

به نام خدا



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی مکانیک

عنوان پروژه :

بررسی 3D پارامترهای جریان حفره با جریان همرفت اجباری ورودی و
خروجی با روش عددی تصحیح فشار

اسما وزیری نسب

استاد مربوطه : نادران طحان

زمستان ۱۴۰۲

فهرست مطالب

فصل اول.....	۱
تعریف مساله و معادلات حاکم.....	۱
۱.۱ تعریف مسئله:.....	۲
۲.۱ معادلات حاکم:.....	۳
۳.۱ شرایط مرزی:.....	۳
۱.۳.۱ سطح چپ حجم کنترل:.....	۳
۲.۳.۱ سطح راست حجم کنترل:.....	۴
۳.۳.۱ سطح پایین حجم کنترل:.....	۴
۴.۳.۱ سطح بالا حجم کنترل:.....	۵
۵.۳.۱ سطح روبه رو حجم کنترل:.....	۵
۶.۳.۱ سطح پشت حجم کنترل:.....	۵
فصل دوم.....	۶
شبکه بندی (set mesh).....	۶
۱.۲ تشکیل شبکه.....	۷
۲.۲ استقلال از شبکه محاسباتی.....	۷
فصل سوم.....	۹
روش عددی.....	۹
۱.۳ انتخاب روش عددی.....	۱۰
۲.۳ تجزیه معادلات و شرایط مرزی.....	۱۱
۳.۳ پارامترهای حل.....	۱۳
فصل چهارم.....	۱۴

۱۴	نتایج
۱۵	۱.۴ نتایج با تغییرات عدد رینولز
۱۵	Re=10 ۱.۱.۴
۱۹	Re=100 ۲.۱.۴
۲۱	Re=500 ۳.۱.۴
۲۲	۲.۴ نتایج با تغییرات هندسه
۲۲	H/L=1 ۱.۲.۴
۲۶	H/L=0.5 ۲.۲.۴
۲۹	مراجع

فهرست اشکال

شکل ۱.۱ هندسه ی مسئله	۲
شکل ۱.۲ مقایشه نتایج در شبکه بندی مختلف در نقاط مشترک	۷
شکل ۲.۲ مقایشه نتایج در شبکه بندی مختلف	۸
شکل ۱.۴ تغییرات سرعت در $Re=10$ روی خط وسط محور y,z	۱۵
شکل ۲.۴ تغییرات سرعت در $Re=10$ روی خط وسط محور x,z	۱۵
شکل ۳.۴ تغییرات فشار در $Re=10$ روی خط وسط محور y,z	۱۶
شکل ۴.۴ تغییرات فشار در $Re=10$ روی خط وسط محور x,z	۱۶
شکل ۵.۴ کانتور سرعت در $Re=10$ در جهت Z روی صفحه x,y	۱۷
شکل ۶.۴ کانتور سرعت در $Re=10$ در جهت Y روی صفحه x,y	۱۷
شکل ۷.۴ خطوط میدان در $Re=10$ روی صفحه x,y	۱۷
شکل ۸.۴ خطوط میدان در $Re=10$ روی صفحه به صورت سه بعدی	۱۸
شکل ۹.۴ کانتور فشار در $Re=10$ روی صفحه x,y	۱۸
شکل ۱۰.۴ تغییرات سرعت در $Re=100$ روی خط وسط محور y,z	۱۹
شکل ۱۱.۴ تغییرات سرعت در $Re=100$ روی خط وسط محور x,z	۱۹
شکل ۱۲.۴ تغییرات فشار در $Re=100$ روی خط وسط محور y,z	۲۰
شکل ۱۳.۴ تغییرات فشار در $Re=100$ روی خط وسط محور x,z	۲۰
شکل ۱۵.۴ تغییرات سرعت در $Re=500$ روی خط وسط محور y,z	۲۱
شکل ۱۶.۴ تغییرات سرعت در $Re=500$ روی خط وسط محور x,z	۲۱
شکل ۱۷.۴ خطوط میدان در $Re=500$ روی صفحه به صورت سه بعدی	۲۲
شکل ۱۸.۴ تغییرات سرعت در $H/L=1$ روی خط وسط محور y,z	۲۲
شکل ۱۹.۴ تغییرات سرعت در $H/L=1$ روی خط وسط محور x,z	۲۳
شکل ۲۰.۴ تغییرات فشار در $H/L=1$ روی خط وسط محور y,z	۲۳

- شکل ۲۱.۴ تغییرات فشار در $H/L=1$ روی خط وسط محور X, Z ۲۴
- شکل ۲۲.۴ خطوط میدان در $H/L=1$ روی صفحه به صورت سه بعدی ۲۴
- شکل ۲۳.۴ خطوط میدان در $H/L=1$ روی صفحه X, Y ۲۵
- شکل ۲۴.۴ کانتور سرعت در $H/L=1$ در جهت Z روی صفحه X, Y ۲۵
- شکل ۲۵.۴ کانتور سرعت در $H/L=1$ در جهت Y روی صفحه X, Y ۲۵
- شکل ۲۶.۴ کانتور فشار در $H/L=1$ روی صفحه X, Y ۲۶
- شکل ۲۷.۴ تغییرات سرعت در $H/L=0.5$ روی خط وسط محور X, Z ۲۶
- شکل ۲۸.۴ تغییرات سرعت در $H/L=0.5$ روی خط وسط محور Y, Z ۲۶
- شکل ۲۹.۴ تغییرات فشار در $H/L=0.5$ روی خط وسط محور X, Z ۲۷
- شکل ۳۰.۴ تغییرات فشار در $H/L=0.5$ روی خط وسط محور Y, Z ۲۷
- شکل ۳۱.۴ خطوط میدان در $H/L=0.5$ روی صفحه X, Y ۲۷
- شکل ۳۲.۴ خطوط میدان در $H/L=0.5$ روی صفحه به صورت سه بعدی ۲۸

فهرست جداول

جدول ۱.۲ استقلال از شبکه تغییرات پارامتر سرعت با ریز کردت شبکه محاسباتی ۸

فصل اول

تعريف مساله و معادلات حاكم

۱.۱ تعریف مسئله:

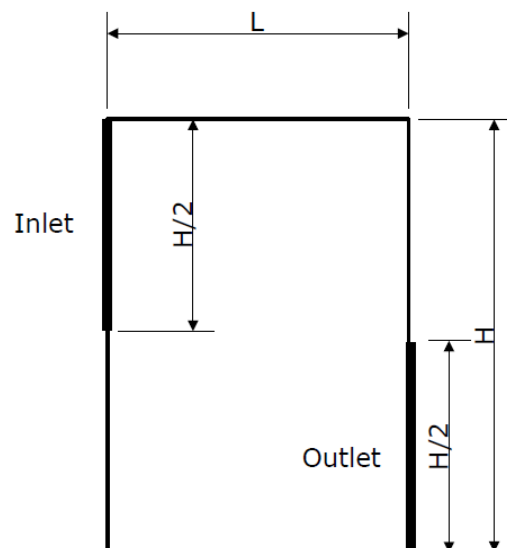
جریان در یک دو خم

شکل ۱.۱ هندسه مساله را نشان می دهد. جریان از مرز سمت چپ وارد و از مرز پایین سمت راست خارج می شود. سایر مرز ها دیواره نفوذ ناپذیر هستند. جریان سیال ویسکوز تراکم ناپذیر با چگالی ثابت را شرایط زیر حل کنید.

الف- اعداد رینولز ۱۰ ، ۱۰۰ و ۵۰۰ (راهنمایی: تغییر عدد رینولز می توانید ویسکوزیته سیال را تغییر دهید).

ب- نسبت H/L برابر ۰.۵ ، ۱ و ۲

یکی از روش های تراکم پذیری مصنوعی ، روش $\psi - \omega$ ، روش تصویر یا روش تصحیح فشار را به دلخواه انتخاب کرده و پیاده کنید



شکل ۱.۱ هندسه ی مسئله

۲.۱ معادلات حاکم:

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

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

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

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

۳.۱ شرایط مرزی:

۱.۳.۱ سطح چپ حجم کنترل:

$$\left\{ \begin{array}{l} u \left(x = 0, 0 < y < \frac{H}{2}, z \right) = 0 \\ u \left(x = 0, \frac{H}{2} < y < H, z \right) = 1 \\ v(x = 0, y, z) = 0 \\ w(x = 0, y, z) = 0 \\ p(x = 0, y, z) = p(x = \varepsilon, y, z) \end{array} \right.$$

۲.۳.۱ سطح راست حجم کنترل:

$$\left\{ \begin{array}{l} u\left(x = L, 0 < y < \frac{H}{2}, z\right) = u\left(x = L - \varepsilon, 0 < y < \frac{H}{2}, z\right) \\ v\left(x = L, 0 < y < \frac{H}{2}, z\right) = v\left(x = L - \varepsilon, 0 < y < \frac{H}{2}, z\right) \\ u\left(x = L, 0 < y < \frac{H}{2}, z\right) = u\left(x = L - \varepsilon, 0 < y < \frac{H}{2}, z\right) \\ u\left(x = L, \frac{H}{2} < y < H, z\right) = 0 \\ v\left(x = L, \frac{H}{2} < y < H, z\right) = 0 \\ w\left(x = L, \frac{H}{2} < y < H, z\right) = 0 \\ p(x = L, y, z) = p(x = L - \varepsilon, y, z) \end{array} \right.$$

سه شرط اول مرزی برای خروجی می باشند که برای سطح سمت راست پایین نوشته شده اند و سه شرط دیگر برای همان سطح اما برای نیمه بالایی که دیواره حضور داره نوشته شده اند.

