YERDEN ISITMALI ODA HAVALANDIRMASINDA ITERASYONA BAŞLAMA VE GİRİŞ TÜRBÜLANS PARAMETRELERİNİN AKIŞ VE SICAKLIK DAĞILIMI ÜZERİNE ETKİSİ

Eren ÇENTEK

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERDEN ISITMALI ODA HAVALANDIRMASINDA ITERASYONA BAŞLAMA VE GİRİŞ TÜRBÜLANS PARAMETRELERİNİN AKIŞ VE SICAKLIK DAĞILIMI ÜZERİNE ETKİSİ

Eren ÇENTEK

502010051

Prof. Dr. Erhan PULAT

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YERDEN ISITMALI ODA HAVALANDIRMASINDA ITERASYONA BAŞLAMA VE GİRİŞ TÜRBÜLANS PARAMETRELERİNİN AKIŞ VE SICAKLIK DAĞILIMI ÜZERİNE ETKİSİ

Eren ÇENTEK
Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Prof. Dr. Erhan PULAT

Bu çalışmada, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) Annex 20 odasının havalandırılmasında oda akış modeli üzerine iterasyona başlama ile birlikte giriş türbülans parametrelerinin etkileri hesaplamalı olarak araştırılmıştır. Seçilen uygulama aralığında giriş türbülans şiddeti (Tu) ve uzunluk ölçeği (LS) etkileri altında akış modelleri hesaplanmıştır. Elde edilen akış modelleri saat yönünde (cw), saat yönünün tersinde (ccw) ve ara durumlarda (cw-ccw) olan akış modelleridir. Herhangi bir oda havalandırma çalışmasında, türbülans giriş parametreleri Arşimed sayısı (Ar), kullanılan yazılım, hesaplama metodu ve iterasyon sayısı kadar önemlidir. Çözüm çokluğu çalışmalarında, herhangi bir yazılım ve hesaplamalı çalışmada yüksek bir iterasyon sayısı önerilir. Onun için hesaplamalarda yakınsamayı sağlamak için 15000 iterasyon sayısı göz önüne alınmıştır. RNG k-ε türbülans modeli kullanılmıştır ve kaldırma kuvvetli akış iki-boyutlu, sürekli ve sıkıştırılamaz olarak kabul edilmiştir. Aynı Tu ve LS değerleri için göz önüne alınan iterasyona başlama tipleri ve kaldırma kuvveti yaklaşımları altında akış modelleri saat yönünden (cw) saat yönünün tersine (ccw) veya saat yönünden saat yününde-saat yönünün tersine ara duruma değişmiştir. Bu olaya aynı zamanda deneysel oda havalandırma çalışmalarında da rastlanılmaktadır ve bu durum sayısal ve deneysel çalışmaların her ikisinde de türbülans modelinin ve havalandırma stratejisinin seçiminde bazı yanlış anlaşılmalara neden olabilmektedir. Pratikte herhangi bir oda havalandırma uygulamasında hatalı havalandırma stratejisi ısıl konforda düşüşe ve fazladan enerji tüketimine de sebep olabilir. Bu yüzden özellikle sayısal oda havalandırması çalışmalarında çözüm çokluğu olasılığının kontrol edilmesi önerilir.

Anahtar Kelimeler: Oda havalandırması, çözüm çokluğu, iterasyona başlama, türbülans parametreleri, HAD

2023, xii + 101 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

THE EFFECT OF INITIALIZATION AND INLET TURBULENCE PARAMETERS ON FLOW AND TEMPERATURE PATTERN IN FLOOR HEATED ROOM VENTILATION

Eren ÇENTEK
Bursa Uludağ Universitesi

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Erhan PULAT

In this study, the effects of inlet turbulence parameters along with starting iteration on the room flow model in the ventilation of the International Energy Agency (IEA) Annex 20 room were investigated computationally. Flow patterns were calculated under the effects of inlet turbulence intensity (Tu) and length scale (LS) in the selected application range. The resulting flow patterns are clockwise (cw), counterclockwise (ccw) and intermediate (cw-ccw) flow patterns. In any room ventilation study, the turbulence input parameters are as important as the Archimedes number (Ar), the software used, the calculation method and the number of iterations. In solution multiplicity studies, a high iteration number is recommended in any software and computational work. Therefore, the number of iterations of 15000 has been taken into account to ensure convergence in the calculations. The RNG k-ε turbulence model is used and buoyant flow is assumed to be two-dimensional, continuous and incompressible. For the same Tu and LS values, the flow patterns changed from clockwise (cw) to counterclockwise (ccw) or clockwise-clockwise-counterclockwise to intermediate state under the considered iteration start types and buoyancy approaches. This phenomenon is also encountered in experimental room ventilation studies, and this may cause some misunderstandings in the selection of the turbulence model and ventilation strategy in both numerical and experimental studies. In practice, in any room ventilation application, a faulty ventilation strategy can also cause a decrease in thermal comfort and additional energy consumption. Therefore, it is recommended to check the probability of solution multiplicity, especially in numerical room ventilation studies.

Keywords: Room ventilation, solution multiplicity, initialization, turbulence parameters, CFD

2023, xii + 101 pages.

TEŞEKKÜR

Eğitim hayatımın her bir anında yanımda bulunan ve beni destekleyen değerli aileme, yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca çalışmalarımda değerli vaktini ve engin tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Erhan PULAT'a (Bursa Uludağ Üniversitesi), Erasmus+ programı sırasında değerli bilgilerini benimle paylaşan Doçent. Dr. Miguel PANAO'ya (Universidade de Coimbra) teşekkürlerimi sunarım.

Eren ÇENTEK
03/07/2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa
ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
1. GİRİŞ 1
1.1. Isıtma Havalandırma Sistemlerinin Gelişimi ve IEA'nın Kurulması 1
1.2. IEA Projeleri ve Yürütme Komitesi 3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 6
3. MATERYAL YÖNTEM 7
3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Tarihi 7
3.2. HAD Analiz Adımları 9
3.3. Korunum Denklemleri 12
3.3.1. Momentum Denklemleri 12
3.3.2. Enerji Denklemi 13
3.4. Laminer-Türbülanslı Akışlar ve Türbülans Modelleri 13
3.4.1. Türbülans modelleri 13
3.5. Duvar Yaklaşımı 14
3.5.1. Standart Duvar Fonksiyonu 16
3.5.2. Scalable (Ölçeklenebilir) Duvar Fonksiyonu 16
3.5.3. Enhanced (Genişletilmiş) Duvar Fonksiyonu 17
3.5.4. Non-Equilibrium Duvar Fonksiyonu 17
4. BULGULAR 18
4.1. Geometrik Model 18
4.2. Sayısal Model 19
4.3. Sınır Şartları 20
4.4. Analizlerin Karşılaştırılması 20
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 94
KAYNAKLAR 98
ÖZGEÇMİŞ 101

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
ρ	Yoğunluk
Cp	Özgül ısı
E	Ampirik sabit
Fx	X yönündeki kuvvet
Fy	Y yönündeki kuvvet
Re	Reynolds sayısı
t	Zaman
Tu	Türbülans şiddeti
m	Metre
x	X ekseni
y	Y ekseni
Z	Z ekseni
u	X yönünde hız bileşeni
v	Y yönündeki hız bileşeni
w	Z yönündeki, hız bileşeni
$U*$	Boyutsuz hız
Up	Akışkanın yakın duvar düğümündeki ortalama hızı
kp	Yakın duvar düğümündeki türbülans kinetik enerjisi
κ	Von Karman sabiti
$y*$	Duvardan boyutsuz uzaklık
Yp	P noktasından duvara olan uzaklık
T	Sıcaklık
P	Basınç
μ	Akışkanın dinamik vizkozitesi

Kısaltmalar	**Açıklama**
CAD	Computer Aided Design
BSL	Baseline
CFD	Computational Fluid Dynamics
Cw	Clockwise-Saat yönünde
Ccw	Counter clockwise-Saat yönünün tersinde
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
IEA	International Energy Agency
LES	Large Eddy Simülasyonları
LS	Length Scale
M.Ö	Milattan Önce
RANS	Reynolds Ortalamalı Navier Stokes
RSM	Reynolds Gerilim Modeli
RNG	Re-Normalization Group
SST	Shear Stress Transport
Wf	Duvar fonksiyonu (Wall function)
Yy	Yüzyıl

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 3.1.	Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin analiz adımları	10
Şekil 3.2.	Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin alt başlıklar	11
Şekil 3.3.	Hesaplama metotları	11
Şekil 3.4.	Ağ yapısı örnekleri.....	11
Şekil 3.5.	Yakın duvar bölgesi katmanları	15
Şekil 4.1.	IEA Annex 20 odasının ölçüleri	18
Şekil 4.2.	IEA Annex 20 odasının program üzerinde çizimi	18
Şekil 4.3.	Seyrek ağ yapısı	19
Şekil 4.4.	Orta ağ yapısı	19
Şekil 4.5.	Sık ağ yapısı.....	20
Şekil 4.6.	Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında 15000 adımda iterasyon sonuçları	22
Şekil 4.7.	Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında vektörel hız grafiği.....	22
Şekil 4.8.	Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında akış çizgileri grafiği	23
Şekil 4.9.	Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında sıcaklık grafiği	23
Şekil 4.10.	Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları	24
Şekil 4.11.	Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında vektörel hız grafiği.....	24
Şekil 4.12.	Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında akış çizgisi grafiği.....	25
Şekil 4.13.	Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında sıcaklık grafiği	25
Şekil 4.14.	Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları	26
Şekil 4.15.	Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği.....	26
Şekil 4.16.	Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği	27
Şekil 4.17.	Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği	27
Şekil 4.18.	Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları	28
Şekil 4.19.	Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği.....	28
Şekil 4.20.	Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği.....	29
Şekil 4.21.	Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği	29
Şekil 4.22.	Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları	30
Şekil 4.23.	Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği.....	30
Şekil 4.24.	Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği.....	31
Şekil 4.25.	Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı	

sıcaklık grafiği 31
Şekil 4.26. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 32
Şekil 4.27. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği 32
Şekil 4.28. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 33
Şekil 4.29. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 33
Şekil 4.30. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 34
Şekil 4.31. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği 34
Şekil 4.32. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 35
Şekil 4.33. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 35
Şekil 4.34. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 36
Şekil 4.35. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği 36
Şekil 4.36. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 37
Şekil 4.37. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 37
Şekil 4.38. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 38
Şekil 4.39. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği 38
Şekil 4.40. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 39
Şekil 4.41. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 39
Şekil 4.42. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 40
Şekil 4.43. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği 40
Şekil 4.44. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 41
Şekil 4.45. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 41
Şekil 4.46. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 42
Şekil 4.47. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği 42
Şekil 4.48. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 43
Şekil 4.49. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 43
Şekil 4.50. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 44
Şekil 4.51. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği 44

Şekil 4.52. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 45
Şekil 4.53. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 45
Şekil 4.54. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 46
Şekil 4.55. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 46
Şekil 4.56. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği..... 47
Şekil 4.57. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 47
Şekil 4.58. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 48
Şekil 4.59. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 48
Şekil 4.60. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 49
Şekil 4.61. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 49
Şekil 4.62. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 50
Şekil 4.63. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 50
Şekil 4.64. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 51
Şekil 4.65. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı scıaklık grafiği 51
Şekil 4.66. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 52
Şekil 4.67. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 52
Şekil 4.68. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği..... 53
Şekil 4.69. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 53
Şekil 4.70. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 54
Şekil 4.71. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 54
Şekil 4.72. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği..... 55
Şekil 4.73. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 55
Şekil 4.74. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 56
Şekil 4.75. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 56
Şekil 4.76. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 57
Şekil 4.77. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 57
Şekil 4.78. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı

15000 adımda iterasyon sonuçları 58
Şekil 4.79. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği 58
Şekil 4.80. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 59
Şekil 4.81. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 59
Şekil 4.82. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 60
Şekil 4.83. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği 60
Şekil 4.84. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 61
Şekil 4.85. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 61
Şekil 4.86. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 62
Şekil 4.87. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği 62
Şekil 4.88. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 63
Şekil 4.89. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 63
Şekil 4.90. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 64
Şekil 4.91. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği 64
Şekil 4.92. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 65
Şekil 4.93. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 65
Şekil 4.94. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 66
Şekil 4.95. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği 66
Şekil 4.96. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 67
Şekil 4.97. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 67
Şekil 4.98. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 68
Şekil 4.99. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği 68
Şekil 4.100. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 69
Şekil 4.101. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 69
Şekil 4.102. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 70
Şekil 4.103. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği 70
Şekil 4.104. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 71

Şekil 4.105. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 71
Şekil 4.106. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 72
Şekil 4.107. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 72
Şekil 4.108. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği..... 73
Şekil 4.109. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 73
Şekil 4.110. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 74
Şekil 4.111. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 74
Şekil 4.112. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği 75
Şekil 4.113. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği 75
Şekil 4.114. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 76
Şekil 4.115. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 76
Şekil 4.116. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 77
Şekil 4.117. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 77
Şekil 4.118. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 78
Şekil 4.119. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 78
Şekil 4.120. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 79
Şekil 4.121. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 79
Şekil 4.122. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 80
Şekil 4.123. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 80
Şekil 4.124. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 81
Şekil 4.125. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği..... 81
Şekil 4.126. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 82
Şekil 4.127. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği..... 82
Şekil 4.128. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 83
Şekil 4.129. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 83
Şekil 4.130. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 84
Şekil 4.131. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı

vektörel hız grafiği 84
Şekil 4.132. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 85
Şekil 4.133. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 85
Şekil 4.134. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 86
Şekil 4.135. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği 86
Şekil 4.136. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 87
Şekil 4.137. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 87
Şekil 4.138. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 88
Şekil 4.139. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği 88
Şekil 4.140. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 89
Şekil 4.141. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 89
Şekil 4.142. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 90
Şekil 4.143. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği 90
Şekil 4.144. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 91
Şekil 4.145. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği 91
Şekil 4.146. Tu:%16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları 92
Şekil 4.147. Tu:%16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği 92
Şekil 4.148. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği 93
Şekil 4.149. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı scıaklık grafiği 93

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 1.	15000 iterasyon sonucunda cw (clockwise-saat yönünde) ve ccw (counter clockwise-saat yönünün tersinde) olarak elde edilen akış modelleri	21
Çizelge 2.	Aynı initialization metodunda kaldırma kuvveti yaklaşımının etkisi .	95
Çizelge 3.	Aynı kaldırma kuvveti yaklaşımında initialization metodunun etkisi	96

1. GİRİŞ

1.1. Isıtma Havalandırma Sistemlerinin Gelişimi ve IEA'nın Kurulması

İnsanlık için barınma temel ihtiyaçlardan birisidir. Bu ihtiyacı karşılamak için geçmişten günümüze birçok barınma alanı kullanılmıştır. Mağara, ahşap evler, taş evler, kaleler, büyük apartmanlar ve kamusal binalar insanların farklı ihtiyaçlarına ve teknolojik birikimlerine göre inşa ettikleri yapılardan bazılarıdır. Bu yapılar insanların barınma, savunma, depolama gibi ihtiyaçlarını karşılarken bu yapıların her iklimde ergonomik yaşam şartlarını sağlamasıdır. Özellikle ateşin bulunması ile başlayan iklimlendirme uygulamaları, farklı bölgelerin farklı coğrafi özelliklerine göre değişim göstermişlerdir. Eski Mısır'da firavunlar için inşa edilen yapılarda kullanılan büyük taş bloklar köleler tarafından akşamları serin olan çöle bırakılır, böylece sabaha kadar soğuyan taşlar tekrar yapılara yerleştirildiklerinde kaybettikleri ısı ile gündüz yüksek çöl sıcaklarında dahi serin bir ortam sağlamaktadırlar.

Yine Roma İmparatorluğu zamanında halkın da ücretsiz yararlanabildiği hamamların ısıtılmasında sıcak hava kanallarının kullanıldığı uygulamalar bulunmaktadır. Bina dışında yakılan ateş sayesinde sıcak hava döşemeler ve duvarlardaki kanallar vasıtası ile hamamların ısıtılmasını sağlamaktadır.

Yüzyıllar sonra önce madenlerde ve daha sonra diğer kamusal alanlarda sadece ısınma için değil aynı zamanda temiz havanın sağlanması ve kirli havanın uzaklaştırılması için mekanik uygulamalar yapılmıştır.

İlk modern havalandırma sistemi 1836 yılında Londra'daki Büyük Britanya Parlamentosu'nda kullanılmıştır. Bu sistemde vantilatörün önüne ısıtma serpantinleri konularak bina ısıtılmakta, yine içeri gönderilen taze hava sudan geçirilerek yıkanmakta ve buz kullanılarak soğutulmaktadır.

20.yy'la gelindiğinde ise ardı ardına gerçekleşen buluşlar, klimanın bulunmasını ve yaygınlaşmasını sağlamıştır. Özellikle klimanın mucidi Willis H. Carrier'in havanın sıcaklık, nem ve ısı tutumu arasındaki ilişkiyi gösteren psikometrik diyagramı

geliştirmesi ve ilk santrifüj makinesini icat etmesi bu alandaki büyük gelişmelere öncülük etmiştir.

Elbette 20.yy'da sanayi devrimi ile artan insan nüfusu milyar sayısını geçmiş ve sömürgecilik ile beraber dünyanın dört bir tarafı bu yeni kapitalist sisteme adapte olmuştur-üretici veya pazar olarak- ve bu gelişmelerin sonucunda büyük insan nüfusunun enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve daha da önemlisi orta ve ağır sanayilerin beslenebilmesi için verimsiz enerji tüketimleri gerçekleştirilmiştir. Bu verimsiz enerji üretimi ve tüketimi sürecinde elbette doğaya verilen zarar gittikçe etkisini hissettirmeye başlamıştır. Özellikle 21.yy'a gelmeden küresel ısınma dünya gündemini işgal etmeye başlamıştır. Aynı zamanda ülkeler arası yaşanan enerji krizleri ile beraber birçok ülke sürdürülebilirlik ve verimlilik üzerine çalışmalarını hızlandırmıştır.

Binalar özelinde devam etmek gerekirse; enerji tüketiminin halihazırdaki binalar ile karşılaştırınca daha az olduğu ama enerji verimliliğinin arttırıldığı tasarımların gerçekleştirilmesi, uygun malzemeler seçilmesi, üretim süreci ve binaların işlevselliğinin arttırılması sürdürülebilir şehirleşme için gelecekte büyük avantaj sağlayacaktır. Günümüzde güneş panellerinden elektrik ve ısınma enerjisi elde eden, daha iyi yalıtım malzemelerinin kullanıldığı, Güneş ışınlarının olabildiğince verimli kullanıldığı tasarımlar yaygınlaşmaktadır. Bu sayede hem karbondioksit emisyonu azaltılmakta hem de ekonomik olarak da uzun vadede kazanç sağlamaktadır. Bunların yanında enerji verimliliği arttırılmış binalarda iç ortamdaki hava kirliliği konvansiyonel binalara kıyasla daha az olduğu için sağlık sorunlarının yaşanma riski azalmaktadır. Burada iyi bir havalandırma sistemi ve tasarımına sahip olması büyük rol oynamaktadır. Elbette yeni binaların tasarlanması ve uygulanması üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmalara katkı sağlayan kuruluşlardan birisi olan Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Topluluğu ASHRE'nin yayınladığı Amerikan Ulusal Standardı olan ANSI/ASHRE Standart 55: İnsan Kullanımına Uygun Isıl Çevre Şartları (ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy), iç mekanlarda uygun ısıl çevre şartlarının ve termal konforunun

sağlanabilmesi adına yayınlanmış bir çalışmadır ve 1966'daki ilk defa yayınlanmış ve 2004'ten itibaren her üç ila altı yılda bir içeriği güncellenmektedir.

Bu çalışmalardan bir tanesi ise IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) tarafından gerçekleştirilen Annex 20 programıdır. Uluslararası Enerji Ajansı, 1974 yılında yaşanan petrol krizi sürecinde kuruldu. Yirmi dokuz üyeden oluşan birlik, ülkeler arası enerji krizine karşı ortak hareket ve çözümler bulunmasına yardımcı olmak, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması, enerji tasarrufunun sağlanması, alternatif enerji kaynakları ve enerji araştırma geliştirme faaliyetlerinin desteklenmesi ve piyasalarda istikrar sağlamayı amaçlamaktadır. IEA, OECD (Ekonomik İş birliği ve Kalkınma) örgütünün yapısı içerisinde kurulmuştur. Örgüt, kurulduğu günden bu yana enerji alanında birçok araştırma-geliştirme çalışmalarına destek olmaktadır. Bunlardan bir tanesi de binalarda enerji tasarrufudur ve IEA; bilgisayar uygulamaları ile ölçümler yaparak, hesaplama metotlarının karşılaştırılması ve bina içerisindeki verilerin görüntülenmesi ve değerlendirilmesiyle enerji kullanımını büyük oranda isabetli bir şekilde öngören çeşitli çalışmaları desteklemektedir. Bu çalışmalara birçok üniversite laboratuvarı, özel kuruluşlar ve resmi kuruluşlar farklı teknoloji alanında katkı sağlamaktadır. IEA, devlet destekli sanayi iş birliği ile bu trendin etkinliğinin artarak devam etmesi için çaba sarf etmektedir. (Lemaire, 1993; Le Dreau, 2012; Li, 2011)

1.2. IEA Projeleri ve Yürütme Komitesi

Yürütme Komitesi, halihazırda çalışmaları devam eden projeleri incelemekle kalmaz aynı zamanda farklı alanlarda da faydalı iş birlikleri oluşturmak için çaba sarf etmektedir. Aynı zamanda komite tüm projelerin önceden belirlenmiş stratejiye sadık bir biçimde, gereksiz tekrarlama veya kopyalama olmadan etkili fikir alışverişi ve iletişim içerisinde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Yürütme Komitesi bugüne kadar aşağıdaki projeleri başlatmıştır.

Annex 1: Load energy determination of buildings

Annex 2: Ekistics & advanced community energy systems

Annex 3: Energy consewalion in residenlial buildings

Annex 4: Glasgow commercial building monitorin

Annex 5: Air infiltration and ventilation centre

Annex 6: Energy systems and design of communitie

Annex 7: Local government energy planning

Annex 8: Inhabitants behaviour wih regard to ventilation

Annex 9: Minimum ventilation rates

Annex 10 : Building HVAC system simulation

Annex 11: Energy auditing

Annex 12: Windows and lenestralion

Annex 13: Energy management in hospitals

Annex 14: Condensalion and energy

Annex 15: Energy efficiency ol schools

Annex 16: BEMS **1** - User intellaces and system integralion

Annex 17: BEMS **2** - Evalualion and emulalion techniques

Annex 18: Demand controlled venlilaling syslems

Annex 19: Low slope roofs systems

Annex 20: Air flow patterns within buildings

Annex 21: Calculalion of energy 8 environmental pellomance of buildings

Annex 22: Energy efficient communities

Annex 23: Multizone air flow modelling

Annex 24: Heat, air & moisture transpon in new and retrofitted insulated envelope pans

Annex 25: Real lime simulalion of HVAC systems and fault detection

Bu çalışmada ele alınan proje ise Annex 20 Bina içinde hava akış profilinin incelenmesidir. Önceki bölümlerde de belirtildiği üzere bina içerisinde verimli enerji kullanımı için havalandırma sistemlerinin dolayısıyla hava akış profilinin iyi bir şekilde tasarlanması ve hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Deneysel araştırmalar bazı pahalı laboratuvar testleri ve malzemeleri gerekmektedir. Nümerik analiz ile daha hızlı ve daha uygun maliyetlerde hava akış profilinin incelenmesi ve ortaya modellerin çıkartılması çalışmacıların üzerine durdukları bir yöntemdi. Bu yüzden 1987 yılının Eylül ayında havalandırma üzerine uzman küçük bir grup, İsviçre'de bir araya gelerek ortak bir düşünce üzerinde hem fikir oldular.

"Numerik simülasyonlar ile bina içerisindeki hava akış profilini öngörmek mümkün olmalıdır"

Eğer oda içindeki havanın akışı, havanın temizliği ve dış ortam ile yapılan ısı alışverişleri belli bir güvenilirlikte tahmin edilebilirse gereksiz laboratuvar masraflarından kaçınılabilecektir. Özellikle gelişmiş bilgisayar uygulamaları ile farklı havalandırma konseptlerinin tasarımcılar tarafından değerlendirilebilmesini mümkün kılmaktadır.
IEA Annex 20 projesinin başlamasıyla birçok simülasyon modeli oluşturuldu ve gerçek binalar üzerinde bu modeller gerçeğe dönüştürüldü. Tecrübeli mühendisler şüphe duymakla beraber, birçok genç mühendis bilgisayar programlarına bu konuda daha çok güveniyordu. Var olan metotları araştırmak ve değerlendirmek için en uygun zamanlardan birisiydi. Uluslararası çapta da bu çalışmaların etkisi görülmeye başladı. (Awbi, 1989; Awbi, 2005)

Türkiye'de de bu çalışmaların gerçekleştirilmesi ve yaygınlaştırılması havalandırma sistemlerinin tasarlanması ve enerji kullanımının verimlileştirilmesi adına önem arz etmektedir. Yüksek performanslı hesaplama sistemleri ile beraber artık Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD-Computational Fluid Dynamics) iç mekanlardaki hava akış ve hava dağılımının analiz edilmesinde kullanılmaktadır. HAD, farklı havalandırma parametrelerinin kullanılmasını sağlamakta, havalandırma oranı, havalandırma sayısı, konumlandırılması, oda düzeni ve iç-dış difüzörlerin tipleri gibi özelliklerin erken tasarım esnasında test edilebilmesini sağlamaktadır. (Chen vd., 2000; Chen vd., 2004) Bunun yanında hava akış hızı, türbülans yoğunluğu, sıcaklık ve hava içindeki maddeleri dağılımı üzerine detaylı bilgiler de gözlemlenebilmektedir ki bu iç mekan hava kalitesi ve ısıl konfor gibi özelliklerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. (Awbi vd., 1992; Awbi vd., 1994; Awbi vd., 1998; Chen, 2009) Bu değerler havalandırma sistemleri hazırlanırken ölçekli modellemede veyahut tam ölçek saha deneylerinde incelemesi zaman alan ve zorlayıcı bir süreçtir. Tam ölçekli gerçek testler gerçekleştirilmeden önce iki boyutlu veya üç boyutlu IEA Annex 20 odası kullanılarak CFD modelleme yapılmakta ve simülasyon ile analizler gerçekleştirilmektedir. Bu veriler güvenilir bir şekilde pratik kullanıma uygun olabilmesi için deneysel çalışmalar ile desteklenerek tam ölçekli deneysel veriler ile karşılaştırılmaktadır. (Nielsen, 1990)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

En temelinde havalandırma sistemleri ortam konforunun arttırılmasını ve çalışma şartlarını canlı (insan, hayvan, bitki) ve cansız (makineler, gıdalar, ham madde vb.) varlıklar için en uygun şartlarda sağlamak için kullanılmaktadır.

Isıl konfor, ısıl ortamdan duyulan memnuniyeti ifade eder ve öznel bir değerlendirmedir. (ASHRE Standard 55) İnsan vücudu sürekli enerji üretmektedir. Bu enerji üretimi iki şekilde gerçekleşir; kendiliğinden gerçekleşen ve sürekli olan bazal metabolizma ve bilinçli olarak sürekli şekilde gerçekleşmeyen kas metabolizmasıdır. Bu enerji üretimi sebebiyle oluşan ısının vücuttan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu yüzden uygun sıcaklık aralığının belirlenmesi ve ısıl konforun sağlanması gerekmektedir. Vücudun farklı bölgeleri için konfor sıcaklıkları değişmektedir. Isıl konfor çevresel ve kişisel faktörler olarak ikiye ayrılır. Çevresel faktörler; hava sıcaklığı, havanın hareketi; nem ve radyasyondur. Kişisel faktörler ise metabolik oran ve giyimdir. Yiyecek-içecek, vücut şekli, yaş, vücut yağ oranı, sağlık durumları da yine yan faktörler olarak söylenebilir.

Önceki kısımda da belirtildiği üzere Annex 20, Uluslararası Enerji Ajansı tarafından belirlenmiş bir proje olup 1987 yılında düzenlenen toplantıdan bu yana üzerine birçok çalışmanın gerçekleştirildiği veya dolaylı çalışmalar aracılığıyla çalışmalarına katkı sağlanması ile çalışma yapacak araştırmacılar için kaynak barındırmaktadır.

Yüce ve Pulat (2018), iç mekan ısıl çevrelerdeki zorlanmış, doğal ve karışık konveksiyon şartları üzerine yaptıkları çalışmada IEA Annex 20 geliştirilmiş duvar tasarımı için k-Epsilon ve k-Omega modellerinin kullanıldığı farklı çalışmalardan da referans aldıkları bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, zorlanmış konveksiyon durumu için her ne kadar BSL k-omega modeli arasındaki en iyi k-omega modeli olsa da Standart K-epsilon modeli daha iyi bir performans sağlamıştır. Doğal konveksiyon durumu için ise SST k-omega modeli diğer modellerden biraz daha iyi bir performans göstermiştir. Karışık konveksiyon durumu için ise Standart ve SST k-omega modelleri sıcaklık dağılımını diğer modellerden daha iyi öngörmüşlerdir. Genel olarak ise k-Epsilon modelleri hız dağılımlarını k-epsilon modellerinden daha iyi öngörmüşlerdir.

3. MATERYAL YÖNTEM

Bu çalışmada analiz işlemleri için, çözüm metodu olarak nümerik yöntemler kullanılmıştır. Korunum denklemlerinin sonlu hacimler metodunu kullanarak çözmek yaygın bir kullanımdır ve bu işlemler hesaplamalı akışkanlar mekaniği programı ile gerçekleştirilmiştir. Sınır tabaka yaklaşımı için analitik çözümler gerçekleştirilebilmektedir ancak korunum denklemlerinin karmaşıklaştığı ve uzun çözümler gerektirdiği durumlarda farklı bilgisayar programları kullanılabilmektedir.

HAD metodu, sıcaklık dağılımı ve termal kaldırma etkileri ile üç boyutlu türbülanslı hava akışının tahmin edilmesinde sıklıkla başvurulan metotlardan birisidir ve oda havalandırması için tasarlanan numerik modeller hava akışının ve ısı transferinin tahmin edilebilmesini ve değerlendirmesini sağlamaktadır. (Pitarma, 2004).

3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Tarihi

İnsanoğlu ilk zamanlardan beri akışkanların doğasına, sahip olduğu enerjisine ve gücüne hayran olmuş ve onu yönetmeyi hedeflemiştir. Gerek; nehirler, denizler veya okyanuslar, gerek; metallerin eritilmesi veya vücutta akan kan olsun farklı akışkanlar üzerine çalışmalarda bulunmuştur.

Antik çağda Efesli Herakleitos'a göre "her şey akmaktadır" ancak bu sadece felsefi bir yaklaşımdır. Arşimet ise yoğunluk ve hacim üzerine çalışmaları, meşhur hikayesinde olduğu gibi farklı alaşımlardan oluşan düzensiz objelerin ölçümünü sağlamıştır. Yine Roma döneminde pratik mühendislik üzerine gerçekleştirilen birçok mühendislik eserleri günümüze kadar gelmiştir (Sarnıçlar, hamamlar veya su kemerleri vb. gibi).

19. yüzyıllara kadar birçok bilim adamı yine akışkanlar üzerinde çalışmalarına devam etmiştir ve bunlar arasında Leonarda da Vinci'nin su yüzeyleri, suyun hareketi, suyun dalgaları, şelaleler ve bazı fenomenler üzerine yaptığı çalışmalar (Del moto e misura dell'acqua) bulunmaktadır. Yine Sir Isaac Newton'un ikinci yasası F=m.a ile akışkanlar mekaniğine katkılarda bulunmuştur. Newton vizkozitesi kavramı ile hareket eden bir sıvının durağan bir nesneye uyguladığı kuvvetin, sıvının nesnenin önünden saparken

momentumundaki değişimine eşit olduğunu ve bir sıvı yüzeyindeki dalgaların hızı ile dalga boyları arasındaki ilişkiyi açıklamıştır.

18.yy ile beraber akışkanların hareketi ile ilgili matematiksel tanımların yapılmaya çalışıldığı kayda değer birçok çalışma yapılmıştır. Daniel Bernoulli (1700-1782) meşhur Bernoulli denklemini türetmiş, Leonhard Euler (1707-1783) ise Euler denklemlerini sunmuş ve viskoz olmayan akışta momentumun korunumu ve kütle korunumunu açıklamıştır. Akışkanlar mekaniği denince şüphesiz Bernoulli ve Euler kadar çok önemli katkıları olan iki bilim insanına değinmek gerekmektedir: Claude Louis Marie Henry Navier (1785-1836) ve George Gabriel Stokes (1819-1903). Bu iki bilim insanı yaptıkları çalışmalar ile Euler denklemlerine viskoz taşınımlarını getirmişlerdir ve böylece meşhur Navier-Stokes denklemi ortaya çıkmıştır. Bu denklemler neredeyse 2 asır önce Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği'nin temellerini oluşturmuş ve kütle korunumu, momentum, basınç ve türbülans ifadelerini içermiştir. Her ne kadar mühendislik için büyük bir sıçrama olsa da denklemlerin birbirine çok yakın ve çözülmesinin zor olması 1960'lı yıllara kadar gerçek akış problemlerinin makul zaman ölçeklerinde çözümü engellemiştir.

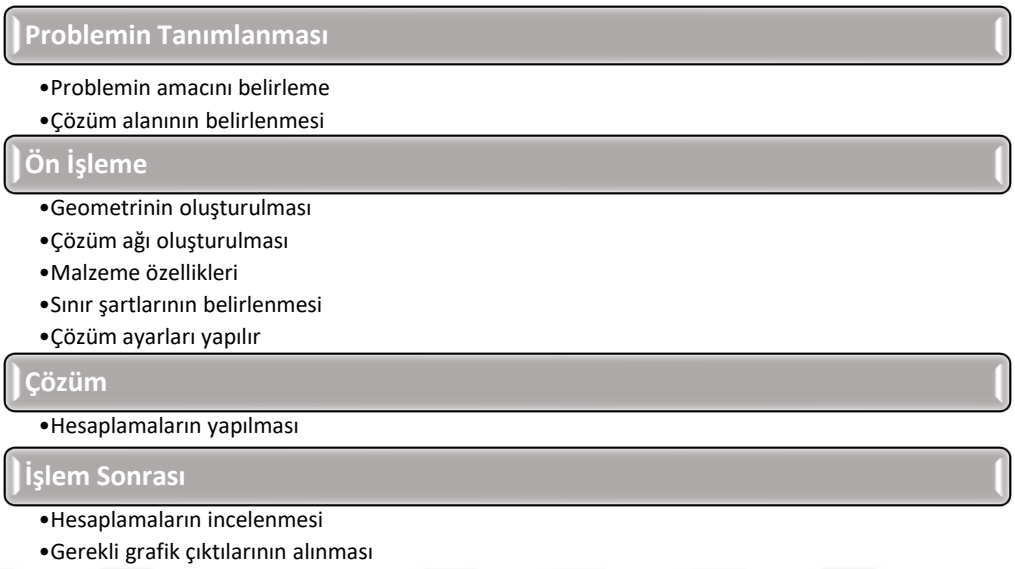
Modern anlamda ilk CFD hesaplamalarını kimin yaptığı hala tartışmalıdır. Lewis Fry Richardson, Bjerkness'in ilkel diferansiyel denklemlerinin sonlu farklar yaklaşımını kullanarak uzayı ızgara hücrelerine böldüğü ilk sayısal hava tahmin sistemini geliştirmiştir. Kendisi sekiz saatlik bir süre için hava durumunu hesaplamak istemiş ancak hesaplamaları gerçek zamanlı olarak tam 6 hafta sürmüş ancak başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Modelinin aşırı uzun hesaplama gereksinimleri onu ilginç bir yönteme itti. Bu yönteme tahmin fabrikası adını vermişti. Hesaplama işlemi mekanik hesap makinesiyle donanmış yaklaşık 64.000 kişilik bir stadyumda her bir kişinin hesaplamalardan bir bölümünü üstleneceği karmaşık ve ilkel bir CFD hesaplamasıydı. 1933 yılında A. Thom tarafından silindirden geçen akış için en eski nümerik çözüm yapılmıştır.

1970'lerde D. Brian Spalding ve ekibinin, Londra'da Parabolik akış kodları (GENMIX), Vorteks-Akım temelli kodlar, SIMPLE algoritması ve TEACH kodu, k-epsilon denklemleri günümüzde hala kullanılmaktadır. (Spalding ve Launder, 1972)
1980 yılında Suhas Patankar'ın "Numerik Isı transferi ve Akışkanların Akışı" kitabı HAD'ın sektörde yaygınlaşmasını ve birçok CFD kodunun da ortaya çıkmasını sağlayan etkili bir eserdir.

20. yy sonları ve 21. yy ile beraber bilgisayarların yaygınlaşması, güçlenmesi ve internetin yaygınlaşması gibi birçok faktör HAD çalışmalarının evlere kadar gelmesine ve sektöre ilgi duyan birçok kişinin kendisini geliştirmesine olanak sağlamıştır. HAD, günümüzde havacılık, yenilenebilir enerji, otomotiv, biyomedikal, kimya, maden, inşaat, çevre ve spor gibi farklı alanlarda kritik önemini korumaktadır.

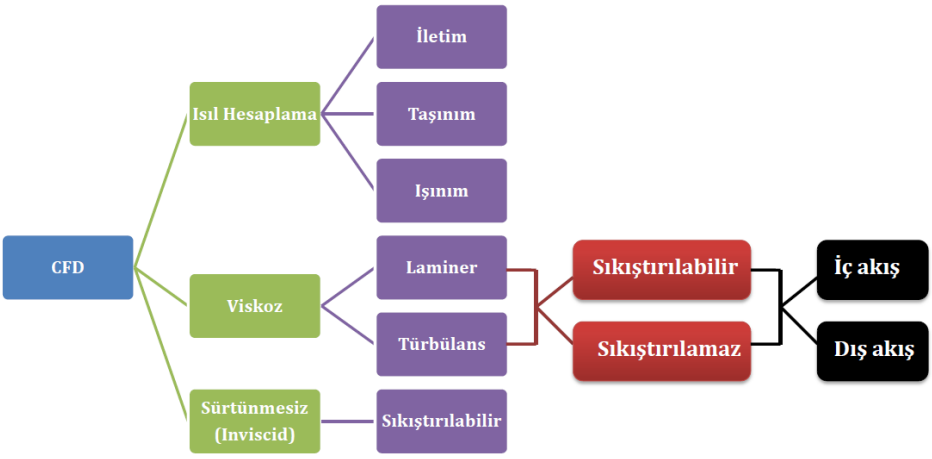
3.2. HAD Analiz Adımları

HAD metodu ile bir çalışma gerçekleştirecek kullanıcının ilk olarak problemi tanımlaması gerekmektedir. Burada gerçekleştirilecek çalışmanın hangi kısma girdiğini, bir akış hacminin mi inceleneceği veya bir malzeme üzerine gelen yüklerin etkilerinin mi inceleneceği gibi problemin hangi amaca yönelik olduğu doğru tespit edilmelidir. Devamında problemin çözüm alanın ne kadar büyük olduğu tespit edilmelidir. Bu çalışma küçük bir odanın havalandırması ile ilgili basit iki boyutlu bir çalışma olabileceği gibi birden fazla odadan oluşan bir binanın veya kompleksin iki veya üç boyutlu çalışma yapılabilir. Burada elbette problemin gereksiz hesaplamalarla uzaması engellenebilir hem de kullanıcının donanımsal kısıtlamaları da çalışmanın çözüm alanını etkileyebilmektedir. Çalışmayı gerçekleştirmeden önce analiz adımlarının takip edilerek adım adım olası hata ve işlem kaybı engellenebilir ve böylece çalışma süresi verimlileştirilebilir.



Şekil 3.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin analiz adımları

HAD analizinin birinci adımında geometri oluşturma hususunda birçok HAD yazılım programı kendi geometri programlarına sahiptir ve kullanıcı bu programlar aracılığıyla iki veya üç boyutlu çizimler oluşturabilmektedir ancak çözüm alanındaki geometri karmaşık ve detaylı ise bu noktada dış kaynaklardan yardım almak gerekecektir. Bilgisayar Destekli Tasarım programları aracılığıyla oluşturulan tasarımlar yine HAD yazılımına aktarılabilmektedir ancak karmaşık yüzeyler daha güçlü tasarım programlarına ihtiyaç duymakta ve bu da maliyetleri arttırmaktadır. (Tu vd., 2020; Nielsen, 2004)

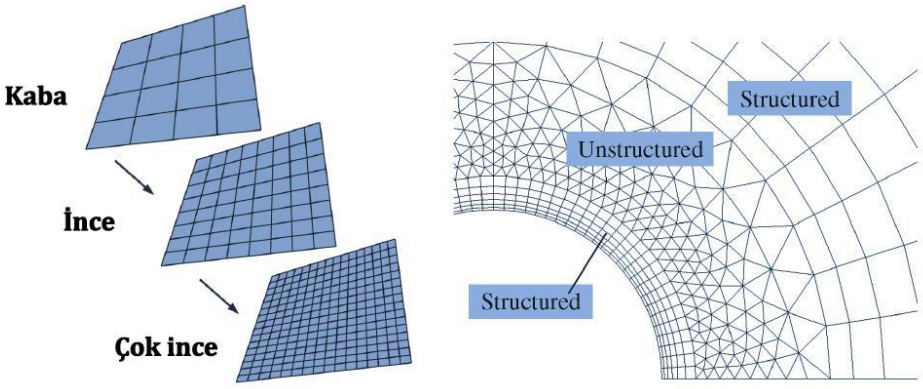


Şekil 3.2. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin alt başlıklar

Oluşturulan geometrinin çözüm ağı işlemine geçmeden önce incelenmesi ve gerekli sadeleştirmelerin yapılması gerekmektedir. Mesh kalitesini bozabilecek gereksiz kısımların temizlenmesi, çözüme etkisi bulunmayan gereksiz kısımların çıkarılması daha kaliteli ve düşük hatalı ağ yapılarının oluşturulmasını sağlamakta ve analiz sürelerinin kısaltılmasını sağlamaktadır. Örneğin bir kiriş probleminde, üç boyutlu modeller bazı durumlarda iki boyutlara bazen de tek boyuta indirgenerek üzerinde analiz yapılabilir. Böylece geometri üzerinde çözüm ağı oluşturma aşamasına geçilebilir.

	Sürekli	Sıkıştırılabilir	Doğrusal olmayan	Girdaplı	Viskoz	Seyreltilmiş
Boltzman	X	X	X	X	X	X
Navier-Stokes	X	X	X	X	X	
Euler	X	X	X	X		
Full Potantial	X	X	X			
Pransdtl-Glauert	X	X				
Laplace	X					

Şekil 3.3. Hesaplama metotları



Şekil 3.4. Ağ yapısı örnekleri

Geometrisi oluşturulmuş model küçük hücrelere ayrılır. Bu hücrelerin her birine eleman adı verilir ve her bir elemanın birbirine bağlandığı köşe noktalarına da düğüm denir. Eleman ve düğüm noktalarını içeren kontrol hacimleri de çözüm ağını oluşturmaktadır. Çözüm ağının her bir hücresi için temel denklemler sayısal olarak çözülür ve hız, basınç, sıcaklık ve diğer parametrelerin değerleri hesaplanır. Modelin geometrisi farklı ağ modelleri kullanılarak hacimlere ayrılabilir. Bu ağ modelleri piramit, dört yüzlü, dikdörtgen prizma gibi farklı şekillerde olabilir. Bir HAD çözümü yapılırken çözüm ağındaki hücrelerin sayısının arttırılması çözümün doğruluğunun da artmasına katkıda bulunur ve çözümün iyileştirilmesini sağlar. Bununla beraber artan hücre sayısı hesaplama maliyetini ve hesaplama süresini arttıracağı için uygun sıklıktaki ağ yapılarının kullanılması önemlidir. Çünkü belli bir eleman sayısından sonra ağ yapısındaki değişimler arasındaki fark da azalmaktadır, hatta sabit kalmaktadır.

3.3. Korunum Denklemleri

HAD işlemlerinin gerçekleştirilmesi için temel akışkanlar dinamiği denklemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Bu denklemler süreklilik denklemi, momentum denklemleri ve enerji denklemleridir. Süreklilik denklemi üç boyutlu sıkıştırılabilir akışkanlar için kısmi diferansiyel formunda incelendiğinde;

$$\frac{a\rho}{at} + \frac{a(\rho u)}{ax} + \frac{a(\rho v)}{ay} + \frac{a(\rho w)}{az} = 0 \tag{3.1}$$

Eğer akışkan sıkıştırılamaz olarak kabul edilirse yoğunluğu ρ sabit olacaktır. Bu sebeple yoğunluğun konum ve zamandaki değişimi u, v ve w hız bileşenleri üzerinde bir etkide bulunmayacaktır.

Süreklilik denklemi iki boyutlu sıkıştırılamaz akışkan olarak kabul edilirse aşağıdaki formu alacaktır.

$$\frac{a(\rho u)}{ax} + \frac{a(\rho v)}{ay} = 0 \tag{3.2}$$

3.3.1. Momentum Denklemleri

$$\rho\left(u\frac{au}{ax} + v\frac{au}{ay} + w\frac{au}{az}\right) = -\frac{aP}{ax} + \mu\left(\frac{au^2}{ax^2} + \frac{au^2}{ay^2} + \frac{au^2}{az^2}\right) + Fx \tag{3.3}$$

$$\rho\left(u\frac{av}{ax} + v\frac{av}{ay} + w\frac{av}{az}\right) = -\frac{aP}{ay} + \mu\left(\frac{av^2}{ax^2} + \frac{av^2}{ay^2} + \frac{av^2}{az^2}\right) + Fy \tag{3.4}$$

3.3.2. Enerji Denklemi

$$\rho C_p \left(u\frac{aT}{ax} + v\frac{aT}{ay} + w\frac{aT}{az}\right) = \left(\frac{aP}{at} + u\frac{aP}{ax} + v\frac{aP}{ay} + w\frac{aP}{az}\right) + k\left(\frac{a^2T}{ax^2} + \frac{a^2T}{ay^2} + \frac{a^2T}{az^2}\right) + \mu\Phi \quad (3.5)$$

3.4. Laminer-Türbülanslı Akışlar ve Türbülans Modelleri

Akışkanlar üzerinde yapılan araştırmalar ve deneyler sonucu, akışkanların sınıflandırılması söz konusu olmuştur. Özellikle farklı akış problemleri ile karşılaşıldıkça akışkanların karakteristiğinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu sınıflandırmalardan bazıları; akışkanın sıkıştırılabilir veya sıkıştırılamaz oluşu, iç ve dış akışlar, sürekli ve sürekli olmayan akışlar, vizkoz veya vizkoz olmayan akış bölgeleri, doğal ve zorlanmış akışlar ve laminer-türbülanslı akışlar gibi alt başlıklarda incelemek mümkündür. Bu alt başlıklardan birisi olan laminer-türbülanslı akış tipleri; akışkanın akış yapısını ifade eder. Akışkanlar düzenli bir şekilde akabileceği gibi düzensiz bir şekilde de akabilirler. Örneğin musluk açıldığı zaman su yavaş bir şekilde akarken düzgün bir profilde akmaktadır. Akışkan taneciklerinin düzenli tabakalar şeklinde akışına laminer akış denir. Musluktan su daha hızlı bir şekilde akmaya başladıkça akışkanın bu düzenli profili bozulmaya ve akışkan taneciklerinin akışında dalgalanmalar olmaya başlayacaktır. Bu akışa türbülanslı akış denir. Akışkanın karakteristiğini belirlemede önemli bir gelişme de Osborne Reynolds'un atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranına bağlı olarak bulduğu ve boyutsuz bir sayı olan Reynolds Sayısı akışın karakteristiğini belirlemek için önemli bir parametredir. Türbülanslı bir akış için hesaplamaların çok küçük hacimlerde hesaplanması gerekmektedir ve bu sebeple küçük ağ yapıları kullanılmalıdır. Elbette günümüz teknolojisi ile bu yapıları çözmek mümkün olmadığı için farklı türbülans modelleri geliştirilmiştir. Bu türbülans modellerinden RNG k-εpsilon modeli bu çalışmada kullanılmıştır. (Pulat vd., 2015; Nielsen, 2015)

3.4.1. Türbülans modelleri

1. Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) Denklemleri
   1.1. Reynolds Gerilim Modeli (RSM)
   1.2. Lineer Eddy Viskozite Modeller
      1.2.1. Standart k-ε Modeli
      1.2.2. RNG k-ε Modeli
      1.2.3. Realizable k-ε Modeli

1.2.4. Eddy Viskozitesi Modeli
1.2.5. Standart k-ω Modeli
1.2.6. SST k-ω Modeli
1.2.7. Spalart-Allmaras Modeli
1.2.8. Standart k- ε Modeli

1.3.Non-Lineer Eddy Viskozite Modeleri

1.1.1. V2-f modeli

2. Large Eddy Simülasyonları (LES)
3. Bağımsız Eddy Simülasyonları ve Hibrit Modeller (DES)
4. Direkt Nümerik Simülasyonlar (DNS)

Bu çalışmada kullanılan RNG k-ε Modeli, Yakhot ve ekibi tarafından Navier-Stoke denklemlerini Yeniden Normalizasyon Grup metotları kullanarak hareketin daha küçük ölçeklerindeki etkilerini inceleyebilmek için geliştirilmiştir. Standart k-epsilon modelinde Eddy Viskozitesi (Akışkan içindeki hareketli bir parçacığın çevresindeki akışkanın ürettiği sürtünme kuvveti nedeniyle oluşan mikro ölçekli viskozite etkisi) tek bir uzunluk ölçeği ile belirlenmektedir, dolayısıyla hesaplanmış türbülans difüzyonu sadece belirli bir ölçekte oluşacaktır ancak gerçekte tüm hareket ölçekleri türbülans difüzyonunu etkilemektedir. RNG yaklaşımı, epsilon denkleminin yeniden düzenlenmiş bir formu olarak farklı hareket ölçeklerini de hesaba katmaya çalışan bir yaklaşıma sahiptir. (Alfonsi, 2009; Li vd, 2011; Ezzouhri, 2009,)

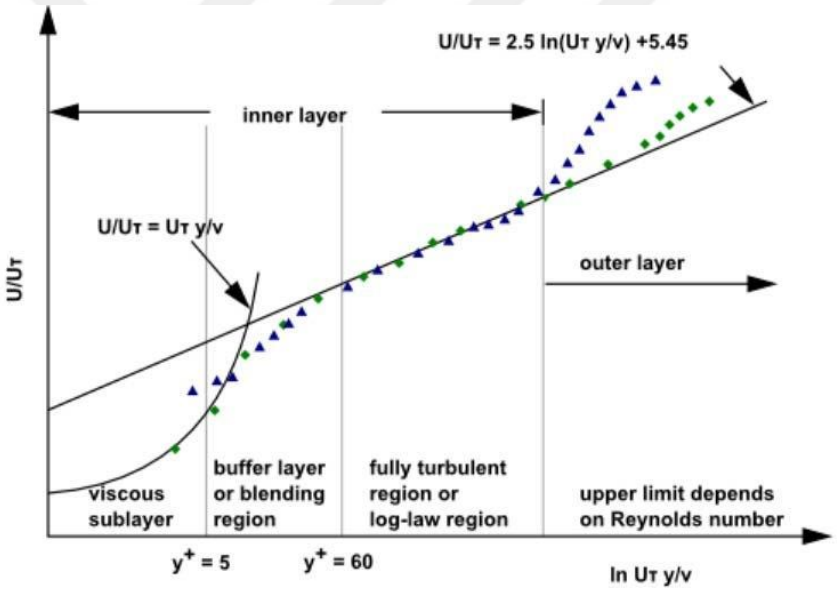
3.5. Duvar Yaklaşımı

Türbülanslı akışlar, duvarların varlığından kayda değer bir şekilde etkilenmektedirler. Özellikle, kaymama şartı ile duvara yakın bölgelerde ortalama hız alanı etkilenmektedir. Bu sebeple duvarın varlığı türbülans akışını değiştirmektedir. Duvara en yakın kısımlarda; viskoz sönümleme yanal hız dalgalanmalarını azaltırken, kinematik engelleme normal hız dalgalanmalarını azaltmaktadır. Duvara yakın bölgeden dışarı doğru gidildikçe, ortalama hızın büyük gradyanlarından kaynaklanan türbülans kinetik enerjisinin üretilmesi nedeniyle türbülans hızla artar. (Pulat ve Yüce, 2015; Pulat ve Yüce 2019)

Duvarlar ortalama vortisite ve türbülansın ana kaynağı olduğundan, duvar yakın modelleri sayısal çözümlerin doğruluğunu önemli ölçüde etkiler. Sonuçta, çözüm değişkenleri büyük gradiyentlere sahip olduğu ve momentum ile diğer skalaların taşınmasının en yoğun olduğu bölge olan duvar yakın bölgesinde meydana gelir. Bu

nedenle, duvar sınırlı türbülanslı akışların başarılı tahminleri, duvar yakın bölgesindeki akışın doğru şekilde temsil edilmesine bağlıdır. (Chen, 1995; Costa vd.; 1999)

Birçok deneysel çalışma sonucunda yakın duvar bölgesi üç kısma ayrılabilir. En iç katmanda, viskoz alt katman denilen, akışın neredeyse laminer olduğu ve moleküler viskozitenin momentum ve ısı veya kütle transferinde baskın bir rol oynadığı kısım bulunmaktadır. (Zhai vd., 2007) Dış katmanda ise, türbülansın büyük bir öneme sahip olduğu tam türbülanslı katman bulunmaktadır. Son olarak, viskoz alt katman ile tam türbülanslı katmanların arasında bir ara katman bulunmaktadır. Bu kısımda moleküler viskozite ve türbülans eşit öneme sahiptir. Şekil 3.5'te yakın duvar bölgesinin alt kısımları incelenebilir. (Rong vd, 2008; Rong vd, 2010)



Şekil 3.5. Yakın duvar bölgesi katmanları

Duvar fonksiyonları, yakın duvar hücrelerindeki çözüm değişkenleri ile duvardaki değerler arasında ilişki kuran yarı ampirik formüllerden ve fonksiyonlardan oluşur. Duvar fonksiyonları;

- Ortalama hız ve sıcaklık (veya diğer skalalar) için duvar yasasını
- Yakın duvar türbülans değerleri için formülleri içerir.

Türbülans modeline göre; Standart, Non-Equilibrium, Enhanced ve Scalable Duvar Fonksiyonlarından bir tanesi kullanılabilir.

3.5.1. Standart Duvar Fonksiyonu

Standart duvar fonksiyonları, endüstriyel akışta sıkça kullanılan ve Launder ve Spalding'in 1974 yılında yayımladıkları "türbülans akışların nümerik hesaplamaları" adlı çalışmasından faydalanılarak ANSYS Fluent yazılımında geliştirilmiştir.
Ortalama hız verimleri için duvar yasası:

$$U^* = \frac{1}{\kappa} ln\,(Ey^*) \tag{3.6}$$

Boyutsuz hız:

$$\mathrm{U}^* \equiv \mathrm{U_p} \mathrm{C_\mu^{1/4}} \mathrm{k_P^{1/2}} \tag{3.7}$$

Duvardan boyutsuz uzaklık:

$$\mathrm{y}^* \equiv \frac{\rho \mathrm{C_\mu^{\frac{1}{4}}} \mathrm{k_P^{\frac{1}{2}}} \mathrm{y_P}}{\mu} \tag{3.8}$$

K = von Karman sabiti (=0.4187)
E = ampirik sabit (=9.793)

y* değerinin limiti Re sayısına bağlıdır. Alt sınır değer değeri y*=15'dir. Bu değerin altına düştüğünde duvar fonksiyonu doğruluğunu sürdürememektedir. Üst limit ise tamamen Re sayısına bağlıdır. Gemi ve havacılık uygulamaları gibi yüksek Re sayısının bulunduğu durumlarda y* değeri rahatlıkla 1000 üzeri olabiliyor iken türbin kanatçığı çalışmalarında üst sınır 100'ün altında olabilmektedir. Y* değerinin yakalanabilmesi için cidar yakınında uygun sıklıkta mesh oluşturulmalıdır.

