

مطالعه فرایند تولید و رهایی گردابه‌ها از روی مانع مستطیلی در جریان آشفته

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 به بررسی اثر ابعاد مانع مستطیلی بر نحوه شکل‌گیری و رها شدن گردابه‌ها و تغییرات عدد اشتروهال و ضریب فشار روی مانع پرداخته می‌شود. برای شبیه‌سازی جریان مغشوش از مدل $K-\epsilon$ اصلاح شده و برای گسسته‌سازی معادلات جریان از تقریب سه جمله‌ای QUICK و روش حجم محدود استفاده شده است. با توجه به نوع پدیده و عدد رینولدز جریان (حدود ۵۰۰۰ بر مبنای ضخامت مانع)، معادلات جریان در شکل گذرا و در دستگاه مختصات کارتزین ۲ بعدی، غیرقابل تراکم بررسی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد رها شدن گردابه‌ها در ابتدا نظم خاصی نداشته، ولی با گذشت زمان به حالت پریودیک منظم می‌رسد. نتایج بررسی رهایی گردابه‌ها در حالت پریودیک نشان می‌دهد تعداد گردابه‌های شکل گرفته روی مانع و همچنین شیوه رهایی گردابه‌ها به نسبت طول به ضخامت (C/t) بستگی دارد. همچنین با افزایش نسبت C/t عدد اشتروهال (بر مبنای طول مانع) افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: عدد اشتروهال، مانع مستطیلی، رهایی گردابه، متد کوئیک (QUICK)

۱. مقدمه

یکی از موضوعات مهم و کلاسیک در مکانیک سیالات حرکت جریان بر روی موانع در مسیر جریان می‌باشد. این موضوع اغلب با رهایی گردابه‌ها به سبب نیروهای دینامیکی در روی جسم همراه می‌باشد. این گردابه‌ها باعث بوجود آمدن ارتعاشات و لرزش بر روی اجسام همچون بال هواپیما، دیوارهای ساختمان، روی پلهای در معرض وزش باد و غیره می‌شوند. بنابراین بسیار مهم است تا مکانیزم رهایی گردابه‌ها بر روی این اجسام را بدانیم. جریان روی موانع مستطیلی یا هندسه‌های شبیه آن در بسیاری از کاربردهای مهندسی دیده می‌شوند. از ساختمان‌های بلند اداری و بدنه پلها گرفته تا موانعی که برای جلوگیری از ورود زباله به آبراه‌ها استفاده می‌شوند. تحقیقات زیادی بر روی رهایی گردابه‌ها در جریان از روی اشکال مختلف همچون کره، استوانه، ایرفویل، مستطیل، مربع و غیره انجام شده است.

Huseyin Akilli [۱] رهایی گردابه‌ها از روی سیلندر استوانه‌ای در عدد رینولدز ۵۰۰۰ و کنترل آنها بوسیله صفحه جداکننده در پشت آن تحقیق کرده است.

در آزمایشی که Mills [۲] در تونل آب در $Re = 490$ برای مانع مستطیلی انجام داد تغییرات پله‌ای عدد اشتروهال برای موانع $C/t = 6 - 10$ مشاهده شد. در تحقیقی که توسط Nakamura [۳] در اعداد رینولدز پایین انجام شد مشاهده شد که با افزایش نسبت C/t در محدوده ۳-۱۵ تغییرات عدد اشتروهال بصورت پله‌ای می‌باشد.

Mills [۴] مشاهده کرد که برای موانع مستطیلی بزرگتر از نسبت $C/t = 8$ لایه برشی بطور مستقیم بر لبه پشتی اثر نمی‌گذارد بلکه گردابه‌هایی را در لبه حمله رها می‌کند که به سمت پایین منتقل می‌شوند و بر لبه پشتی اثر می‌گذارند.

Ozono, Ohya [۵] برای عدد رینولدز ۱۰۰۰ در موانع مستطیلی $C/t = 3-9$ تغییرات پله‌ای عدد اشتروهل مشاهده شد ولی صفحات با نسبت های بالاتر به یک فرکانس خاص دست نیافتند.

همچنین Hourigan [۶] در مطالعات خود که در $Re = 400$ انجام داد نشان داد که موانع مستطیلی با نسبت $C/t = 3-10$ به فرکانس خاصی دست می‌یابند و تغییرات پله‌ای برای عدد اشتروهل را بدست آورد.

در سال ۱۹۹۹ مطالعه‌ای بر روی مقطع مربعی توسط گروه CFD2K Benchmark Challenge [۷] انجام شد که در آن سرعت، تنشهای رینولدز و فشار در پشت مانع دو بعدی شبیه‌سازی و در فواصل مختلف مانع از صفحه در رینولدز ۲۲۰۰۰ مورد بررسی واقع شده است. نتایج این گروه نشان می‌دهد که در فواصل دور گردابه‌های ایجاد شده پشت مانع حالت کاملاً نوسانی داشته و در فواصل نزدیک مانع تا صفحه این گردابه‌ها به حالت پایدار تشکیل می‌شوند.

در این مقاله با قرارگیری یک مانع مستطیلی با نسبت ابعادی مختلف (C/t) در خارج لایه مرزی، روند تشکیل گردابه‌ها روی مانع و در پشت آن و فرکانس تولید و رهایی آنها با استفاده از حل گذرا مورد مطالعه قرار گرفته است. برای شبیه سازی جریان مغشوش از مدل K-ε 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.

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:

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial X_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{D\bar{U}_i}{Dt} = -\frac{\partial \bar{P}}{\rho \partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_i} \left(\nu \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial X_i} - \overline{u'_i u'_j} \right) \quad (2)$$

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

$$\frac{D\bar{K}}{Dt} = \frac{\partial}{\partial X_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \bar{K}}{\partial X_i} \right] + \left(-\overline{u'_i u'_j} \right) \left[\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial X_j} \right] - \varepsilon \quad (3)$$

$$\frac{D\bar{\varepsilon}}{Dt} = \frac{\partial}{\partial X_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial X_i} \right] + C_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\bar{\varepsilon}^2}{K} + C_{\varepsilon 1} f_1 \frac{\bar{\varepsilon}}{K} \left(-\overline{u'_i u'_j} \right) \left[\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial X_j} \right] + E \quad (4)$$

