

اثر نسبت ابعادی یک مقطع مستطیلی در شکل‌گیری عدد اشتروهاال و تاثیر آن در تحریک لایه مرزی روی یک صفحه تخت

داوود خدادادزاده

کارشناس ارشد مکانیک-تبدیل انرژی

محسن کهرم

دانشیار گروه مکانیک

دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد

صندوق پستی ۱۱۱۱-۹۱۷۷۵

Kahrom_m@yahoo.com

چکیده

در این مقاله یک مانع مستطیلی در مسیر جریان آزاد قرار داده می‌شود و تاثیر نسبت ابعادی مقطع مستطیل (C/t) در شکل‌گیری و تعداد گردابه‌های رها شده از انتهای مانع بر حسب تغییرات (C/t) مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. سپس مقطع مستطیلی به سمت یک صفحه تخت که با جریان اصلی در حال تبادل حرارت است میل داده می‌شود و اثر فاصله C/t مقطع بر ضریب انتقال حرارت از صفحه تخت و تاثیر لایه مرزی بر شکل‌گیری گردابه‌ها و عدد اشتروهاال بررسی می‌شود. برای شبیه‌سازی جریان مغشوش از مدل $K-\epsilon$ اصلاح شده و گسسته‌سازی معادلات جریان از تقریب سه جمله ای QUICK و روش حجم محدود استفاده شده است. با توجه به نوع پدیده و عدد رینولدز جریان (حدود ۵۰۰۰ برحسب ضخامت مقطع مستطیلی)، معادلات جریان در شکل گذرا و در دستگاه مختصات کارتیزین دو بعدی، غیر قابل تراکم بررسی شده‌اند. نشان داده می‌شود که تغییرات عدد اشتروهاال در بیرون لایه مرزی بصورت پله‌ای تابعی از تغییرات نسبت C/t است. با نزدیک شدن مقطع به دیواره، عدد اشتروهاال به سمت صفر میل کرده و خاصیت رهایی تناوبی گردابه به حضور دائمی یک گردابه با نوسانات ابعادی، تبدیل می‌شود. ملاحظه می‌شود که نزدیک شدن مقطع به صفحه تخت تاثیر قابل توجهی بر ضریب انتقال حرارت از صفحه دارد.

واژه‌های کلیدی: مانع مستطیلی، عدد اشتروهاال، رهایی گردابه، ضریب انتقال حرارت، متد کوئیک (QUICK)

۱. مقدمه

در بیشتر کاربردهای مهندسی نیاز به افزایش و یا کاهش انتقال حرارت می‌باشد، ولی مشکل اصلی در این موارد محدودیت کاهش یا افزایش سطح است. در چنین موارد راه حل مناسب ایجاد تغییرات در ضریب انتقال حرارت می‌باشد. ضریب انتقال حرارت جابجایی به خواص سیال و ویژگیهای جریان سیال بستگی دارد. در خیلی از موارد نوع سیال قابل تغییر نیست و تنها عاملی که می‌تواند برای کنترل انتقال حرارت به کار رود ویژگی‌های جریان سیال بستگی دارد. در خیلی از موارد نوع سیال قابل تغییر به علت وجود لزجت در کنار سطح جامد لایه مرزی تشکیل می‌شود. این لایه نقش یک لایه مقاوم در برابر انتقال حرارت را ایفا می‌کند. با تغییر الگو جریان درون لایه مرزی می‌توان ضریب انتقال حرارت را تغییر داد. روش‌های متعددی برای ایجاد این تغییرات مورد آزمایش و تحقیق قرار گرفته و نتایج مختلفی حاصل گردیده است. اساس تحریک لایه مرزی بهره‌گیری از پدیده‌های مختلف سیالاتی، نظیر نقطه سکون، گردابه جدایش لایه مرزی، ایجاد جت سیال درون لایه مرزی و غیره می‌باشد. استفاده از این پدیده‌ها الگوی جریان درون لایه مرزی به هم خورده و ضخامت لایه مرزی تغییر می‌کند. یک روش عمده برای ایجاد این پدیده‌ها استفاده از موانع خارجی درون لایه مرزی و یا ایجاد برجستگی‌ها و فرورفتگی‌ها بر روی خود سطح می‌باشد. بسته به هندسه مورد استفاده می‌توان یک یا ترکیبی از این پدیده‌های سیالی را به وجود آورد. هر یک از این پدیده‌ها اثر

خاصی بر میزان انتقال حرارت دارد. وجود موانع در مسیر جریان اغلب با رهایی گردابه‌ها به سبب نیروهای دینامیکی در روی جسم همراه می‌باشد. رها شدن این گردابه‌ها بصورت متناوب و بوجود آمدن میدان سرعت نوسانی در پشت جسم سبب آسیب‌های جدی به آن می‌شود و باعث کوتاه شدن عمر آن و افزایش نیروی درگ و همچنین سبب بوجود آمدن سروصدا در این اجسام می‌شود. بنابراین بسیار مهم است تا مکانیزم رهایی گردابه‌ها بر روی اجسام را بدانیم. تحقیقات بسیار زیادی در این زمینه به صورت آزمایشگاهی و عددی انجام شده است.

Nakamura [۱] در سال ۱۹۹۱ جریان اطراف یک مانع مستطیلی را مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق، که در $Re = 1000$ انجام شد مشاهده شد که عدد اشتروهال بر مبنای طول با افزایش نسبت طول به ضخامت (C/t) به صورت پله‌ای افزایش می‌یابد. برای صفحات با نسبت $3.2 < C/t < 7.6$ لایه برشی سیال در لبه حمله بطور مستقیم لبه پشتی را تحت تاثیر قرار می‌دهد که این عمل منجر به ضربه فشاری در لبه پشتی می‌شود که لایه برشی سیال در لبه حمله را کنترل می‌کند.

Mills [۲] به این نتیجه رسید که برای موانع بزرگتر از نسبت $C/t = 8$ لایه برشی بطور مستقیم لبه پشتی را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد، بلکه گردابه‌هایی در لبه حمله بوجود می‌آید که پس از جابجا شدن به سمت پایین دست، لبه پشتی را تحت تاثیر قرار می‌دهند که این عمل منجر به امواج فشاری در پشت مانع می‌شود که به بالا دست منتقل می‌شوند و رها شدن گردابه‌ها در لبه حمله را کنترل می‌کنند (حلقه فیدبک). این امواج رها شدن گردابه‌های دوم و سوم و غیره را نیز کنترل می‌کنند. تغییرات پله‌ای عدد اشتروهال نیز در این تحقیق مشاهده شد.

