

انتقال حرارت جابجائی اطراف پره های ضخیم کوتاه روی یک سطح

محمود یعقوبی ، حسین امنیه

دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز

شیراز ، جمهوری اسلامی ایران

مطالعه روی پره ها و یا اشکال با مقطع مستطیلی اغلب در دو بعد بدون در نظر گرفتن اثر صفحه پایه انجام شده، در حالی که اگر پره ها کوتاه و ضخیم باشند اثر صفحه پایه در چگونگی حرکت و انتقال حرارت جابجائی بسیار قابل ملاحظه خواهد شد. این مقاله هندسه جدیدی از استقرار پره ها را روی یک سطح بررسی می نماید. برای این منظور جریان آرام سیال همراه با انتقال حرارت سه بعدی در برخورد با مجموعه ای از پره های ضخیم موازی مانند آنچه در روی بعضی از مبدل های حرارتی دیده می شود و یا مانند بلوک های موازی ساختمانی مشاهده می گردد بررسی شده است. معادلات حاکم با استفاده از روش حجم محدود به کمک الگوریتم SIMPLC حل گردیده و چگونگی جدائی و برخورد سیال که کاملاً با مطالعات دو بعدی متفاوت بوده بررسی شده است. اثر صفحه پایه از یک طرف و جریان آزاد بالای بلوک سبب تغییر موقعیت ناحیه برگشتی و کاهش شدید انتقال حرارت جابجائی در ناحیه متصل به صفحه پایه گردیده است. مطالعات حرکت سیال و جابجائی گرما برای نسبت مسدودیت و نسبت ارتفاع مختلف از پره ها انجام و نتایج در نمودارهای مختلف ارائه شده است.

واژه های راهنما: جریان آرام سه بعدی، جدائی و چرخش ، بلوک های کوتاه و موازی

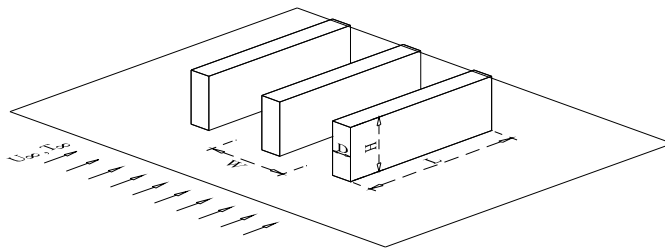
۱- مقدمه

یکی از مسائل مطروحه در مکانیک سیالات و انتقال حرارت بررسی هندسه هایی که شکل خاص مرزها در آنها سبب جدایی جریان و احیانا " برگشتن سیال و چسبیدن مجدد آن به سطح می شود، است. از لحاظ میزان انتقال حرارت، وجود ناحیه جریان بازگشتی باعث تغییر مقدار ضریب انتقال حرارت جابجایی شده بطوریکه برای بعضی از سیالات به یک مقدار ماکزیمم نسبی در نزدیکی محل چسبیدن مجدد سیال به سطح می رسد. این پدیده سبب می شود تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی و ضریب اصطکاک متفاوت از شرایط استاندارد صفحات نازک گردد. کاربرد اینگونه هندسه ها در مبحث طراحی مبدلهای حرارتی، در پره ها و یا ساختمانهای موازی و همچنین خنک کردن قطعات الکترونیکی وجود دارد.

اولین مشاهدات تجربی جریانهای آرام برای هندسه ها دو بعدی مربوط به لین و لورک [۱] بوده است. آنها به کمک یک کانال آب با مقطع مربعی شکل به بررسی جریان آرام حول یک صفحه ضخیم با نسبت منظرهای مختلف پرداختند. آنها دریافتند که ناحیه بازگشتی در ابتدای صفحه در اعداد رینولدز بیش از ۱۰۰ به وجود می آید و با افزایش عدد رینولدز به سمت پایین دست حرکت می کند. آنها همچنین مشاهده کردند که محدوده تبدیل جریان دائمی به غیردائمی بستگی به نسبت منظری صفحه دارد. بطور مثال برای نسبت منظری ۸ در رینولدز ۳۲۵ جریان غیردائمی می شود. دایجلی [۲] نیز جریان آرام بر روی صفحات ضخیم و نیمه بی نهایت دو بعدی را بررسی نموده است. ایشان در محدوده رینولدز بین ۱۰۰ الی ۴۰۰ و برای نسبت مسدودیت بین ۸ تا ۵۰ درصد و پرانتل بین ۰/۷ تا ۵ به بررسی ناحیه بازگشتی و تغییرات عدد نوسلت و ضریب فشار پرداخته و نمودارهای در این زمینه ارائه داده که بیانگر وجود ماکزیمم عدد نوسلت در نزدیکی محل بازگشتی (Reattachment Point) و همچنین افزایش عدد نوسلت با عدد پرانتل می باشد. ایشان همچنین توزیع ضرایب فشار و اصطکاک سطحی بر روی صفحات مذکور را بدست آورده است. دایجلی دو روش برای جداسازی معادلات بقاء بکار برد، یکی روش (Hybrid upwind differencing) HD دیگری روش (Bounded-skew-hybrid differencing) (BSHD). مطابق بررسی های وی روش HD حساسیت شدیدی به شبکه محاسباتی دارد و در نتایج بدست آمده از این روش با نتایج کارهای لین و لورک اختلاف فاحشی ملاحظه کرده است. کاظمی نژاد و همکاران [۳] معادلات حاکم بر هندسه فوق را به روش حجم محدود حل نمودند. با این محاسبات پروفیل سرعت، پروفیل دما و مقادیر ضریب اصطکاک سطحی و عدد نوسلت برای مقادیر مختلف عدد رینولدز بدست آمده است. آنها نیز اولین حباب برگشتی را در عدد رینولدز ۱۰۰ به فاصله ای از ابتدای صفحه مشاهده کردند که در عدد رینولدز ۱۲۵ این حباب برگشتی به ابتدای صفحه می چسبد. ایشان از بررسی ها در رابطه ای برای طول حباب برگشتی برحسب عدد رینولدز بدست آوردند. اوتا و همکاران [۴] بوسیله مشاهده جریان، نواحی جریان آرام، تبدیل جریان آرام به مغشوش و جریان مغشوش را در دو بعد مورد بررسی قرار داده اند. باتوجه به اینکه این جریان در عدد رینولدز بالاتر به جریان غیردائمی تبدیل می شود، جریان غیردائمی آرام سیال نیز روی صفحه ضخیم بررسی شده است.