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

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u_i \frac{\partial}{\partial X_i} \quad (5)$$

$$-\overline{u'_i u'_j} = \nu_t \left(\frac{\partial \bar{U}_j}{\partial X_i} + \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial X_j} \right) \quad (6)$$

$$\nu_t = C_\mu f_\mu \frac{K^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon - D \quad (8)$$

$$f_\mu = \text{Exp} \left[\frac{-3.4}{(1 + R_t/50)^2} \right] \quad (9)$$

$$f_1 = 1.0, \quad f_2 = 1.0 - 0.3 \text{Exp} \left[-R_t^2 \right] \quad (10)$$

$$D = 2\nu \left(\frac{\partial \sqrt{K}}{\partial X_i} \right) \left(\frac{\partial \sqrt{K}}{\partial X_i} \right) \quad (11)$$

$$E = 2\nu v_i \left(\frac{\partial^2 \bar{U}_i}{\partial X_j \partial X_k} \right) \left(\frac{\partial^2 \bar{U}_i}{\partial X_j \partial X_k} \right) \quad (12)$$

$$R_i = \frac{K^2}{\nu \bar{\epsilon}} \quad (13)$$

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) می باشد.

$$\tau = \tau_l + \tau_t \quad (14)$$

$$\tau_l = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (15)$$

$$\tau_t = -\rho \overline{u'_i u'_j} \quad (16)$$

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

$$\tau_t = \rho \epsilon_m \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -\rho \overline{u'v'} \quad (17)$$

که ϵ_m ضریب پخش مغشوش اندازه حرکت می باشد. [۸ و ۹ و ۱۰] عدد اشتروهل نیز بصورت زیر تعریف می شود:

$$St_c = \frac{f \cdot C}{U} \quad (18)$$

که f فرکانس رهایی گردابه ها، C طول مانع، t ضخامت مانع و U سرعت جریان سیال می باشد. St_c نیز عدد اشتروهل بر مبنای طول است.

۳. روش حل

برای تبدیل معادلات دیفرانسیلی حاکم به شکل انحصالی آن، از روش حجم محدود استفاده شده است. انفصال جمله های جابجایی و پخش با استفاده از طرح QUICK که از یک درونیابی سه نقطه ای درجه دوم تعدیل شده بالا دست برای محاسبه مقادیر روی سطوح حجم کنترلی استفاده می کند، انجام شده است. مقادیر جرم، ممنتوم، انرژی و همچنین مقادیر k و ϵ روی هر سطح، از یک تابع درجه دوم که بر دو گره همسایه آن سطح می گذرد و یک گره در بالادست به دست می آید. انفصال جمله های زمانی نیز با استفاده از طرح تفاضلی پیشرو به دست آمده اند.

حل نهایی مجموعه معادلات جبری روی شبکه جابجا شده غیر یکنواخت با استفاده از روش TDMA و برای حل میدان فشار از روش اصلاح شده سیمپل (Simplec) استفاده شده است. میدان حل با استفاده از شبکه بندی متعامد غیر یکنواخت با تعریف 180×130 گره تعریف شده است. اندازه شبکه در روی صفحه تخت و مانع مستطیلی که تحول مورد بررسی دارای پیچیدگی و تغییرات بیشتری است، با اندازه های ریزتر در نظر گرفته شده است. شکل (۱) چگونگی گسترش شبکه بندی از روی سطح صفحه تخت تا اطراف مانع و سپس به تمامی فضای محاسباتی را نشان می دهد.

۴. شرایط مرزی

جریان هوا با سرعت 14 m/s و دمای 20° C بر روی یک مانع مستطیلی با نسبت های ابعادی متغیر $8, 5, 4, 2 = C/t$ که در خارج از لایه مرزی قرار گرفته، به موازات آن جریان دارد.

تغییرات پارامترها در امتداد Y در مرز بالایی به دلیل اینکه ارتفاع جریان خیلی بیشتر از ضخامت لایه مرزی در نظر گرفته شده (۱۵ برابر پهنای مانع)، نزدیک به صفر است و با تقریب بسیار خوبی می‌توان آن را صفر فرض کرد. طول امتداد مسیر پشت مانع ۶۵ سانتیمتر (شکل ۲) بوده، بنابراین جریان در خروجی تقریباً به حالت یکنواخت نزدیک شده و تغییرات در پارامترها به سمت صفر میل می‌کند. بنابراین می‌توان گرادیان تمامی متغیرها را در خروجی صفر فرض کرد. با توجه به اینکه ابتدای شبکه محاسباتی ۱۰۵ سانتیمتر از ابتدای صفحه فاصله دارد و عدد رینولدز ورودی $1.0 \times 10^5 / 4$ می‌باشد بنابراین پروفیل *Von Karman* برای محاسبه سرعت (u) در ورودی استفاده شده است.

$$u^+(y) = \begin{cases} y^+ & 0 < y^+ < 5 \\ 5 \ln y^+ - 3.05 & 5 \leq y^+ < 30 \\ 2.5 \ln y^+ + 5.5 & y^+ \geq 30 \end{cases} \quad (19)$$

که مقادیر u^+ و y^+ به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$u^+ = \frac{u}{u^*} \quad \text{و} \quad y^+ = \frac{y u^*}{\nu} \quad \text{که در آن} \quad u^* = (\frac{\tau_0}{\rho})^{1/2} \quad \text{می‌باشد.}$$

K و ε در ورودی به شکل زیر محاسبه شده است:

$$K_{(ly,1)} = \sum_{i=0}^{10} a_i \alpha^i \quad (20)$$

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

$$\varepsilon(Iy,1) = \sum_{i=0}^q a_i \alpha^i \quad (22)$$

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon - 2\nu \left(\sum_{i=0}^q a_i \alpha^i \right) \times \frac{0.5}{\sqrt{(K(Iy,1) - Tiny)}} \quad (23)$$

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

۵. بررسی نتایج

با توجه به اینکه معادلات جریان تابع زمان و گذرا هستند، مدت زمان لازم برای حل تا هنگامی که تفاوت مشخصات تکراری و دوره‌ای شود بسیار زیاد است. در شکل (۳) تغییرات تنش فشاری در پائین دست مانع برای یک حالت که $c/t=2$ است بر حسب زمان رسم شده است. مشاهده می‌شود که تغییرات مشخصات جریان مثلاً c_p جریان پس از زمان معینی به حالت دوره تکراری یکنواخت می‌رسد. چنین موقعیتی در تمام حالات این تحقیق برای بررسی نتایج مورد استفاده قرار می‌گیرد.

