نشریه مباحث برگزیده در انرژی

اثر دیواره دما ثابت بر روی انتقال حرارت جابجایی آزاد حول یک استوانه افقی

سید پدرام پورنادری[1*]، سپهر راسخ[2]

۱- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه یاسوج، یاسوج
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی هوافضا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
*یاسوج، صندوق پستی ۷۴۸۳۱-۷۵۹۱۸، sp.pournaderi@yu.ac.ir

چکیده

در این مقاله،اثر دیواره دما ثابت افقی بر روی انتقال حرارت جابجایی آزاد حول یک استوانه افقیبه صورت عددی بررسی می‌شود.برای این منظور اثر دیواره زمانی که در بالای استوانه قرار دارد در گستره ای از اعداد ریلی و فواصل بین دیواره و استوانه بررسی می‌شود و با زمانی که دیواره آدیاباتیک باشد مقایسه می گردد.این فرایند با استفاده از نرم‌افزارفلوئنت شبیه سازی می‌شود. مقایسه نتایج با کارهای عددی موجود،دقت شبیه سازی انجام شده را تایید می‌کند.نتایج شبیه سازی نشان می دهدکه درفواصل کم دیوار نسبت به استوانه، دیواره هم دما باعث افزایش عدد ناسلت میانگین حول استوانهمی شود. با افزایش این فاصله عدد ناسلت میانگین کاهش یافته تا اینکه به یک مقدار کمینه می-رسد و پس از آن با افزایش بیشتر فاصله مقدار عدد ناسلت میانگین افزایش می‌یابد. همچنین،ملاحظه می گردد که عدد ناسلت حول استوانه، زمانیکه دیواره هم دما باشد نسبت به حالتی که دیواره آدیاباتیک است بیشتر است.

کلیدواژگان: جابجایی آزاد،استوانه افقی، دیواره دما ثابت

Effect of an isothermal wall on the natural convection heat transfer from a horizontal cylinder

PedramPournaderi[1]*, SepehrRasekh[2]

1-Department of Mechanical Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran
2-Department of Aerospace Engineering, TarbiatModares University, Tehran, Iran
*P.O.B. 75918-74831Yasouj, Iran,sp.pournaderi@yu.ac.ir

Abstract

In this paper, effect of a horizontalisothermal wall on the natural convection heat transfer from a horizontal cylinder is numerically studied.For this purpose, effect of wall when it is located above the cylinder at various Rayleigh numbers and wall vertical positions are studiedand compared with the situation that wall is adiabatic. Fluent software is used to simulate the problem.Comparison of simulation results with available numerical results,confirms the accuracy of simulation. Simulation results show that in low wall distance from the cylinder,the isothermal wall causes an increase in meanNusselt number. By increasing this distance, mean Nusselt number decreases until reaching a minimum value. By more increase of this distance mean Nusselt number increases. Also, it is considered that in the case of isothermal wall Nusseltnumber is higher rather than adiabatic wall.

Keywords:Natural convection, Horizontal cylinder, Isothermal wall

۱- مقدمه

در فرآیند جابجایی آزاد، سیال بر اثر نیروی شناوری به جریان در می-آید.نیروی شناوری نیز ناشی از وجود همزمان نیروی حجمی و اختلاف چگالی در سیال است.نیروی حجمیمتناسب با چگالی و معمولا به صورت گرانشی است.اختلاف چگالی معمولا ناشی از شیب دماست.پارامتر بی بعد مهم در انتقال حرارت جابجایی آزاد عدد ریلی[1] می باشد که این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Ra = \frac{g(T_W - T_{amb})\beta D^3}{\alpha\upsilon} \quad (۱)$$

از کاربردهای انتقال حرارت جابجایی آزاد حول استوانه افقی می توان به خنک کن‌ها در صنایع الکترونیک و طراحی کندانسور های یخچال‌ها اشاره کرد.شروع مطالعات روی جابجایی آزاد حول یک استوانه افقی به سال ۱۸۹۲ بر می‌گردد که ایرتون وکیلگر[۱] انتقال حرارت از یک سیم استوانه‌ای افقی را بررسی کردند و روابطی را برای عدد ناسلت[2] ارائه دادند. پتاول [۲] نیز تحقیقاتی را در این رابطه انجام و روابطی را برای عدد ناسلت ارائه داد. در سال ۱۹۷۵ مرگان[۳] و نیز چرچیل و همکاران[۴] تحقیقات وسیعی به صورت آزمایشگاهی روی این موضوع انجام دادند و از نتایج به دست آمده از آزمایش های خود رابطه‌ای را برای عدد ناسلت حول یک استوانه ارائه دادند. کوهن و همکاران[۵] رابطه عدد ناسلت میانگین را برای گستره وسیعی از اعداد ریلی و پرانتل[3] ارائه دادند. کیتامورا [۶] با تحقیقات آزمایشگاهی خود روی انتقال حرارت جابجایی آزاد حول یک استوانه افقی نشان‌داد که در ناحیه گذار از جریان آرام به مغشوش عدد ناسلت بیشترین مقدار خود را دارد.