۳.۳.۱ سطح پایین حجم کنترل:

$$\left\{ \begin{array}{l} u(x, y = 0, z) = 0 \\ v(x, y = 0, z) = 0 \\ w(x, y = 0, z) = 0 \\ p(x, y = 0, z) = p(x, y = \varepsilon, z) \end{array} \right.$$

۴.۳.۱ سطح بالا حجم کنترل:

$$\begin{cases} u(x, y = H, z) = 0 \\ v(x, y = H, z) = 0 \\ w(x, y = H, z) = 0 \\ p(x, y = H, z) = p(x, y = H\varepsilon, z) \end{cases}$$

۵.۳.۱ سطح روبه رو حجم کنترل:

$$\begin{cases} u(x, y, z = 0) = 0 \\ v(x, y, z = 0) = 0 \\ w(x, y, z = 0) = 0 \\ p(x, y, z = 0) = p(x, y, z = \varepsilon) \end{cases}$$

۶.۳.۱ سطح پشت حجم کنترل:

$$\begin{cases} u(x, y, z = W) = 0 \\ v(x, y, z = W) = 0 \\ w(x, y, z = W) = 0 \\ p(x, y, z = W) = p(x, y, z = W - \varepsilon) \end{cases}$$

فصل دوم

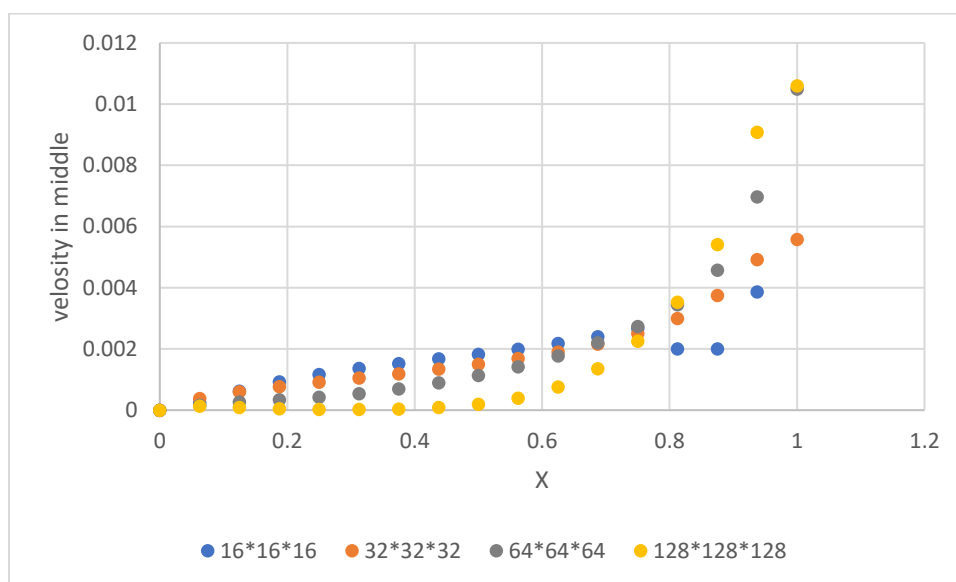
شبکه بندی (set mesh)

۱.۲ تشکیل شبکه

برنامه به صورتی تعریف شده که با گرفتن تعداد گره و طول و عرض و ارتفاع حفره در سه بعد شبکه ای با اندازه گام مکانی h_x, h_y, h_z ایجاد می کند. در این کد به دلیل هندسه منظم آن از مش بندی منظم استفاده شده است.

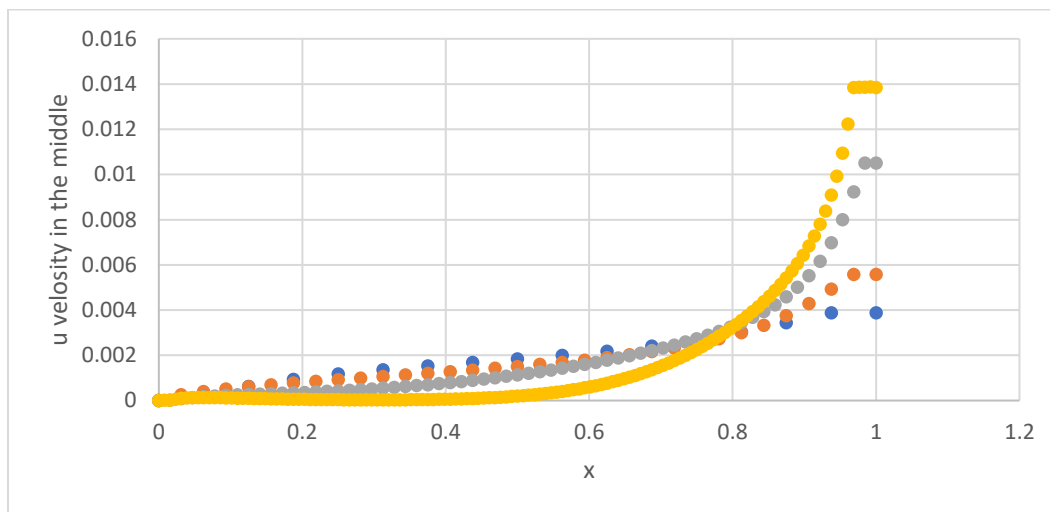
۲.۲ استقلال از شبکه محاسباتی

در این بخش ازمون و خطا به منظور پیدا کردن شبکه بهینه از 4 شبکه با اندازه های مختلف استفاده شده است. افزایش تعداد گره ها و کاهش اندازه گام در سه بعد باعث افزایش حجم محاسبات به طور چشم گیری می شود. با توجه به امکانات موجود از چهار شبکه $16*16*16$ ، $32*32*32$ ، $64*64*64$ و $128*128*128$ برای تحلیل استقلال از شبکه انجام شده.



شکل ۱.۲ مقایسه نتایج در شبکه بندی مختلف در نقاط مشترک

با توجه به شکل 1.2 با افزایش گره ها تا $64*64*64$ نقاط به یک دیگر نزدیک شده اند اما با افزایش نقاط به $128*128*128$ نمودار انحراف پیدا کرده است که می توان به دلیل خطای رند کردن و یا افزایش محاسبات باشد. در نتیجه شبکه بندی بهینه انتخاب شده برای نتایج $64*64*64$ می باشد.



شکل ۲.۲ مقایسه نتایج در شبکه بندی مختلف

تعداد نقاط	u (m/s)	تغییرات u %
4096	0.002521046	---
32768	0.002993839	20.00584167
262144	0.003444771	15.06200456
2097152	0.003531191	2.508740432

جدول ۱.۲ استقلال از شبکه تغییرات پارامتر سرعت با ریز کردن شبکه محاسباتی

فصل سوم

روش عددی

۱.۳ انتخاب روش عددی

روش تصحیح فشار (PCM) یک تکنیک پرکاربرد برای حل معادلات ناویر-استوکس در شبیه سازی دینامیک سیالات، به ویژه برای جریان های تراکم ناپذیر است. این شامل پیش بینی یک میدان سرعت با استفاده از تقریبی از معادلات ناویر-استوکس و به دنبال آن اصلاح میدان فشار برای اطمینان از بقای جرم است. این روش را می توان به صورت مراحل زیر خلاصه کرد:

- مرحله پیش بینی کننده: برای پیش بینی میدان سرعت در مرحله بعدی، شرایط فرارفت و انتشار معادلات ناویر-استوکس حل می شود. این مرحله معمولاً شامل گسسته کردن معادلات و استفاده از روش گام زمانی است.
- مرحله تصحیح فشار: واگرایی میدان سرعت پیش بینی شده را محاسبه کنید. معادله پواسون حاصل از معادله پیوستگی را با استفاده از واگرایی به عنوان سمت راست حل شده تا میدان تصحیح فشار به دست آید.
- مرحله اصلاح کننده: از میدان تصحیح فشار برای تنظیم میدان سرعت پیش بینی شده استفاده کنید، و اطمینان حاصل کنید که معادله پیوستگی را برآورده می کند و بدون واگرایی است.
- تکرار: این فرآیند را به طور مکرر تکرار کنید تا زمانی که همگرایی حاصل شود.

