



دانشکده مکانیک  
گروه آموزشی سیالات  
پروژه دینامیک سیالات محاسباتی

## شبیه سازی اختلاط جریان های گرم و سرد در یک سه راهی

استاد راهنما  
دکتر ابوالفضل فتاحی

تهیه کنندگان:  
متین منصوری ۹۶۲۰۲۱۰۰۷۰  
احمد فروغی ۹۶۲۰۲۱۰۰۵۴

# فهرست

3	مقدمه
3	معرفی و اهداف پروژه
3	شرایط حاکم بر مسئله
5	تنظیمات حل در نرم افزار
5	نرم افزار Ansys
6	رسم هندسه
8	مش بندی هندسه
8	Global meshing
9	Local meshing
10	Structured meshing
11	مش انتخابی برای حل مسئله
12	تنظیمات Fluent
12	General
12	Models
13	Materials
13	Cell zone Conditions
14	Boundary Conditions
16	Methods
17	Residuals
17	Initialization
18	Run Calculation
19	نتایج
19	کانتور دما
20	کانتور فشار
22	کانتور خطوط جریان
23	بردار های سرعت

27.....	پروفیل دما در خروجی
28.....	محاسبه افت فشار بین ورودی و خروجی
29.....	جمع بندی
30.....	مراجع

## مقدمه

### معرفی و اهداف پروژه

اختلاط جریانهای یک سیال با دماهای مختلف یا اختلاط جریان سیالات ناهمسان در صنعت و حتی بخش مسکونی از اهمیت زیادی برخوردار است. سادهترین مثال برای این فرآیند، اختلاط آب سرد و گرم در شیر سینک آشپزخانه است. روشهایی که به بهبود این اختلاط کمک کند مسلماً در بخشهای مختلف موجب افزایش کارایی تجهیزات حرارتی، دارویی یا حتی بهبود شرایط آسایش انسان در بخش خانگی خواهد شد. از این رو، طی سالهای اخیر توجه به ایده هایی که منجر به اختلاط بهتر میشوند مورد توجه بخشهای صنعتی و دانشگاهی قرار گرفته است. این ایدهها با تغییر در هندسه یا تغییر در شرایط ورودی سیال بدست آمده است. ایجاد انواع موانع در سر راه جریان یا تغییر سرعت و شرایط آشفتگی ورودی مثالهایی از این موارد است.

### شرایط حاکم بر مسئله

در ابتدا با توجه به هندسه مسئله که در شکل (۱) مشاهده می شود، ابعاد سه راهی به صورت زیر می باشد. (ابعاد به سانتی متر داده شده است).

$$AB=CD=15, BC=50, DE=20 \text{ or } 30$$

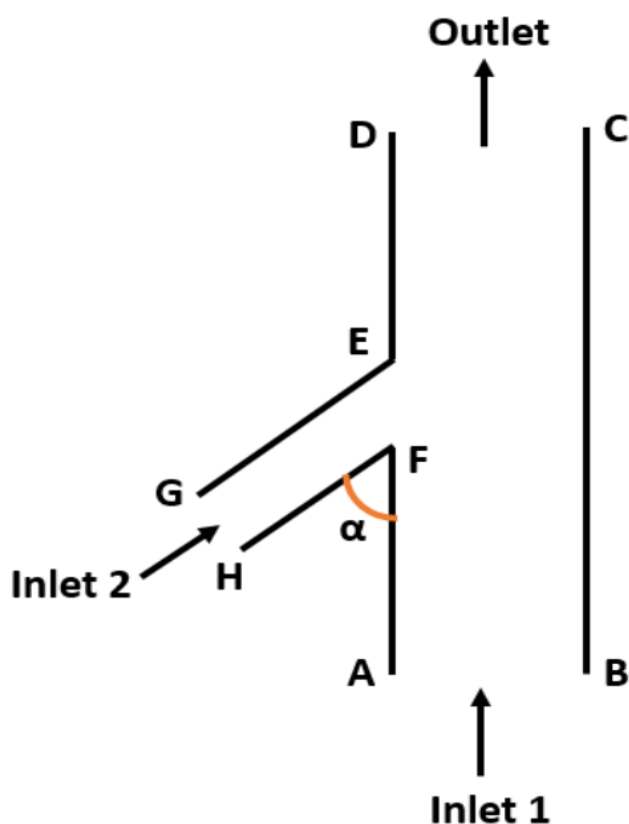
$$GE=15, GH=5$$

$$\alpha = 30^\circ \text{ or } 90^\circ \text{ or } 150^\circ$$

خطوط GE و GF موازی هستند و خط GH بر آنها عمود می باشد.

هندسه مسئله به صورت کامل دو بعدی (2D) فرض شده است.

سیال جاری در هندسه مسئله آب مایع (Liquid water) می باشد.



شکل ۱

Inlet به معنی ورودی جریان و outlet به معنی خروجی جریان می‌باشد.

دیواره های مسئله ثابت و اדיاباتیک فرض شده اند.

دمای ورودی سیال در ورودی اول 30°C و دمای سیال در ورودی دوم 75°C در نظر گرفته شده است.

شرایط حل کاملاً پایا و سه راهی افقی می‌باشد.

تخلیه در خروجی به محیط با شرایط جوی استاندارد در نظر گرفته شده است.

شرایط حل مسئله آرام در نظر گرفته شده و عدد رینولدز در ورودی اول ۱۵۰۰ و در ورودی دوم ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

سرعت در ورودی ها به صورت زیر تخمین زده شده است:

ورودی اول:

$$Re_1 = \frac{\rho_1 \cdot U_1 \cdot D_1}{\mu_1}, \quad 1500 = \frac{996 \times U_1 \times 0.15}{0.799 \times 10^{-3}} \rightarrow U_1 = 0.00802 \text{ m/s}$$

ورودی دوم:

$$Re_2 = \frac{\rho_2 \cdot U_2 \cdot D_2}{\mu_2}, \quad 1000 = \frac{975 \times U_2 \times 0.05}{0.38 \times 10^{-3}} \rightarrow U_2 = 0.00780 \text{ m/s}$$

جهت تعیین مقادیر مربوط به چگالی و ضریب لزجت برای تخمین سرعت در ورودی ها از جدول خواص آب در فشار 1 atm ارائه شده در کتاب مکانیک سیالات وایت استفاده شده است.

**Table A.1** Viscosity and Density of Water at 1 atm

<i>T</i> , °C	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ , N · s/m <sup>2</sup>	$\nu$ , m <sup>2</sup> /s	<i>T</i> , °F	$\rho$ , slug/ft <sup>3</sup>	$\mu$ , lb · s/ft <sup>2</sup>	$\nu$ , ft <sup>2</sup> /s
0	1000	1.788 E-3	1.788 E-6	32	1.940	3.73 E-5	1.925 E-5
10	1000	1.307 E-3	1.307 E-6	50	1.940	2.73 E-5	1.407 E-5
20	998	1.003 E-3	1.005 E-6	68	1.937	2.09 E-5	1.082 E-5
30	996	0.799 E-3	0.802 E-6	86	1.932	1.67 E-5	0.864 E-5
40	992	0.657 E-3	0.662 E-6	104	1.925	1.37 E-5	0.713 E-5
50	988	0.548 E-3	0.555 E-6	122	1.917	1.14 E-5	0.597 E-5
60	983	0.467 E-3	0.475 E-6	140	1.908	0.975 E-5	0.511 E-5
70	978	0.405 E-3	0.414 E-6	158	1.897	0.846 E-5	0.446 E-5
80	972	0.355 E-3	0.365 E-6	176	1.886	0.741 E-5	0.393 E-5
90	965	0.316 E-3	0.327 E-6	194	1.873	0.660 E-5	0.352 E-5
100	958	0.283 E-3	0.295 E-6	212	1.859	0.591 E-5	0.318 E-5

شکل 2

# تنظیمات حل در نرم افزار

## نرم افزار Ansys

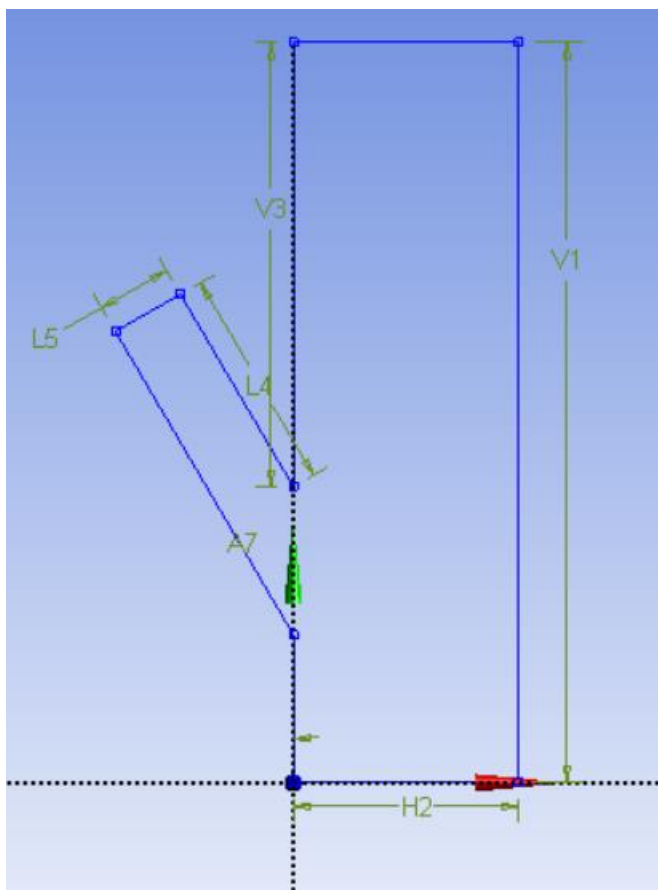
نرم افزار (Analysis Systems) (که به اختصار Ansys) نامیده میشود یک نرم افزار قدرتمند و شبیه ساز ساده از گروه ابزارهای تحلیلی است که از روش اجزاء محدود برای مدلسازی و تحلیل در آن استفاده می شود. این نرم افزار قدرت توانایی یک طراحی استاندارد را به مهندسان میدهد تا ایده هایشان را به داده های کامپیوتری تبدیل کنند. این نرم افزار به ما این امکان را می دهد که به راحتی بهینه سازی ساختاری، حرارتی، دینامیکی و... را در طرح ها اعمال نماییم.

در اندازه گیری های تجربی به سبب هزینه های زیاد، ترجیح داده می شود که آزمایش ها بر روی مدلی با مقیاس کوچکتر از نسخه اصلی انجام پذیرد. حذف پیچیدگی ها و ساده سازی آزمایش ها، خطای دستگاه های اندازه گیری و بعضی موانع در اندازه گیری، از جمله مشکلاتی اند که روش های علمی با آنها رو به رو هستند و کارایی این حالت ها را، در بعضی موارد زیر سوال می برند. مهم ترین امتیاز محاسبه های نظری در مقایسه با آزمایش های تجربی، هزینه کم آن است. گرچه در بسیاری از موارد ترجیح داده می شود آنالیز جریان و انتقال حرارت با استفاده از روش های محاسباتی صورت گیرد، ولی تایید تحلیل های عددی به مقایسه با نتایج آزمایشگاهی و یا نتایج تایید شده ی دیگر نیز دارد.

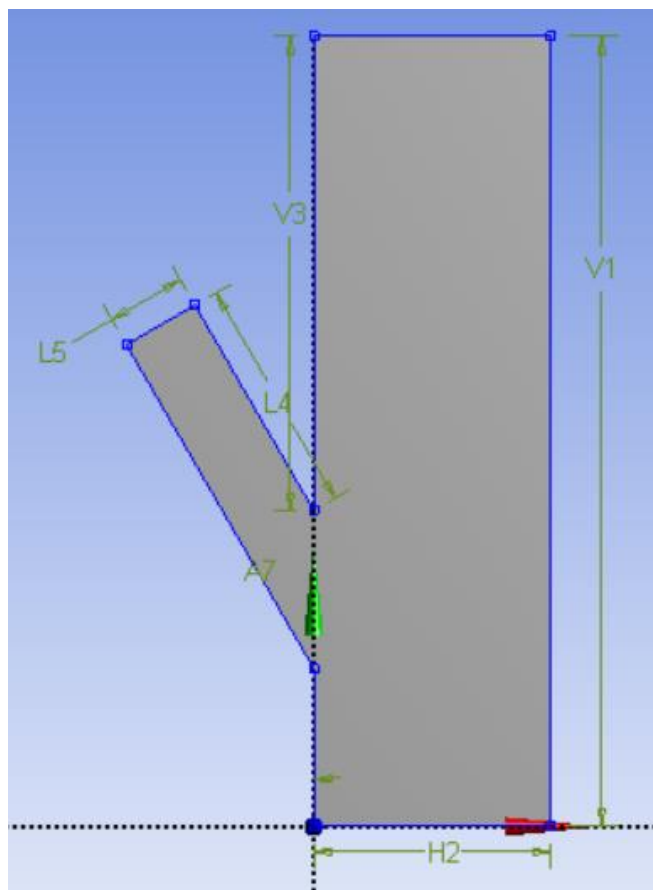
## رسم هندسه

برای رسم هندسه در نرم افزار Ansys از مدول Design Modeler استفاده شده است. در این مدول پس از ایجاد یک Sketch در صفحه x-y، شکل کلی سه راهی را ترسیم نموده ایم. پس از آن ابعاد دقیق سه راهی به کمک ابزار Dimension تنظیم شده است. (شکل (3))

سپس برای تبدیل نمای رسم شده به صفحه، از قسمت Concept و ابزار Surface from sketch این کار انجام گرفته شده است که در شکل (4) قابل ملاحظه می باشد.



