشار دینامیکی برای حالت پایدار و زاویه رأس ۸۰ درجه



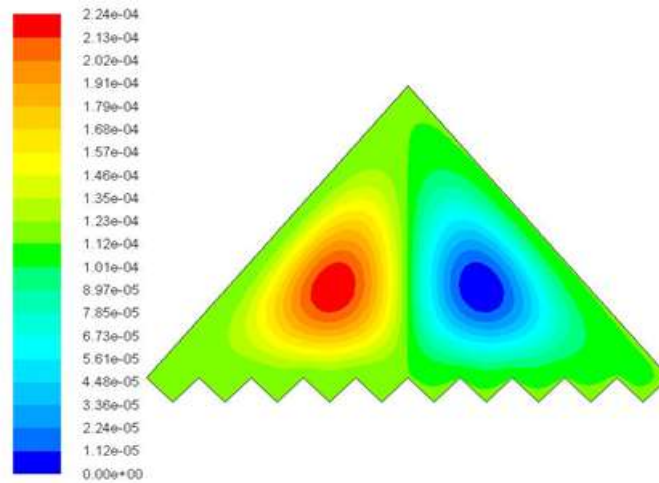
شکل (۵-۱۵): کانتور فشار استاتیکی برای حالت پایدار و زاویه رأس ۴۰ درجه



شکل (۵-۱۶): کانتور فشار استاتیکی برای حالت پایدار و زاویه رأس ۸۰ درجه

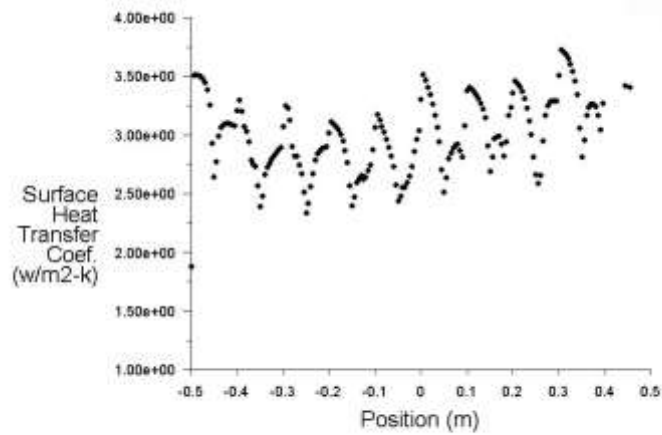


شکل (۱۷-۵) کانتور تابع جریان برای حالت پایدار و زاویه راس ۴۰ درجه



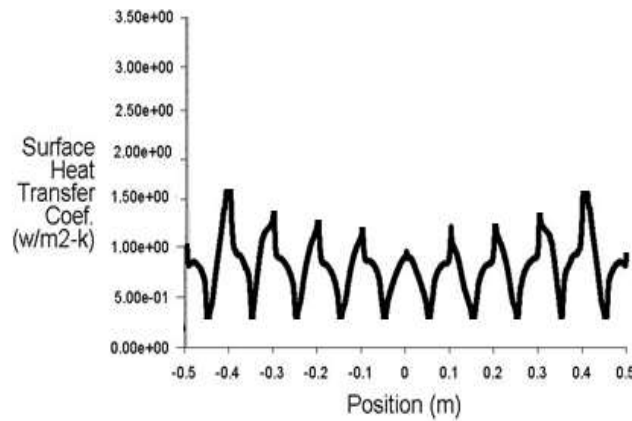
شکل (۱۸-۵) کانتور تابع جریان برای حالت پایدار و زاویه راس ۸۰ درجه

در اشکال (۱۱-۵) تا (۱۸-۵) در همه حالات درون محفظه دو جریان کاملاً مجزای کم فشار و پر فشار در اثر اختلاف دمای دیواره ها و سطح پایین ایجاد می شود. شدت توزیع دمای استاتیکی در وسط دیوار کف بیشتر و با حرکت به سمت اضلاع و رأس مثلث از این شدت کاسته می شود. شدت توزیع فشار دینامیکی در وسط دیوار کف و نزدیک اضلاع مثلث بیشتر از قسمت های دیگر می باشد. و شدت توزیع فشار استاتیکی با حرکت از دیوار کف به سمت رأس مثلث افزایش می یابد.