3.5.2. Scalable (Ölçeklenebilir) Duvar Fonksiyonu

Ölçeklenebilir duvar fonksiyonu, $y^* < 11$'in altında grid iyileştirmesi altında standart duvar fonksiyonlarının bozulmasını önler. Bu duvar fonksiyonları, herhangi bir iyileştirme derecesine sahip gridler için tutarlı sonuçlar üretirler. $y^* > 11$'den daha kalın

gridler için, standart duvar fonksiyonları aynıdır. Ölçeklenebilir duvar fonksiyonlarının amacı, log yasasını standart duvar fonksiyonları yaklaşımıyla birleştirerek, katı yüzeylerin yakınındaki türbülanslı akışların modellemesinin doğruluğunu artırmaktır. Log yasası, akış profilinin duvardan uzaklığına bağlı olarak değişimini açıklar ve akışın tamamen türbülanslı olduğu ve duvar etkilerinin baskın olduğu varsayımına dayanır. Bu yaklaşım, y^* hesaplamalarında bir limitleme ile sağlanır:

$$y^*_{limit} = 11.225 \text{ değeri için } y^* = MAX(y^*, y^*_{limit}) \tag{3.9}$$

3.5.3. Enhanced (Genişletilmiş) Duvar Fonksiyonu

Geliştirilmiş duvar fonksiyonu, iki katmanlı model şeklinde yakın duvar modelleme metodu olduğu için bu şekilde adlandırılmıştır. Eğer yakın duvar ağ yapısı, viskoz alt katmanı çözebilecek kadar iyise (tipik olarak $y^+ \approx 1$konumundaki duvara yakın ilk düğüm noktası), geliştirilmiş duvar fonksiyonu ile geleneksek iki katmanlı bölgesel model aynı olacaktır.

3.5.4. Non-Equilibrium Duvar Fonksiyonu

Non-equilibrium duvar fonksiyonları, yerel termodinamik dengede olmayan duvarlar gibi katı yüzeylerin yakınındaki türbülanslı akışların davranışını modellemek için bilgisayar destekli akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonlarında kullanılan gelişmiş bir tekniktir. CFD simülasyonlarında, standart duvar fonksiyonları, duvara yakın sıvının termodinamik denge içinde olduğu varsayımına dayanır, bu da hız ve sıcaklık profillerinin basit matematiksel fonksiyonlarla tanımlanabileceği anlamına gelir. Ancak, yüksek hızlı akışlar veya önemli ısı transferi olan akışlar gibi bazı durumlarda bu varsayım geçerli olmayabilir ve duvar yakınındaki akış termodinamik dengeye göre önemli ölçüde sapabilir. Non-equilibrium duvar fonksiyonları, bu sapmaları hesaba katarken, daha doğru sonuçlar verir. (Voigt, 2000)

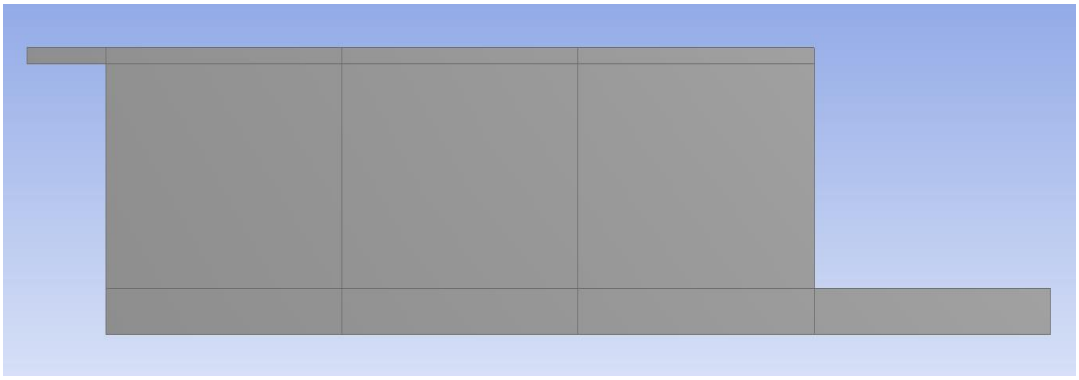
4. BULGULAR

4.1. Geometrik Model

Bu çalışmada iç mekan havalandırması için belirli kabuller ve şartlardaki hava akışı, vektörel hız dağılımı ve sıcaklık dağılışı incelenmiştir. Bu amaçla IAE Annex 20 iki boyutlu standart iç mekan baz alınmıştır. Hesaplama işlemleri için Scalable Duvar Fonksiyonu kullanılmış ve türbülans modeli olarak RNG k – ε modeli kullanılmıştır.
IEA Annex 20 odasının teknik ölçüleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Akışkan odaya sol üst köşeden girmektedir ve devamında alt sağ köşeden çıkmaktadır. Alt kenarın 9 metrelik kısmında (kırmızı ile gösterilmiştir) ısı kaynağından oda ısıtılmaktadır.



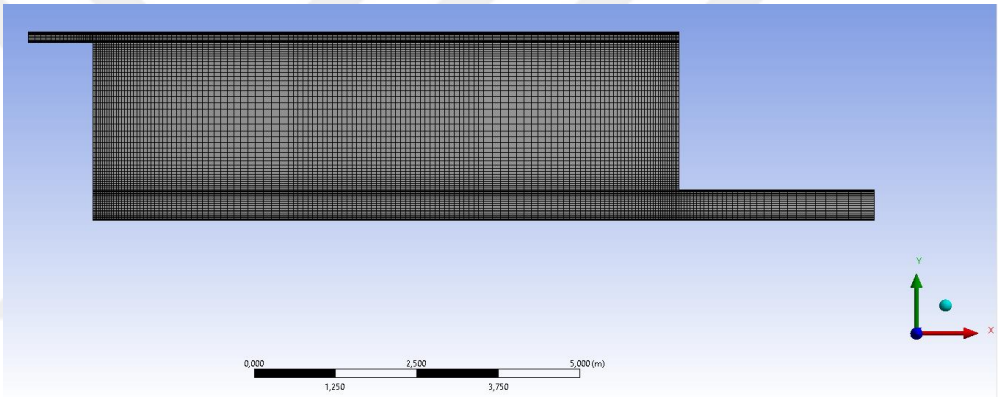
Şekil 4.1. IEA Annex 20 odasının ölçüleri



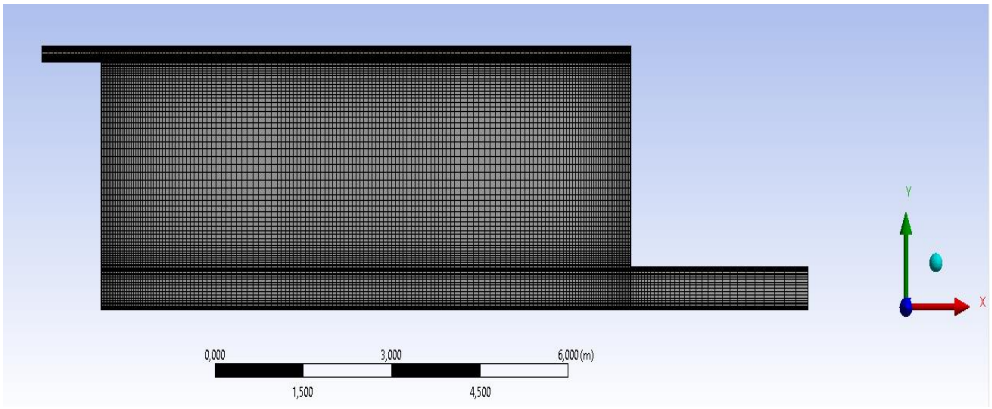
Şekil 4.2. IEA Annex 20 odasının program üzerinde çizimi

4.2. Sayısal Model

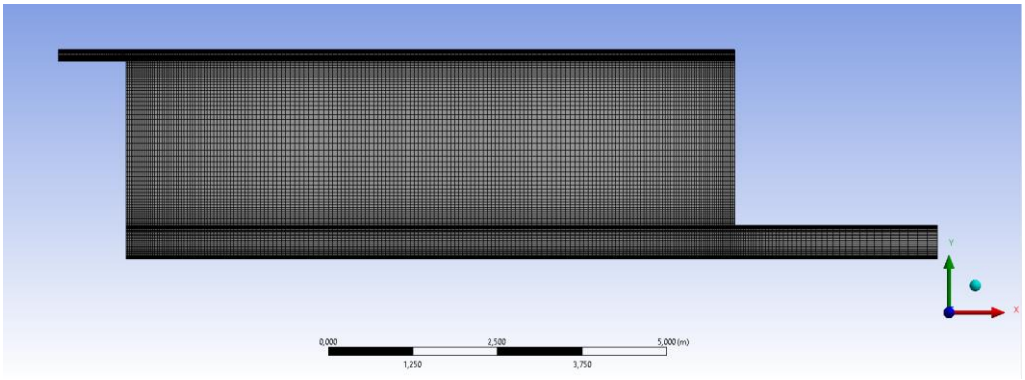
Sayısal model kurulurken uygun bir ağ yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Ağ yapısındaki her bir hücrede gerçekleştirilecek hesaplamaların hassasiyetinin iyi ayarlanması, deneysel çalışmalara yakın bir sonucun alınması gerektiği gibi hesaplamaların gereksiz alan kaplamaması ve uzun bir süre almaması gerekmektedir. Ağ yapısı, geometrik şekle uygun olarak hexahedral yapıda elaman türünde hücrelerine ayrılmıştır. Ağdan bağımsızlığın uygun bir değerde analize sokulabilmesi için üç farklı ağ yapısında analiz incelenmiştir ve bunlar seyrek, orta ve sık ağ yapılarıdır. Seyrek ağ yapısı 9900, orta ağ yapısı 14075 ve sık ağ yapısı da 19800 elemandan oluşmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde sık ağ yapısının analizler için daha uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Seyrek ağ yapısı



Şekil 4.4. Orta ağ yapısı



Şekil 4.5. Sık ağ yapısı

4.3. Sınır Şartları

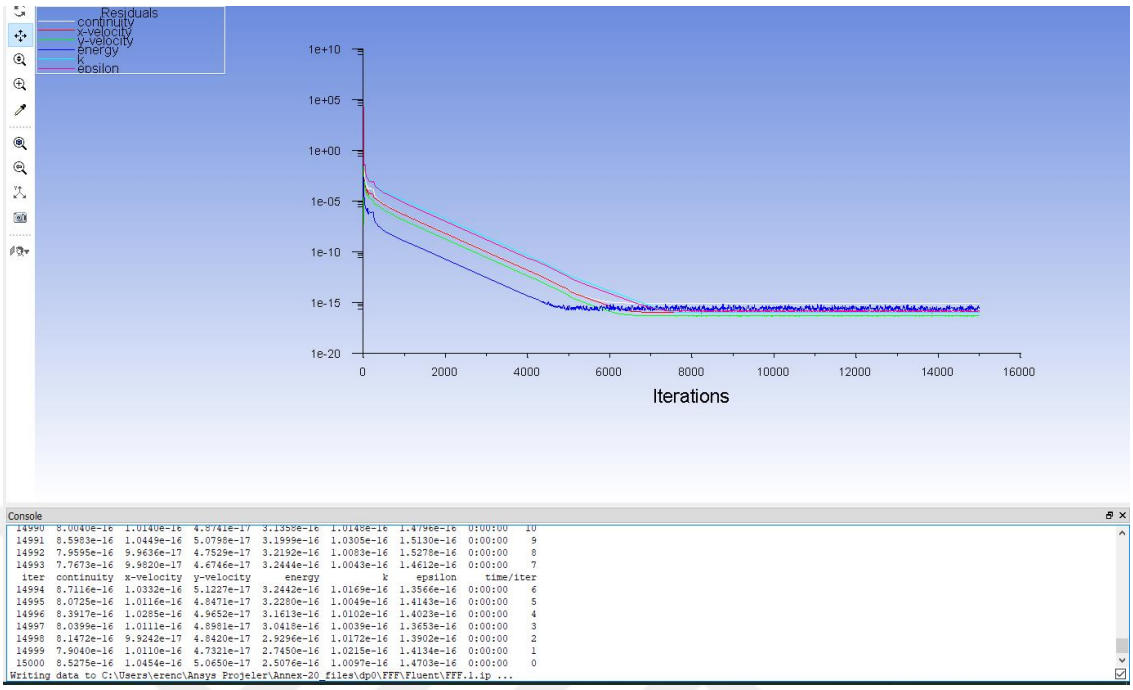
Sisteme akışkan 0,455 m/s hızında sol üst köşeden girmektedir. Akışkanın giriş sıcaklığı 293 K'dir. Akışkan oda içerisinde dolaştıktan sonra alt köşeden çıkmaktadır. Bu esnada 9 m'lik alt kenar uzunluğu boyunca 63,08 W/m^2 'lik bir ısı akısı odayı ısıtmaktadır. Yan ve üst yüzeyler ise adyabatiktir. Çıkış basıncı ise 0 Pa olarak sınır şartları belirlenmiştir. Deneyde türbülans şiddeti ve uzunluk ölçeğinin farklı iterasyonlardaki etkileri incelendiğinden, bu değerler her bir analizde farklılık göstermektedir. Akışkanın Boussinesq ve ideal gaz olarak iki farklı özellikleri deneyde kullanılmıştır. Boussinesq durumunda yoğunluk 1,1923 kg/m3, özgül ısısı sabit 1006,87 J/kg-K, ısıl iletkenlik sabit 0,02577 W/m-K ve viskozite 1,8128 10^-5 kg/m-s'dir. Analizde korunum denklemlerinin hesaplama metodu olarak SIMPLE, SIMPLEC, COUPLED ve PISO metotları karşılaştırılmış ve en uygun sonuçlar COUPLED algoritmasında elde edilmiştir. Basınç alanı Second Order, yoğunluk, momentum, türbülans dağılım oranı ve türbülans kinetik enerjisinde Second Order Upwind algoritması kullanılmıştır.

4.4. Analizlerin Karşılaştırılması

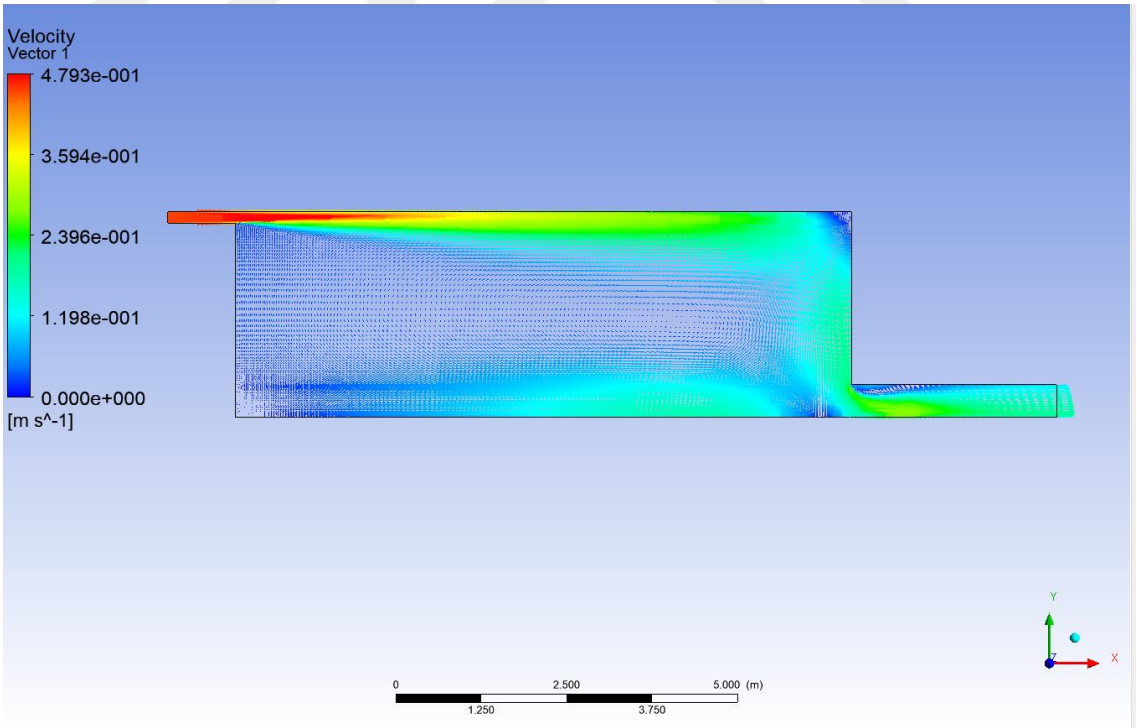
Analizler 15000 iterasyonda Boussinesq ve ideal gaz olarak akışkanın iki farklı durumunda incelenmiştir. Çizelge 4.1'de farklı üç farklı türbülans değeri için üç uzunluk ölçeğinde analizler gerçekleştirilmiştir. Her analiz sonucunda vektörel hız dağılımının akışkanın oda içerisinde saat yönünde mi yoksa saat yönünün tersi yönünde bir profil mi sergilediği gözlemlenmiştir.

Çizelge 1. 15000 iterasyon sonucunda cw (clockwise-saat yönünde) ve ccw (counter clockwise-saat yönünün tersinde) olarak elde edilen akış modelleri

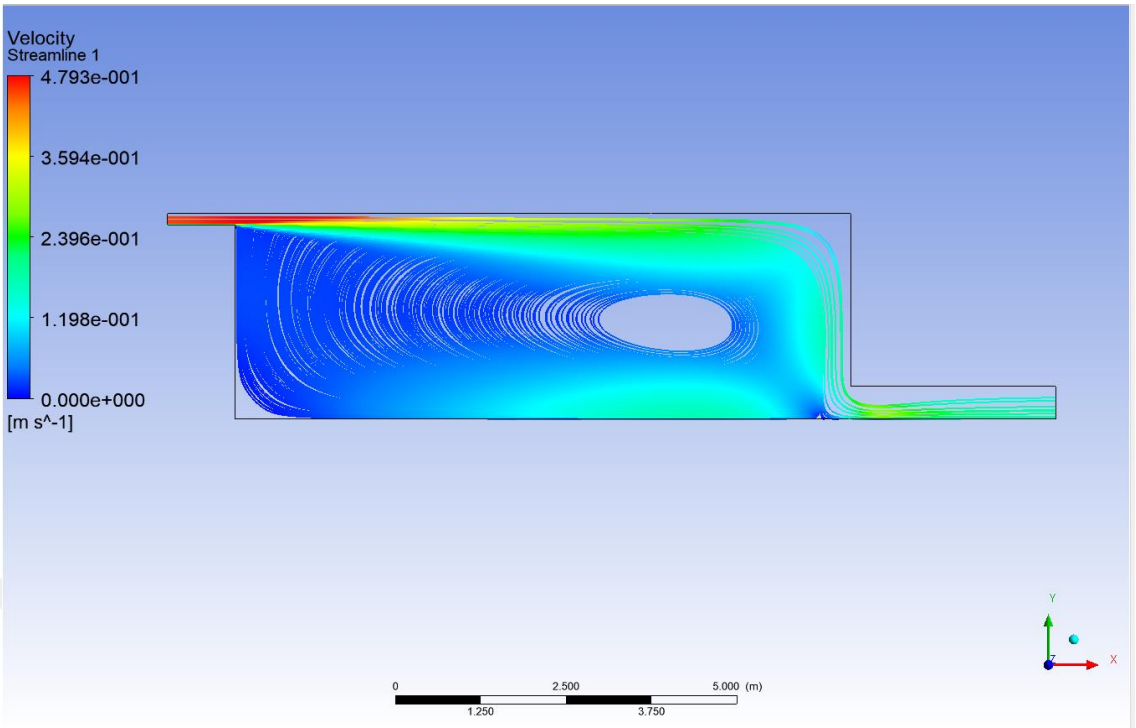
Standart Initialization				Hibrit Initialization			
Boussinesq Yaklaşımı		İdeal Gaz Yaklaşımı		Boussinesq Yaklaşımı		İdeal Gaz Yaklaşımı	
Tu	LS	Tu	LS	Tu	LS	Tu	LS
0,01 (1%)	0,00168 cw	0,01	0,00168 cw-ccw	0,01	0,00168 cw	0,01	0,00168 ccw
	0,0168 cw		0,0168 cw-ccw		0,0168 cw		0,0168 ccw
	0,168 cw		0,168 cw-ccw		0,168 cw		0,168 cw-ccw
0,04 (4%)	0,00168 cw	0,04	0,00168 cw-ccw	0,04	0,00168 cw	0,04	0,00168 cw-ccw
	0,0168 cw		0,0168 cw-ccw		0,0168 cw		0,0168 cw-ccw
	0,168 cw		0,168 cw-ccw		0,168 cw		0,168 ccw
0,16 (16%)	0,00168 cw	0,16	0,00168 cw-ccw	0,16	0,00168 cw	0.16	0,00168 ccw
	0,0168 cw		0,0168 cw-ccw		0,0168 cw		0,0168 cw-ccw
	0,168 cw		0,168 cw		0,168 cw		0,168 cw-ccw



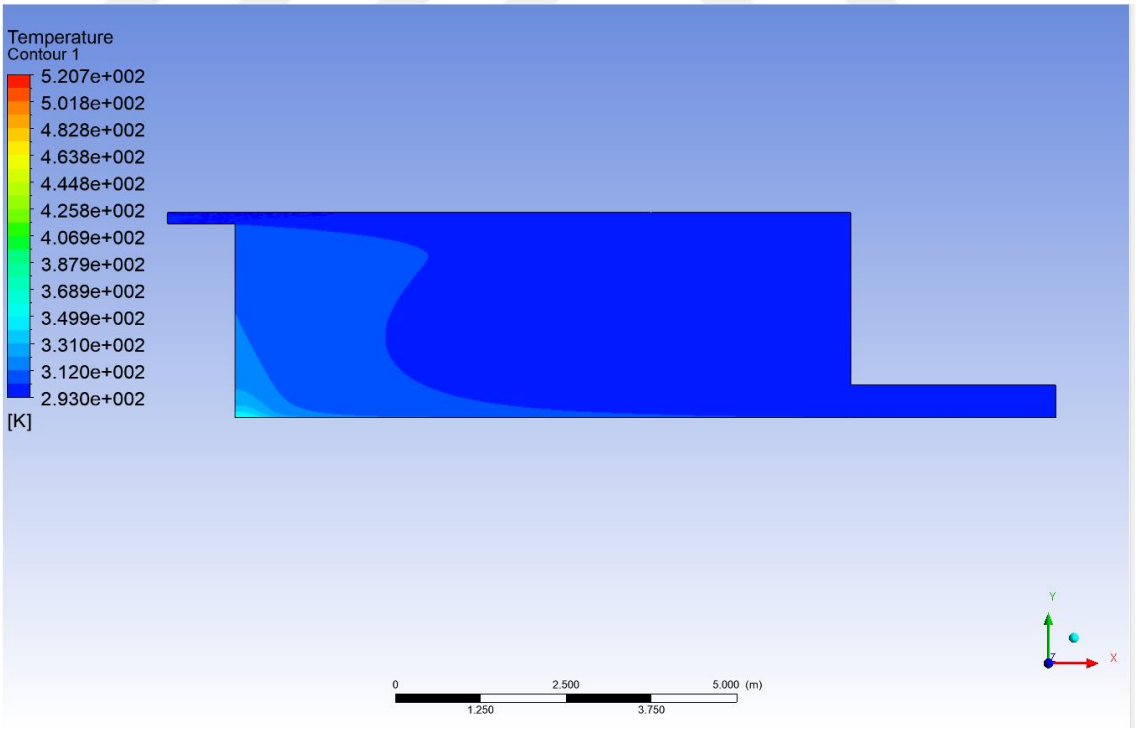
Şekil 4.6. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında 15000 adımda iterasyon sonuçları



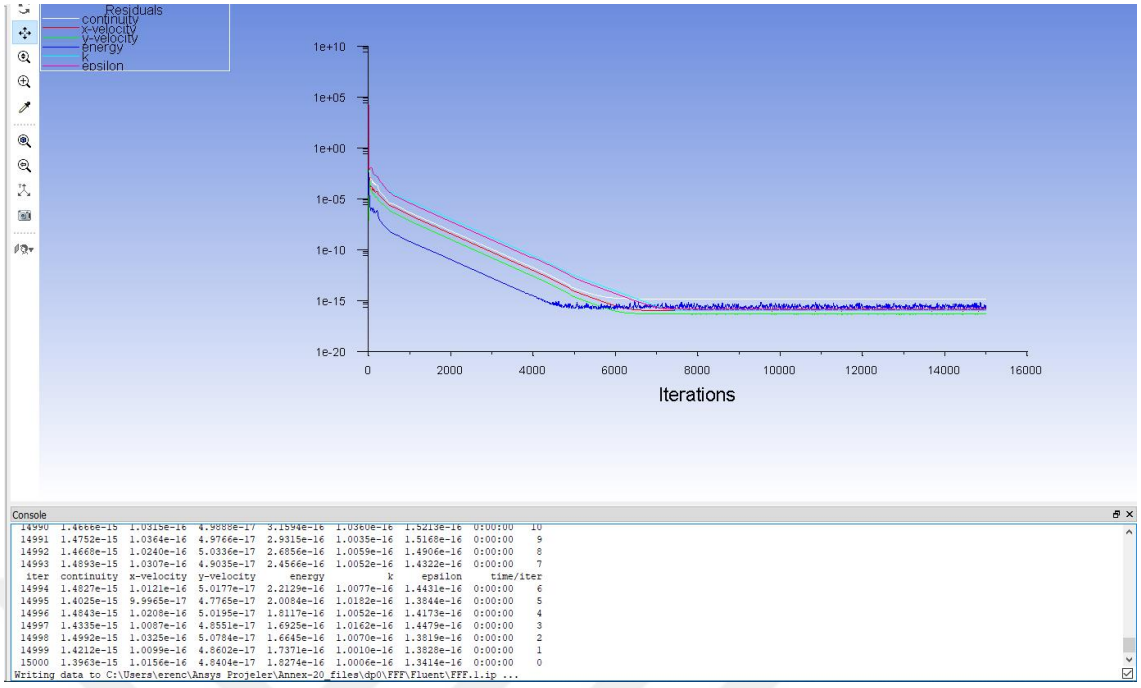
Şekil 4.7. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında vektörel hız grafiği



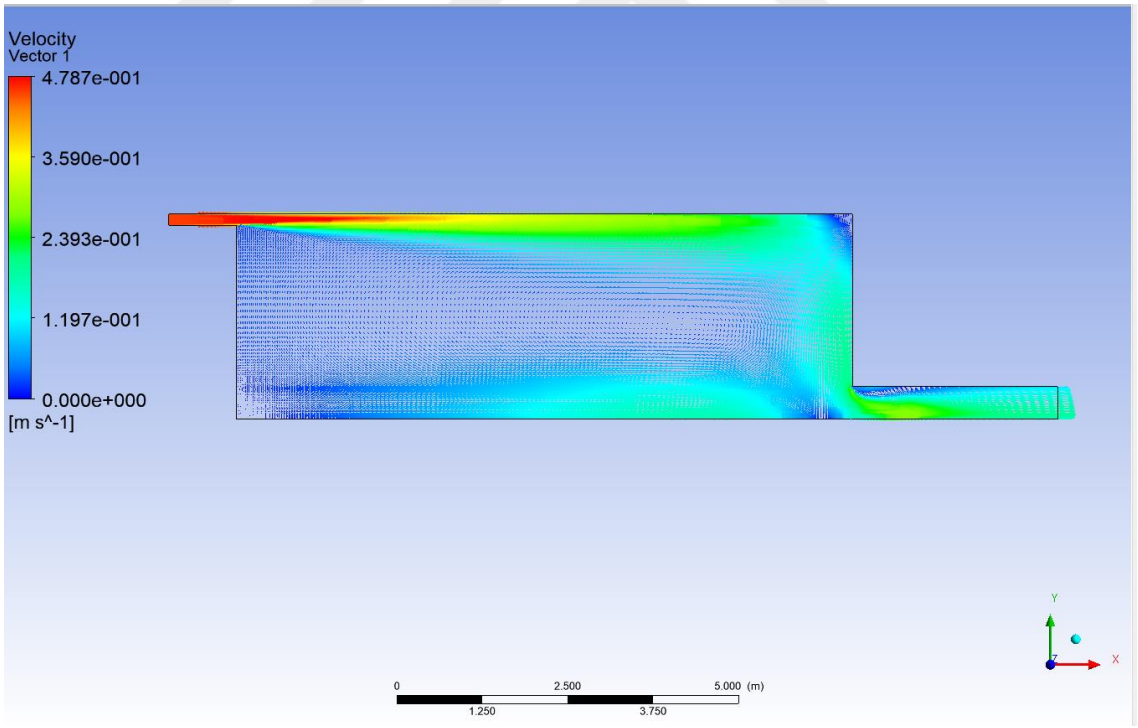
Şekil 4.8. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında akış çizgileri grafiği



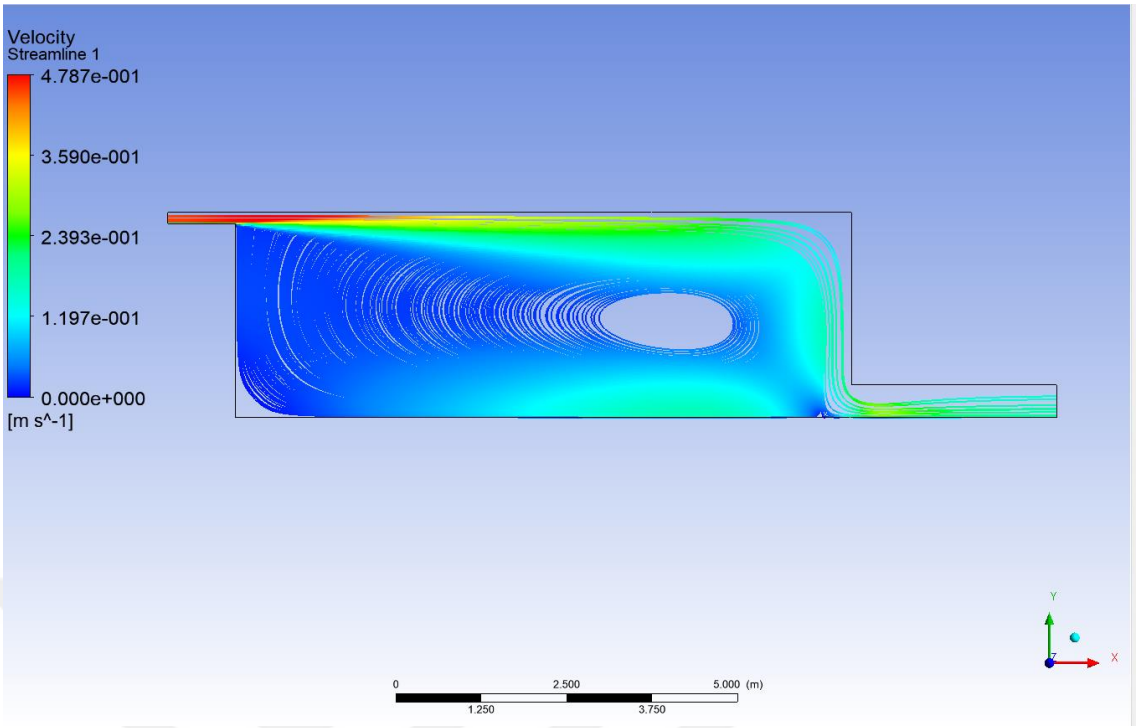
Şekil 4.9. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında sıcaklık grafiği



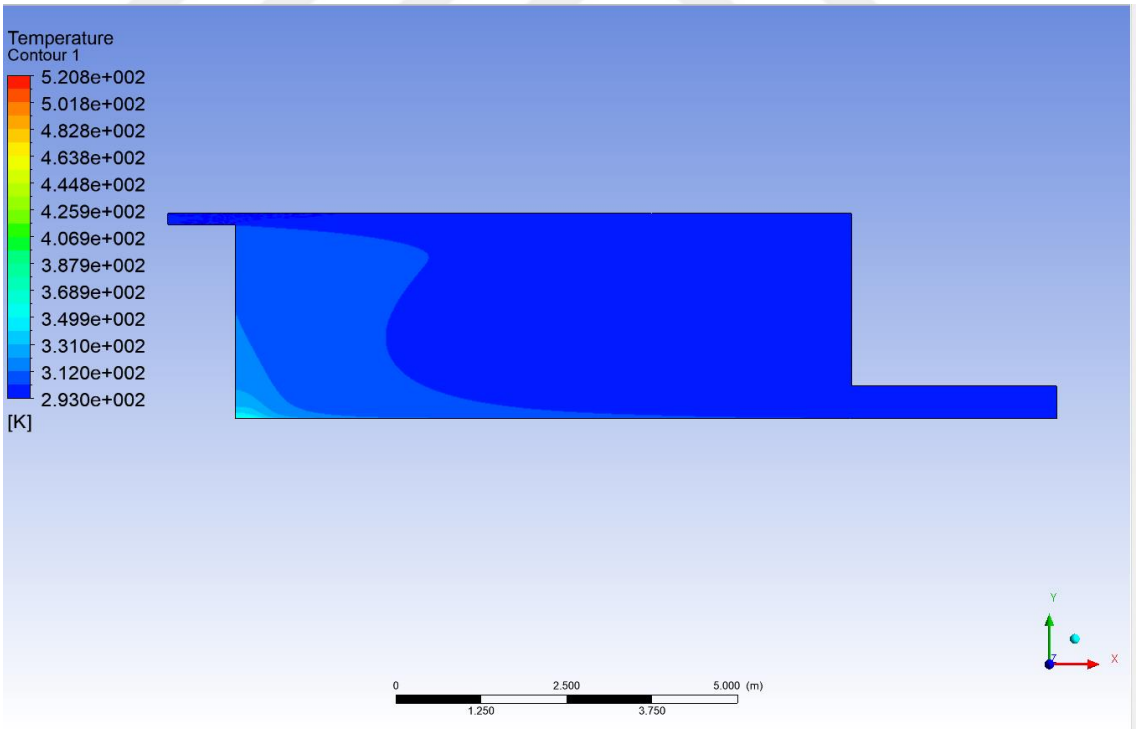
Şekil 4.10. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



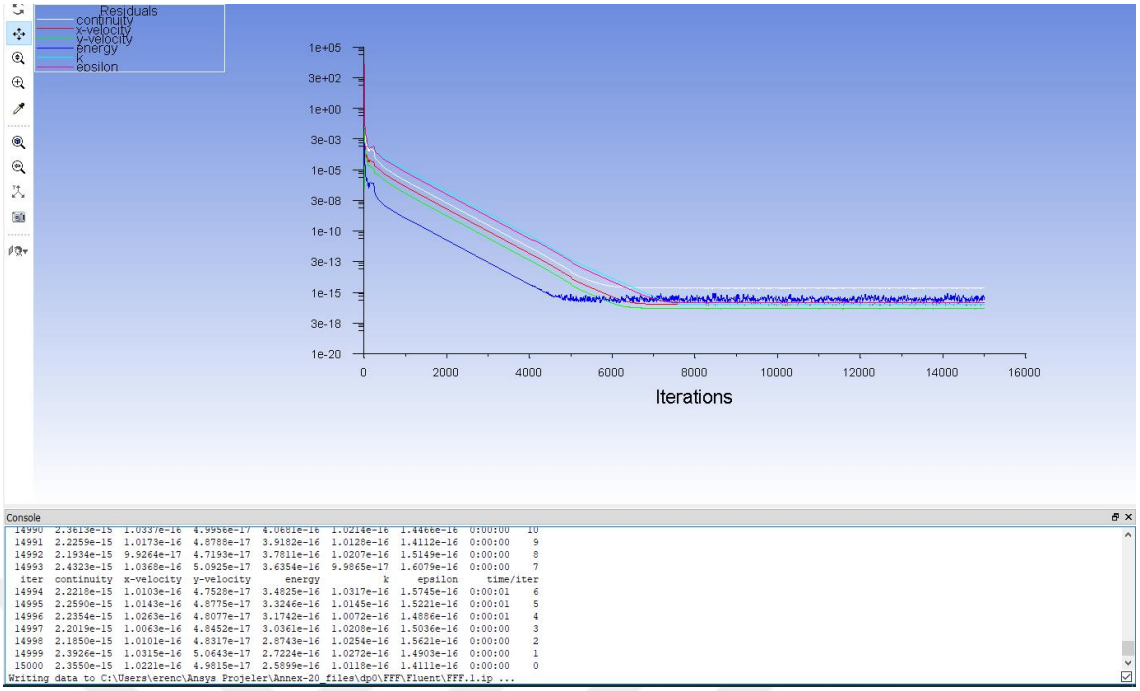
Şekil 4.11. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında vektörel hız grafiği



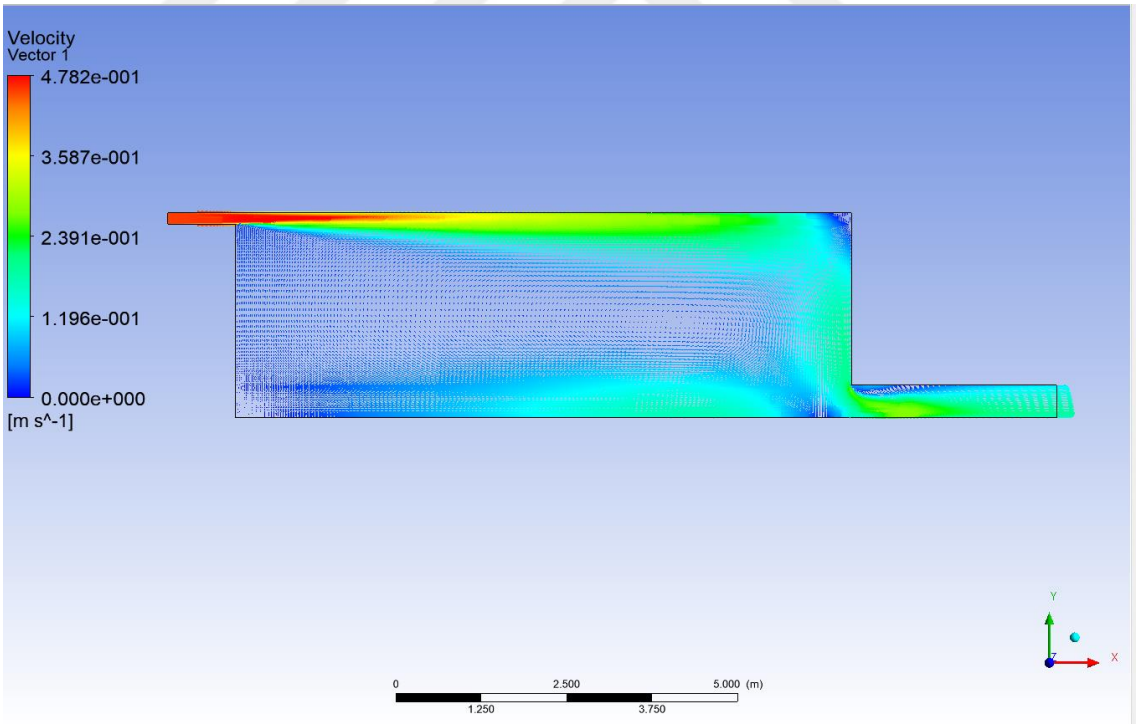
Şekil 4.12. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında akış çizgisi grafiği



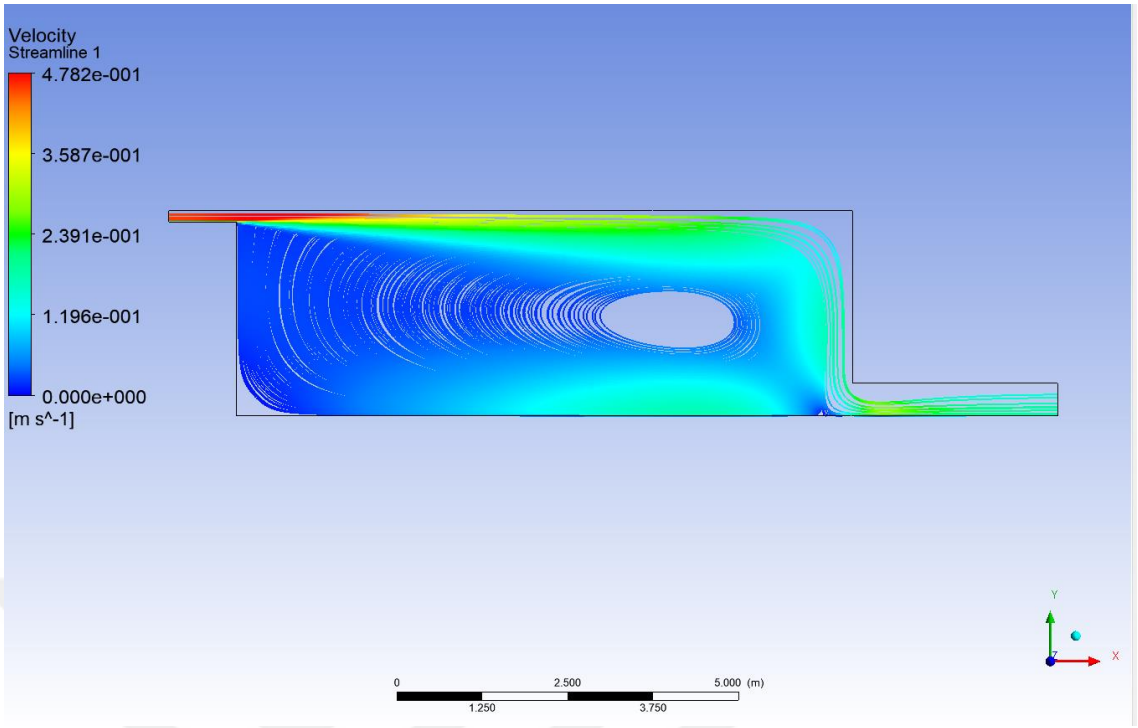
Şekil 4.13. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımında sıcaklık grafiği



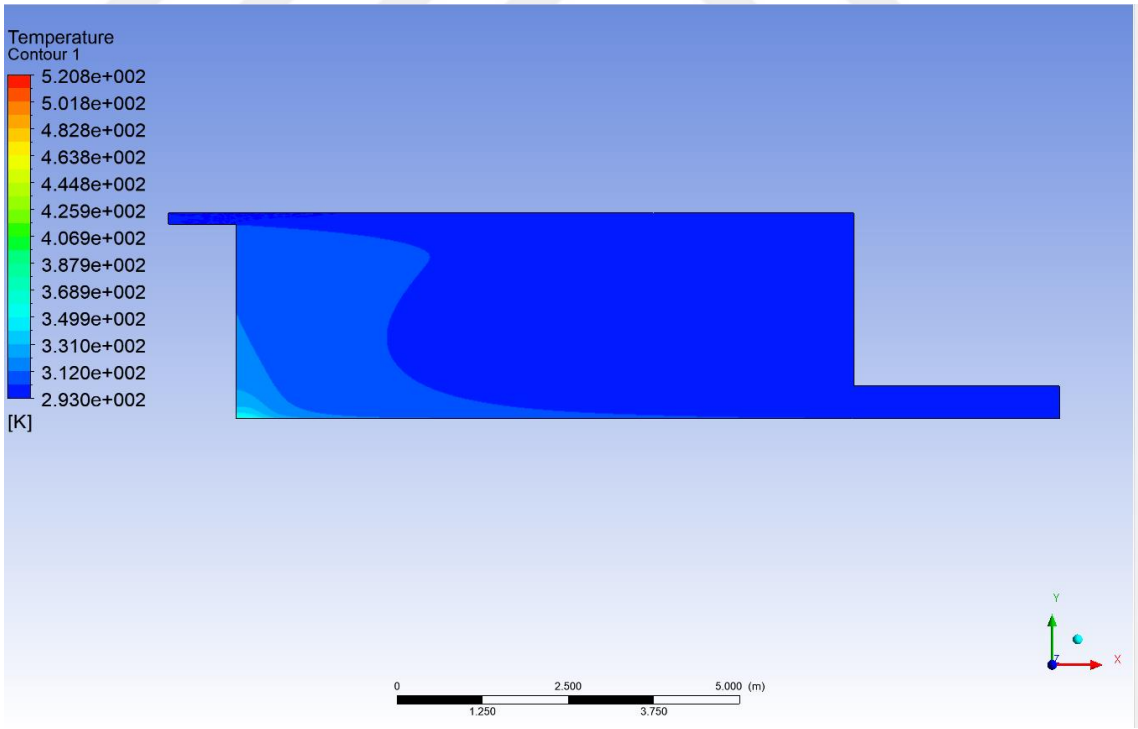
Şekil 4.14. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



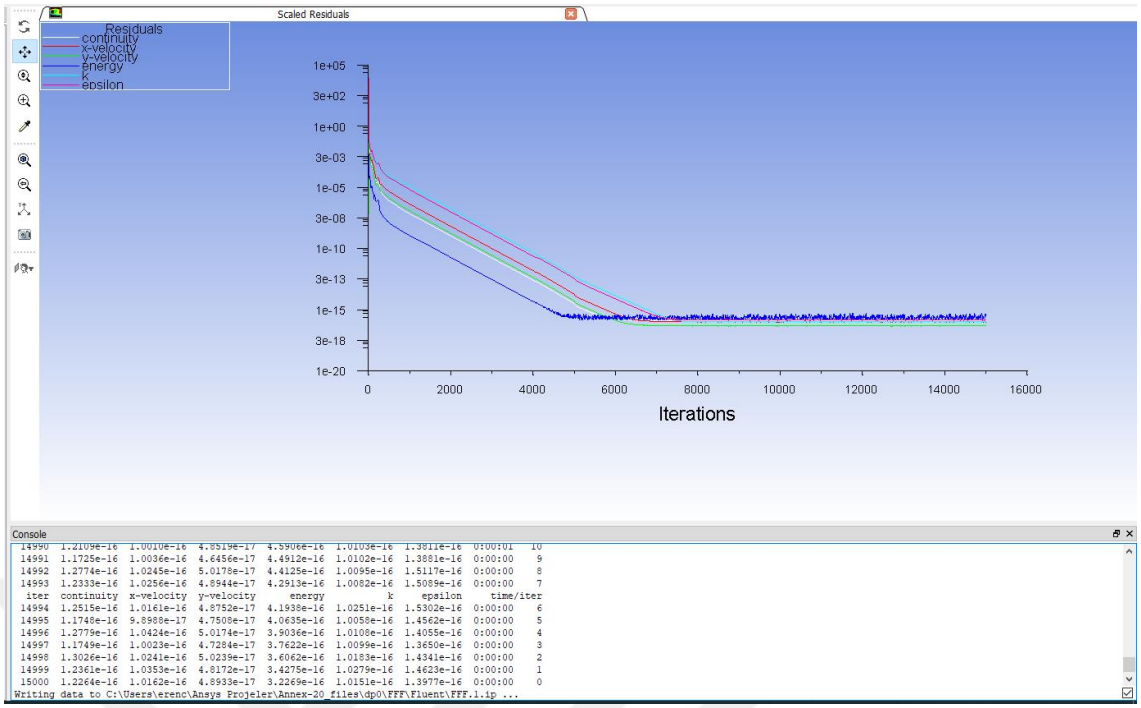
Şekil 4.15. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



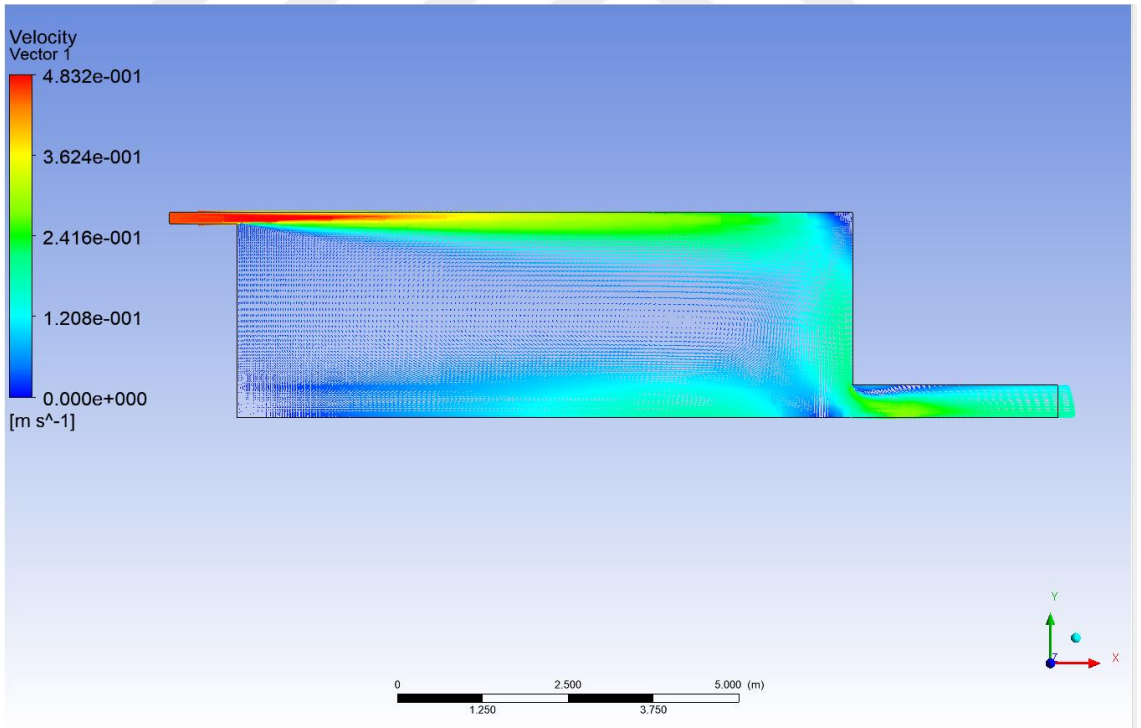
Şekil 4.16. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



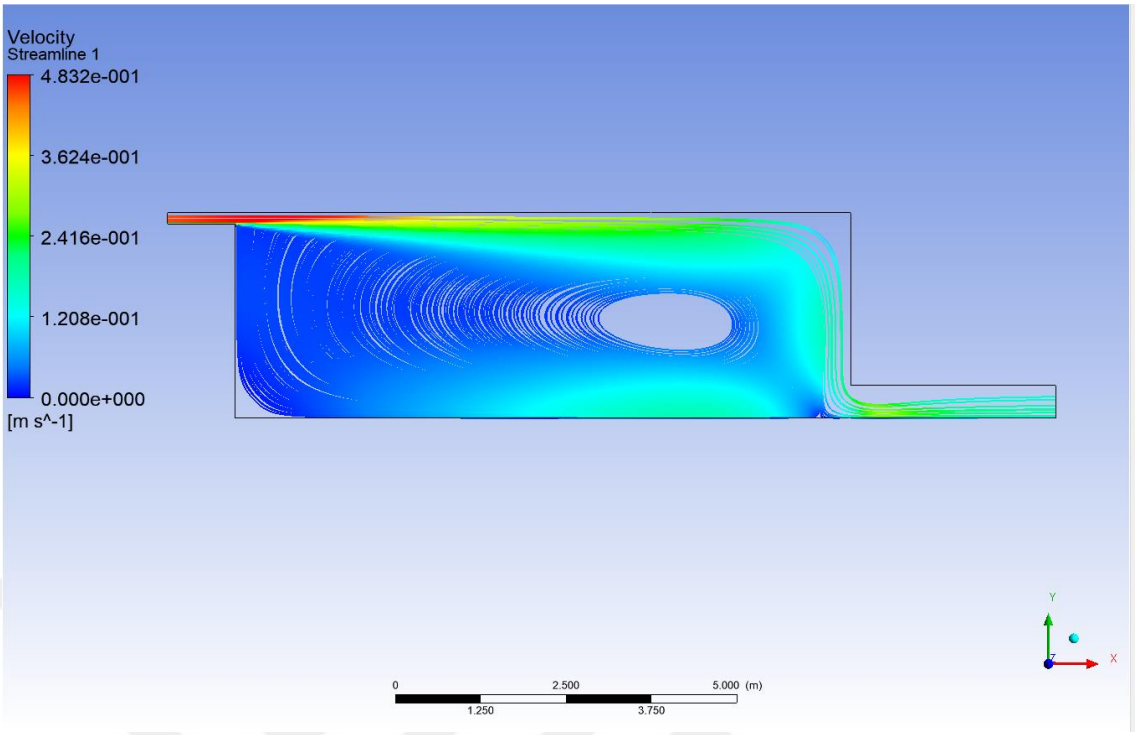
Şekil 4.17. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



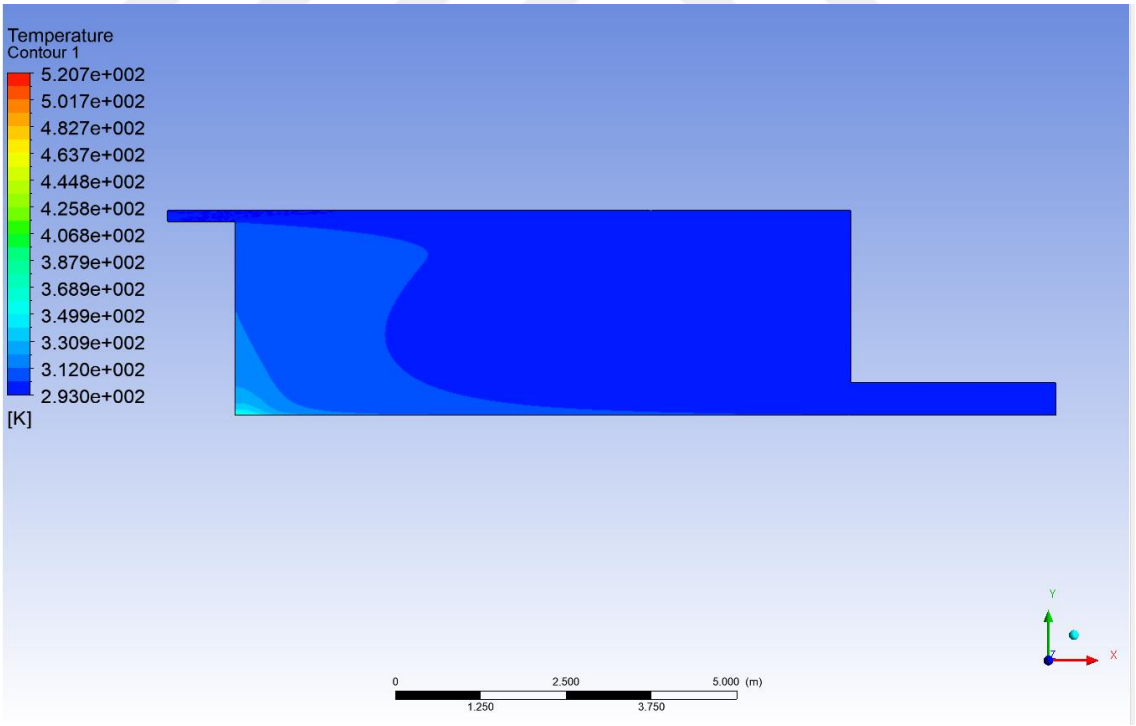
Şekil 4.18. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



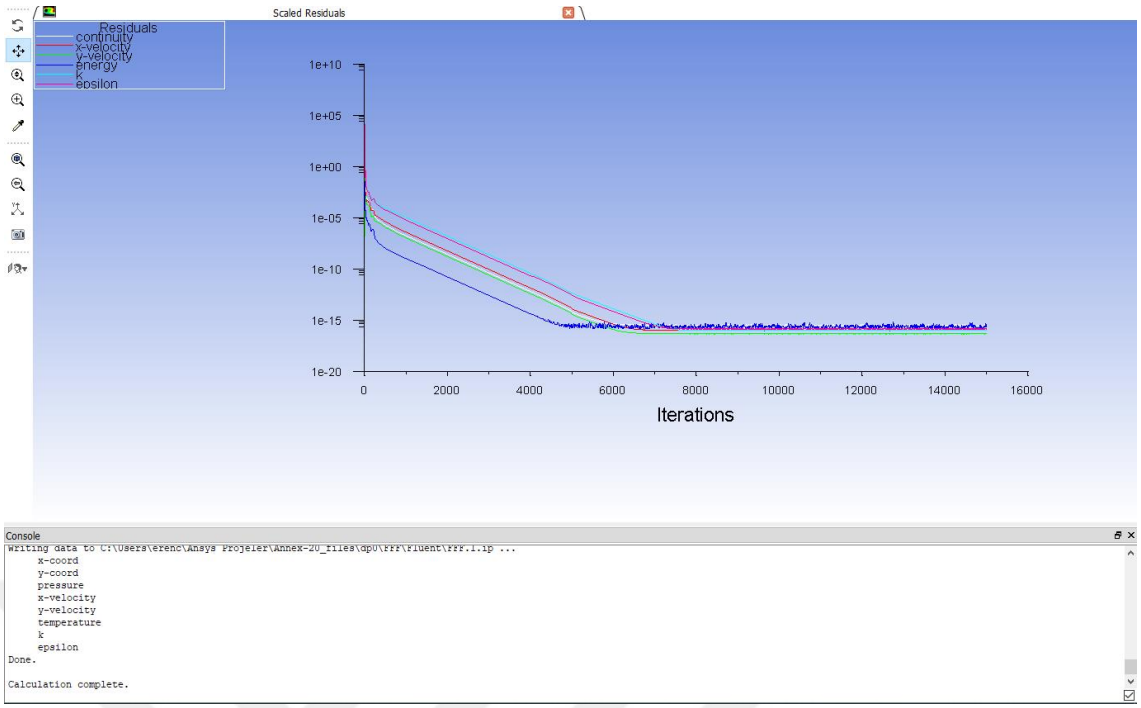
Şekil 4.19. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