مزایای این روش اینست که تصحیح فشار را تضمین می کند که میدان سرعت بدون واگرایی باقی می ماند، معادله پیوستگی را برآورده می کند و جرم را به طور دقیق حفظ می کند. این روش پایداری نسبتاً خوبی دارد: این روش به طور کلی برای طیف وسیعی از شرایط جریان و هندسه پایدار و قوی است. کارایی PCM را می توان به طور موثر پیاده سازی کرد، به خصوص با تکنیک های محاسباتی موازی، که آن را برای شبیه سازی در مقیاس بزرگ مناسب می کند. همچنین دارای دقت بالایی است و با گسسته سازی عددی و معیارهای همگرایی مناسب، PCM می تواند راه حل های دقیقی برای انواع مسائل جریان ارائه دهد. از مزایای قابل توجه این روش حل معادلات نویر استوکس در سه بعد می باشد. در این مطالعه از روش تصحیح فشار برای حل معادلات استفاده شده است

۲.۳ تجزیه معادلات و شرایط مرزی

تجزیه معادله ۲ مونتوم در جهت X :

(۵)

$$u_{i,j,k}^* = u_{i,j,k}^n - dt \left(u_{i,j,k}^n \frac{u_{i+1,j,k}^n - u_{i-1,j,k}^n}{2hx} + v_{i,j,k}^n \frac{u_{i,j+1,k}^n - u_{i,j-1,k}^n}{2hy} + w_{i,j,k}^n \frac{u_{i,j,k+1}^n - u_{i,j,k-1}^n}{2hz} \right. \\ \left. - \mu \left(\frac{u_{i+1,j,k}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i-1,j,k}^n}{hx^2} + \frac{u_{i,j+1,k}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i,j-1,k}^n}{hy^2} + \frac{u_{i,j,k+1}^n - 2u_{i,j,k}^n + u_{i,j,k-1}^n}{hz^2} \right) \right)$$

تجزیه معادله ۳ مونتوم در جهت Y :

(۶)

$$v_{i,j,k}^* = v_{i,j,k}^n - dt \left(u_{i,j,k}^n \frac{v_{i+1,j,k}^n - v_{i-1,j,k}^n}{2hx} + v_{i,j,k}^n \frac{v_{i,j+1,k}^n - v_{i,j-1,k}^n}{2hy} + w_{i,j,k}^n \frac{v_{i,j,k+1}^n - v_{i,j,k-1}^n}{2hz} \right. \\ \left. - \mu \left(\frac{v_{i+1,j,k}^n - 2v_{i,j,k}^n + v_{i-1,j,k}^n}{hx^2} + \frac{v_{i,j+1,k}^n - 2v_{i,j,k}^n + v_{i,j-1,k}^n}{hy^2} + \frac{v_{i,j,k+1}^n - 2v_{i,j,k}^n + v_{i,j,k-1}^n}{hz^2} \right) \right)$$

تجزیه معادله ۴ مونتوم در جهت Z :

(۷)

$$w_{i,j,k}^* = w_{i,j,k}^n - dt \left(u_{i,j,k}^n \frac{w_{i+1,j,k}^n - w_{i-1,j,k}^n}{2hx} + v_{i,j,k}^n \frac{w_{i,j+1,k}^n - w_{i,j-1,k}^n}{2hy} + w_{i,j,k}^n \frac{w_{i,j,k+1}^n - w_{i,j,k-1}^n}{2hz} \right. \\ \left. - \mu \left(\frac{w_{i+1,j,k}^n - 2w_{i,j,k}^n + w_{i-1,j,k}^n}{hx^2} + \frac{w_{i,j+1,k}^n - 2w_{i,j,k}^n + w_{i,j-1,k}^n}{hy^2} + \frac{w_{i,j,k+1}^n - 2w_{i,j,k}^n + w_{i,j,k-1}^n}{hz^2} \right) \right)$$

همچنین حل معادله پواسون به روش گوس-سایدل برای بدست آوردن فشار استفاده می شود و در قدم بعد با استفاده از معادله پیوستگی سرعت تصحیح می شود. همچنین شرط مرزی نوع ۱ استفاده شده است.

$$\nabla^2 p^* = \frac{1}{\Delta} (\nabla \cdot V^*) \quad (8)$$

$$(9)$$

$$p_{i,j,k}^* = \frac{hy^2(p_{i+1,j,k} + p_{i-1,j,k}) + hx^2(p_{i,j+1,k} + p_{i,j-1,k}) + hz^2(p_{i,j,k+1} + p_{i,j,k-1}) + ((hx^2 * hy^2 * hz^2) * rhs_{i,j,k})}{2(hx^2 + hy^2 + hz^2)}$$

$$rhs_{i,j,k} = -\rho \left(\frac{u_{i+1,j,k}^n - u_{i-1,j,k}^n}{2hx} + \frac{v_{i,j+1,k}^n - v_{i,j-1,k}^n}{2hy} + \frac{w_{i,j,k+1}^n - w_{i,j,k-1}^n}{2hz} \right) \quad (10)$$

در مرحله بعد سرعت با فشار تصحیح می شود:

$$u_{new_{i,j,k}} = u_{i,j,k}^* - \frac{\Delta t}{\rho} \left(\frac{p_{i+1,j,k}^* + p_{i-1,j,k}^*}{2hx} \right) \quad (11)$$

$$v_{new_{i,j,k}} = v_{i,j,k}^* - \frac{\Delta t}{\rho} \left(\frac{p_{i,j+1,k}^* + p_{i,j-1,k}^*}{2hy} \right) \quad (12)$$

$$w_{new_{i,j,k}} = w_{i,j,k}^* - \frac{\Delta t}{\rho} \left(\frac{p_{i,j,k+1}^* + p_{i,j,k-1}^*}{2hz} \right) \quad (13)$$

۳.۳ پارامترهای حل

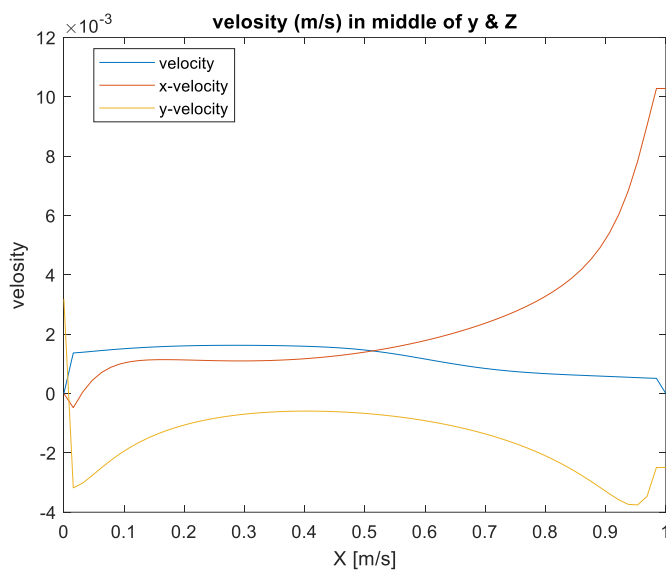
- عوامل Under-Relaxation Factors (α_p): میزان به روز شدن میدان فشار را در هر تکرار کنترل می کند. مقدار کوچکتر همگرایی را کاهش می دهد اما می تواند ثبات را بهبود بخشد. محدوده معمول: $0 < \alpha_p < 1$
 - Factor Under-Relaxation Velocity (α_v): میزان به روز رسانی میدان سرعت را کنترل می کند. شبیه به (α_p) یک مقدار کوچکتر همگرایی را کند می کند اما ثبات را افزایش می دهد. محدوده معمولی: $0 < \alpha_v < 1$: معیارهای همگرایی:
 - Maximum Number of Iterations: حداکثر تعداد تکرار مجاز را قبل از پایان دادن به فرآیند حل تنظیم می کند. اگر راه حل در این حد همگرا نشود، فرآیند متوقف می شود.
 - Residual Tolerances: حداکثر مقادیر باقیمانده قابل قبول برای فشار و سرعت را مشخص می کند. اگر باقیمانده ها کمتر از این تلورانس ها باشند، حل همگرا در نظر گرفته می شود.
 - اندازه مرحله زمانی: گام زمانی (Δt): اندازه افزایش های زمانی مورد استفاده در شبیه سازی های وابسته به زمان را تعیین می کند. مراحل زمانی کوچکتر دقت را بهبود می بخشد اما هزینه محاسباتی را افزایش می دهد.
 - Courant-Friedrichs-Lewy (CFL): یک پارامتر بدون بعد که اندازه گام زمانی را به فاصله شبکه و سرعت جریان مربوط می کند. شرایط CFL پایداری در شبیه سازی های وابسته به زمان را تضمین می کند.
 - وضوح شبکه: فاصله شبکه ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$): فاصله بین نقاط شبکه را در حوزه محاسباتی مشخص می کند. فاصله شبکه کوچکتر منجر به وضوح فضایی بالاتر می شود اما هزینه محاسباتی را افزایش می دهد.
 - Number of Grid Points: تعداد کل نقاط شبکه را در هر جهت مشخص می کند. افزایش تعداد نقاط شبکه، وضوح فضایی را بهبود می بخشد اما تقاضای محاسباتی را افزایش می دهد.
- به طور خلاصه، هر پارامتر در روش تصحیح فشار نقش مهمی در شکل دهی دقت، پایداری و کارایی محاسباتی راه حل بازی می کند. درک اثرات تغییرات پارامترها و تنظیم دقیق آنها بر اساس ویژگی های مسئله برای به دست آوردن نتایج قابل معتبر و معنی دار در شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی ضروری است.