شکل 3



شکل 4

طول V3 برای دو حالت 20 و 30 سانتی متر و زاویه A7 برای سه حالت 30، 90 و 150 درجه جهت انجام تحلیل تغییر خواهد نمود.

Dimensions: 6	
<input type="checkbox"/> A7	150 °
<input type="checkbox"/> H2	15 cm
<input type="checkbox"/> L4	15 cm
<input type="checkbox"/> L5	5 cm
<input type="checkbox"/> V1	50 cm
<input type="checkbox"/> V3	30 cm

شکل ۵

سپس با استفاده از Selection filter لبه، خط های ورودی و خروجی و دیواره ها را به ترتیب انتخاب نموده و نام های مناسب را از بخش Name selection برای آنها انتخاب کرده ایم.

نام های انتخابی به شرح زیر می باشد:

ورودی ۱: Inlet1

ورودی ۲: Inlet2

خروجی: Outlet

دیواره ها: Wall



## مش بندی هندسه

مش بندی جزو مراحل مهم حل عددی می باشد. در واقع در این قسمت هندسه مورد نظر را به قسمت هایی تقسیم نموده تا حل عددی در گره های مورد نظر صورت گیرد.

Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
<input type="checkbox"/> Relevance	0
Export Format	Standard
Element Order	Linear

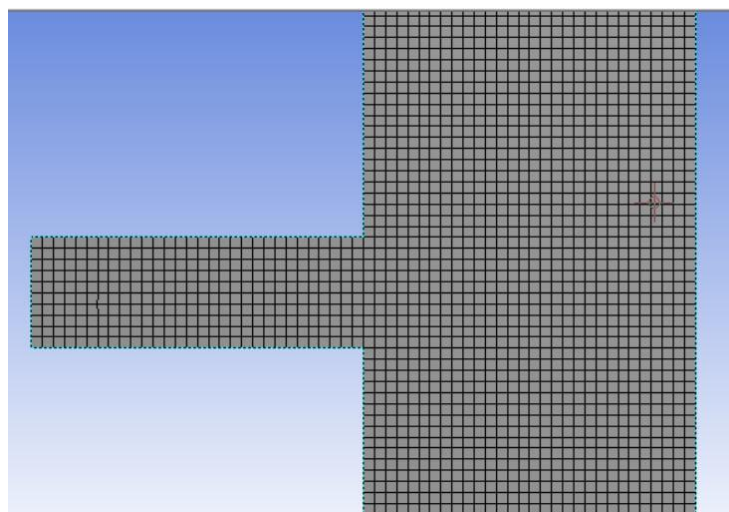
در تمام مش بندی های حل در این مسئله باید Physics Preference را روی CFD و حل گر را بر روی Fluent قرار دهیم .

شکل ۶

مش بندی انواع مختلف دارد که خود این مدل ها توانایی تقسیم شدن به انواع دیگر را دارند برای مثال در مش بندی محلی میتوان از ترکیب Method های مختلف استفاده نمود که باید با توجه به هندسه مورد نظر بهترین آنها انتخاب شود. در قسمت زیر با چند نوع از مش بندی ها بیشتر آشنا می شویم.

## Global meshing

در این نوع، مش به صورت کلی ریخته می شود و با استفاده از تنظیمات موجود در خود قسمت مش، به آن سایز داده می شود که در شکل زیر Setup و شکل مش مشخص شده است:



شکل ۸

Sizing	
Size Function	Curvature
Relevance Center	Fine
<input type="checkbox"/> Max Face Size	5,0 mm
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (2,5e-002 mm)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20 )
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (5,e-002 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18,0 °)
Bounding Box Diagonal	583,10 mm
Minimum Edge Length	50,0 mm

شکل ۷

در این حالت از قسمت Quality میتوان کیفیت مش را مورد بررسی قرار داد که در شکل های زیر آورده شده است.

Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,99989
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	1,
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	4,6434e-006

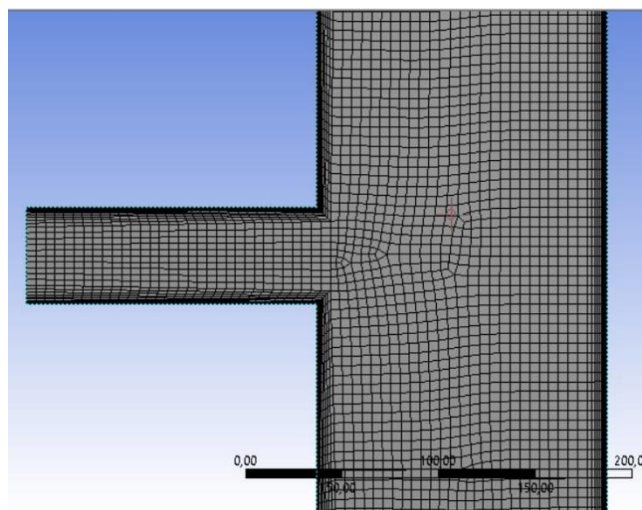
شکل ۱۰

Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1,3057e-010
<input type="checkbox"/> Max	1,3298e-002
<input type="checkbox"/> Average	7,5992e-005
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	7,2432e-004

شکل ۹

## Local meshing

در این نوع مش بندی با توجه به هندسه ی موجود به انتخاب المان های موجود می پردازیم برای مثال میتوان از Inflation و Method استفاده کنیم که ما از Multizone ، Method ، Mesh Type و All Quad استفاده کردیم که در شکل های زیر شکل مش و Setup آن مشاهده می شود:



شکل ۱۲

Details of "Inflation" - Inflation	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Boundary Scoping Method	Geometry Selection
Boundary	5 Edges
Inflation Option	Total Thickness
<input type="checkbox"/> Number of Layers	10
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
<input type="checkbox"/> Maximum Thickness	10,0 mm
Inflation Algorithm	Pre

شکل ۱۱

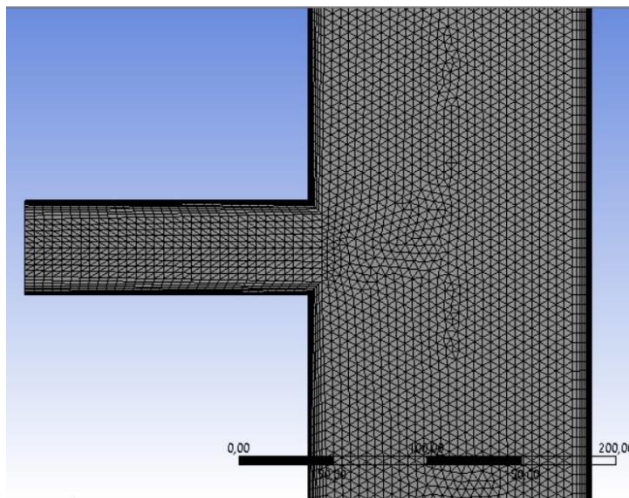
Details of "MultiZone Quad/Tri Method" - Method	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Method	MultiZone Quad/Tri
Surface Mesh Method	Program Controlled
Element Order	Use Global Setting
Free Face Mesh Type	All Quad
<b>Advanced</b>	
Preserve Boundaries	Protected
Mesh Based Defeaturing	On
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default(2,5e-002 mm)
Sheet Loop Removal	No
Minimum Edge Length	50, mm
Write ICEM CFD Files	No

شکل ۱۴

Display	
<b>Defaults</b>	
<b>Sizing</b>	
Size Function	Curvature
Relevance Center	Fine
<input type="checkbox"/> Max Face Size	5,0 mm
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (2,5e-002 mm)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (5,e-002 mm)
<input type="checkbox"/> Curvature Nor...	Default (18,0 °)
Bounding Box Di...	583,10 mm
Minimum Edge L...	50,0 mm

شکل ۱۳

در این نوع مش میتوان از نوع مش مثلثی نیز استفاده نمود ولی با توجه به معیار های مش مربعی مناسب تر می باشد.



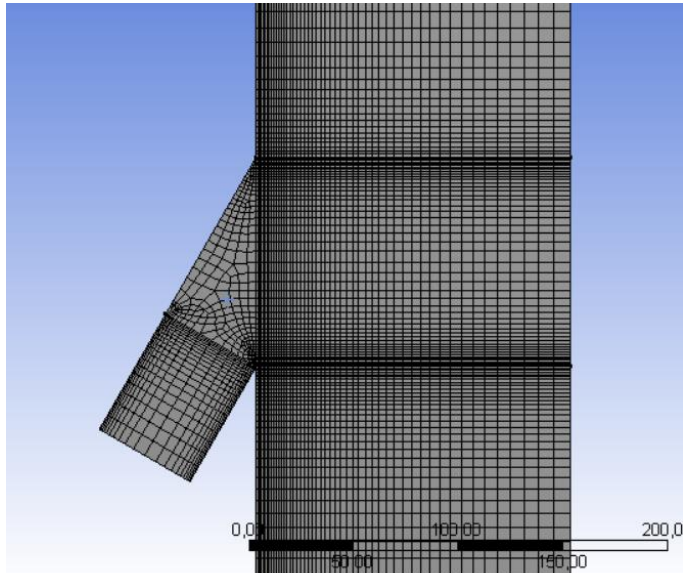
شکل ۱۶

Details of "MultiZone Quad/Tri Method" - Method	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Method	MultiZone Quad/Tri
Surface Mesh Method	Program Controlled
Element Order	Use Global Setting
Free Face Mesh Type	All Tri
Advanced	
Preserve Boundaries	Protected
Mesh Based Defeaturing	On
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default(2,5e-002 mm)
Sheet Loop Removal	No
Minimum Edge Length	50, mm
Write ICEM CFD Files	No

شکل ۱۵

## Structured meshing

در این نوع مش ما به قسمت بندی هندسه می پردازیم. برای نمونه در شکل زیر هندسه به قسمت های مختلف تقسیم شده و به آن بایاس نیز داده شده است. متأسفانه این نوع مش به علت تغییرات مداوم مش در جریان سیال برای هندسه مسئله مناسب نمی باشد.

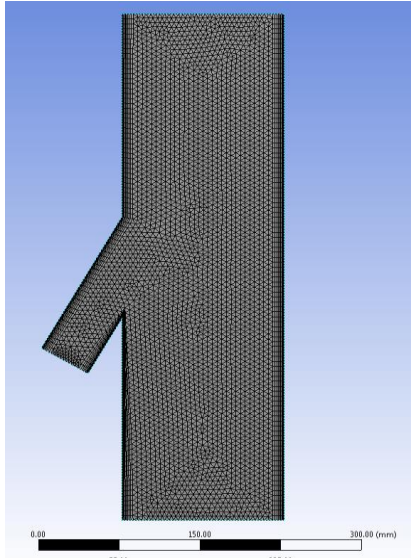


شکل ۱۷

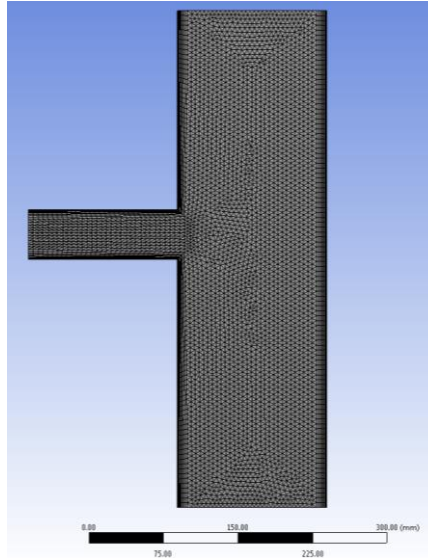


## مش انتخابی برای حل مسئله

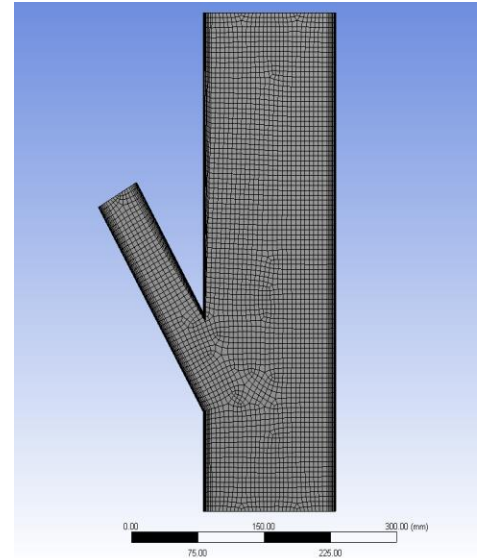
با توجه به این که مسئله ما دارای ۳ هندسه متفاوت میباشد ما برای هندسه با زاویه  $90^\circ$  از مش Global استفاده نموده و برای هندسه با زاویه  $30^\circ$  از مش Local با نوع مثلثی استفاده شده و برای هندسه  $150^\circ$  درجه از مش Local با نوع مربعی استفاده شده است. (تنظیمات حل در بالا آورده شده است)