لایه‌های برشی سیال در برخورد با لبه مانع از سطح جدا شده و گردابه‌ای را در لبه حمله تولید کرده و دوباره به سطح مانع می‌چسبند. رهاشدن گردابه در لبه حمله بصورت پریودیک بوده و در صورتیکه طول مانع به اندازه کافی بزرگ باشد برای رسیدن به لبه پشتی گردابه ممکن است چندین سیکل رهایی را طی کند. تعداد این سیکل‌ها یک عدد صحیح می‌باشد و به نسبت C/t بستگی دارد. در شکل (۴) مکانیزم تولید و رها شدن گردابه‌ها از روی موانع با طول مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود لایه برشی سیال در بین دو گردابه متوالی که در لبه حمله شکل گرفته‌اند در هنگام عبور از لبه پشتی روی هم انباشته شده و تشکیل یک گردابه T در لبه پشتی مانع می‌دهند. [۲]

گردابه‌های تولید شده L (گردابه تولید شده در لبه حمله) همیشه در یک فاز یکسان از سیکل رهایی گردابه، از لبه پشتی عبور کرده و با گردابه T (گردابه تولید شده در لبه پشتی) ترکیب شده و تشکیل گردابه بزرگتری می‌دهند. گردابه

فوق تحت اثر درگ وارده از سیال از پشت مانع رها شده و سبب بوجود آمدن پالس فشار می‌شود این پالس فشار با انتقال به بالا دست جریان، بطور مستقیم رها شدن گردابه‌ها را در لبه حمله کنترل می‌نماید. تعداد سیکلهایی که گردابه L برای رسیدن به لبه پشتی طی می‌کند، نشان دهنده مد رهایی گردابه است. این مد تعداد گردابه‌های رها شده از لبه حمله را در هر لحظه نشان می‌دهد.

در شکل های ۶ تا ۹ نحوه تشکیل گردابه T و گردابه L و جابجا شدن این گردابه روی سطح مانع مستطیلی همراه با تغییرات ضریب فشار در طول مانع برای نسبت ابعادی ۲، ۴، ۵، ۸، $C/t = 2$ در یک دوره تکرار نشان شده است. در مانع با نسبت $C/t = 2$ (شکل ۵) مشاهده می‌شود که به دلیل کافی نبودن طول مانع، گردابه L که در اثر برخواستگی سیال در لبه حمله بوجود می‌آید در امتداد طول، جابجایی چندانی نداشته و در هر لحظه فقط یک گردابه در روی هر سطح مانع وجود دارد که نشان دهنده شیوه رهایی یک می‌باشد، یعنی در هر لحظه زمانی یک گردابه از لبه حمله رها می‌شود. در شکل (۶-a) گردابه‌ای در نیمه پایینی پشت مانع در حال شکل‌گیری است. این گردابه شروع به رشد کرده (شکل (۶-b)) و با بزرگ شدن گردابه، نیروی درگ وارد از طرف سیال به آن زیاد شده تا جایی که گردابه نمی‌تواند در مقابل نیروی فوق مقاومت کند و جریان آن را با خود می‌برد (شکل (۶-c)). پس از رهایی گردابه فوق، گردابه دیگری در نیمه بالایی پشت مانع شروع به شکل‌گیری می‌کند. سپس این گردابه نیز رشد کرده (در شکل (۶-d)) و پس از بزرگ شدن به اندازه کافی از پشت مانع رها می‌شود (شکل ((۶-e)، (۶-f)). فرایند رها شدن گردابه‌ها به همین ترتیب یکی از بالا و یکی از پایین ادامه می‌یابد.

یک تفاوت مهم میان یک پشت استوانه با پشت یک مقطع مستطیلی این است که نقاط جدایش برای مقطع مستطیلی کاملاً ثابت هستند. تنها عامل موثر در اندازه و یک حرکت گردابه بازچسب و رسیدن آن به نقطه جدایش است (مقایسه شکل (۶-d) با (۶-a)).

در تغییرات ضریب فشار در شکل‌های (۶-a) تا (۶-e) مشاهده می‌شود، در نقطه سکونی که در برخورد جریان با جلوی مانع به وجود می‌آید فشار افزایش می‌یابد. این افزایش به وجود آمده در همه شکل‌ها تقریباً یکسان است. در نمودار تغییرات ضریب فشار در طول مانع برای همه شکل‌ها مشاهده می‌شود که در اثر گردابه‌هایی که در روی مانع تشکیل می‌شوند فشار کاهش می‌یابد و کمترین فشار مربوط به مرکز گردابه‌ها می‌باشد. در پشت مانع نیز در اثر رها شدن گردابه‌ها فشار کاهش پیدا می‌کند و نمودار تغییرات ضریب فشار روند کاهشی طی می‌کند. موج سینوسی در پشت مانع در اثر رها شدن گردابه‌ها باعث تغییرات نوسانی در نمودار ضریب فشار می‌شود و در هر جایی که گردابه شکل می‌گیرد فشار کاهش می‌یابد.

با افزایش نسبت C/t به ۴ چون طول کافی برای جابجا شدن گردابه وجود دارد، گردابه L بوجود آمده به سمت پایین دست جابجا شده و گردابه‌ای دیگر در لبه حمله تولید می‌شود و تعداد گردابه در روی سطح مانع به دو عدد می‌رسد. در شکل (۷) نحوه رها شدن و حرکت گردابه‌ها روی سطح مانع نشان داده شده است.

گردابه لبه پشتی که در شکل (۷-a) در لبه بالایی پشت مانع شکل گرفته است در شکل (۷-b) در حال ترکیب شدن با گردابه‌ای است که در لبه حمله رها شده است. در همین شکل دیده می‌شود که گردابه T ، حاصل از انباشته شدن لایه سیالی که در جلوی گردابه لبه حمله که به لبه پشتی نزدیک می‌شود، در قسمت پایین لبه پشتی در حال شکل‌گیری است. دو گردابه T ، L در سطح بالایی مانع پس از ترکیب شدن در شکل (۷-c) در پشت مانع رها می‌شوند. در همین شکل گردابه T در لبه پایینی پشت مانع شکل گرفته است. این گردابه، با گردابه L که از سطح پایینی مانع به آن نزدیک می‌شود شروع به ترکیب شدن می‌کند (شکل (۷-d)). در شکل‌های بعدی این گردابه‌ها در پشت مانع رها می‌شوند (شکل (۷-e) و (۷-f)). این رها شدن گردابه‌ها به ترتیب از بالا و پایین مانع به طور متناوب ادامه می‌یابد.

با تغییر نسبت C/t به ۵، تعداد گردابه‌های روی مانع تغییری نمی‌کند و طبق تئوری توضیح داده شده گردابه‌ها خود را طوری تنظیم می‌کنند که تعداد سیکل‌های رهایی صحیحی را برای رسیدن به پشت مانع طی کنند. در این حالت نیز تعداد گردابه‌ها روی سطح نیز دو عدد می‌باشد که نشان دهنده شیوه رهایی ۲ است. در شکل (۸) نحوه رها شدن و حرکت گردابه‌ها روی سطح مانع با $C/t = 5$ در یک دوره تناوب نشان داده شده است.

با تغییر نسبت C/t به ۸ تعداد گردابه های روی مانع به سه عدد می رسد که این تعداد گردابه نشان دهنده شیوه رهایی ۳ است و در این حالت گردابه های لبه حمله تعداد سه سیکل رهایی را برای رسیدن به لبه پستی طی می کنند. در شکل (۹) نحوه رها شدن و حرکت گردابه ها روی سطح مانع ($C/t = ۸$) در یک دوره تناوب نشان داده شده است. بنابراین مشاهده می شود که تعداد گردابه های روی مانع به نسبت C/t بستگی دارد.