Okajima, Ozono, Ohya [۳ و ۴] در سال ۱۹۹۲ به تغییرات مشابه عدد اشتروهال با نسبت C/t در عدد رینولدز 1000 برای موانع با نسبت C/t بین ۳ تا ۹ رسیدند. اما برای نسبت‌های بزرگتر حلقه فیدبک به اندازه کافی قوی نیست تا رها شدن گردابه‌ها را کنترل کند و در نتیجه به یک فرکانس منفرد دست نمی‌یابند. در اعداد رینولدز بالا Welsh در سال ۱۹۸۶ ($Re = 30000 - 15000$) [۵] و Mills در سال ۱۹۹۵ ($Re = 9000$) [۶]، به این نتیجه رسیدند که بجز موانع خیلی کوتاه (تقریباً ۳) حلقه فیدبک به اندازه کافی قوی نیست تا رها شدن گردابه‌ها در لبه حمله را کنترل کند و بنابراین تغییرات پله‌ای مشاهده نشد.

در تحقیقاتی که Hourigan, Thompson [۷] در سال ۱۹۹۸ در عدد رینولدز ۴۰۰ انجام دادند، نشان دادند که موانع مستطیلی با نسبت $C/t = 3 - 10$ به فرکانس خاصی دست می‌یابند و تغییرات پله‌ای برای عدد اشتروهال به وجود می‌آید. در آزمایشی که Mills, Shedrin, Hourigan [۸] در سال ۲۰۰۲ در تونل آب در $Re = 490$ برای مانع مستطیلی انجام دادند، تغییرات پله‌ای عدد اشتروهال برای موانع $C/t = 6 - 10$ مشاهده شد.

D.K.Maiti و Bhattacharyya [۹] در سال ۲۰۰۴ جریان اطراف یک سیلندر مربعی که موازی با دیواره و در داخل لایه مرزی قرار گرفته، مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق، جریان آرام ($Re = 1400$) فرض شده و سیلندر در فواصل مختلف از صفحه واقع شده است. نتایج حاکی از کاهش عدد اشتروهال و افزایش نیروی درگ با کاهش فاصله مانع تا صفحه است.

در این مقاله یک مانع مستطیلی در مسیر جریان آزاد قرار داده می‌شود و تاثیر نسبت ابعادی (C/t) مقطع مستطیلی در شکل‌گیری و تعداد گردابه‌های رها شده از انتهای مانع بر حسب تغییرات (C/t) مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. برای شبیه‌سازی جریان مغشوش از مدل $K-\epsilon$ اصلاح شده و گسسته‌سازی معادلات جریان از تقریب سه جمله ای QUICK و روش حجم محدود استفاده شده است. با توجه به نوع پدیده و عدد رینولدز جریان (حدود ۵۰۰۰)، معادلات جریان در شکل گذرا و در دستگاه مختصات کارتزین دوبعدی، غیر قابل تراکم بررسی شده‌اند. سپس مقطع مستطیلی به سمت یک صفحه تخت که با جریان اصلی در حال تبادل حرارت است میل داده می‌شود و اثر فاصله C/t بر ضریب انتقال حرارت از صفحه تخت و تاثیر لایه مرزی بر شکل‌گیری گردابه‌ها و عدد اشتروهال بررسی می‌شود.

۲. معادلات حاکم

در جریانهای مغشوش می‌توان مقدار لحظه‌ای مولفه‌های سرعت و فشار را حاصل یک مقدار میانگین و یک مقدار نوسانی در نظر گرفت با جایگذاری این پارامترها در معادلات ناویر-استوکس و ساده سازی خواهیم داشت:

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial X_i} = 0 \quad (۱)$$

$$\frac{D\bar{U}_i}{Dt} = -\frac{\partial \hat{P}}{\rho \partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_i} (v \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial X_i} - \overline{u'_i u'_j}) \quad (۲)$$

همچنین با توجه به استفاده از مدل دو معادله‌ای $K-\varepsilon$ با اصلاح لاندر-شارما، معادلات K و ε به صورت زیر می‌باشند:

$$\frac{DK}{Dt} = \frac{\partial}{\partial X_i} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial K}{\partial X_i} \right] + (-\overline{u'_i u'_j}) \left[\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial X_j} \right] - \varepsilon \quad (۳)$$

$$\frac{D\bar{\varepsilon}}{Dt} = \frac{\partial}{\partial X_i} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial X_i} \right] + C_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\bar{\varepsilon}^2}{K} + C_{\varepsilon 1} f_1 \frac{\bar{\varepsilon}}{K} (-\overline{u'_i u'_j}) \left[\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial X_j} \right] + E \quad (۴)$$

بطوریکه تعدادی از ضرایب و تعاریف این معادلات به صورت زیر می‌باشد.

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u_i \frac{\partial}{\partial X_i} \quad (۵)$$

$$-\overline{u'_i u'_j} = v_t \left(\frac{\partial \bar{U}_j}{\partial X_i} + \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial X_j} \right) \quad (۶)$$

$$v_t = C_\mu f_\mu \frac{K^2}{\bar{\varepsilon}} \quad (۷)$$

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon - D \quad (۸)$$

$$f_\mu = \text{Exp} \left[\frac{-3.4}{(1 + R_t/50)^2} \right], \quad f_1 = 1.0, \quad f_2 = 1.0 - 0.3 \text{Exp}[-R_t^2] \quad (۹)$$

$$D = 2\nu \left(\frac{\partial \sqrt{K}}{\partial X_i} \right) \left(\frac{\partial \sqrt{K}}{\partial X_i} \right) \quad (۱۰)$$

$$E = 2\nu v_t \left(\frac{\partial^2 \bar{U}_i}{\partial X_j \partial X_k} \right) \left(\frac{\partial^2 \bar{U}_i}{\partial X_j \partial X_k} \right) \quad (۱۱)$$

$$R_t = \frac{K^2}{\nu \bar{\varepsilon}} \quad (۱۲)$$

جمله $-\rho \overline{u'_i u'_j}$ در معادله مومنتوم به تنش رینولدز معروف است. تنش برشی کل جریان مغشوش برآیند تنش برشی ناشی از لزجت سیال (τ_l) و تنش برشی ناشی از حرکت مغشوش سیال (τ_t) می‌باشد.

$$\tau = \tau_l + \tau_t \quad (۱۳)$$

$$\tau_l = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (۱۴)$$

$$\tau_t = -\rho \overline{u'_i u'_j} \quad (۱۵)$$

بونسینسک پیشنهاد کرده است که تنش برشی مغشوش به صورت زیر نوشته شود:

$$\tau_t = \rho \varepsilon_m \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -\overline{\rho u'v'} \quad (16)$$

که ε_m ضریب پخش مغشوش اندازه حرکت می‌باشد. [۱۲ و ۱۱ و ۱۰]

عدد اشتروهل نیز بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$St_c = \frac{fC}{U} \quad (17)$$

که f فرکانس رهایی گردابه‌ها، C طول مانع و U سرعت جریان سیال می‌باشد. St_c عدد اشتروهل بر مبنای طول هستند.