تحقیقات زیادی درباره اثر دیواره روی انتقال حرارت جابجایی آزاد حول یک استوانه تا به حال انجام شده است. کریم و همکاران[۷] نشان دادند که اثر وجود دیواره عایق عمودی در دو سوی استوانه در اعداد ریلی بالا ناچیز می باشد. اشجعی و همکاران [۸]از طریق انجام آزمایش نشان دادند که اگر فاصله دیواره عایقواقع در بالای استوانه تا استوانه از حد مشخصی بیشتر باشد، اثر آن روی انتقال حرارت ناچیز است.اشجعیو همکاران [۹] برای محدوده عدد ریلی ۱۰۰تا ۱۰۰۰۰۰ اثر دیوار آدیاباتیک واقع در پایین یک استوانه را به صورت عددی و آزمایشگاهی بررسی کردند.سباستین و شاین [۱۰] اثر یک دیواره افقی آدیاباتیک را در حالاتی که در بالا و پایین یک استوانه افقی واقع باشد بررسی کردند. حضور دیواره در بالای استوانه باعث افزایش عدد ناسلت در نیمه بالایی استوانه می شود. در حالی که حضور دیواره در پایین استوانه سبب کاهش عدد ناسلت در نیمه پایینی استوانه می گردد. باتلر و همکاران[۱۱] انتقال حرارت جابجایی آزاد از یک استوانه افقی مولد گرمای محصور در یک محفظه مربعی[4] که اختلاف دمایی بین دیواره های عمودی آن وجود دارد را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. آنها مشاهده کردند که در اعداد ریلی بالا بدلیل اندرکنش بین استوانه و محفظه نرخ انتقال حرارت افزایش می یابد. صداقت و همکاران[۱۲] انتقال حرارت جابجایی آزاد از یک استوانه افقی محصور در گوشه دو دیوار آدیاباتیک را به صورت عددی و آزمایشگاهی مطالعه کردند. آنها دریافتند که ضریب انتقال حرارت استوانه به شدت تحت تاثیر عدد ریلی و فاصله استوانه تا دیوار افقی قرار دارد. در حالی که فاصله استوانه تا دیوار عمودی تاثیر محدودی روی ضریب انتقال حرارت استوانه دارد.

بر اساس بررسی های انجام شده تا کنون تنها اثر وجود دیوار عایق در بالای یک استوانه روی میزان انتقال حرارت از آن بررسی شده است. در این تحقیق، اثر وجود یک دیوار همدما در بالای یک استوانه و همچنین اثر فاصله این دیوار تا استوانه روی میزان انتقال حرارت از استوانه بررسی می شود.

۲- روش عددی

برای شبیه سازی عددی این مساله از نرم افزار تجاری فلوئنت استفاده می‌شود. مساله به صورت دو بعدی و جریان تراکم ناپذیر، آرام و پایا می‌باشد. برای تخمین تغییرات چگالی از فرض بوزینسک[5] استفاده می‌شود. معادلات حاکم شامل معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی می باشند:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (۲)$$

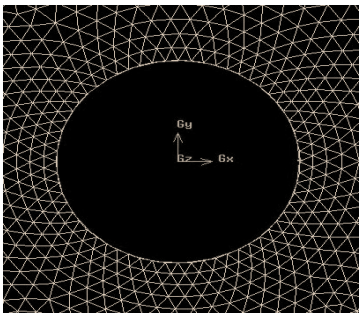
$$u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \upsilon\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \quad (۳)$$

$$u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} + g\beta(T - T_{amb}) + \upsilon\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) \quad (۴)$$

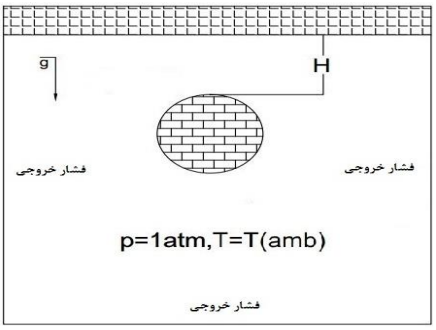
$$u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \quad (۵)$$