در تغییرات ضریب فشار در شکل های (۷ و ۸ و ۹) روند مشابهی مانند شکل (۶) رخ می دهد با این تفاوت که تعداد مینیمم های به وجود آمده در نمودار تغییرات ضریب فشار، به دلیل افزایش تعداد گردابه های تشکیل شده روی مانع بیشتر است.

در این تحقیق عدد اشتروهال بر مبنای طول مانع محاسبه شده است که نتایج تطابق خوبی با تحقیقات انجام شده در این زمینه داشته است [۲]. در شکل (۹) چند نمونه از تحقیقات انجام شده با نتایج حاصل از کد مقایسه شده است. همانند تحقیقات انجام شده مشاهده می شود که موانع با نسبت $C/t = \{۴ و ۵\}$ از لحاظ رهایی گردابه در یک گروه قرار می گیرند و عدد اشتروهال در این موانع تقریباً ثابت است. با افزایش طول مانع ($C/t = ۸$) که تعداد گردابه های روی مانع بیشتر می شود رهایی گردابه ها در پشت مانع افزایش می یابد و در نتیجه عدد اشتروهال جهش می یابد و در پله بعدی قرار می گیرد. در جدول (۱) تغییرات عدد اشتروهال بر حسب نسبت C/t نشان داده شده است.

جمع بندی

در این مقاله نحوه شکل گیری گردابه ها و رها شدن آنها در روی و پشت مانع مستطیلی با نسبت ابعادی (C/t) مختلف و همچنین تغییرات عدد اشتروهال با استفاده از حل گذرا مورد مطالعه قرار گرفته است. در نتایج بدست آمده مشاهده شد که تعداد گردابه هایی که در روی سطح مانع بوجود می آید به نسبت C/t بستگی دارد که این گردابه ها نشان دهنده مد رهایی گردابه می باشند. تغییرات عدد اشتروهال بر حسب نسبت C/t نیز نشان داد که با افزایش نسبت C/t تغییرات عدد اشتروهال بصورت پله ای تغییر می کند. ضریب فشار نیز در نقطه سکون در جلوی مانع افزایش و همچنین در اثر تشکیل گردابه ها کاهش می یابد.

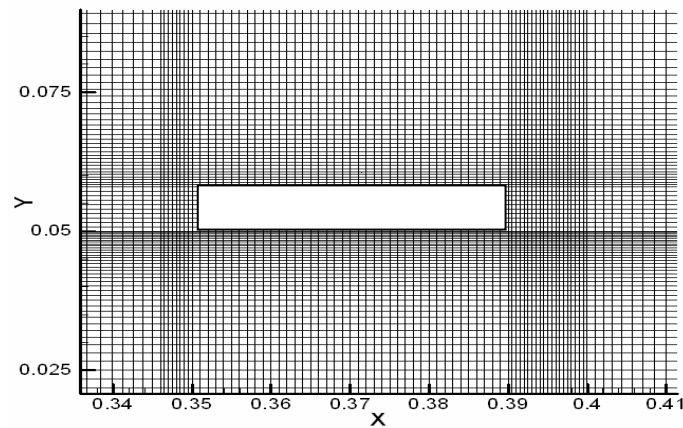
مراجع

- [1] Huseyin Akilli, Besir Sahin, N. Filiz Tumen "Suppression of vortex shedding of circular cylinder in shallow water by a splitter plate", Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, Balcali, Turkey, 2005
- [2] Richard Chard Mills, John Sheridan and Kerry Hourigan Fluids "Particle image velocimetry and visualization of natural and forced flow around rectangular cylinders" Department of Mechanical Engineering, Monash University 3800, Australia. 2002
- [3] Nakamura, Y., Ohya, Y. and Tsuruta, H. "Experiments on the Vortex Shedding from Flat Plates with Square Leading Edge and Trailing Edge", Journal of Fluid Mechanics, 15, 1205-1306, 1991
- [4] Mills, R., Sheridan, J., Hourigan, K. and Welsh, "The Mechanism Controlling Vortex Shedding from Rectangular Bluff Bodies", Proceeding of the Twelfth Australasian Fluid Mechanics Conference, December, Sydney, Australia, 227-230
- [5] Ohaya, Y., Nakamura, Y., Ozono, S., Tsuruta, H. and Nakayama, "A Numerical Study of Vortex Shedding from Flat Plate With Square Leading and Trailing Edge", Journal of Fluid Mechanics, 236, 445-460, 1993
- [6] 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.
- [7] CFD2K Benchmark Challenge, " Turbulent flow around a square cross-section cylinder in the proximity of a solid wall ", CFD Society of Canada, NOV. 1999
- [8] Schlichting, H., "Boundary-Layer Theory", 2000
- [9] 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
- [10] Kays. W.M. " Convection Heat and Mass Transfer", Mc Graw-Hill book Compang, New York, 1994

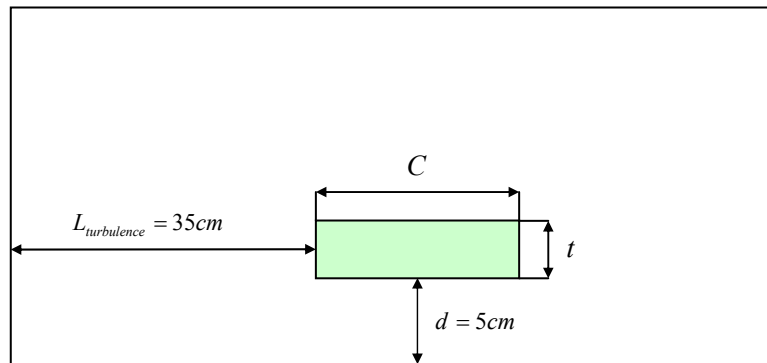
جداول، منحنی‌ها و اشکال

جدول ۱. تغییرات عدد اشتروهل بر حسب تغییرات C/t

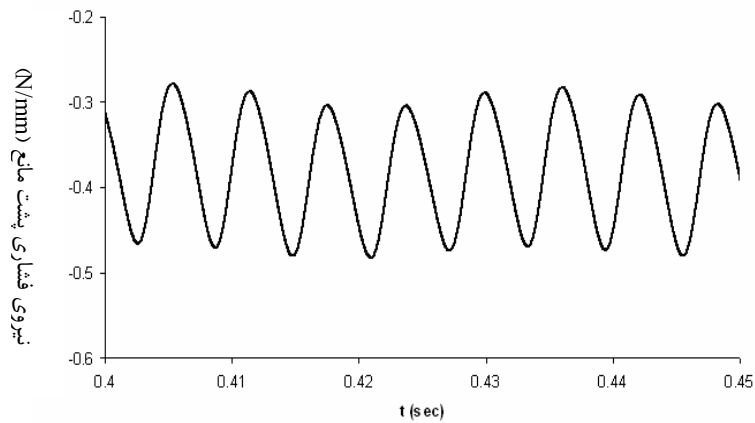
C/t	St_c
۲	۰,۴۲۶۶
۴	۰,۹۷۵۲
۵	۰,۹۵۷
۸	۱,۳۷