Surface Heat Transfer Coef. ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam)

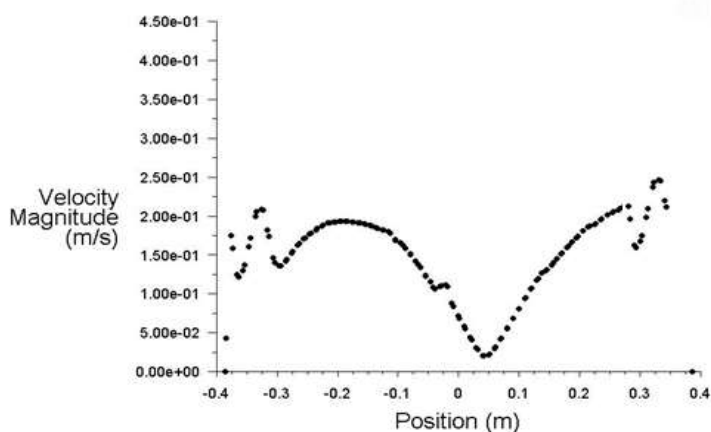
شکل (۱۹-۵) تغییرات ضریب انتقال حرارت در دیواره پایینی جاذب (زاویه‌ی رأس ۴۰ درجه و مدل تابشی DOM)



Surface Heat Transfer Coef. ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam)

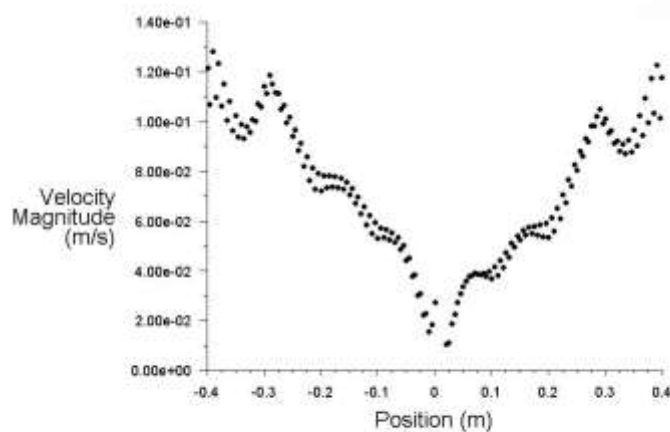
شکل (۲۰-۵) تغییرات ضریب انتقال حرارت در دیواره پایینی جاذب (زاویه‌ی رأس ۸۰ درجه و مدل تابشی DOM)

همانگونه که در شکل های (۱۹-۵) و (۲۰-۵) مشاهده می شود ضریب انتقال حرارت دارای حداقل مقدار در $x=0$ یا میانه دیواره است. دلیل این امر وجود نقطه سکون و حداقل سرعت در این نقطه است. همچنین مشاهده می شود که ضریب انتقال حرارت برای زاویه ۴۰ درجه به دلیل ارتفاع کمتر کلکتور بیشتر از زاویه ۸۰ درجه است.



Velocity Magnitude ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam)

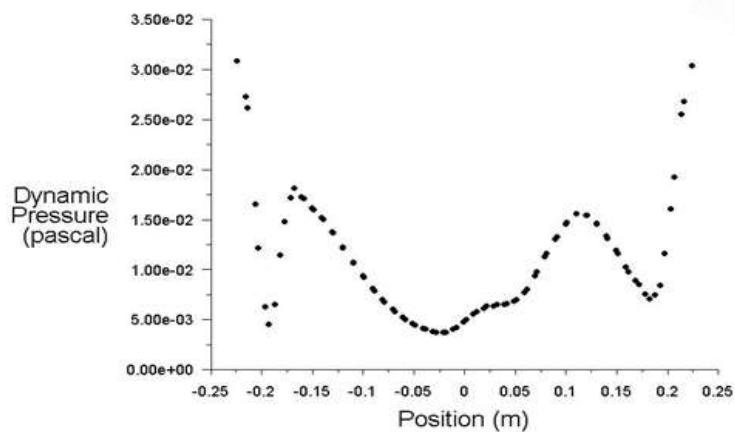
شکل (۵-۲۱) تغییرات سرعت در دیواره پایینی جاذب (زاویه‌ی رأس ۴۰ درجه و مدل تابشی DOM)