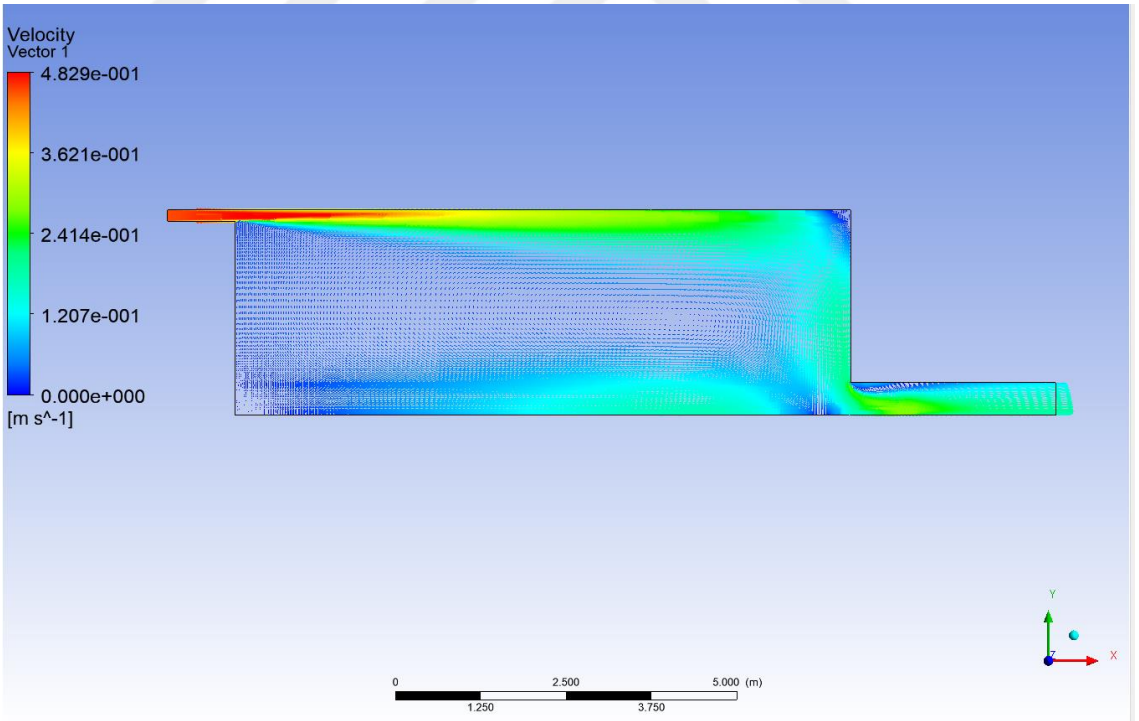
Şekil 4.20. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



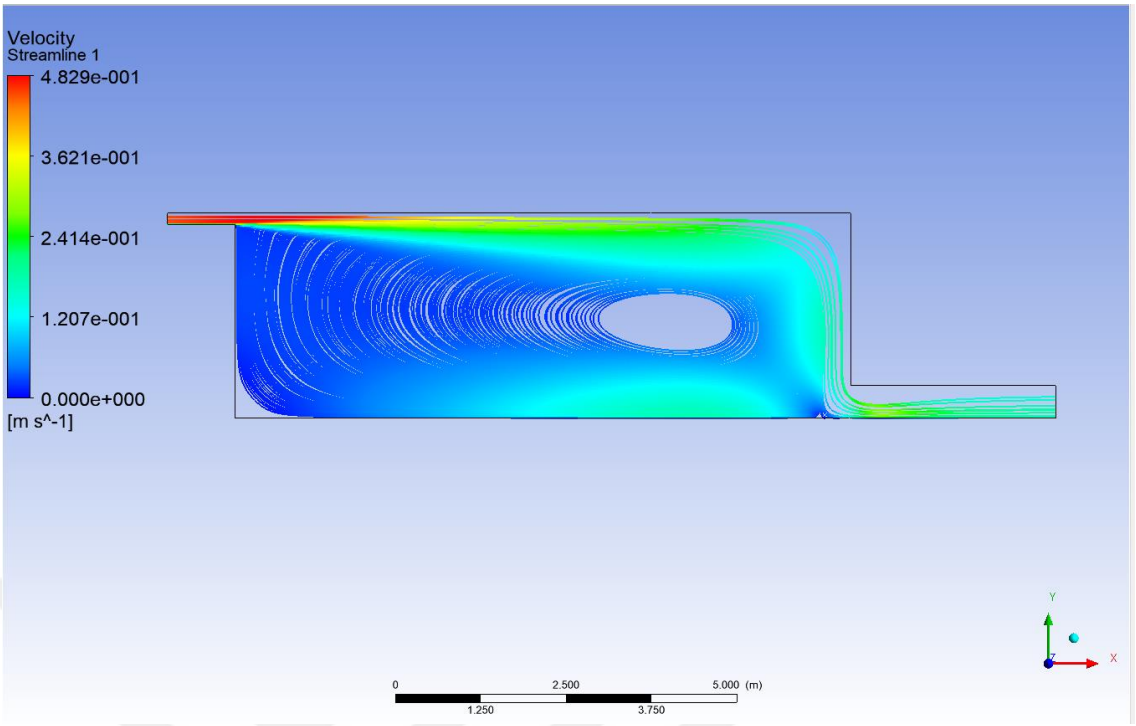
Şekil 4.21. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



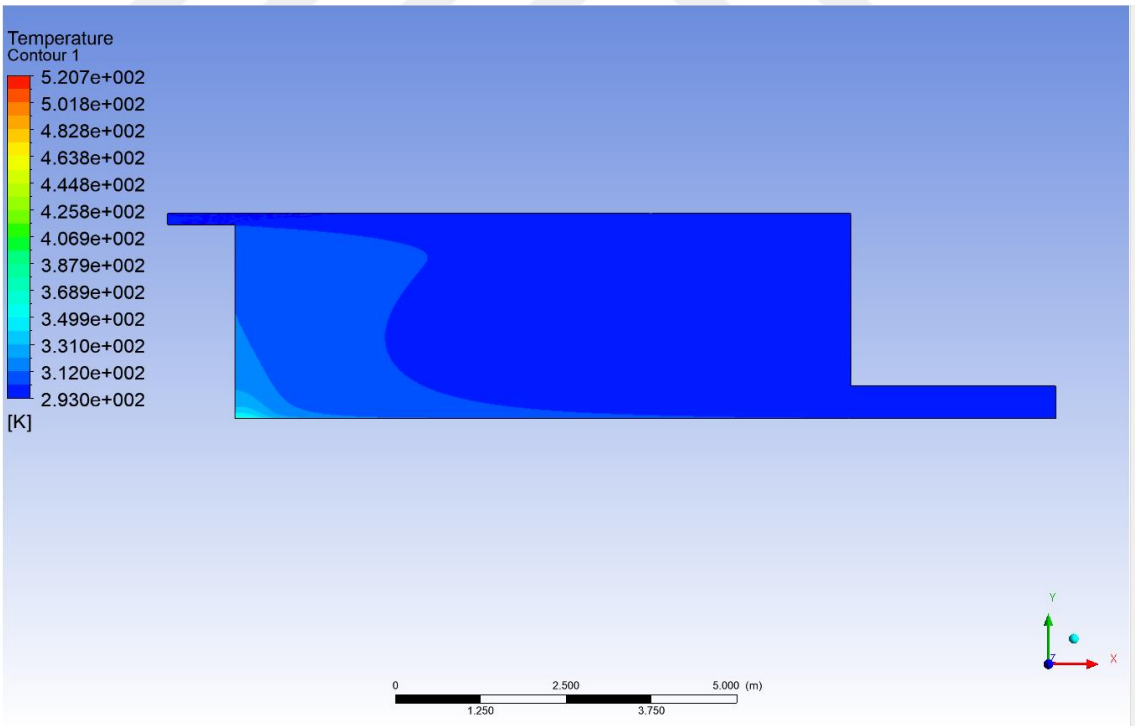
Şekil 4.22. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



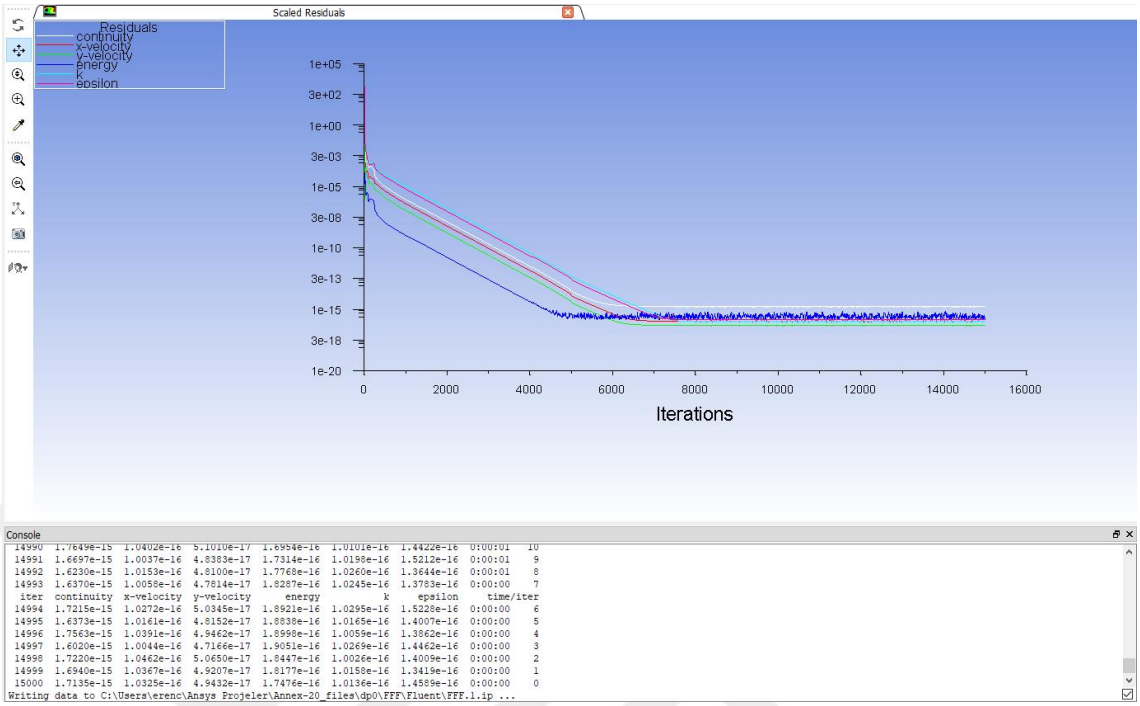
Şekil 4.23. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



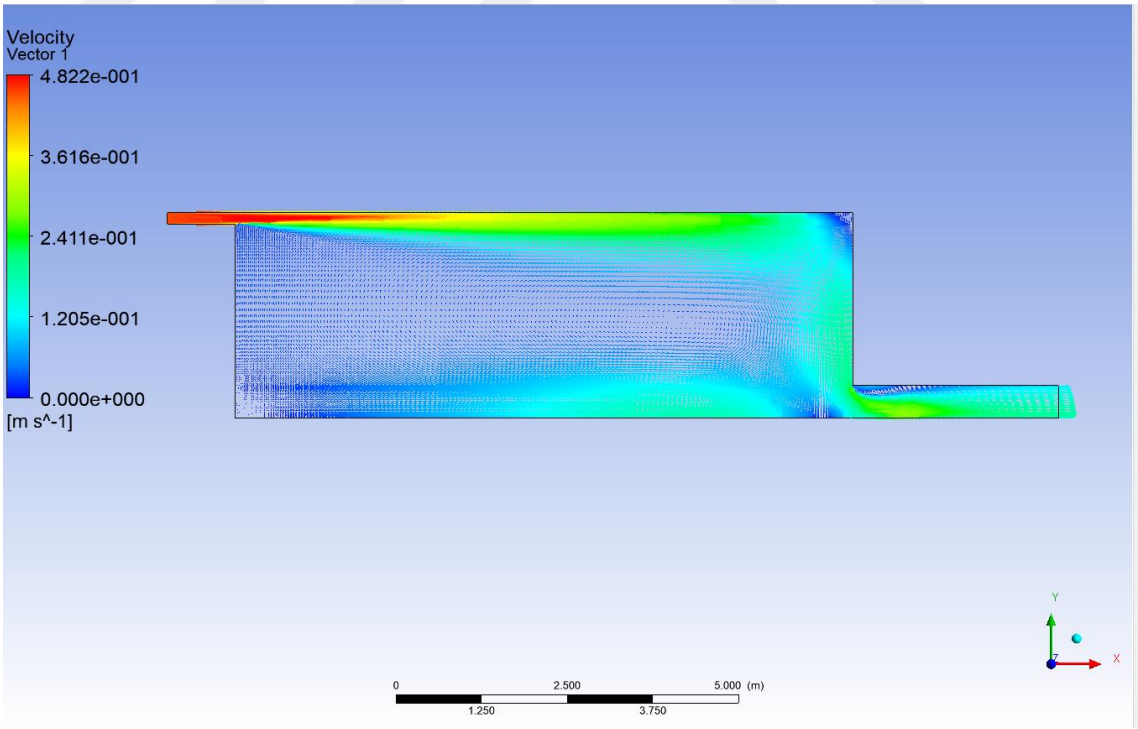
Şekil 4.24. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



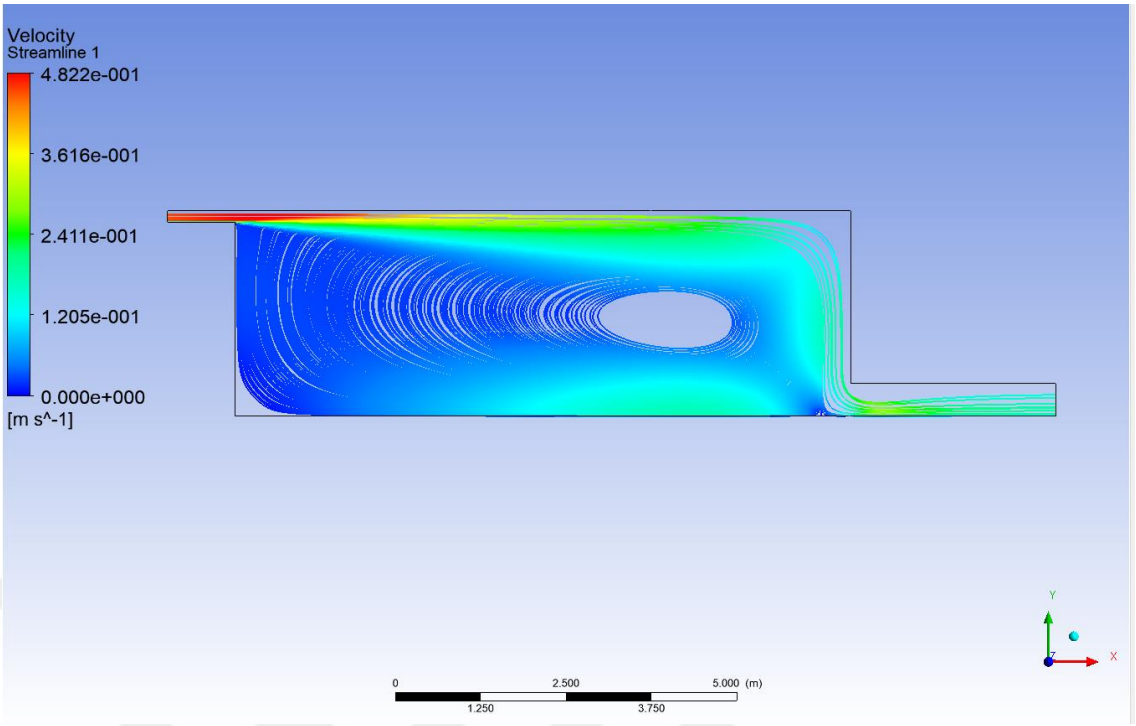
Şekil 4.25. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



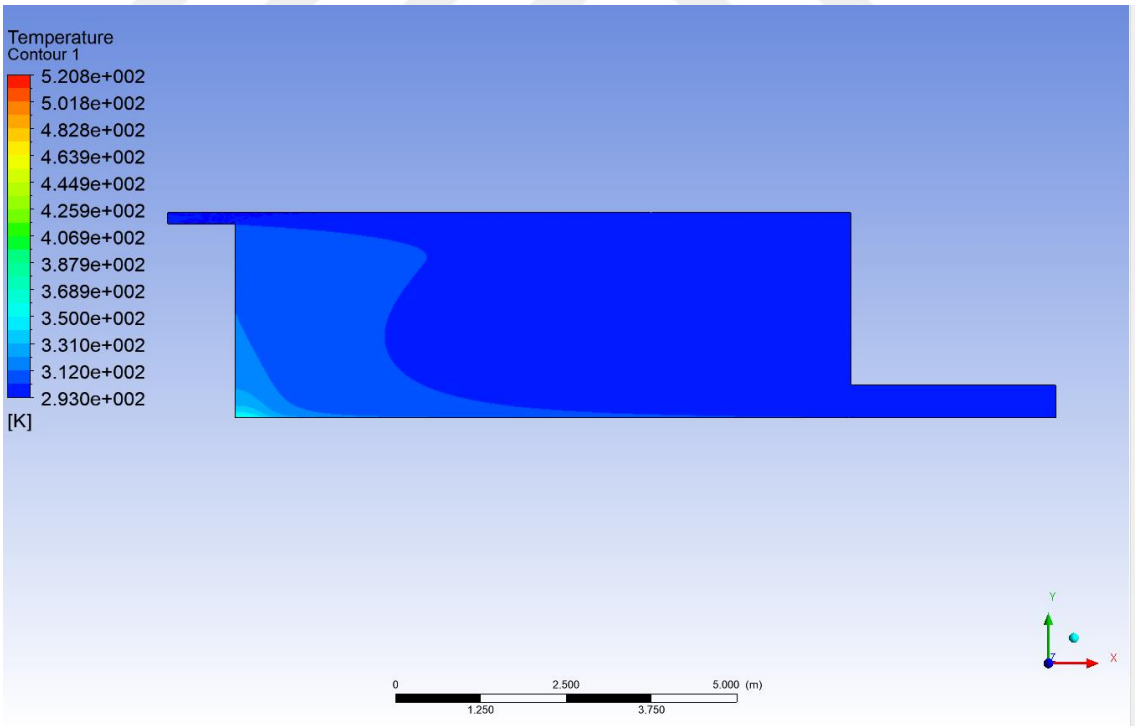
Şekil 4.26. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



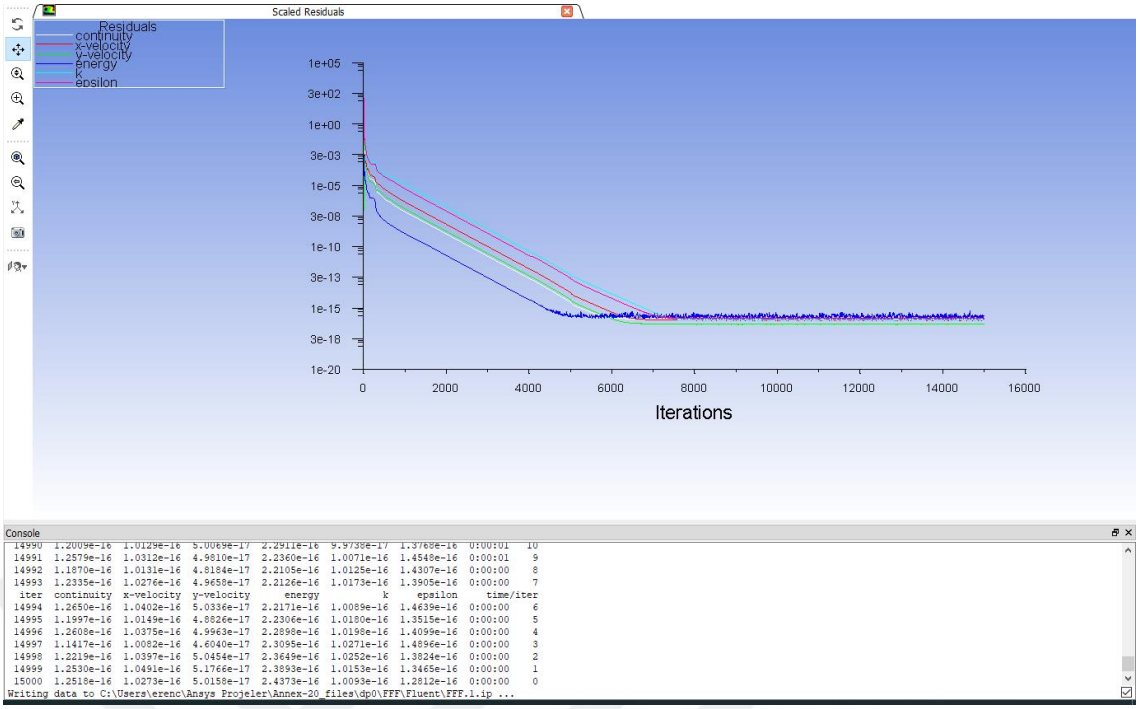
Şekil 4.27. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



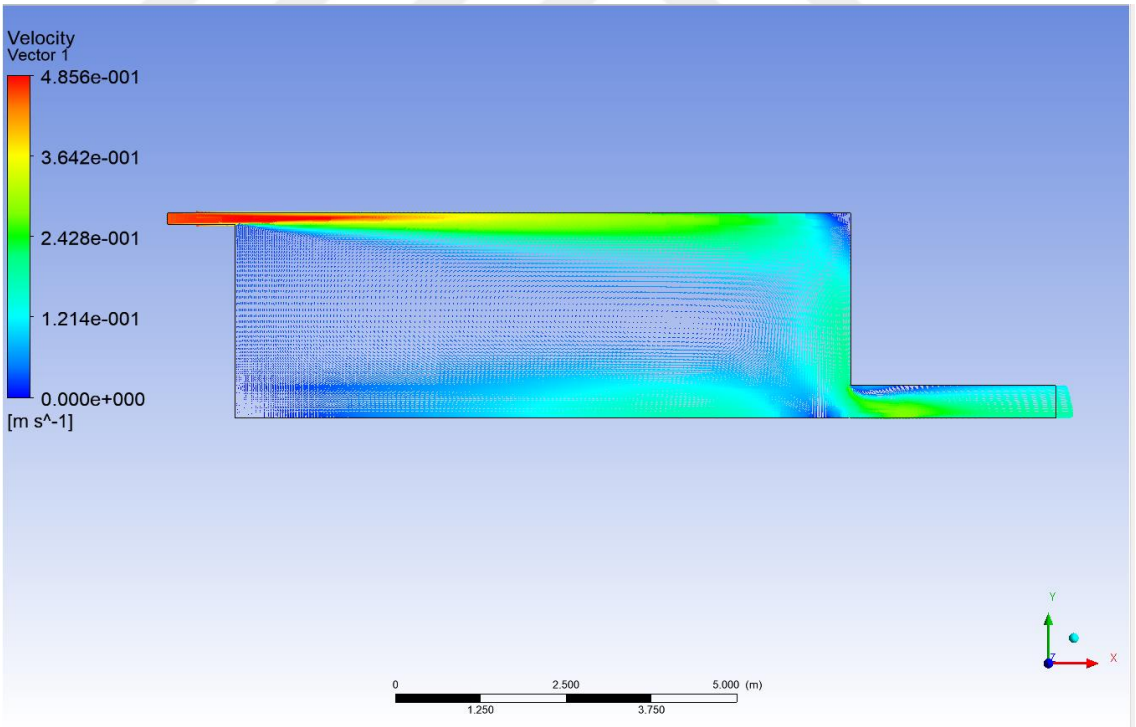
Şekil 4.28. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



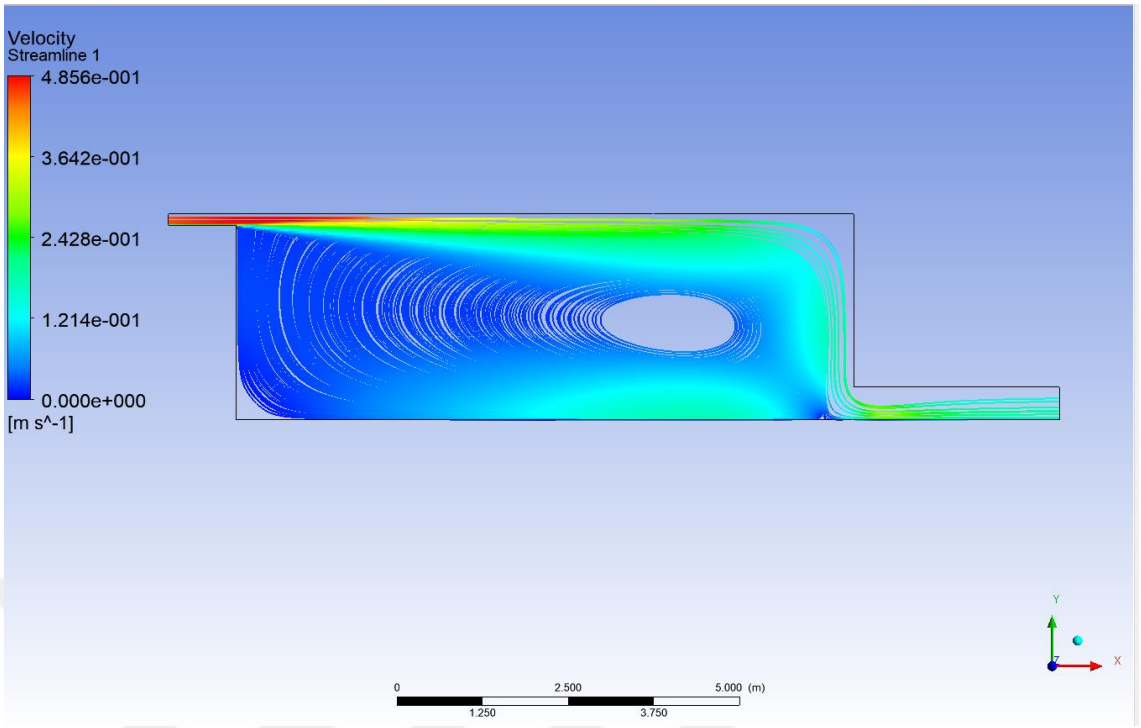
Şekil 4.29. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



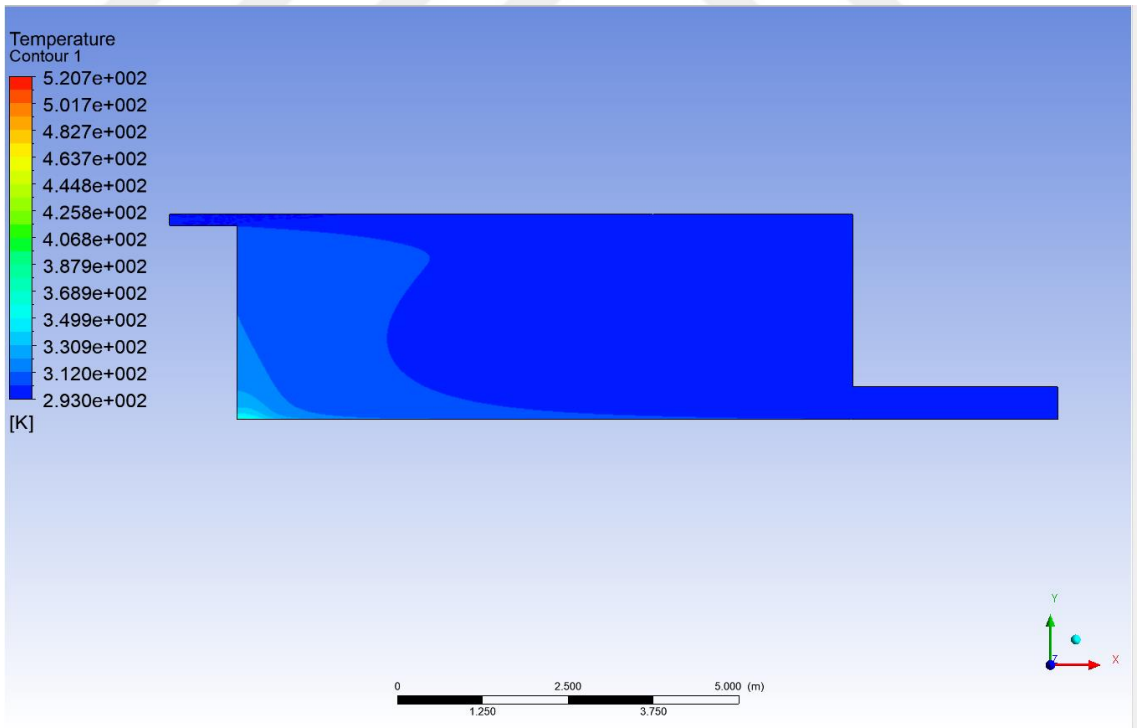
Şekil 4.30. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



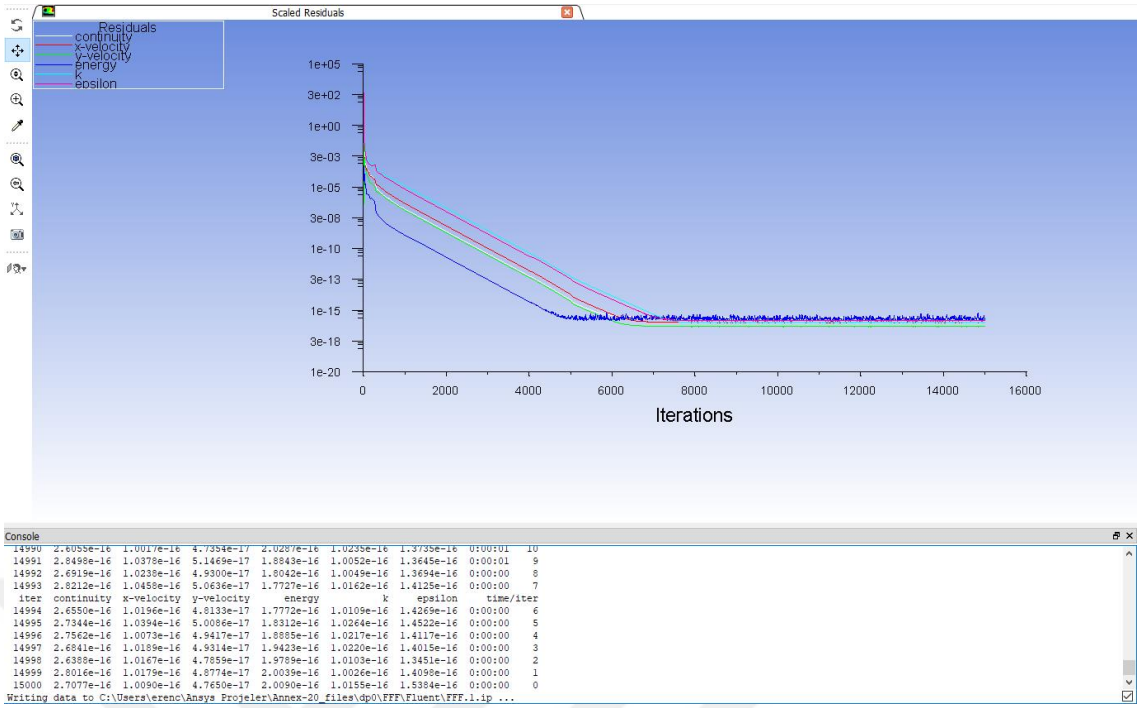
Şekil 4.31. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



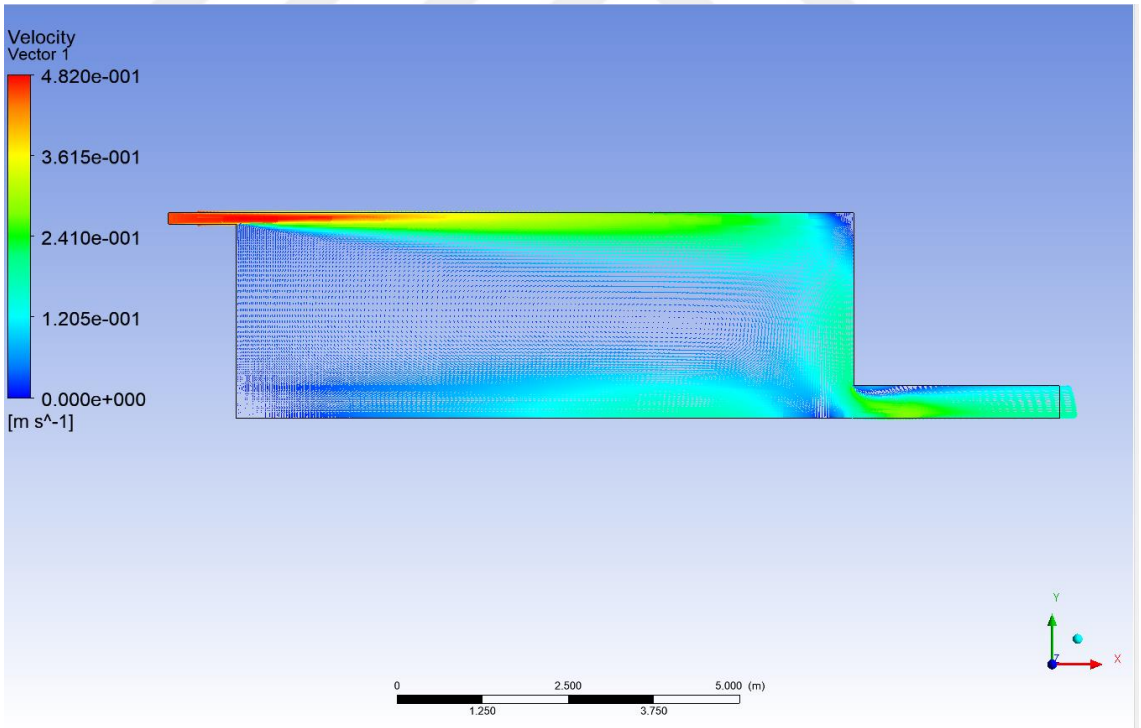
Şekil 4.32. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



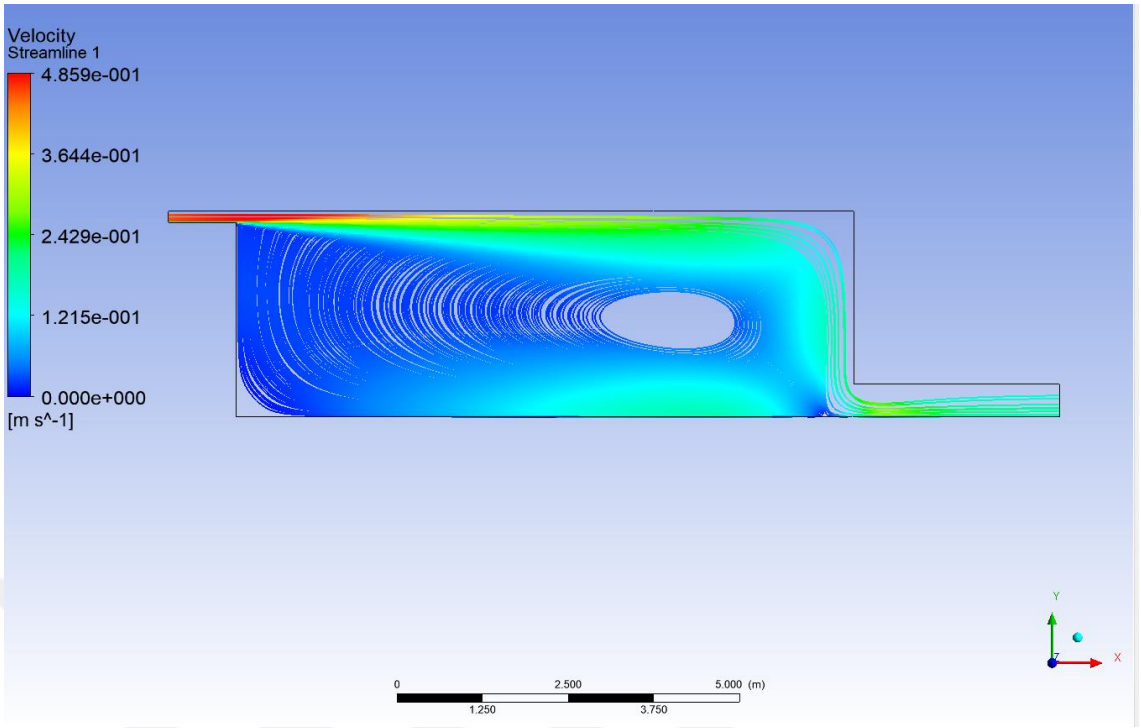
Şekil 4.33. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



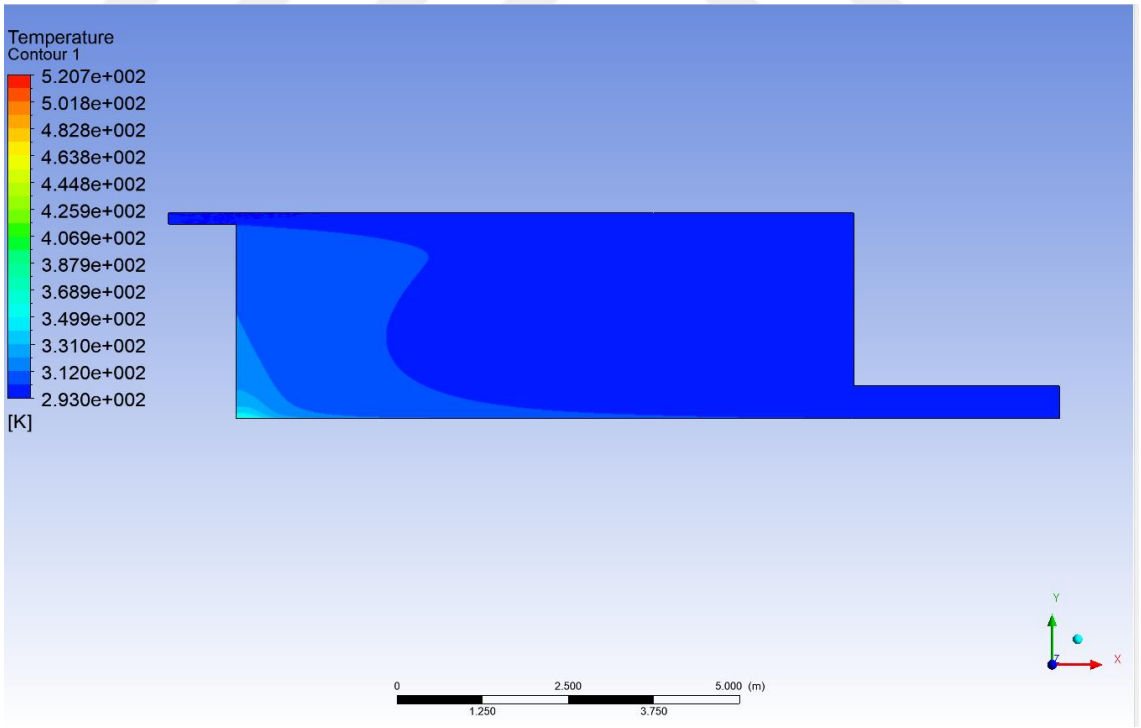
Şekil 4.34. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



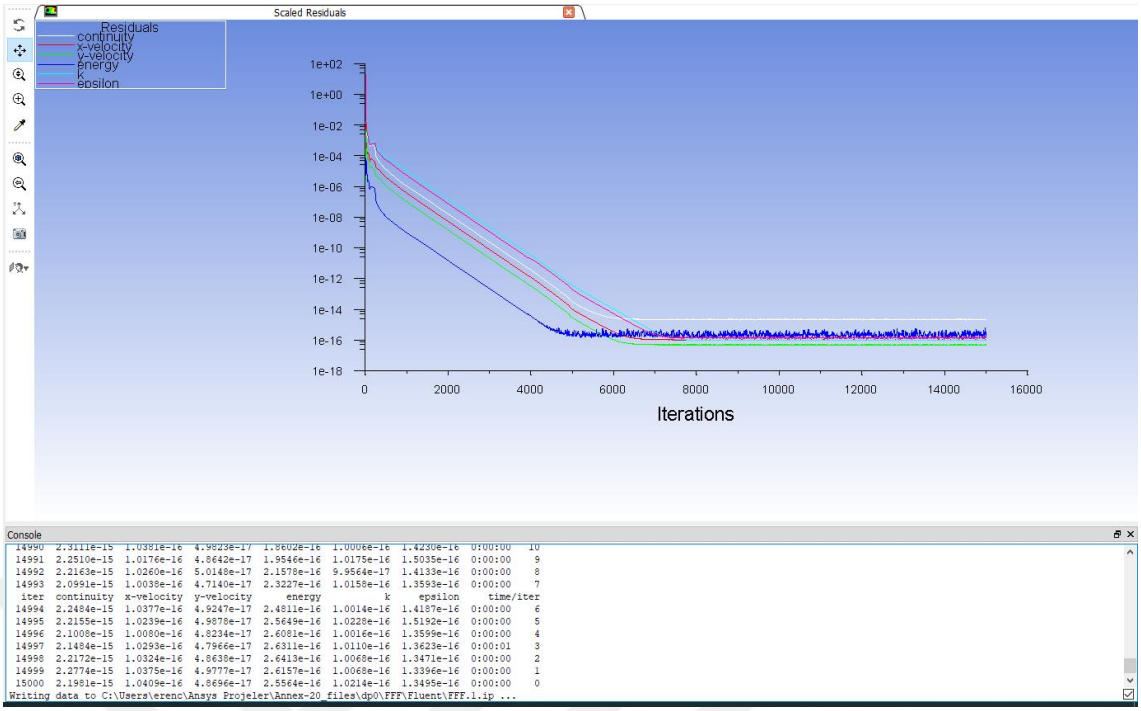
Şekil 4.35. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



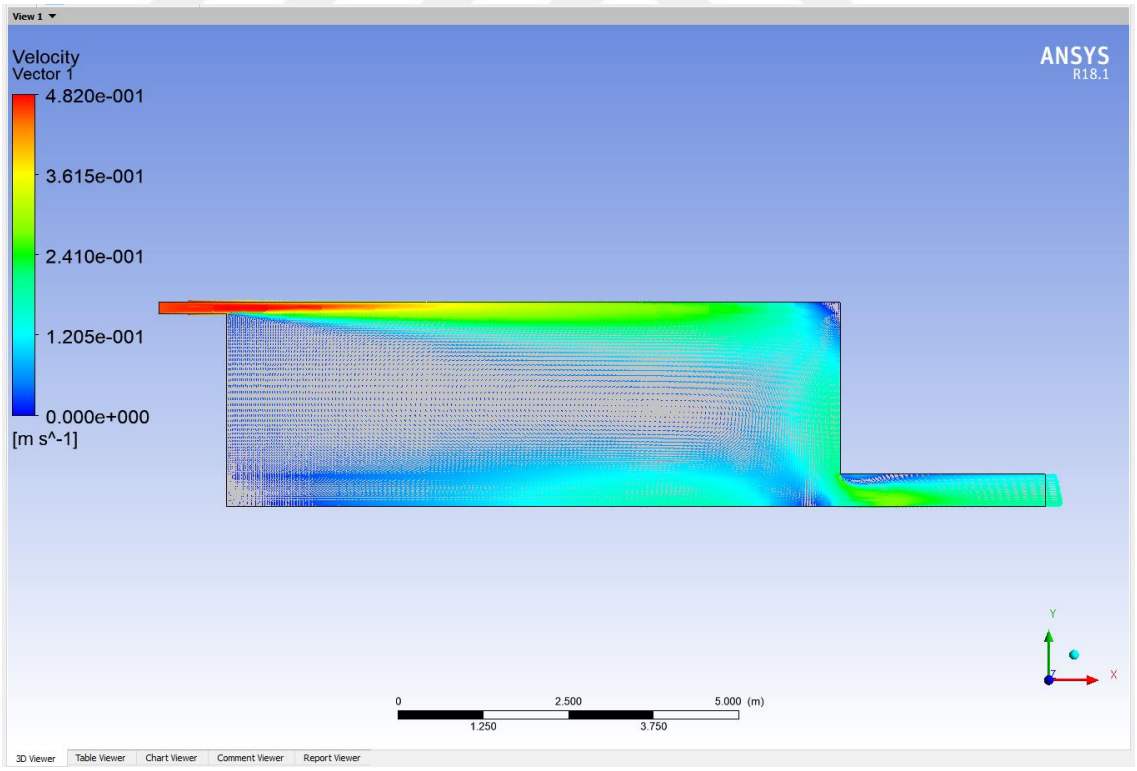
Şekil 4.36. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



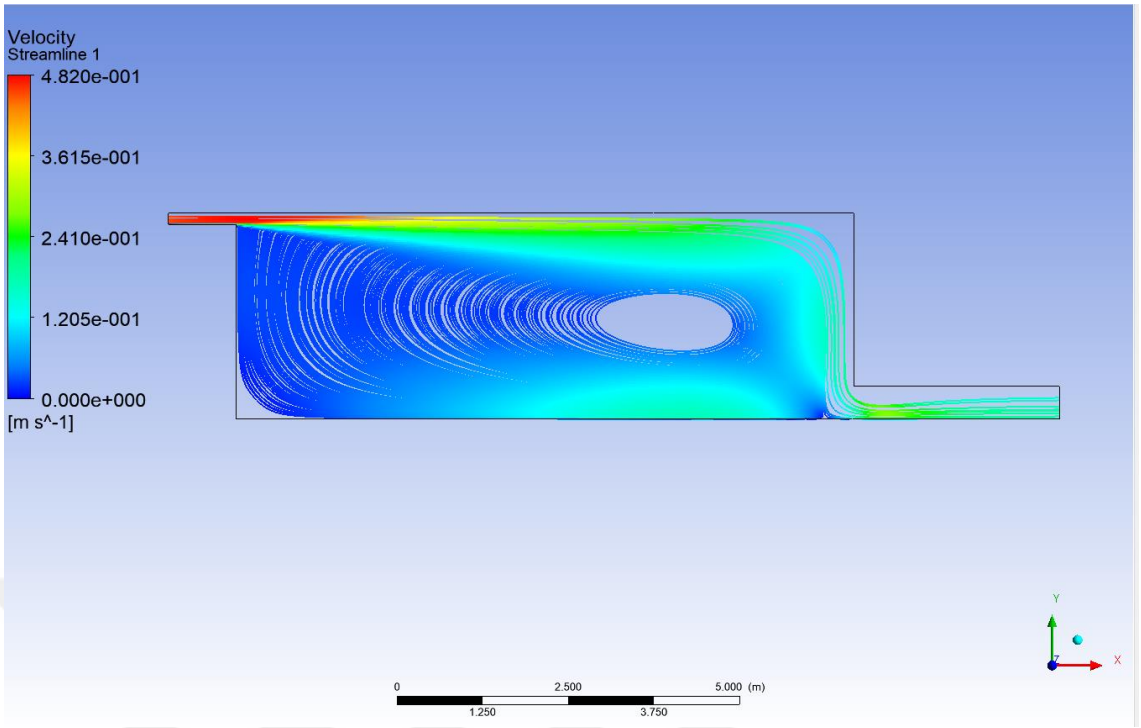
Şekil 4.37. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



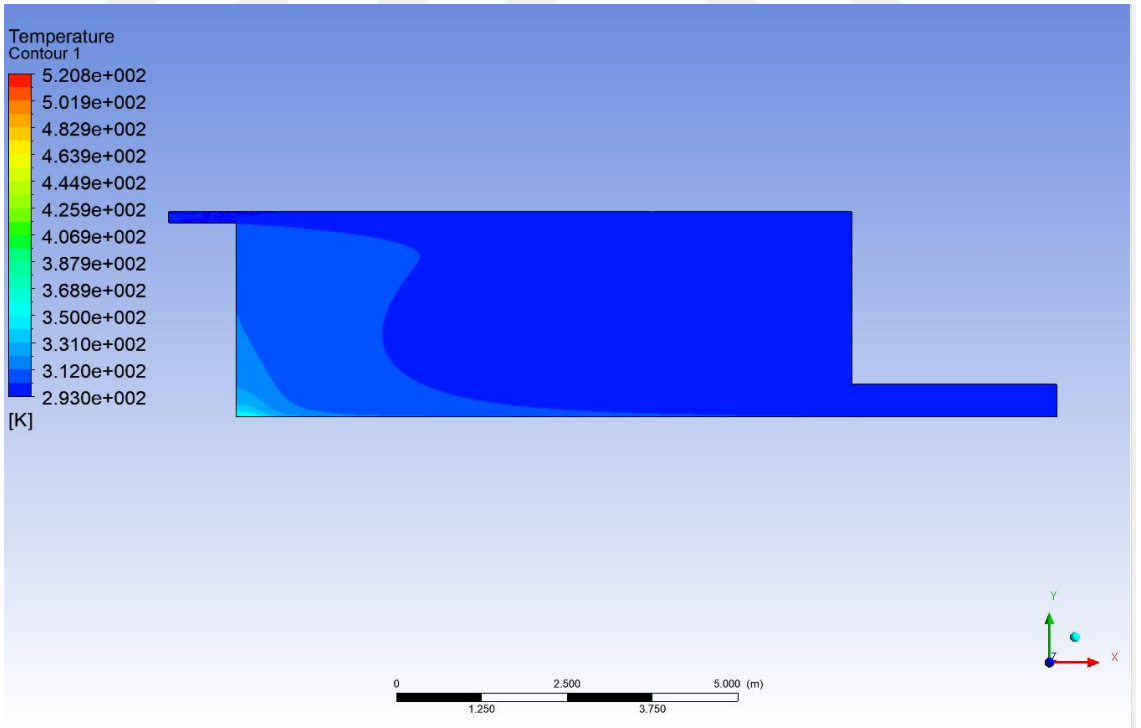
Şekil 4.38. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



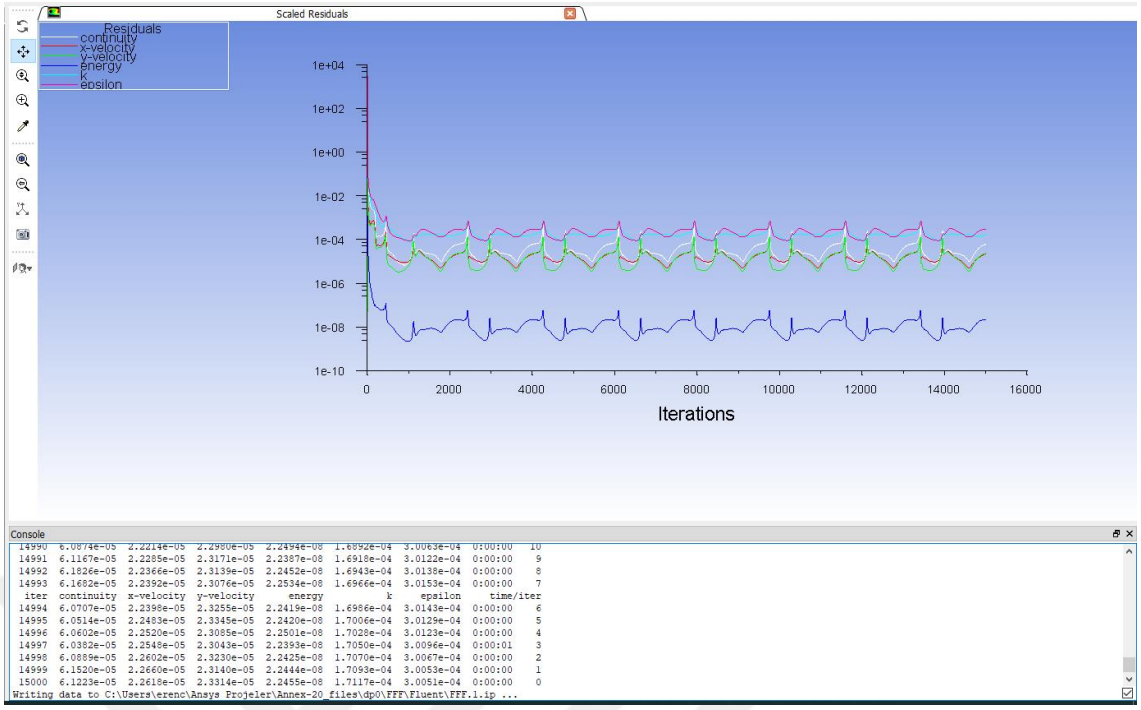
Şekil 4.39. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



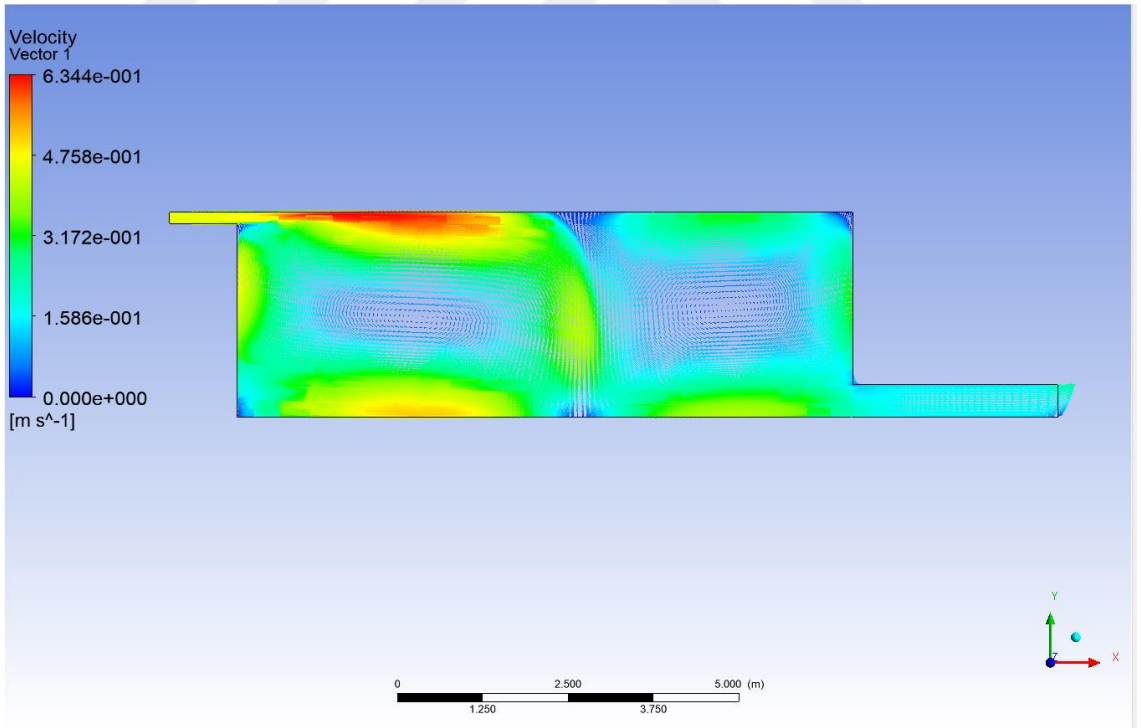
Şekil 4.40. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