ابعاد دامنه محاسباتی و یا طول دیواره ۳۰ برابر قطر استوانه در نظر گرفته می شود. همچنین قطر استوانه ۹۵ میلی متر می‌باشد. در شکل (۱) هندسه مساله و شرایط مرزی مشاهده می‌شود. در اطراف استوانه شرط مرزی به صورت فشار خروجی[6] می باشد. دمای محیط ۲۵ درجه سانتی گراد در نظر گرفته می‌شود. دمای استوانه ثابت است و برای دیوار از دو شرط آدیاباتیک و دماثابت استفاده شده است. برای شبکه بندی مسئله از نرم افزار گمبیت استفاده می شود. در شکل (۱) شبکه بندی در اطراف استوانه نشان داده شده است. برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر در اطراف استوانه از شبکه بندی ریز تری استفاده می‌شود. تعداد سلول هایی که در کل دامنه وجود دارد ۱۰۰۰۰۰ سلول می‌باشد. برای این انتخاب از سه مش ۵۰۰۰۰ و ۱۰۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰۰ برای حالتی که استوانه بدون قید می باشد استفاده شده است. نتایج در شکل (۳) اورده شده است. با توجه به نتایج تعداد مش ۱۰۰۰۰۰ انتخاب شده است. زیرا نتایج تغییر محسوسی نسبت به حالت ۲۰۰۰۰۰ سلول نداشته و هزینه محاسباتی کمتری دارد. مقدار اولیه دما برابر با دمای محیط است. برای گسسته سازی معادلات از روش مرتبه دوم پیشرو و برای حل معادلات مومنتوم و پیوستگی از روش سیمپل[7] استفاده می‌گردد.

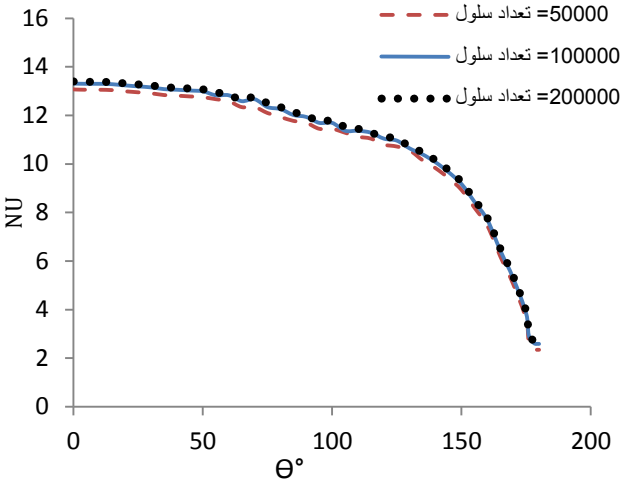
[1]-Rayleigh number
[2]-Nusselt number
[3]- Prandtl number
[4]-Square cavity
[5]-Boussinesq
[6]- Pressure Outlet
[7]-SIMPLE



شکل۲: شبکه بندی حول استوانه



شکل۲: هندسه مساله و شرایط مرزی



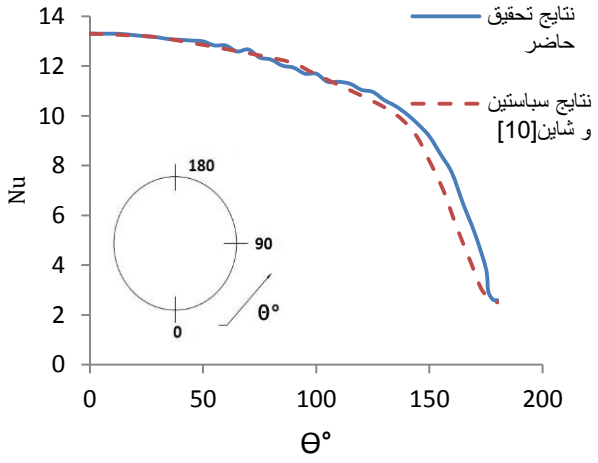
شکل ۳: استقلال از شبکه

۳-اعتبار سنجی

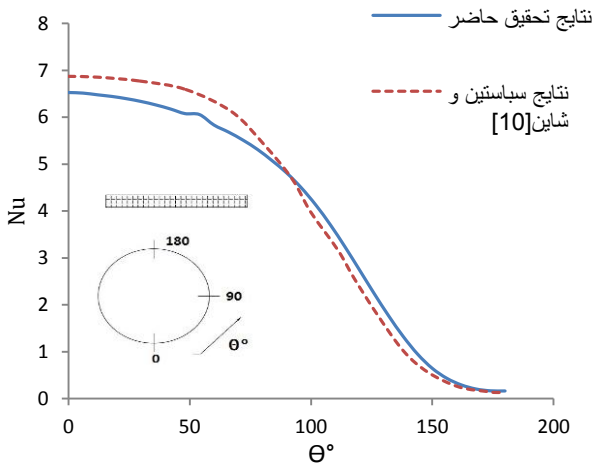
برای اعتبارسنجی کار انجام شده از نتایج به دست آمده توسطسباستین و شاین[۱۰] استفاده می شود. ابتدا اعتبار سنجی برای استوانه بدون حضور دیوار و سپس برای زمانی که دیوار عایق در بالای استوانه قرار دارد انجام می‌شود.