Velocity Magnitude Feb 04, 2016 ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam)

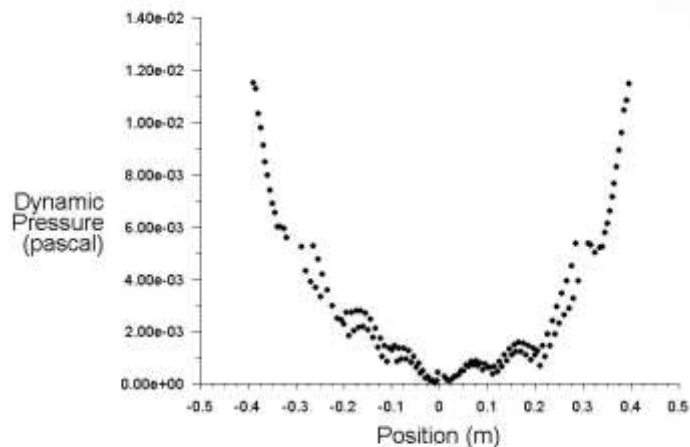
شکل (۵-۲۲) تغییرات سرعت در دیواره پایینی جاذب (زاویه‌ی رأس ۸۰ درجه و مدل تابشی DOM)

با توجه شکل های (۵-۲۱) و (۵-۲۲) تغییرات سرعت در راستای دیواره پایینی جاذب از میزان حداکثر در دو دیواره سمت چپ و راست به میزان حداقل در میانه می رسد. همچنین حداکثر سرعت در زاویه رأس کلکتور ۴۰ درجه بیشتر از زاویه ۸۰ درجه است.



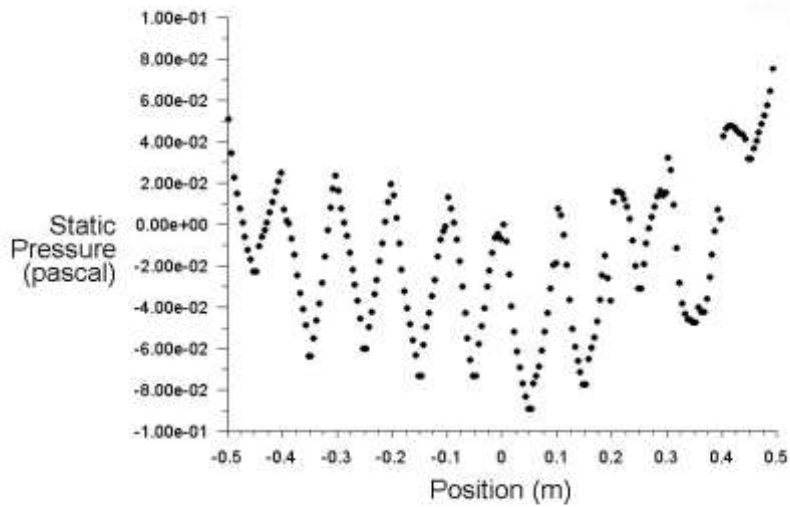
Dynamic Pressure Apr 05, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam)

شکل (۲۳-۵) تغییرات فشار دینامیکی در دیواره پایینی جاذب (زاویه ی رأس ۴۰ درجه و مدل تابشی DOM)



Dynamic Pressure Feb 04, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam)

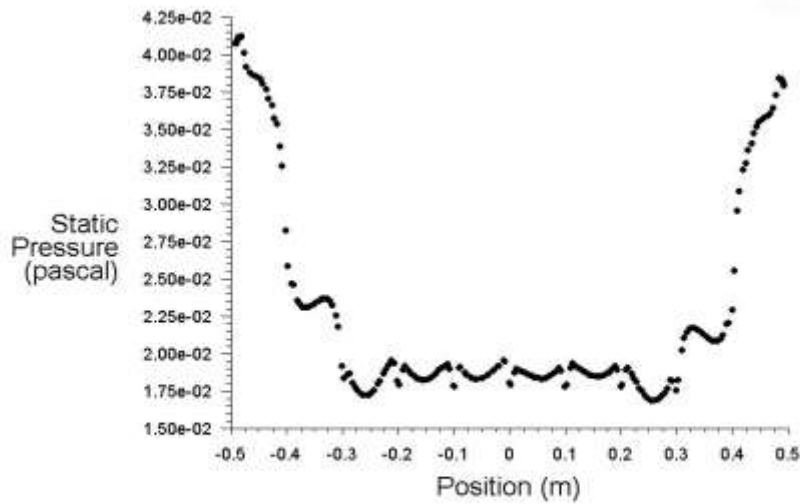
شکل (۲۴-۵) تغییرات فشار دینامیکی در دیواره پایینی جاذب (زاویه ی رأس ۸۰ درجه و مدل تابشی DOM)