فصل چهارم

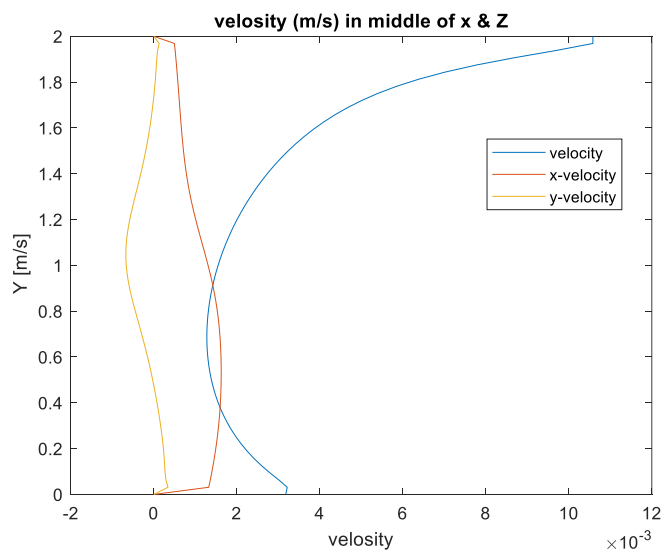
نتایج

۱.۴ نتایج با تغییرات عدد رینولز

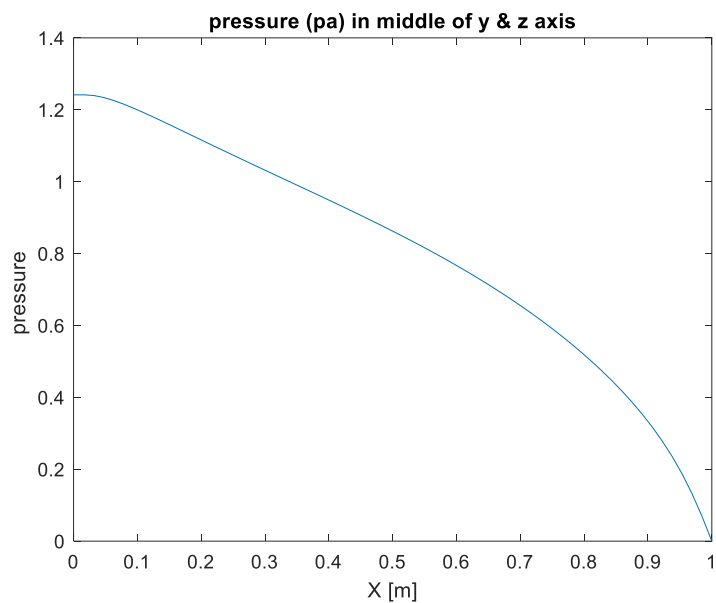
Re=10 ۱.۱.۴



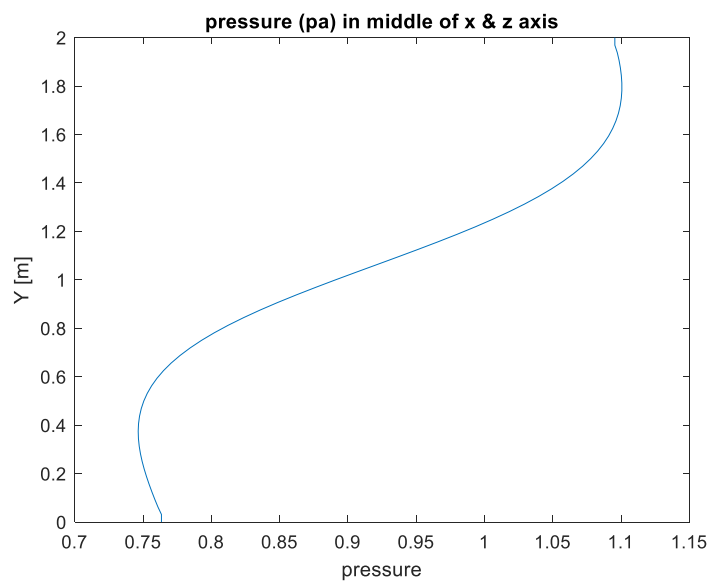
شکل ۱.۴ تغییرات سرعت در $Re=10$ روی خط وسط محور y, z



شکل ۲.۴ تغییرات سرعت در $Re=10$ روی خط وسط محور x, z

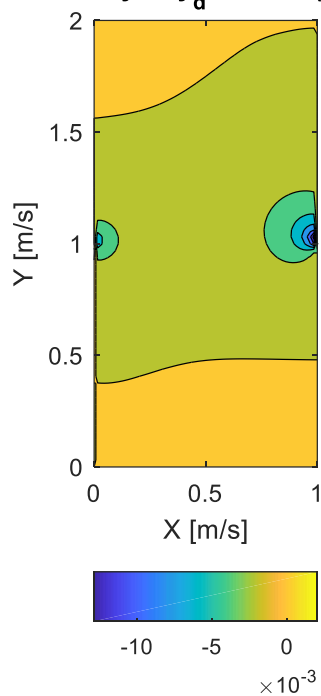


شکل ۳.۴ تغییرات فشار در $Re=10$ روی خط وسط محور y,z

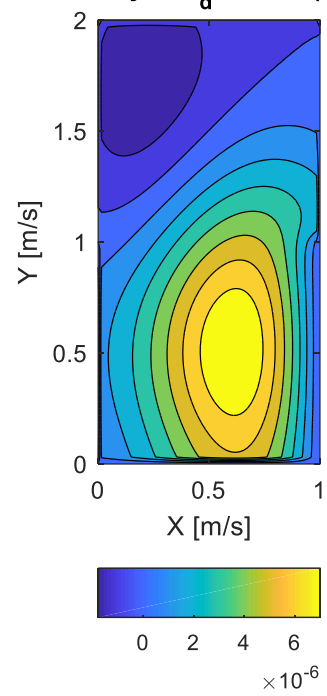


شکل ۴.۴ تغییرات فشار در $Re=10$ روی خط وسط محور x,z

velocity of y_d direction (m/s)

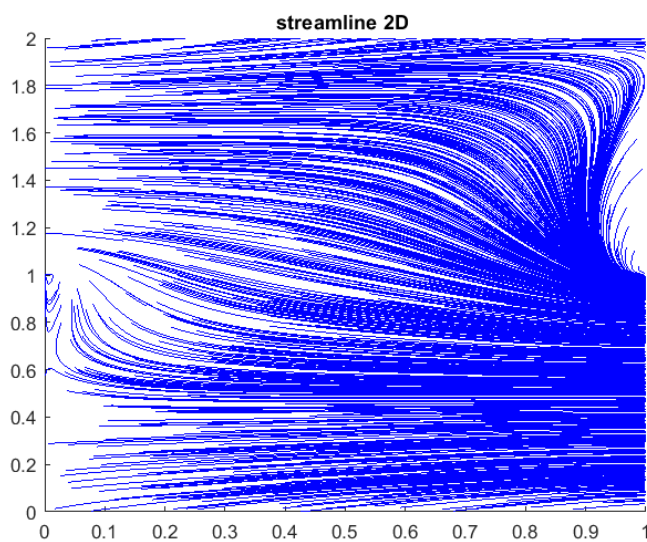


velocity of z_d direction (m/s)