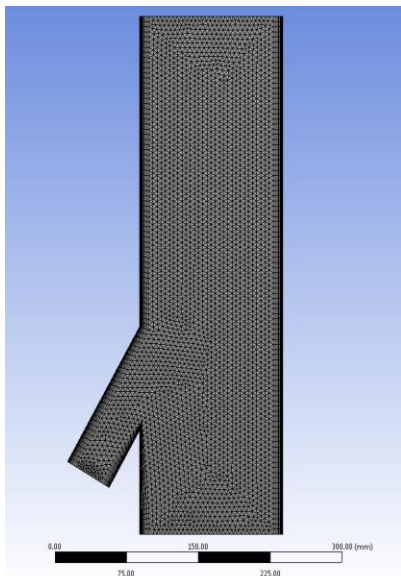
شکل ۲۰



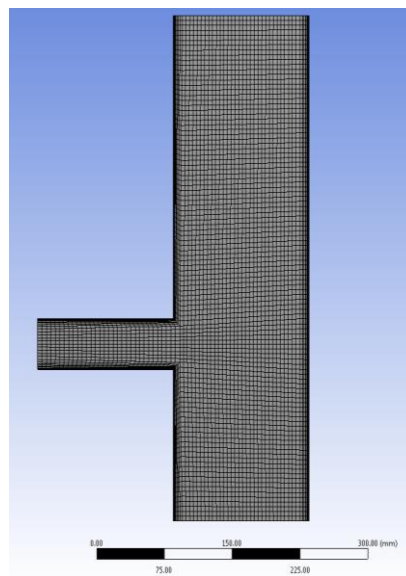
شکل ۱۹



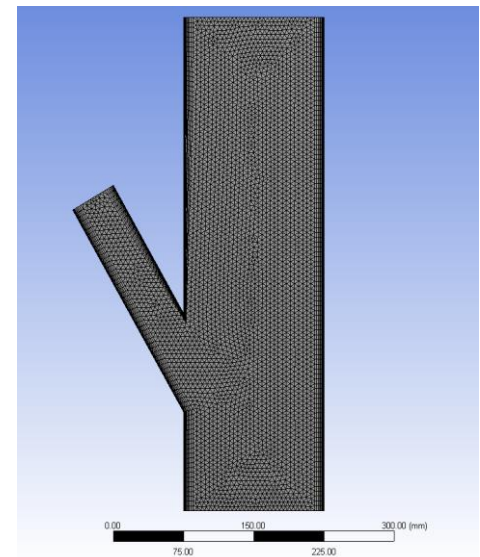
شکل ۱۸



شکل ۲۳



شکل ۲۲

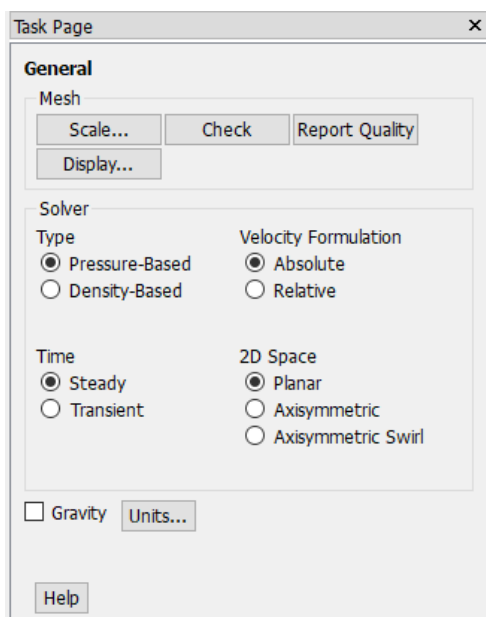


شکل ۲۱

## تنظیمات Fluent

پس از مش بندی سه راهی موردنظر، برای انجام تحلیل، از بخش Fluent نرم افزار انسیس کمک گرفته شده است.

### General



شکل ۲۴

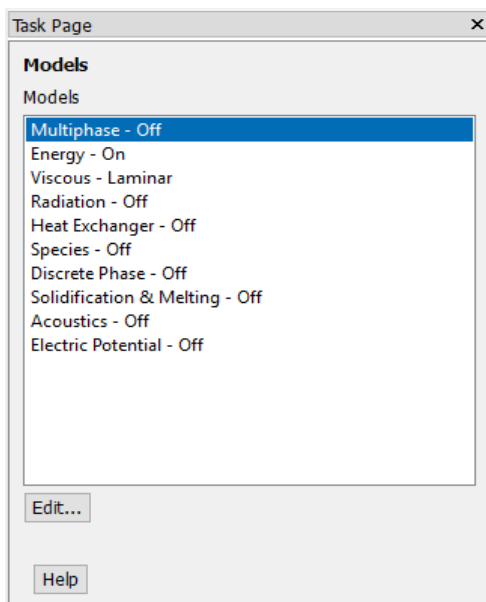
در این بخش پس از وارد کردن فایل قطعه مش بندی شده، در ابتدا مش بندی انجام شده چک شده و از منفی نبودن سطح یا حجم منفی اطمینان حاصل نموده شده است.

باتوجه به تراکم ناپذیر بودن جریان، نوع حلگر Pressure-Based انتخاب شده است. همچنین شرایط بصورت پایا (Steady) و فضای دو بعدی بصورت مسطح (Planar) در نظر گرفته شده است.

همچنین در قسمت Units واحد دما بصورت درجه سلسیوس برای اعمال مقادیر دما در این واحد در قسمت های بعدی انتخاب شده است.

### Models

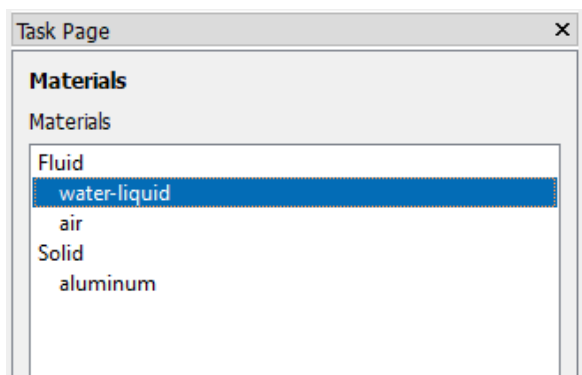
در این قسمت مدل انرژی فعال شده و همچنین مدل لزجت باتوجه به شرایط آرام مسئله بصورت Laminar انتخاب شده است.



شکل ۲۵

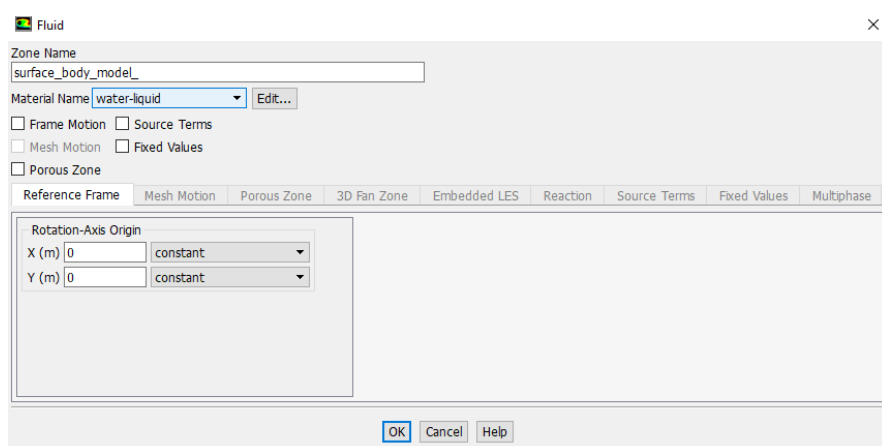
در حالتی که هندسه مسئله بصورتی است که  $DE=30\text{ cm}$  و  $\alpha=30^\circ$  می باشد و همچنین در حالت  $DE=20\text{ cm}$  و  $\alpha=90^\circ$  مدل حل بصورت Laminar انتخاب شده و در چنین حالتی همگرایی صورت گرفته است. اما در سایر حالات مسئله به دلیل همگرا نشدن جواب مسئله و همچنین ایجاد جریان بازگشتی، در ابتدا با کاهش ضرایب زیرتخفیف سعی در رفع این مشکل گردیده شد. همچنین با تغییر در ساختار مش نیز این مشکل برطرف گردیده نشد. به همین خاطر برای رفع این مشکل مدل لزجت از حالت Laminar به حالت Standard k-epsilon تغییر داده شد و در نهایت مشکل عدم همگرایی و ایجاد جریان بازگشتی رفع گردیده شد.

## Materials



شکل ۲۶

باتوجه به اینکه سیال گذرا از سه راهی آب مایع می‌باشد، به همین خاطر در این قسمت برای اضافه کردن سیال آب به شاخه مربوط به مواد سیال از کتابخانه فلوننت کمک گرفته شده است. بطوریکه پس از انتخاب آب مایع از کتابخانه و کپی کردن آن، این ماده به شاخه مواد سیال اضافه گردیده شد.



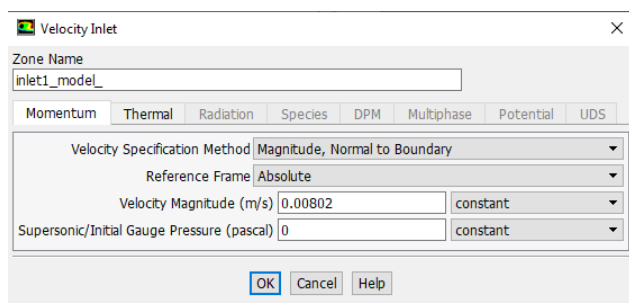
شکل ۲۷

## Cell zone Conditions

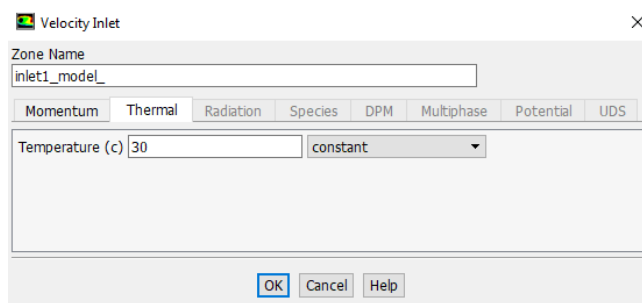
برای معرفی سیال آب به عنوان سیال گذرنده از مدل سه راهی، از این قسمت اقدام شده بطوریکه قسمت Material Name بر روی water-liquid قرار داده شد.

## Boundary Conditions

در این قسمت شرایط مرزی مدل تعیین گردیده شده است بطوریکه برای ورودی‌های 1 و 2 نوع شرط مرزی، Velocity-inlet و برای خروجی، نوع شرط مرزی، Pressure-outlet انتخاب شده است. همچنین شرط مرزی دیواره‌های سه راهی بصورت wall انتخاب شده است. پس انتخاب نوع شرط مرزی برای بخش‌های مختلف سیستم، مقادیر این شرایط اعمال شده است. برای ورودی 1، مقادیر سرعت ورودی و همچنین دمای سیال در این ورودی اعمال شده است.

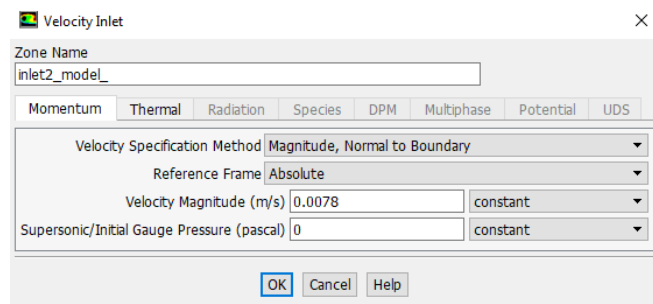


شکل ۲۸- الف

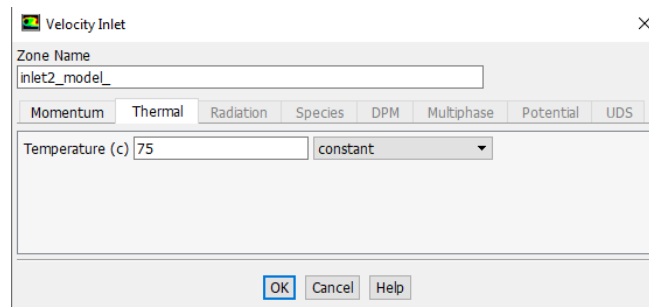


شکل ۲۸- ب

به همین صورت برای ورودی ۲ نیز خواهیم داشت.

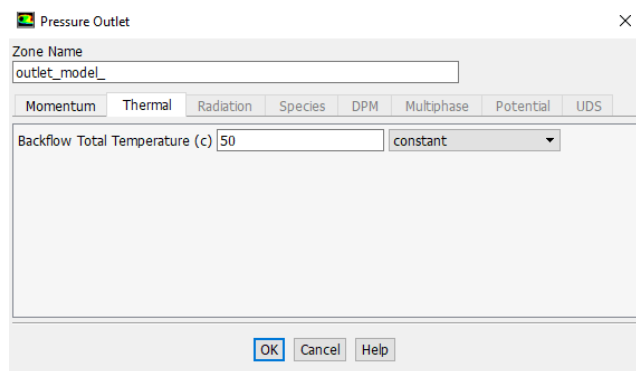


شکل ۲۹- الف

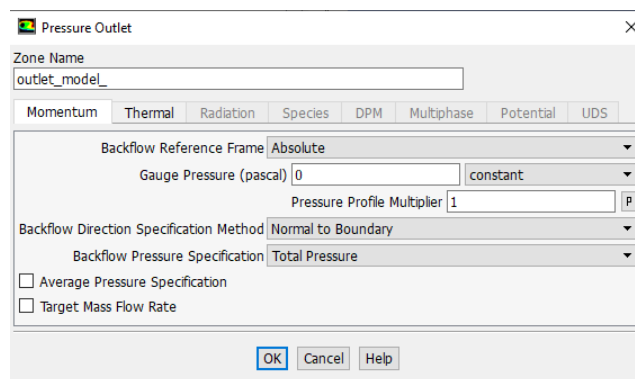


شکل ۲۹- ب

باتوجه به اینکه شرط مرزی خروجی از نوع فشار بوده و طبق شرایط در نظر گرفته شده برای مسئله، خروج سیال به محیط با شرایط جوی استاندارد می‌باشد، به همین خاطر فشار گیج در خروجی صفر خواهد بود.