Static Pressure

ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam)

شکل (۵-۲۵): تغییرات فشار استاتیکی در دیواره پایینی جاذب (زاویه ی رأس ۴۰ درجه و مدل تابشی DOM)

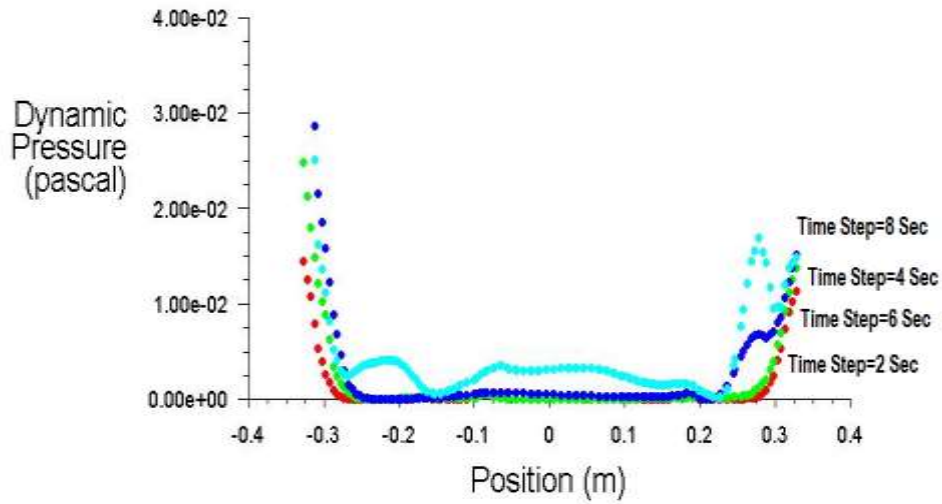


Static Pressure

Feb 04, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam)

شکل (۵-۲۶): تغییرات فشار استاتیکی در دیواره پایینی جاذب (زاویه ی رأس ۸۰ درجه و مدل تابشی DOM) همانگونه که در اشکال (۵-۲۳) تا (۵-۲۶) مشاهده می شود فشار هم دارای حداکثر مقدار در دوسمت راست و چپ می باشد و در قسمت میانی که نقطه سکون است حداقل مقدار فشار را خواهیم داشت.

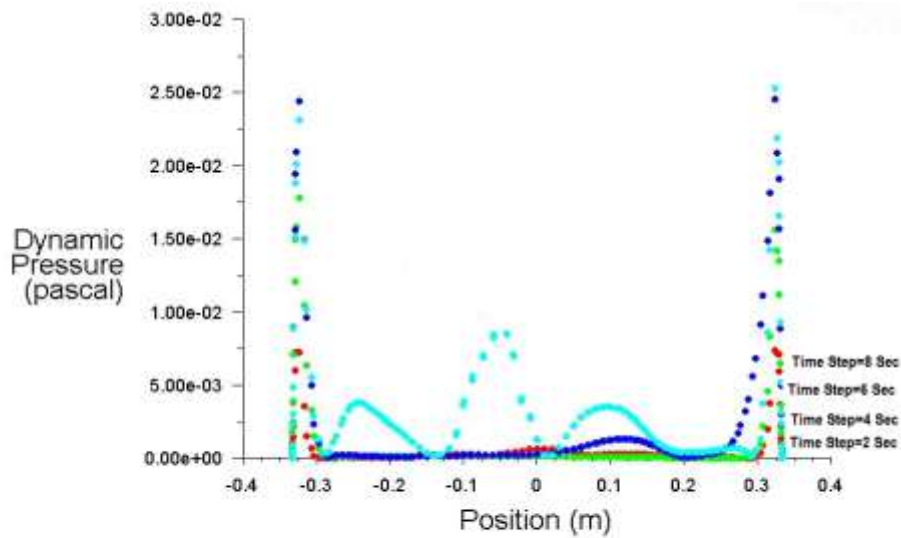
۶- بررسی مدل های تابش حالت ناپایا



Dynamic Pressure (Time=0.0000e+00)

ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam, transient)

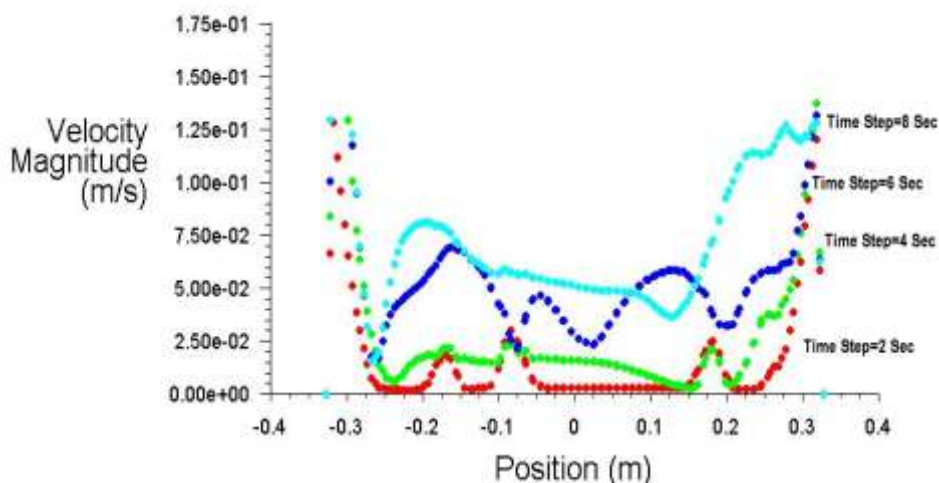
شکل (۶-۲۷): تغییرات فشار دینامیکی در دیواره پایینی جاذب، حالت ناپایا با گام های زمانی ۲، ۴، ۶ و ۸ (زاویه ی رأس ۴۰ درجه و مدل تابشی DOM)



Dynamic Pressure (Time=0.0000e+00)

ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam, transient)

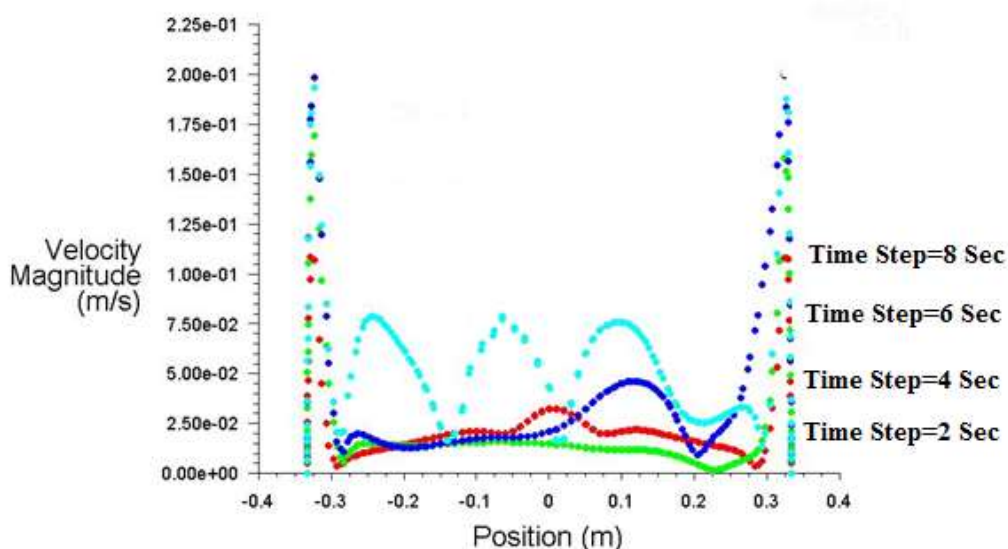
شکل (۶-۲۸): تغییرات فشار دینامیکی در دیواره پایینی جاذب، حالت ناپایا با گام های زمانی ۲، ۴، ۶ و ۸ (زاویه ی رأس ۸۰ درجه و مدل تابشی DOM)