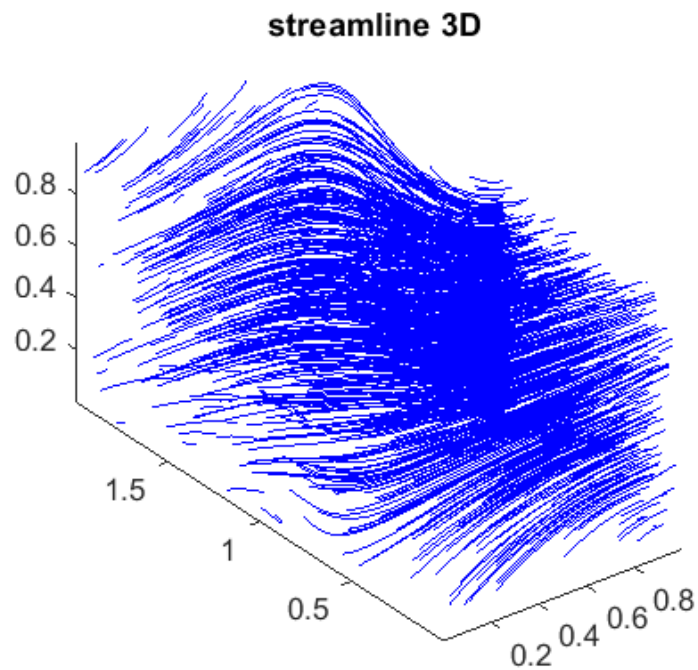


شکل ۶.۴ کانتور سرعت در $Re=10$ در جهت Y روی صفحه x,y

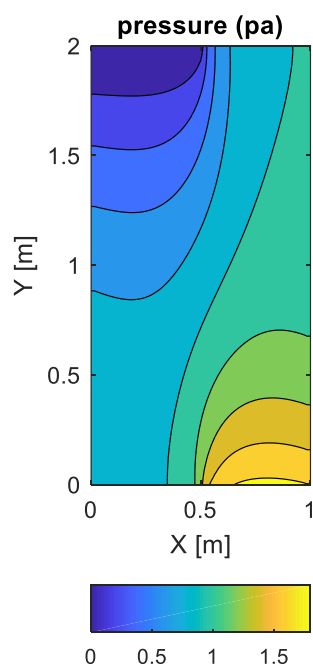
شکل ۵.۴ کانتور سرعت در $Re=10$ در جهت Z روی صفحه x,y



شکل ۷.۴ خطوط میدان در $Re=10$ روی صفحه x,y

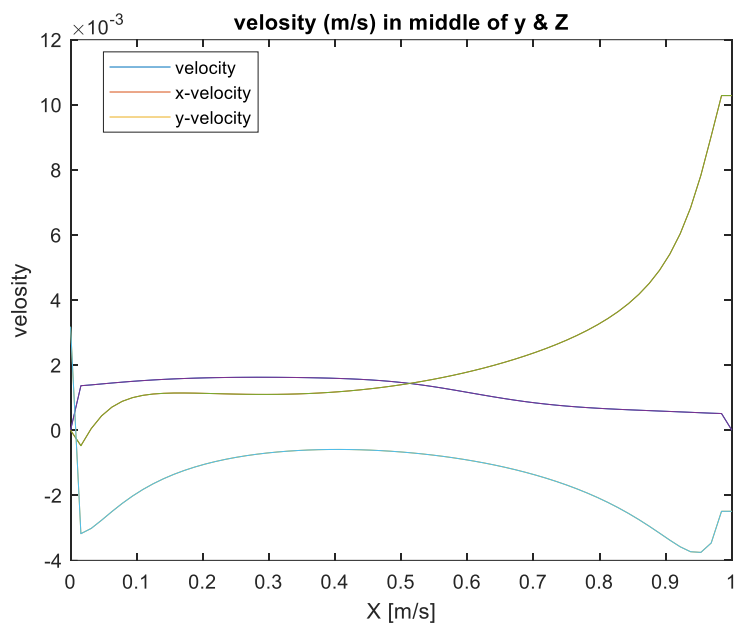


شکل ۸.۴ خطوط میدان در $Re=10$ روی صفحه به صورت سه بعدی

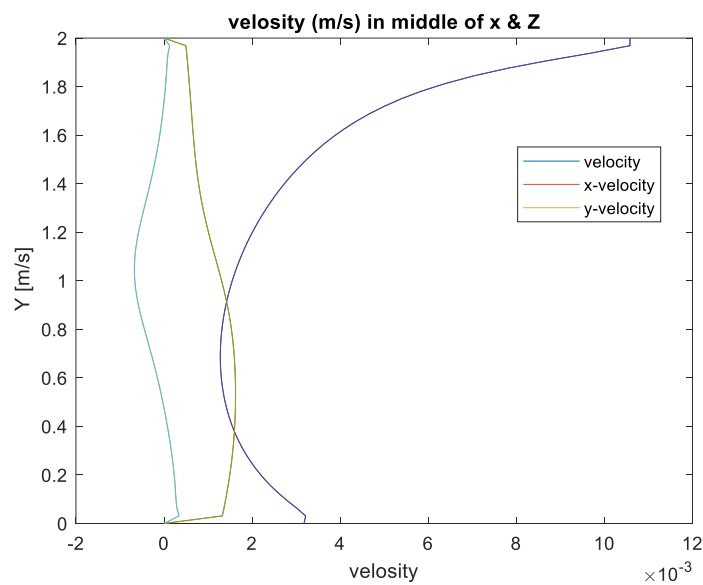


شکل ۹.۴ کانتور فشار در $Re=10$ روی صفحه x,y

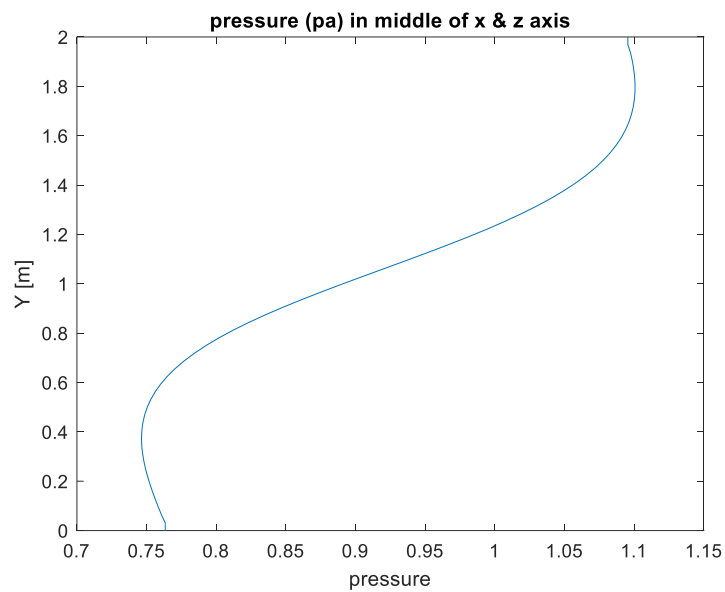
Re=100 ۲.۱.۴



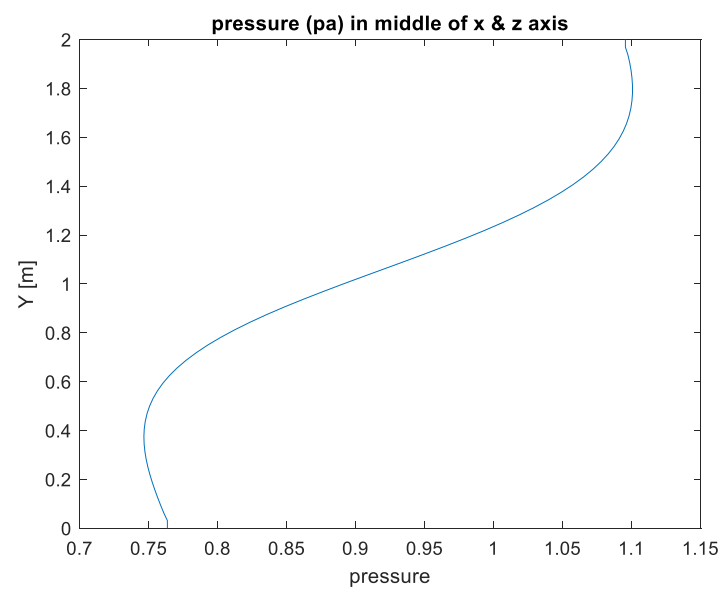
شکل ۱۰.۴ تغییرات سرعت در Re=100 روی خط وسط محور y,z