برای استوانه بدون حضور دیوار همان طور که در شکل (۴) مشاهده می-شود نتایج این پژوهش با نتایج سباستین و شاین [۱۰]هم‌خوانی دارد. شبیه سازی انجام شده مربوط به عدد ریلی ۵۲۱۹۱۸ می باشد. این شکل تغییرات عدد ناسلت موضعی را حول استوانه نمایش می‌دهد.نتایج نشان می دهد که بیشترین مقدار عدد ناسلت در زاویه صفر می باشد و با افزایش زاویه، ضخامت لایه مرزی حرارتی افزایش یافته مقدار عدد ناسلت کاهش می یابد و در زاویه ۱۸۰ درجه به کمترین مقدار خود می رسد.

برای استوانه همراه با دیوار عایق در بالای آن نیز، چنانچه در شکل (۵) ملاحظه می‌گردد نتایج تحقیق حاضر با نتایج سباستین و شاین [۱۰] تطابق خوبی دارد.در شبیه سازی انجام شده عدد ریلی ۳۸۹۴۱ و نسبت H/D برابر با ۰/۴ می‌باشد.نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که وجود دیواره عایق بالای استوانه باعث کاهش عدد ناسلت حول استوانه می‌شود.



شکل ۴: تغییرات عدد ناسلت حول استوانه بدون دیوار، Ra=52198



شکل۵تغییرات عدد ناسلت حول استوانه همراه دیوارآدیاباتیک در بالای استوانه،Ra=38941,H/D=0.4

۴- نتایج

۴-۱-بررسی اثر وجود دیواره همدما در بالای استوانه

در این قسمت فرآیند انتقال حرارت جابجایی آزاد از یک استوانه افقی در شرایطی که یک دیواره همدما در بالای استوانه قرار دارد، شبیه سازی می شود. سپس اثر تغییر عدد ریلی دیواره، فاصله دیواره و استوانه و نیز اثر تغییر عدد ریلی استوانه روی انتقال حرارت از استوانه بررسی می شود.لازم به ذکر می‌باشد که برای تغییر عدد ریلی از تغییرات دمای استوانه یا دیواره استفاده شده است در حالی که سایر پارامتر ها ثابت می باشند.

۴-۱-۱-بررسی اثر عدد ریلی دیواره

در این حالت، نسبت H/D برابر ۰/۴ و عدد ریلی استوانه ۳۸۹۳۶ می - باشد.عدد ریلی دیواره هم دما در بازه ۰ تا ۲۱۰۰۰ تغییر می کند و اثر این تغییربر روی عدد ناسلت موضعی حول استوانه بررسی می شود.شکل (۶)اثر تغییر عدد ریلی روی تغییرات عدد ناسلت موضعی حول استوانه را نشان می دهد.

همان طور که از شکل (۶) مشاهده می‌شود دیواره هم دما باعث افزایش عدد نوسلت موضعی نسبت به حالتی که دیواره آدیاباتیک باشد،می‌شود و بیشترین مقدار عدد ناسلت در حالتی می‌باشد که عدد ریلی صفر است. با افزایش عدد ریلی دیواره،عدد ناسلت حول استوانه نسبت به حالتی که عدد ریلی صفر می‌باشدکاهش می یابد.

همان طور که از شکل (۶) مشاهده می‌شود، اثر دیگر دیواره هم دما افزایش ناگهانی عدد ناسلت از زاویه ۱۴۰ درجه به بعد می‌باشد که این افزایش در حالتی که دیواره آدیاباتیک باشد مشاهده نمی‌شود. علت این افزایش، نزدیکی نواحی بالای استوانه به دیواره دما ثابت (که دمای آن از دمای استوانه کمتر است) می‌باشد.همان طور که ملاحظه می گردد، با افزایش عدد ریلی دیواره شدت افزایشعدد ناسلت حول استوانه کم می‌شود.

۴-۱-۲-بررسی اثر فاصله بین دیواره و استوانه

در این حالت اعداد ریلی استوانه و دیواره بترتیب ۱۲۱۴۵ و ۴۸۵ می باشند.نسبت H/Dدر بازه ۰/۱ تا ۳تغییر می کند و اثر این تغییر روی عدد ناسلت حول استوانه بررسی می شود.