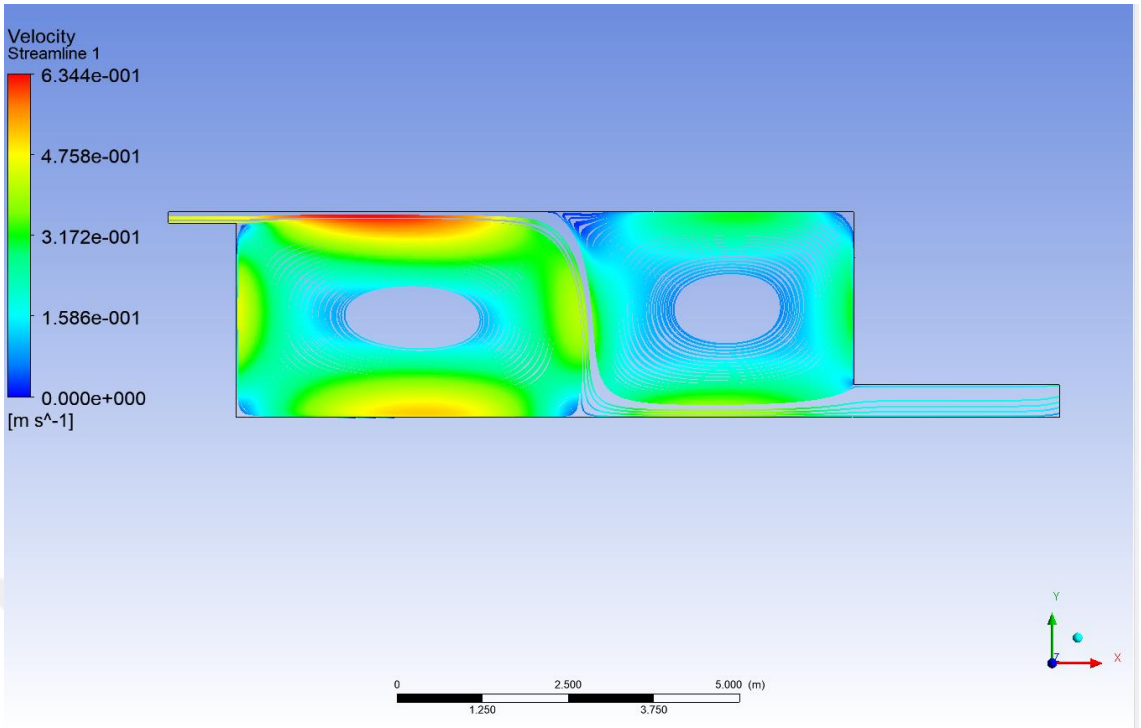
Şekil 4.41. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



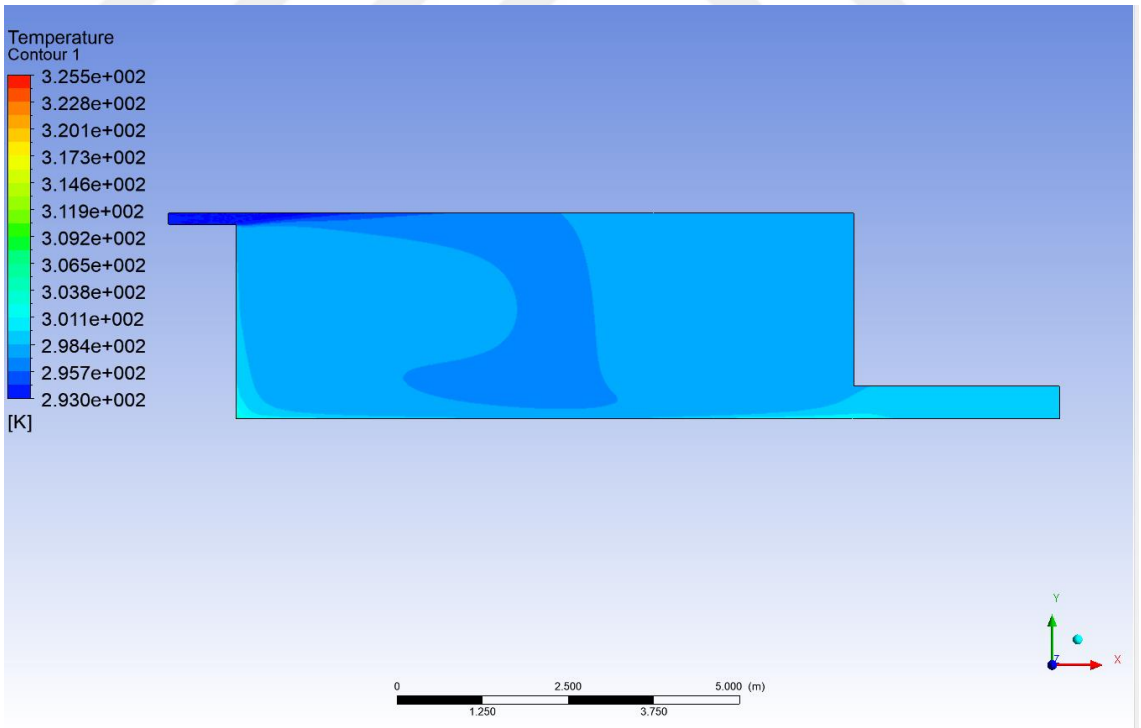
Şekil 4.42. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



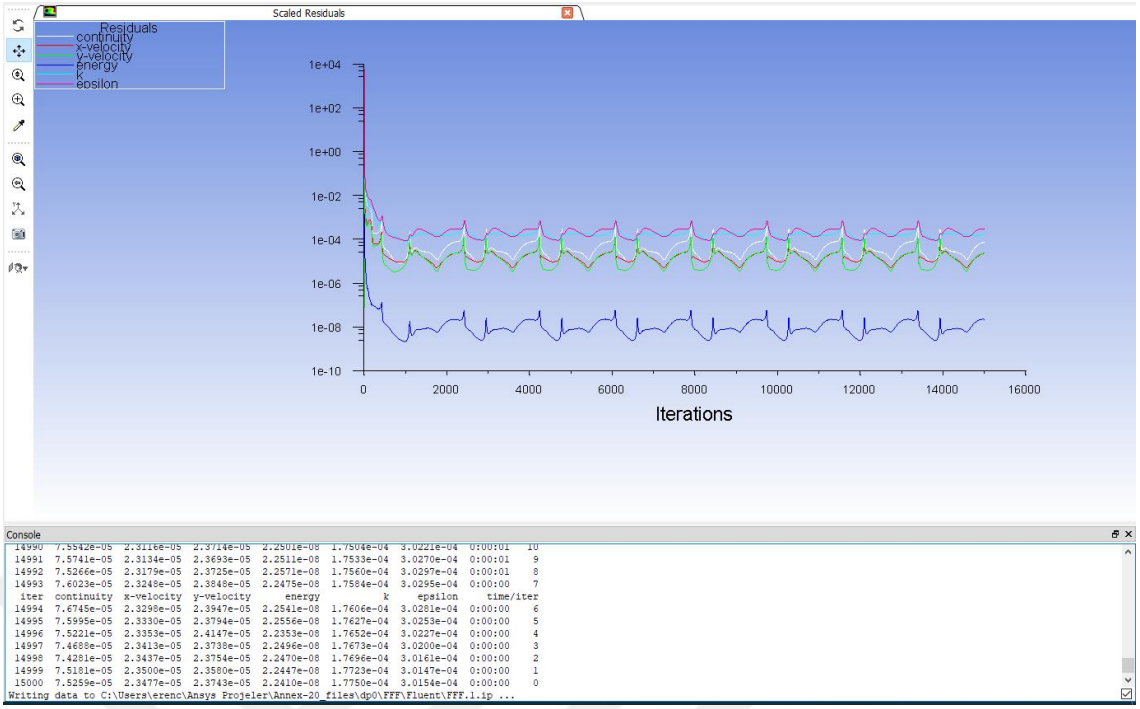
Şekil 4.43. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



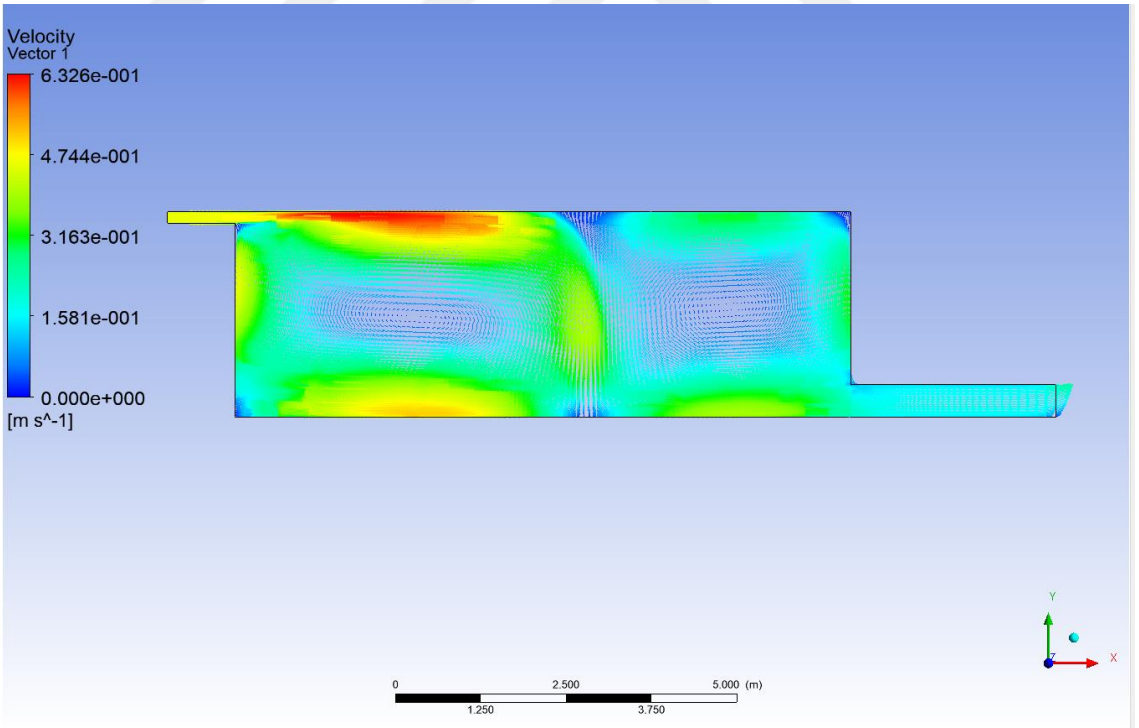
Şekil 4.44. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



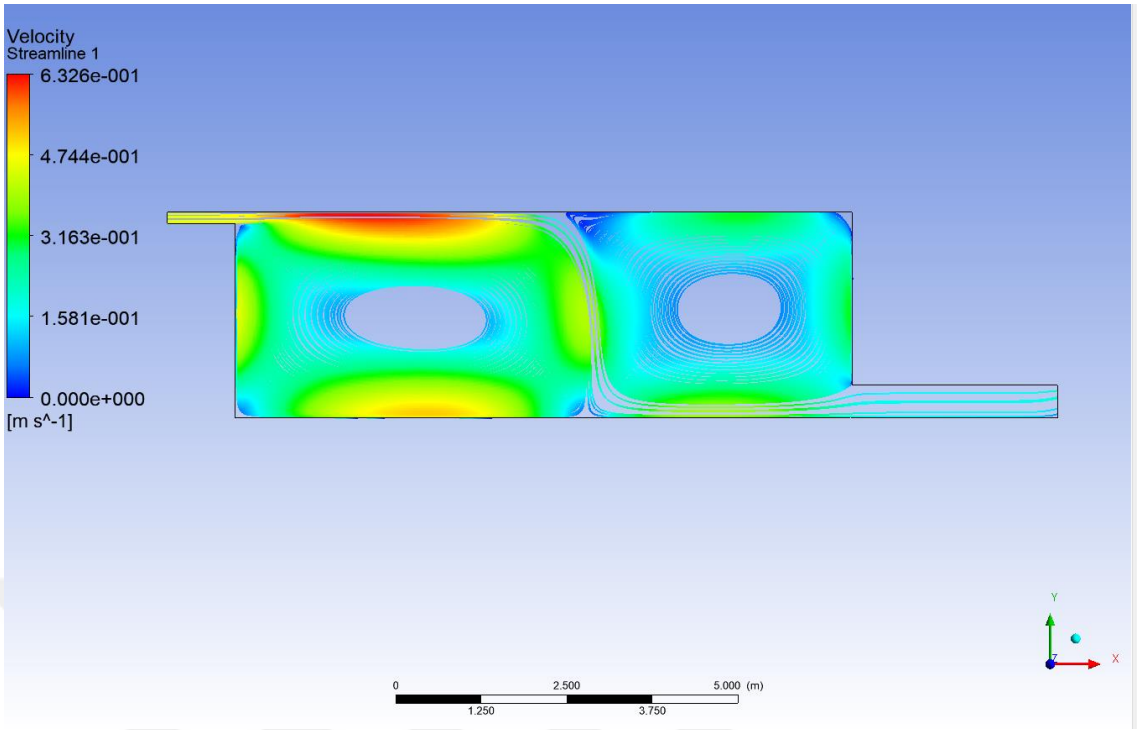
Şekil 4.45. Tu: %1 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



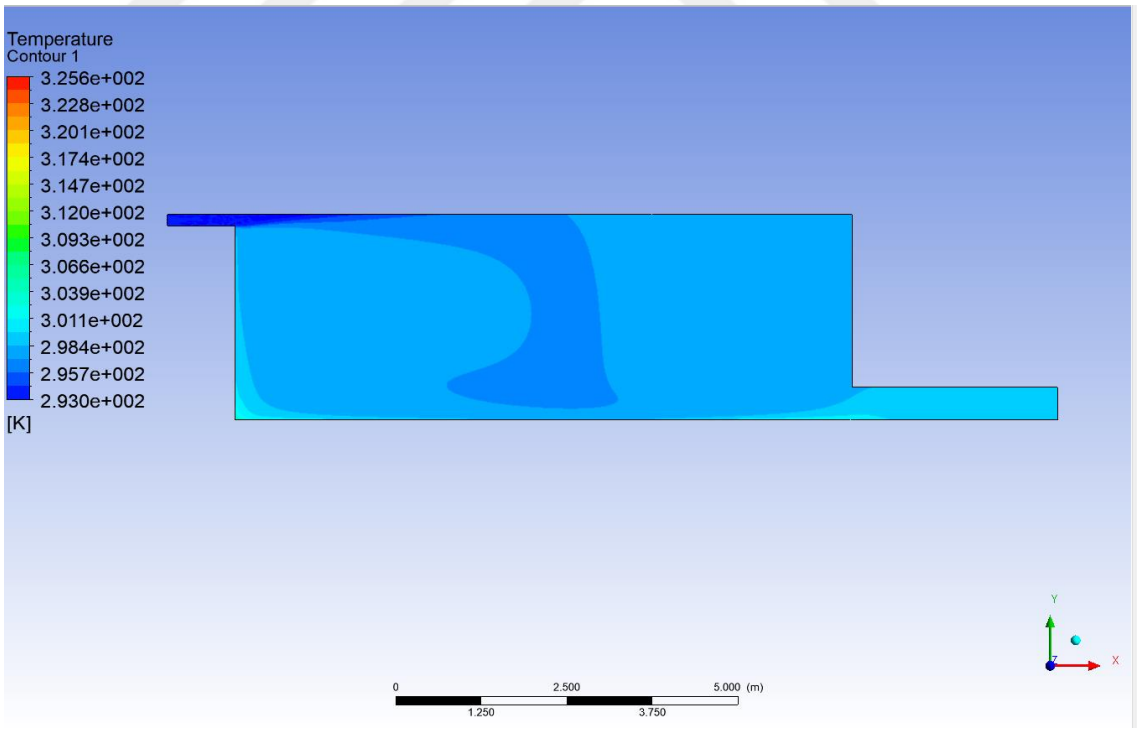
Şekil 4.46. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



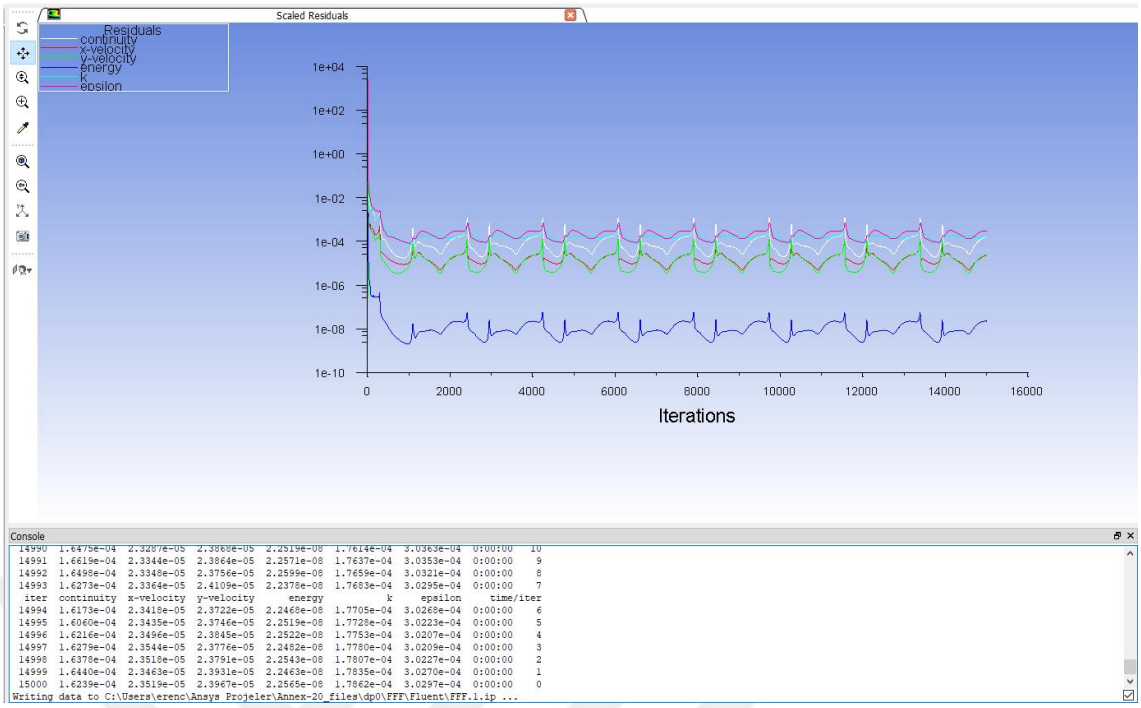
Şekil 4.47. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



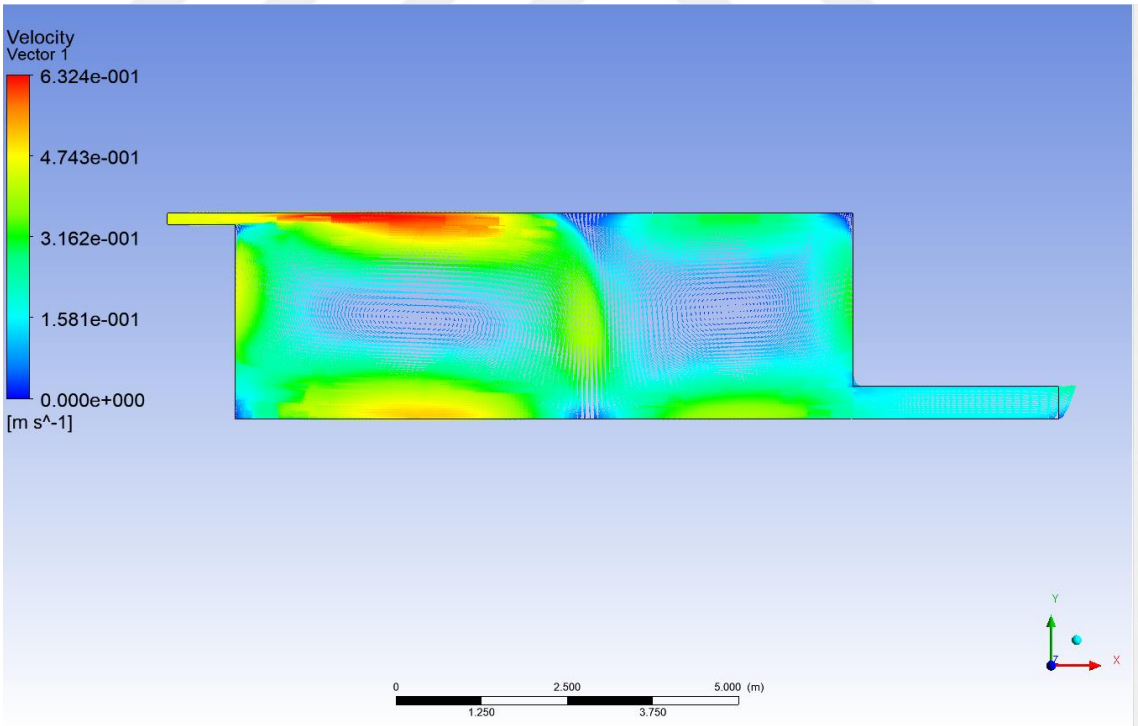
Şekil 4.48. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



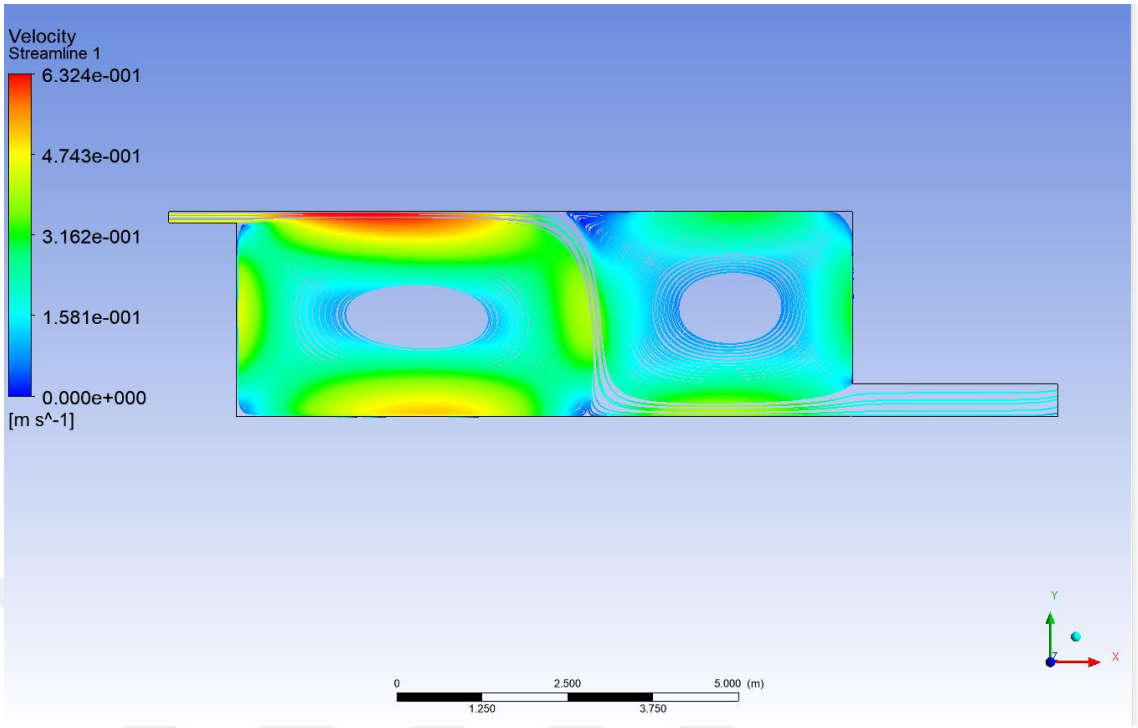
Şekil 4.49. Tu: %1 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



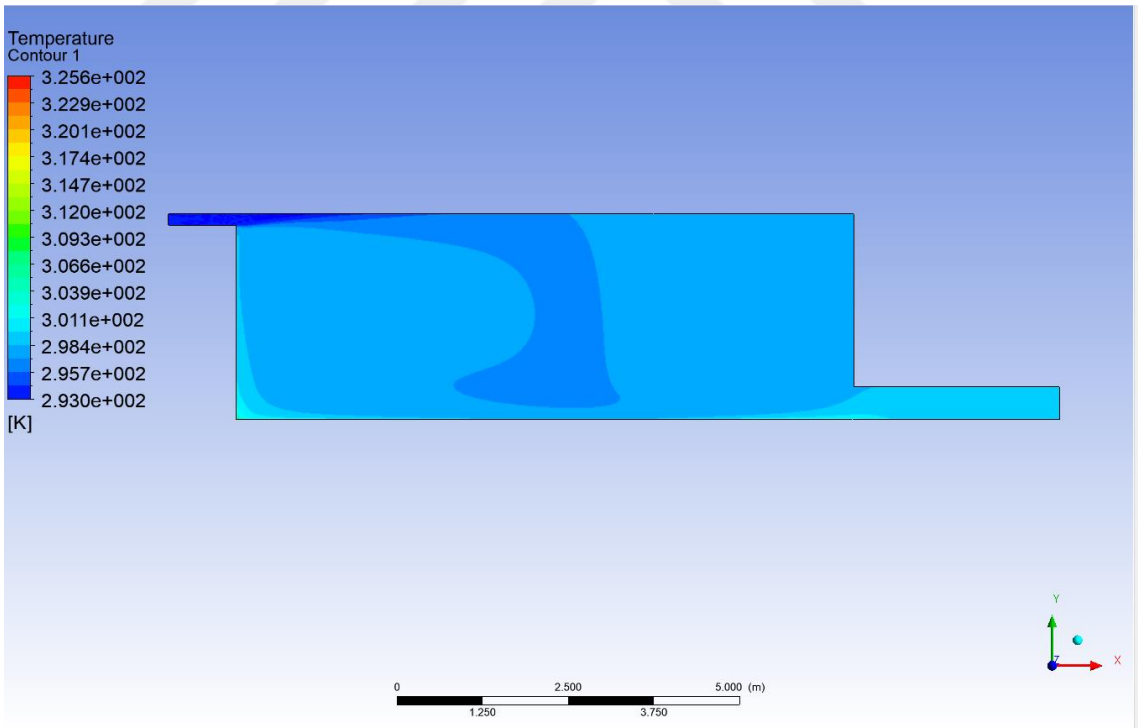
Şekil 4.50. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



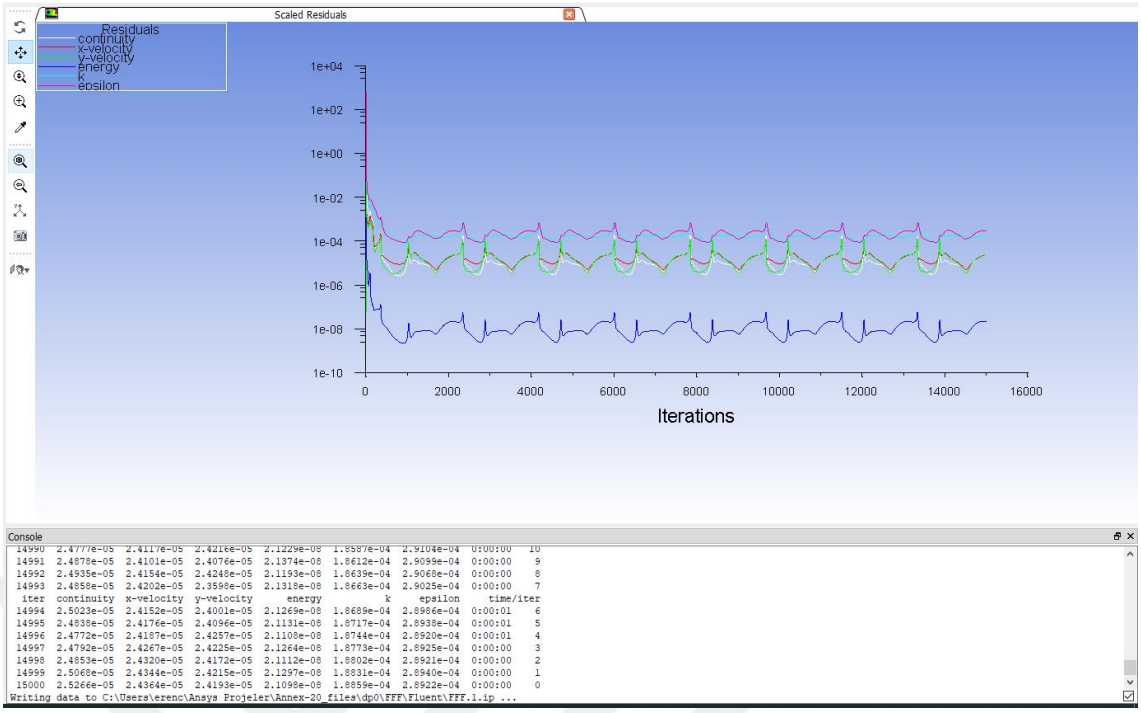
Şekil 4.51. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



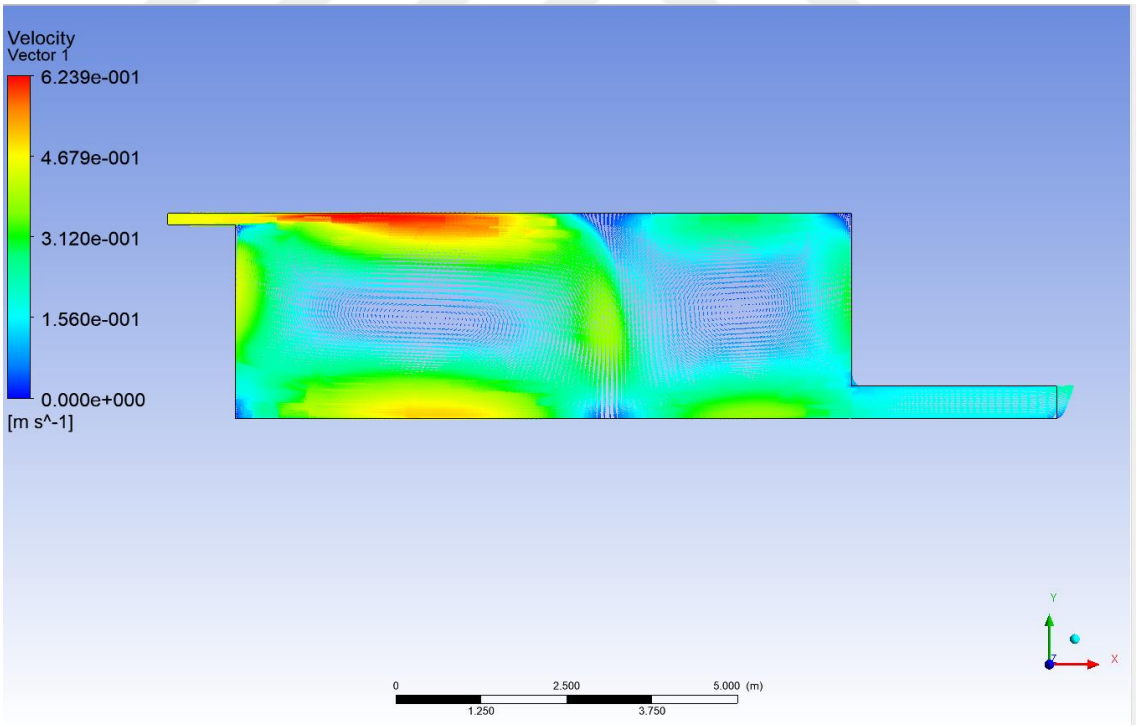
Şekil 4.52. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



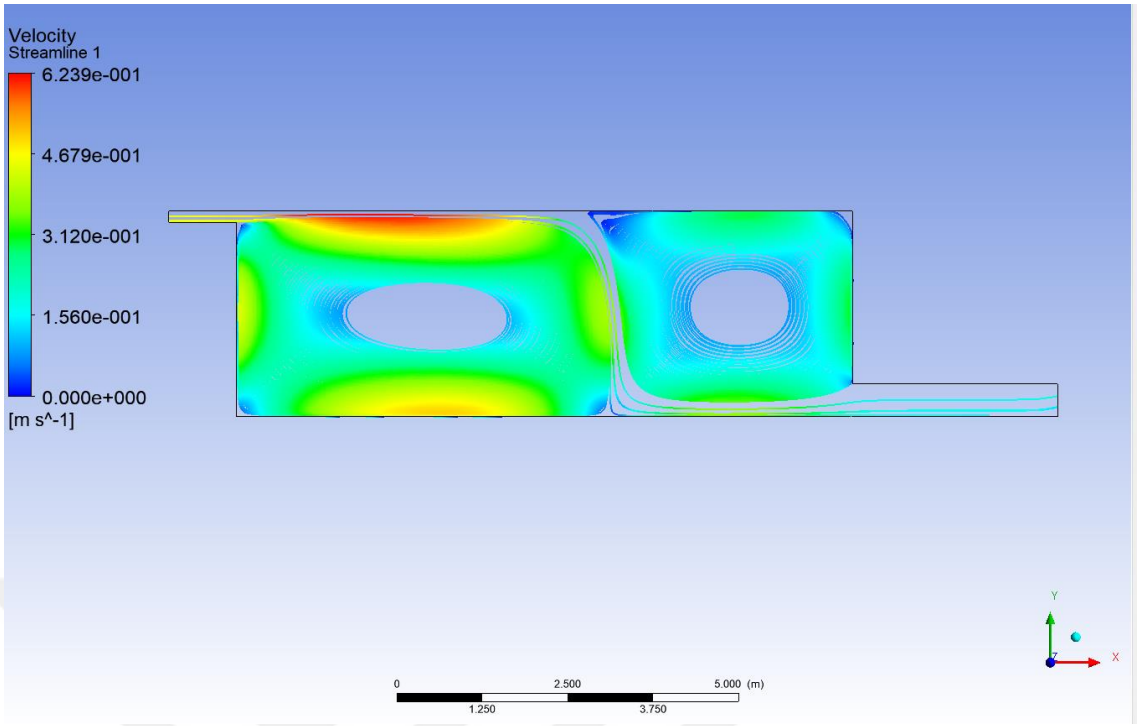
Şekil 4.53. Tu: %1 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



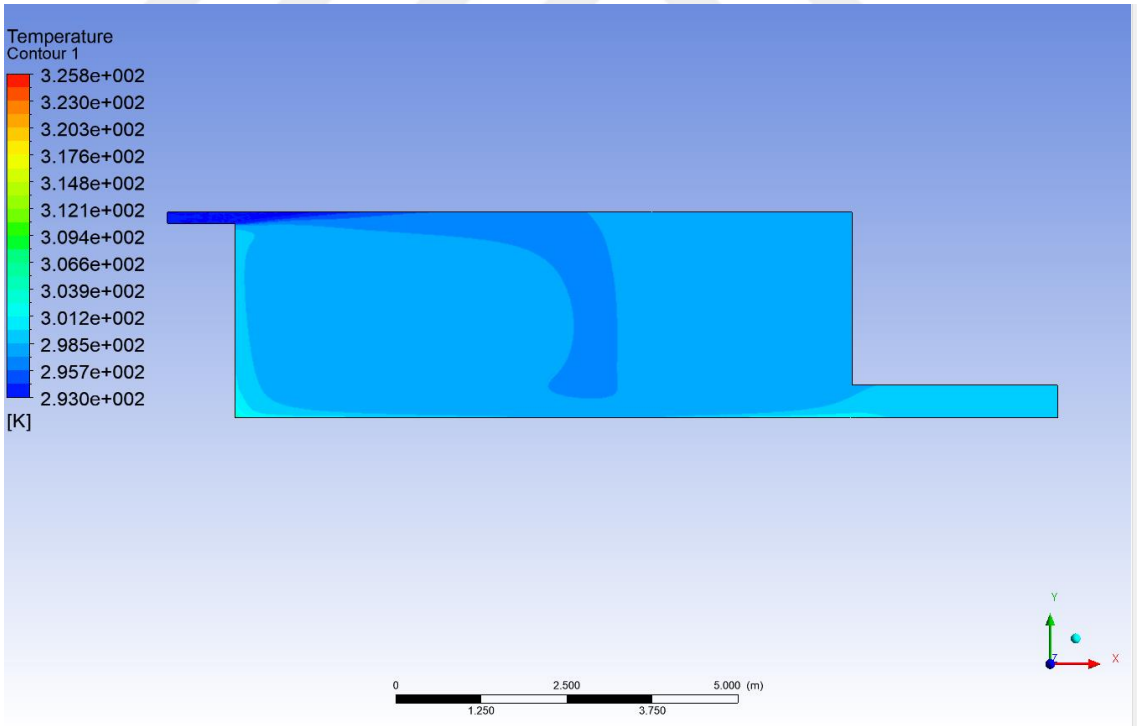
Şekil 4.54. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



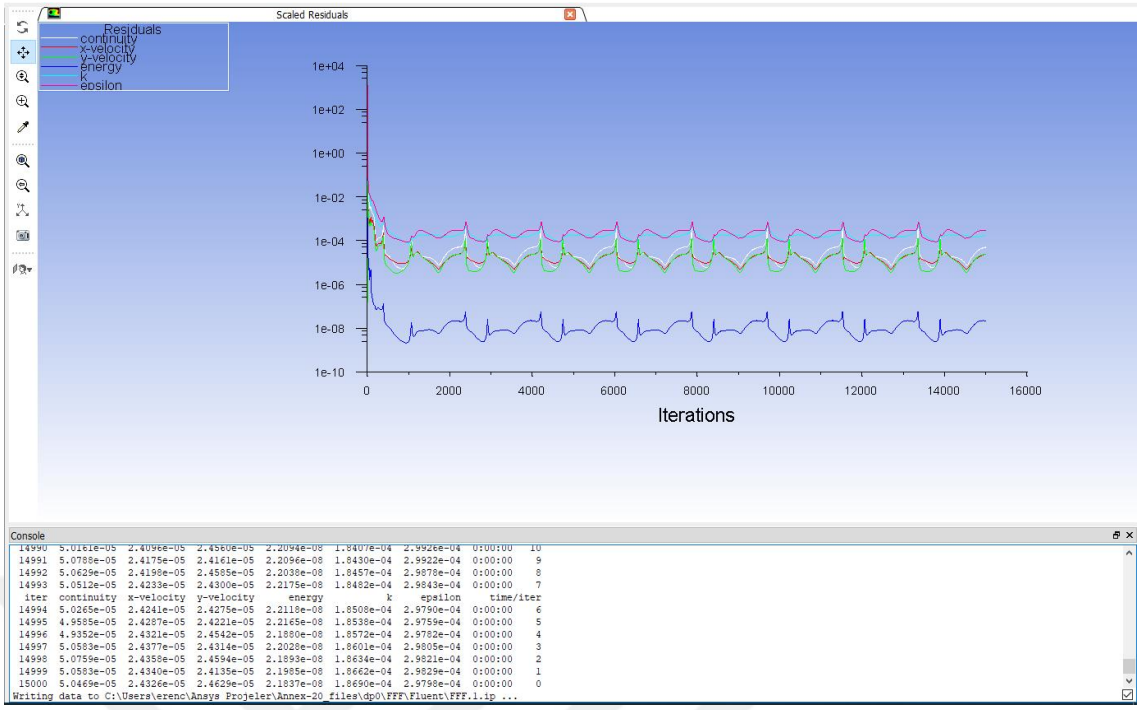
Şekil 4.55. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



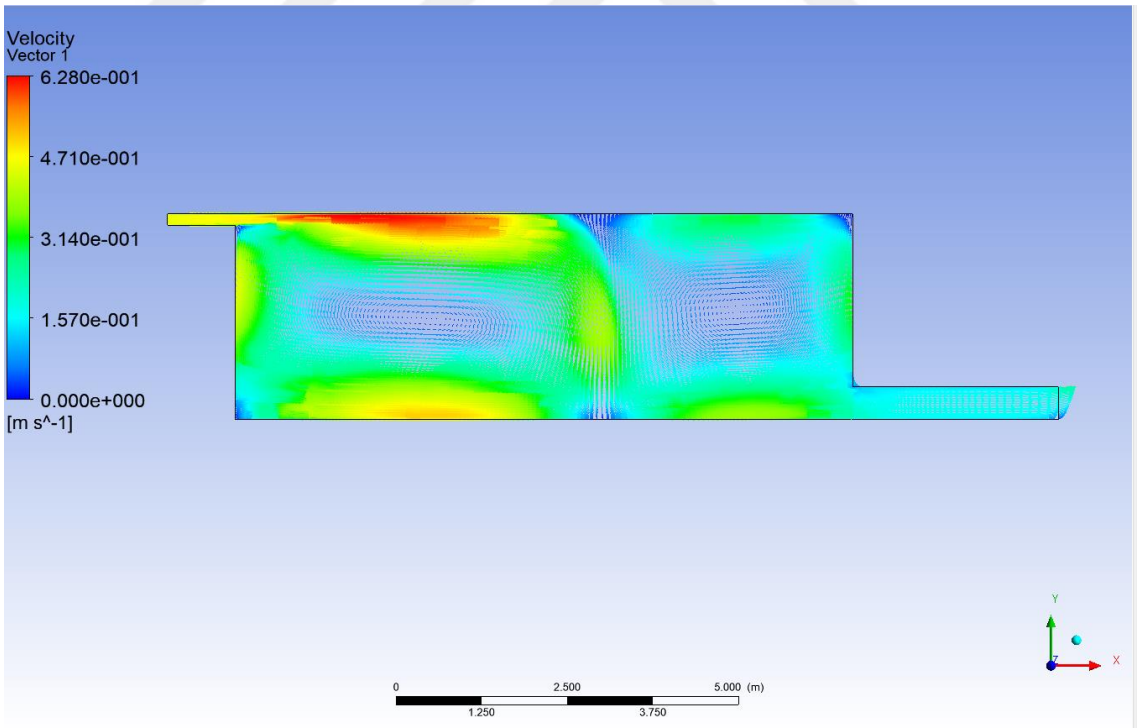
Şekil 4.56. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



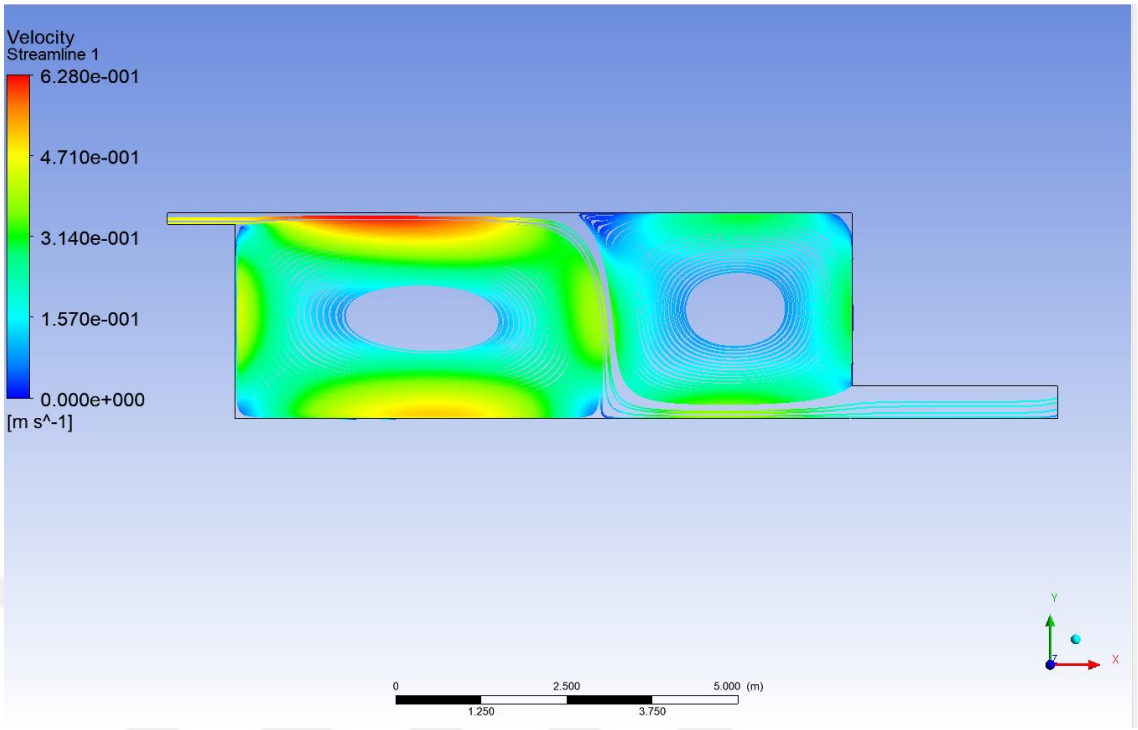
Şekil 4.57. Tu: %4 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



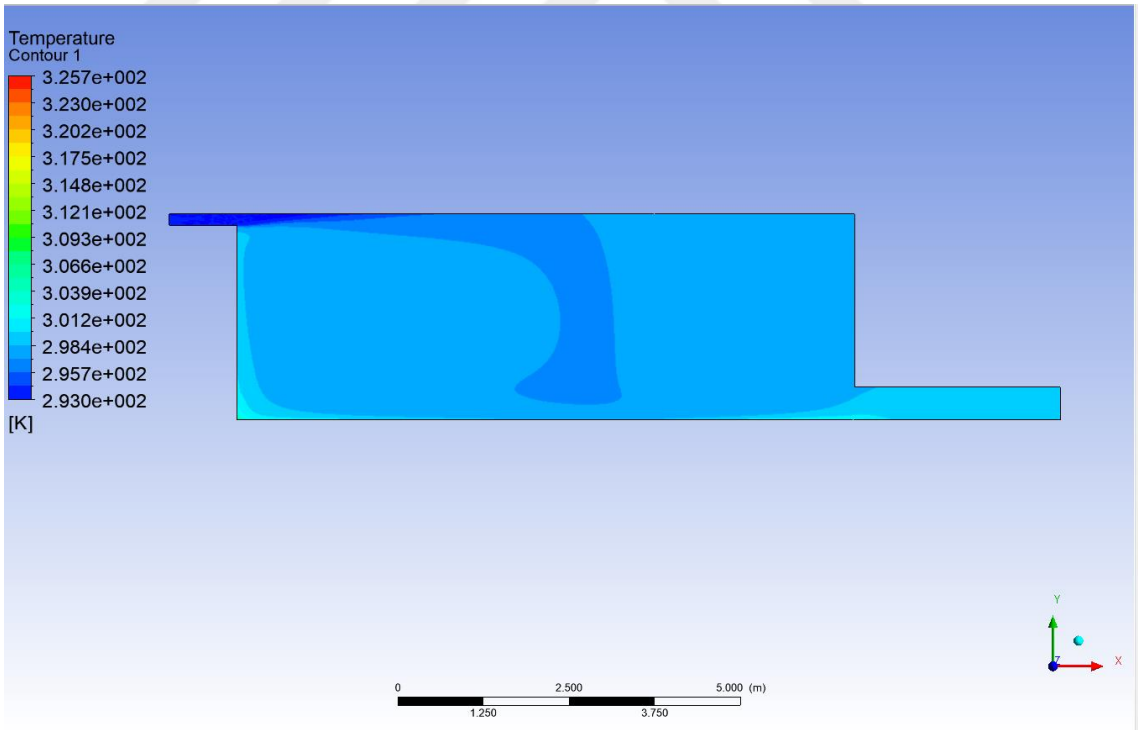
Şekil 4.58. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



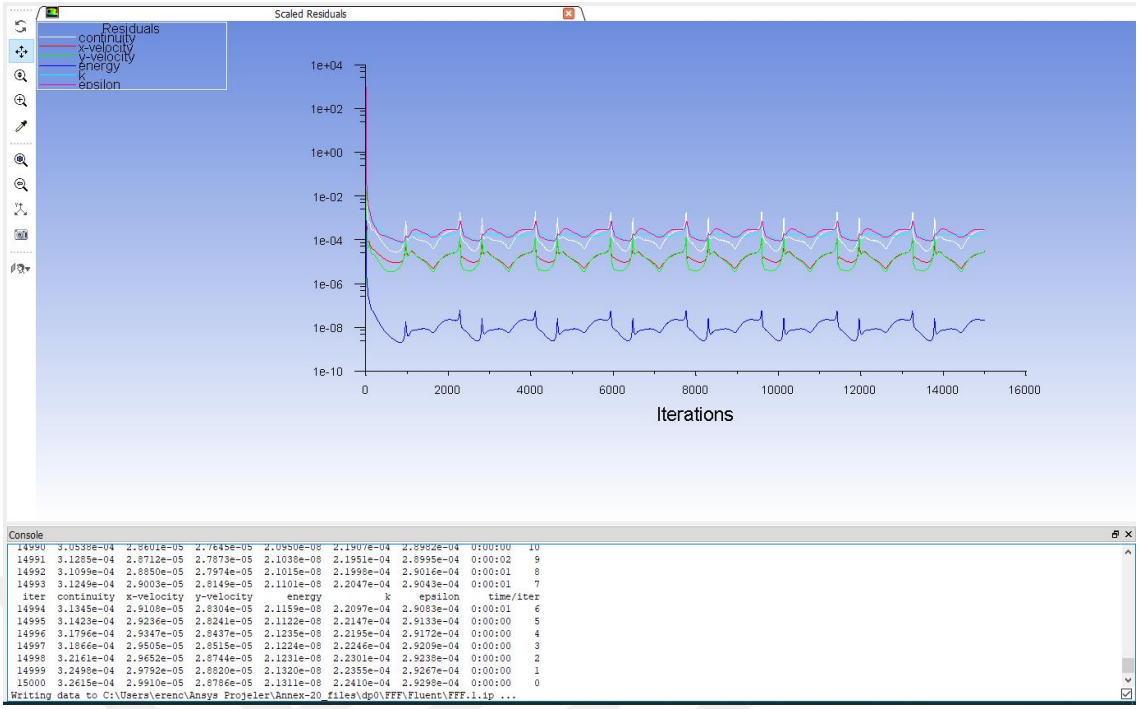
Şekil 4.59. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



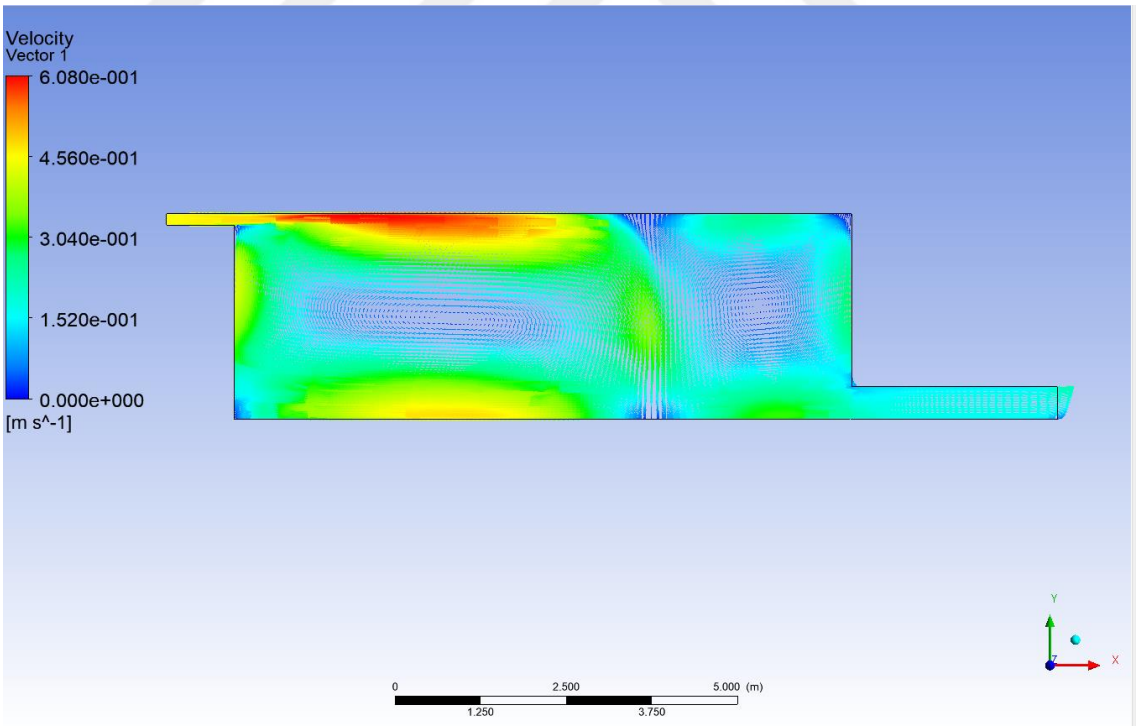
Şekil 4.60. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



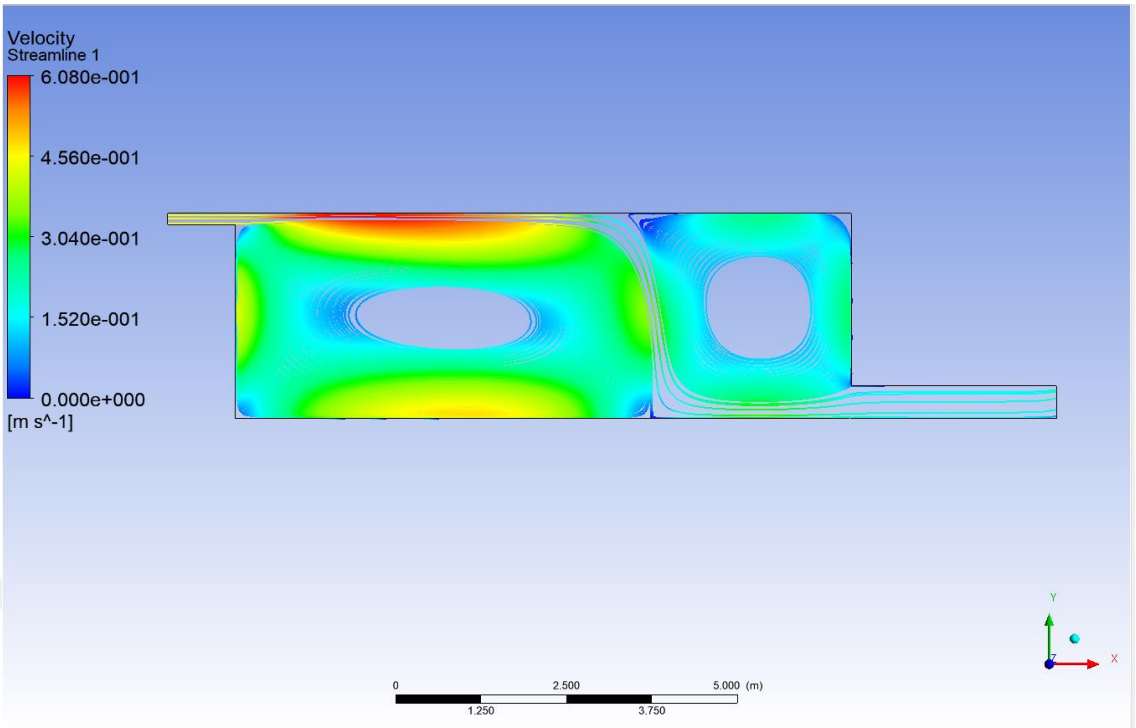
Şekil 4.61. Tu: %4 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



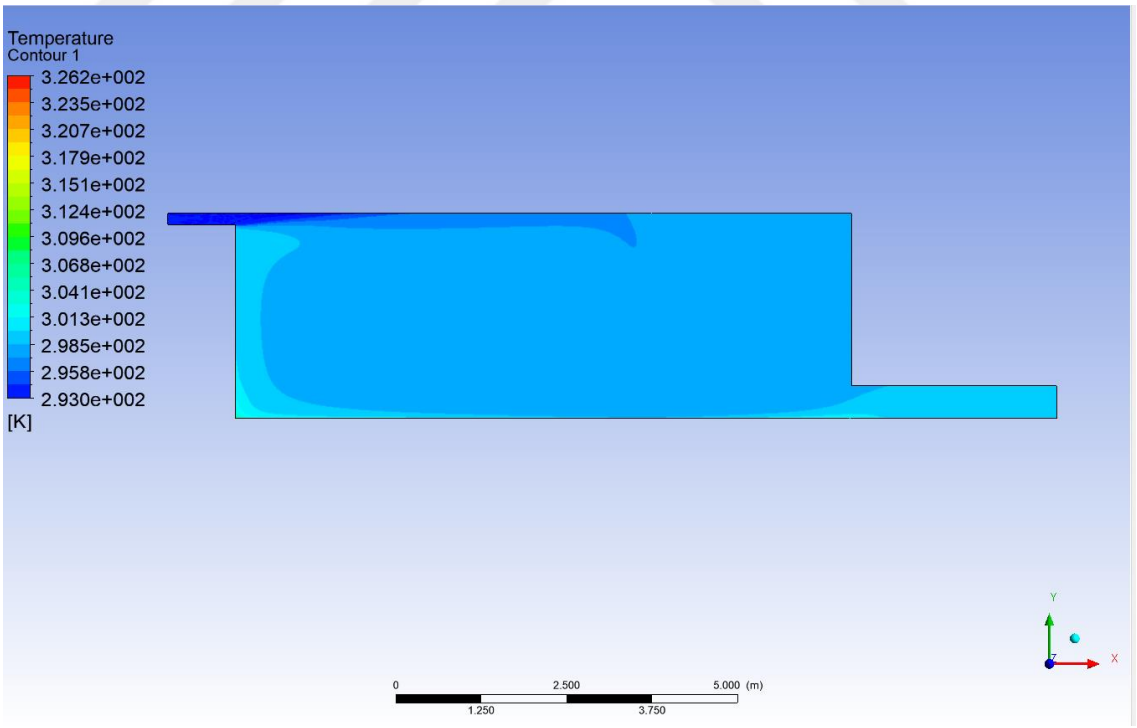
Şekil 4.62. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