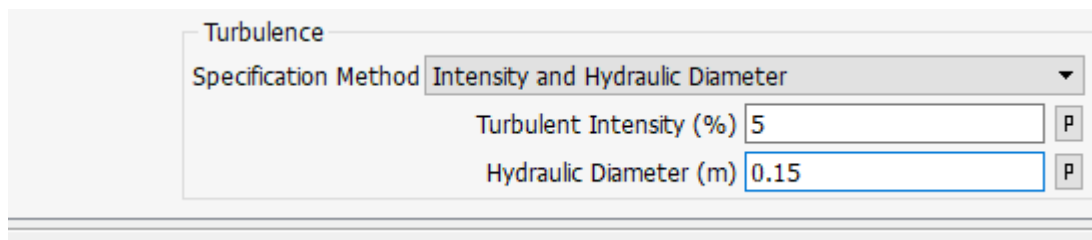
شکل ۳۰ - ب



شکل ۳۰ - الف

دمای برگشت جریان در خروجی بصورت میانگینی از دمای ورودی‌های 1 و 2 انتخاب شده است.

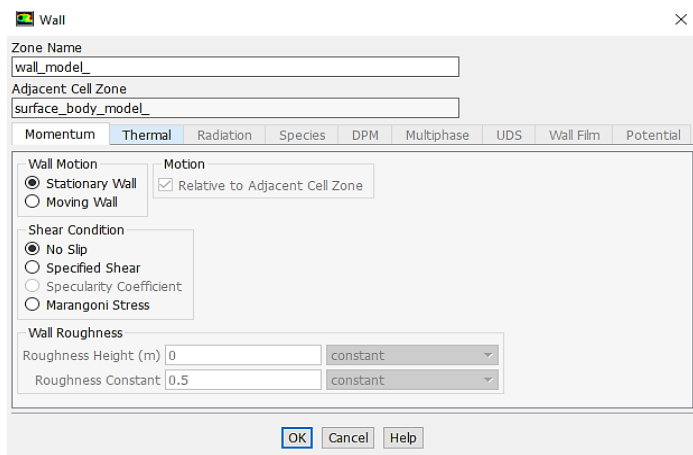
در حالت هایی که مسئله با مدل Standard k-epsilon حل می‌شود برای ورودی‌های 1 و 2 و همچنین خروجی، پس از اعمال شرایط مرزی، می‌بایست در قسمت Turbulence، حالت Specification Method را بر روی Intensity and Hydraulic Diameter قرار داده و قطر هیدرولیکی را در قسمت خود اعمال نماییم. قطر هیدرولیکی برای ورودی 1 و خروجی برابر با 0.15 متر و برای ورودی 2 برابر با 0.05 متر می‌باشد. (شکل زیر این موضوع را برای ورودی 1 نشان می‌دهد.)



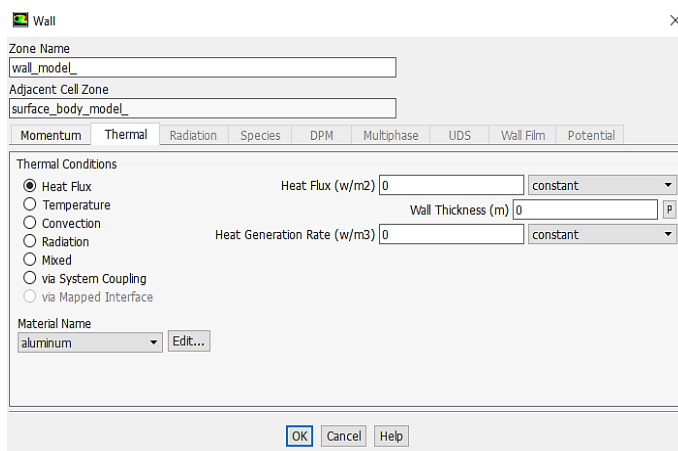
شکل ۳۱



برای تعیین شرایط مرزی دیواره‌های سه راهی، پس از قرار دادن نوع شرط مرزی بر روی Wall، با توجه به ثابت بودن دیواره‌ها، قسمت Wall Motion بر روی گزینه Stationary Wall قرار داده شده است. همچنین جهت برقراری شرط عدم لغزش در دیواره‌ها، در قسمت Shear Condition، گزینه No Slip انتخاب شده است. همچنین با در نظر گرفتن حالت آدیاباتیک برای دیواره‌ها، در تب Thermal، در قسمت Thermal Conditions با فعال کردن گزینه Heat Flux، مقادیر شار عبور از دیواره‌ها برابر با صفر در نظر گرفته شده است.



شکل ۳۲- الف



شکل ۳۲- ب

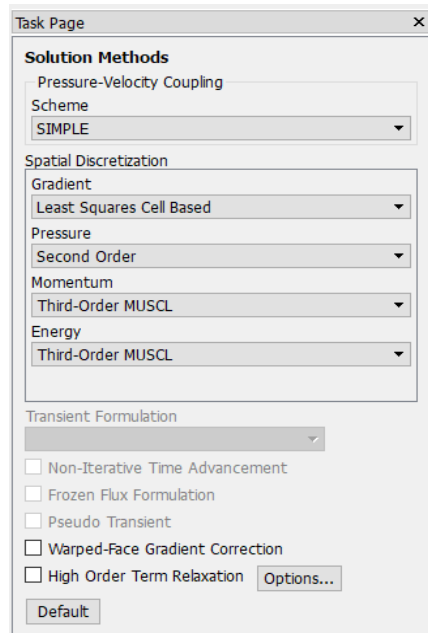
## Methods

در این قسمت با توجه به اینکه در قسمت General، نوع حلگر Pressure-Based انتخاب شد و همچنین شرایط مسئله پایا می‌باشد، به همین خاطر قسمت Scheme را بر روی حالت SIMPLE قرار داده‌ایم. در قسمت Spatial

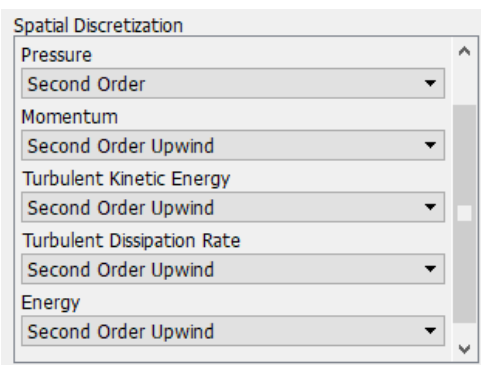
Discretization، حالت Gradient را بر روی Least Squares Cell Based قرار داده و پس از آن روش جداسازی را برای فشار بر روی Second Order و برای مومنتوم و انرژی بر روی Third-Order MUSCL قرار داده‌ایم.

در حالت‌هایی که مسئله با مدل Standard k-epsilon حل می‌شوند، روش

جداسازی برای فشار بصورت Second Order و برای مومنتوم، انرژی جنبشی توربولنت، نرخ پراکندگی توربولنت و انرژی بصورت Second Order Upwind انتخاب شده است.



شکل ۳۳- الف

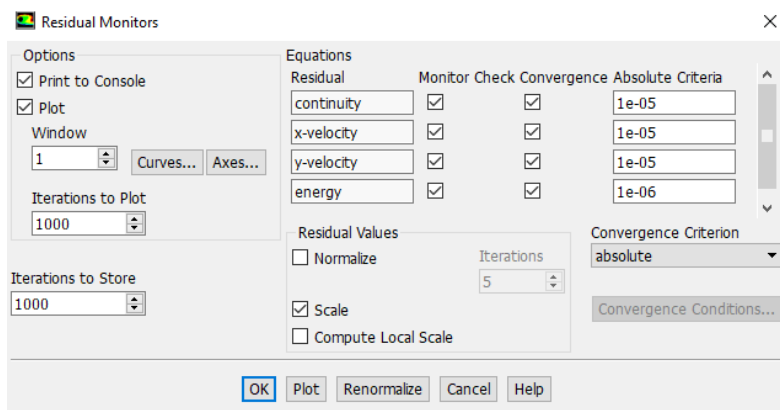


شکل ۳۳- ب

## Residuals

در قسمت **Monitors** و در بخش **Residuals**، مقادیر باقی مانده برای معادلات پیوستگی، سرعت در راستای محور  $x$  و سرعت در راستای محور  $y$  برابر با  $10^{-5}$  و برای معادله انرژی برابر با  $10^{-6}$  در نظر گرفته شده است. همچنین برای مشاهده مقادیر باقی مانده در پنجره **Console** و رسم نمودار مقادیر باقی مانده بر حسب تعداد تکرار، در قسمت **Options**، تیک گزینه‌های **Print to Console** و **Plot** فعال گردیده شده است.

در حالت هایی که مسئله با مدل **Standard k-epsilon** حل می شوند، علاوه بر معادلات فوق، مقدار باقی مانده برای معادلات  $k$  و  $\epsilon$  نیز برابر با  $10^{-5}$  در نظر گرفته شده است.



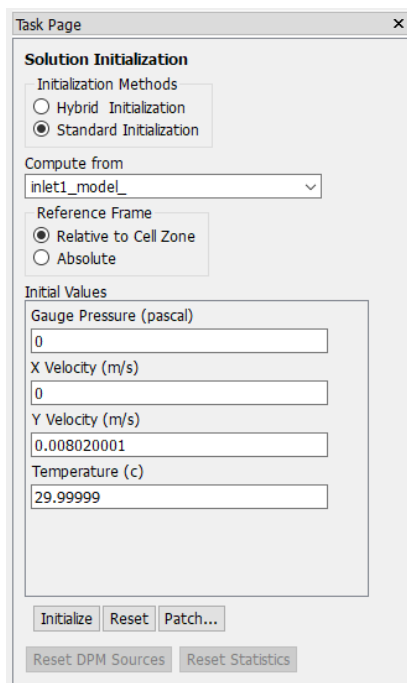
شکل ۳۴- الف



شکل ۳۴- ب

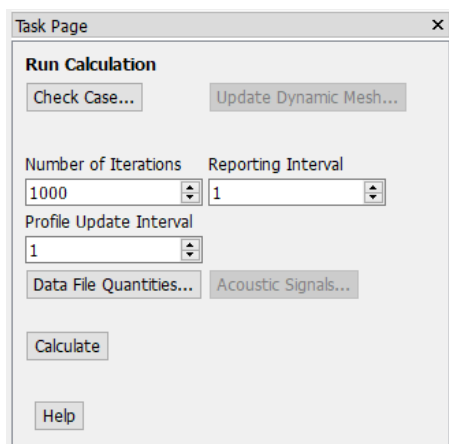
## Initialization

در این قسمت جهت تعیین مقادیر اولیه برای شروع حل عددی معادلات، قسمت **Initialization Methods** بر روی حالت **Standard** قرار گرفته و قسمت **Compute from** بر روی حالت **inlet1\_model\_** قرار گرفته است. به عبارتی از مقادیر موجود در ورودی 1 برای مقداردهی اولیه جهت حل معادلات استفاده خواهد شد. در آخر نیز با انتخاب گزینه **Initialize**، این مقدار دهی انجام خواهد گرفت.



شکل ۳۵

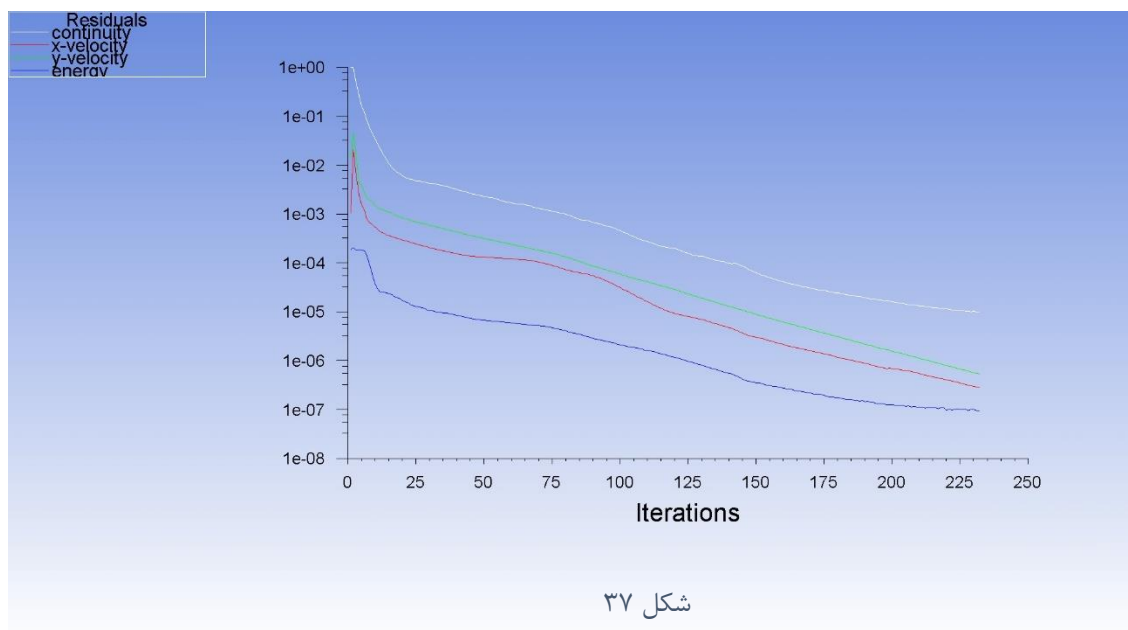
## Run Calculation



در این قسمت پس از تعیین تعداد تکرار حل مسئله در قسمت **Number of Iterations** اعمال عدد 1000 در این قسمت، نرم افزار آماده برای حل مسئله خواهد بود. در آخر کلیک بر روی گزینه **Calculate**، حل مسئله آغاز خواهد شد.