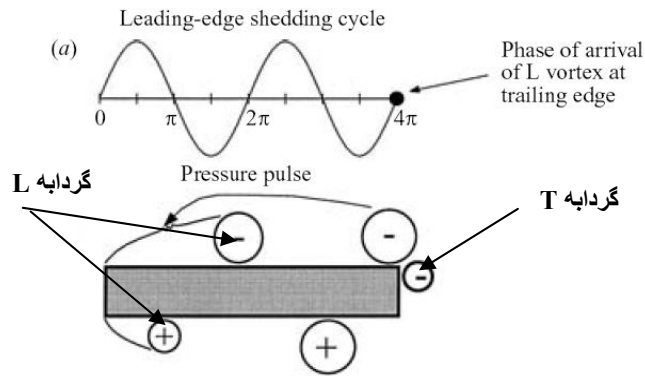
شکل ۱. نمایی از شبکه بندی مقطع مستطیلی و میدان حل جریان



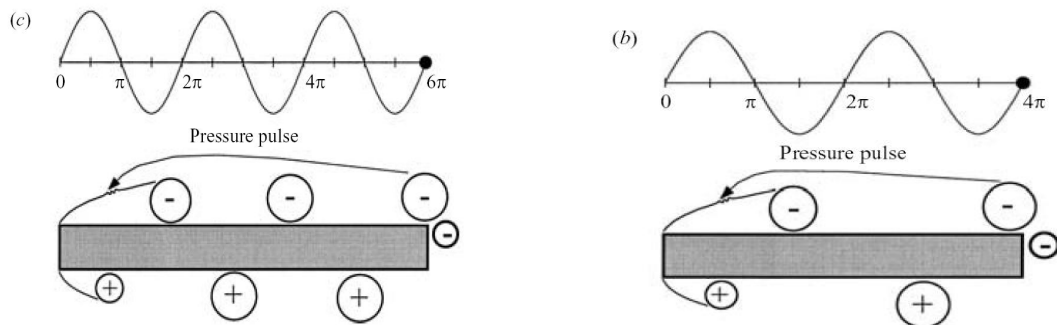
شکل ۲. هندسه و نمایی کلی میدان حل



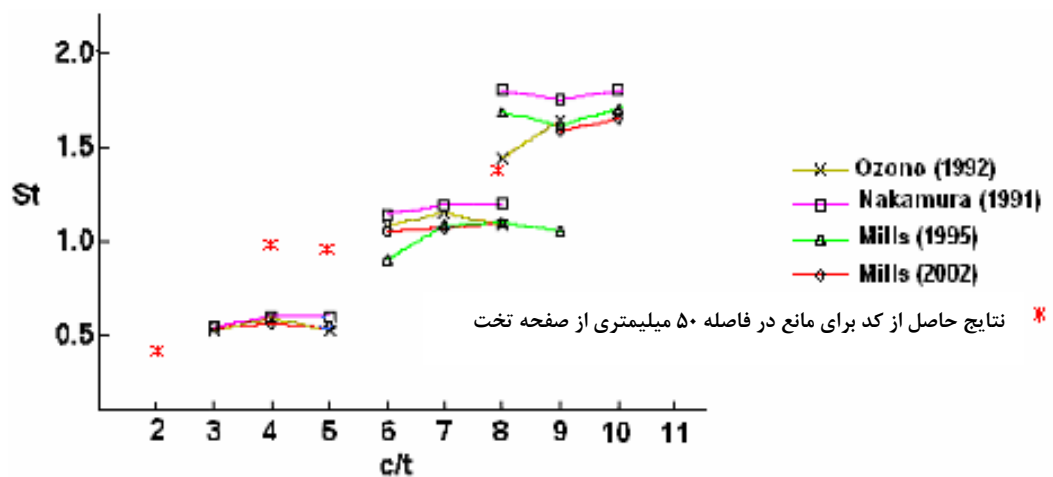
شکل ۳. تغییرات نیروی فشاری پشت مانع ناشی از رهایی گردابه‌ها، نسبت به زمان برای مانع $C/t=2$



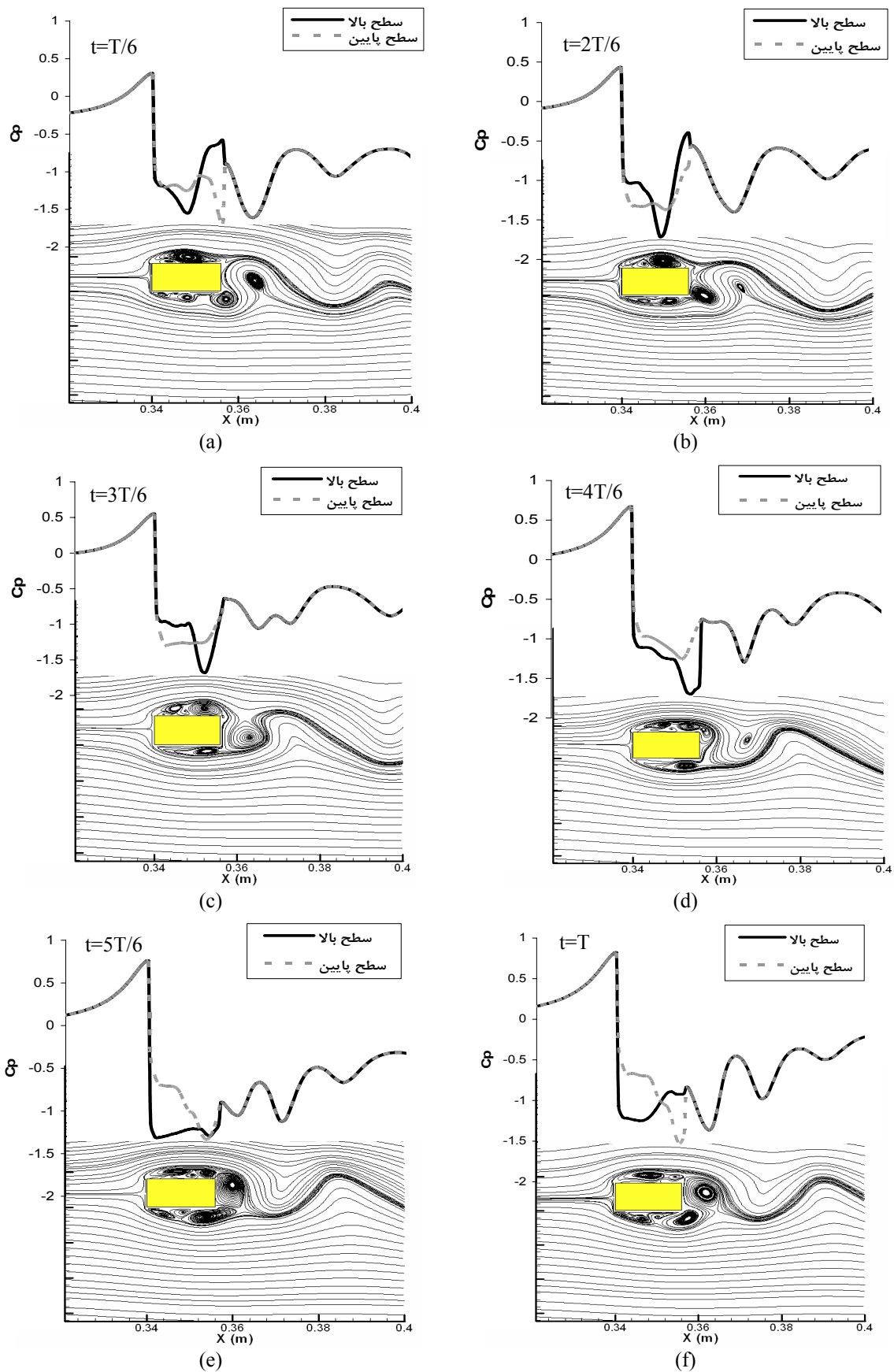
L: گردابه تولید شده در لبه حمله
T: گردابه تولید شده در لبه پشتی