شکل (۷) اثر تغییر ارتفاع دیواره نسبت به استوانه را نمایش می دهد. همان طور که مشاهده می‌شود مقدار عدد ناسلت حول استوانه با شروع از زاویه صفر سیر نزولی دارد. امادر نسبت های H/D برای بازه ۰/۱ تا ۰/۵از زاویه ۱۲۰ درجه به بعدبه علت کاهش ضخامت لایه مرزی دمایی افزایش ناگهانی در مقدار عدد ناسلت دیده می‌شود که این افزایش ناگهانی با افزایش فاصله بین استوانه و دیوار دیگر دیده نمی‌شود.

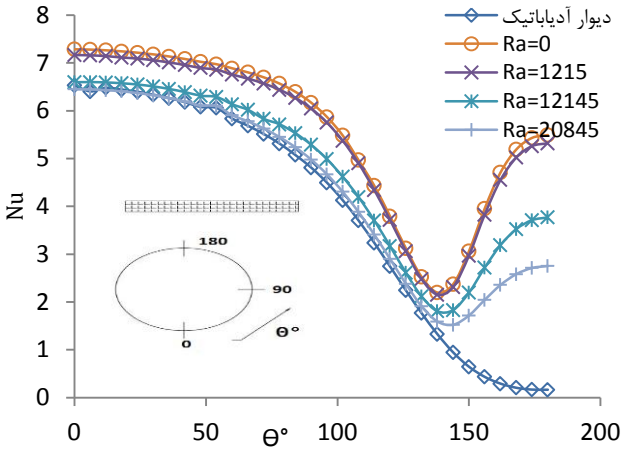
برای مقایسه میزان انتقال حرارت در فواصل مختلف و مقایسه آنها با هم در جدول (۱) مقدار عدد ناسلت میانگین ارائه شده است. از نتایج حاصل به این نتیجه میرسیم که در نسبت‌های کمتر از ۰/۱ بیشترین مقدار عدد ناسلت میانگین وجود دارد. با افزایش نسبت H/D تا مقدار ۰/۴ مقدار عدد ناسلت میانگین کاهش می‌یابد و در نسبت ۰/۴ به کمترین مقدار خود میرسد و سپس با افزایش نسبت H/Dعدد ناسلت میانگین نیز افزایش می‌یابد.

پس می‌توان نتیجه گرفت که در نسبت های H/Dکم، حضور دیواره باعث افزایش مقدار عدد ناسلت در نیمه بالایی استوانه می شود و با افزایش این نسبت اثر افزایشی در نیمه بالایی استوانه از بین می‌رود. ولی در عین حال در زوایای کمتر از ۱۲۰ درجه افزایش نسبت H/D باعث افزایش مقدار عدد ناسلت حول استوانه می شود.

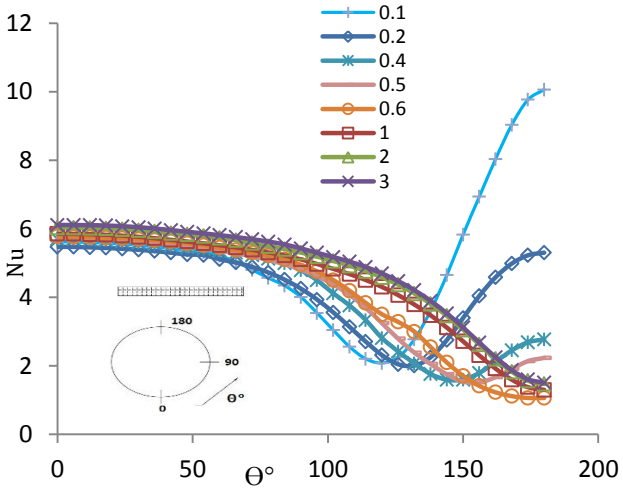
۴-۱-۳-بررسی اثر عدد ریلی استوانه

در این حالت زمانی کهنسبت H/D برابر با ۰/۴و ۱ می باشدو عدد ریلی دیواره ۱۲۱۵ و عدد ریلی استوانه در بازه ۱۲۰۰ تا ۶۰۰۰۰ تغییر می کند اثر این تغییر بر روی عدد ناسلت موضعی حول استوانه بررسی می شود.

شکل(۸) اثر تغییر عدد ریلی استوانه روی تغییرات عدد ناسلت موضعی حول استوانه را برای نسبت H/D برابر با ۰/۴ نشان می دهد. زمانی که عدد ریلی استوانه و دیواره برابر است،عدد ناسلت حول استوانه مقدار کمی دارد و با افزایش زاویه از صفر کاهش می یابد تا در زاویه ۱۸۰ درجه به کمترین مقدار خود میرسد. با افزایش عدد ریلی استوانه، افزایش قابل توجهی در عدد ناسلت رخ می دهد.در این حالت، عدد ریلی در زاویه صفر بیشترین مقدار خود را دارد و با افزایش زاویه مقدار عدد ناسلت کم می‌شود تا اینکه در زاویه ۱۵۰ درجه به بعد با افزایش عدد ناسلت مواجه می‌شویم. همان طور که مشاهده می‌شود مقدار این افزایش برای اعداد ریلی بالاتر، بیشتر می‌باشد.با افزایش عدد ریلی استوانه مقدار عدد ناسلت افزایش می‌یابد.