Velocity Magnitude (Time=0.0000e+00)

ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam, transient)

شکل (۶-۲۹): تغییرات سرعت در دیواره پایینی جاذب، حالت ناپایا با گام زمانی ۲، ۴، ۶ و ۸ ثانیه (با زاویه ی رأس ۴۰ درجه و مدل تابشی DOM)

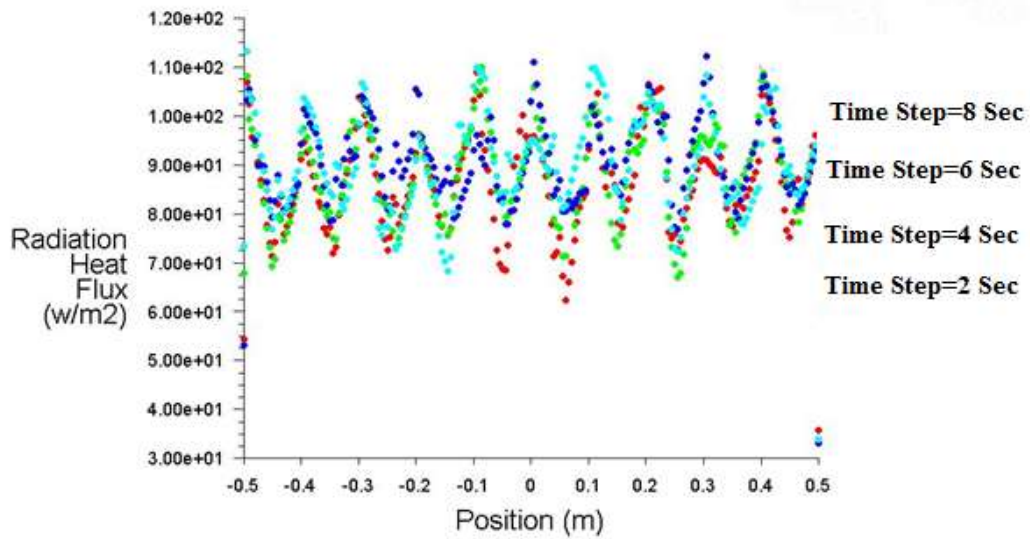


Velocity Magnitude (Time=0.0000e+00)

ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam, transient)

شکل (۶-۳۰): تغییرات سرعت در دیواره پایینی جاذب، حالت ناپایا با گام زمانی ۲، ۴، ۶ و ۸ ثانیه (با زاویه ی رأس ۸۰ درجه و مدل تابشی DOM)

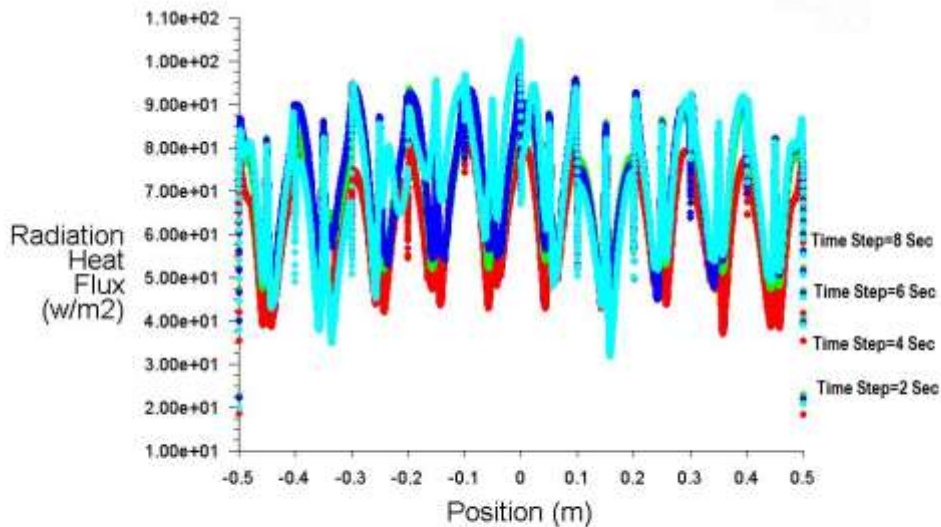
در اشکال (۶-۲۷) تا (۶-۳۰) مشاهده می شود که فشار دینامیکی با افزایش گام زمانی افزایش می یابد. همچنین کلکتور دارای زاویه رأس ۴۰ درجه دارای فشار دینامیکی بیشتری نسبت به زاویه رأس ۸۰ درجه می باشد. همچنین تغییرات سرعت مشابه حالت پایدار است و حداقل سرعت در میانه و در نقطه سکون اتفاق می افتد و با افزایش گام زمانی سرعت افزایش می یابد.