تفتی و ونکا [۵] نخست معادلات ناویر استوکس را برای جریان آرام غیردائمی به صورت عددی حل کرده اند و سپس تفتی [۶] دینامیک ورتکسهای تشکیل شده روی سطح و انتقال کمیت های اسکالر را مورد بررسی قرار داده اند. همچنین اوتا و یانوکا [۷] مساله جریان سیال همراه با انتقال حرارت را در حالت جریان غیردائمی مورد بررسی قرار داده اند. در این بررسی عدد رینولدز ۱۰۰۰ و عدد پرانتل ۰/۷ در نظر گرفته شده، و مشاهده شده جریان بازگشتی جدا شده ناپایدار می شود. گردابه ها در جهت جریان از لبه سطح تشکیل می شود و در جهت جریان حرکت کرده و بزرگ می شوند. حرکت گردابه ها و تغییرات آنها در میزان انتقال حرارت نیز تاثیر قابل ملاحظه ای داشته است. نمونه دیگر از جریانهای غیردائمی برای صفحات دو بعدی در محدوده رینولدز ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ توسط یعقوبی و آتشکدی [۸] ارائه شده است. جریان دائم و مغشوش سایل در برخورد با یک صفحه توسط رهنما و یعقوبی [۹] بررسی شده است. ایگاشی [۱۰] آزمایشاتی را برای اندازه گیری میزان متوسط عدد نوسلت محلی برای یک منشور مربعی در جریان درهم انجام داده و الگوهای جریان را برحسب زاویه حمله ارائه داده است. همانگونه که ملاحظه می شود اکثر مطالعات گذشته مربوط به صفحات ضخیم نیمه بینهایت با بلوک های موازی که جریان و اطراف آنها دو بعدی بوده انجام شده است و چگونگی حرکت سیال و آرام و انتقال حرارت هنگامی که بلوک روی یک سطح قرار می گیرد و جریان سه بعدی باشد در دسترس نیست.

هدف از پژوهش حاضر بررسی سه بعدی جریان آرام سیال همراه با انتقال حرارت در برخورد با مجموعه متوالی از صفحات موازی کوتاه با مقطع مستطیل که در شکل ۱ نشان داده شده می باشد. عدد رینولدز باتوجه به مطالعات قبلی [۴-۱] طوری انتخاب شده که جریان سیال در محدوده آرام و دائمی قرار گیرد.



شکل ۱- هندسه جریان روی صفحات موازی

۲- معادلات حاکم و شرایط مرزی

جریان سیال در برخورد با هندسه ای مانند شکل بصورت آرام، سه بعدی و تراکم ناپذیر در نظر گرفته شده است. باتوجه به فرض دائمی بودن جریان، معادلات لازم برای تحلیل جریان در مختصات کارتزین به صورت زیر می باشد:

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

معادله منتم

(۲) در جهت X

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

(۳) در جهت Y

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

(۴) در جهت Z

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

(۵) معادله انرژی

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

بدست آوردن جوابهای قابل قبول فیزیکی به وجود شرایط مناسب در مرزهای محاسباتی بستگی دارد. به همین منظور ابتدا لازم است یک دامنه محاسباتی مناسب به طوری که جوابها مستقل از دامنه محاسباتی باشند بدست آورده شود. باتوجه به هندسه مسئله، شکل ۱، به کمک تقارن می توان بجای اینکه یک صفحه ضخیم را کاملاً در دامنه محاسباتی قرار داد، دو صفحه به عنوان صفحات تقارن یکی از بین صفحه ضخیم و دیگری از بین دو صفحه ضخیم موازی گذراند و شرط تقارن را بر روی آنها ارضا کرد. دامنه مرزی ورودی را در فاصله دور از صفحه به میزان ۱۵ برابر ضخامت صفحه و شرط مرزی خروجی به فاصله ۴۰ برابر ضخامت صفحه قرار گرفته شده است. این فاصله ها به نحوی انتخاب شده که افزایش بیشتر آن تاثیری در خصوصیات سیال و انتقال حرارت از صفحه به سیال نداشته باشد. مرز بالایی جریان آزاد برای هندسه هایی که دارای مسدودیت ($Br = D/W$) کمتر از ۱۵٪ می باشند ۴ برابر ارتفاع صفحه ضخیم و برای نسبت مسدودیت های بیشتر، تا ۳۰٪ حدود ۷ برابر ارتفاع صفحه ضخیم در نظر گرفته شده است. این فاصله ها با سعی و خطا انجام شده تا نتایج متاثر از ارتفاع و دامنه محاسباتی قرار نگیرد. اشکال ۲ و ۳ دامنه محاسباتی و صفحات مرزی را به وضوح نشان می دهند. باتوجه به مطلب بالا شرایط مرزی به تفکیک صفحات مشخص شده در شکل ۳ بشرح زیر ارائه شده است.

الف - شرط مرزی ورودی:

صفحات Abba و BCcb صفحات ورودی جریان هستند. در این صفحات روابط زیر حاکم است:

$$u = U_{\infty}, T = T_{\infty}, v = w = 0$$

ب - شرط مرزی خروجی:

در صفحه DCcd شرط خروجی جریان اعمال می شود در این صفحه فرض می شود که:

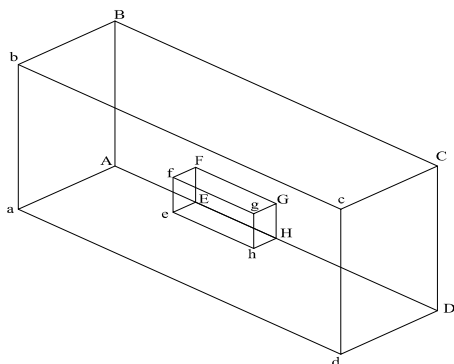
$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

صفحات ABCD و abcd دو صفحه تقارن هندسه مسئله هستند. در این صفحات روابط زیر حاکم است:

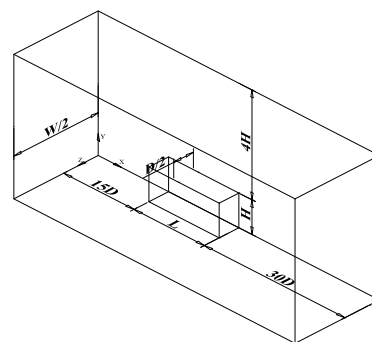
$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial z} = 0$$

د - شرط مرزی دیواره:

در بقیه صفحات مانند ADda ، efgH ، FDgf ، EFfe ، GHhg شرط مرزی دیوار صلب حاکم است.



شکل ۳- صفحات مرزی جریان



شکل ۲- دامنه محاسباتی جریان

بر روی این صفحات کلیه مولفه های سرعت جریان صفر و از لحاظ دمایی یک مقدار شار حرارتی ثابت به محیط در نظر گرفته می شود.

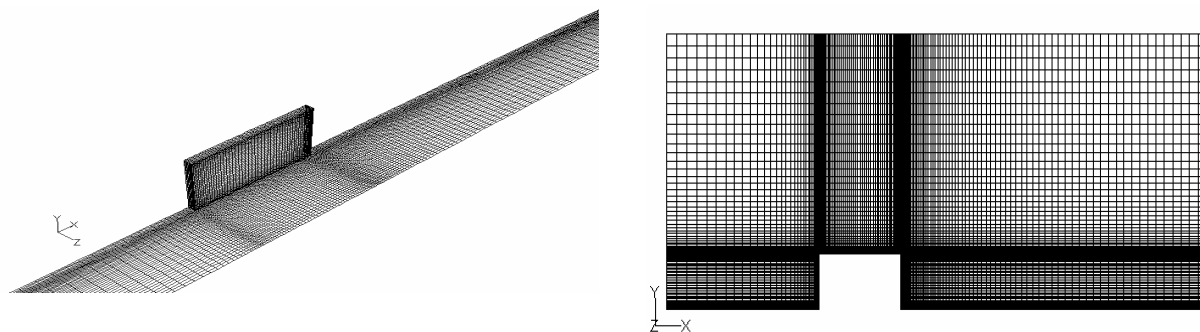
۳- روش حل

در این پژوهش معادلات حاکم بر مسئله با استفاده از روش حجم محدود به کمک روش جداسازی Second Order Upwind تجزیه و تحلیل می شوند. جهت کوپل معادلات سرعت و فشار از روش SIMPLC استفاده شده است. برای بدست آوردن نتایج دقیق لازم است شبکه به نحوی انتخاب شود که نتایج از جهت ناحیه برگشتی و مقدار متوسط ضریب اصطکاک و عدد نوسلت مستقل از شبکه بندی باشد. در این پژوهش پس از اجرای شبکه ها مثلاً "برابر $Ar = 8$ از یک شبکه ریز در جهت های X, Y, Z به تعداد