۳. روش حل

برای تبدیل معادلات دیفرانسیلی حاکم به شکل انحصالی آن، از روش حجم محدود استفاده شده است. انفصال جملات جابجایی و پخش با استفاده از طرح QUICK که از یک درون‌یابی درجه دوم تعدیل شده بالادست سه نقطه‌ای برای مقادیر سطح سلول استفاده می‌کند، انجام شده است. مقدار ϕ روی سطح، از یک تابع درجه دوم گذرنده از دو گره همسایه سطح و یک گره در بالادست به دست می‌آید. انفصال جملات زمانی نیز با استفاده از طرح تفاضلی پیشرو می‌باشد. حل نهایی مجموعه معادلات جبری بدست آمده روی شبکه جابجا شده غیر یکنواخت و با استفاده از روش TDMA و برای حل میدان فشار از روش اصلاح شده سیمپل (Simplex) استفاده شده است. میدان حل با استفاده از یک شبکه بندی متعامد غیر یکنواخت 130×180 به مجموعه ای از گرهای تبدیل شده است که اندازه شبکه در اطراف صفحه تخت و مانع مستطیلی ریزتر در نظر گرفته شده است. در شکل (۱) شبکه بندی مورد استفاده در اطراف مانع نشان داده شده است.

۴. هندسه و شرایط مرزی

جریان هوا با سرعت 14 m/s ($Re = 8.4 \times 10^5$) و دمای 20°C به موازات صفحه تخت با دمای ثابت 70°C جریان دارد. یک مانع مستطیلی به ضخامت 8 میلی‌متر و طول متغیر $16, 32, 40, 64$ میلی‌متر در فاصله 35 سانتیمتری از ابتدای صفحه در فواصل متغیر $(d = 2, 11.6, 22, 50 \text{ mm})$ واقع شده است. هندسه کلی و میدان حل جریان در شکل (۲) نشان داده شده است. برای محاسبه سرعت در ورودی از پروفیل Von Karman استفاده شده است. K و ε در ورودی به شکل زیر محاسبه شده است:

$$K_{(ly,1)} = \sum_{i=0}^{10} a_i \cdot \alpha^i \quad (18)$$

$$D(Iy,1) = 2v \left(\sum_{i=0}^q a_i \cdot \alpha^i \right) \times \frac{0.5}{\sqrt{(K(Iy,1) - Tiny)}} \quad (19)$$

$$\varepsilon(Iy,1) = \sum_{i=0}^q a_i \cdot \alpha^i \quad (20)$$

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon - 2v \left(\sum_{i=0}^q a_i \cdot \alpha^i \right) \times \frac{0.5}{\sqrt{(K(Iy,1) - Tiny)}} \quad (21)$$

که در آن a_i مقادیر ثابت و $a = \frac{y(j)}{\delta}$ می‌باشد و Tiny مقدار ثابت و بسیار کوچکی است.

طول صفحه پشت مانع 65 سانتیمتر بوده، بنابراین تغییرات پارامترها در انتهای صفحه و در امتداد جریان، ناچیز در نظر گرفته شده است و می‌توان مشتقات تمامی پارامترها نسبت به X را صرف نظر نمود. ارتفاع میدان شبکه‌بندی شده حدود 15 برابر پهنای مانع در نظر گرفته تا بتوان از تغییرات پارامترها در امتداد Y روی مرز بالا نیز صرف نظر کرد.

۵. بررسی نتایج

با توجه به اینکه معادلات گذرای جریان مورد حل واقع گشته است، بنابراین مدت زمانی از ابتدای حل لازم است تا اینکه شرایط پرئودیک بر مساله حاکم گردد. در شکل (۳) تغییرات تنش فشاری در پائین دست مانع برای مانع با نسبت ابعادی $C/t=2$ برحسب زمان رسم شده است. مشاهده می‌شود که جریان بعد از یک مدت زمان معینی به حالت پرئودیک می‌رسد و تغییرات نیروی فشاری پشت مانع ثابت می‌شود. چنین موقعیتی در تمام حالات این تحقیق برای بررسی نتایج مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱-۵. عدد اشتروهال

تغییرات عدد اشتروهال بر مبنای طول با افزایش نسبت C/t در فاصله ۵۰ میلیمتری از صفحه تخت در شکل (۴) نشان داده شده است. همانند تحقیقات انجام شده [۸] مشاهده می‌شود که موانع با نسبت $C/t=\{4\text{ و }5\}$ از لحاظ رهایی گردابه در یک گروه قرار می‌گیرند و عدد اشتروهال در این موانع تقریباً ثابت است. با افزایش طول مانع ($C/t=8$) که تعداد گردابه‌های روی مانع نیز بیشتر می‌شود رهایی گردابه‌ها در پشت مانع افزایش می‌یابد و در نتیجه عدد اشتروهال جهش می‌یابد و در پله بالاتری قرار می‌گیرد. تعداد گردابه‌ها روی موانع با نسبت ابعادی مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است.