شکل ۱۱.۴ تغییرات سرعت در Re=100 روی خط وسط محور x,z

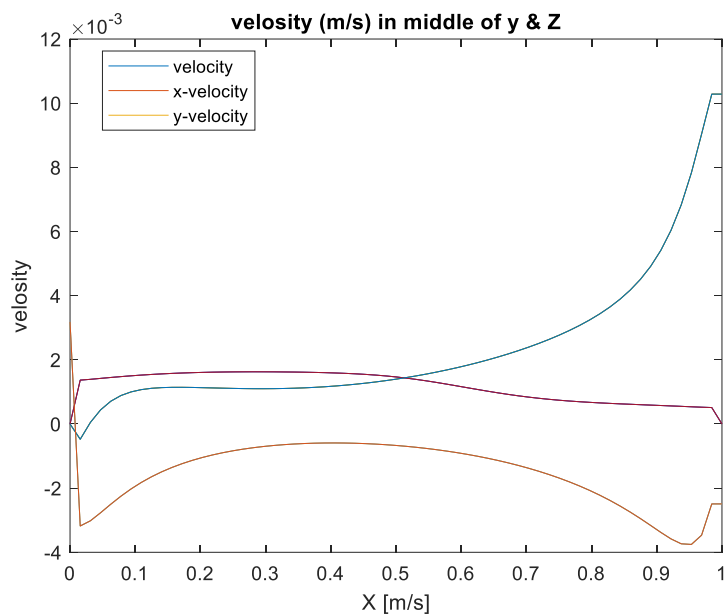


شکل ۱۲.۴ تغییرات فشار در $Re=100$ روی خط وسط محور y,z

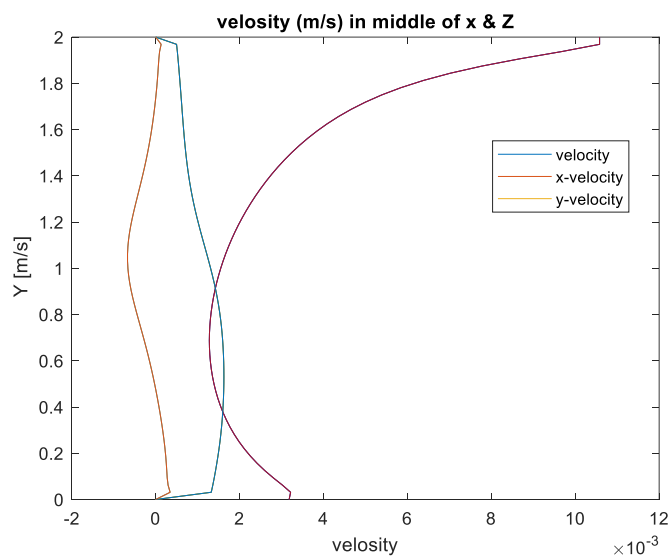


شکل ۱۳.۴ تغییرات فشار در $Re=100$ روی خط وسط محور x,z

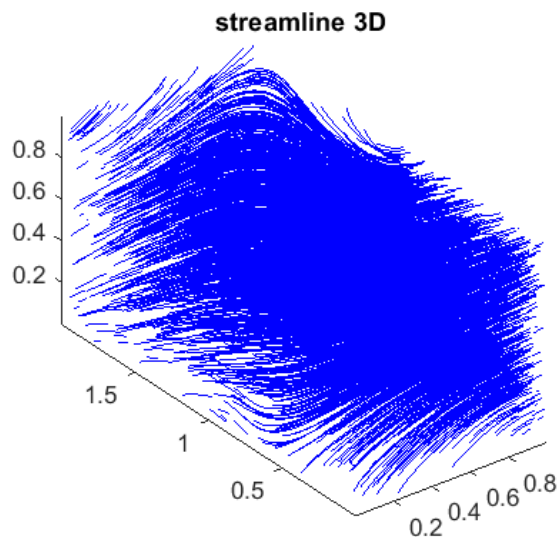
Re=500 ۳.۱.۴



شکل ۱۵.۴ تغییرات سرعت در Re=500 روی خط وسط محور y,z



شکل ۱۶.۴ تغییرات سرعت در Re=500 روی خط وسط محور x,z

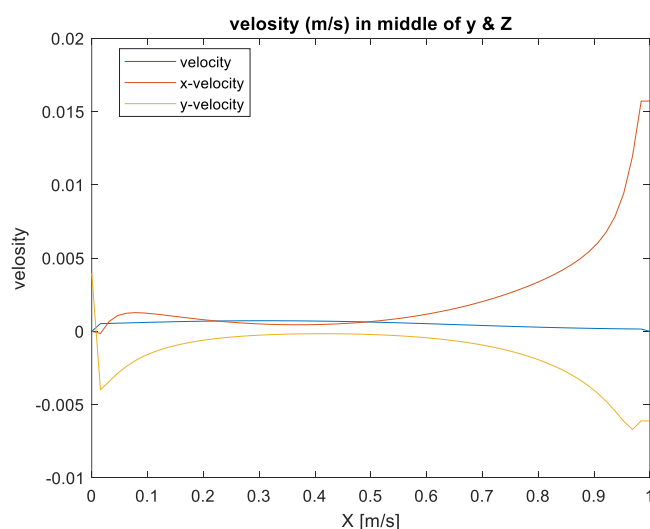


شکل ۱۷.۴ خطوط میدان در $Re=500$ روی صفحه به صورت سه بعدی

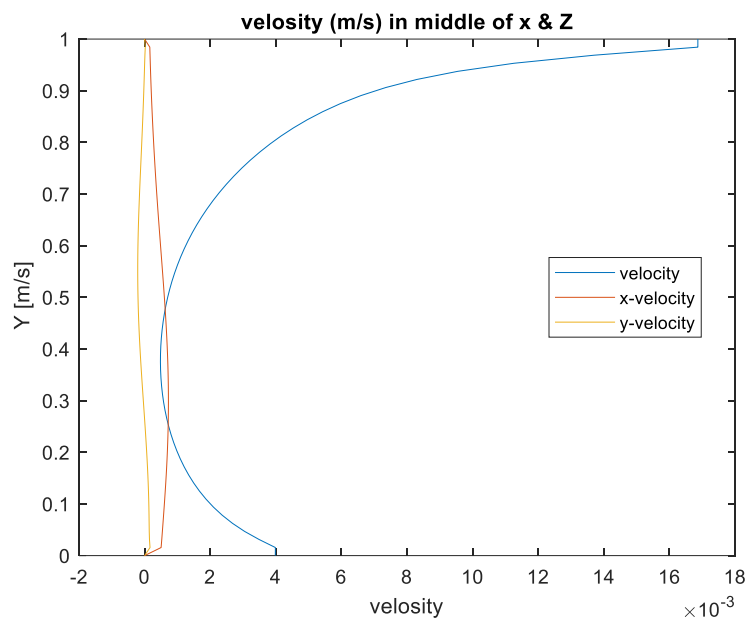
۲.۴ نتایج با تغییرات هندسه

در این بخش با تغییر ارتفاع حفره پارامترهای جریان بررسی می شوند. بخش قبل به ازای نسبت ارتفاع به طول برابر ۲ بررسی شده. در این بخش برای $H/L=1$, $H/L=0.5$ بررسی می شود.

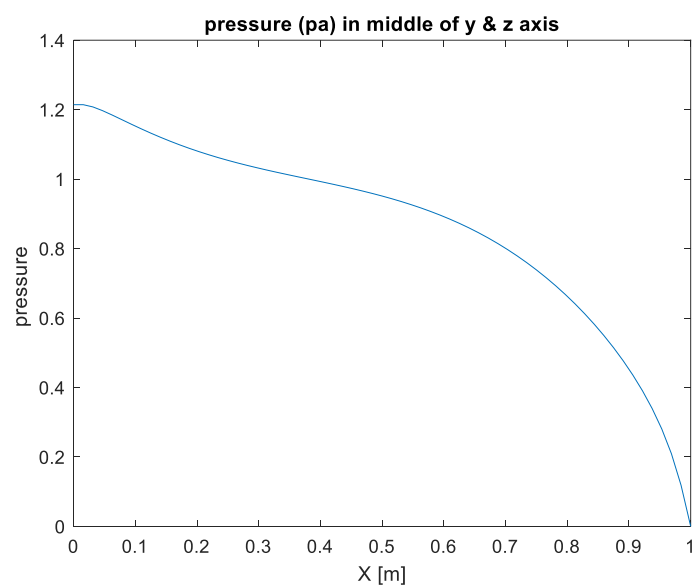
۱.۲.۴ $H/L=1$



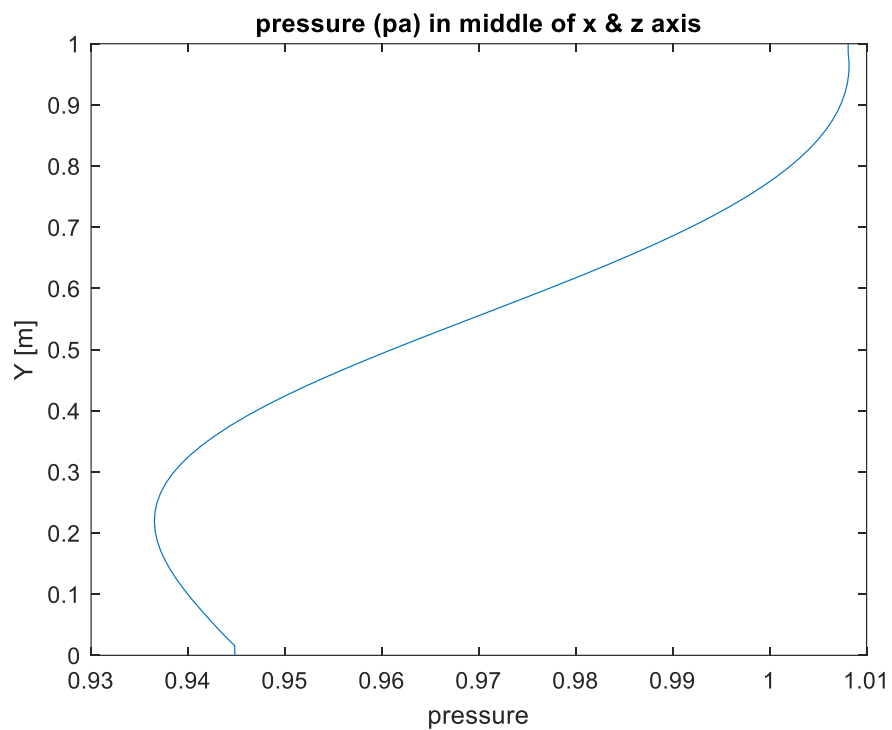
شکل ۱۸.۴ تغییرات سرعت در $H/L=1$ روی خط وسط محور y, z