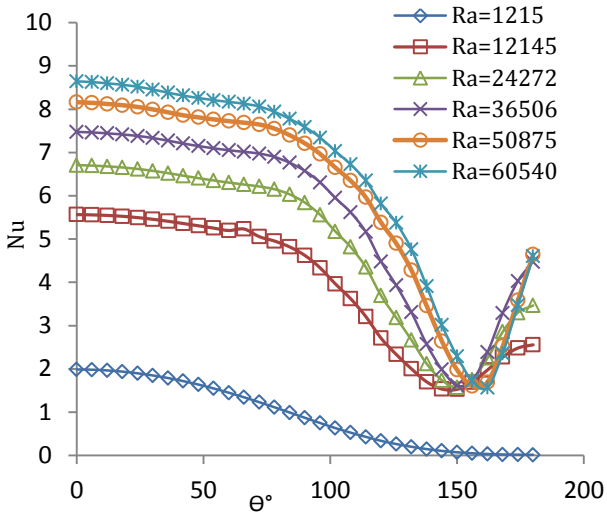
شکل۶: تاثیر تغییرات عدد ریلی دیواره روی تغییرات عدد ناسلت حول استوانه ($Ra_{cyl.}$=38936)



شکل۷: تاثیر فاصله دیوار تا استوانه روی تغییرات عدد ناسلت حول استوانه ($Ra_{cyl.}$=12145,Ra_{wall}=485)

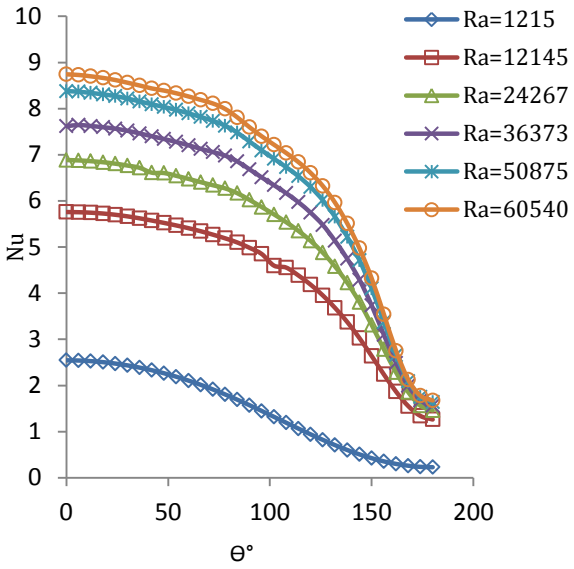
جدول۱: عدد ناسلت میانگین

$\overline{Nu}$	H/D
۹/۲۵۳۶	۰/۱
۷/۹۰۶۳	۰/۲
۷/۴۷۳۱	۰/۴
۷/۵۰۲۴	۰/۵
۷/۵۶۸۴	۰/۶
۸/۲۲۴۶	۱
۸/۶۵۱۸	۲
۸/۸۲۱	۳

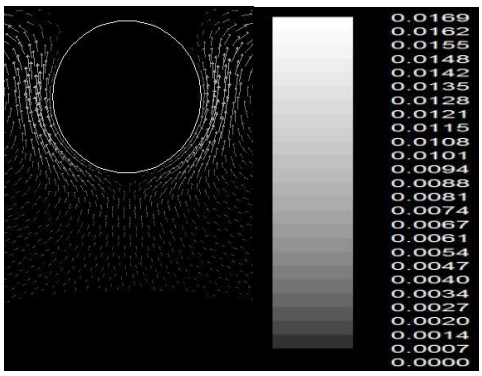


شکل۸: تاثیر تغییرات عدد ریلی استوانه روی تغییرات عدد ناسلت حول استوانه

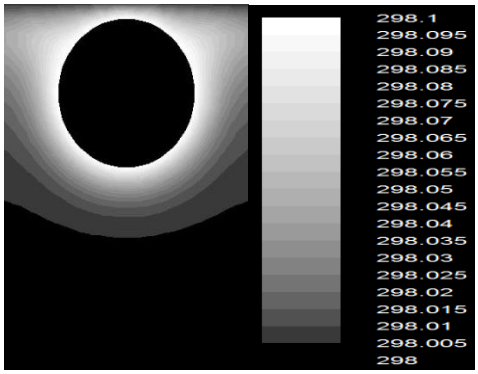
($Ra_{wall.}$=1215, H/D=0.4)