۱۷۰×۸۰×۵۰ استفاده شده است. با افزایش تعداد شبکه در جهات مختلف به تعداد ده درصد ملاحظه شد که تغییرات در ناحیه برگشتی کمتر از ۵٪ است که ناچیز می باشد، لذا در محاسبات از شبکه فوق استفاده شده است. البته با کوچک شدن Ar ، تعداد شبکه در جهت x کاهش یافته است. با توجه به تغییرات شدید پارامترهای جریان بر روی لبه های صفحات ضخیم، لازم است در این نواحی از شبکه متمرکزی استفاده شود. اشکال ۴ شبکه تولید شده بوسیله نرم افزار بر روی دامنه محاسباتی را نشان می دهد.

– نتایج

در این قسمت نتایج برحسب شرایط مختلف جریان و هندسه مسئله ارائه شده است. دامنه اعداد بدون



ب- قسمتی از شبکه سه بعدی روی پره و صفحه پایه

الف - شبکه بر روی صفحه $z=0$

شکل ۴ - نمونه ای از شبکه بندی دامنه محاسباتی

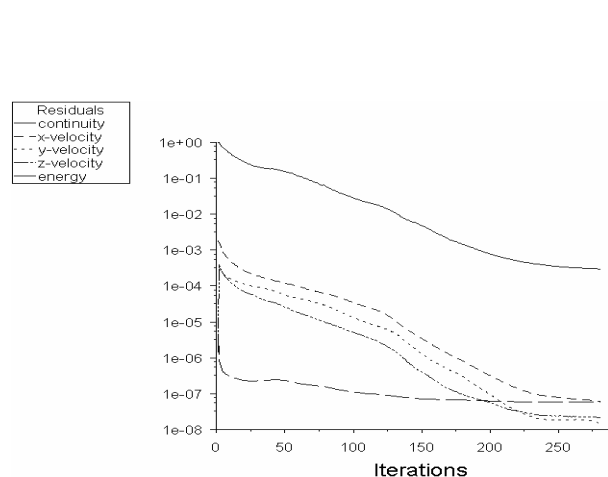
بعد رینولدز $\left(Re = \frac{U_{\infty} D}{\nu} \right)$ ، نسبت منطری $Ar = \frac{L}{D}$ ، نسبت مسدودیت $Br = \frac{D}{W}$ و نسبت ارتفاع $Hr = \frac{D}{H}$ بشرح زیر است.

$Re = 100, 150, 200, 250, 300, 350$; $Ar = 5, 6, 7, 8$; $Br = 10\%, 15\%, 20\%$
 8% ; $Hr = 20\%, 25\%, 33\%$

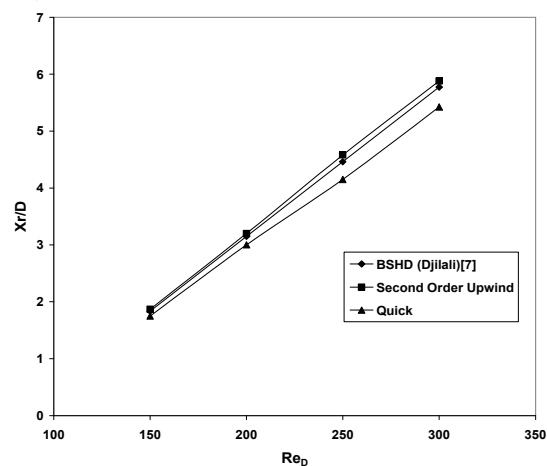
در ادامه پارامترهای جریان و دما برحسب تغییرات پارامترهای فوق ارائه شده است. در ابتدا کد کامپیوتری برای جریانهای دو بعدی اجرا و صحت کاربرد آن مورد تایید قرار گرفته است. در شکل ۵ تغییرات طول ناحیه برگشتی محاسبه شده در جریان دو بعدی به دو روش محاسبه و با نتایج مرجع [۲] مقایسه گردیده است. ملاحظه می شود که روش مرتبه دوم با جهت جریان دقت بیشتری داشته که روش مذکور برای محاسبات بعدی استفاده شده است. در شکل ۶ چگونگی همگرایی روش عددی با افزایش تکرار برای معادلات پیوستگی، ممنتم و انرژی ملاحظه می شود. این شکل نشان می دهد که مقدار خطا برای معادله پیوستگی با سرعت کمتری نسبت به سایر معادلات کاهش یافته و بالاخره پس از تقلیل از 10^{-3} نتایج مطلوب شناخته شده است.

۴-۱- میدان سرعت

در این قسمت توزیع سرعت بر روی صفحات ضخیم بررسی می گردد. بردارهای سرعت در سه مقطع $y = 0.175H$ و $y = 0.5H$ ، $y = 0.25H$ برای رینولدز ۲۰۰ و ۳۵۰ در شکل های ۷ و ۸ نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می شود توزیع سرعت به دلیل صفحه پایه و کوتاه بودن ارتفاع پره در مقاطع مختلف متفاوت است. ناحیه چرخشی در مجاورت سطح بدلیل لایه مرزی صفحه پایه تشکیل شده است. ناحیه بازگشتی در مقطعی که از صفحه پایه فاصله بیشتری دارند قابل رویت تر می باشد، علت این پدیده اثرات بازدارندگی صفحه پایه است. همچنین با افزایش عدد رینولدز طول ناحیه بازگشتی افزایش می یابد که مشابه جریانهای دو بعدی می باشد. جریان در پشت صفحه نیز با افزایش عدد رینولدز تغییرات بیشتری پیدا کرده و صفحه پایه به پایداری جریان کمک نموده است. جریان در ارتفاع بالا بدلیل نزدیکی با محدوده آزاد هموارتر شده و پایداری جریان برای محدوده کم Re همچنان برقرار مانده است. این امر سبب شده



شکل ۶- چگونگی همگرایی حل عددی



شکل ۵- مقایسه طول ناحیه برگشتی برای جریان دوبعدی

محاسبات در بعضی از حالات در Re بیشتری نسبت به جریانهای دو بعدی بدون نوسان جریان ادامه یابد که حاکی از ویژگی جدیدی از محدود بودن ارتفاع و سه بعدی بودن جریان می باشد.