با کاهش فاصله مانع تا فاصله ۲۲ میلیمتری از صفحه تخت، که بخشی از مانع در لایه مرزی قرار می‌گیرد، به دلیل وجود گرادیان سرعت در سمتی که داخل لایه مرزی فرو رفته است و عدم تقارن توزیع سرعت، تعداد گردابه‌ها و در نتیجه فرکانس رهایی گردابه‌ها کاهش می‌یابد (شکل (۶)). در این حالت نیز موانع با نسبت ابعادی $C/t=\{4\text{ و }5\}$ در یک گروه یا در یک مقدار از عدد اشتروهال قرار می‌گیرند. در شکل (۷) گردابه‌های روی مانع برای نسبت ابعادی مختلف در فاصله ۲۲ میلیمتری از صفحه تخت نشان داده شده است. برای مانع $C/t=2$ مشاهده می‌شود که لایه برشی جدا شده از سطح بطور مستقیم بر لبه پشتی تاثیر می‌گذارد و گردابه‌ای در لبه حمله تشکیل نمی‌شود. در موانع با $C/t=\{4\text{ و }5\}$ نیز مشاهده می‌شود که تعداد گردابه‌ها روی مانع نسبت به حالت قبل کاهش می‌یابد. برای مانع با $C/t=8$ نیز کاهش تعداد گردابه‌ها و در نتیجه کاهش فرکانس رهایی گردابه‌ها به وضوح دیده می‌شود.

با کاهش فاصله مانع تا صفحه تخت و قرار دادن آن به صورت کامل در لایه مرزی مشاهده می‌شود که در ابتدا گردابه‌ها روی مانع تشکیل می‌شوند و در امتداد طول آن جابجا می‌شوند ولی بعد از یک مدت زمانی که جریان به حالت پایدار می‌رسد گردابه‌های روی مانع از بین می‌روند و فقط در لبه بالایی مانع و در پشت آن گردابه وجود دارد. گردابه در لبه بالایی مانع در روی سطح آن جابجایی ندارد و رها شدن گردابه‌ها در پشت مانع بسیار ضعیف می‌شود. در شکل (۷) گردابه‌های روی و پشت مانع در لحظات ابتدایی که هنوز جریان به حالت پایدار نرسیده برای مانع با نسبت $C/t=5$ در فاصله ۶ میلیمتری از صفحه تخت نشان داده شده است. در فواصل ۲ و ۱۱ میلیمتری نیز همین نتایج حاصل می‌شود. در جدول (۱) تغییرات عدد اشتروهال برای نسبت ۲، ۴، ۵، ۸ و $C/t=2$ و در فواصل مختلف از صفحه تخت نشان داده شده است.

۲-۵. تغییرات ضریب انتقال حرارت موضعی

تغییرات ضریب انتقال حرارت موضعی در طول صفحه برای مانع $C/t=2$ در فواصل مختلف از صفحه تخت در شکل (۸) نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است قبل از مانع تغییرات ضریب انتقال حرارت تقریباً همانند صفحه تخت روند کاهشی طی می‌کند. در نزدیکی مانع روند کاهشی ضریب انتقال حرارت به علت کاهش سرعت جریان هنگام برخورد به مانع افزایش می‌یابد. به محض رسیدن جریان به مانع به علت افزایش سرعت و تشکیل جت زیر مانع یک افزایش در ضریب انتقال حرارت مشاهده می‌شود. بلافاصله بعد از مانع یک افزایش در ضریب انتقال حرارت مشاهده شده که در اثر تشکیل گردابه و همچنین کمتر بودن دمای مانع از جریان اطراف آن می‌باشد. اختلاف دمای مانع و جریان باعث کاهش دمای جریان اطراف مانع می‌شود و کاهش دمای جریان در اطراف این مانع باعث افزایش اختلاف دمای جریان و صفحه در این ناحیه شده و با توجه به تاثیر این تغییرات بر زیر لایه آرام باعث افزایش ضریب انتقال حرارت می‌شود. موج فشاری سینوسی در پشت مانع سبب افزایش یا کاهش ضریب انتقال حرارت می‌شود. این روند تا انتهای صفحه و تا جایی که گردابه‌ها و به دنبال آن نوسانات

جریان به طور کامل از بین نرفته‌اند ادامه دارد و بعد از آن جریان و در نتیجه ضریب انتقال حرارت روند عادی خود یعنی شکلی همانند جریان روی صفحه تخت پیدا می‌کند. حرکت سیال در جهت عمود بر سطح ناشی از رشد لایه مرزی در جهت طول صفحه است. همانطور که مشاهده می‌شود، نوسانات جریان باعث تغییر ضریب انتقال حرارت می‌گردد. در هر ناحیه‌ای که خطوط جریان به سمت بالا است ضریب انتقال حرارت رشد داشته که به خاطر انتقال بهتر انرژی از صفحه به لایه‌های بالاتر جریان می‌باشد ولی هرگاه خطوط جریان به سمت پایین یا رو به صفحه می‌باشد ضریب انتقال حرارت کاهش یافته است. مشاهده می‌شود که روند توضیح داده شده در همه حالات دیده می‌شود. با توجه به نمودارها، با افزایش فاصله مانع از صفحه ضریب انتقال حرارت روند نزولی طی می‌کند، زیرا اثر مانع بر لایه مرزی کاهش پیدا می‌کند. ولی با کاهش فاصله مانع تا صفحه، لایه مرزی به شدت تحریک می‌شود، زیرا سرعت جت زیر مانع افزایش یافته و باعث از بین رفتن زیر لایه آرام می‌گردد و این تحریکات اثر خود را بر زیر لایه آرام که مبنای محاسبه h_x می‌باشد، نیز افزایش می‌دهد. در فواصل ۲، ۶ و ۱۱ میلیمتری که مانع کاملاً داخل لایه مرزی قرار گرفته و به زیر لایه آرام نزدیک می‌شود تغییرات ضریب انتقال حرارت بسیار شدید می‌شود.

به منظور تاثیر افزایش طول مانع بر ضریب انتقال حرارت، در شکل‌های (۹) و (۱۰) به ترتیب ضرایب انتقال حرارت موانع $\{5, 8\}$ در $C/t =$ در فواصل مختلف از صفحه تخت رسم شده است. همانطور که در شکلها مشخص است روند عمومی نمودارها در فواصل مختلف تقریباً مشابه روند توضیح داده شده در مورد مانع با $C/t = 2$ است. افزایش ضریب انتقال حرارت به علت جت بوجود آمده در ابتدای مانع تقریباً در سه مانع $\{2, 5, 8\}$ در $C/t =$ در فواصل مختلف از صفحه تخت یکسان است ولی طول جت با افزایش طول مانع زیاد می‌شود. در فاصله ۲ میلیمتر از صفحه تخت با افزایش طول مانع، مقدار کاهش بوجود آمده در ضریب انتقال حرارت، در طول مانع نیز بیشتر می‌شود.