Radiation Heat Flux (Time=0.0000e+00)

ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam, transient)

شکل (۳۱-۶) : تغییرات شار حرارتی کف، حالت ناپایا، گام های زمانی ۲، ۴، ۶ و ۸ ثانیه (زاویه ی رأس ۴۰ درجه)



Radiation Heat Flux (Time=0.0000e+00)

ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, lam, transient)

شکل (۳۲-۶) : تغییرات شار حرارتی کف، حالت ناپایا، گام های زمانی ۲، ۴، ۶ و ۸ ثانیه (زاویه ی رأس ۸۰ درجه)

در شکل های (۳۱-۶) و (۳۲-۶) مشاهده می شود که شار حرارتی بر خلاف سرعت دارای حداکثر مقدار در میانه است و به ترتیب تا دیواره های سمت چپ و راست کاهش می یابد. و شار حرارتی زاویه رأس ۴۰ درجه بیشتر از زاویه رأس ۸۰ درجه می باشد.

۷- نتایج و بحث

- ۱- در همه حالات درون محفظه دو جریان مجزا که در اثر اختلاف دمای دیواره ها و سطح پایین می باشد ایجاد می شود.
- ۲- ضریب انتقال حرارت دارای حداقل مقدار در وسط یا میانه دیواره است. دلیل این امر وجود نقطه سکون و حداقل سرعت

- در این نقطه است. میزان انتقال حرارت از لبه های سمت راست و چپ به سمت میانه جاذب کاهش می یابد.
- ۳- تغییرات سرعت در دیواره پایینی جاذب از میزان حداکثر در دو دیواره سمت چپ و راست به میزان حداقل در میانه می رسد.
- ۴- فشار هم دارای حداکثر مقدار در دو سمت راست و چپ می باشد و در قسمت میانی که نقطه سکون است مقدار حداقل فشار را خواهیم داشت.
- ۵- شدت توزیع کانتور دمای استاتیکی در وسط دیوار کف بیشتر و با حرکت به سمت اضلاع و رأس مثلث از این شدت کاسته می شود.
- ۶- شدت توزیع کانتور فشار دینامیکی در وسط دیوار کف و نزدیک اضلاع مثلث بیشتر از قسمتهای دیگر می باشد.
- ۷- شدت توزیع کانتور فشار استاتیکی با حرکت از دیوار کف به سمت رأس مثلث افزایش می یابد.
- ۸- نرخ ضریب انتقال حرارت و در نتیجه انتقال حرارت برای زاویه ۴۰ درجه بیشتر از زاویه ۸۰ درجه است.
- ۹- کلکتور دارای زاویه رأس ۸۰ درجه نسبت به ۴۰ درجه دمای استاتیکی متوسط کمتری را داراست
- ۱۰- عدد ناسلت متوسط و ضریب انتقال حرارت با افزایش عدد گراش افزایش می یابد. همچنین عدد ناسلت متوسط و ضریب انتقال حرارت با افزایش زاویه رأس کلکتور کاهش می یابد.
- ۱۱- حداکثر مقدار تابع جریان زاویه ۴۰ درجه بیشتر از زاویه ۸۰ درجه است
- نتایج حالت گذرا به شرح زیر ذکر می گردند:
- ۱- شار حرارتی در حالت گذراری کف ثابت نیست و دارای حداکثر مقدار در میانه است و به ترتیب تا دیواره های سمت چپ و راست کاهش می یابد.
- ۲- رفتار تغییرات فشار و سرعت در حالت گذرا مشابه حالت پایدار است.
- ۳- در حالت گذرا عدد ناسلت از ابتدای زمان تحلیل با افزایش گام های زمانی کاهش می یابد تا پس از ۸ ثانیه تغییرات عدد ناسلت به کمترین مقدار خود می رسد و پس از آن ثابت می ماند.
- ۴- در حالت گذرا فشار استاتیکی، دینامیکی و اندازه سرعت با افزایش گام زمانی افزایش می یابد.