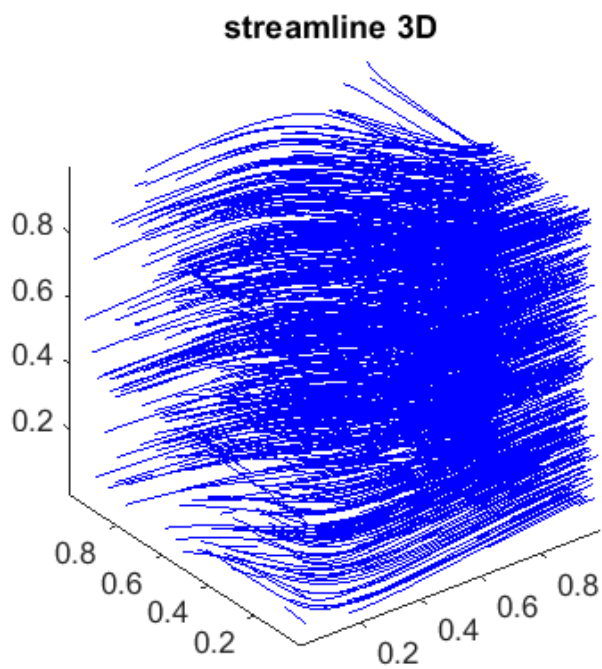
شکل ۱۹.۴ تغییرات سرعت در $H/L=1$ روی خط وسط محور x, Z



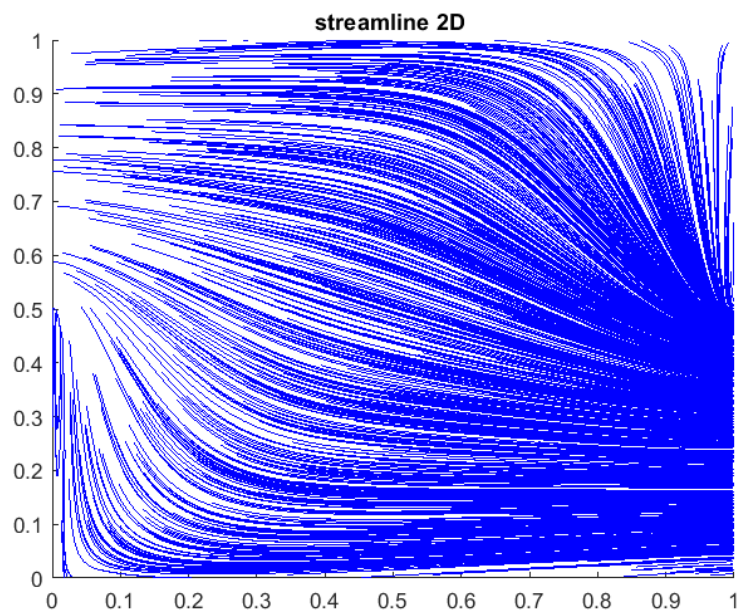
شکل ۲۰.۴ تغییرات فشار در $H/L=1$ روی خط وسط محور y, Z



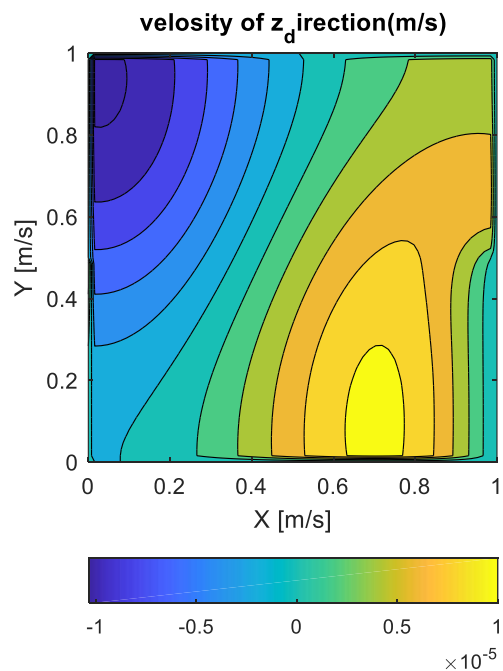
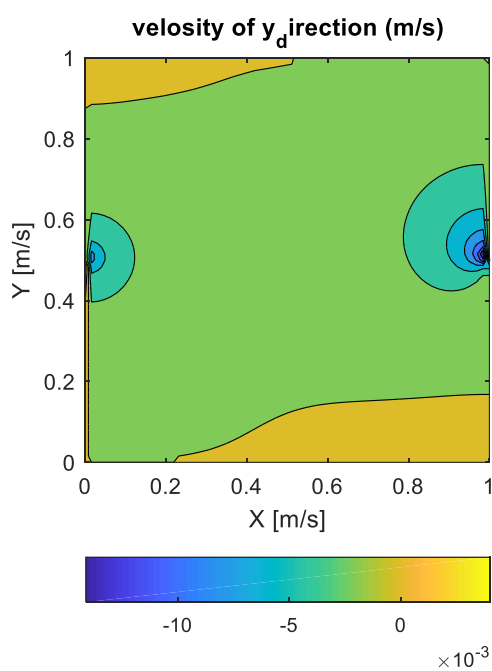
شکل ۲۱.۴ تغییرات فشار در $H/L=1$ روی خط وسط محور x, z



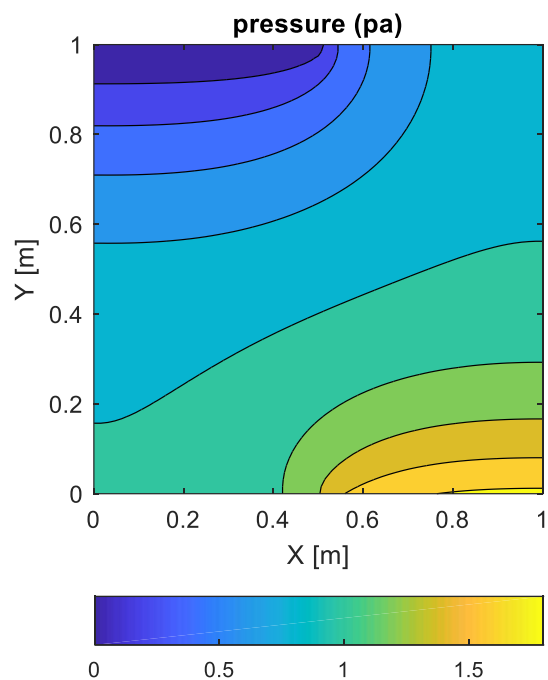
شکل ۲۲.۴ خطوط میدان در $H/L=1$ روی صفحه به صورت سه بعدی



شکل ۲۳.۴ خطوط میدان در $H/L=1$ روی صفحه x,y

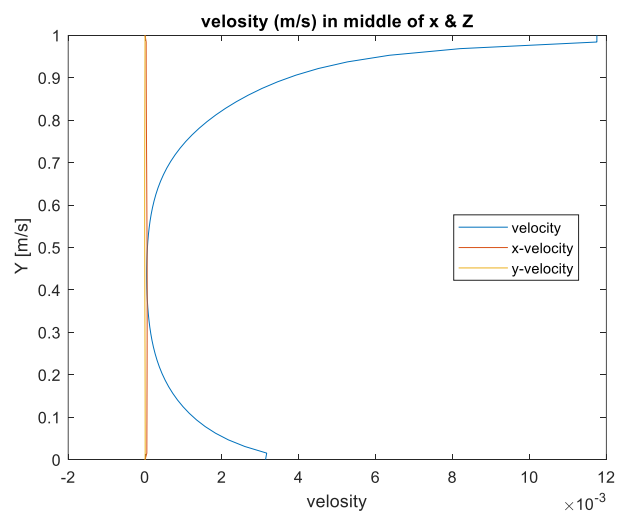
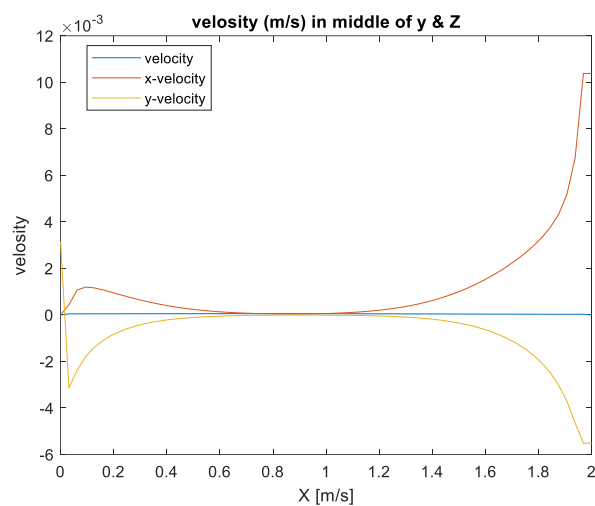