۳-۵. تغییرات ضریب انتقال حرارت متوسط مکانی

ضریب انتقال حرارت متوسط مشخص کننده افزایش ضریب انتقال حرارت در یک طول معین می‌باشد. بنابراین یکی از موضوعات مهم در مهندسی ضریب انتقال حرارت متوسط است.

با توجه به کاهش ضریب انتقال حرارت موضعی با افزایش مانع از صفحه، ضریب انتقال حرارت متوسط نیز کاهش می‌یابد. بعنوان مثال طبق شکل (۱۱) هنگامیکه مانع در فاصله ۲ میلیمتری صفحه قرار دارد، ضریب انتقال حرارت متوسط تا حدود ۲/۵ برابر ضریب انتقال حرارت روی صفحه تخت نیز می‌رسد. با توجه به افزایش ضریب انتقال حرارت موضعی در اطراف مانع ضریب انتقال حرارت متوسط نیز در این نواحی افزایش داشته است. مشاهده می‌شود که تحریک لایه مرزی در فاصله ۲ میلیمتری از صفحه تخت از همه حالات بیشتر است و بنابراین افزایش ضریب انتقال حرارت در این فاصله بیشتر است.

۶. جمع بندی

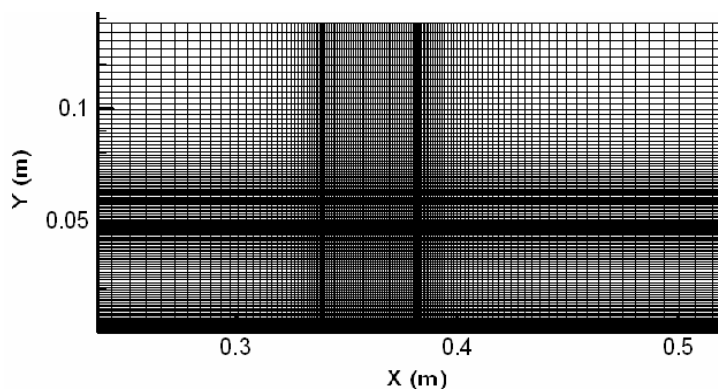
در این مقاله تاثیر نسبت ابعادی مقطع (C/t) مستطیل واقع شده در جریان آزاد بر شکل‌گیری و تعداد گردابه‌های رها شده از انتهای مانع بر حسب تغییرات (C/t) مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نشان داده شد که تغییرات عدد اشتروهل بصورت پله‌ای تابعی از تغییرات نسبت C/t است. سپس مقطع مستطیلی به سمت یک صفحه تخت که با جریان اصلی در حال تبادل حرارت است میل داده شد و اثر فاصله C/t بر ضریب انتقال حرارت از صفحه تخت و تاثير لایه مرزی بر شکل‌گیری گردابه‌ها و عدد اشتروهل بررسی شد. ملاحظه شد که با نزدیک شدن مقطع به صفحه تخت تاثیر قابل توجهی بر ضریب انتقال حرارت از صفحه دارد. برای برخی نسبت‌های ابعادی و بعضی فاصله‌ها از صفحه، این ضریب انتقال حرارت بطور متوسط تا ۵۰٪ و بطور موضعی تا ۳ برابر افزایش می‌یابد. همچنین رهایی پرودیک گردابه‌ها از دو طرف مقطع با نزدیک شدن مقطع به صفحه تخت به تدریج یکطرفه و در نهایت به حالت یک گردابه پایدار در آمد. نتایج بدست آمده تاثیر قابل توجه افزایش ضریب انتقال حرارت از یک دیواره در حضور یک مقطع مستطیلی را تأیید می‌کند. همچنین نشان داده شد که با نزدیک شدن مقطع به دیواره، عدد اشتروهل به سمت صفر میل کرده و خاصیت رهایی تناوبی گردابه به حضور دائمی یک گردابه با نوسانات ابعادی، تبدیل می‌شود.

- [1] Nakamura, Y., Ohya, Y. & Tsuruta, H. 1991." Experiments on vortex shedding from flat plates with square leading and trailing edges". J. Fluid Mech. 222, 437-447.
- [2] Mills,R.,Sheridan,J.,Hourigan,K.and Welsh,M.C. (1995),"The Mechanism Controlling Vortex Shedding from Rectangular Bluff Bodies",Proceeding of the Twelfth Australasian Fluid Mechanics Conference , December , Sydney, Australia,227-230
- [3] Okajima,A., Ueno , H. and Sakai ,H.(1992)," Numerical Simulation of Laminar and Turbulent Flows around a Rectangular Cylinder",International Journal for Numerical Method in Fluids
- [4] Ohaya,Y.,Nakamura,Y,Ozono,S.,Tsuruta,H.and Nakayama,R.(1992) "A Numerical Study of Vortex Shedding from Flat Plate With Square Leading and Trailing Edge,Journal of Fluid Mechanics",236,445-460
- [5] Stokes, A. N. & Welsh, M. C. 1986 "Flow-resonant sound interaction in a duct containing a plate."Part II: Square leading edge. J. Sound Vib. 104, 55-73.
- [6] Mills,R., Sheridan , J., Hourigan, K. and Weksh, M.C. (1995),"The Mechanism Controlling Vortex Shedding from Flat Plate With Squire Leading Edge and Trailing Edge ", Journal of Fluid Mechanics, 15 ,1025-1036
- [7] Tan B.T., Thompson M.C. and Hourigan K., "Simulated Flow around Long Rectangular Plates under Cross Flow Perturbations" , Int. J. Fluid Dynamics, 2, 1998, Article 1.
- [8] By RICHARD MILLS, JOHN HERIDAN AND KERRY HOURIGAN "Particle image velocimetry and visualization of natural and forced flow around rectangular cylinders", Department of Mechanical Engineering, Monash University 3800, Australia, 7 October 2002)
- [9] Bhattacharyya,S.,Maiti,D.K.,"Shear flow past a square cylinder near a wall",Indian Institute of Technology – Kharagpur,2004
- [10] Schlichting ,H,"Boundary-Layer Theory",2000
- [11] Paulo J.Oliveria, "On The Numerical Implementation Of Nonlinear Viscoelastic Model in a Finite-Volume Method", Numerical Heat Transfer,part B,40:283-301,2001
- [12] Kays. W.M." Convection Heat and Mass Transfer", Mc Graw-Hill book Compang, New York, 1994