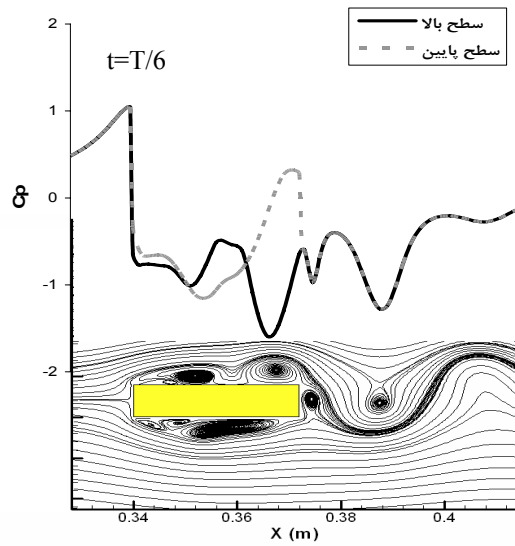
شکل ۴. مکانیزم رها شدن گردابه ها
a) $C/t=6$ b) $C/t=7$ c) $C/t=9$



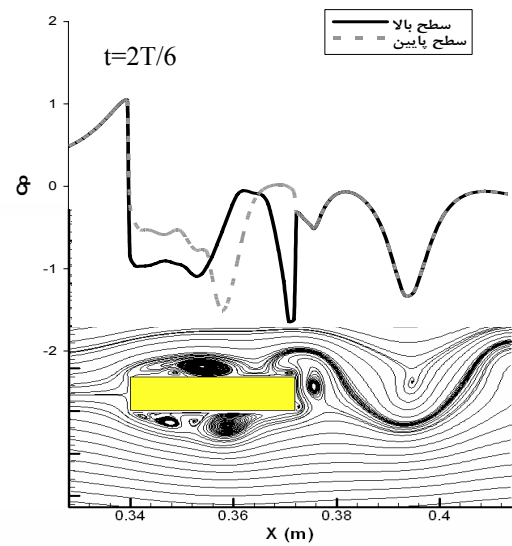
شکل ۵. تغییرات عدد اشتروهال با نسبت C/t



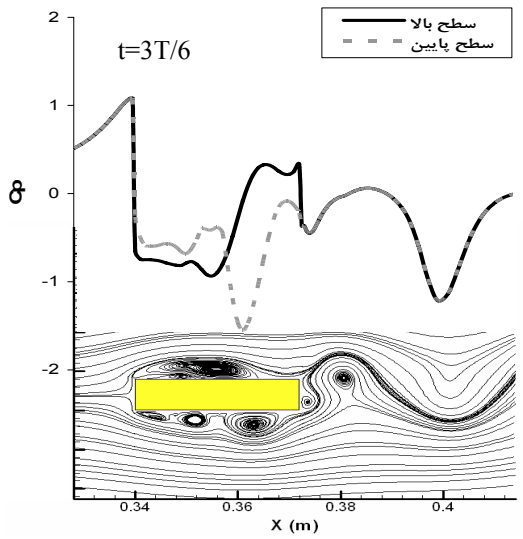
شکل ۶. مراحل توسعه و شکل‌گیری گردابه‌ها در یک دوره تناوب در پشت یک مانع مستطیلی همراه با تغییرات ضریب فشار در طول مانع با نسبت ابعادی $C/t=2$



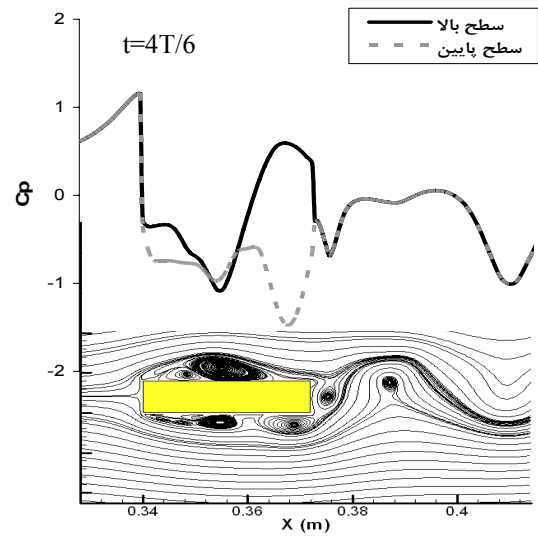
(a)



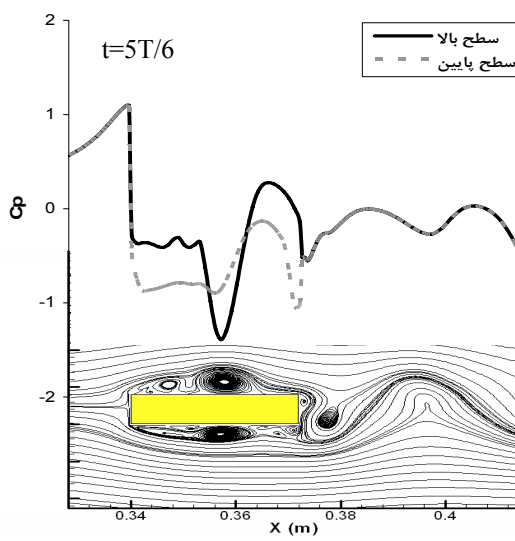
(b)