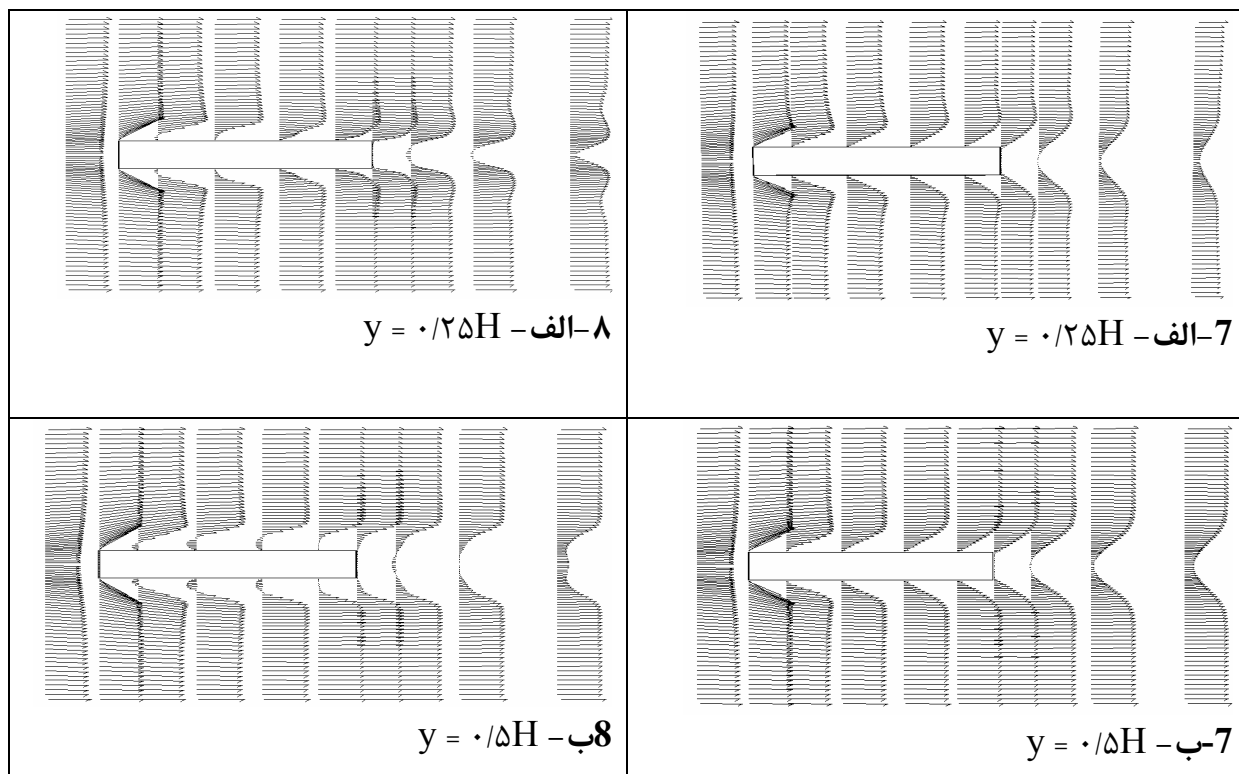
۴-۲- میدان دما

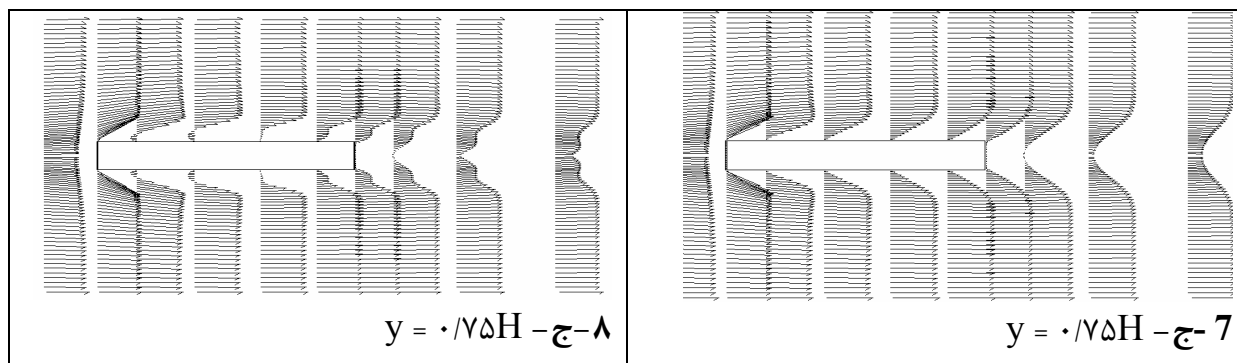
در این قسمت توزیع دما بر روی پره های ضخیم گردیده است. در شکل ۹ توزیع دما بر روی صفحات عمودی پره های ضخیم برای یک هندسه خاص در رینولدزهای مختلف ارائه گردیده است. دمای صفحه بطور کلی در مجاورت پایه زیاد و در پره بدلیل نبودن چرخش قابل ملاحظه و نزدیک به سیال آزاد کاهش بیشتر داشته است. شکل ۹ نشانگر تغییرات دمای صفحه بصورت کاملاً سه بعدی بوده و اثرات صفحه پایه در افزایش دما و جریان آزاد و لبه بالایی در کاهش دمای صفحه قابل ملاحظه شده است. حداکثر دما در

مرکز حباب چرخشی و در گوشه پایینی پشت صفحه ضخیم و حداقل دما بر روی لبه های بالایی و لبه جلویی صفحه صورت گرفته که در آنجا ضریب انتقال حرارت حداکثر می باشد. در رینولدزهای پایین حداکثر دما مربوط به لبه پایینی می شود. بعبارت دیگر نقاط داغ در مجاورت صفحه پایه تشکیل می شود ولی برای اعداد رینولدز بالا نقاط داغ علاوه بر مجاورت صفحه پایه در مرکز حباب چرخشی نیز تشکیل می گردد. همچنین با افزایش عدد رینولدز اختلاف دمای صفحه و سیال کاهش می یابد. اثر افزایش ضخامت لایه مرزی روی صفحه پایه و کاهش ضریب انتقال حرارت مربوطه سبب افزایش دمای پره در مجاورت سطح گردیده که بخصوص در اعداد رینولدز کم این تفاوت قابل ملاحظه تر است.

۴-۳- توزیع ضریب اصطکاک سطحی

یکی از کمیت های بدون بعد که در لایه مرزی سرعت بررسی می شود ضریب اصطکاک سطحی یا موضعی است. به کمک این ضریب می توان نیروی اصطکاک وارده بر سطح از طرف سیال را بدست آورد.