۸-منابع

- M. M. Rahman, H. F. ztop, A. Ahsan, M. A. Kalam, Y. Varol, Double-diffusive natural convection in a triangular solar collector, International Communications in Heat and Mass Transfer 39 (2012) 264 – 269.
- Rahman, M. Mojumder, S. Saha, S.Mekhilef, S. Saidur, R. Augmentation of natural convection heat transfer in triangular shape solar collector by utilizing water based nanofluids having a corrugated bottom wall, International Communications in Heat and Mass Transfer, (2014).
- <http://www.saint-gobain-sekurit.com/glossary/glass-properties>.
- Kaijun Yang, Chuncheng Zuo, A novel multi-layer manifold microchannel cooling system for concentrating photovoltaic cells, Energy Procedia, Volume 54, 2014, Pages 400–416
- ANSYS FLUENT 15.0 Tutorial Guide, Release 15.0, November (2013)
- T. R. Johnson, T.M. Lowes and J.M. Beer, Comparison of Calculated Temperatures and Heat Flux distribution with measurements in the Furnace, Journal of The Institute of Fuel, March (۱۹۷۴).
- Booklet, P-1 Radiation Model Theory, Ansys Fluent Theory Guide, Release 15.0, November (2013)
- J. M. Rhine, R. J. Tucker, Modeling of Gas-Fired Furnace and boiler, Mc Graw-Hill, (1991)

Hoit C. Hottel & Adel F. Sarofim, Radiation Transfer, Mc Graw-Hill, (1967)
Currie, I. G., Fundamental Mechanics of Fluids, Taylor and Francis Group, Florida, (2003).

E. Mat Tokit, Yusoff M. Z, Mohammed H., Investigation on Nanoparticle Velocity in Two Phase Approach, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:7, No:10, (2013).

Siddharth Suman, Mohd. Kaleem Khan, Manabendra Pathak, Performance enhancement of solar collectors—A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49 (2015) 192–210 .

Y. Tian, C.Y. Zhao, A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications, Applied Energy, Volume 104, April 2013, Pages 538–553.

Guofeng Yuan, Zhifeng Wang, Hongyong Li, Xing Li, Experimental study of a solar desalination system based on humidification–dehumidification process, Desalination, Volume 277, Issues 1–3, 15 August 2011, Pages 92–98 .

Mohammed S. Al-Soud, Essam Abdallah, Ali Akayleh, Salah Abdallah, Eyad S. Hrayshat, A parabolic solar cooker with automatic two axes sun tracking system, Applied Energy, Volume 87, Issue 2, February 2010, Pages 463–470 .

M.M.E. van Esch, R.H.J. Looman, G.J. de Bruin-Hordijk, The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies, Energy and Buildings, Volume 47, April 2012, Pages 189–200 .

Rakesh Kumar, Marc A. Rosen, A critical review of photovoltaic–thermal solar collectors for air heating, Applied Energy, Volume 88, Issue 11, November 2011, Pages 3603–3614.

Hoy-Yen Chan, Saffa B. Riffat, Jie Zhu, Review of passive solar heating and cooling technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 2, February 2010, Pages 781–789 .

S. Saha, M. M. Rahman, S. Mojumder, S. Mekhilef, R. Saidur, Numerical simulation of unsteady heat transfer in a halfmoon shape enclosure with variable thermal boundary condition for different nanofluids, Numer. Heat Transf. B (2013).

Concentrated solar power plants:Reviewanddesignmethodology H.L. Zhanga* ,J .Baeyensb, J. J .Degr evea, G.Caceresc RenewableandSustainableEnergyReviews Renewable and sustainable Energy Reviews 22(2013) 466-481

A review of studies on central receiver solar thermal power plants Omar Behar^{a,*} , AbdallahKhellaf ^b , KamalMohammedi^a Renewable and Sustainable Energy Reviews 23 (2013) 12-39

Parabolic trough solar thermal power plant:Potential, and project development in Algeria Taqiy eddineBoukelia ^{*}, Mohamed-SalahMecibah Renewable and Sustainable Energy Reviews 21(2013) 288-297