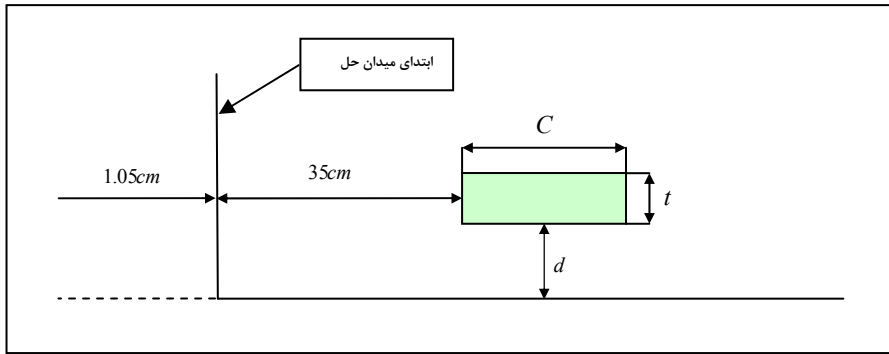
جداول، منحنی ها و اشکال

جدول ۱. تغییرات عدد اشتروهال با نسبت C/t متغیر در فواصل مختلف از صفحه تخت

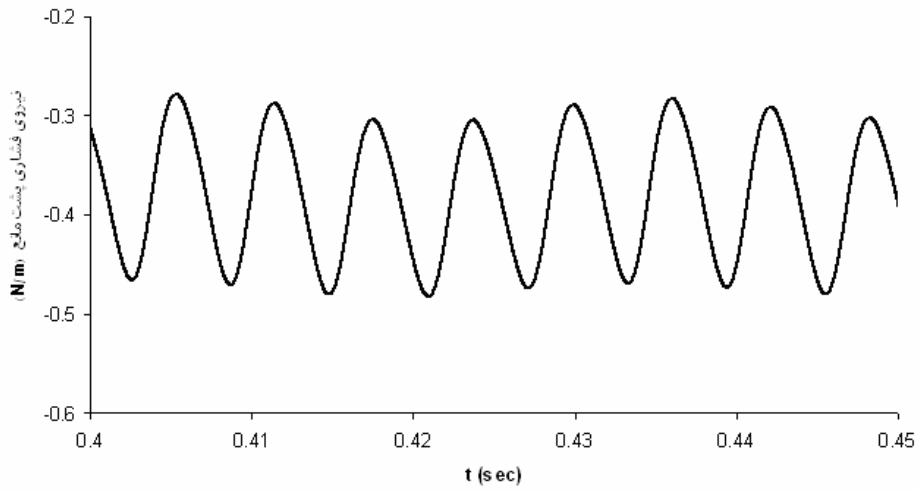
۸	۵	۴	۲	C/t فاصله از صفحه تخت (mm)
۱,۳۷	۰,۹۵۷	۰,۹۷۵۲	۰,۴۲۶۶	۵۰
۰,۹۱۴	۰,۵۶	۰,۵۰۷	۰,۳۱۹	۲۲
۰,۱۹۳	۰,۱۷۱	۰,۱۵۳	۰,۱۴۵	۱۱
۰,۱۸۴	۰,۱۶۸	۰,۱۴۷	۰,۱۴۲	۶
۰,۱۶۳	۰,۱۴۳	۰,۱۳	۰,۱۰۵	۲



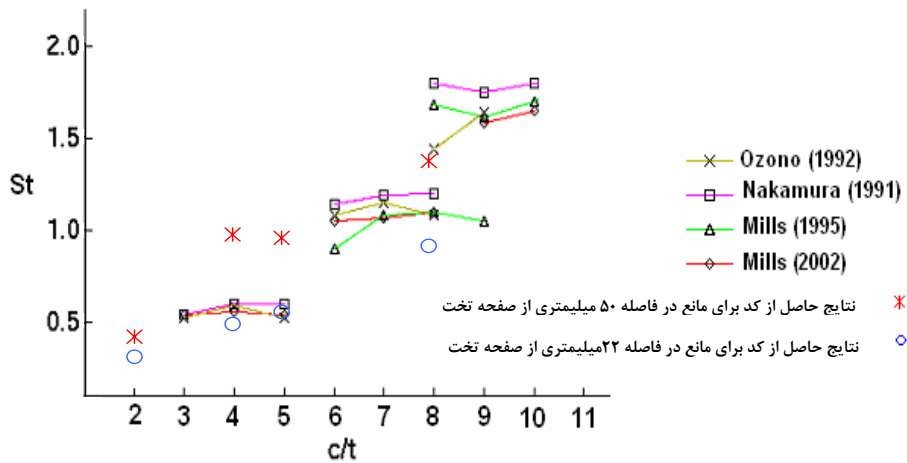
شکل ۱. شبکه بندی اطراف مانع در روی صفحه تخت



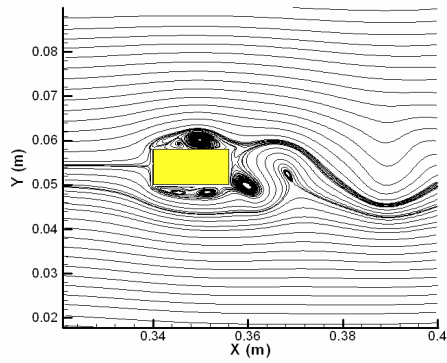
شکل ۲. هندسه و میدان حل جریان



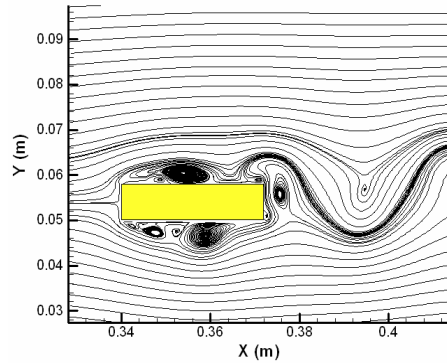
شکل ۳. تغییرات نیروی فشاری پشت مانع ناشی از رهایی گردابه ها، نسبت به زمان برای مانع $C/t=2$ در فاصله ۱۱ میلیمتری از صفحه تخت