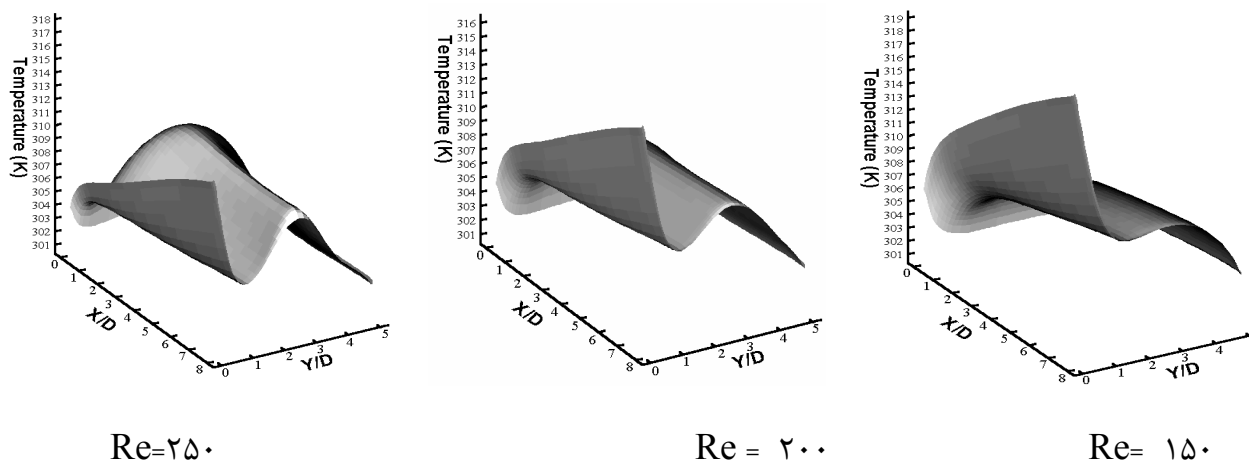




شکل ۸- تغییرات بردارهای سرعت
در ارتفاع های مختلف $Ar = 7$ ،
 $Re=350$, $Hr=0.25$, $Br=0.10$

شکل ۷- تغییرات بردارهای سرعت
در ارتفاع های مختلف $Ar = 7$ ،
 $Re=200$, $Hr=0.25$, $Br=0.10$

دلیل دیگر بررسی ضریب اصطکاک سطحی مطالعه تعیین نحوه تغییرات آن بر روی صفحات عمودی پره ضخیم و بررسی بعد سوم در مقایسه با جریانهای دو بعدی می باشد. در مکانی که سیال مجدد به سطح می چسبد مقدار ضریب اصطکاک سطحی به سمت صفر میل می کند و به کمک این ویژگی می توان مکان ناحیه بازگشتی را بدست آورد. شکل ۱۰ تغییرات سه بعدی ضریب اصطکاک سطحی بر روی صفحات عمودی پره ضخیم را برای یک هندسه خاص در رینولدزهای ۱۵۰ و ۲۵۰ نشان می دهد. در این دو شکل بخوبی ناحیه بازگشتی که دارای کمینه ضریب اصطکاک سطحی هستند مشخص می باشد. ضریب اصطکاک در لبه



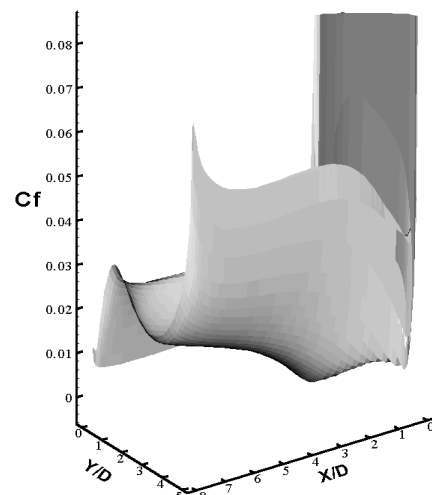
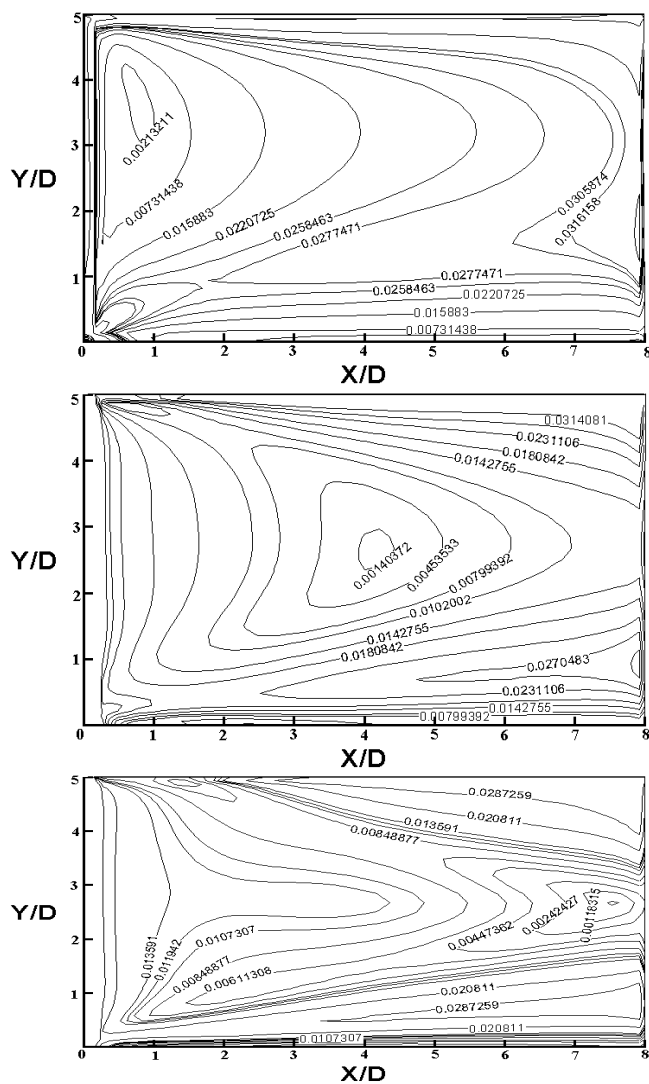
شکل ۹- توزیع دما بر روی صفحه ضخیم $Ar=8$, $Hr=0.20$, $Br=0.10$

ناحیه بازگشتی را بدست آورد. شکل ۱۰ تغییرات سه بعدی ضریب اصطکاک سطحی بر روی صفحات عمودی پره ضخیم را برای یک هندسه خاص در رینولدزهای ۱۵۰ و ۲۵۰ نشان می دهد. در این دو شکل بخوبی

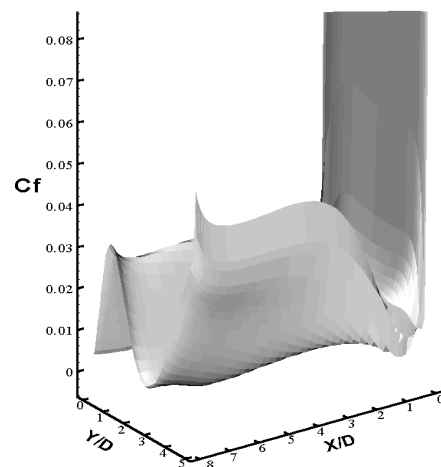
ناحیه بازگشتی که دارای کمینه ضریب اصطکاک سطحی هستند مشخص می باشد. ضریب اصطکاک در لبه جلویی و لبه بالایی مانند لبه صفحات نازک بسیار بالا است و در ناحیه تماس پره با صفحه پایه بدلیل راکد شدن سیال بسیار کم شده است. تشکیل لایه مرزی روی صفحه پایه و افزایش ضخامت آن تا برخورد به پره و بالاخره ترکیب آن با ناحیه چرخشی سبب تغییرات شدید ضریب اصطکاک سطحی برروی سطح پره گردیده است. پیچیدگی جریان سه بعدی سبب گردیده توزیع ضریب اصطکاک سطحی تغییرات شدیدی نسبت به جریان های دو بعدی [۲] داشته باشد. عواملی که سبب چنین تغییراتی می گردد مربوط به جریان آزاد، جریان برگشتی در بالای صفحات عمودی، لایه مرزی روی صفحه پایه و محدود شدن جریان برای عبور بین دو بلوک می باشد. این تغییرات در شکل ۱۰ به وضوح دیده می شود.