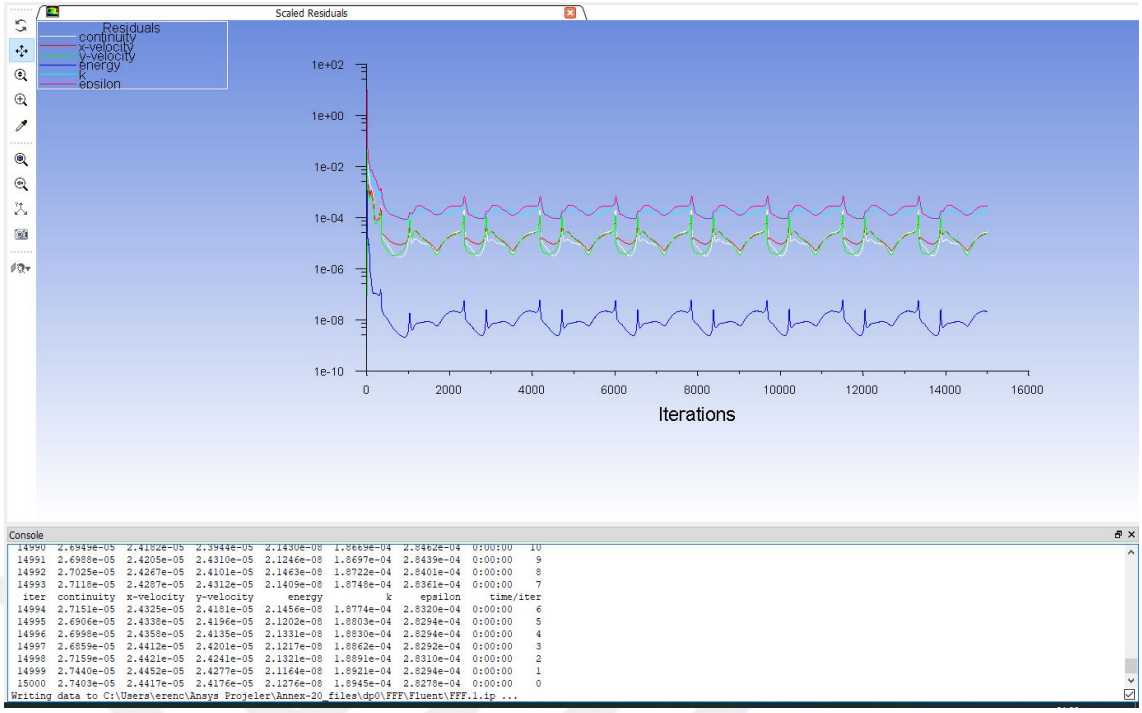
Şekil 4.63. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



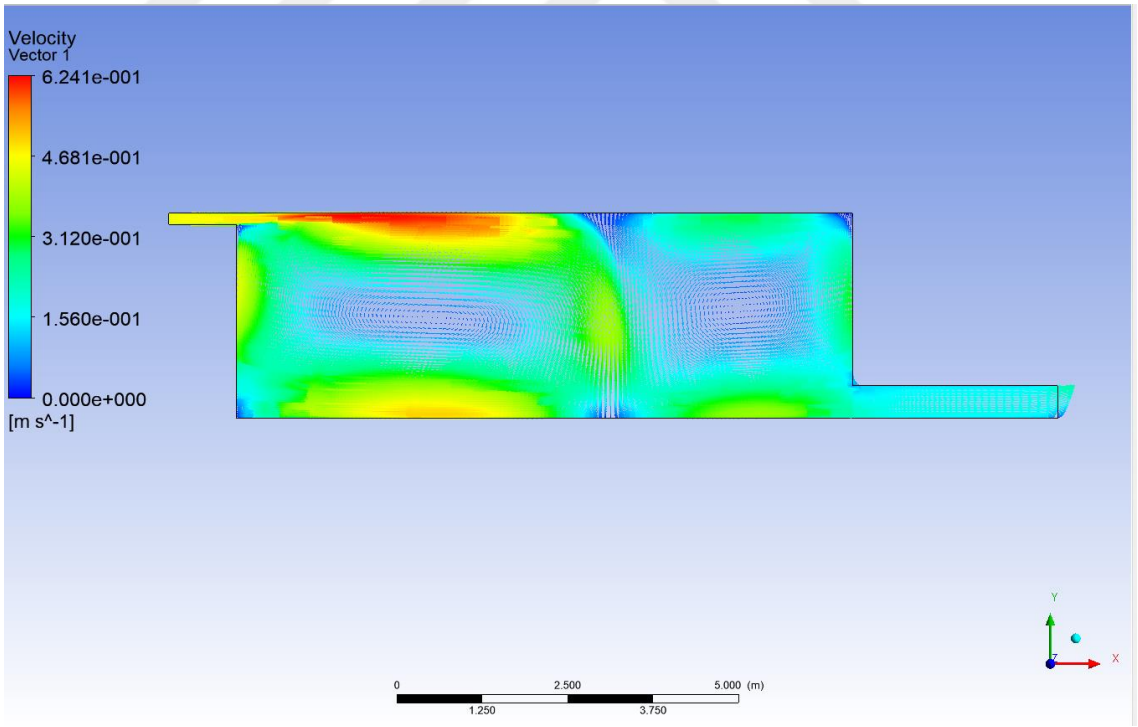
Şekil 4.64. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



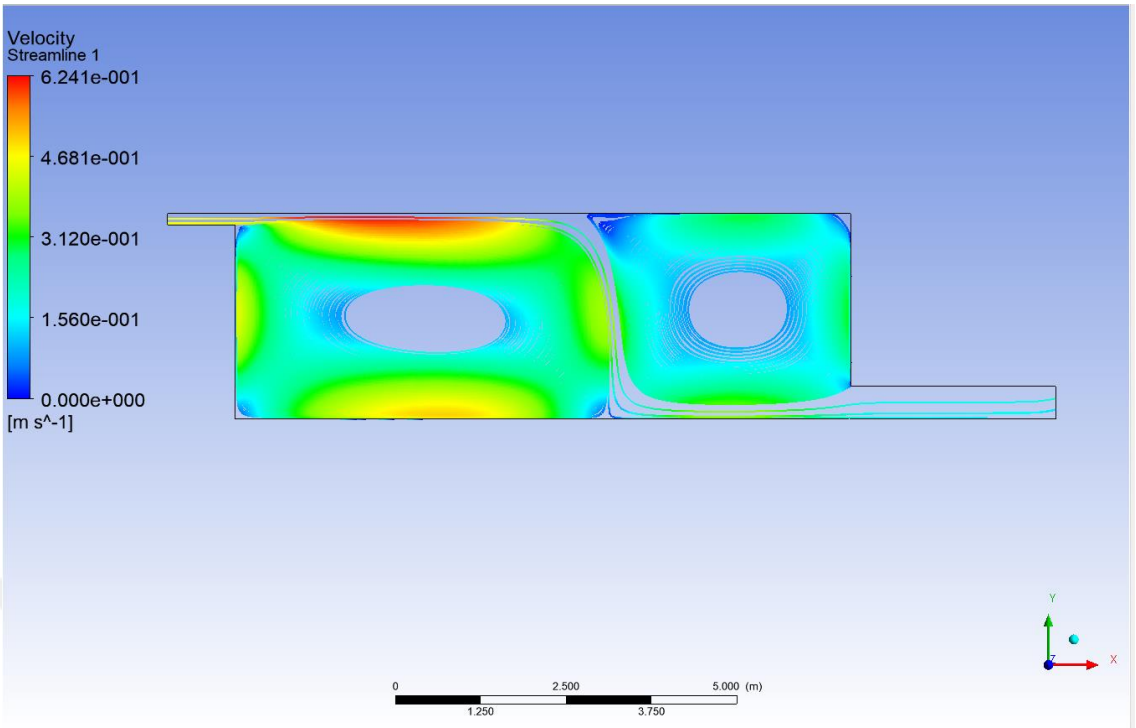
Şekil 4.65. Tu: %4 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı scıaklık grafiği



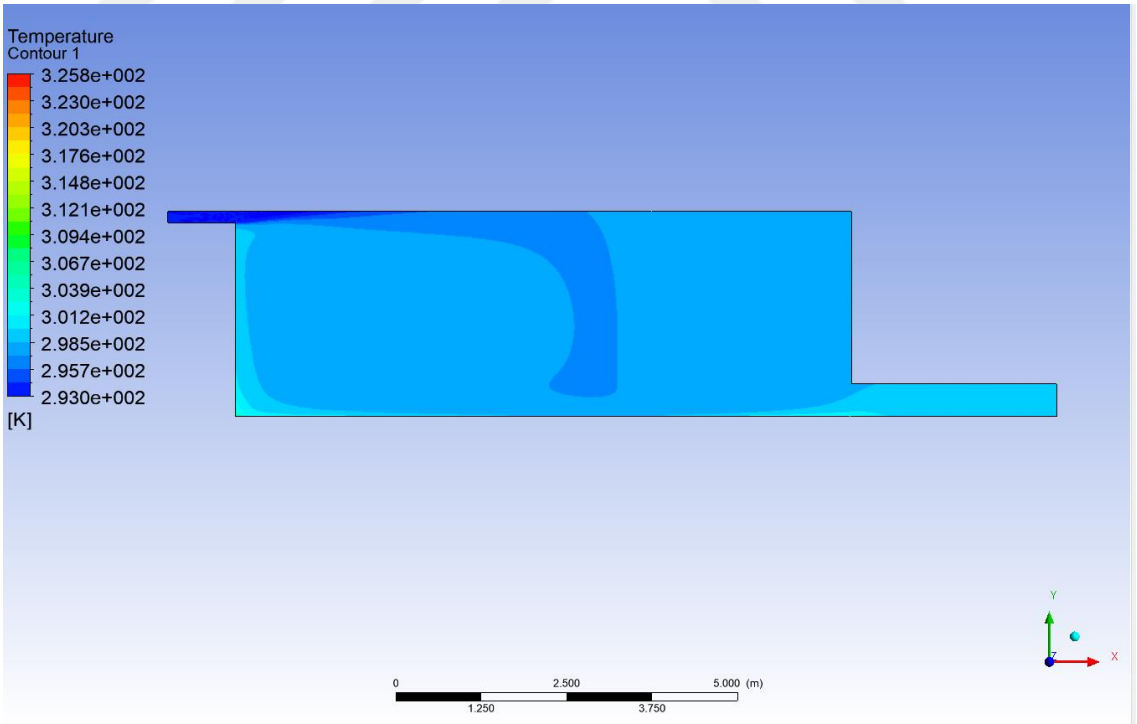
Şekil 4.66. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



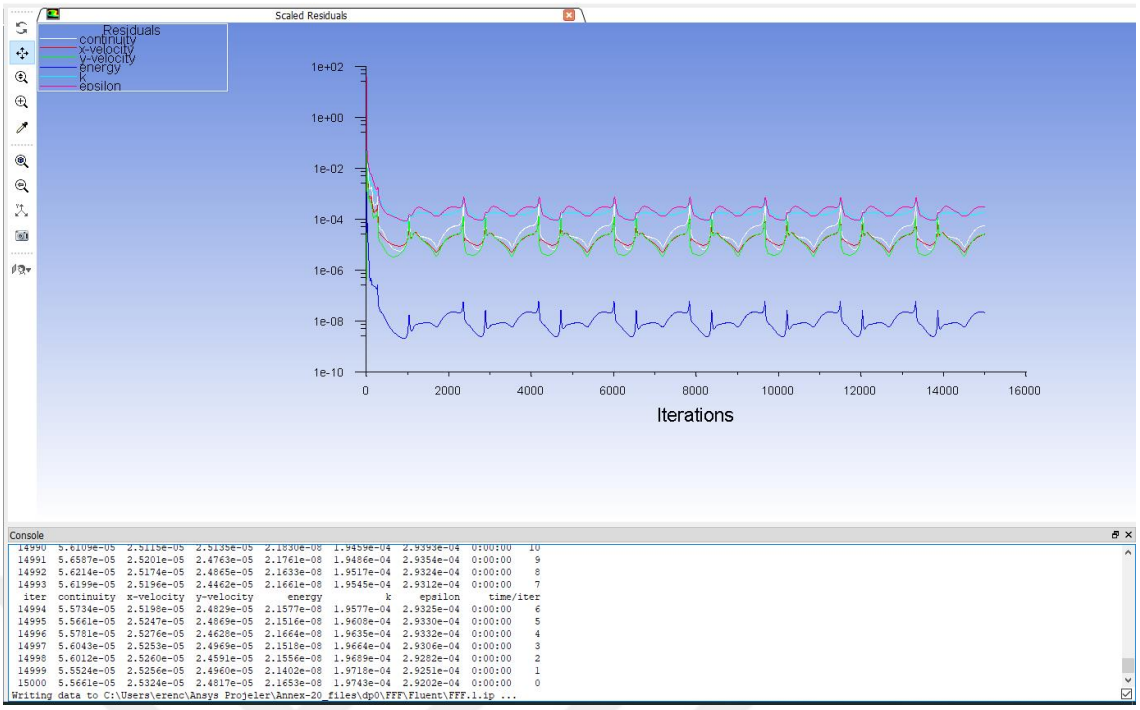
Şekil 4.67. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



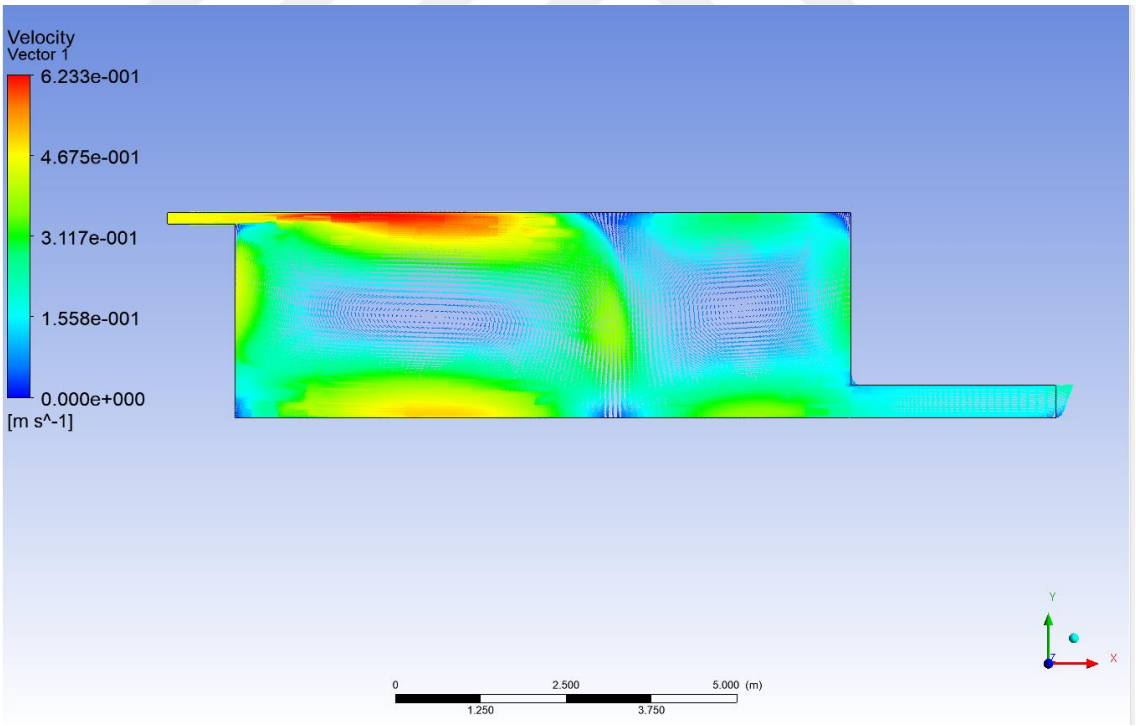
Şekil 4.68. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



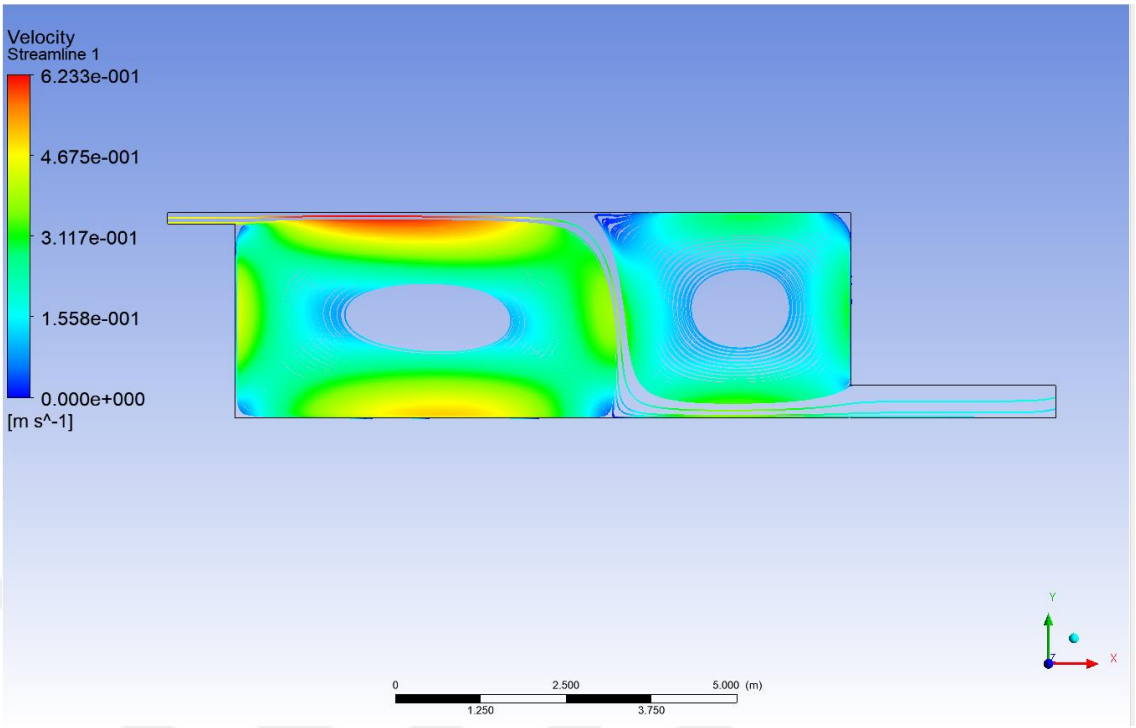
Şekil 4.69. Tu: %16 ve Ls:0,00168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



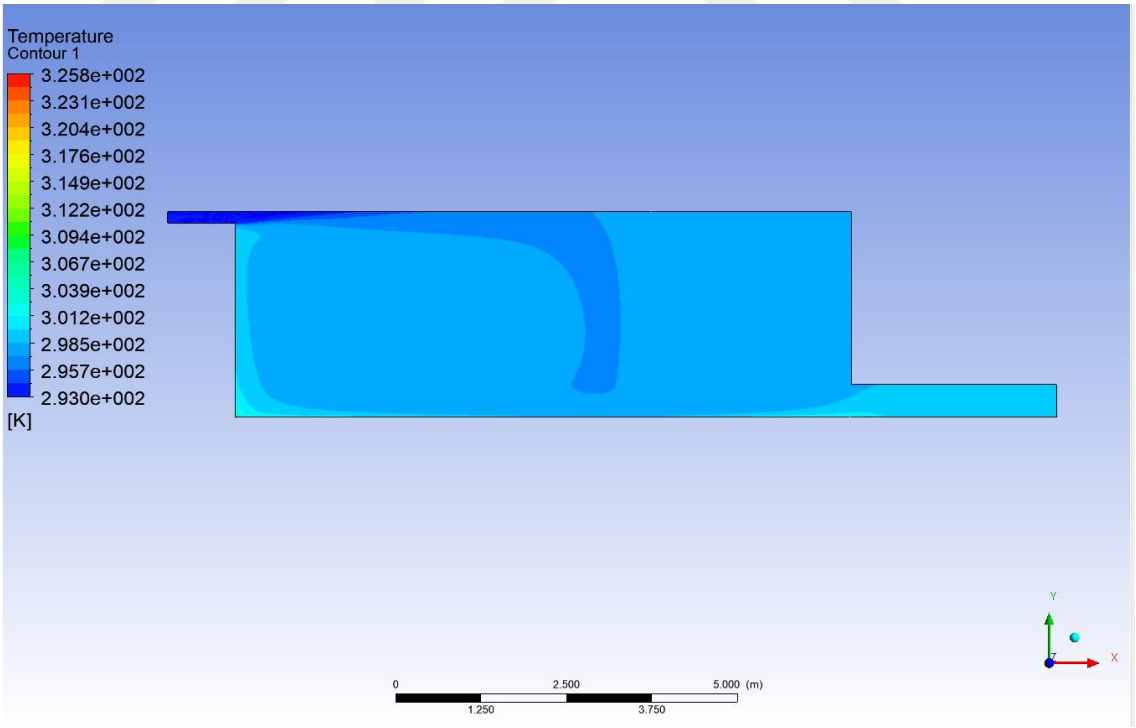
Şekil 4.70. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



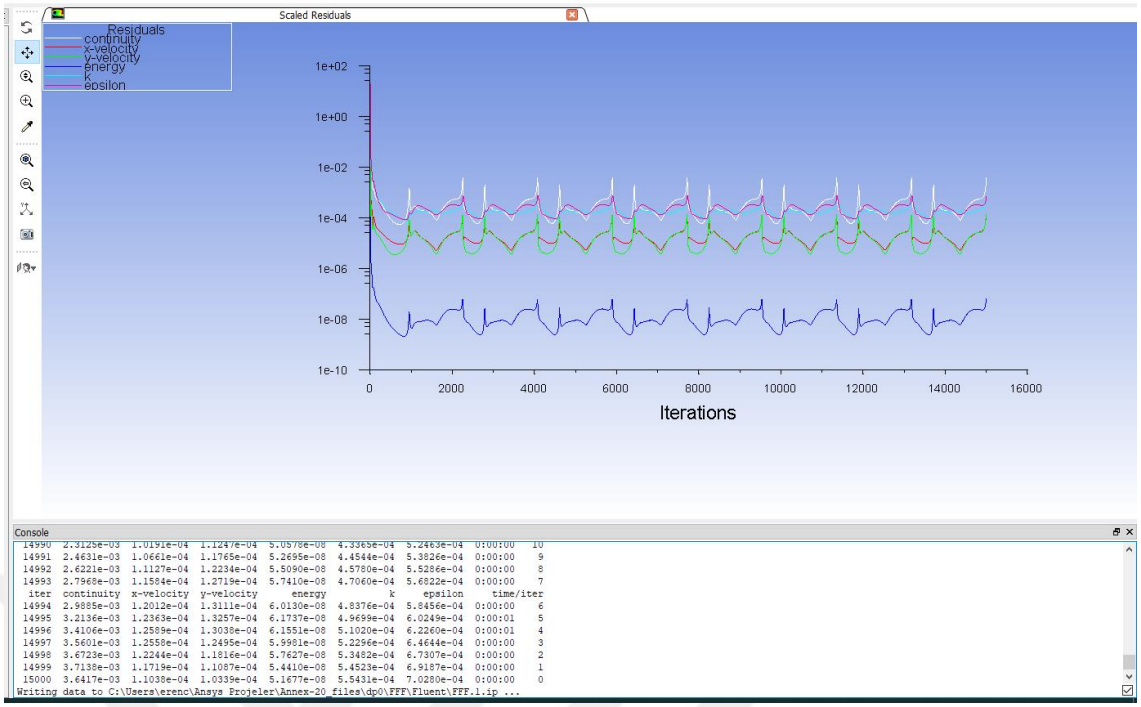
Şekil 4.71. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



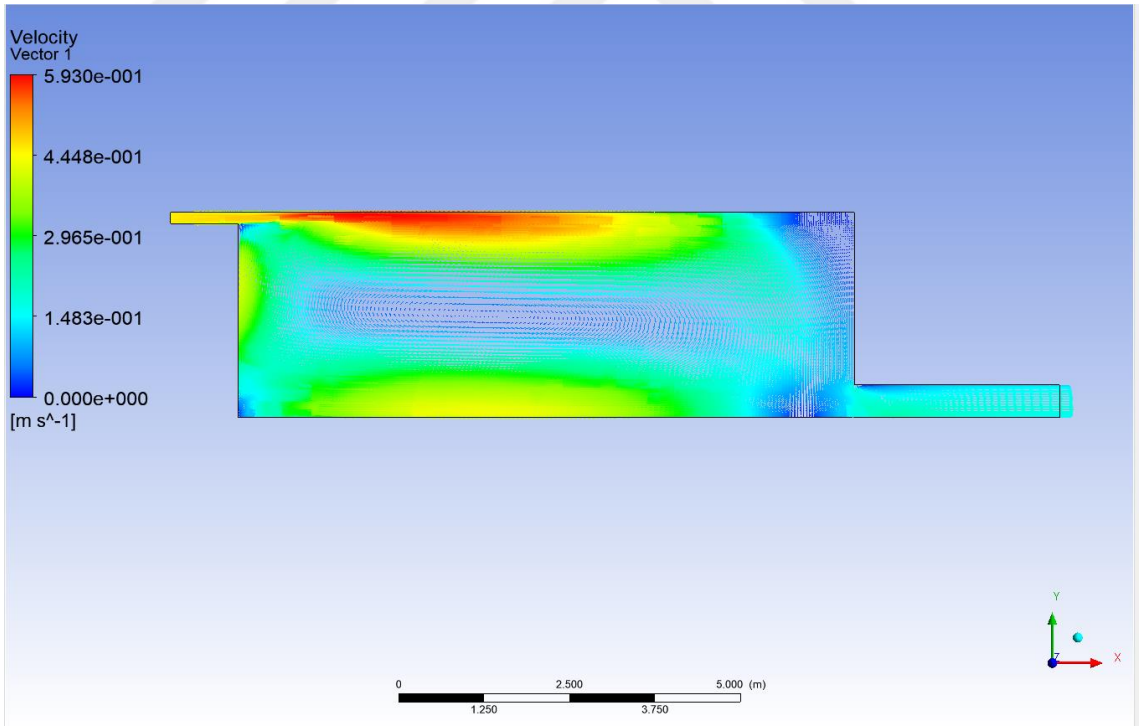
Şekil 4.72. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



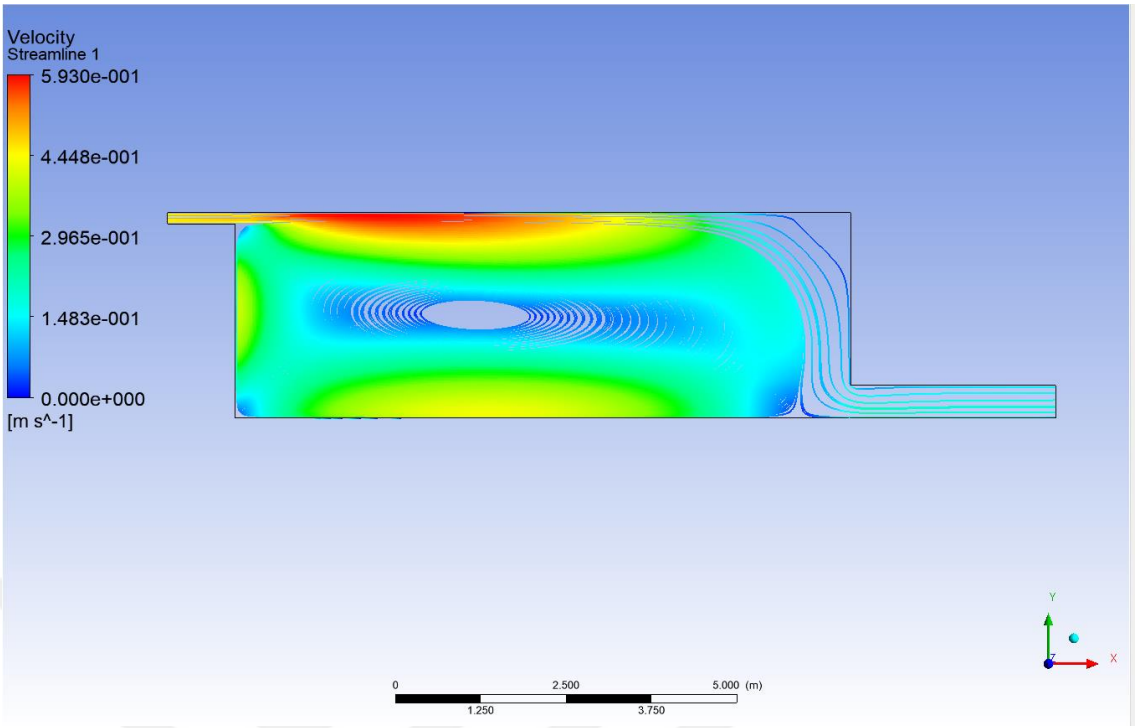
Şekil 4.73. Tu: %16 ve Ls:0,0168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



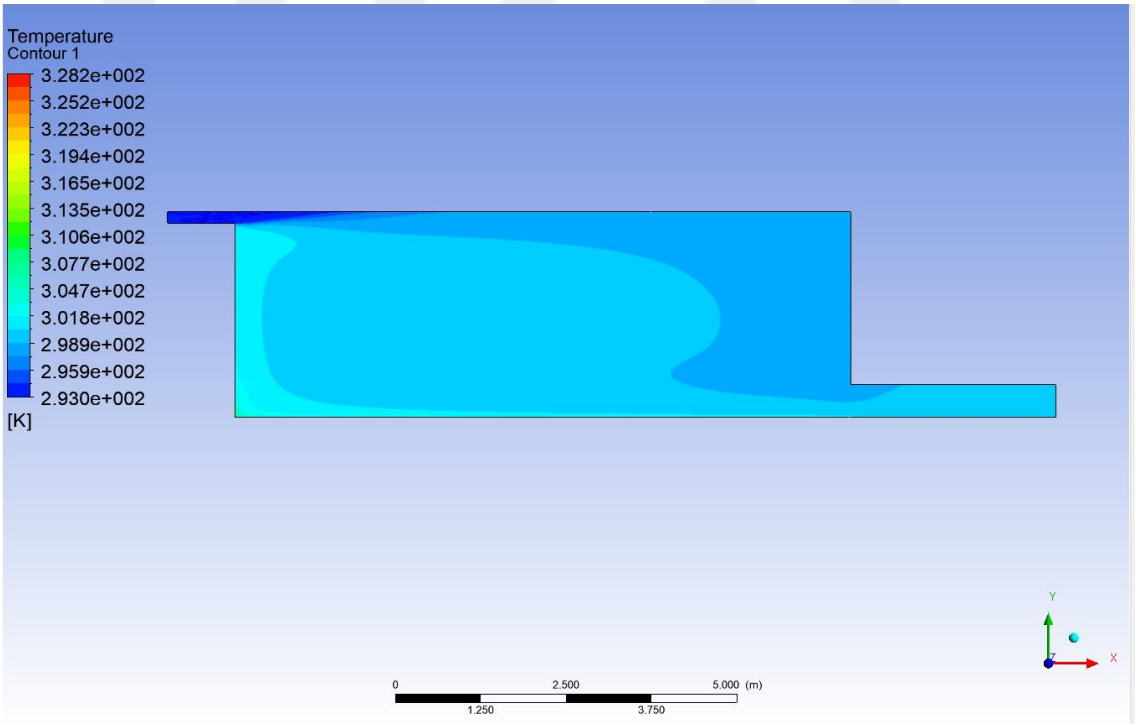
Şekil 4.74. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



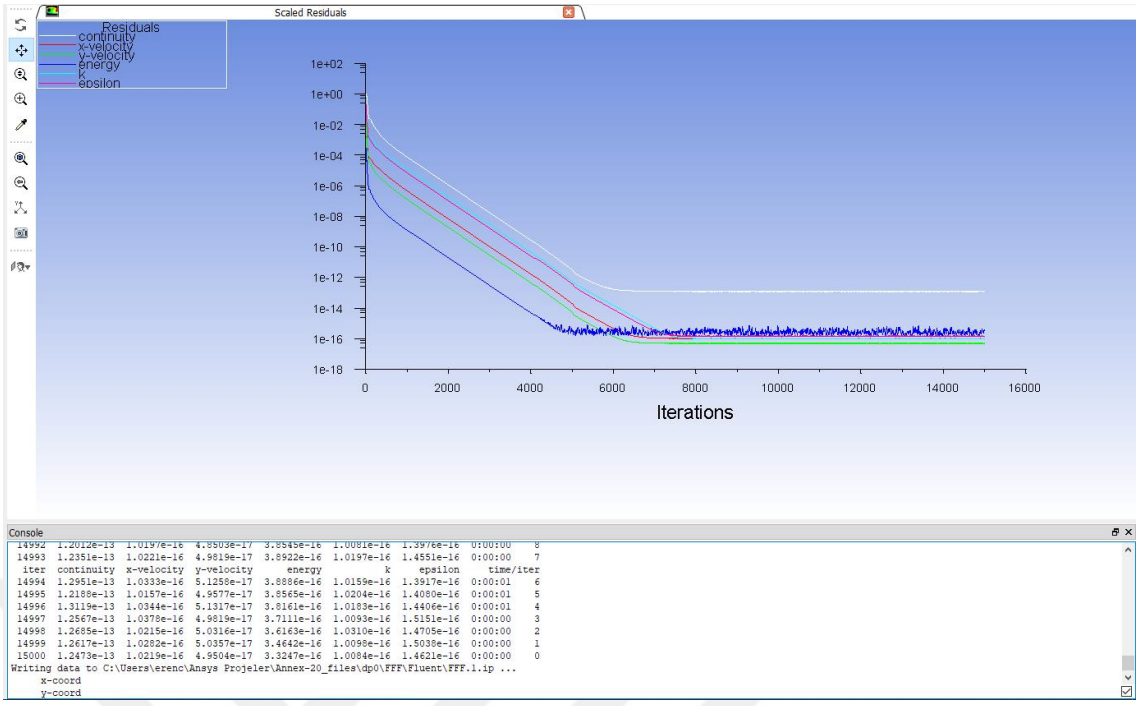
Şekil 4.75. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



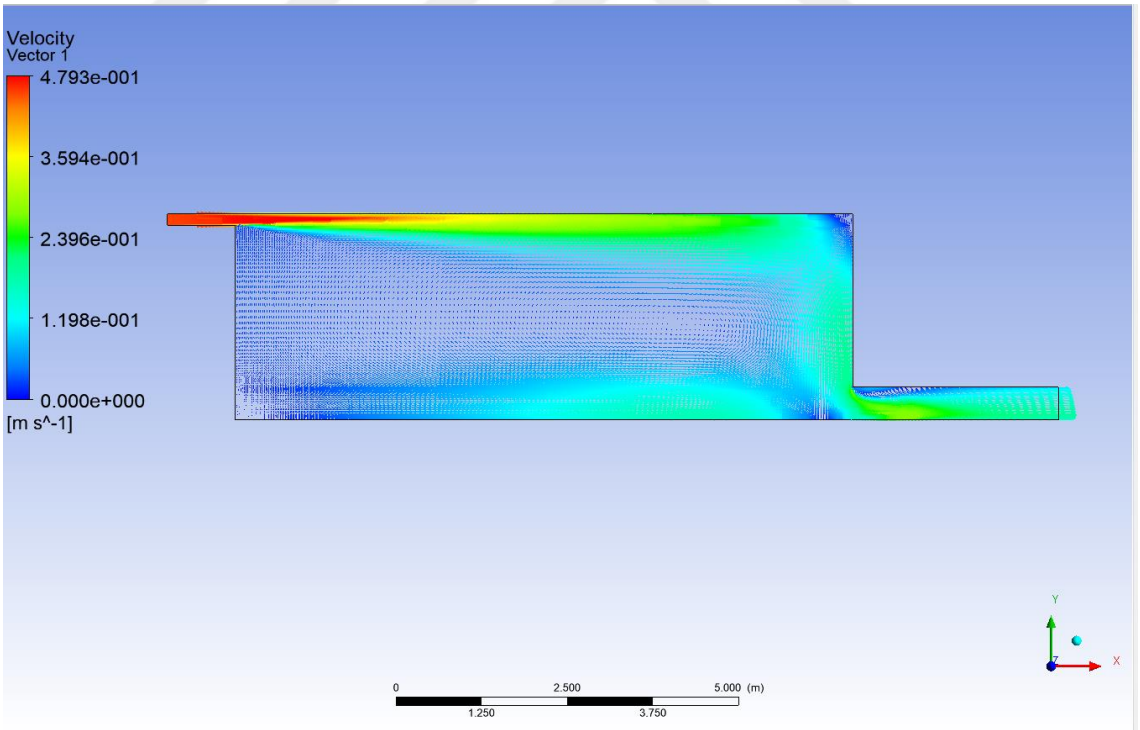
Şekil 4.76. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



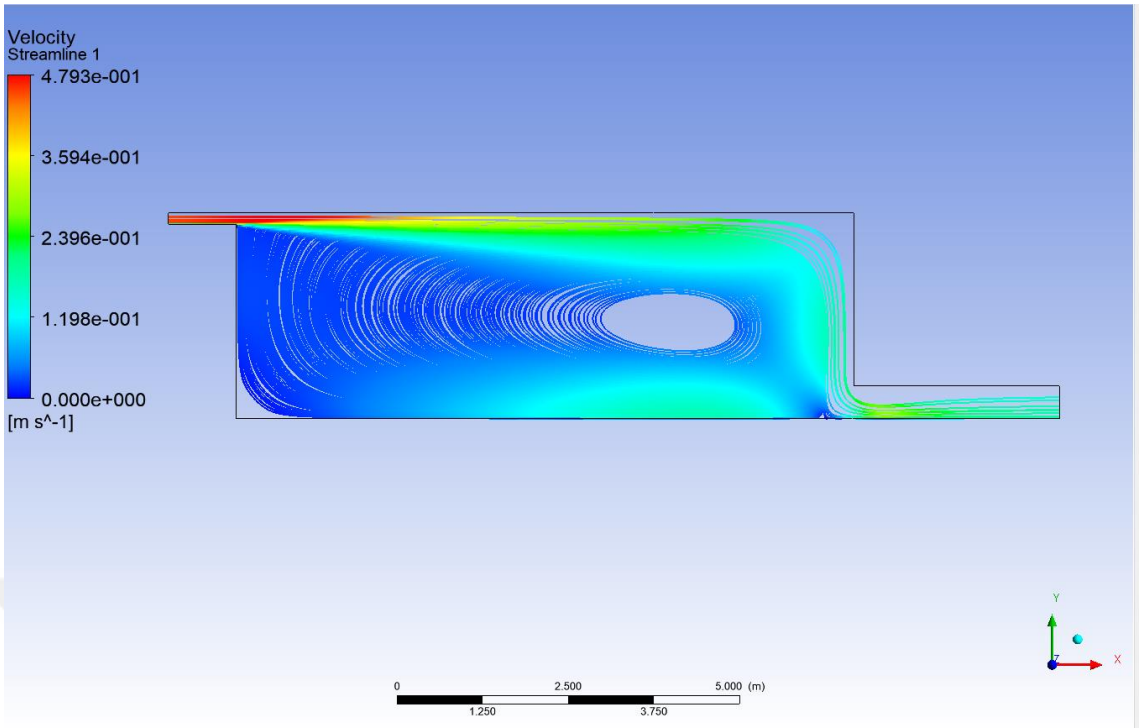
Şekil 4.77. Tu: %16 ve Ls:0,168 standart initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



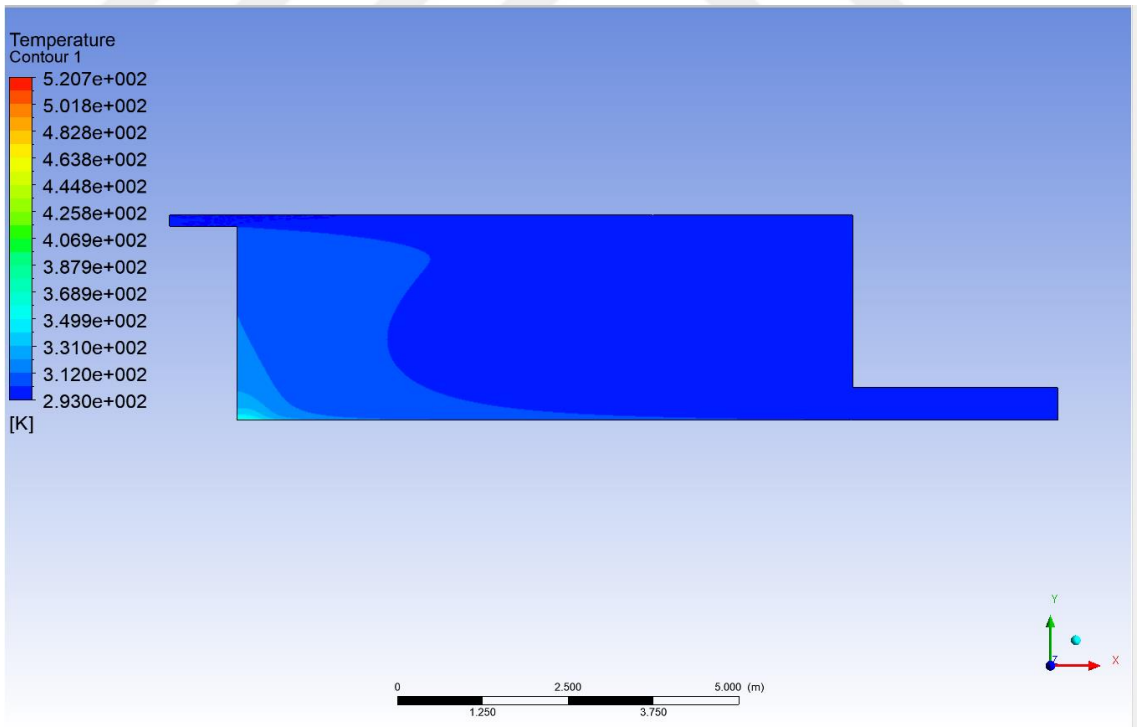
Şekil 4.78. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



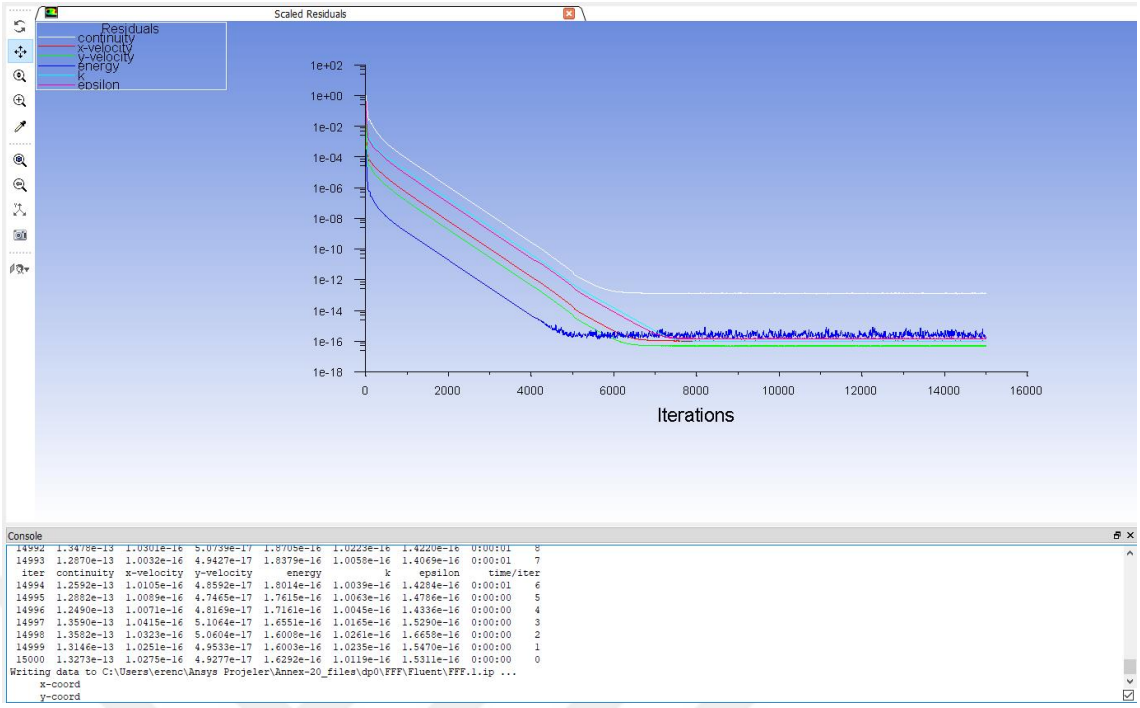
Şekil 4.79. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



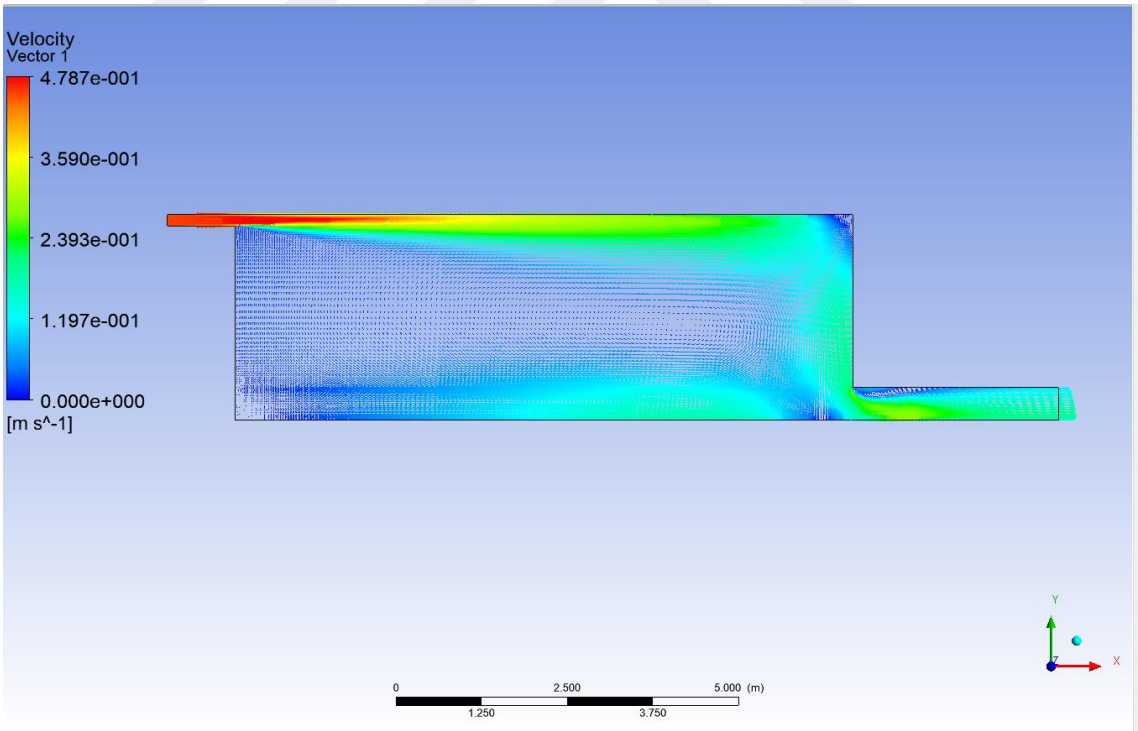
Şekil 4.80. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



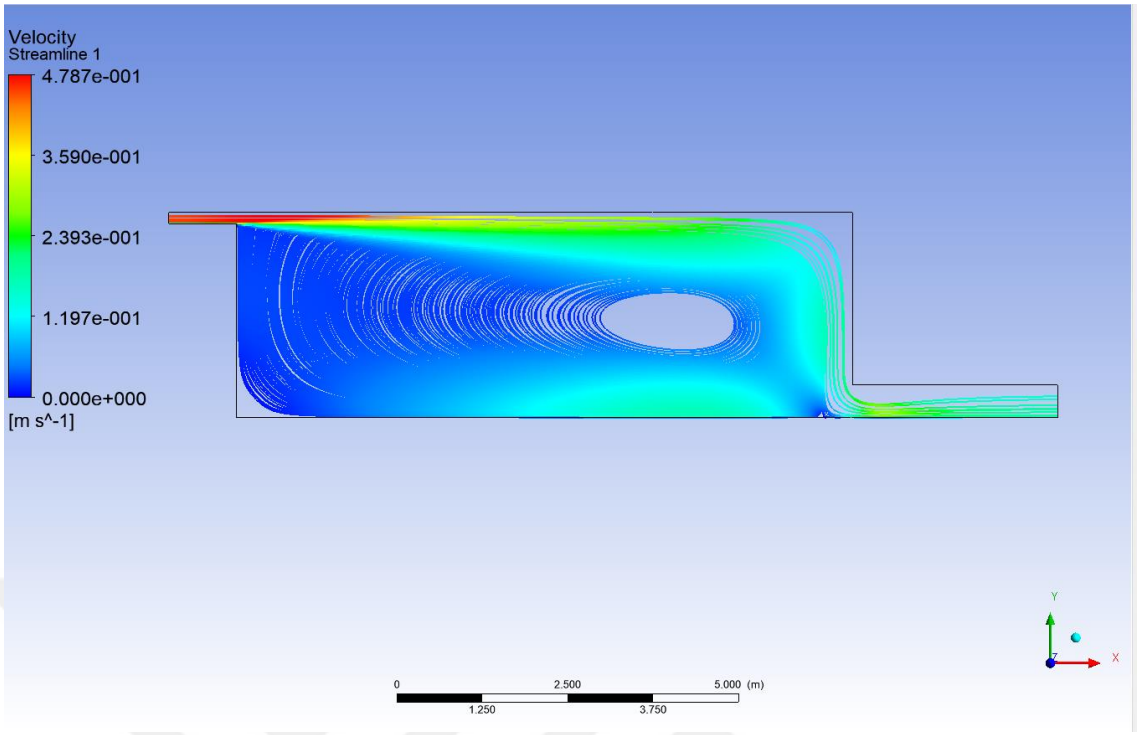
Şekil 4.81. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



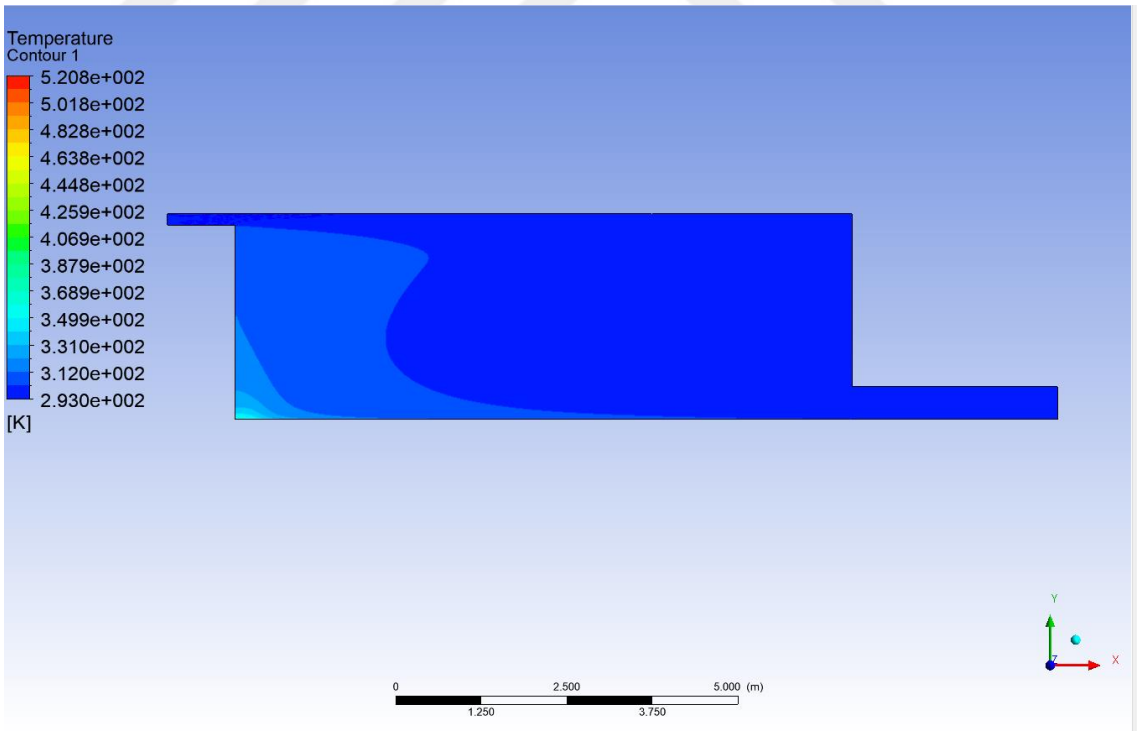
Şekil 4.82. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



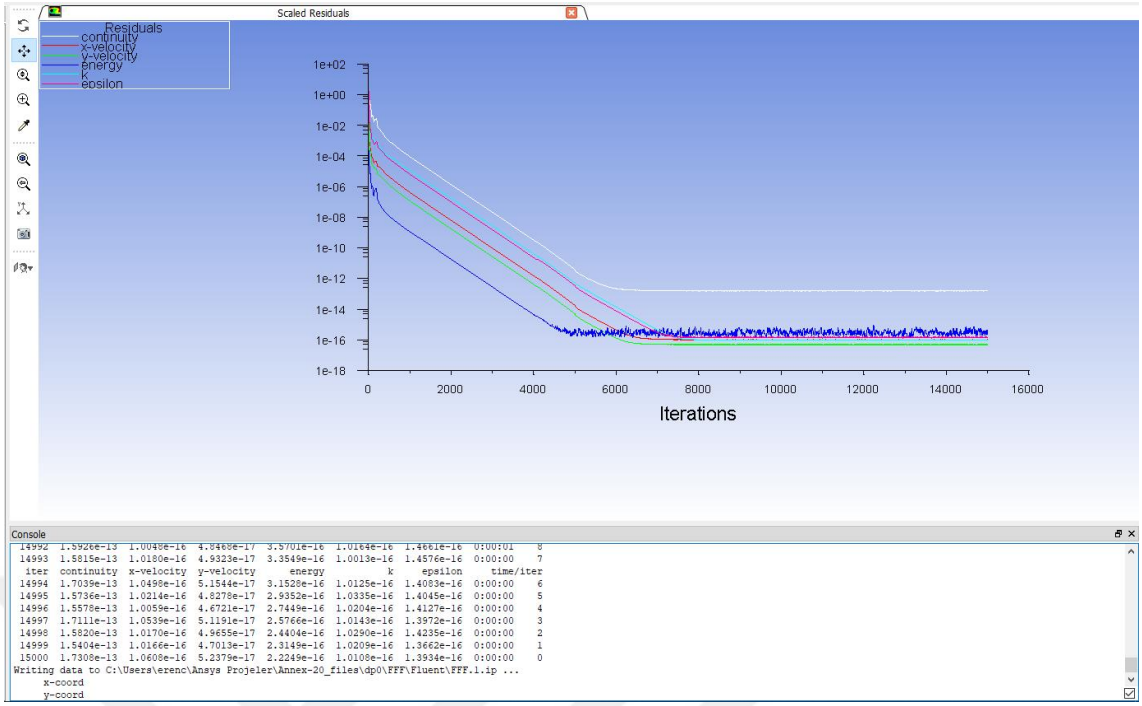
Şekil 4.83. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