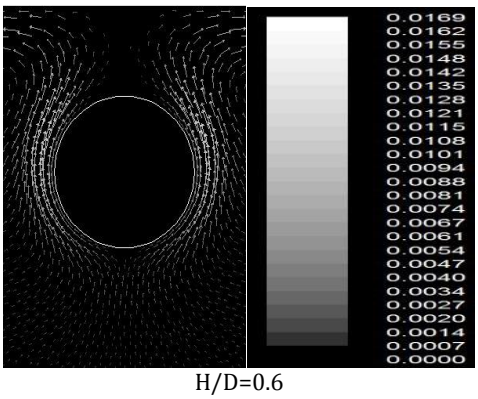
شکل۹: تاثیر تغییرات عدد ریلی استوانه روی تغییرات عدد ناسلت حول استوانه(Ra_{wall}=1215, H/D=1)



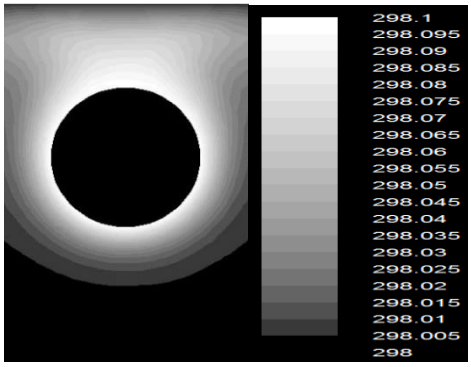
H/D=0.1



H/D=0.1



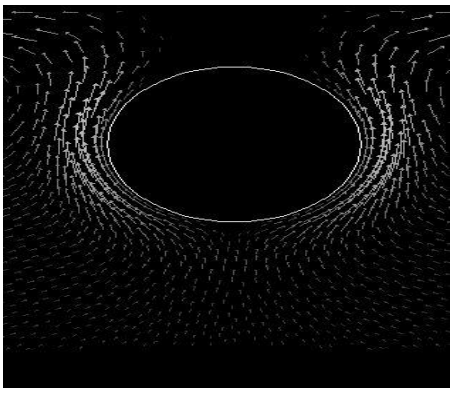
H/D=0.6



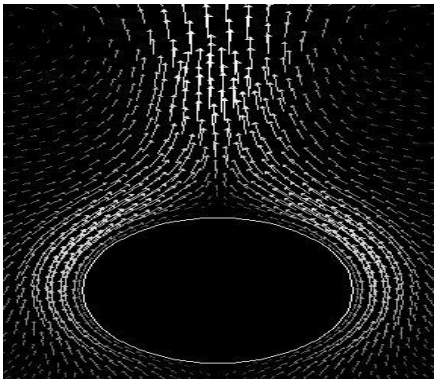
H/D=0.6

شکل۱۰: بردارهای سرعت حول استوانه

شکل۱۱: کانتور دما حول استوانه

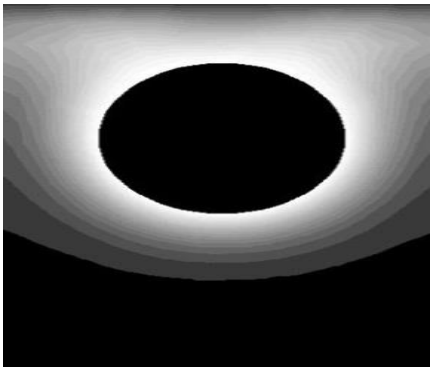


H/D=0.4

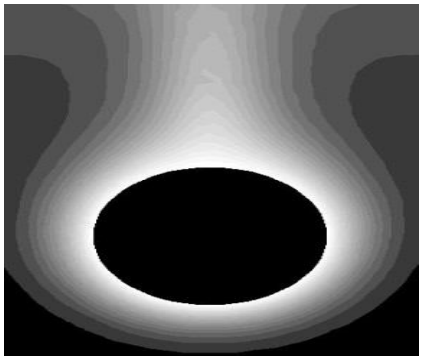


H/D=2

($Ra_{cyl.}$ =12145,Ra_{wall}=485)