در شکل ۱۱ خطوط ضریب اصطکاک سطحی ثابت برروی صفحه ضخیم در رینولدزهای مختلف برای یک هندسه مشخص نشان داده شده. در این اشکال ناحیه با ضریب اصطکاک سطحی ناچیز به صورت یک دایره ناقص مشهود است. هرچه عدد رینولدز بیشتر شده این ناحیه به انتهای صفحه ضخیم نزدیکتر گردیده که ناشی از بزرگ شدن طول حباب چرخشی می باشد. ضریب اصطکاک در لبه جلویی، لبه بالایی و لبه پشت زیاد در حالی که در لبه متصل به صفحه پایه خیلی ناچیز گردیده است. البته تغییرات شدید در قسمت های لبه جلویی و لبه انتهایی ناشی از جدائی سیال در محدوده های فوق می باشد.

باتوجه به نمودارهای توزیع دما، شکل ۹، توزیع ضریب اصطکاک، شکل های ۱۰ و ۱۱، برخلاف صفحه های دو بعدی محل سیال چرخش شده در روی یک خط نیست بلکه یک سطح محدود به خود را



رینولدز ۱۵۰



رینولدز ۲۵۰

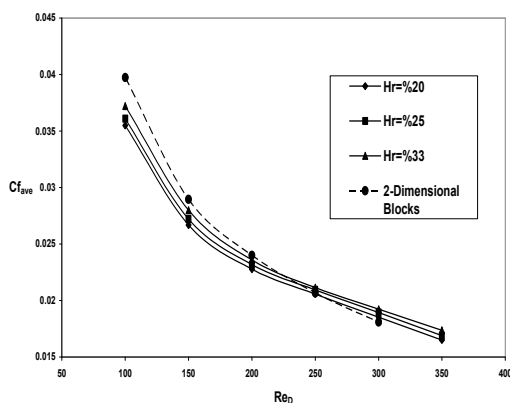
شکل ۱۱- خطوط ضریب اصطکاک سطحی

ثابت $Ar=8$, $Br=10\%$, $Hr=20\%$

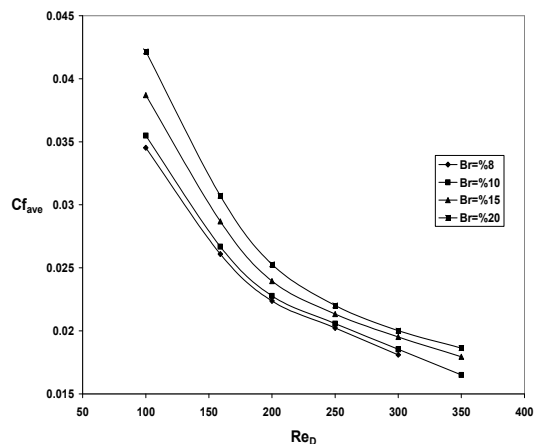
شکل ۱۰- توزیع ضریب اصطکاک سطحی

روی سطح پره $Ar=8$, $Br=10\%$, $Hr=20\%$

اختصاص داده که هرچه عدد رینولدز بیشتر شده ناحیه مذکور بیشتر به شکل دایره نزدیک گردیده است. با افزایش عدد رینولدز ناحیه بازگشتی بزرگتر و از بالا به سمت وسط صفحه منتقل شده است. در مهندسی اکثراً نیاز به داشتن اطلاعات از مقدار متوسط ضریب اصطکاک بر روی سطح پره می باشد تا با استفاده از آن مقدار افت فشار قابل محاسبه باشد. برای این منظور مقادیر ضریب اصطکاک سطحی برای کلیه نقاط روی صفحه جمع و مقدار میانگین آن مشخص شده است. در اشکال ۱۲ تا ۱۳ تغییرات مقدار میانگین ضریب اصطکاک سطحی بر روی صفحه ضخیم برای اعداد رینولدز، نسبت مسدودیت و نسبت ارتفاع مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱۳- تغییرات میانگین ضریب اصطکاک
سطحی با نسبت ارتفاع ($Hr=20$ ، $Ar=8$)



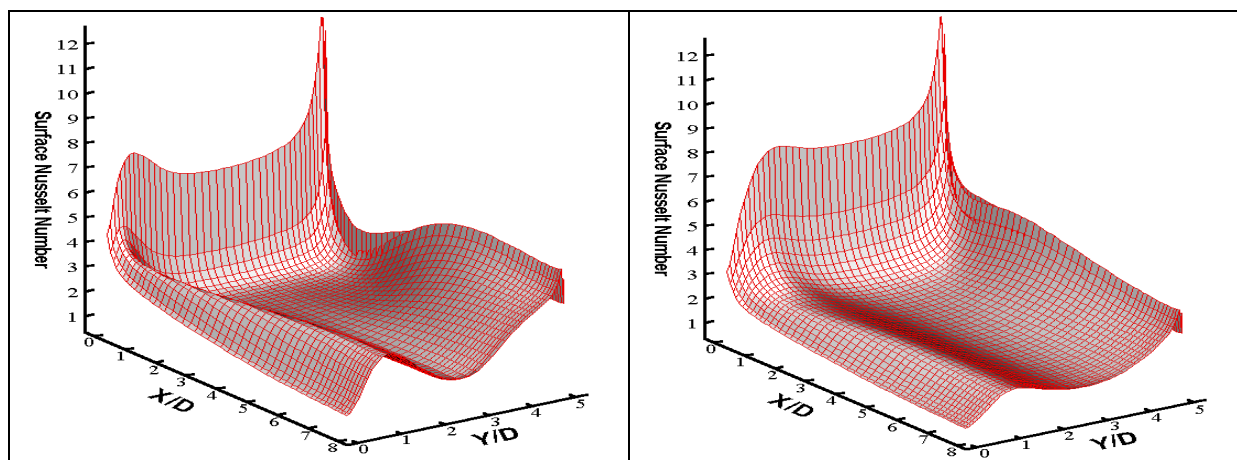
شکل ۱۲- تغییرات میانگین ضریب اصطکاک
سطحی با نسبت مسدودیت ($Hr=20$ ، $Ar=8$)

تغییرات میانگین ضریب اصطکاک با افزایش عدد رینولدز کاهش نشان می دهد، همانگونه که برای جریان دو بعدی بر روی بلوکها نیز این پدیده مشاهده می شود. تغییرات مذکور در شکل ۱۳ برای مقایسه آمده است. شکل ۱۱ نشان می دهد که با افزایش نسبت مسدودیت مقدار Cf_{ave} افزایش یافته بلوک شده بیشتر جریان می باشد. در شکل ۱۳ ملاحظه می گردد که با کاهش نسبت منطری Cf_{ave} در اعداد رینولدز کم افزایش یافته در حالی که تاثیر آن در اعداد رینولدز بالا کاهش یافته است.