شکل ۳۶

در حین حل مسئله، مقادیر باقی‌مانده بصورت یک نمودار در پنجره **Scaled Residuals** نمایش داده خواهد شد.



شکل ۳۷

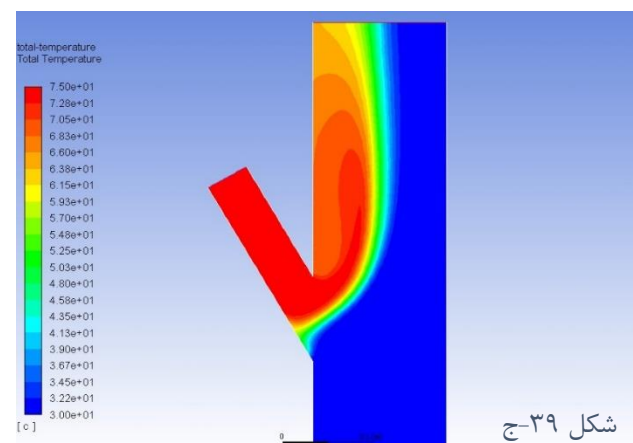
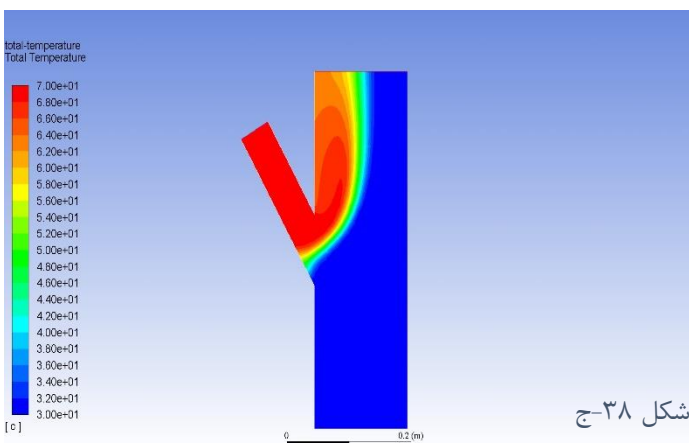
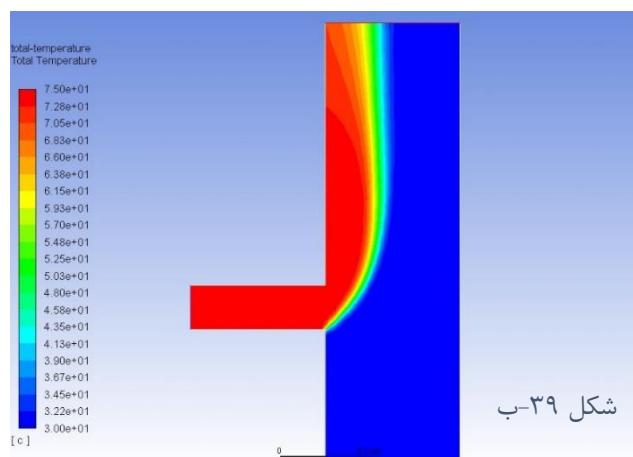
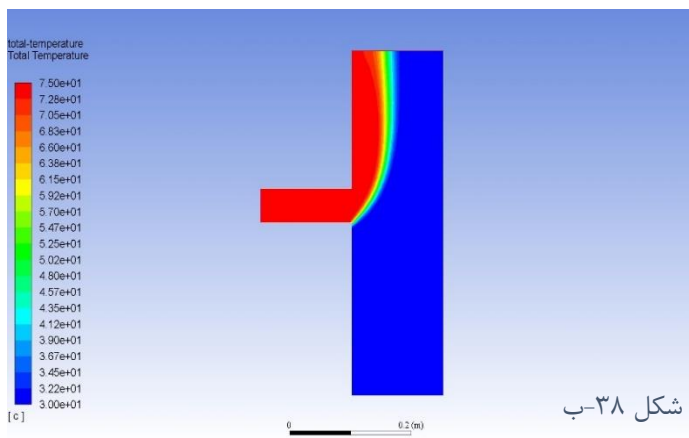
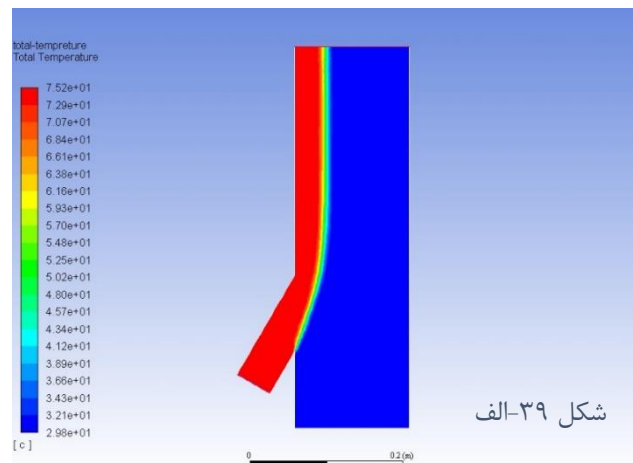
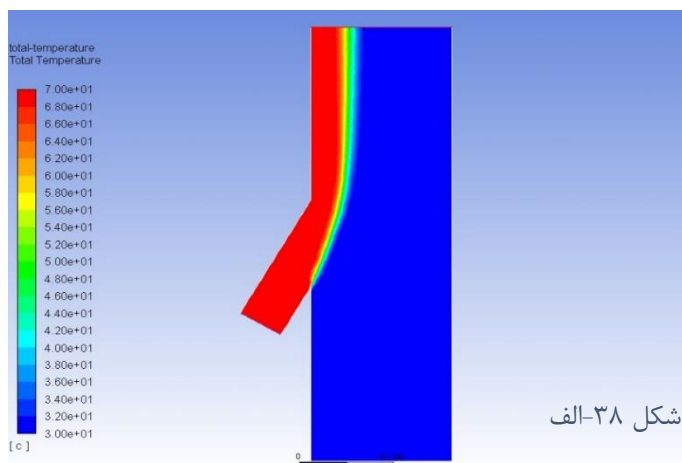
به کمک این نمودار نحوه تغییرات باقی‌مانده به دست آمده از معادلات در هر تکرار بررسی شده و در صورت عدم همگرایی حل، پارامترهای مربوط به ضرایب زیرتخفیف کاهش یافته‌اند. در نهایت پس از همگرا شدن حل، محاسبات متوقف شده و در پنجره **Console** پیغام نشان داده شده در شکل زیر نمایش داده می‌شود که نشان از همگرایی پاسخ و تکمیل شدن آن دارد.

```
! 233 solution is converged
233 9.7646e-06 2.7283e-07 5.1877e-07 9.6141e-08 0:16:39 999

Calculation complete.
```

# نتایج

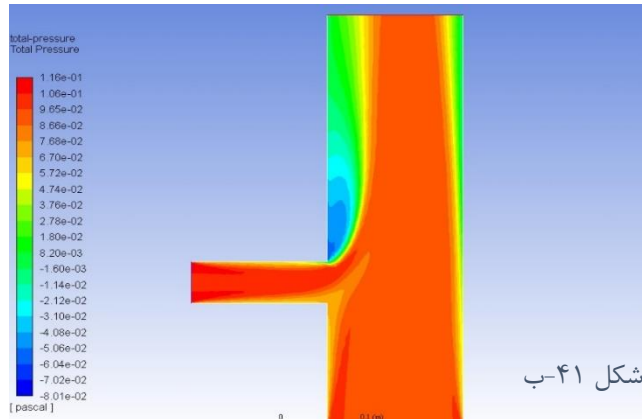
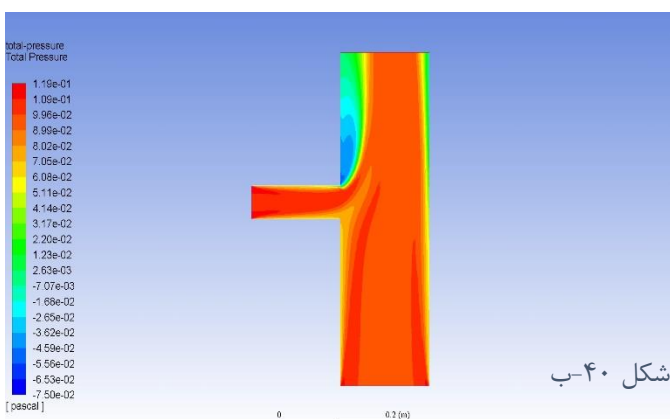
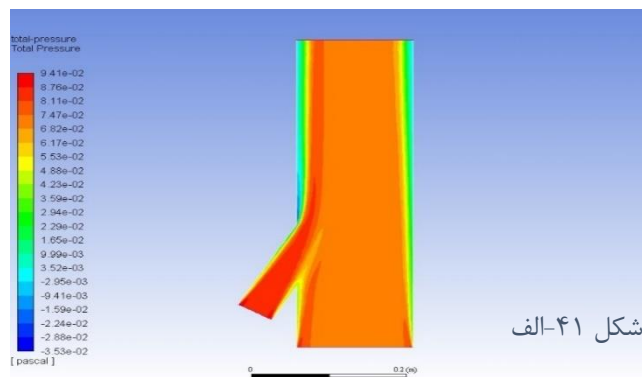
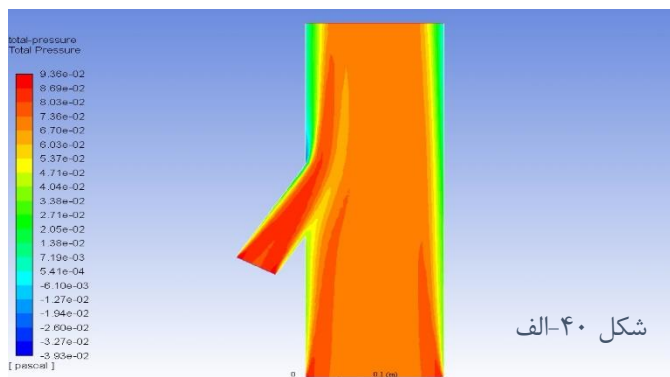
## کانتور دما

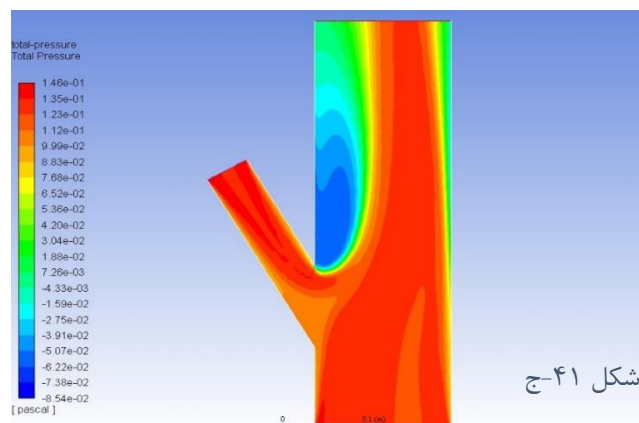
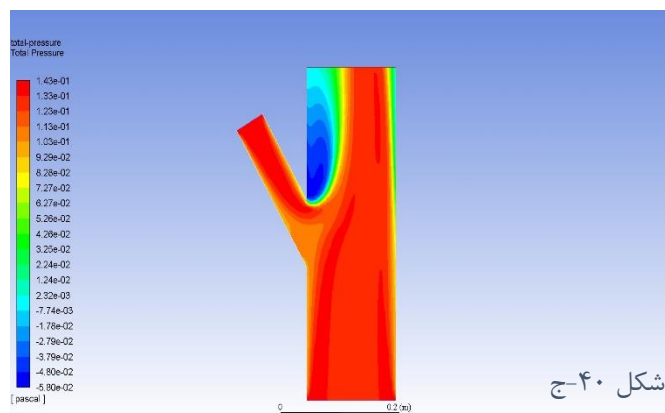


تصاویر فوق کانتور دما را در سه راهی نشان می‌دهند بطوریکه شکل (۳۸) مربوط به حالت  $DE=20\text{ cm}$  و شکل (۳۹) مربوط به حالت  $DE=30\text{ cm}$  می‌باشد.