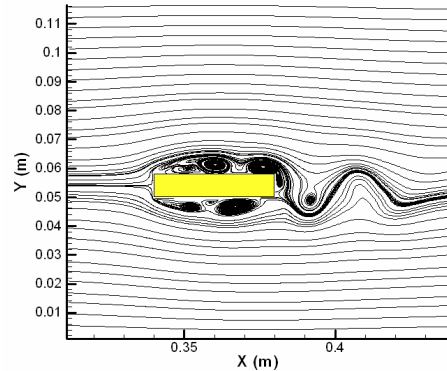
شکل ۴. تغییرات عدد اشتروهال با نسبت C/t



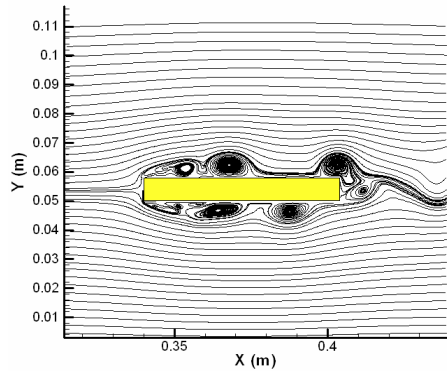
$C/t = 2$



$C/t = 4$

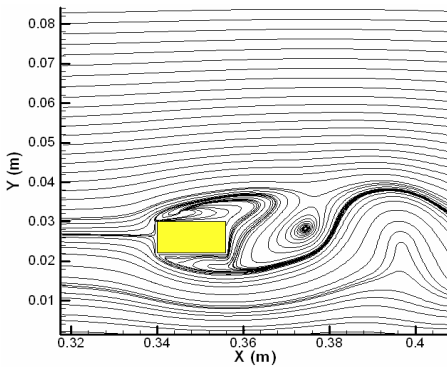


$C/t = 5$

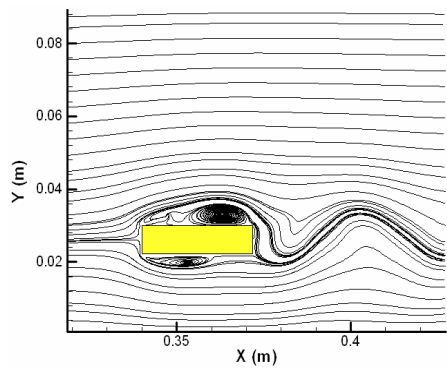


$C/t = 8$

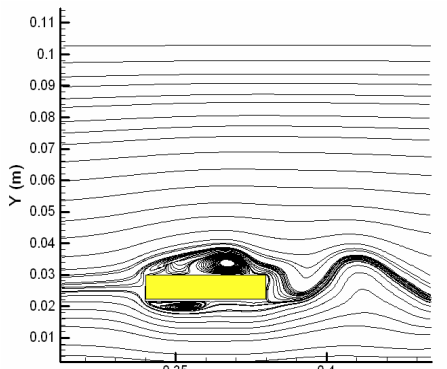
شکل ۵. تعداد گردابه‌ها روی مانع با نسبت ابعادی مختلف در فاصله ۵۰ میلیمتری از صفحه تخت