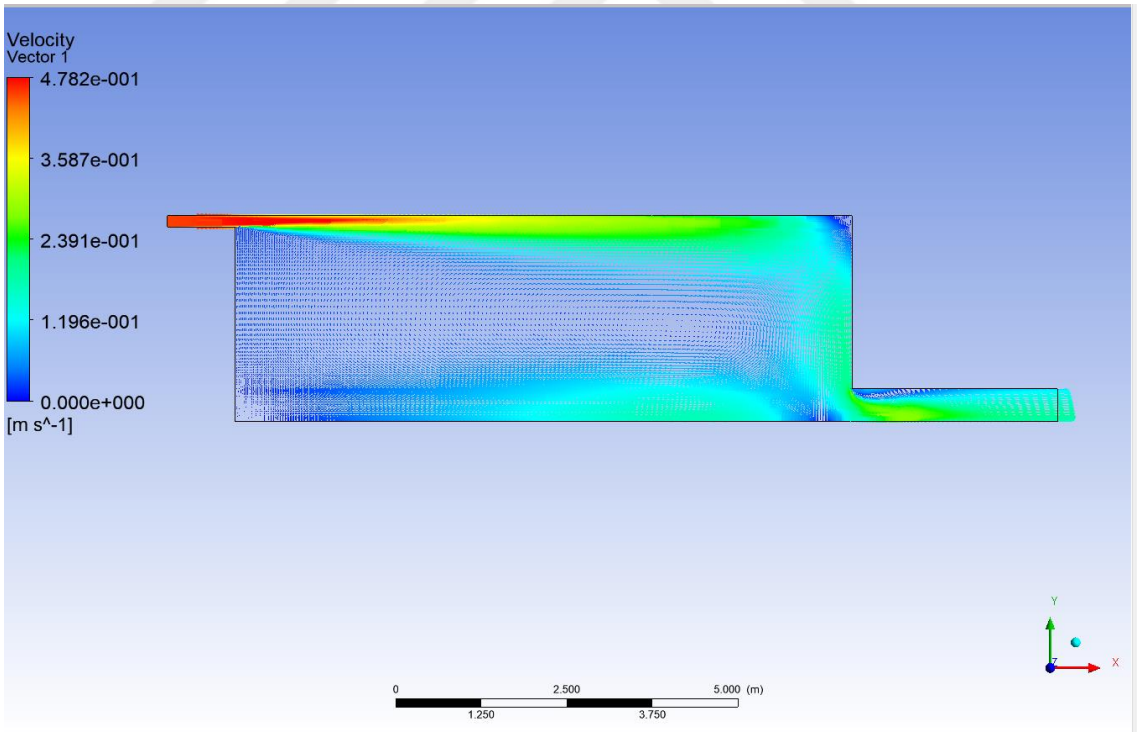
Şekil 4.84. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



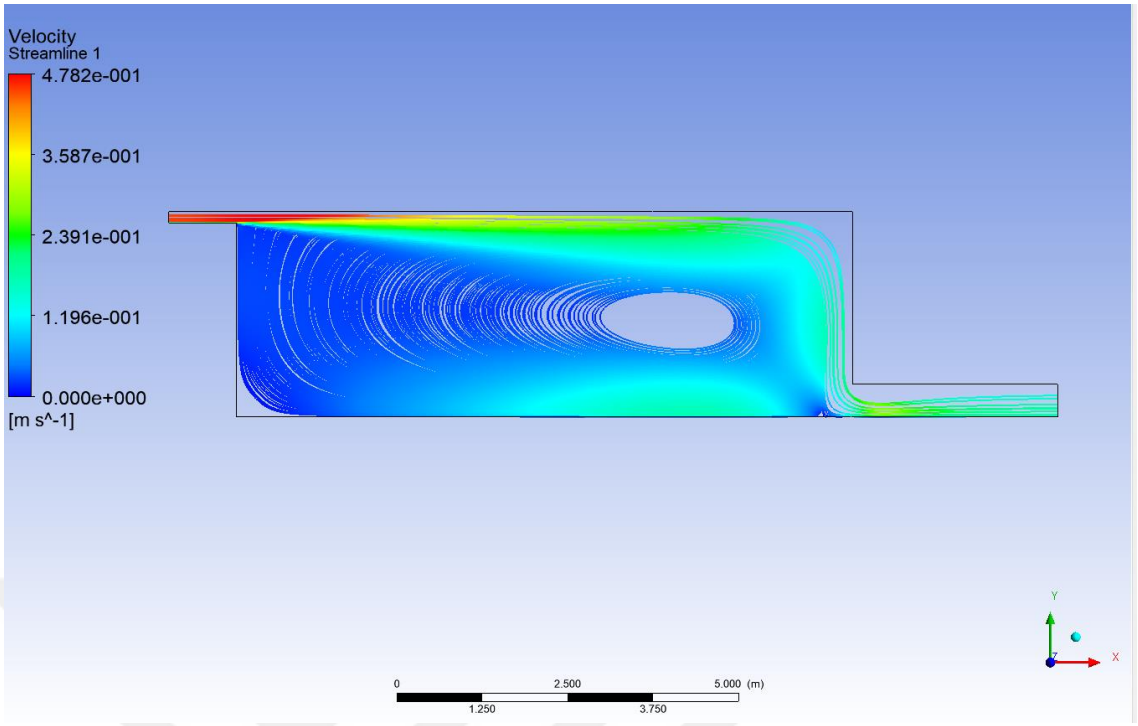
Şekil 4.85. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



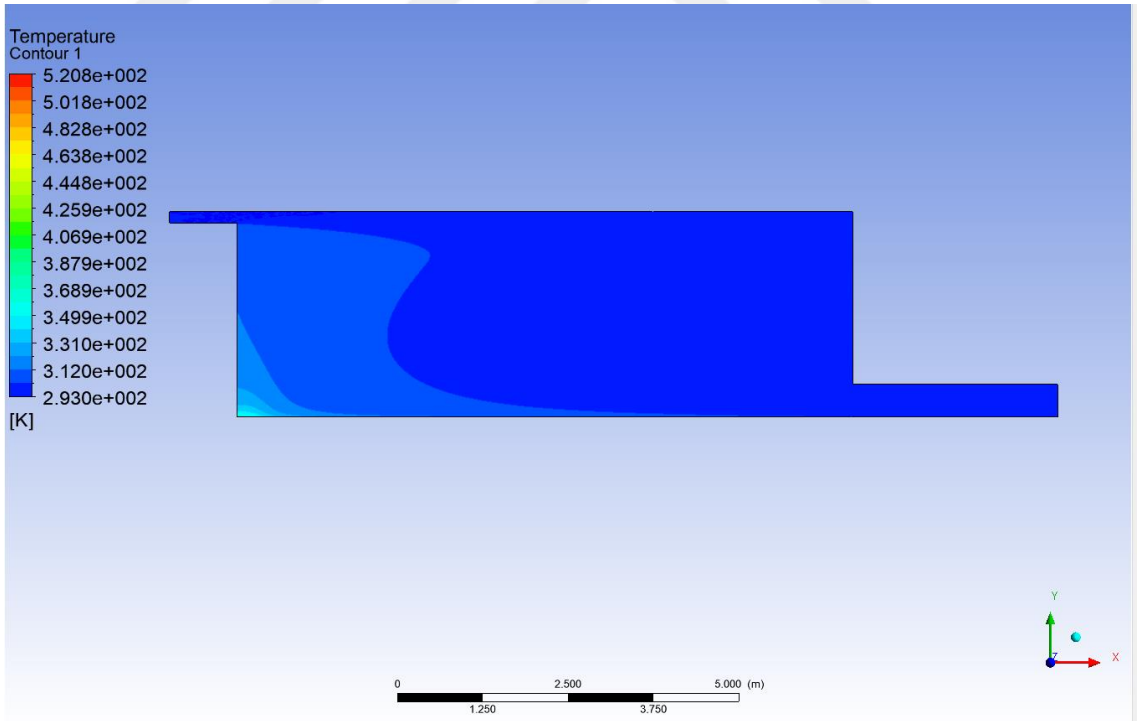
Şekil 4.86. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



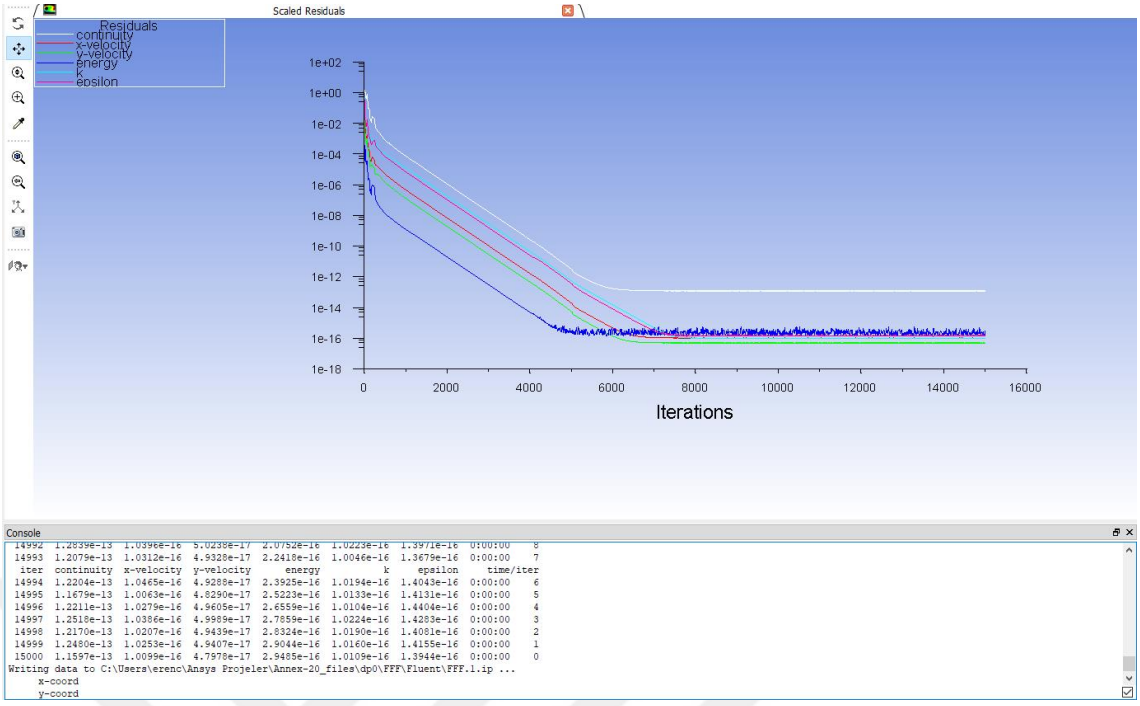
Şekil 4.87. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



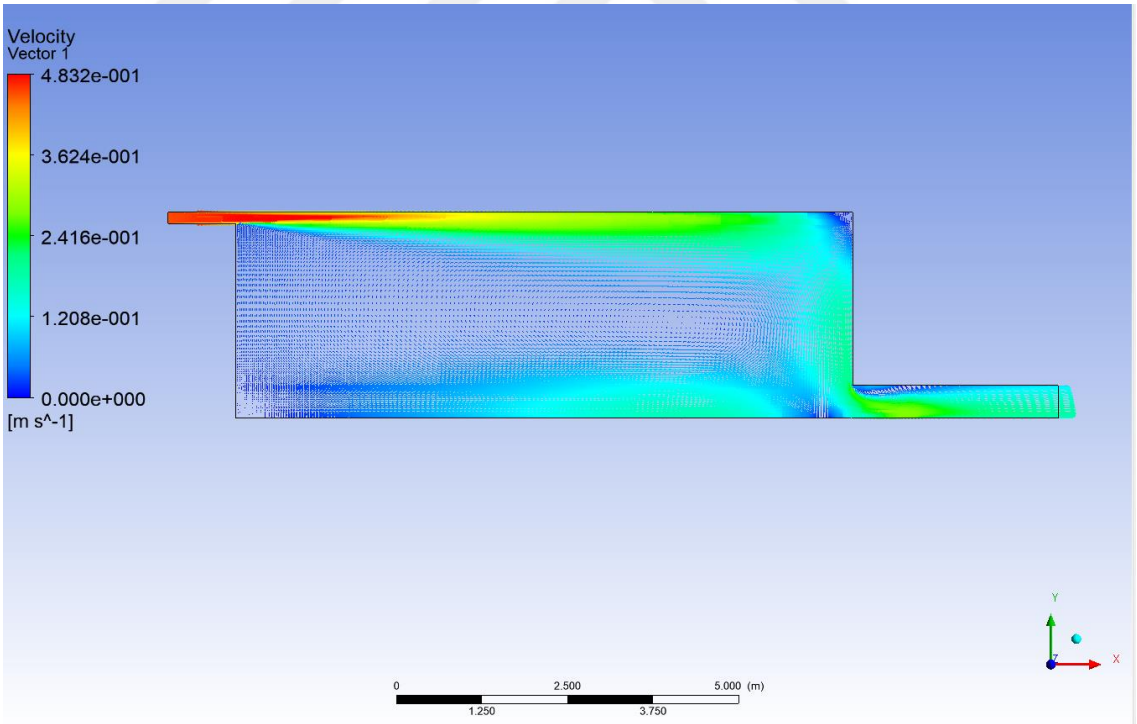
Şekil 4.88. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



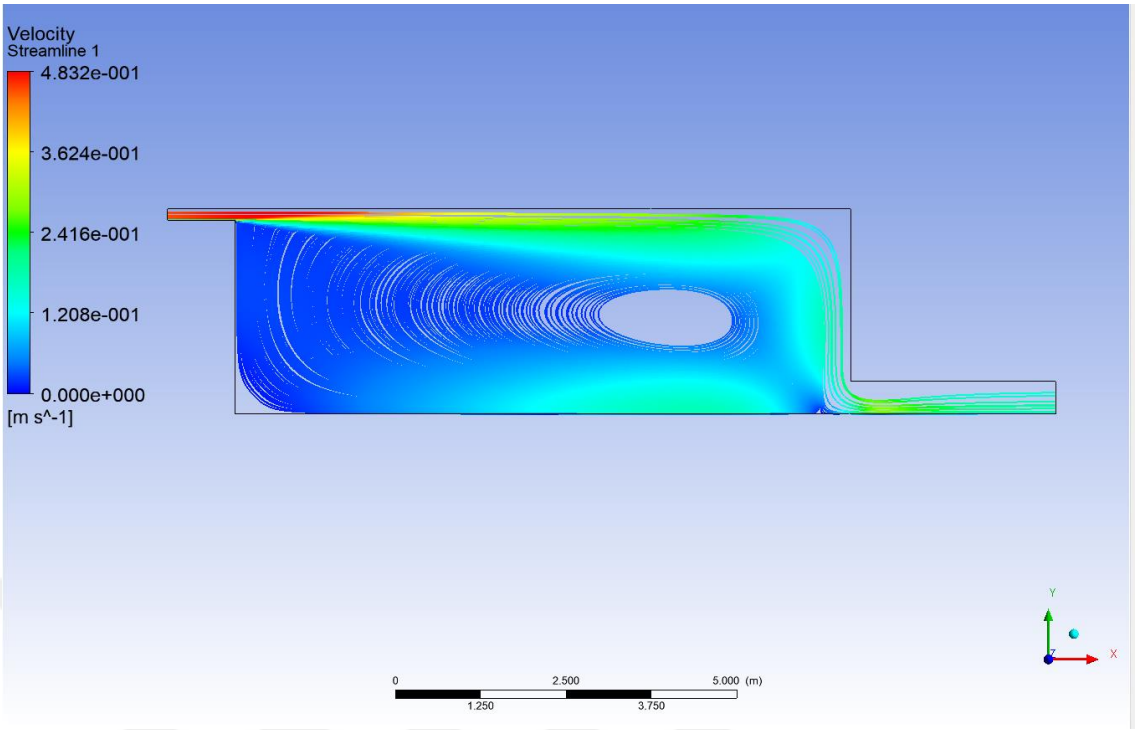
Şekil 4.89. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



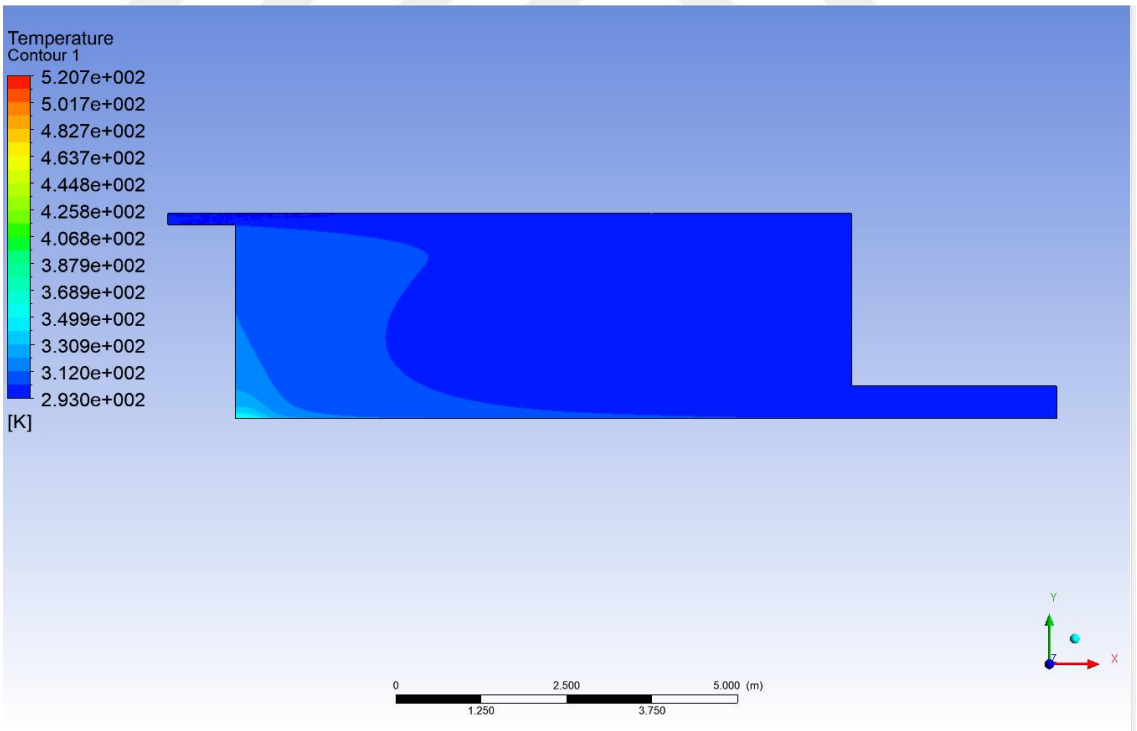
Şekil 4.90. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



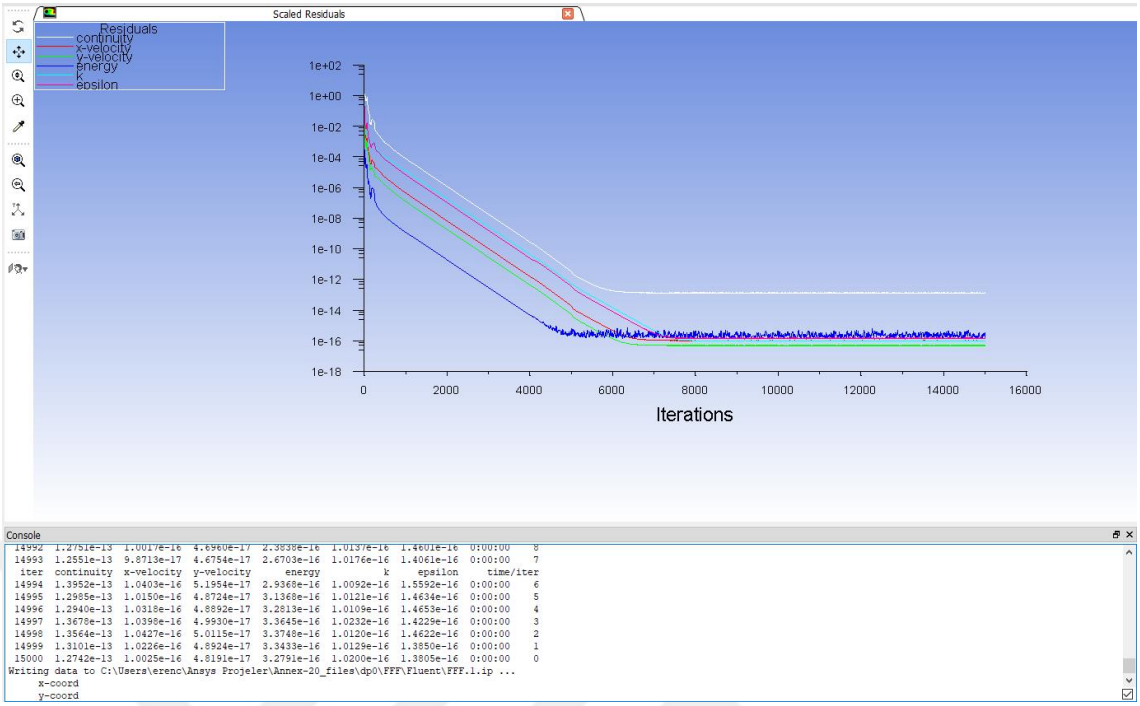
Şekil 4.91. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



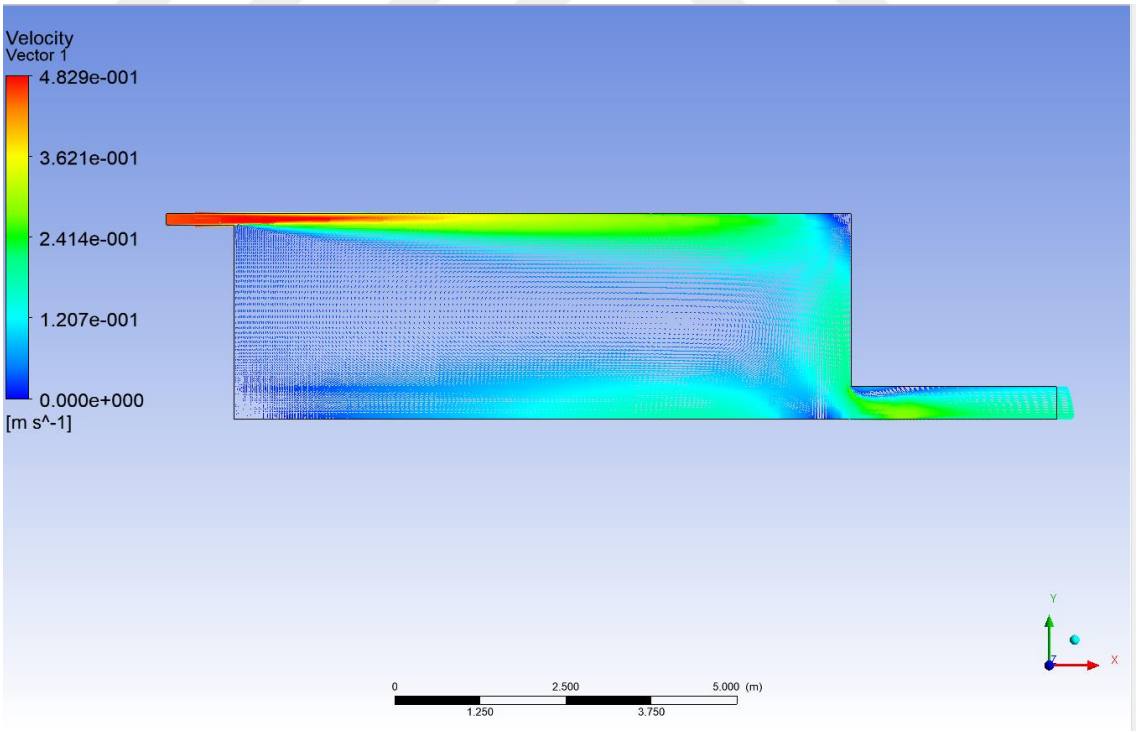
Şekil 4.92. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



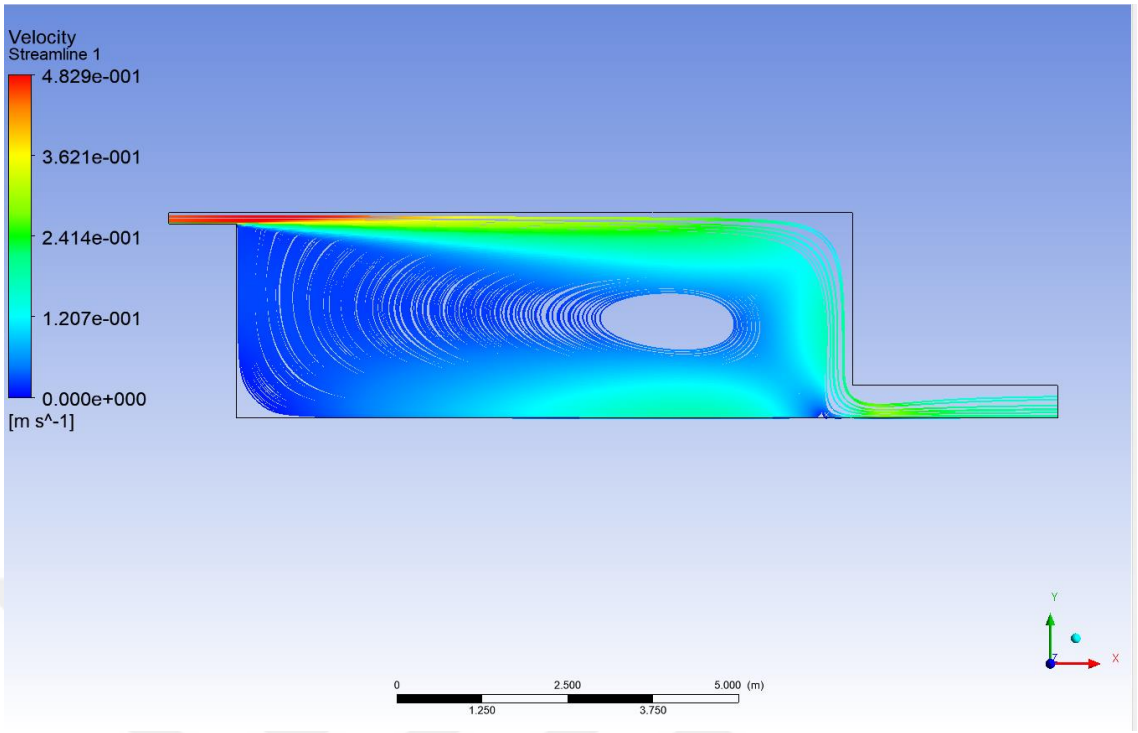
Şekil 4.93. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



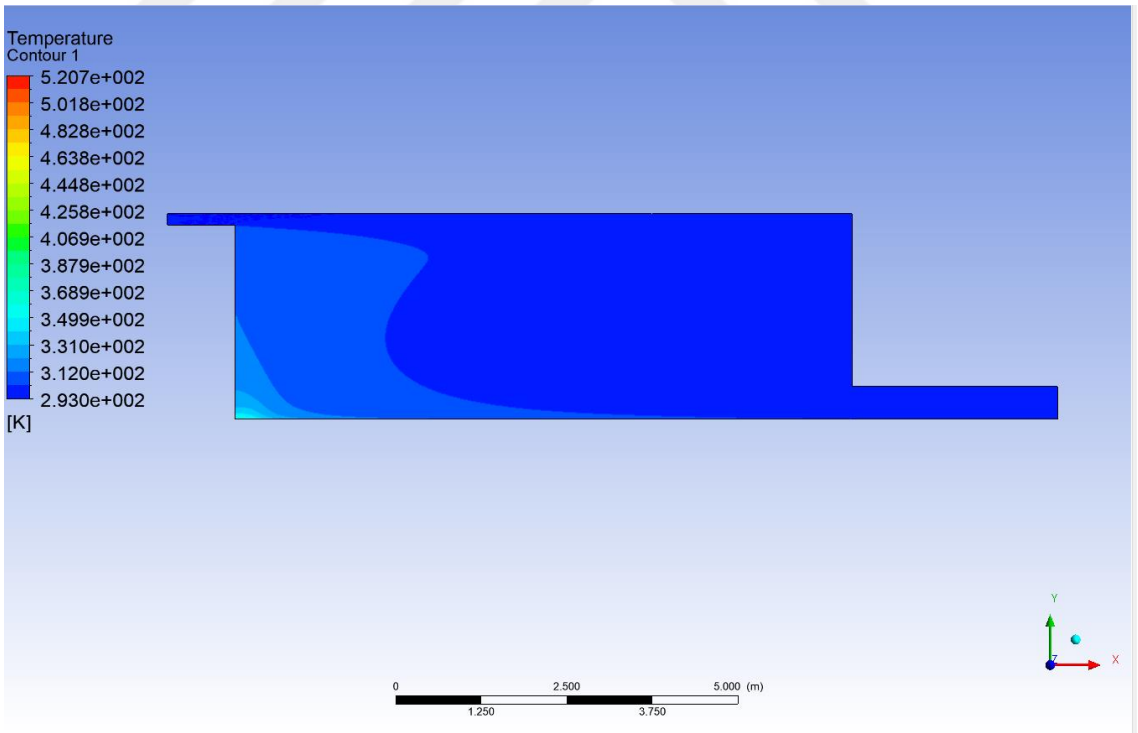
Şekil 4.94. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



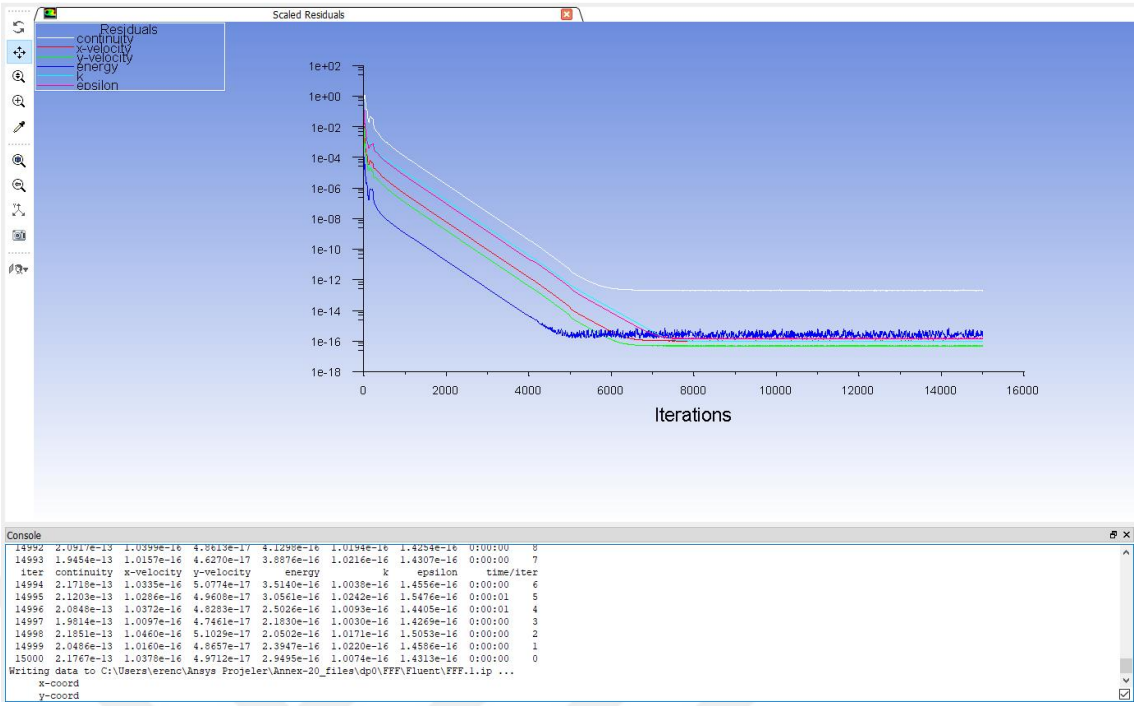
Şekil 4.95. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



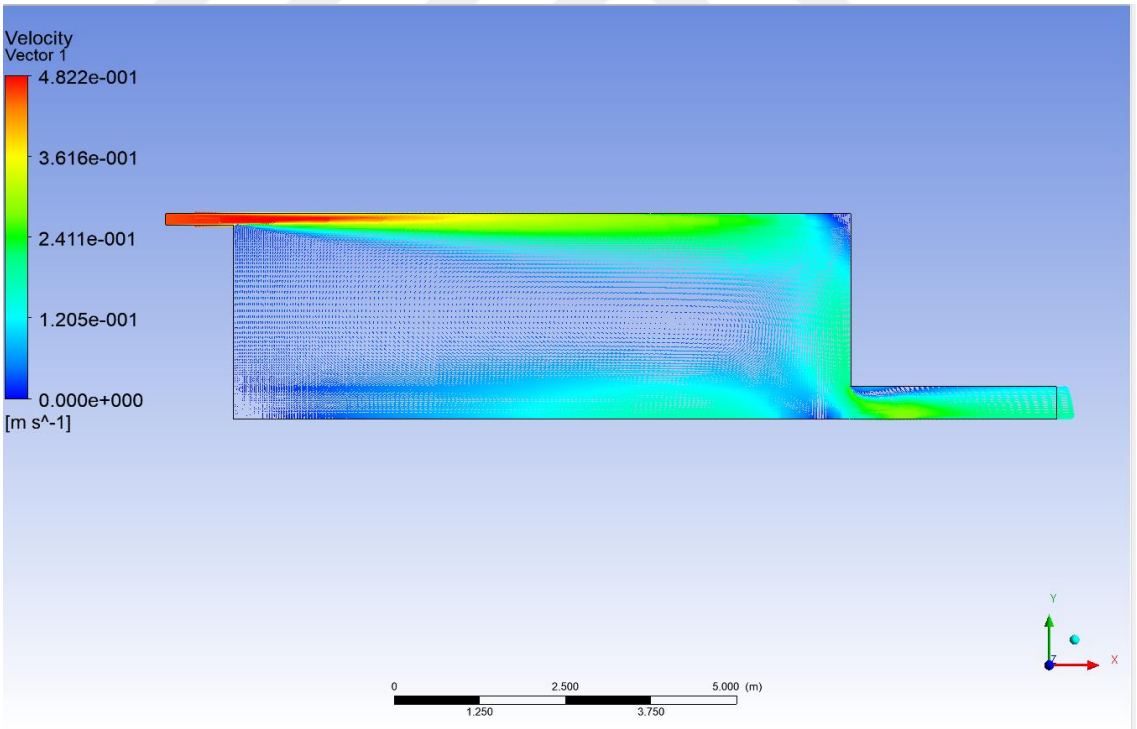
Şekil 4.96. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



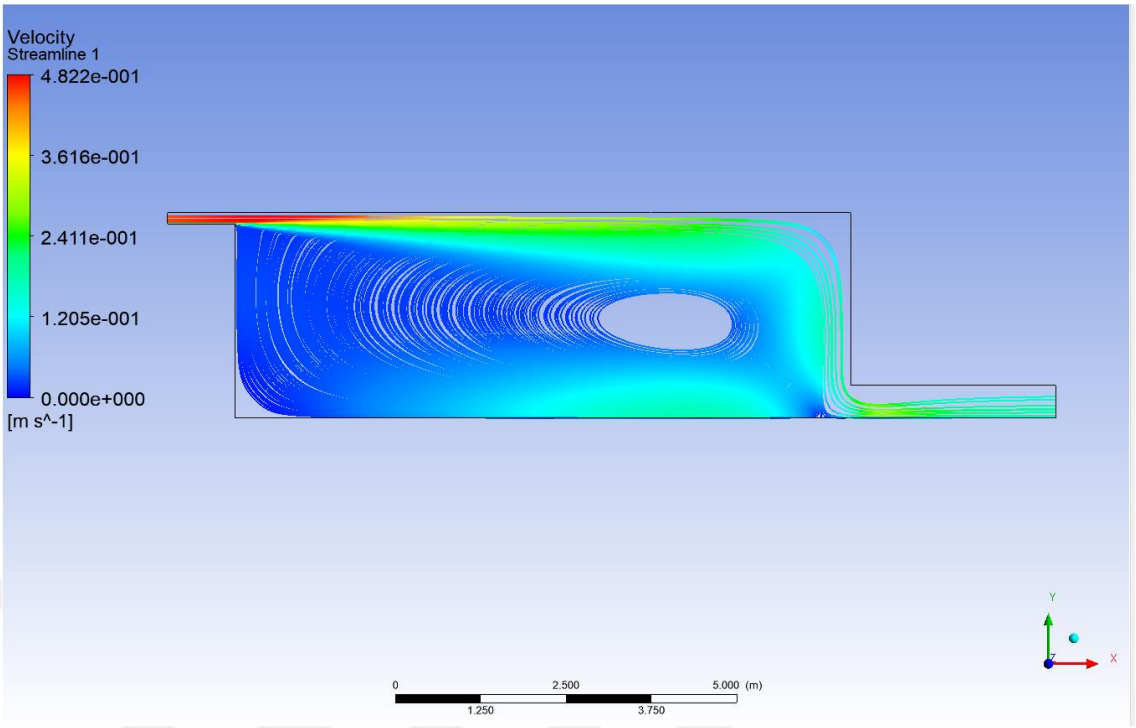
Şekil 4.97. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



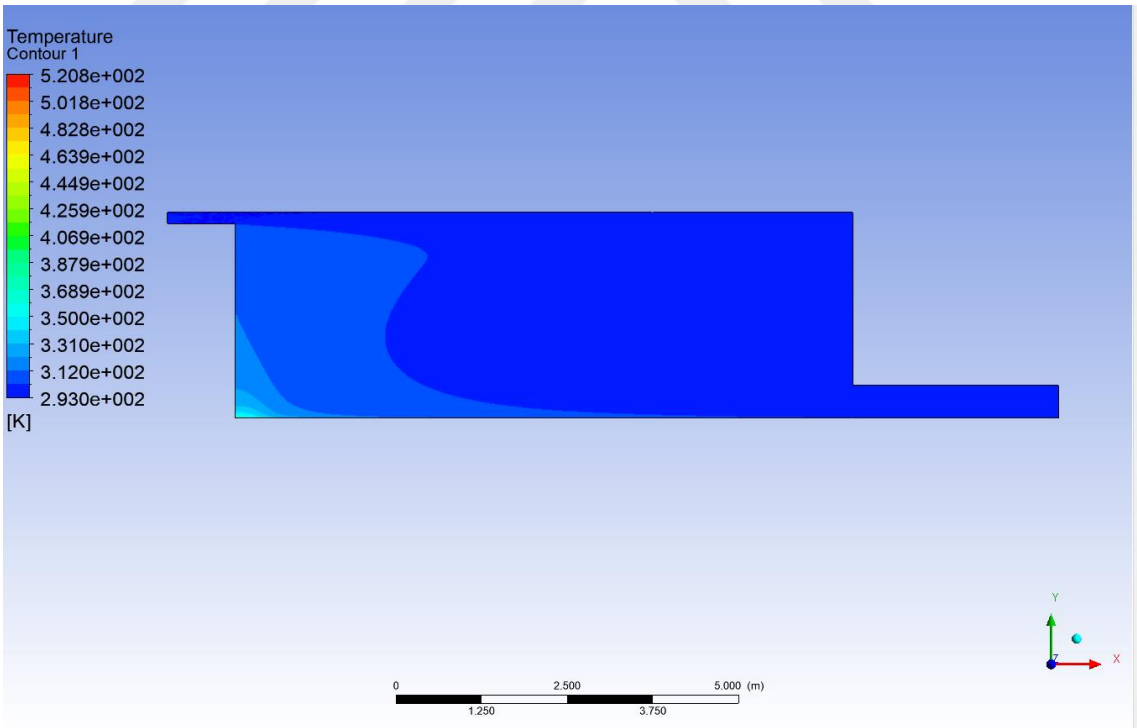
Şekil 4.98. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



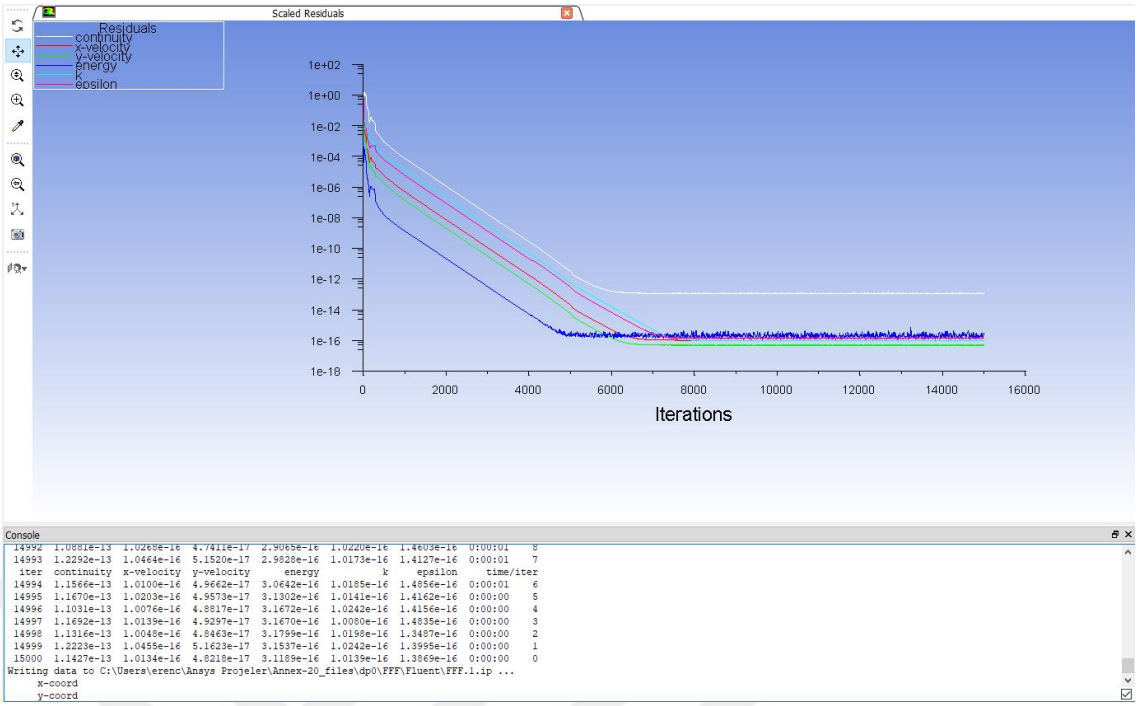
Şekil 4.99. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



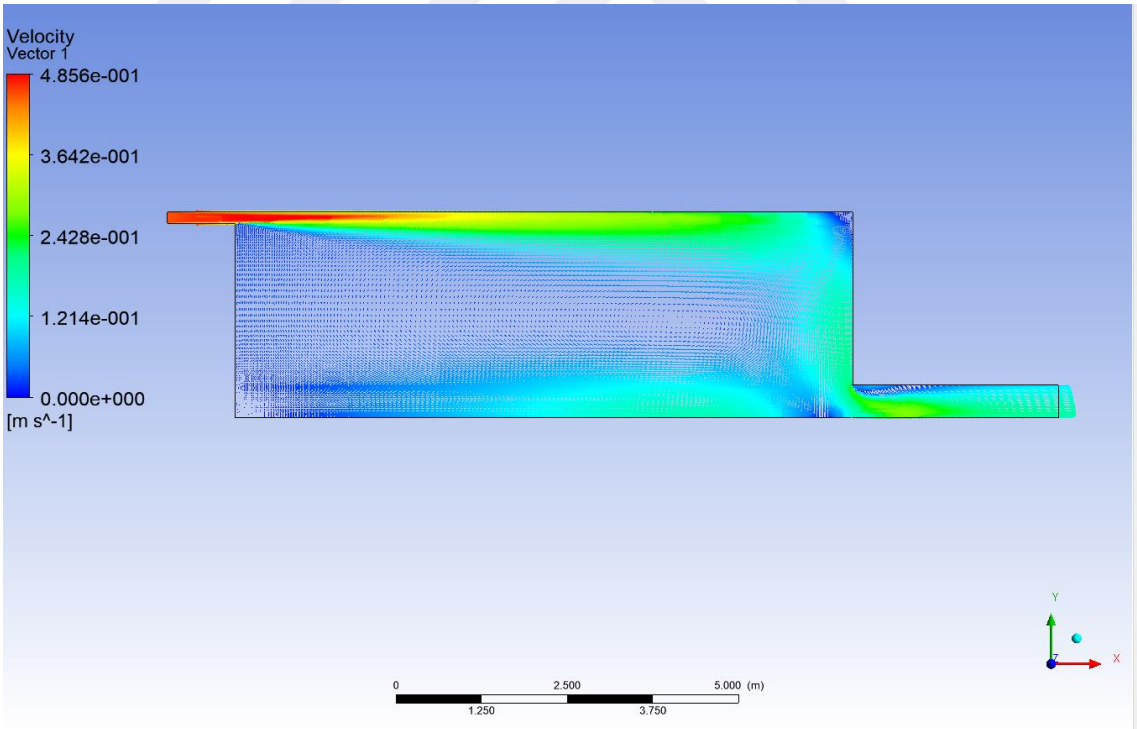
Şekil 4.100. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



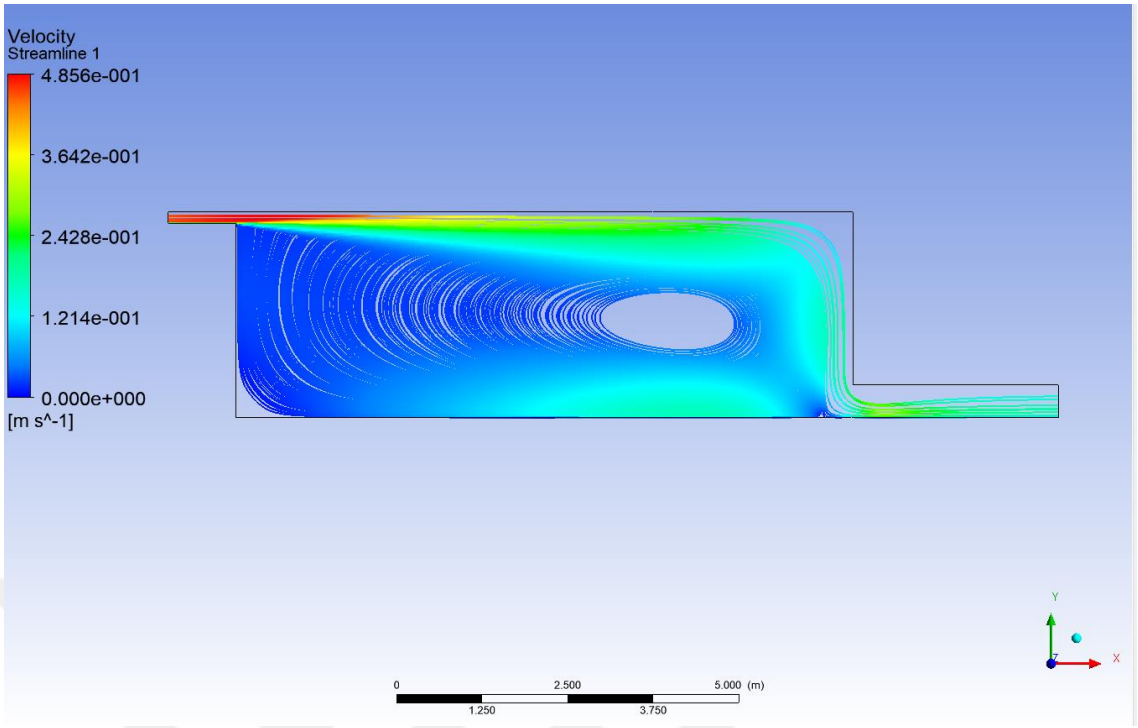
Şekil 4.101. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



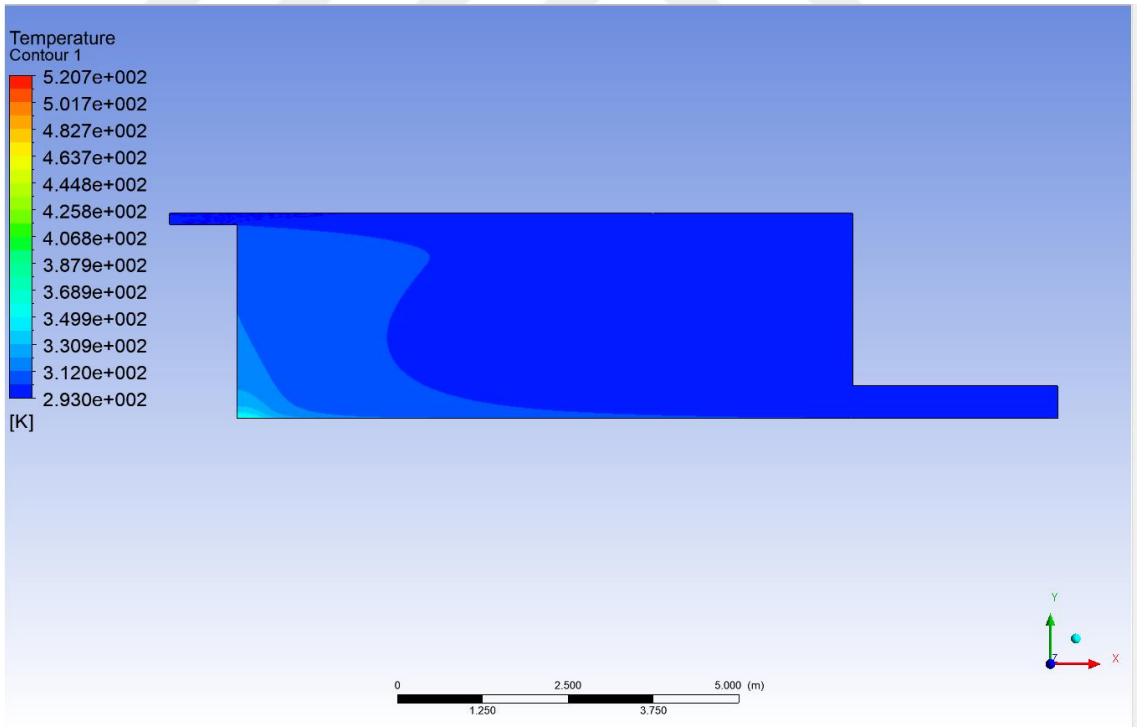
Şekil 4.102. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



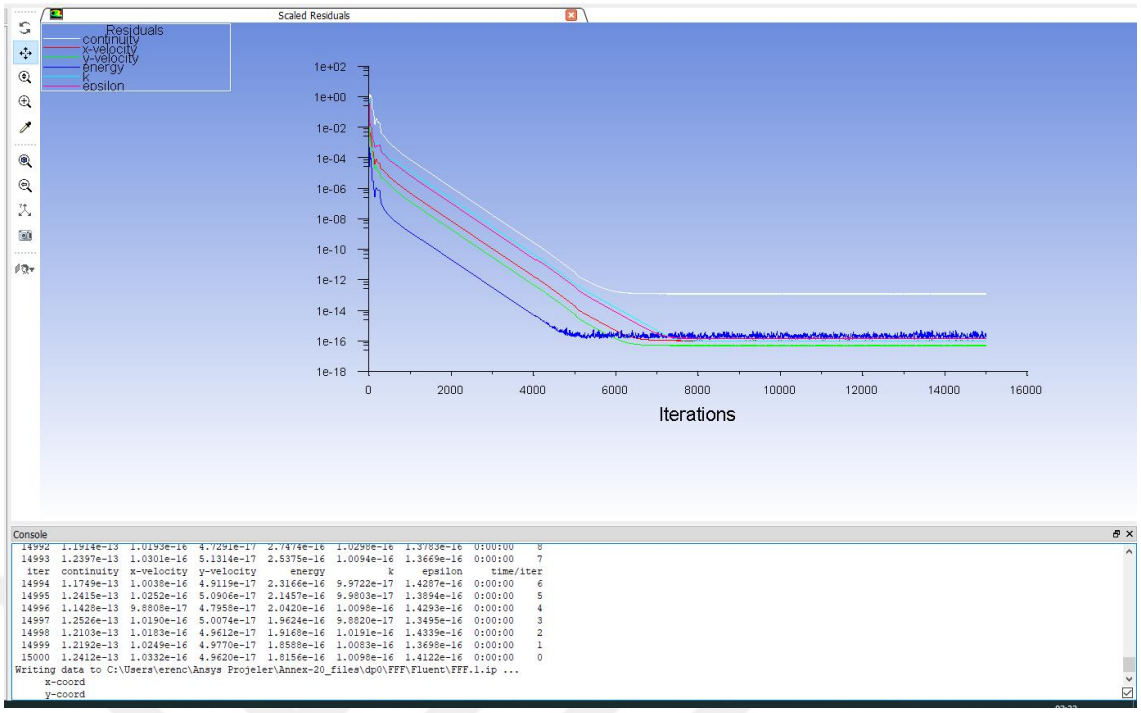
Şekil 4.103. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



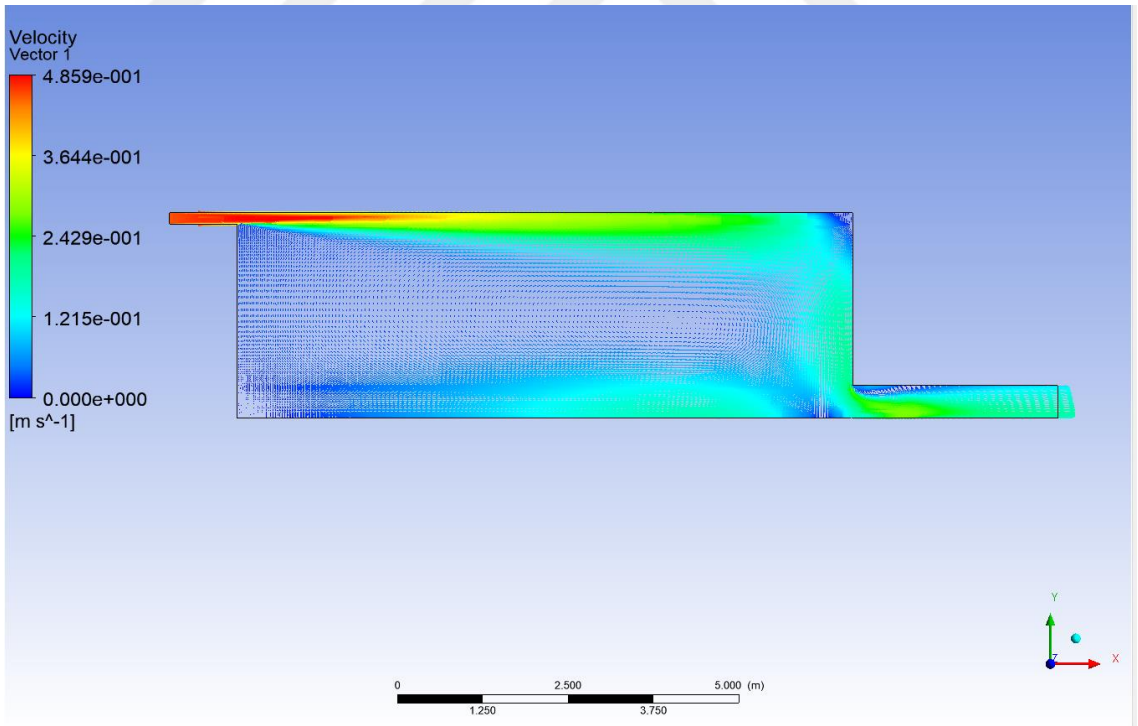
Şekil 4.104. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



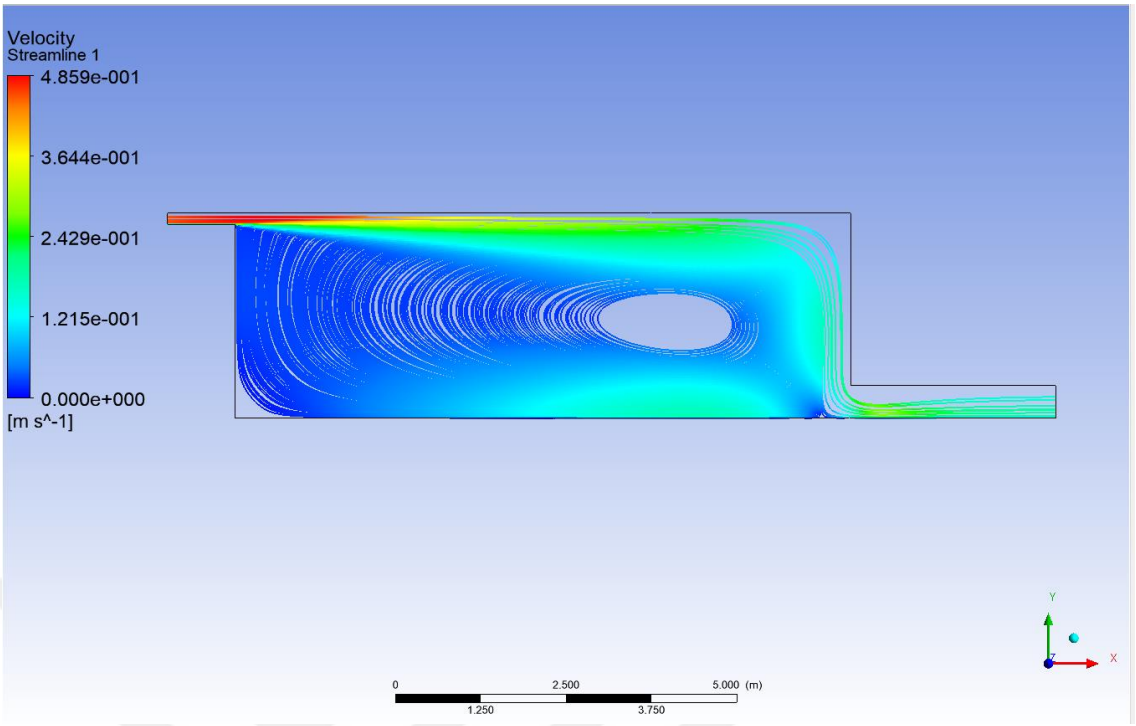
Şekil 4.105. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