همانطور که از تصاویر فوق مشخص است، اختلاط جریان سرد و گرم بخوبی انجام پذیرفته و پروفیل دمای یکنواختی در خروجی سه راهی ایجاد نگردیده است. همانطور که پیداست، از بخشی از خروجی سه راهی، جریان با دمای ورودی ۱ خارج شده و در بخش دیگر آن سیال با دمای ورودی ۲ خارج گردیده است و در بخش‌های دیگر (میانی) سیال با دمایی بین دمای سیال ورودی ۱ و ۲ خارج شده است. این اختلاف دما در حالتی که ورودی ۲ در زاویه ۳۰ درجه قرار دارد بیشتر بوده بطوریکه سهم سیال خروجی با دمای ۷۵ درجه سلسیوس در بیشترین حالت می‌باشد. با افزایش زاویه ورودی ۲، میزان این سهم کاهش یافته است اما در حالت ۱۵۰ درجه باز هم اختلاط یکنواخت دو جریان صورت نگرفته است. از طرفی با افزایش زاویه ورودی ۲ و فاصله آن تا خروجی (افزایش  $DE$ )، سهم قسمت‌هایی از سیال که دمایی تقریباً بین دمای ورودی‌های ۱ و ۲ دارند (بخش‌های با رنگ نارنجی و زرد) افزایش یافته است مخصوصاً در حالت  $DE=30\text{ cm}$  و  $\alpha=150^\circ$  (شکل (۳۹) - ج) این سهم در بیشترین مقدار خود قرار دارد و علت آن مدت زمان بیشتری است که برای دوجریان ورودی ایجاد شده تا درهم دیگر مخلوط گردند و سپس از قسمت خروجی خارج شوند.

## کانتور فشار





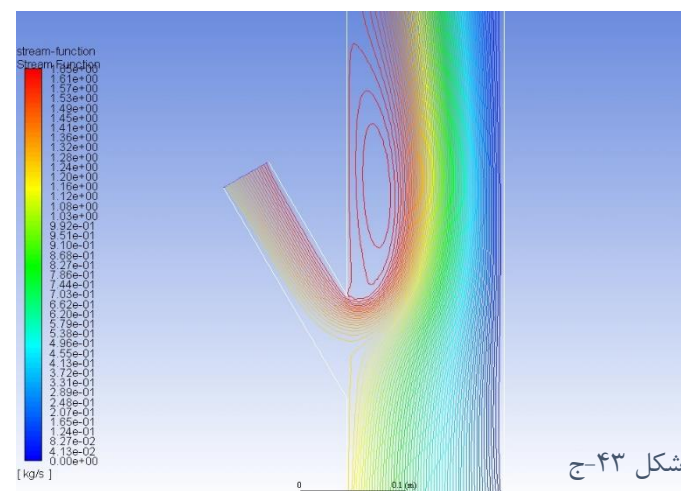
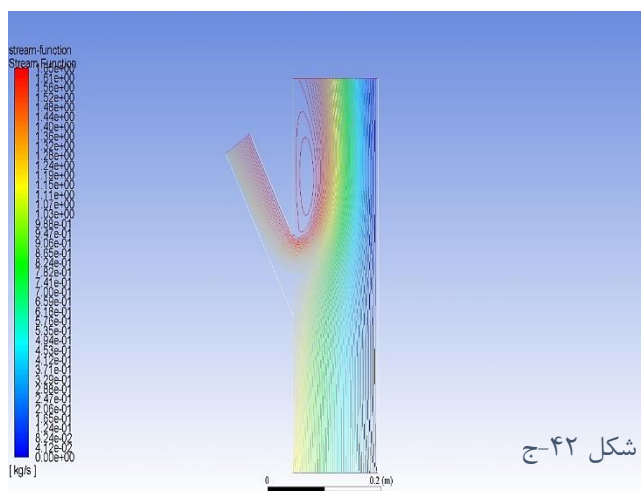
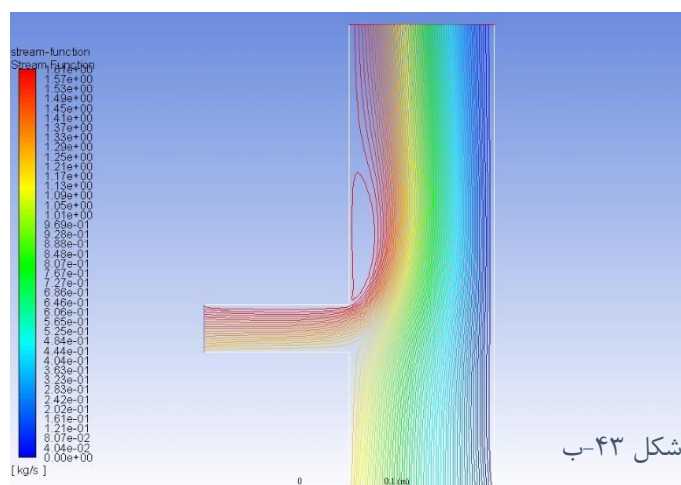
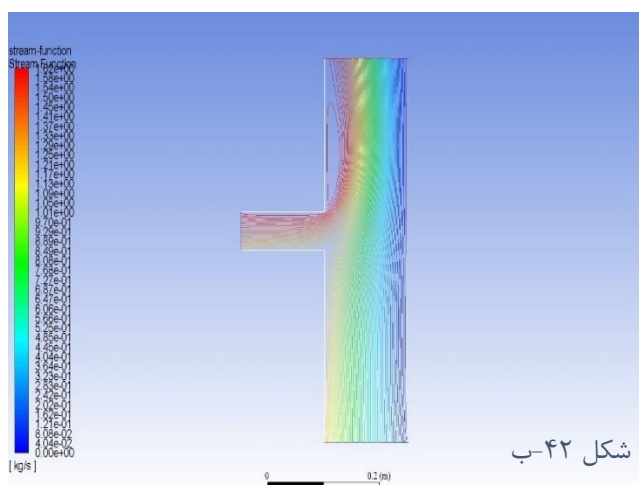
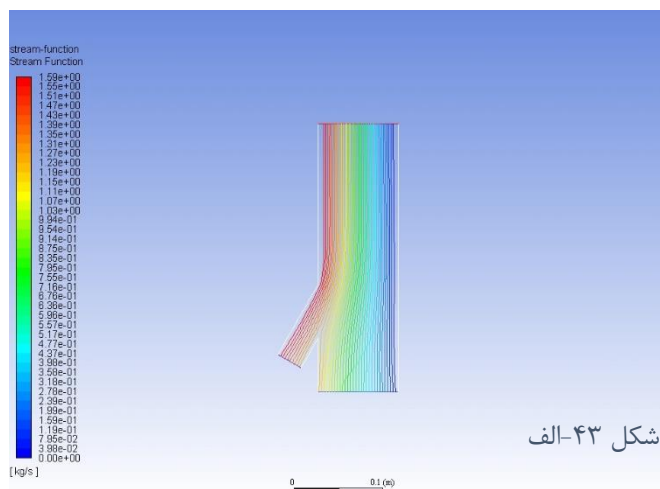
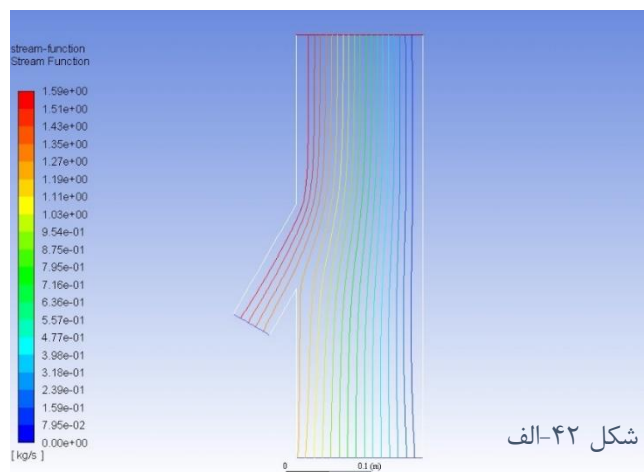
تصاویر فوق کانتور فشار را در سه راهی نشان می‌دهند بطوریکه شکل (۴۰) مربوط به حالت  $DE=20\text{ cm}$  و شکل (۴۱) مربوط به حالت  $DE=30\text{ cm}$  می‌باشد. همانطور که در تصاویر مشخص است، قسمت‌های آبی رنگ دارای مقدار فشار کمتری می‌باشند. این نواحی کم فشار بیانگر نواحی هستند که در آنها گردابه‌ها بر اثر برخورد جریان‌های ورودی ایجاد گردیده و ناحیه‌ای تحت عنوان *wake* ایجاد گردیده شده است.

باتوجه به تصاویر، با افزایش زاویه ورودی ۲، میزان تشکیل گردابه‌ها افزایش یافته است بطوریکه در حالت  $DE=20\text{ cm}$  و  $\alpha=150^\circ$  (شکل (۴۰) - ج) ناحیه‌ای با بیشترین گردابه و کمترین میزان فشار ایجاد شده است؛ زیرا در این حالت جریان‌های ورودی با بیشترین اختلاف در جهت ورود به سه راهی به یکدیگر برخورد می‌نمایند و وقوع گردابه‌ها را محتمل‌تر می‌کند. همچنین با مقایسه این حالت با حالتی که  $DE=30\text{ cm}$  و  $\alpha=150^\circ$  (شکل (۴۱) - ج) می‌باشد، با افزایش فاصله ورودی ۲ تا خروجی سه راهی، وسعت ناحیه *wake* افزایش یافته اما در مقابل کاهش میزان فشار سیال کاهش یافته است.

در حالتی که  $\alpha=30^\circ$  می‌باشد (شکل ۴۰ و ۴۱ - الف)، سیال با فشار یکنواخت‌تری از سه راهی خارج شده است.



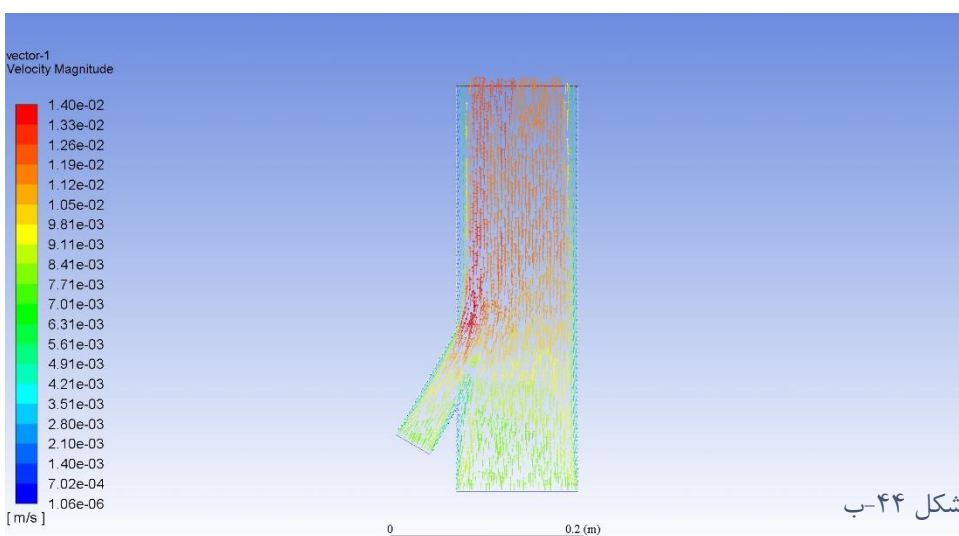
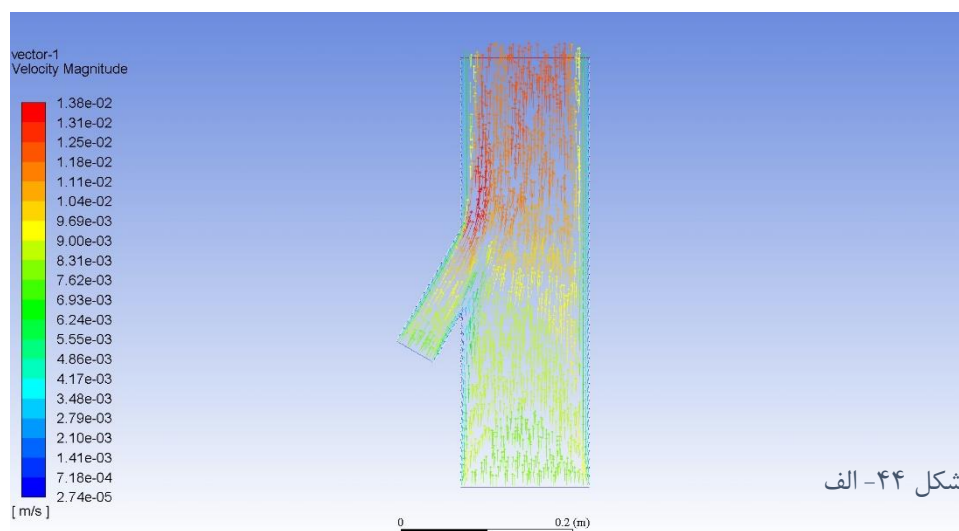
## کانتور خطوط جریان