۴-۴- توزیع ضریب انتقال حرارت جابجایی

گذشته از بررسی جریان انتقال حرارت در پره های کوتاه و ضخیم در بالاتر بودن عملکرد سطوح مورد توجه می باشد. در ادامه توزیع و تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی به فرم عدد نوسلت بر روی صفحات عمودی پره ضخیم هنگامی که شار گرمایی ناشی از سطوح خارج می شود ارائه گردیده است. در شکل ۱۴ نمودار سه بعدی عدد نوسلت Nu_D برای یک هندسه در اعداد رینولدز ۲۰۰ و ۳۰۰ نشان داده شده است. تغییرات عدد نوسلت مشابه تغییرات ضریب اصطکاک سطحی می باشد که خود از تشابه انتقال حرارت با ضریب اصطکاک دارد. در ابتدای صفحه و همچنین در لبه بالایی صفحه عدد نوسلت زیاد و بتدریج تا وسط صفحه ضخیم کم و افزایش مجدد آن ناشی از اثر تداخل سیال روی سطح پایه با جریان آزاد است. در شکل ۱۵ خطوط ضریب انتقال حرارت جابجایی ثابت نشان داده شده است. شکل توزیع عدد نوسلت Nu_D بر روی صفحه مشابه توزیع دما می باشد با این تفاوت که از نظر مقدار برعکس توزیع دما می باشد. به این معنی که

در موقعیت هایی که کمترین دما مشاهده می شود در همان مکان ها بیشترین ضریب انتقال حرارت جابجایی وجود دارد مقدار Nu_D در کناره لبه ها تقریباً دو برابر ناحیه چرخش است، لذا برای افزایش نرخ گرما باید تلاش شود ناحیه چرخشی کوچکتر و در ناحیه مذکور افزایش دما موجب مشکلات کلی نگردد. مقدار متوسط عدد نوسلت برای محاسبه ضریب انتقال حرارت از روی صفحه موازی جریان در تخمین



رینولدز ۳۰۰

رینولدز ۲۰۰

شکل ۱۴- توزیع عدد نوسلت Nu_D بر روی صفحه ضخیم $Ar=8, Br=10, Hr=20$

جابجایی گرما ضروری است. در ادامه اثرات پارامترهای نسبت مسدودیت و نسبت ارتفاع بر میانگین عدد نوسلت بر روی صفحه ضخیم بررسی گردیده است.

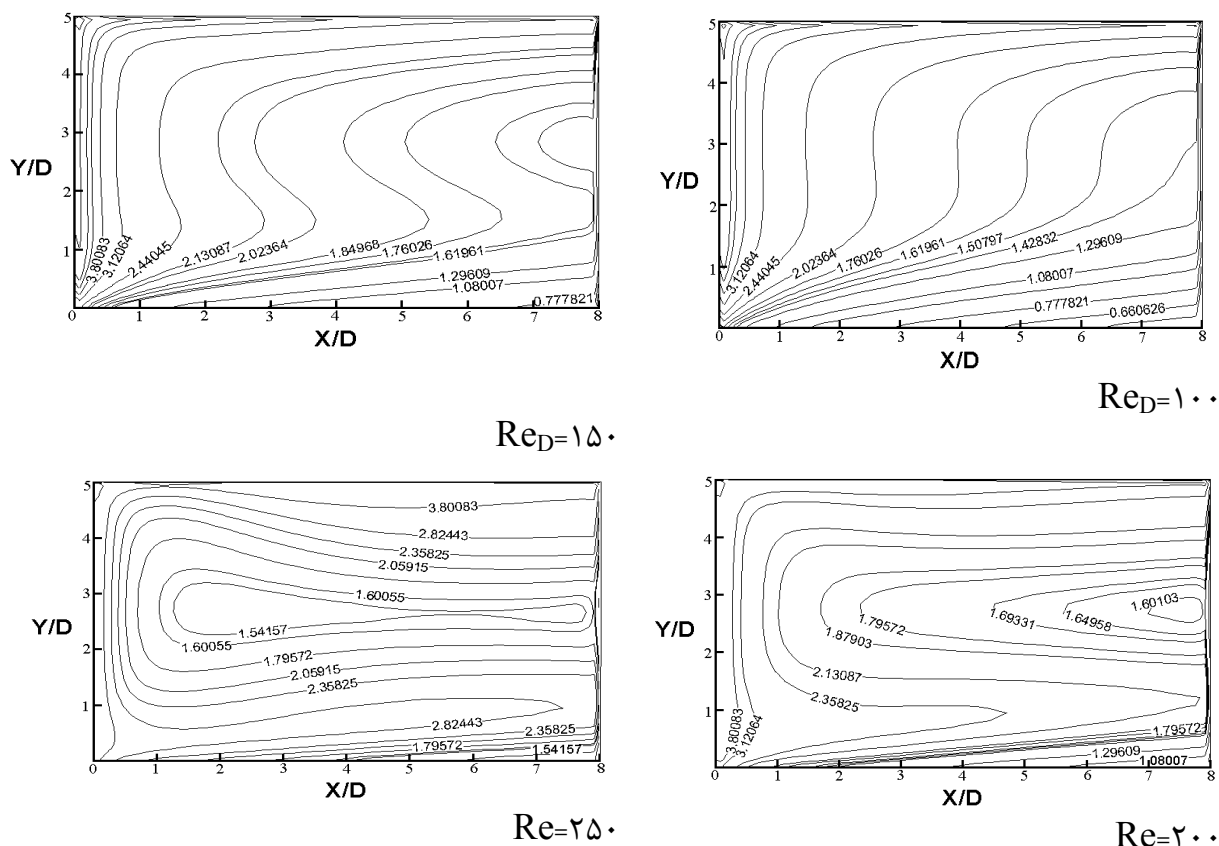
باتوجه به نمودارهای شکل ۱۶ با افزایش نسبت مسدودیت چون سرعت جریان بین دو پره زیاد می شود متوسط عدد نوسلت افزایش می یابد. در این نمودارها همچنین نتایج حاصل با میانگین نوسلت بر روی یک صفحه تخت در حالت دو بعدی که به کمک رابطه (۶) از مرجع [۱۱] ارائه شده مقایسه گردیده است.

$$\overline{Nu_L} = 0.906 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (6)$$

همچنین ملاحظه می گردد که در یک نسبت مسدودیت ثابت با افزایش عدد Re مقدار $\overline{Nu_D}$ بمقدار کمی افزایش داشته و در کلیه حالات توسط نوسلت روی صفحه از جریان دو بعدی بیشتر می شود. در حالی که از اثرات حباب ها و کوتاه بودن ارتفاع و طول صفحه می باشد.