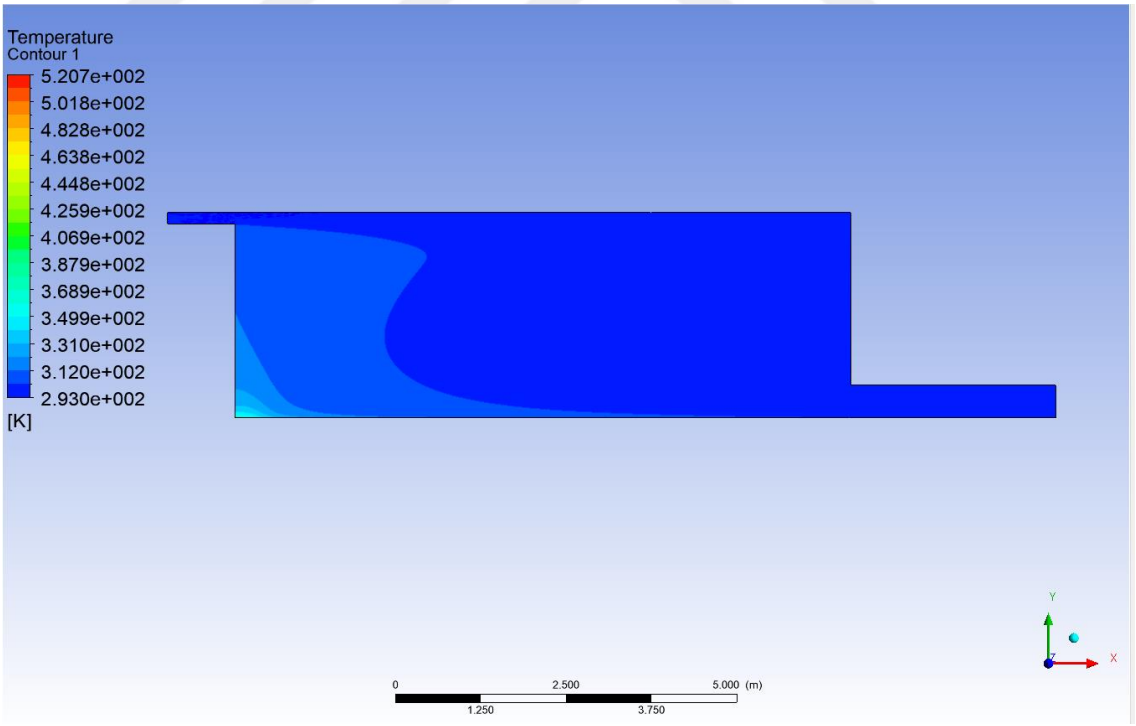
Şekil 4.106. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



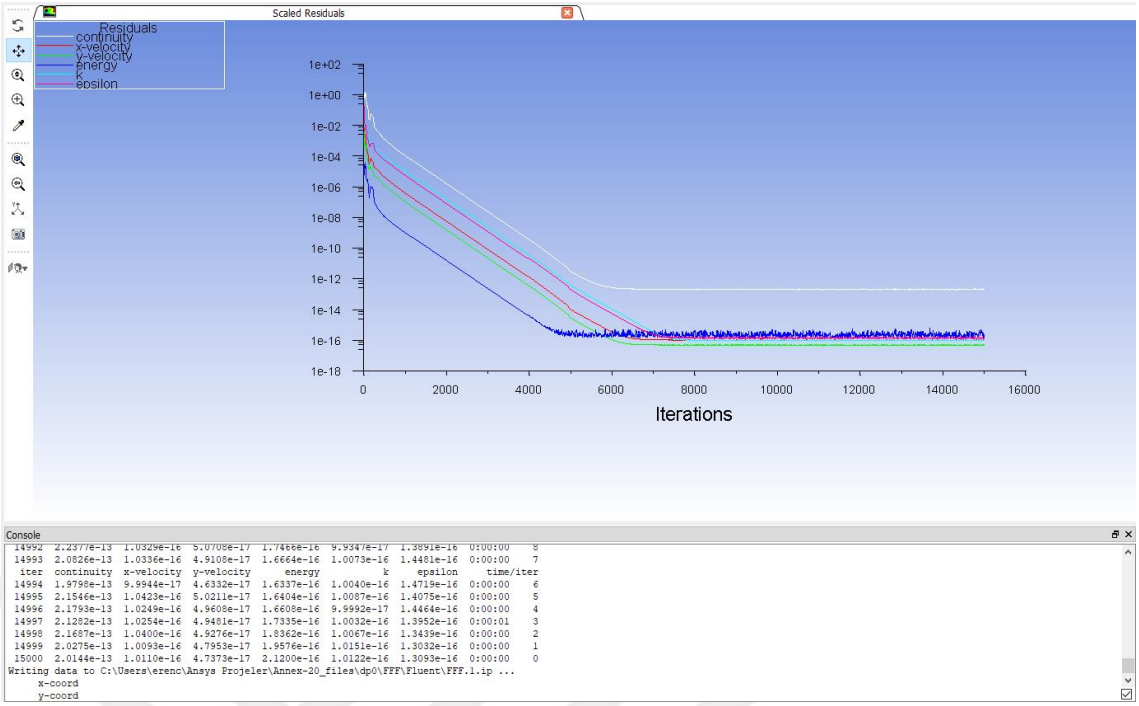
Şekil 4.107. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



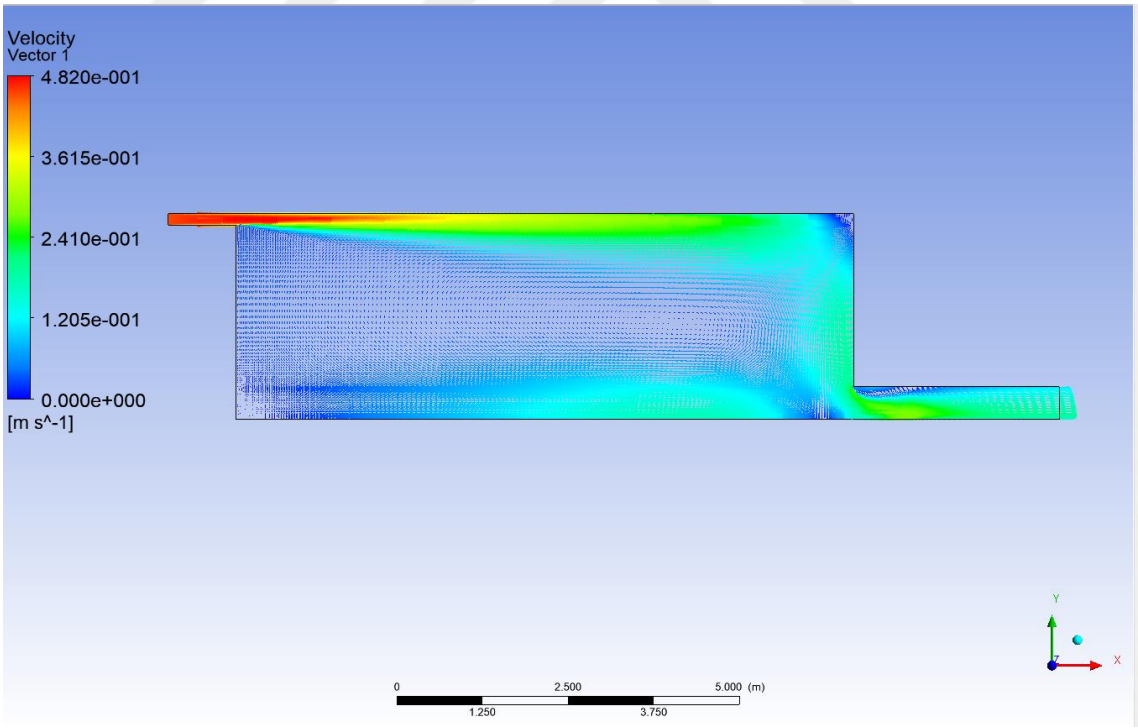
Şekil 4.108. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



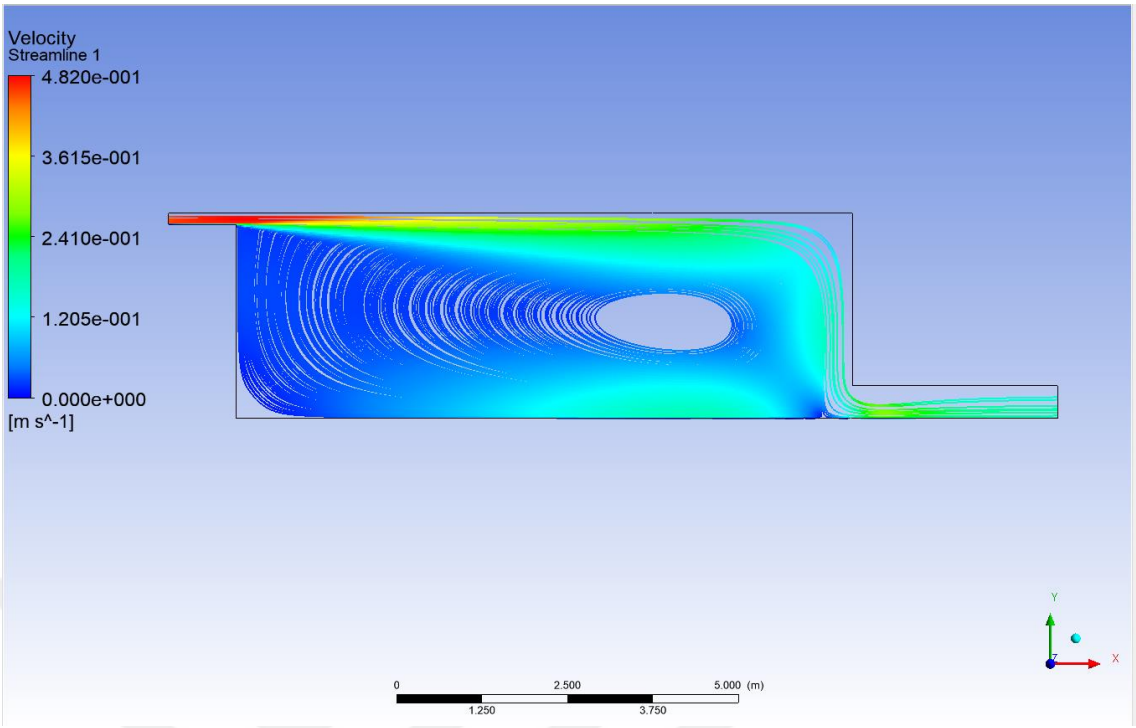
Şekil 4.109. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



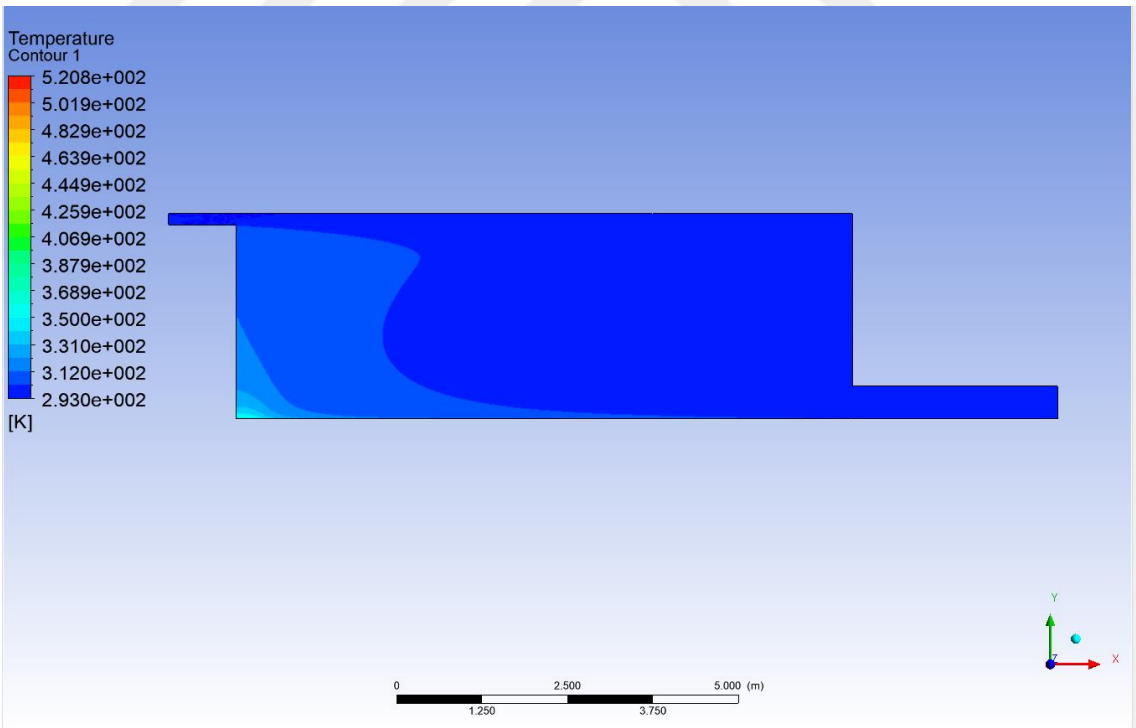
Şekil 4.110. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



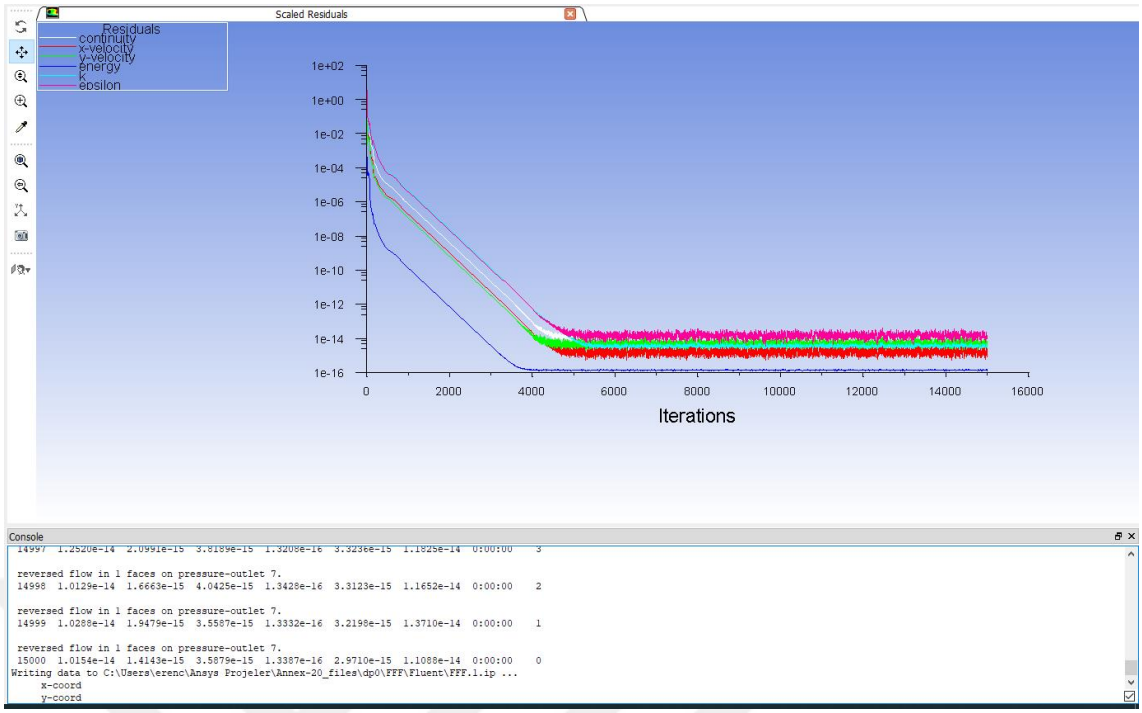
Şekil 4.111. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı vektörel hız grafiği



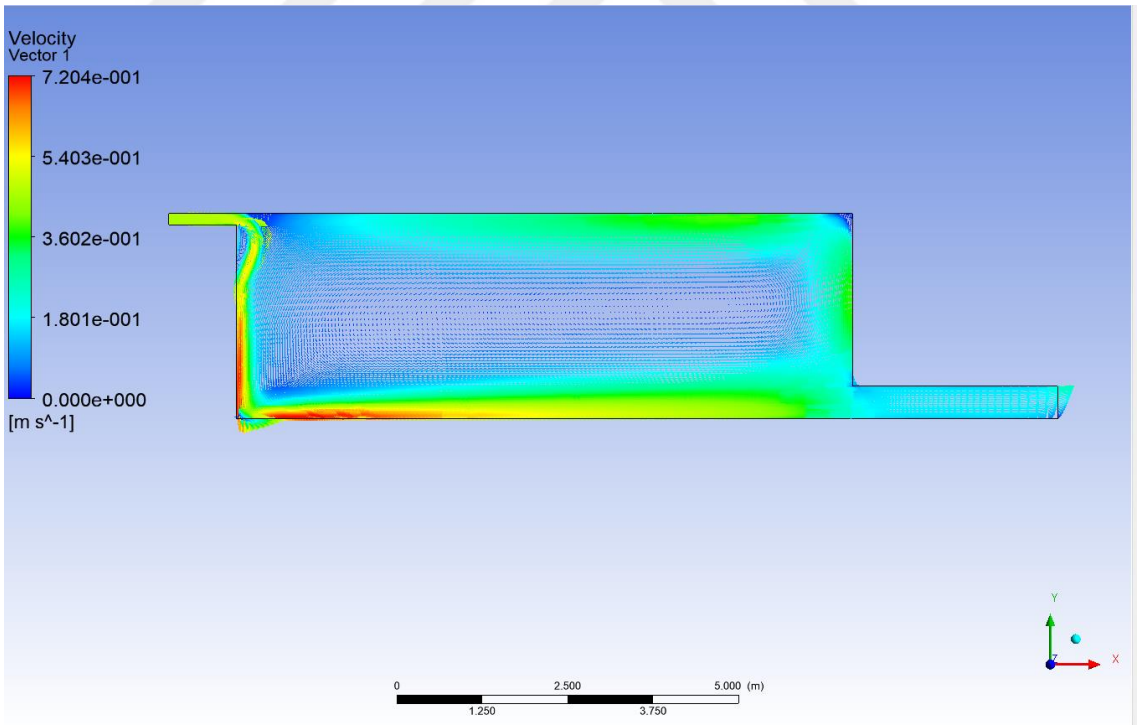
Şekil 4.112. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı akış çizgisi grafiği



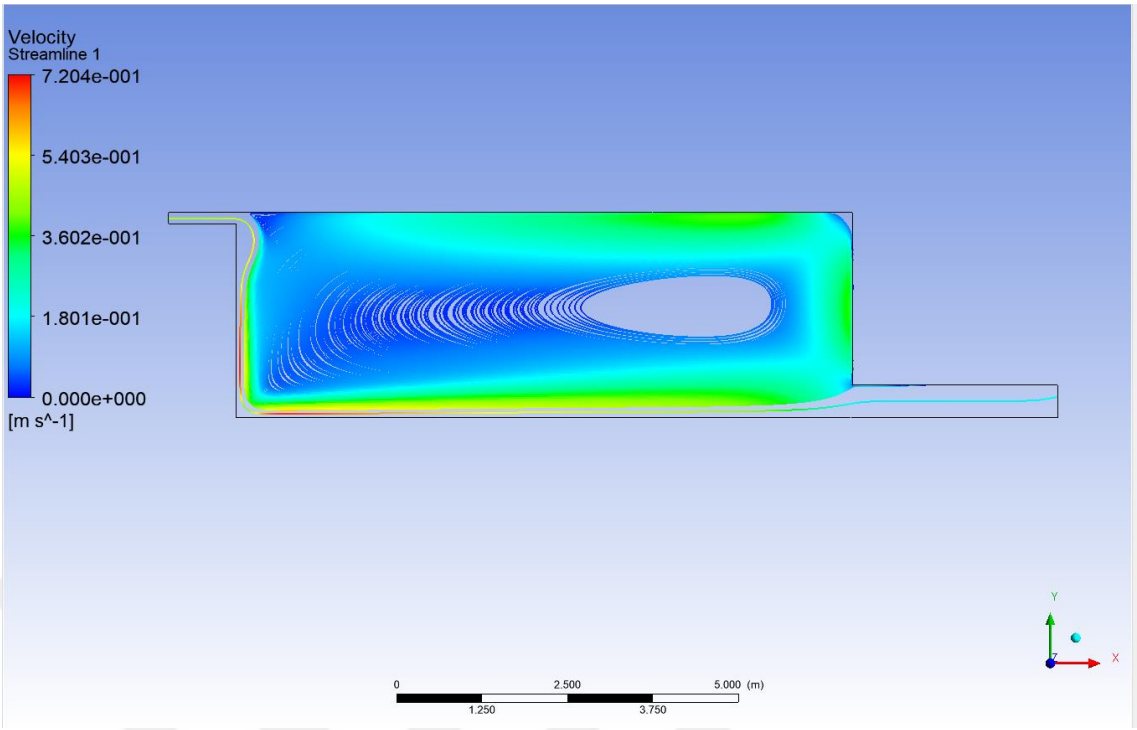
Şekil 4.113. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve boussinesq yaklaşımı sıcaklık grafiği



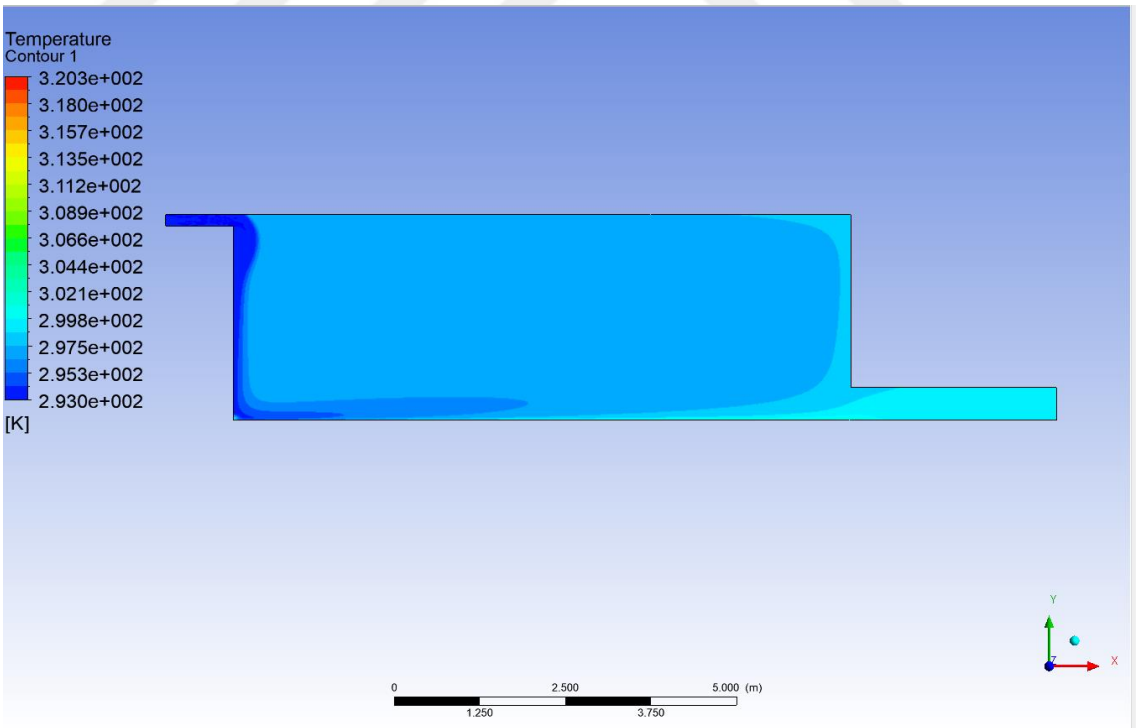
Şekil 4.114. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



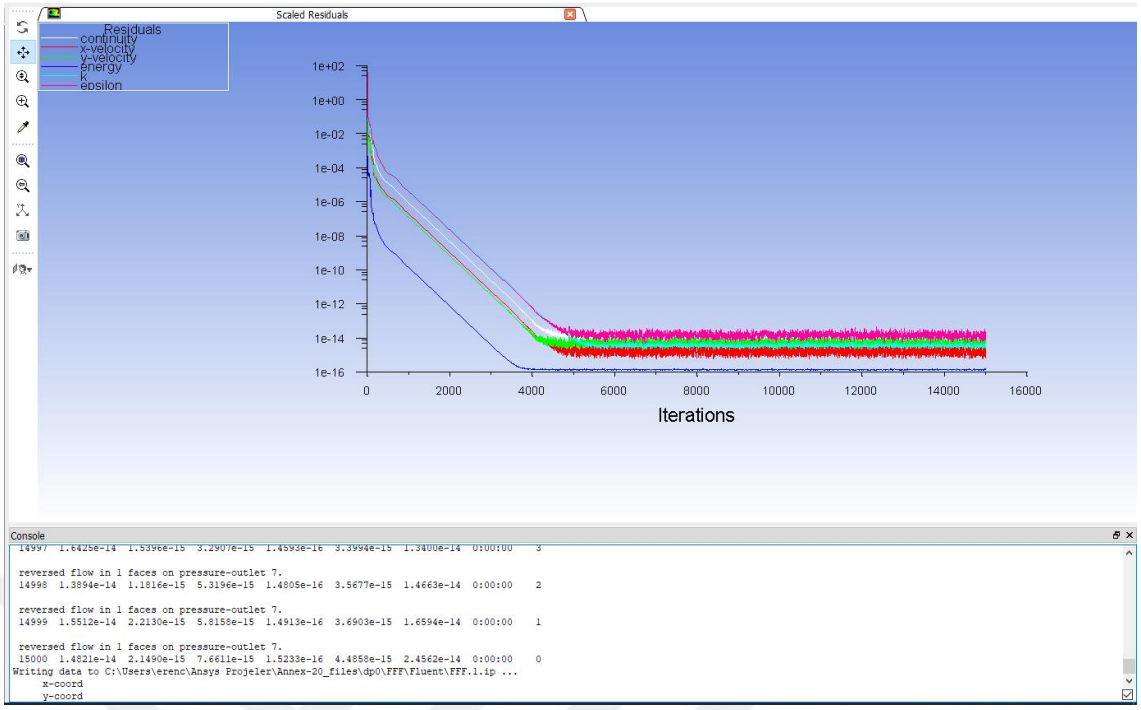
Şekil 4.115. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



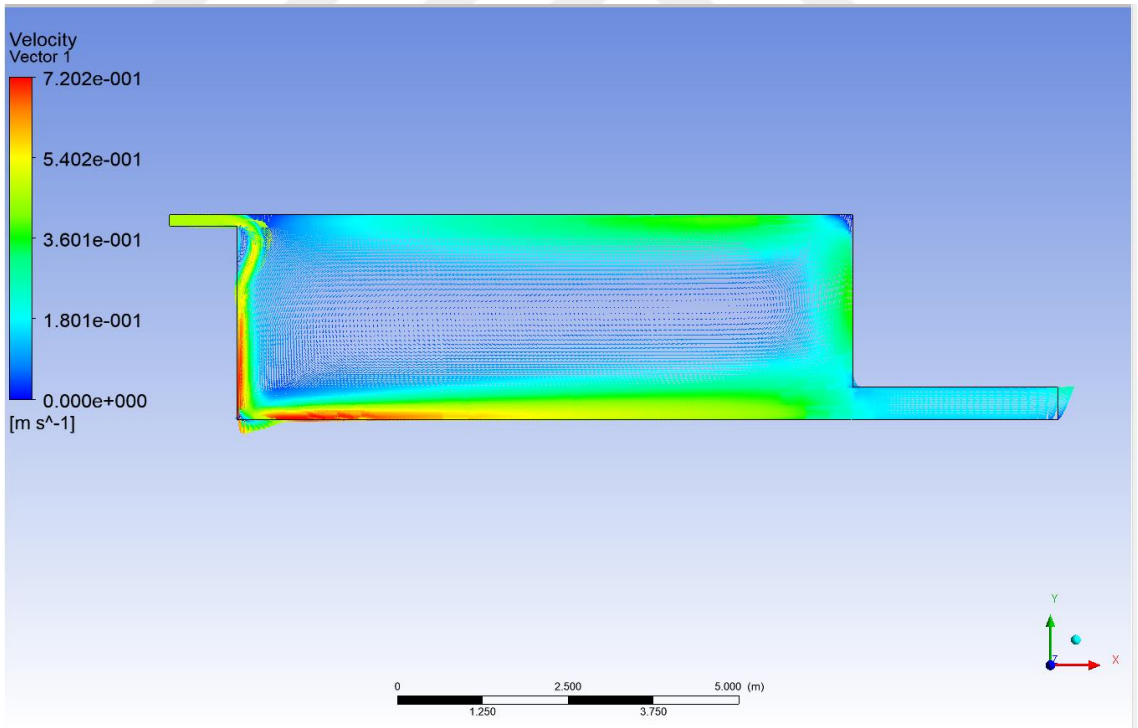
Şekil 4.116. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



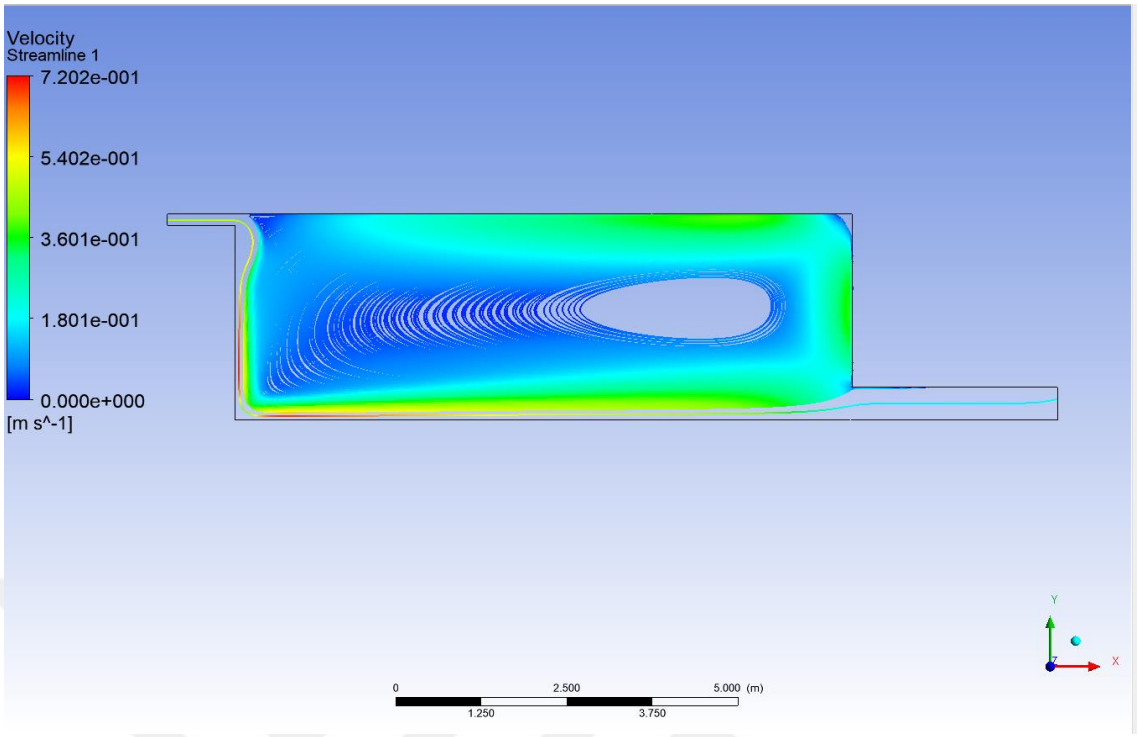
Şekil 4.117. Tu: %1 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



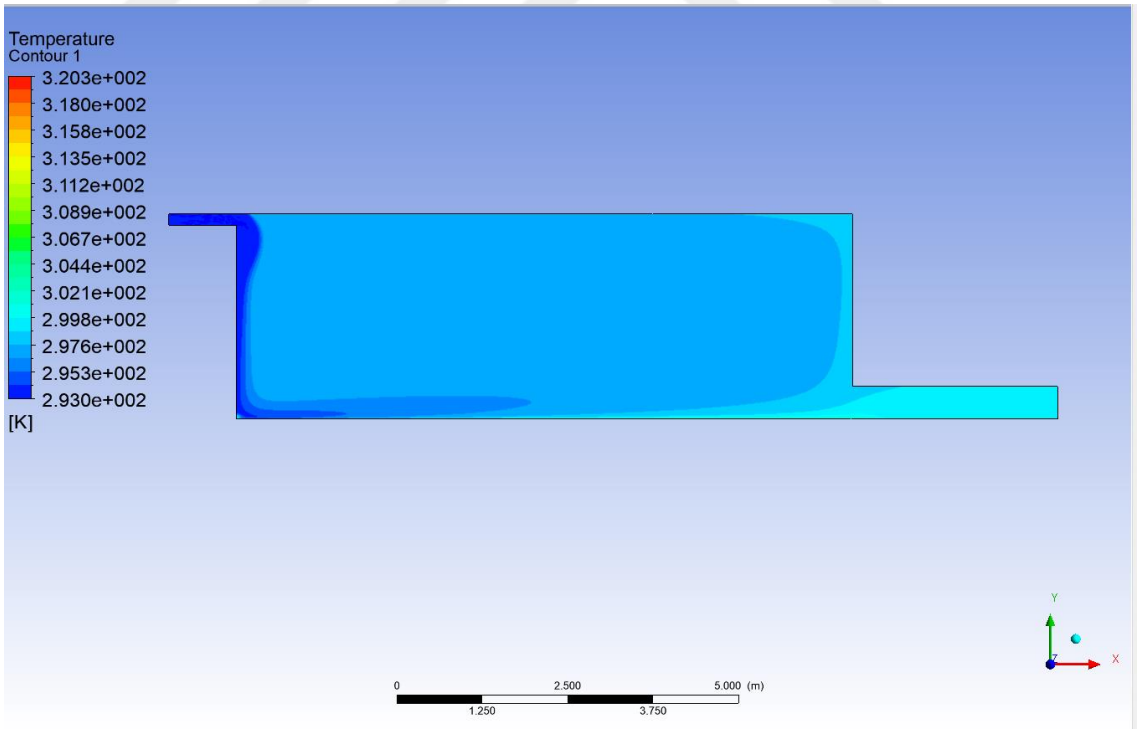
Şekil 4.118. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



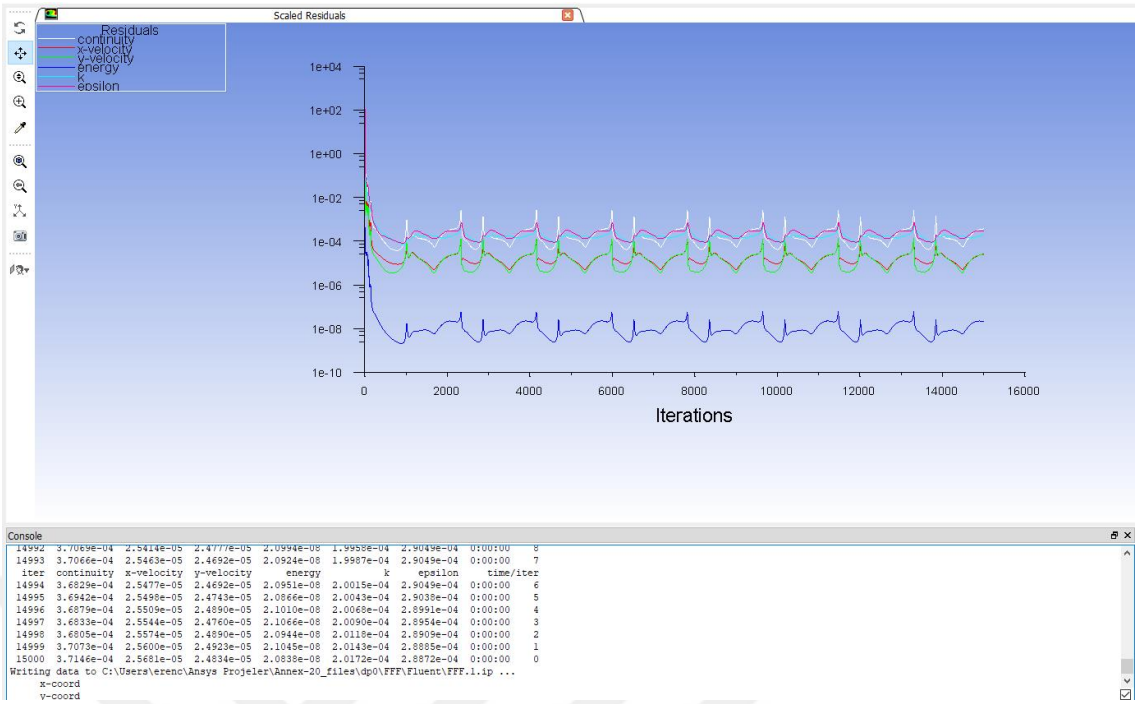
Şekil 4.119. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



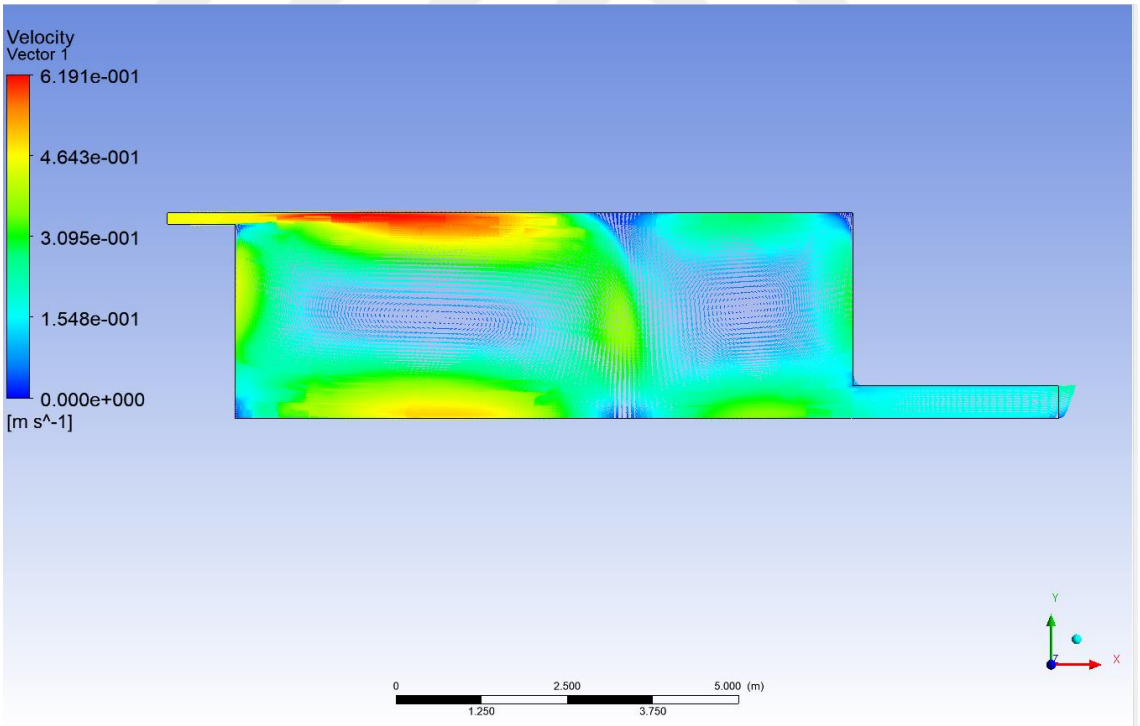
Şekil 4.120. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



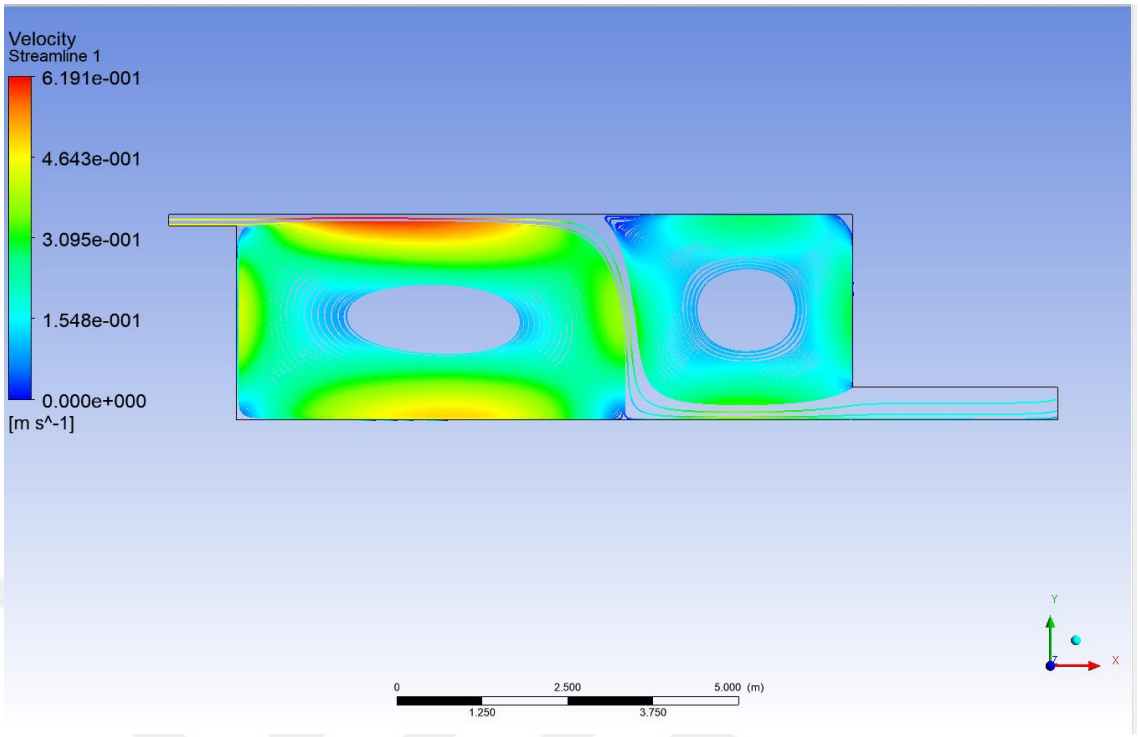
Şekil 4.121. Tu: %1 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



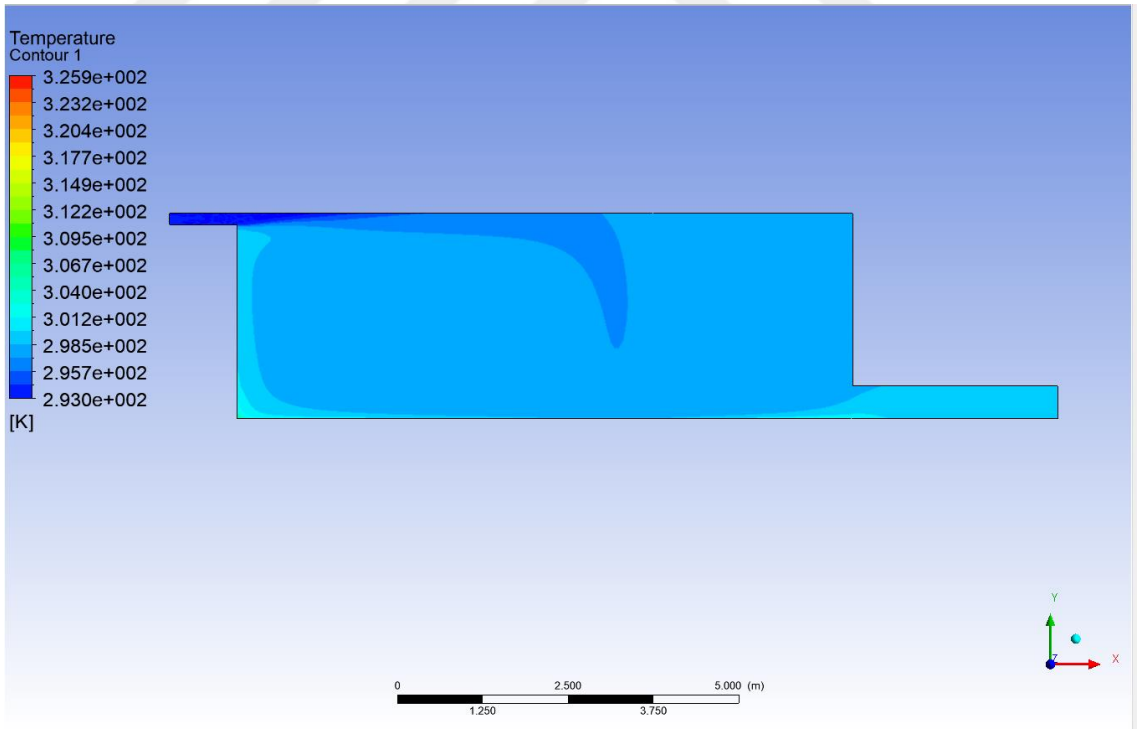
Şekil 4.122. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



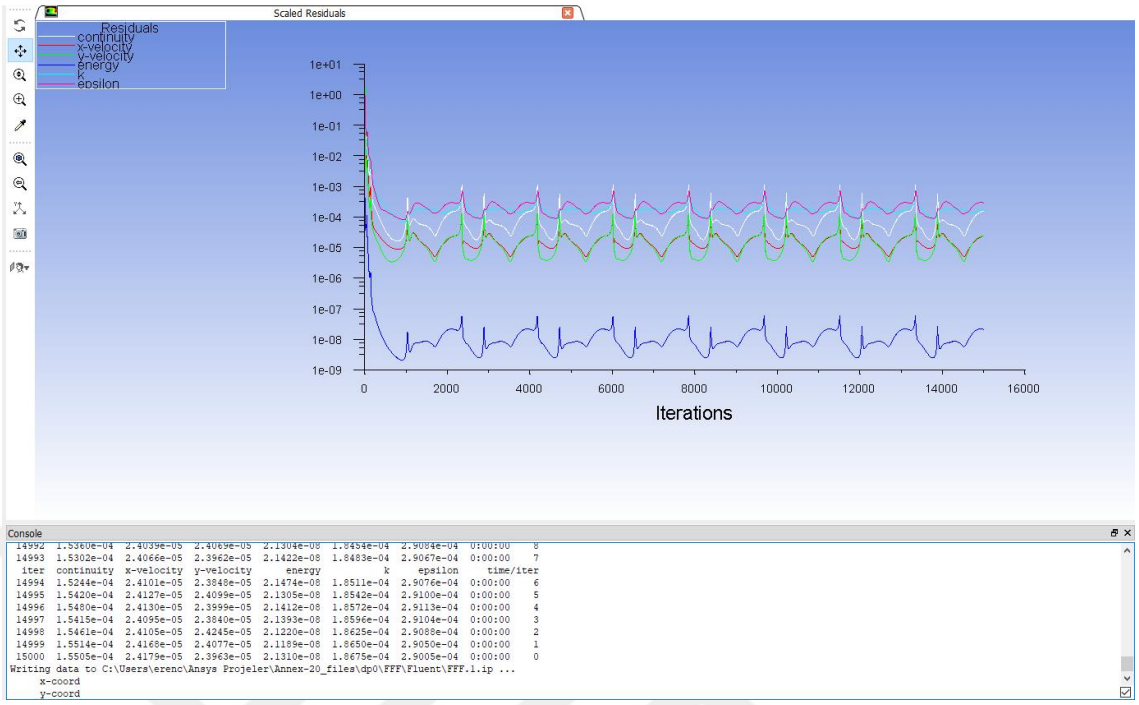
Şekil 4.123. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



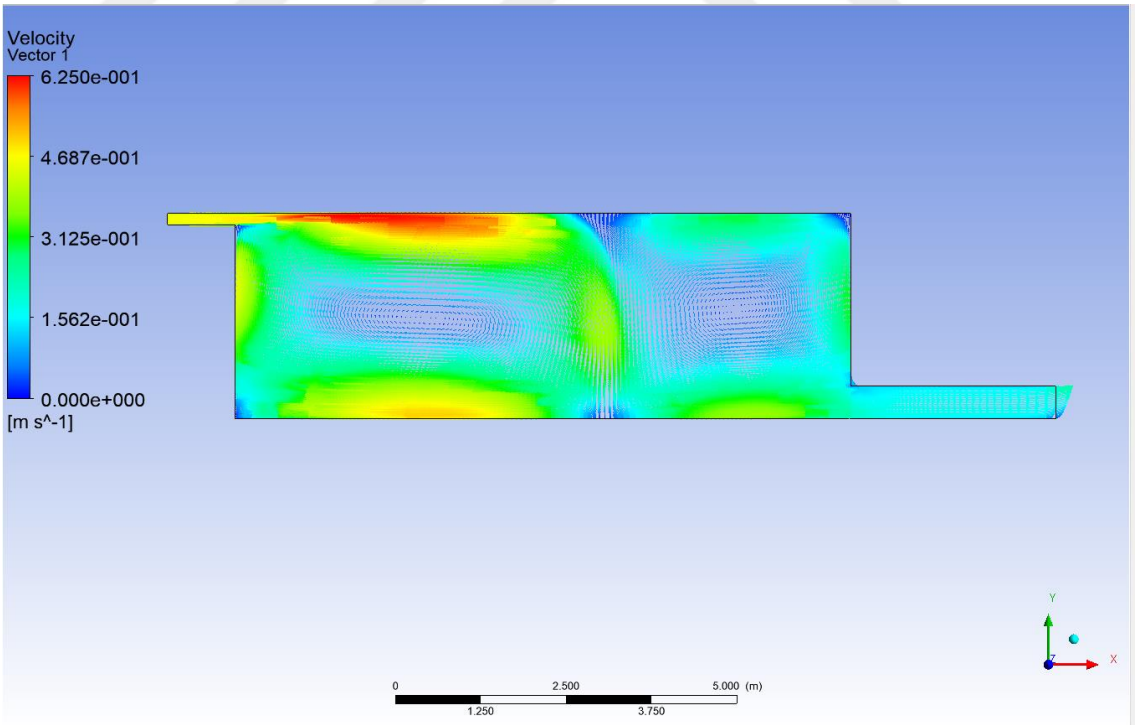
Şekil 4.124. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



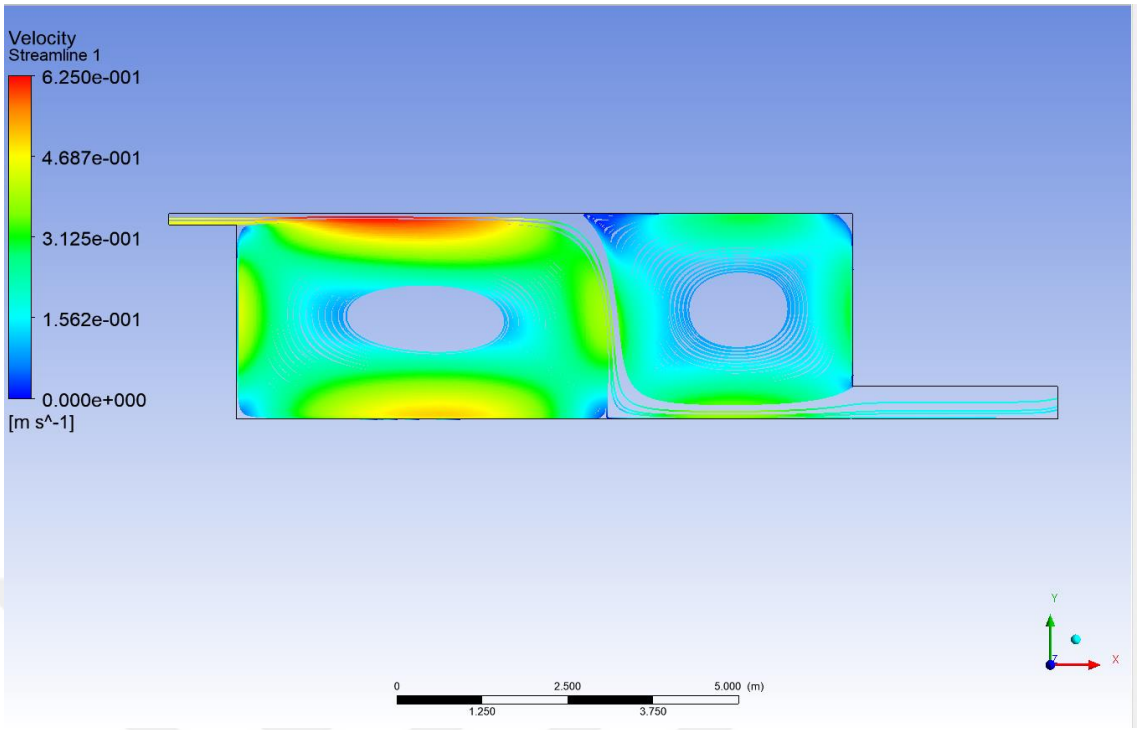
Şekil 4.125. Tu: %1 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



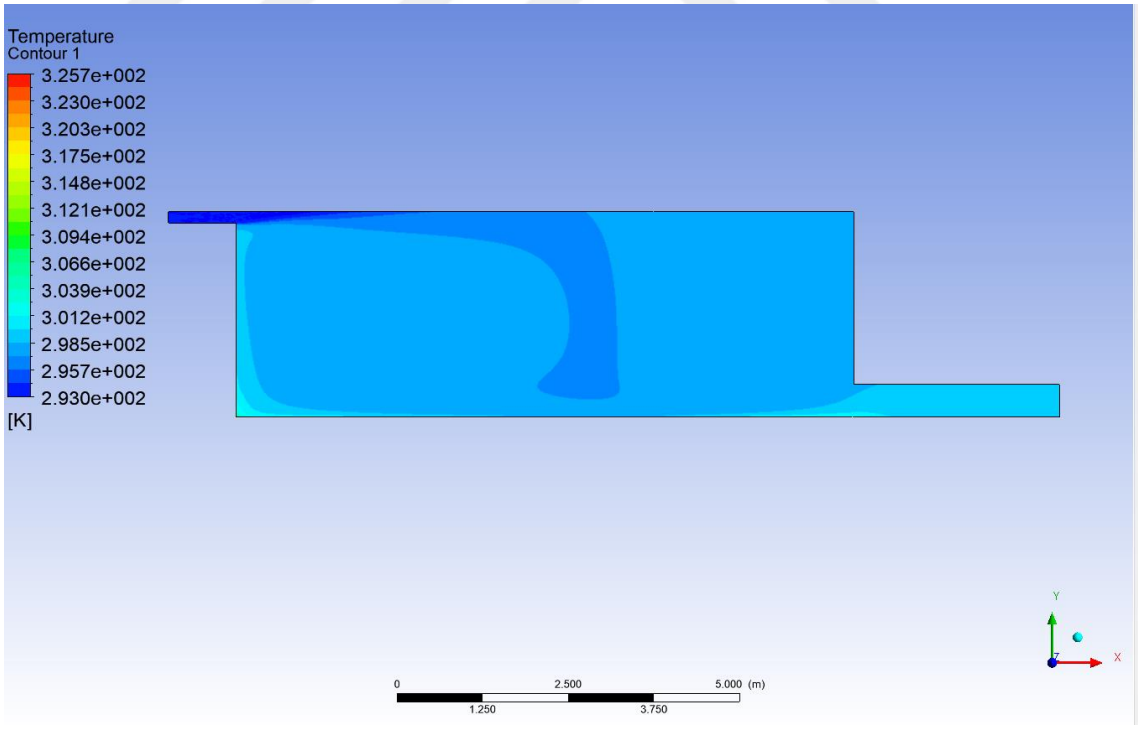
Şekil 4.126. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