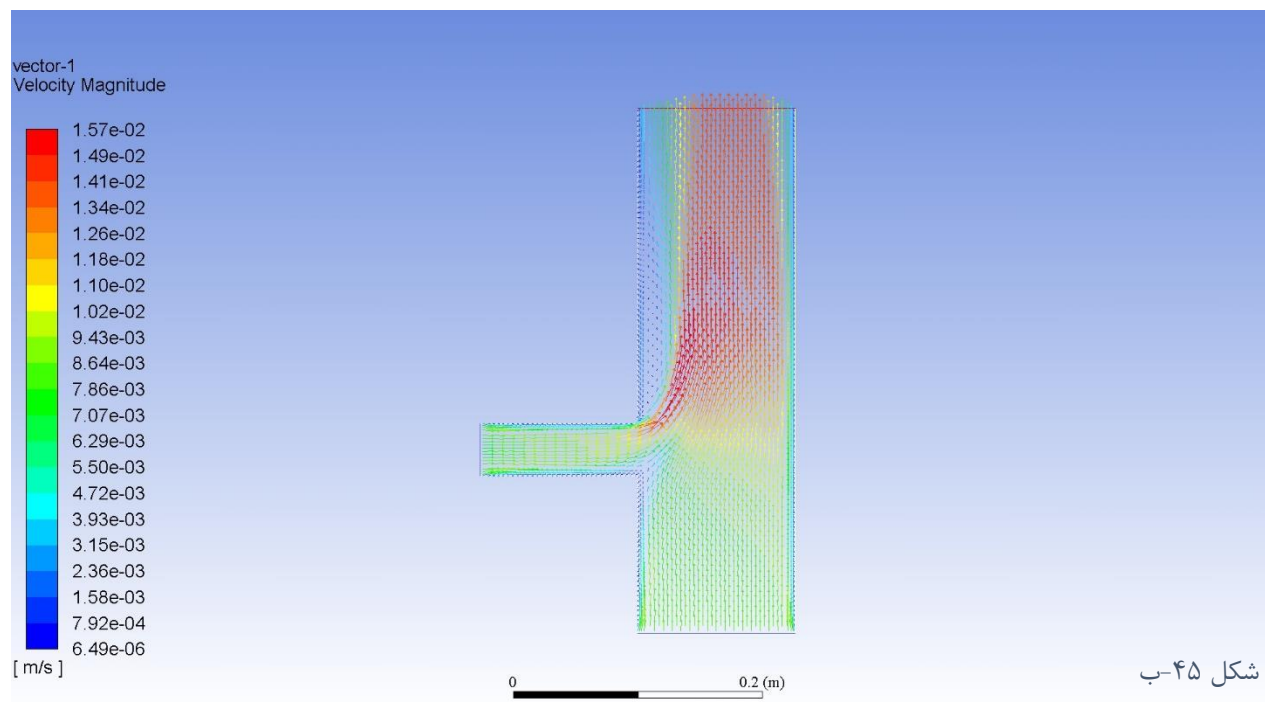
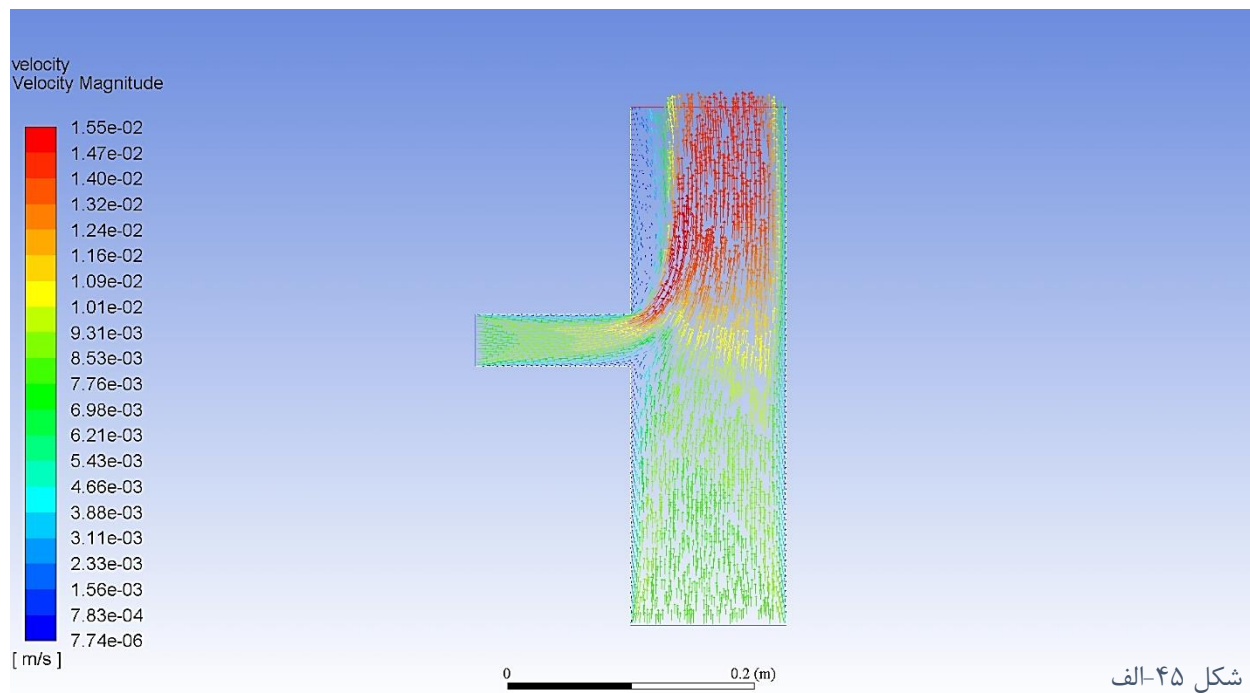
تصاویر فوق کانتور خط جریان را در سه راهی نشان می‌دهند بطوریکه شکل (۴۲) مربوط به حالت  $DE=20\text{ cm}$  و شکل (۴۳) مربوط به حالت  $DE=30\text{ cm}$  می‌باشد.

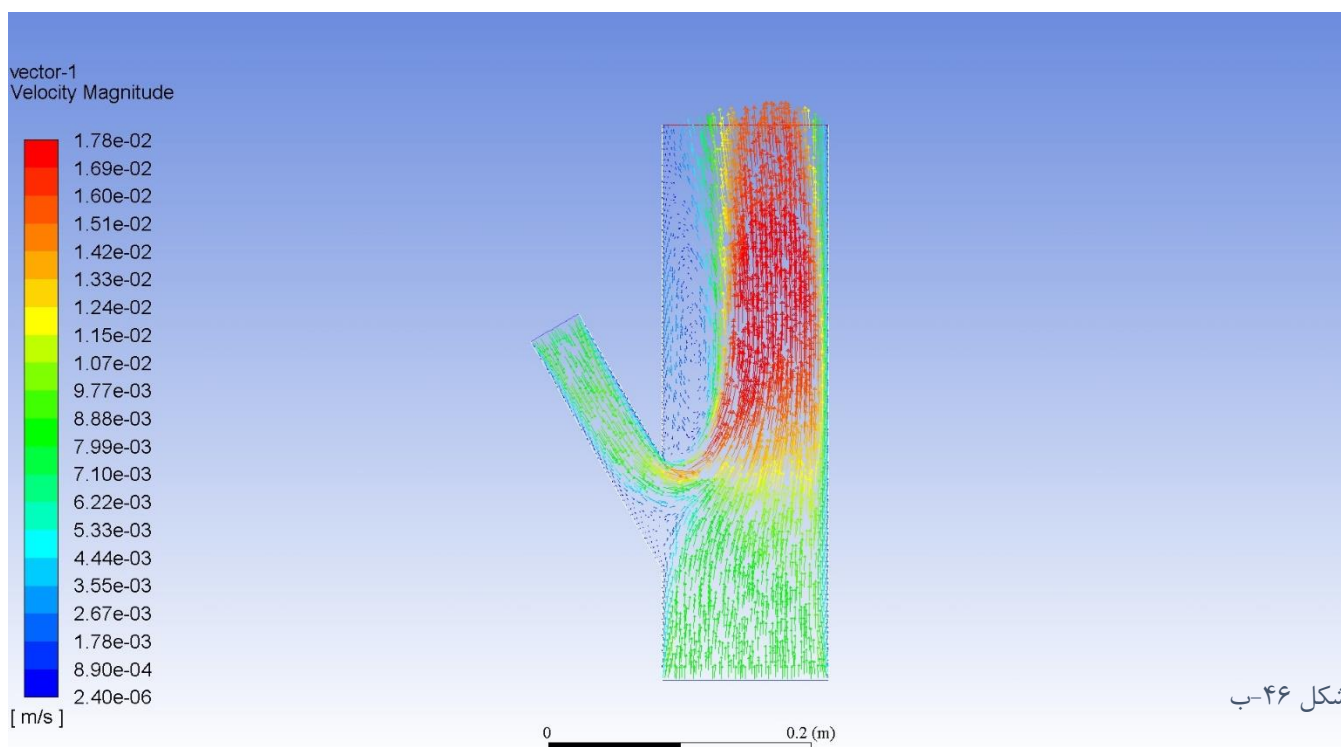
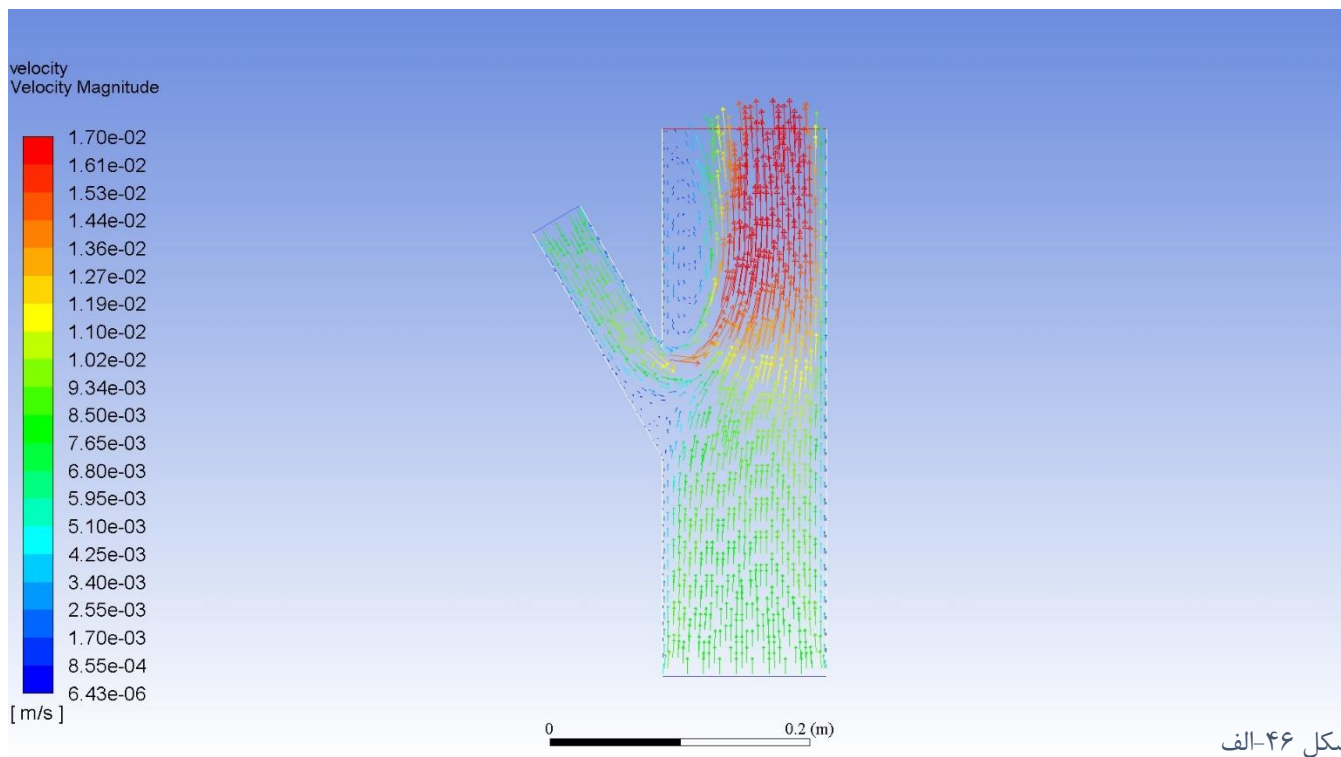
با توجه به تصاویر فوق، نحوه عبور جریان سیال از داخل سه راهی مشخص می‌باشد. همانطور که در تصاویر فوق مشخص است، با افزایش زاویه ورودی ۲، در مسیر عبور جریان سیال گردابه‌هایی تشکیل گردیده شده است بطوریکه با افزایش زاویه، وسعت محدوده تشکیل گردابه نیز افزایش یافته است. در حالتی که ورودی ۲ در زاویه ۳۰ درجه قرار دارد، گردابه‌ای تشکیل نشده و جریان با کمترین میزان برخورد از سه راهی خارج شده و در دو حالت ۹۰ و ۱۵۰ درجه، ناحیه wake نمایان شده است. از میان این حالت‌ها، در حالتی که  $DE=30\text{ cm}$  و  $\alpha=150^\circ$  می‌باشد (شکل (۴۳) - ج)، بزرگترین ناحیه تشکیل گردابه ایجاد شده است. این مسئله در کانتور فشار مربوط به این حالت نیز قابل مشاهده می‌باشد.

## بردار های سرعت









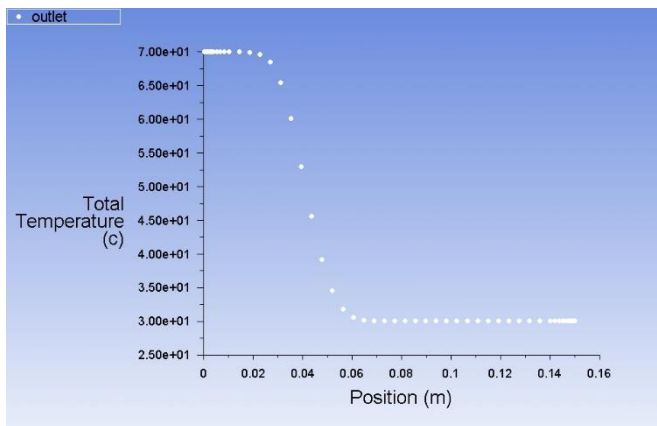
تصاویر فوق بردارهای سرعت را در سه راهی نشان می دهند بطوریکه شکل های (۴۴، ۴۵ و ۴۶ - الف) مربوط به حالت  $DE=20\text{ cm}$  و شکل های (۴۴، ۴۵ و ۴۶ - ب) مربوط به حالت  $DE=30\text{ cm}$  می باشد.