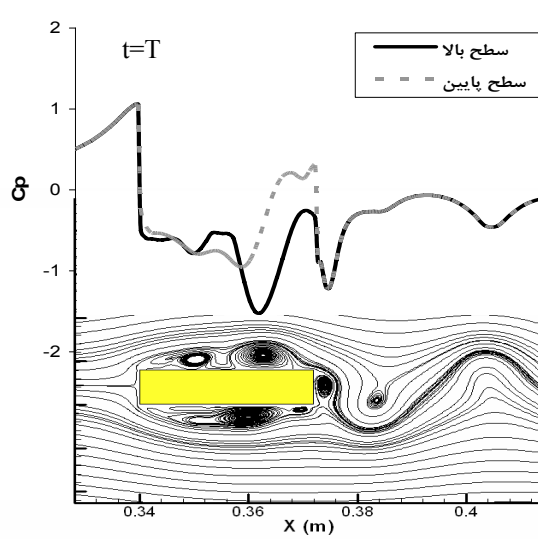
(c)



(d)

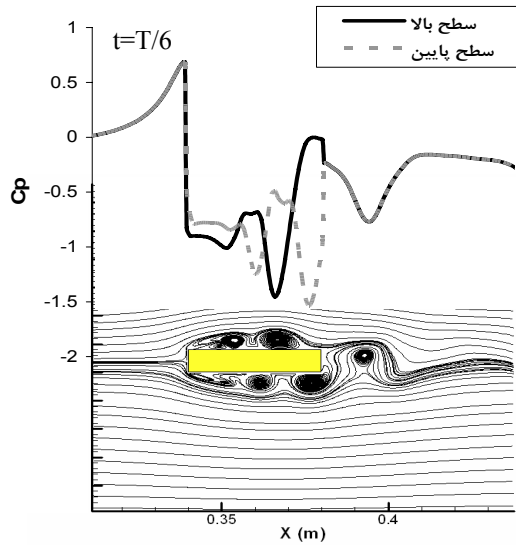


(e)

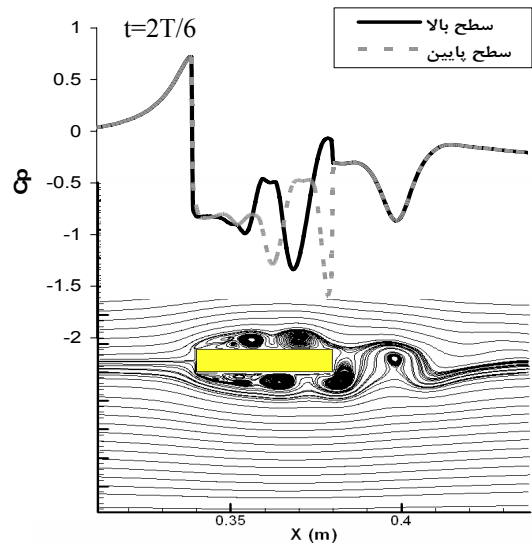


(f)

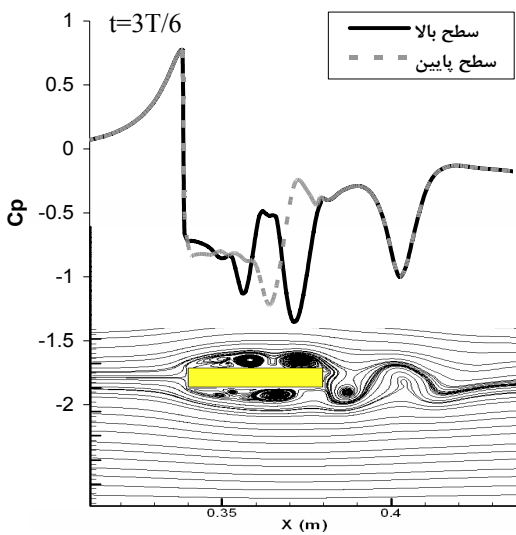
شکل ۷. مراحل توسعه و شکل‌گیری گردابه‌ها در یک دوره تناوب در پشت یک مانع مستطیلی همراه با تغییرات ضریب فشار در طول مانع با نسبت ابعادی $4 =$



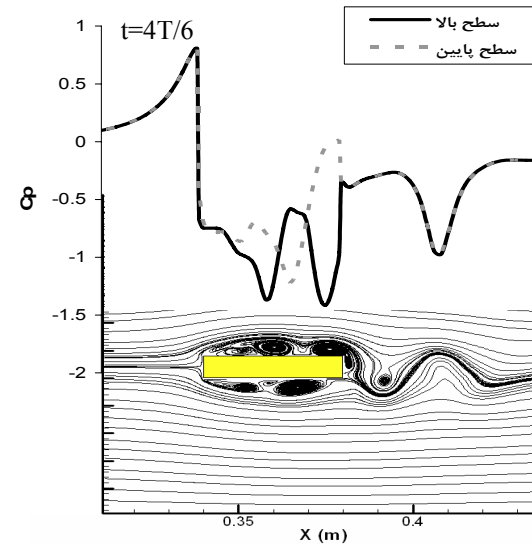
(a)



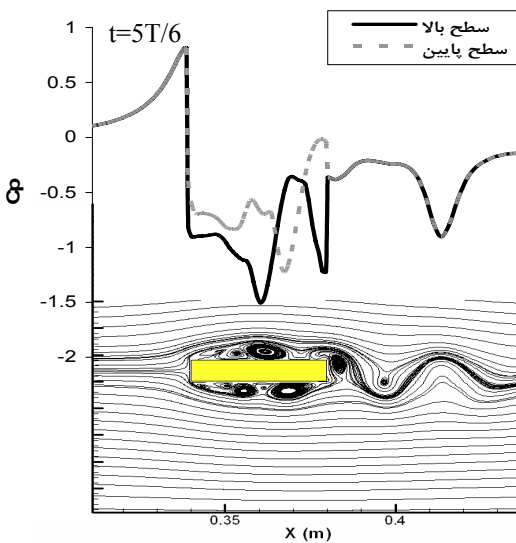
(b)