H/D=0.4



H/D=2

($Ra_{cyl.}$ =12145,Ra_{wall}=485

شکل (۹) نتایج را برای نسبت H/D برابر با ۱ ارائه می دهد. در این حالت نیز با افزایش عدد ریلی استوانه، عدد ناسلت افزایش می‌یابد. بر خلاف حالت قبلتغییرات عدد ناسلت حول استوانه کاهشی می‌باشد.در شکل های ۱۰ و ۱۱ بترتیب بردار های سرعت و کانتور های دما حول استوانه مشاهده می‌شوند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله انتقال حرارت جابجایی آزاد حول یک استوانه زمانی که دیواره دما ثابت در بالای استوانه قرار دارد مورد بررسی قرار گرفت. برای شبیه سازی دو بعدی این فرایند از نرم افزار فلوئنت استفاده شد. شبیه سازی برای محدوده ای از اعداد ریلی و در فواصل مختلف استوانه تا دیواره انجام شد. نتایج حاصل به شرح زیر می باشند:

۱-در فواصل کم دیواره تا استوانه (H/D<0.1)، دیواره هم دما باعث افزایش عدد ناسلت در نیمه بالایی استوانه و در نتیجه باعث افزایش عدد ناسلت میانگین می‌شود. در فواصل بیشتر، حضور دیواره بالای استوانه باعث کاهش عدد ناسلت می شود.

۲- عدد ناسلت حول استوانه زمانی که دیواره هم دما می‌باشد نسبت به حالتی که دیواره آدیاباتیک است بیشتر است.

۳-در حالتی که عدد ریلی استوانه ثابت و عددریلی دیواره تغییر می‌کند، بیشترین عدد ناسلت حول استوانه مربوط به زمانی می‌باشد که عدد ریلی دیواره صفر است.

۴- با افزایش عدد ریلی استوانه نسبت به عدد ریلی دیواره، عدد ناسلت حول استوانه نیز به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

۶- فهرست علائم

P	فشار ($kgm^{-1}s^{-2}$)
Nu	عدد ناسلت
T	دما (K)
Ra	عدد ریلی
H	ارتفاع دیواره تا استوانه (m)
D	قطر استوانه (m)
$\overline{Nu}$	نوسلت میانگین
g	ضریب گرانش(ms^{-2})
u	مولفه افقی سرعت (ms^{-1})
v	مولفه عمودی سرعت (ms^{-1})

علائم یونانی

α	ضریب پخش گرمایی(m^2s^{-1})
β	ضریب انبساط حجمی(k^{-1})
ν	لزجت سینماتیکی(m^2s^{-1})

زیرنویس‌ها

amb	محیط
w	دیوار

۷- مراجع

[1]W. Ayrton, H. Kilgour, The thermal emissivity of thin wires in air.Philos TR SocA 183, pp. 371-405, 1982.

[2]J.Petavel,On the heat dissipated by a platinum surface athightemperatures.PartIVThermal emissivity in high-pressure gases.Philos T R Soc A 197, pp. 229–254, 1901.

[3]V.T. Morgan, The overall convective heat transfer from smooth circular cylinders.AdvanceHeat Transfer 11, pp. 199–264,1975.

[4]S. Churchill, H. Chu, Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a horizontal cylinder.InternationalJournalHeatMassTransfer18, 1049-1053, 1975.

[5]T. Kuehn, R. Goldstein, Correlating equations for natural convection heat transfer between horizontal circular cylinders.InternationalJournal Heat MassTransfer19, pp.1127–1134, 1976.

[6] K. Kitamura, F. Kamiiwa, T. Misumi, Heat transfer and fluid flow of natural convection around large horizontal cylinders. Int. J. Heat Mass Transfer 42 pp. 4093-4106,1999.

[7] F. Karim, B. Farouk, Natural convection heat transfer from a horizontal cylinderbetween vertical confining adiabatic walls. J. Heat Transfer 108 pp. 291–298, 1986.

[8]M. Ashjaee, A. Eshtiaghi, M. Yaghoubi, T. Yousefi. Experimental investigation on free convection from a horizontal cylinder beneath an adiabatic ceiling.Experimental Thermal Fluid Science 32, pp.614–623, 2007.

[9] M. Ashjaee, S. Yazdani, S. Brigham, T. Yousefi, Experimental and numericalInvestigation on free convection from a horizontal cylinder located above anadiabatic surface.Heat Transfer Eng. 33, pp.213–224, 2012.

[10] G. Sebastian, S.R. Shine.Natural convection from horizontal heated cylinder with and without horizontal confinement.International Journal of Heat and Mass Transfer 82, pp. 325–334, 2015.

[11] C. Butler, D. Newport, M. Geron, Natural convection experiments on a heated horizontal cylinder in a differentially heated square cavity, Experimental Thermal and Fluid Science 44, pp. 199-208, 2013.

[12] M. H. Sedaghat, M. Yaghoubi, M. J. Maghrebi, Analysis of natural convection heat transfer from a cylinder enclosed in a corner of two adiabatic walls, Experimental Thermal and Fluid Science 62, pp. 9-20, 2015.