باتوجه به این تصاویر، بردارهای سرعت در نزدیکی دیواره ها دارای کمترین مقدار می باشند؛ زیرا که در دیواره ها شرط عدم لغزش برقرار بوده و سرعت روی دیواره برابر با صفر می باشد. با دور شدن از دیواره های سه راهی، مقدار سرعت افزایش یافته است. در برخی از محدوده های داخل سه راهی بردارهای سرعت در بیشترین مقدار خود قرار گرفته اند (بردارهای قرمز رنگ). برخورد جریان های ورودی در این نقاط سبب افزایش سرعت در این نواحی گردیده است. همانطور که در تصاویر پیداست، با افزایش زاویه ورودی 2، میزان افزایش سرعت نیز افزایش یافته است بطوریکه در حالت  $\alpha=150^\circ$  (شکل (۴۶)) تعداد بردارهای قرمز رنگ و همچنین مقدار سرعت آنها نیز در بیشترین حالت قرار دارد. باتوجه به شکل (۴۶ - ب)، با افزایش فاصله ورودی 2 از خروجی، مقدار سرعت در محل برخورد افزایش یافته است.

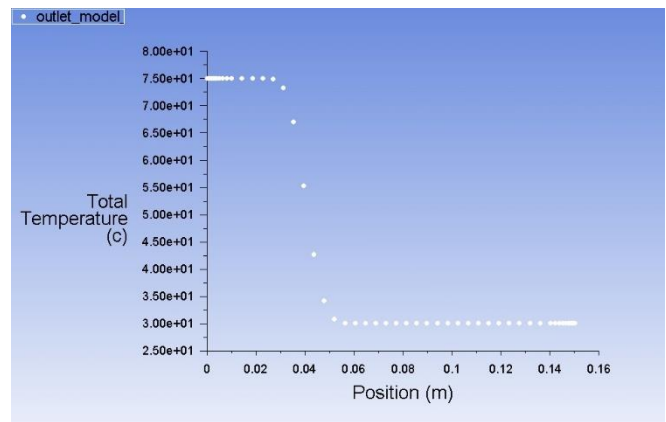
در برخی از نواحی جهت بردارهای سرعت و مقدار آنها نیز تغییر کرده است. این نواحی نشان دهنده وقوع گردابه ها و ایجاد ناحیه wake می باشد. این ناحیه در حالت  $\alpha=30^\circ$  وجود نداشته و در دو حالت 90 و 150 درجه به وقوع پیوسته است. همینطور که در کانتور فشار و خط جریان مشاهده شد، افزایش زاویه ورودی 2 سبب افزایش ناحیه wake شده است بطوریکه در حالت  $DE=30\text{ cm}$  و  $\alpha=150^\circ$  (شکل (۴۶) - ب) این محدوده در بیشترین وسعت خود قرار داشته و تعداد بردارهایی که جهت آنها در حال تغییر است بیشتر می باشد. در این حالت مقدار سرعت در این ناحیه در کمترین مقدار خود قرار دارد.

در حالتی که زاویه ورودی 2 برابر با 30 درجه می باشد (شکل (۴۴))، جریان تقریباً با سرعت یکنواختتری نسب به دو حالت دیگر از سه راهی خارج گردیده است. با افزایش مقدار  $DE$  در این حالت (شکل (۴۴) - ب)، یکنواختی سرعت نیز افزایش یافته است.

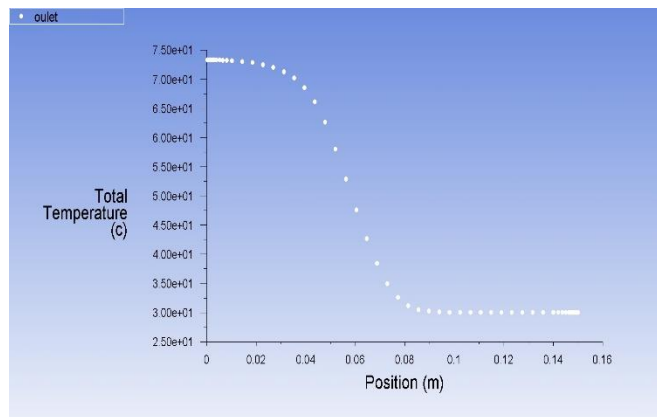
## پروفیل دما در خروجی



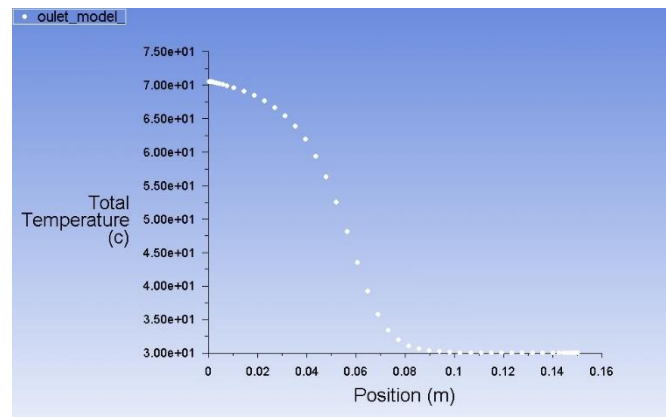
شکل ۴۷-الف- $\alpha=30^\circ$



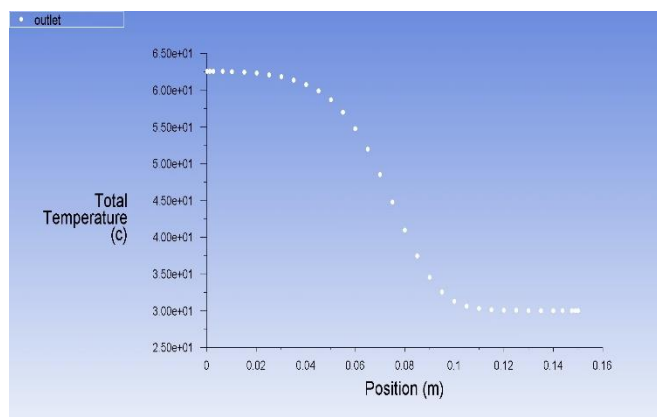
شکل ۴۸-الف- $\alpha=30^\circ$



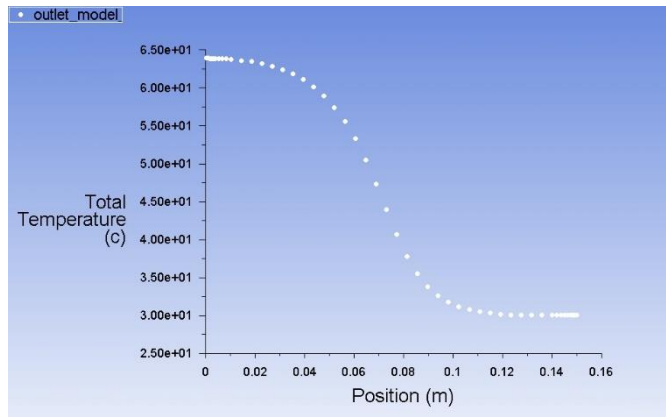
شکل ۴۷-ب- $\alpha=90^\circ$



شکل ۴۸-ب- $\alpha=90^\circ$



شکل ۴۷-ج- $\alpha=150^\circ$



شکل ۴۸-ج- $\alpha=150^\circ$

تصاویر فوق پروفیل دما را در خروجی سه راهی نشان می‌دهند بطوریکه شکل (۴۷) مربوط به حالت  $DE=20$  cm و شکل (۴۸) مربوط به حالت  $DE=30$  cm می‌باشد.

همانطور که در قسمت کانتور دما بیان شد، اختلاط جریان سرد و گرم بخوبی صورت نگرفته و پروفیل دمای یکنواختی در خروجی سه راهی ایجاد نشده است. طبق پروفیل‌های نشان داده شده در بالا، تا قسمتی از سمت چپ خروجی، سیال با دمای ورودی 2 (75 درجه سلسیوس) خارج شده و در محدوده‌ای از سمت راست خروجی، سیال با دمای ورودی 1 (30 درجه سلسیوس) خارج شده است و بخش‌های میانی دارای دمایی بین دمای سیال در ورودی‌های 1 و 2 می‌باشد که در این ناحیه نیز تغییرات دما روندی نزولی دارد.

با افزایش زاویه ورودی 2، محدوده سمت راست خروجی که دارای دمای 30 درجه سلسیوس می‌باشد کاهش یافته است. بعلاوه اینکه با افزایش زاویه، تنوع دمایی در ناحیه‌ی بین سمت چپ و راست خروجی (بین دمای 75 و 30 درجه سلسیوس) نیز افزایش یافته است. همچنین شیب کاهش دما در این ناحیه کاهش یافته است بطوریکه در حالت  $\alpha=30^\circ$  (شکل ۴۷ و ۴۸ - الف) شیب تغییرات دما زیاد بوده و در حالت  $\alpha=150^\circ$  (شکل ۴۷ و ۴۸ - ج) کاهش یافته است.

در صورتی که اختلاط دمای سرد و گرم به بهترین شکل ممکن صورت گرفته بود، پروفیل دما در خروجی در هر موقعیت دمای ثابتی نشان می‌داد.

## محاسبه افت فشار بین ورودی و خروجی

مقدار فشار متوسط سیال (Total Pressure) در ورودی‌های 1 و 2 و همچنین در خروجی سه‌راهی برحسب پاسکال در جداول زیر عنوان شده است. همچنین اختلاف فشار بین ورودی با کمترین فشار و خروجی نیز در این جداول ذکر گردیده شده است.

DE=20 cm				
$\alpha$ (°)	فشار متوسط ورودی 1 (Pa)	فشار متوسط ورودی 2 (Pa)	فشار متوسط خروجی (Pa)	افت فشار بین ورودی با کمترین فشار و خروجی (Pa)
30	0.074170458	0.083658918	0.059524167	0.014646291
90	0.10059098	0.10978664	0.065810527	0.034780453
150	0.13396951	0.13834904	0.072817682	0.061151828

جدول ۱

DE=30 cm				
$\alpha$ (°)	فشار متوسط ورودی 1 (Pa)	فشار متوسط ورودی 2 (Pa)	فشار متوسط خروجی (Pa)	افت فشار بین ورودی با کمترین فشار و خروجی (Pa)
30	0.071948245	0.084644133	0.060298129	0.011650116
90	0.093753544	0.10762711	0.062217515	0.031536029
150	0.12654664	0.13737235	0.069122137	0.057424503

جدول ۲

باتوجه به جداول فوق، در هر دو حالت کمترین میزان فشار، مربوط به ورودی 1 می‌باشد. باتوجه به مقادیر افت فشار بین ورودی با کمترین فشار و خروجی، در هر دو حالت فوق، هنگامی که ورودی 2 در حالت 150 درجه قرار گرفته است، بیشترین میزان افت فشار و در نتیجه بیشترین میزان اتلاف انرژی رخ داده است و علت آن ایجاد گردابه‌هایی است که در اثر برخورد جریان‌های دو ورودی شکل گرفته و انرژی سیال در دیواره‌ها تلف شده است؛ زیرا که گردابه‌ها مکانیزم خوبی هستند برای اینکه انرژی به فرم جنبشی را از جریان اصلی گرفته و در نزدیک دیواره در اثر اصطکاک با آن مستهلک نموده و به فرم حرارتی تبدیل نمایند.

## جمع بندی

بررسی پارامترهای دما، فشار و سرعت از طریق مشاهده کانتورهای دما و فشار و همچنین بردارهای سرعت و همچنین خطوط جریان سیال در شش حالت ذکر شده در این پروژه، در نهایت این نتیجه‌گیری را در پی داشت که افزایش زاویه ورودی 2 نسبت به محور ورودی 1 و همچنین افزایش محل قرارگیری این ورودی نسبت به خروجی، شرایط را برای جریان‌های گرم و سرد اینگونه فراهم می‌آورد که مدت زمان بیشتری را صرف اختلاط در یکدیگر نمایند و در خروجی جریانی با دمای یکنواخت خارج گردد. به همین خاطر از بین شش حالت بررسی شده، در سه راهی‌ای که  $DE=30\text{ cm}$  و  $\alpha=150^\circ$  می‌باشد، چنین شرایطی تا حدود کمی نسبت به بقیه حالات برقرار گردیده شده است. باید توجه داشت که در چنین حالتی حداکثر افت فشار بین ورودی و خروجی به علت برخورد جریان‌های دو ورودی و ایجاد گردابه پدیدار خواهد شد.

شاید بتوان گفت که افزایش طول سه راهی تاثیر زیادی در یکنواخت شدن دمای سیال خروجی خواهد گذاشت؛ زیرا که افزایش طول سبب افزایش زمان لازم جهت مخلوط شدن جریان‌های سرد و گرم را در پی خواهد داشت.

## مراجع

کتاب مکانیک سیالات وایت ویرایش ۷

آموزش انسیس در سایت: [cfdninja.com](http://cfdninja.com)

آموزش انسیس در سایت: [cfdgroup.ir](http://cfdgroup.ir)

آموزش انسیس در سایت: [maktabkhooneh.org](http://maktabkhooneh.org)

آموزش انسیس در سایت: [youtube.com](http://youtube.com)