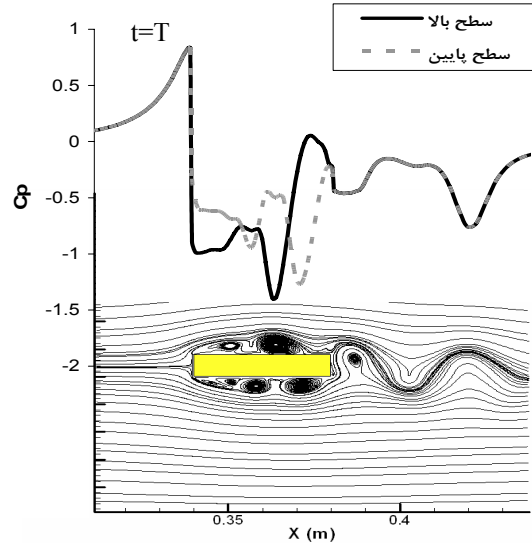
(c)



(d)

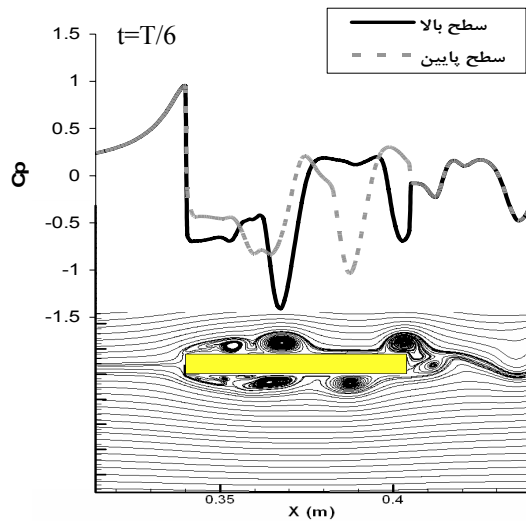


(e)

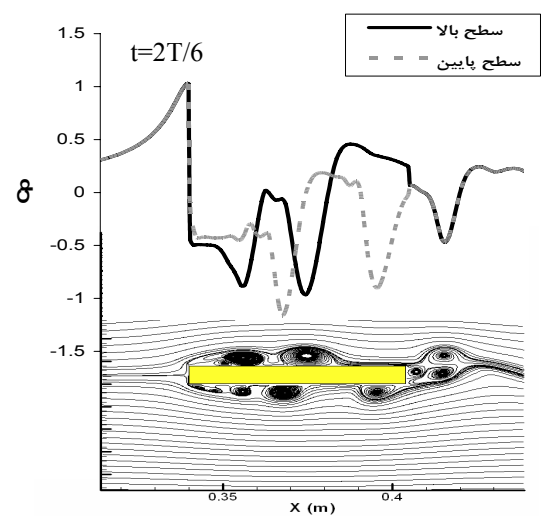


(f)

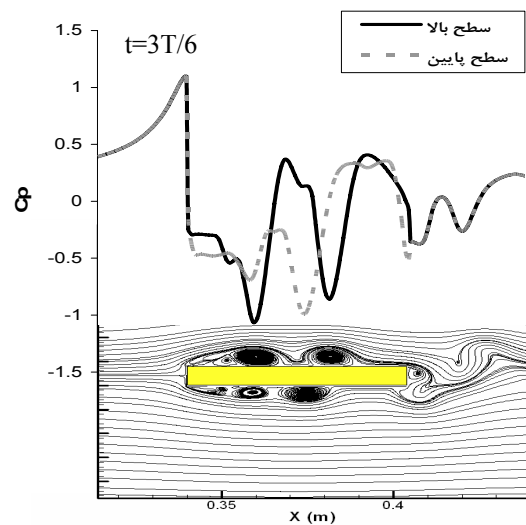
شکل ۸. مراحل توسعه و شکل‌گیری گردابه‌ها در یک دوره تناوب در پشت یک مانع مستطیلی همراه با تغییرات ضریب فشار در طول مانع با نسبت ابعادی $C/t = 5$



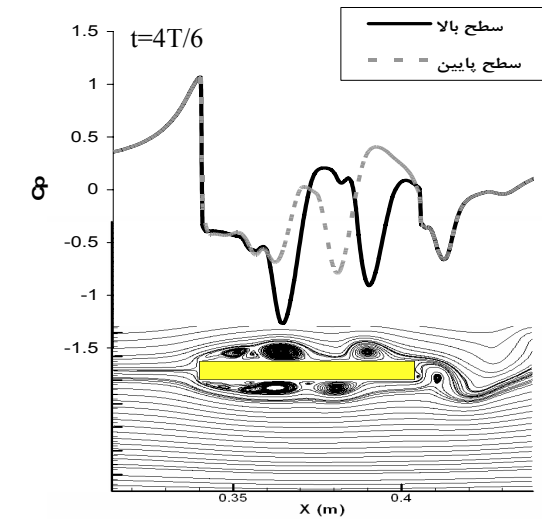
(a)



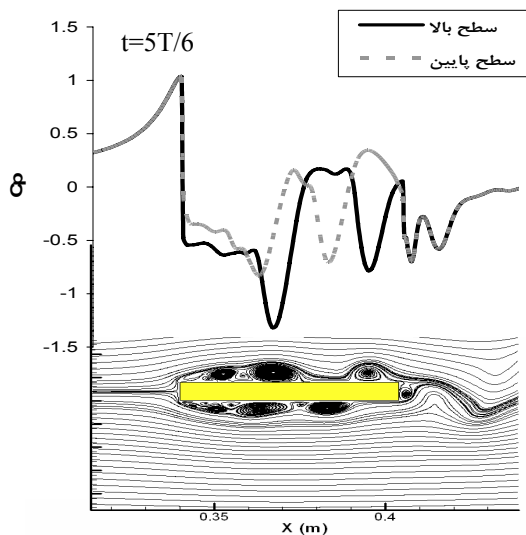
(b)



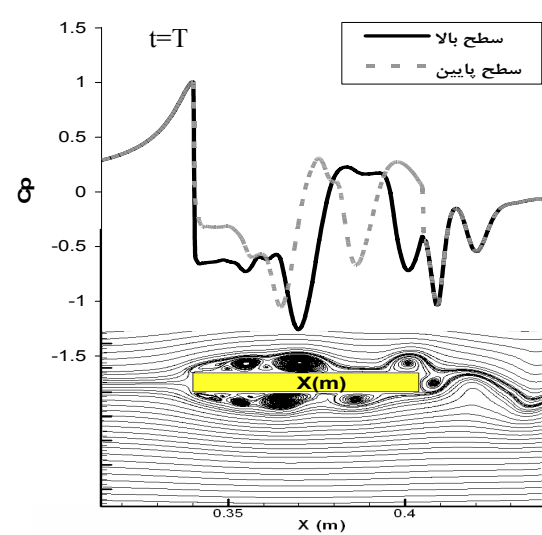
(c)



(d)



(e)



(f)

شکل ۹. مراحل توسعه و شکل‌گیری گردابه‌ها در یک دوره تناوب در پشت یک مانع مستطیلی همراه با تغییرات ضریب فشار در طول مانع با نسبت ابعادی $C/t = ۸$