در شکل ۱۷ تغییرات میانگین عدد نوسلت بر روی پره ضخیم با نسبت ارتفاع ارائه شده است. همانطور که مشاهده می گردد تا عدد رینولدز حدود ۱۸۰ با افزایش نسبت ارتفاع متوسط ضریب انتقال حرارت جابجایی

کاهش ولی با افزایش رینولدز از ۱۸۰ این روند معکوس می شود بطوری که با افزایش نسبت ارتفاع ضریب انتقال حرارت نیز افزایش می یابد. علت این پدیده را می توان به این صورت بیان کرد که در اعداد رینولدز پایین به علت ضخیم بودن لایه مرزی ، اثرات بیشتری بر روی صفحات کوتاه (نسبت ارتفاع بالا) نسبت به صفحات بلند دارد و به تبع موجب افزایش لایه مرزی گرما و کاهش ضریب انتقال حرارت جابجایی می شود. در اعداد رینولدز بالاتر از ۱۸۰ با کاهش ضخامت لایه مرزی حاصل از صفحه پایه طول ناحیه بازگشتی بر روی صفحه ضخیم افزایش می یابد و بر اثرات لایه مرزی صفحه پایه غالب می شود. در این حالت برای صفحات با نسبت ارتفاع بالا اثرات لبه بالایی و جلویی پره که در دمای پایینی قرار دارند بر روی کل پره



شکل ۱۵- تغییرات عدد نوسلت Nu_D روی صفحه ضخیم

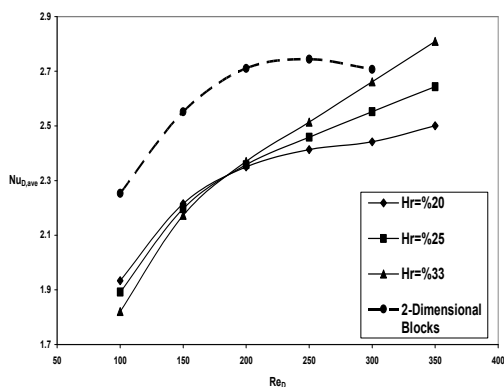
$$Ar=8, Br=0.1, Hr=0.2$$

بیشتر است و میتوان گفت متوسط دمای پره کمتر می باشد، که مربوط به افزایش متوسط ضریب انتقال حرارت جابجایی می گردد. در این شکل نتایج جریان روی یک پره دو بعدی نیمه بینهایت نیز مقایسه گردیده است. ملاحظه می گردد که اثر پایه و سه بعدی بودن جریان تاثیر قابل ملاحظه ای بر $\overline{Nu_D}$ دارد و

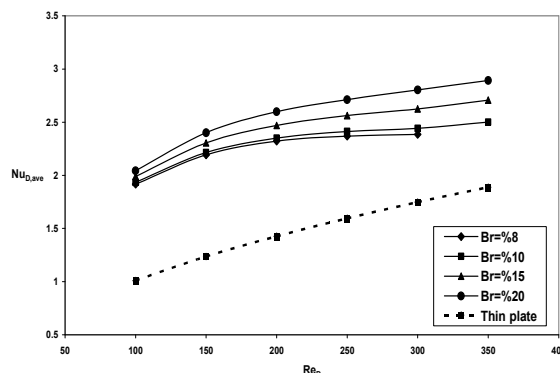
هرچه ارتفاع پره بیشتر شود نتایج دو بعدی و سه بعدی به یکدیگر مشابه تر گردیده که خود گویای صحت نتایج می باشد.

۶- نتیجه گیری

حرکت سه بعدی سیال آرام اطراف پره های کوتاه و ضخیم که روی یک سطح قرار گرفته اند، نشان می دهد که:



شکل ۱۷- تغییرات میانگین عدد نوسلت با نسبت ارتفاع (Ar=8, Hr=0.10)



شکل ۱۶- تغییرات میانگین عدد نوسلت با نسبت مسدودیت (Ar=8, Hr=0.20)

۱- جریان سیال، توزیع سرعت، توزیع ضریب اصطکاک سطحی و عدد نوسلت تابع شدیدی از خصوصیات هندسی پره و فاصله آنها از یکدیگر می باشد.

۲- جریان های چرخشی سه بعدی اختلاف قابل ملاحظه ای با جریانهای چرخشی دو بعدی بر روی بلوک ها دارد. اثر سطح پایه و سرعت جریان در تغییر ناحیه بازگشتی، سبب تغییرات شدید دما از لبه به سمت پایین دست و نقاط گرم در انتهای پره در محل استقرار روی صفحه را نشان می دهد.

۳- میانگین ضریب اصطکاک سطحی با افزایش عدد رینولدز مشابه جریانهای دو بعدی کاهش می یابد ولی با افزایش نسبت مسدودیت، افزایش می یابد.

۴- برای هوا میانگین عدد نوسلت با افزایش عدد رینولدز، افزایش یافته و مشاهده می شود که اثرات نسبت مسدودیت و نسبت ارتفاع تغییرات قابل ملاحظه ای در میانگین عدد نوسلت ایجاد می کند، اما با افزایش Re در هر حالت خاص Nu_D افزایش چشمگیری نداشته است.

مراجع:

- [1] Lane, J.C. and Loehrke, R.I., Leading Edge Separation From a Blunt Plate at Low Reynolds Number, Trans. of ASME, J. Fluid Eng., Vol. 102, pp. 494-496, (1980).
- [2] Djilali, N., Flow and Heat Transfer in an Array of Stacked Plates, HTD. Vol. 210, ASME, pp. 85-90, (1992).
- [3] Kazeminejad, H., Ghamari, M. and Yaghoubi, M.A., A Numerical Study of Convective Heat Transfer From a Blunt Plate at Low Reynolds Number, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 39, pp. 125-133, (1996).
- [4] Ota, T., Asano, and J. Okawa, "Reattachment Length and Transition of the Separated Flow over Blunt Flat Plates", Bull, ASME, J. 24, pp. 941-947, (1981).
- [5] Tafti, D.K. and Vanka, S.P., A Numerical Study of Flow Separation and Reattachment on a Blunt Plate, Physics of Fluids, A3, pp. 1749-1759.
- [6] Tafti, D.K., Vorticity Dynamics and Scalar Transport in Separated and Reattached Flow on a Blunt Plate, Physics of Fluids, A5, pp. 1661-1637, (1993).
- [7] Ota, T. and Yanaoka, H., Numerical Analysis of a Separated and Reattached Flow and Heat Transfer Over a Blunt Flat Plate, ASME/JSME Therm. Eng. Conf. 1, pp. 393-400, (1995).
- [8] یعقوبی - محمود و آتشکدی - پورنگ ، بررسی نیروهای دینامیکی در جریان لایه ای غیردائم اطراف یک صفحه ضخیم با طول محدود ، نشریه پژوهشی انجمن مهندسان مکانیک ایران ، سال دوم ، شماره یک ، صفحات ۶۷-۵۷ ، ۱۳۷۷.
- [9] Rahnama, M., Yaghoubi, M. and Sabzevari, A., Turbulent Wind Flow Patterns and Pressure Fields Across a Tall Building, Wind Eng., Vol. 20, pp. 241-257, (1996).
- [10] Igarashi, T., Heat Transfer From a Square Prism to an Air Stream, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 28, pp. 175-181, (1985).
- [11] Incropera, F.P. and Dewitt, D.P., Introduction to Heat Transfer, John Wiley & Sons, Fourth Edition, (1996).