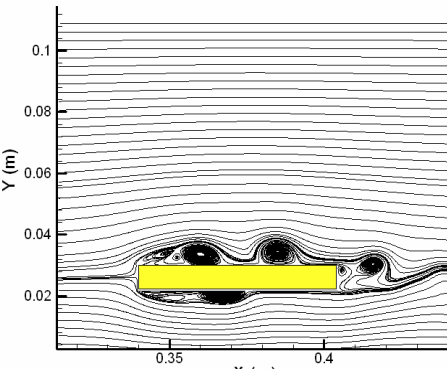
$C/t = 2$



$C/t = 4$

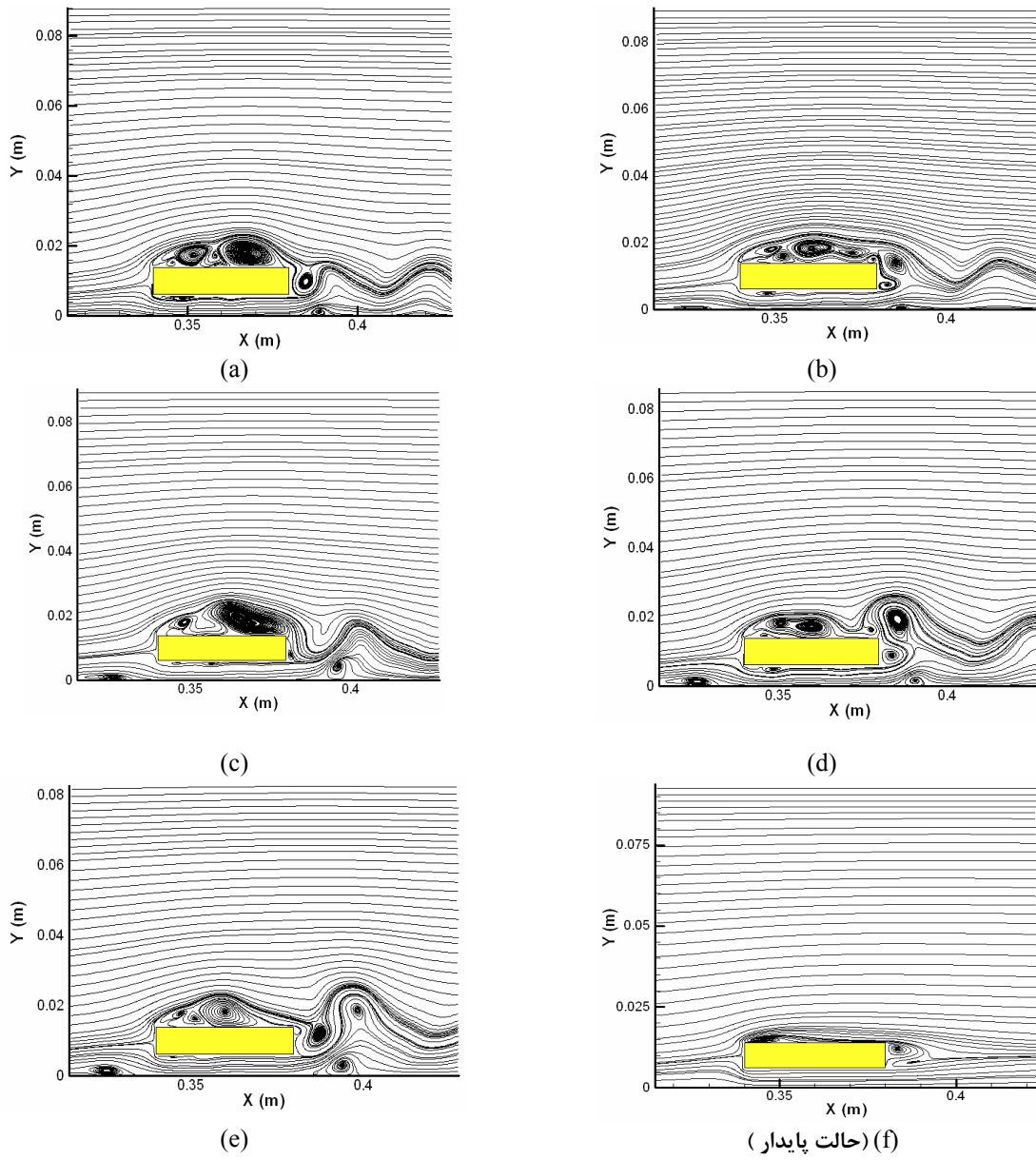


$C/t = 5$

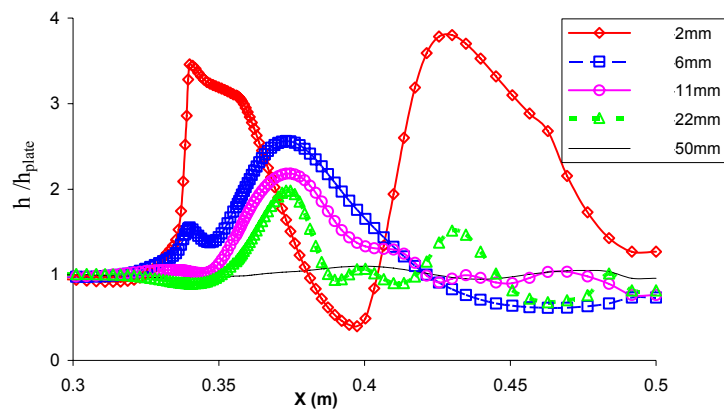


$C/t = 8$

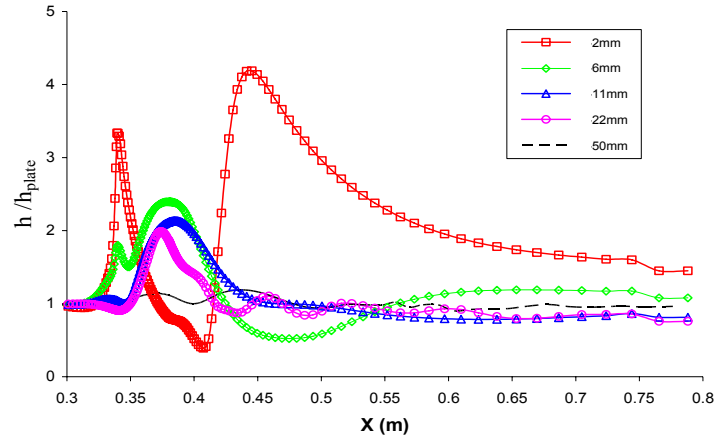
شکل ۶. تعداد گردابه‌ها روی مانع با نسبت ابعادی مختلف در فاصله ۲۲ میلیمتری از صفحه تخت



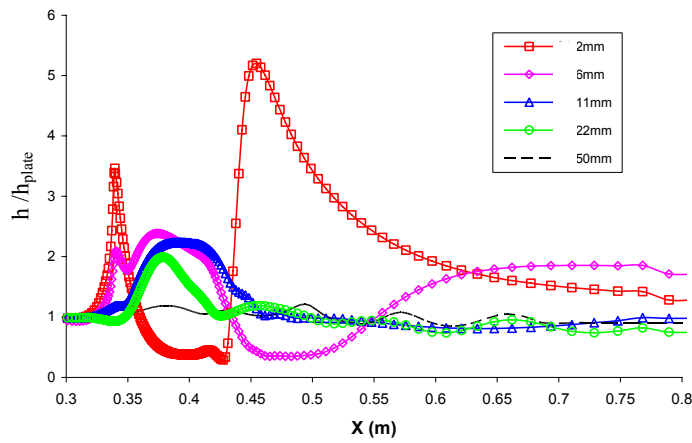
شکل ۷. مراحل توسعه و شکل گیری گردابه ها با گذشت زمان در پشت یک مانع مستطیلی که در فاصله ۲۲ میلیمتر از صفحه تخت قرار دارد. ($C/t=5$)



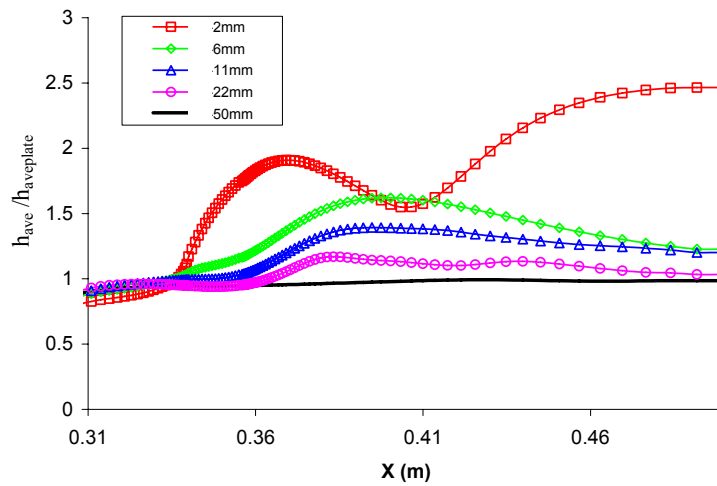
شکل ۸. تغییرات ضریب انتقال حرارت نسبت به فاصله مانع از صفحه تخت در طول صفحه ($C/t=2$)



شکل ۹. تغییرات ضریب انتقال حرارت نسبت به فاصله مانع از صفحه تخت در طول صفحه ($C/t=5$)



شکل ۱۰. تغییرات ضریب انتقال حرارت نسبت به فاصله مانع از صفحه تخت در طول صفحه ($C/t=8$)



شکل ۱۱. مقایسه ضریب انتقال حرارت متوسط مکانی نسبت به فاصله مانع از صفحه تخت ($C/t=2$)