شکل ۲۴.۴ کانتور سرعت در $H/L=1$ در جهت Z روی صفحه x,y شکل ۲۵.۴ کانتور سرعت در $H/L=1$ در جهت Y روی صفحه x,y

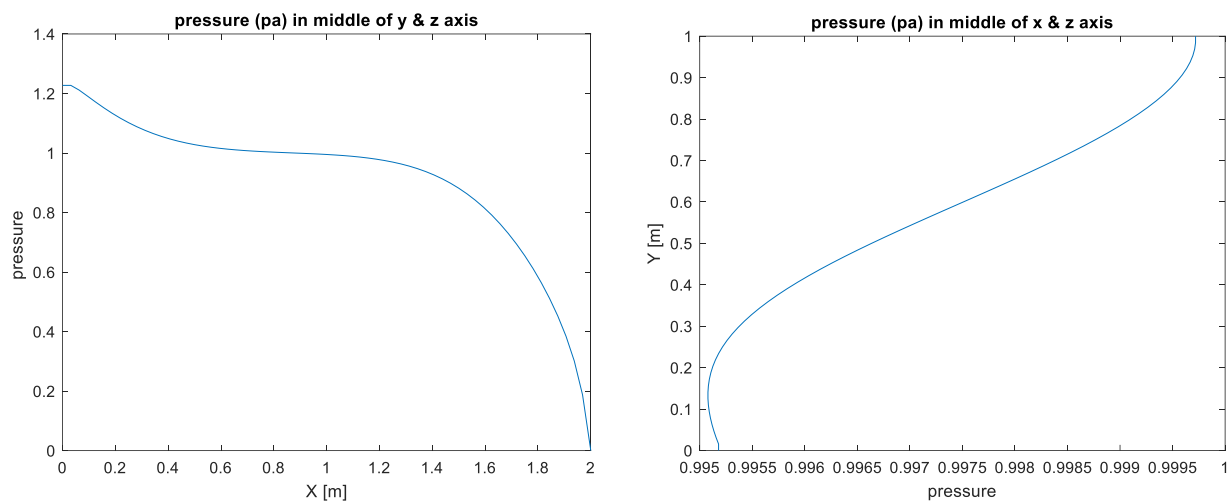


شکل ۲۶.۴ کانتور فشار در $H/L=1$ روی صفحه x,y

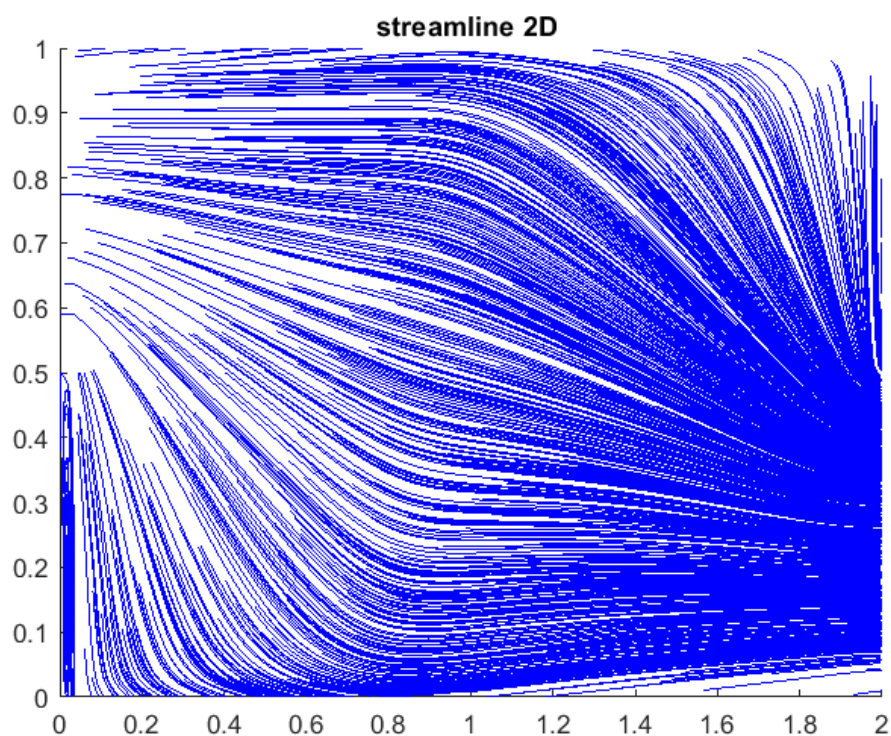
$H/L=0.5$ ۲.۲.۴



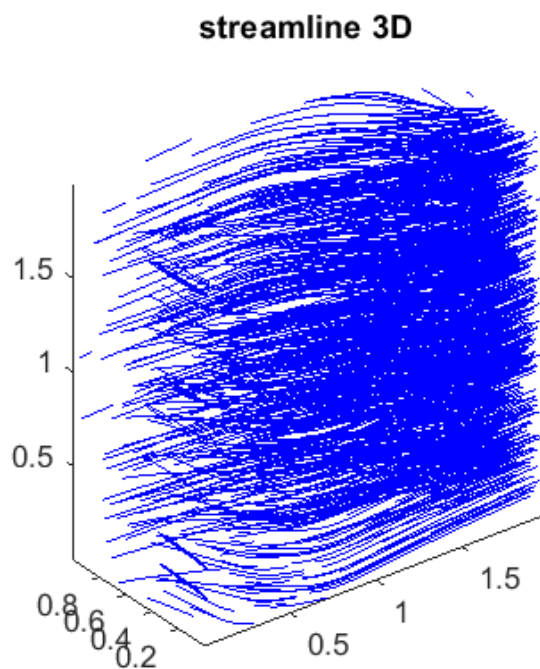
شکل ۲۷.۴ تغییرات سرعت در $H/L=0.5$ روی خط وسط محور x,z شکل ۲۸.۴ تغییرات سرعت در $H/L=0.5$ روی خط وسط محور y,z



شکل ۲۹.۴ تغییرات فشار در $H/L=0.5$ روی خط وسط محور x,z شکل ۳۰.۴ تغییرات فشار در $H/L=0.5$ روی خط وسط محور y,z



شکل ۳۱.۴ خطوط میدان در $H/L=0.5$ روی صفحه x,y



شکل ۳۲.۴ خطوط میدان در $H/L=0.5$ روی صفحه به صورت سه بعدی

مراجع

- [١] X. Shi, J.M. Khodadadi, Laminar fluid flow and heat transfer in a liddriven cavity due to a thin fin, J. Heat Transfer ١٢٤ (٢٠٠٢) ١٠٥٦–١٠٦٣.
- [٢] X. Shi, J.M. Khodadadi, Laminar natural convection heat transfer in a differentially heated square cavity due to a thin fin on the hot wall, J. Heat Transfer ١٢٥ (٢٠٠٣) ٦١٢–٦٢٣.
- [٣] T.-H. Hsu, P.-T. Hsu, S.-P. How, Mixed convection in a partially divided rectangular enclosure, Numer. Heat Transfer, Part A ٣١ (١٩٩٧) ٦٥٥–٦٨٣.
- [٤] T.H. Hsu, S.G. Wang, Mixed convection in a rectangular enclosure with discrete heat sources, Numer. Heat Transfer, Part A ٣٨ (٢٠٠٠) ٦٢٧–٦٥٢.
- [٥] S.Z. Shuja, B.S. Yilbas, M.O. Iqbal, Mixed convection in a square cavity due to heat generating rectangular body. Effect of cavity exit port locations, Int. J. Numer. Methods Heat Fluid Flow ١٠ (٢٠٠٠) ٨٢٤–٨٤١.
- [٦] S.Z. Shuja, B.S. Yilbas, M.O. Budair, Natural convection in a square cavity with a heat generating body: entropy considerations, Heat Mass Transfer ٣٦ (٢٠٠٠) ٣٤٣–٣٥٠.
- [٧] A.M.C. Chan, P.S. Smereka, D. Giutsi, A numerical study of transient mixed convection flows in a thermal storage tank, J. Solar Energy Eng. ١٠٥ (١٩٨٣) ٢٤٦–٢٥٣.
- [٨] A. Bouhdjar, A. Benkhelifa, A. Harhad, Numerical study of transient mixed convection in a cylindrical cavity, Numer. Heat Transfer, Part A ٣١ (١٩٩٧) ٣٠٥–٣٢٤.
- [٩] <https://github.com/Asmavaziri>