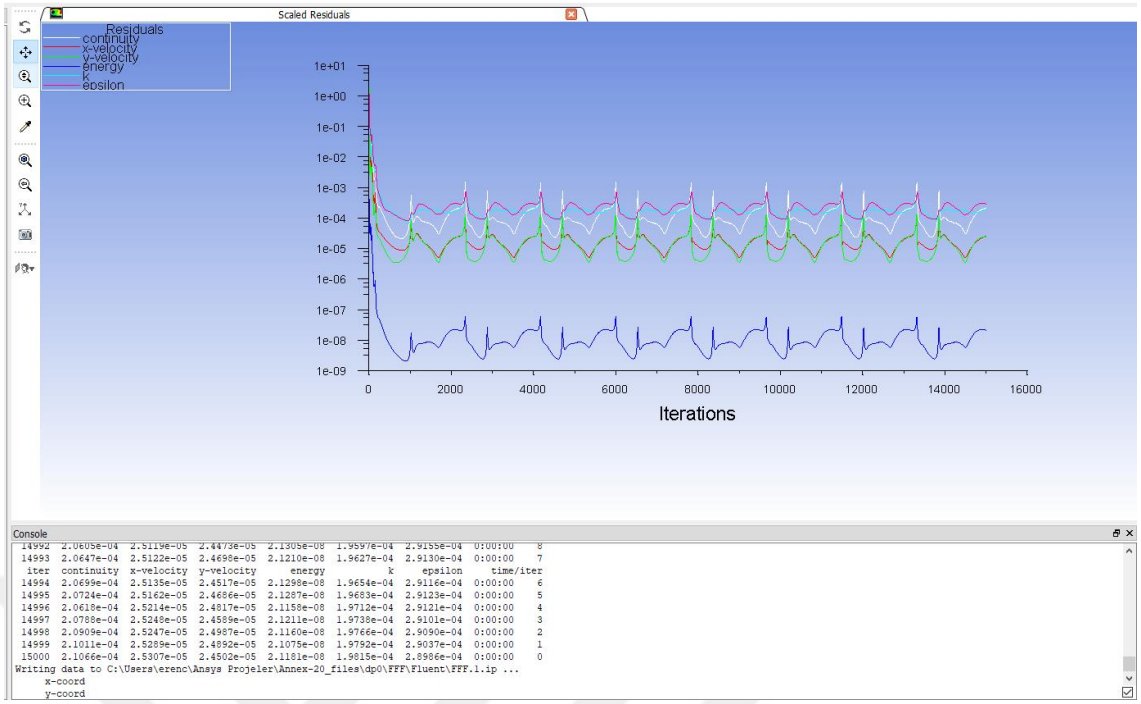
Şekil 4.127. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



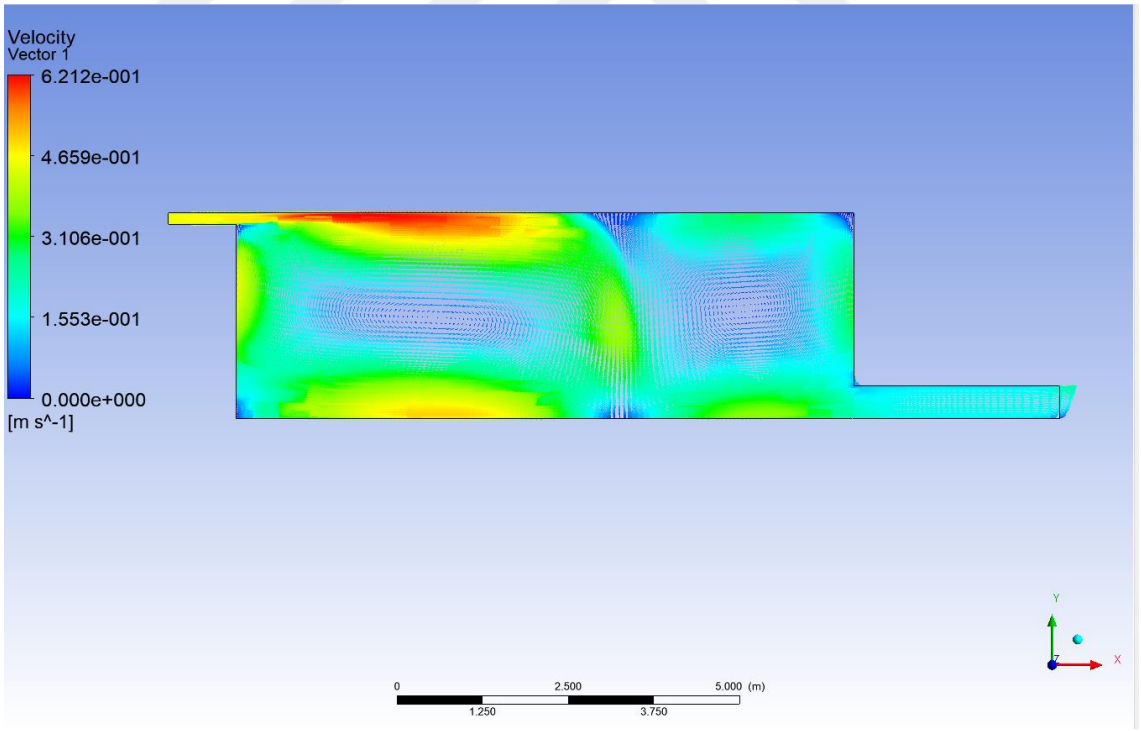
Şekil 4.128. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



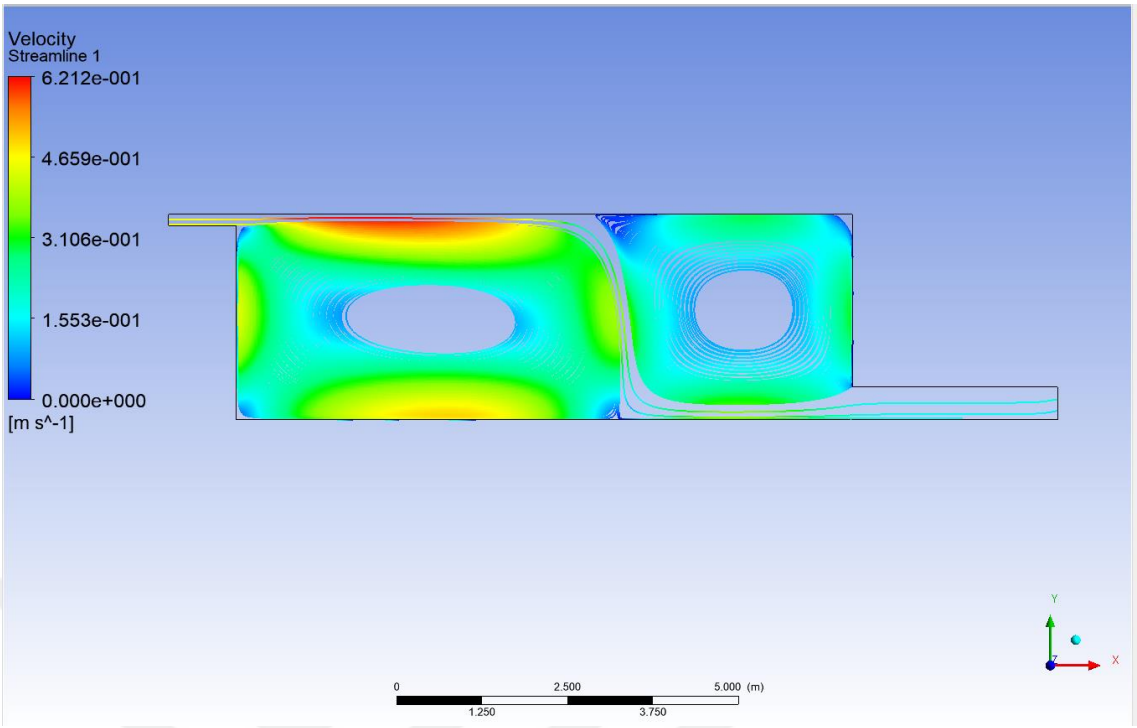
Şekil 4.129. Tu: %4 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



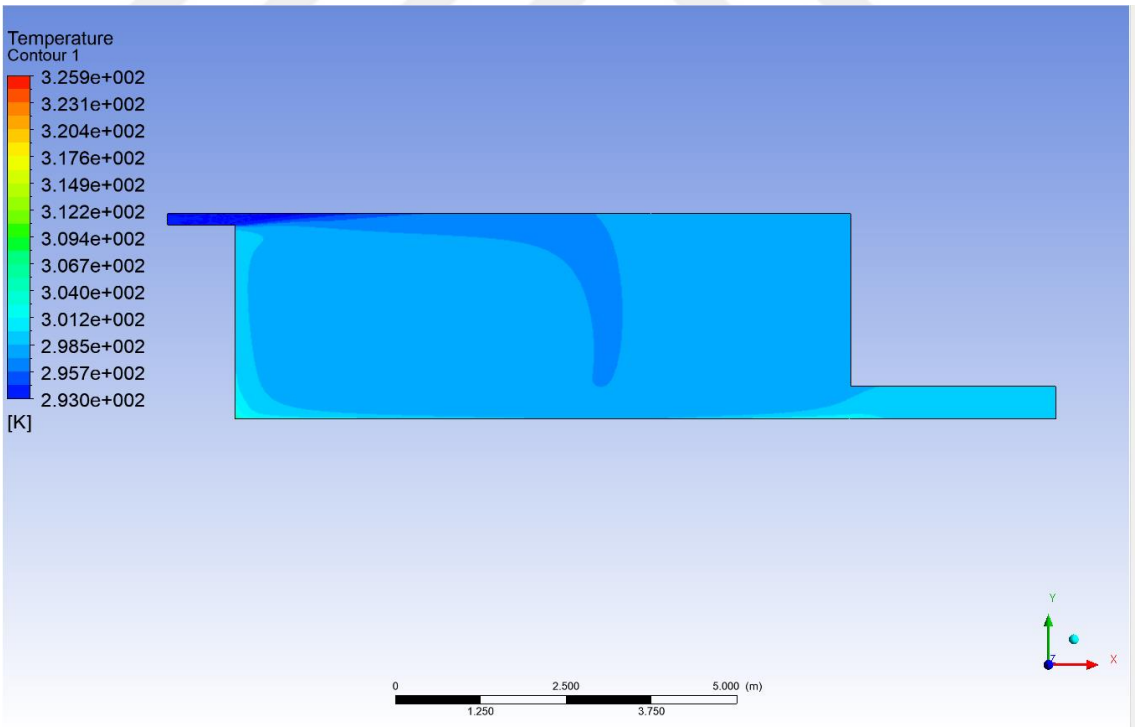
Şekil 4.130. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



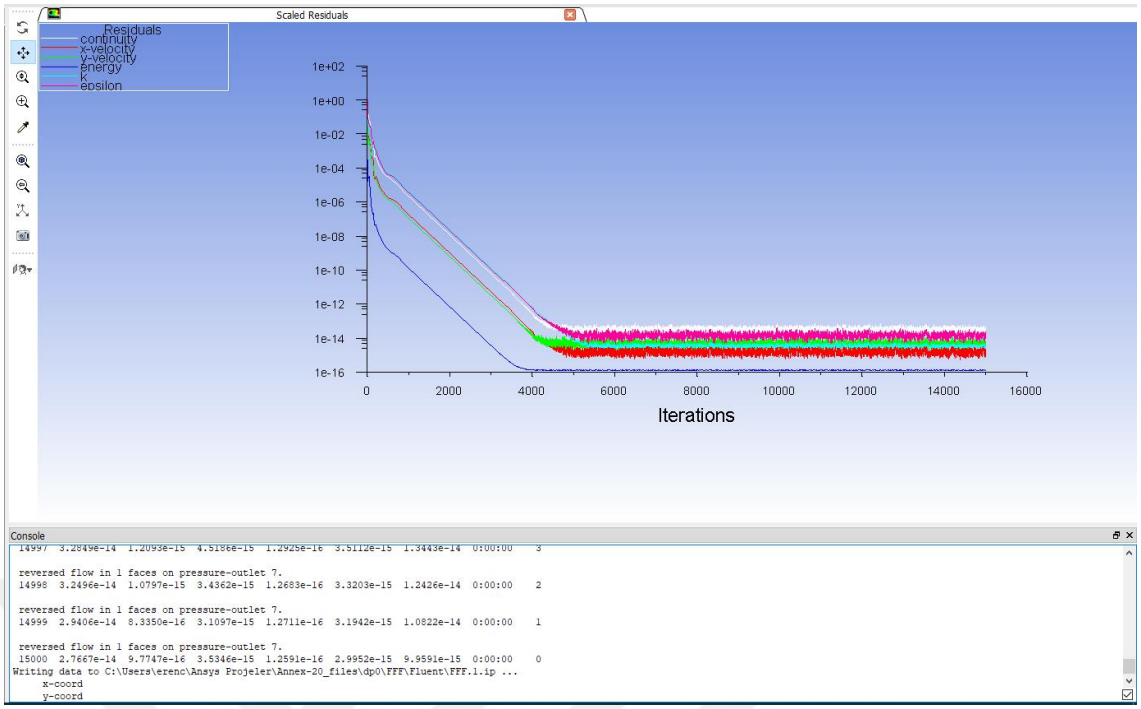
Şekil 4.131. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



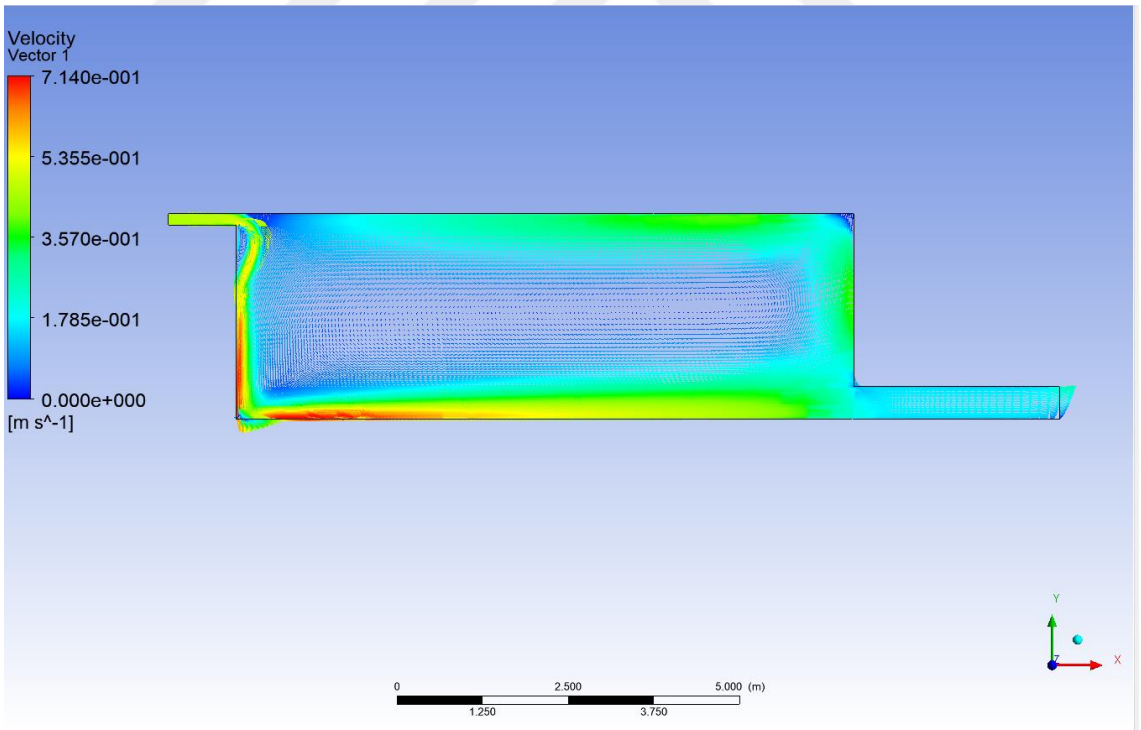
Şekil 4.132. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



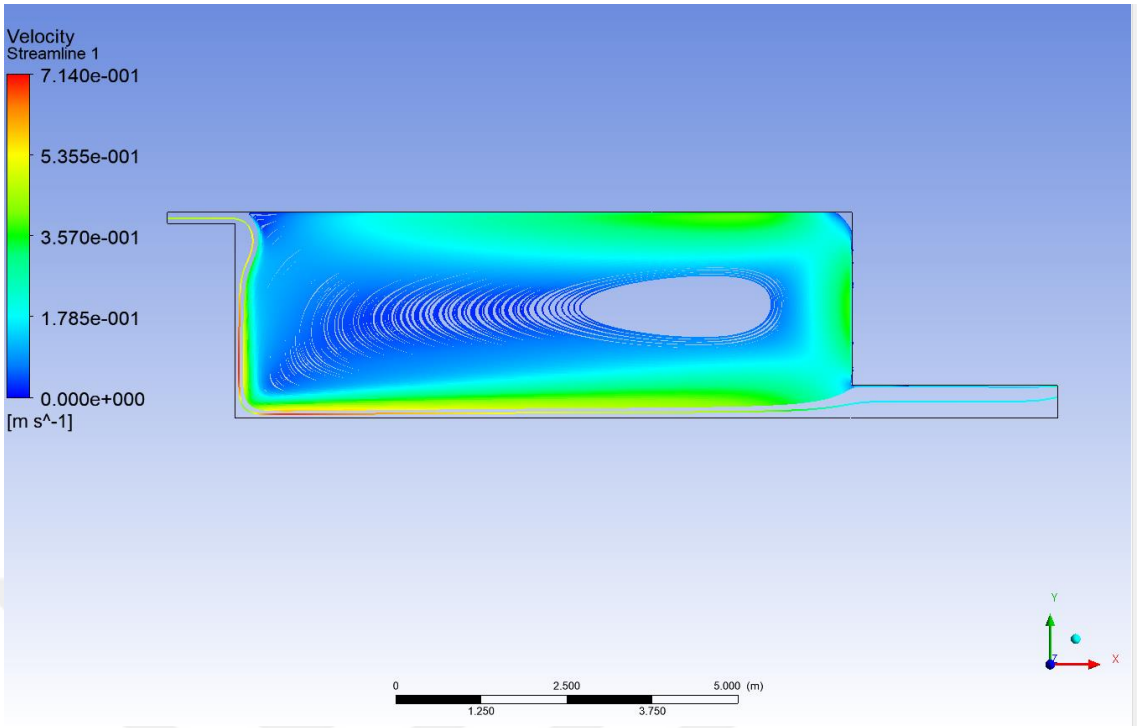
Şekil 4.133. Tu: %4 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



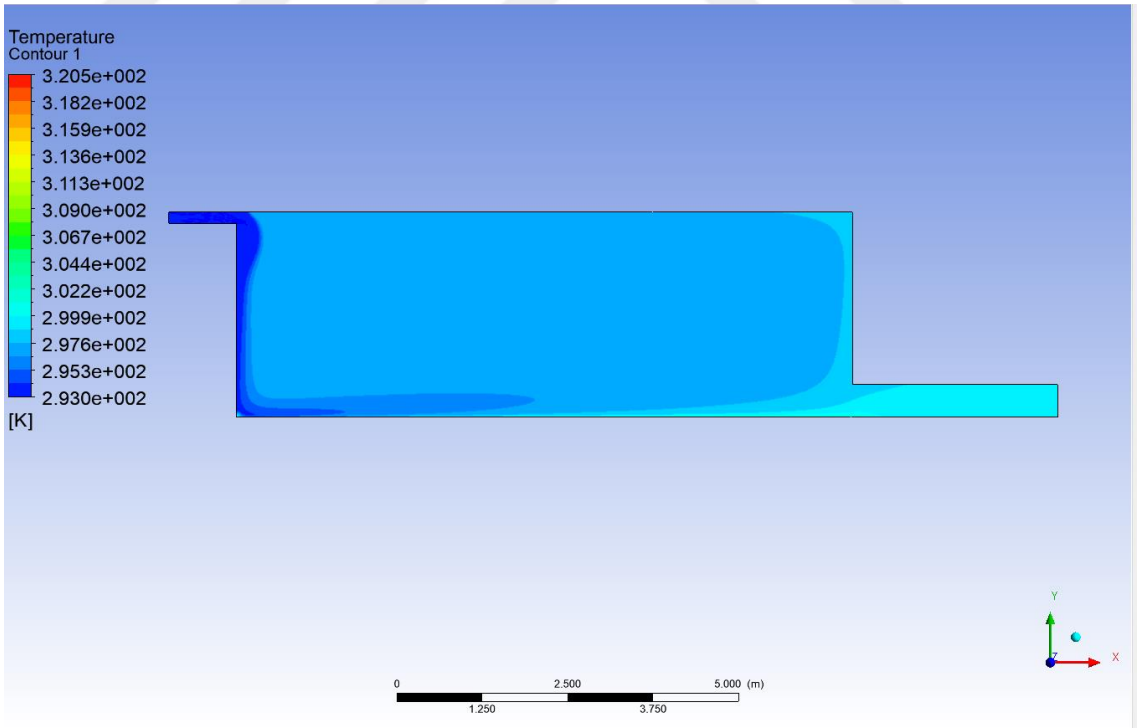
Şekil 4.134. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



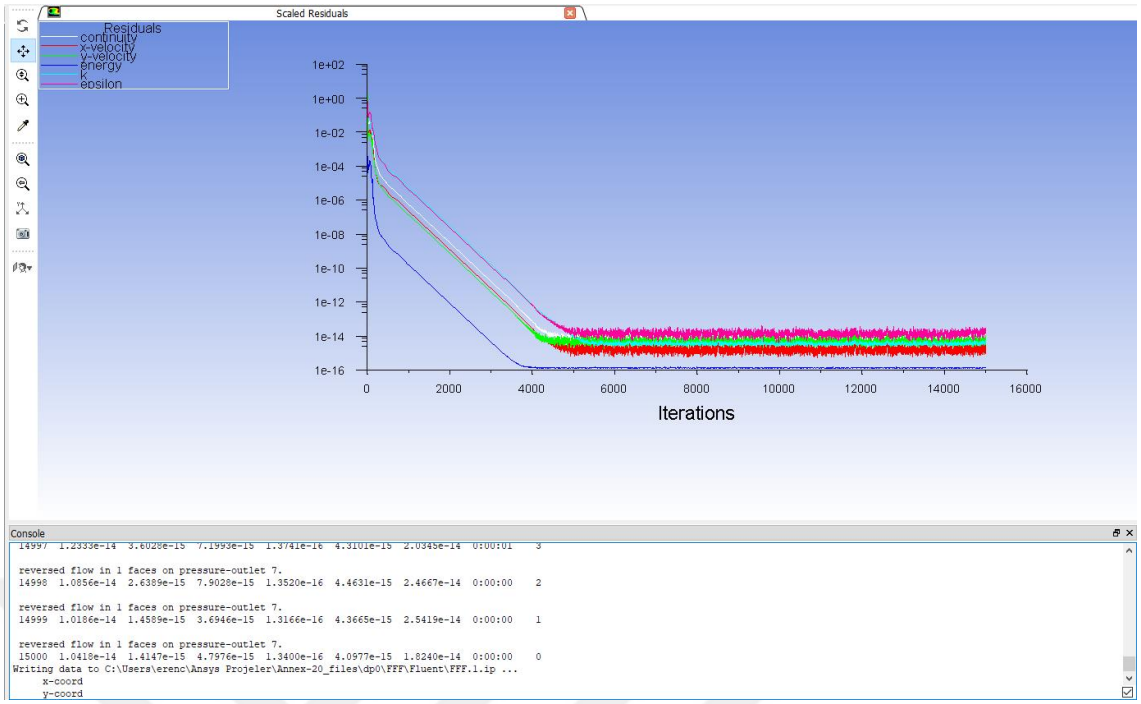
Şekil 4.135. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



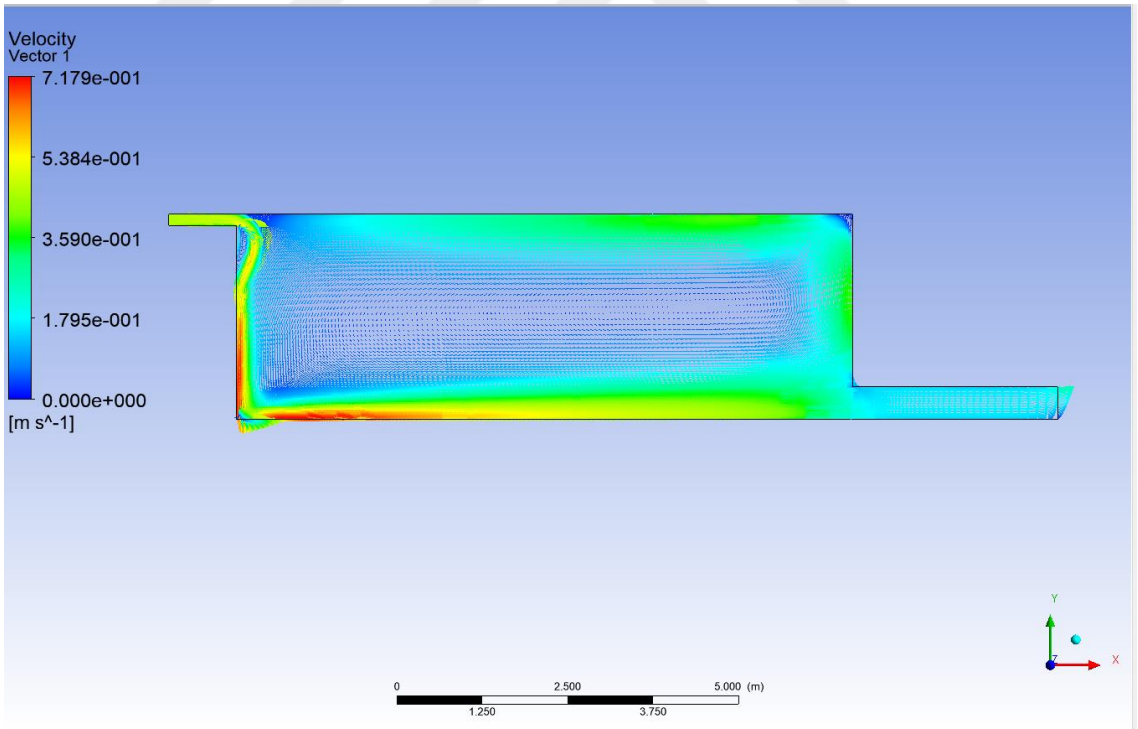
Şekil 4.136. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



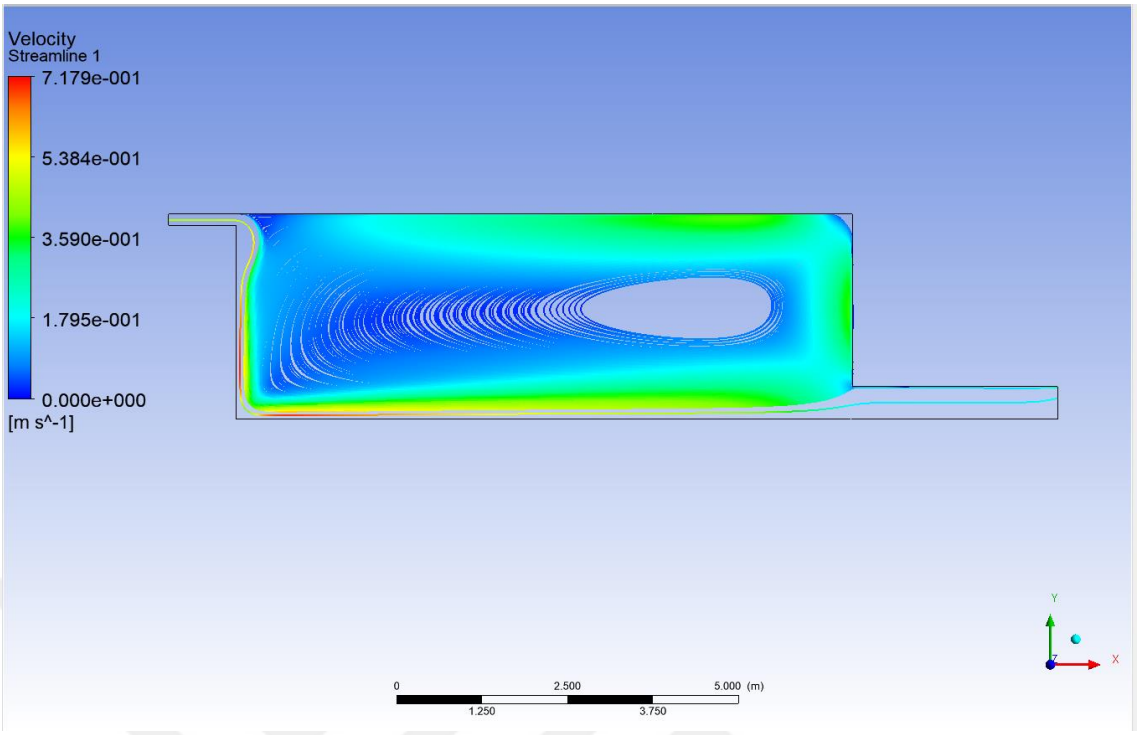
Şekil 4.137. Tu: %4 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



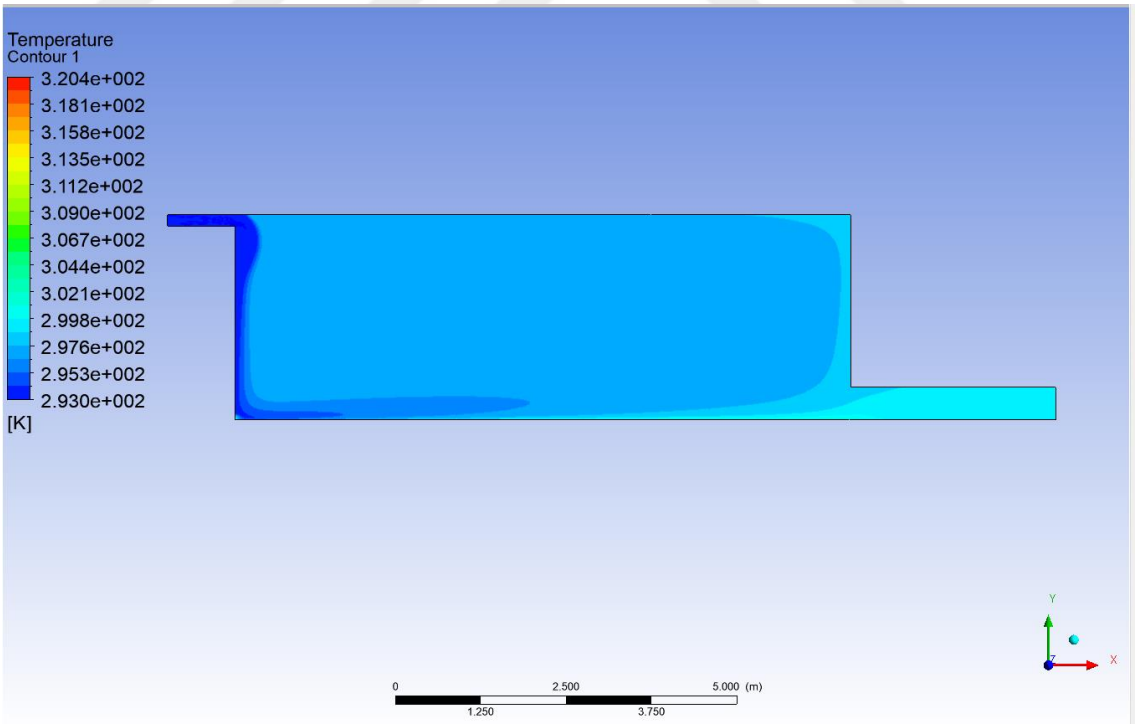
Şekil 4.138. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



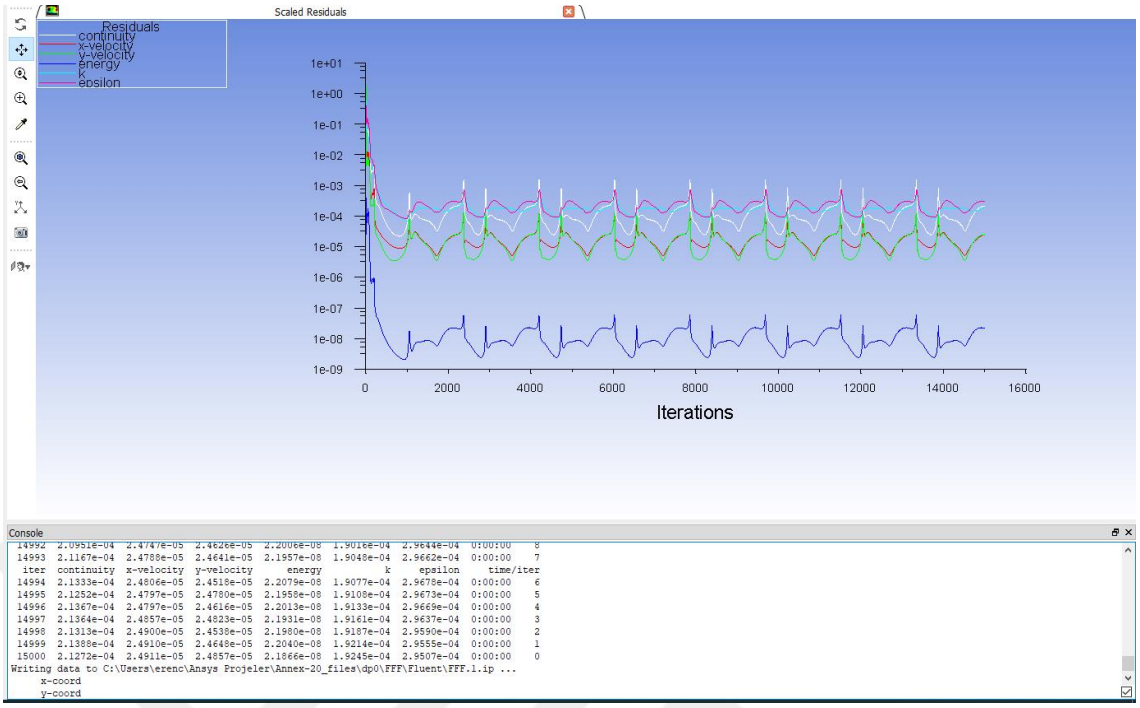
Şekil 4.139. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



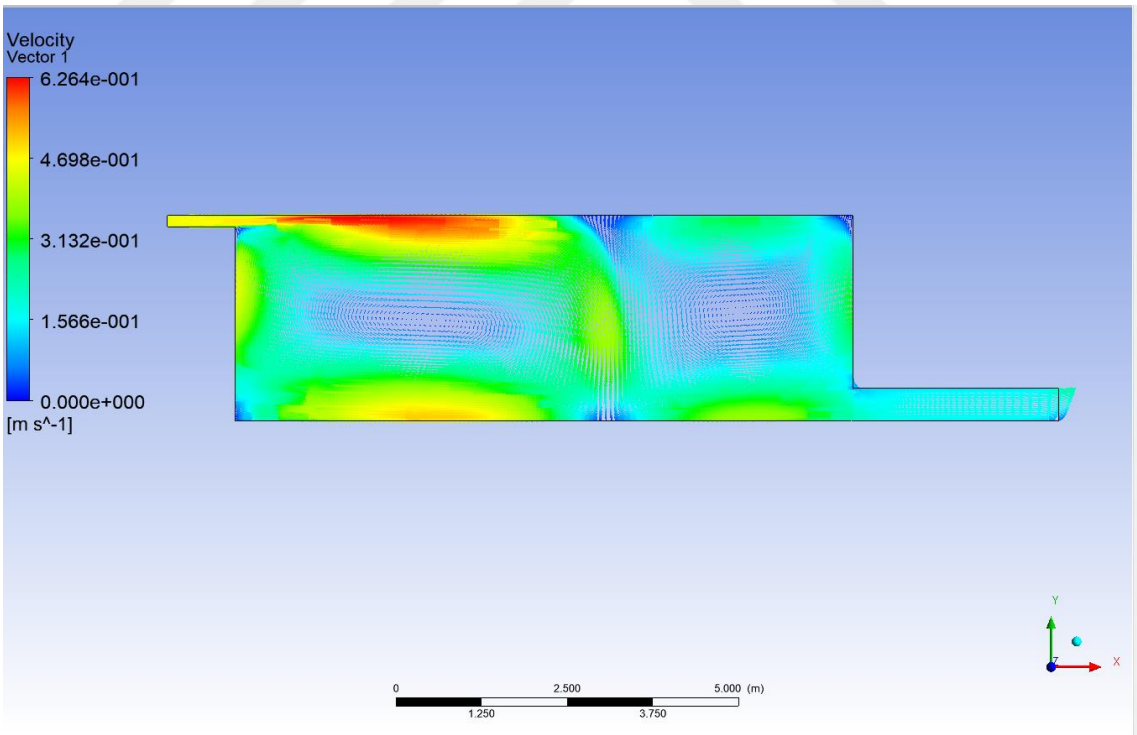
Şekil 4.140. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



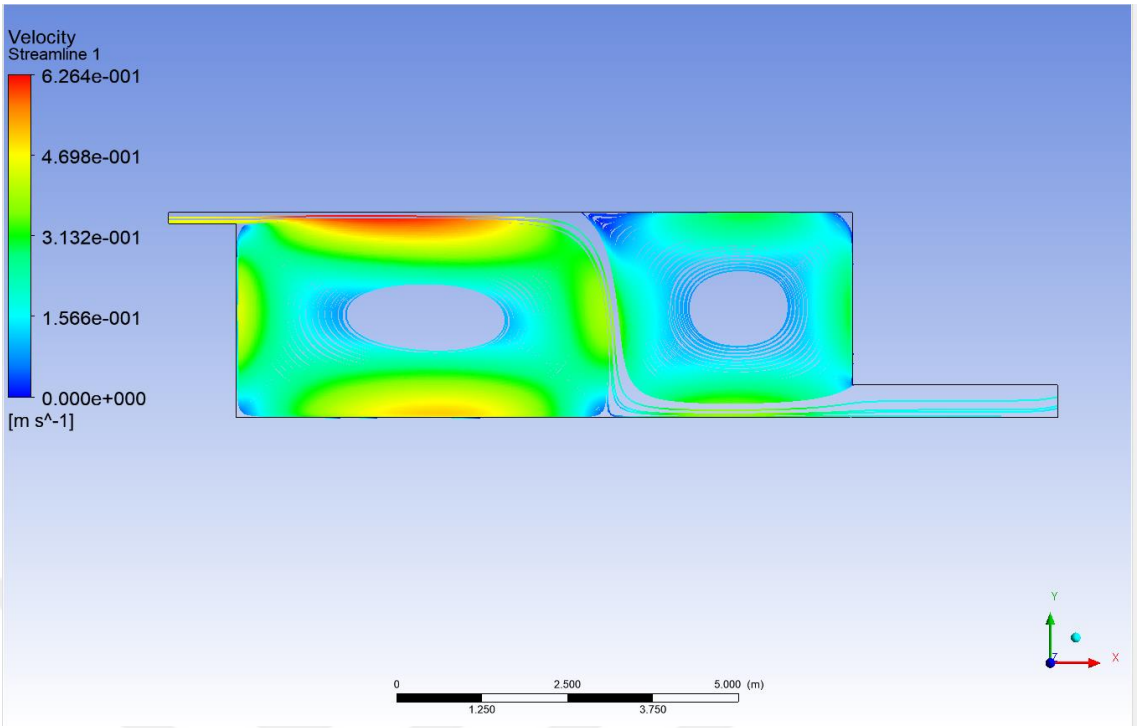
Şekil 4.141. Tu: %16 ve Ls:0,00168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



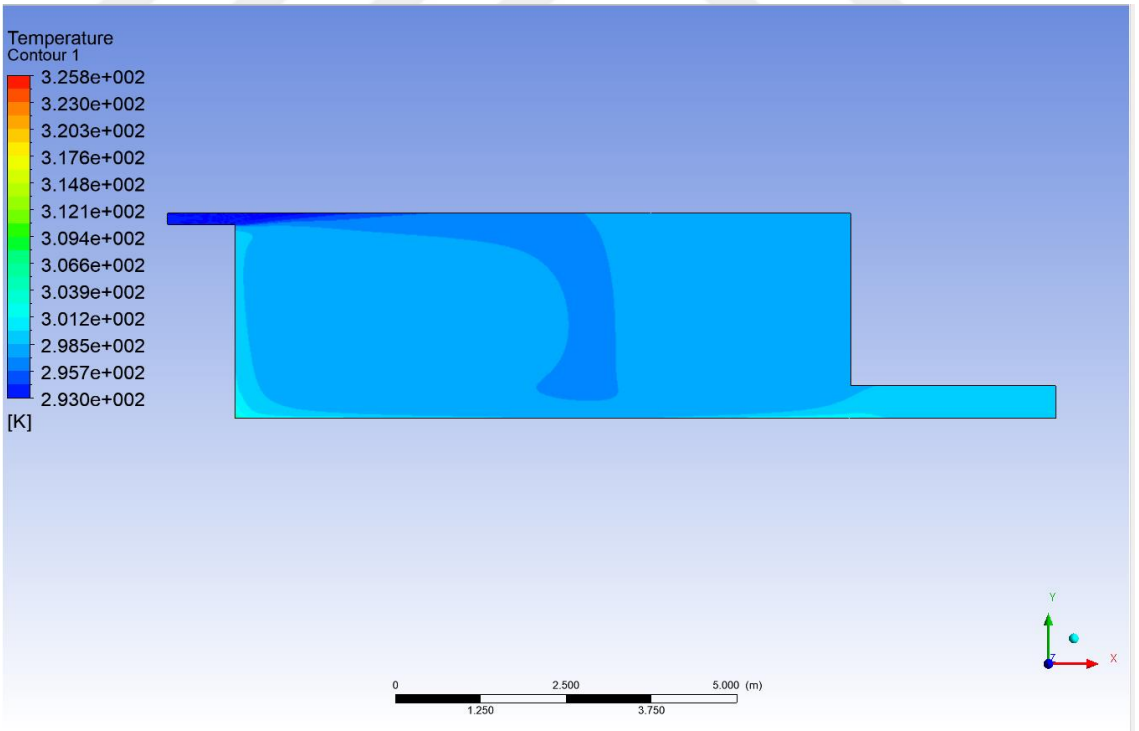
Şekil 4.142. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



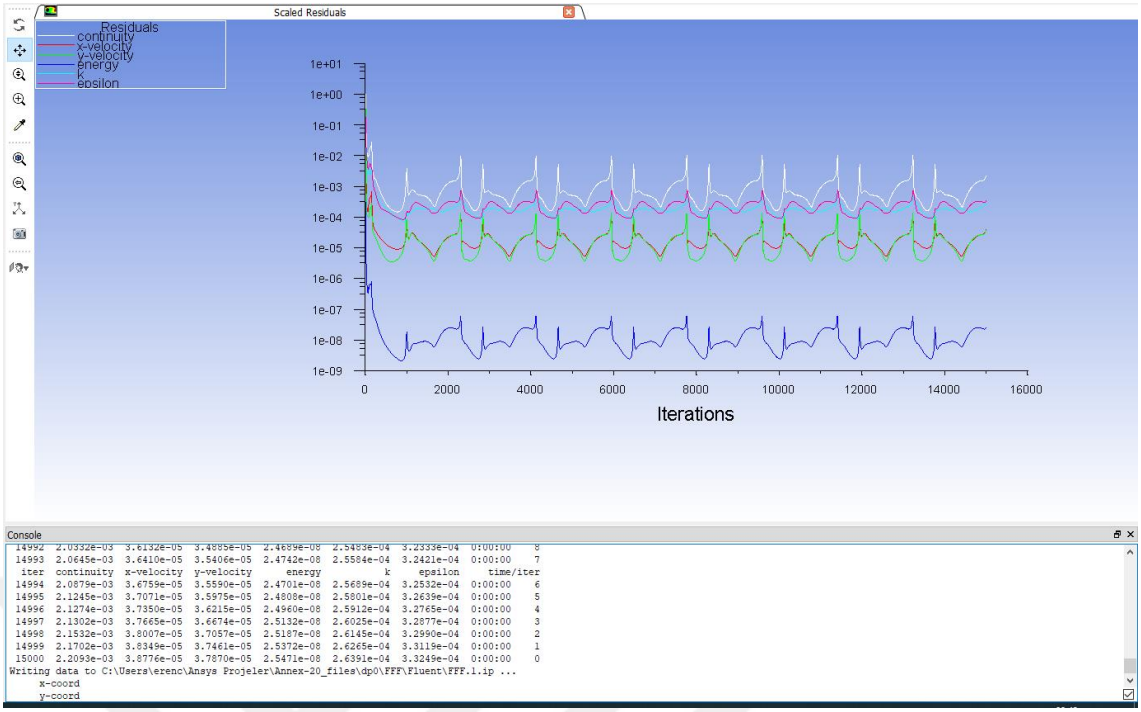
Şekil 4.143. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



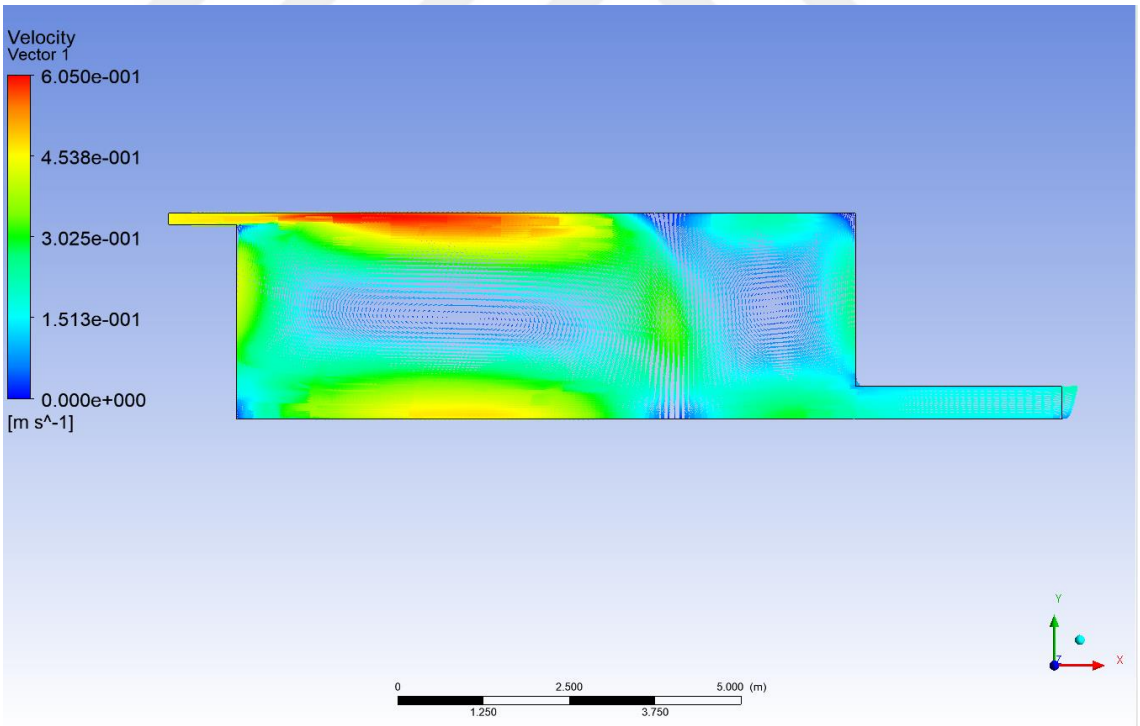
Şekil 4.144. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



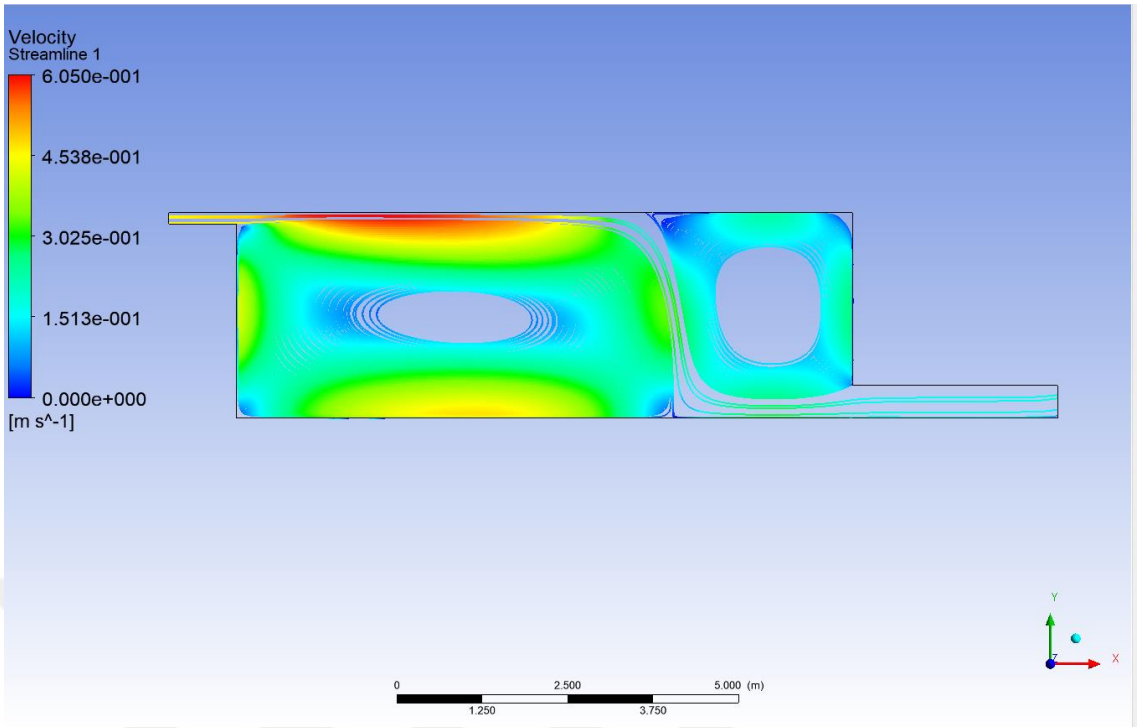
Şekil 4.145. Tu: %16 ve Ls:0,0168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı sıcaklık grafiği



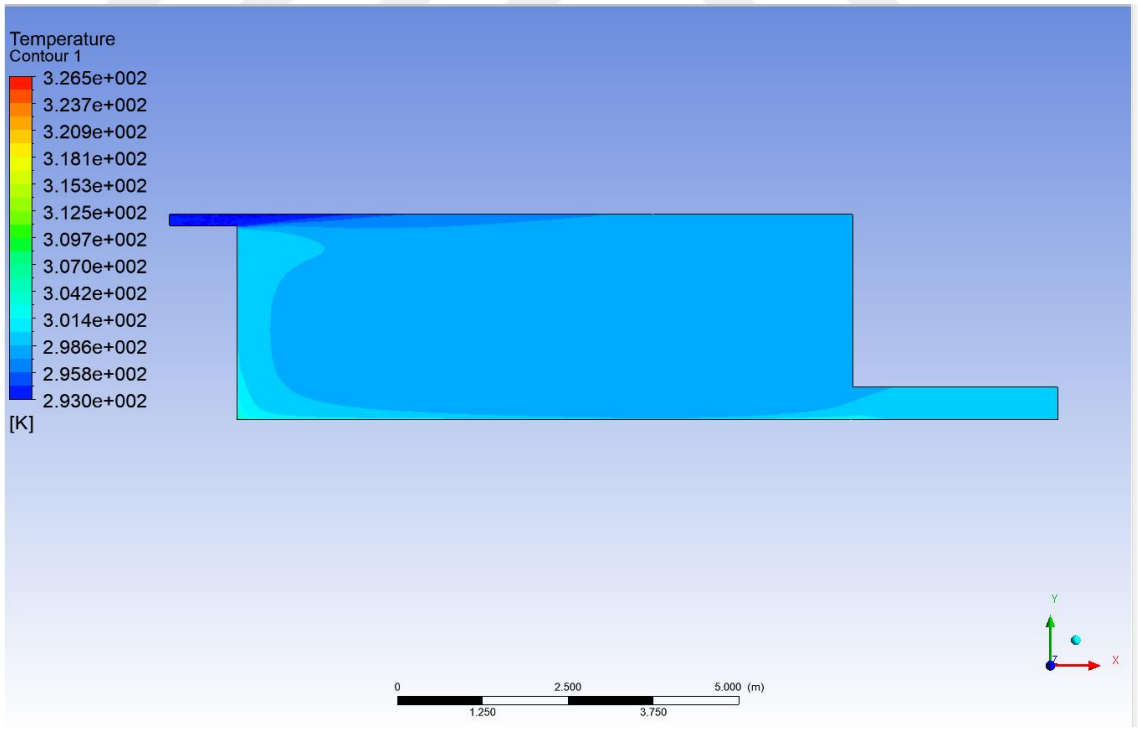
Şekil 4.146. Tu:%16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı 15000 adımda iterasyon sonuçları



Şekil 4.147. Tu:%16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı vektörel hız grafiği



Şekil 4.148. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı akış çizgisi grafiği



Şekil 4.149. Tu: %16 ve Ls:0,168 hibrit initilization ve ideal gaz yaklaşımı scıaklık grafiği

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

15000 iterasyonda her bir akış modeli analiz edilmiş ve vektörel hız dağılımları grafiğe dökülmüştür. Standart başlatma işleminde Boussinesq yaklaşımı incelendiğinde akışkanın odanın çıkış köşesinin yakınında toplandığı ve bir kısmının herhangi bir dağılım yaşamadan direkt odayı terkettiği gözlemlenmiştir. Kalan akışkan ise saat yönünde olacak şekilde odanın merkez kısmında bir dağılım gerçekleştirdiği görülmüştür. Bu durum hibrit başlatma işleminin Boussinesq yaklaşımında aynı şekilde gözlemlenmiştir. Akışkan ideal gaz formunda ise Boussinesq yaklaşımından oldukça farklı bir dağılım göstermiştir. Uzunluk ölçeğinin 0,00168 m ve Türbülans şiddetinin %1 ve %16 olduğu işlemlerde akışkan saat yönünün tersinde odanın merkezin bir dağılım gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda akışkanın odaya giriş kısmından itibaren al kenara yoğun bir şekilde hareket etmiş ve ısındıkça odanın üst kısımlarına doğru yönelmiştir. Bunun yanında uzunluk ölçeğinin ve türbülans şiddetinin bazı durumlarında akışkanın odada iki farklı dağılımı aynı zamanda gösterdiği gözlemlenmiştir. Örneğin uzunluk ölçeğinin 0,00168 m ve türbülans şiddetinin %16 olduğu bir analizde akışkanın odaya üst kenara yakın olacak şekilde hızla giriş yaptığı ve belirli bir mesafede (2L/3=6 m) saat yönünde girdap oluşturacak şekilde sol kenara doğru yöneldiği gözlemlenmiştir. Aynı sırada belirli miktarda akışkanın alt kenara doğru yöneldiği ve ısınarak saat yönünün tersinde bir girdap oluşturarak çıkışa yöneldiği gözlemlenmiştir. Aynı Tu ve LS değerleri için göz önüne alınan iterasyona başlama tipleri ve kaldırma kuvveti yaklaşımları altında akış modelleri saat yönünden (cw) saat yönünün tersine (ccw) veya saat yönünden saat yününde-saat yönünün tersine ara duruma değişmiştir

Analizlerde Annex 20 odası için RNG k - ε ve Scalable wf'da sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle düşük hızlarda odaya giriş yapan akışkanın homojen bir şekilde oda içerisinde bir dağılım göstererek odaya yayılmasına karşın yüksek türbülans şiddetinde ideal gaz kabulünde akışkanın oda içerisinde homojen yayılmadığı ve farklı yönlerde ve yoğun bir şekilde girdaplar oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 2. Aynı initialization metodunda kaldırma kuvveti yaklaşımının etkisi

Standart Initialization				Hibrit Initialization			
Boussinesq Yaklaşımı		İdeal Gaz Yaklaşımı		Boussinesq Yaklaşımı		İdeal Gaz Yaklaşımı	
Tu	LS	Tu	LS	Tu	LS	Tu	LS
0,01 (1%)	0,00168 cw	0,01	0,00168 cw-ccw	0,01	0,00168 cw	0,01	0,00168 ccw
	0,0168 cw		0,0168 cw-ccw		0,0168 cw		0,0168 ccw
	0,168 cw		0,168 cw-ccw		0,168 cw		0,168 cw-ccw
0,04 (4%)	0,00168 cw	0,04	0,00168 cw-ccw	0,04	0,00168 cw	0,04	0,00168 cw-ccw
	0,0168 cw		0,0168 cw-ccw		0,0168 cw		0,0168 cw-ccw
	0,168 cw		0,168 cw-ccw		0,168 cw		0,168 ccw
0,16 (16%)	0,00168 cw	0,16	0,00168 cw-ccw	0,16	0,00168 cw	0.16	0,00168 ccw
	0,0168 cw		0,0168 cw-ccw		0,0168 cw		0,0168 cw-ccw
	0,168 cw		0,168 cw		0,168 cw		0,168 cw-ccw

Standard initialization metodunda Tu ve LS aynı olmasına rağmen tablonun altındaki kırmızıyla gösterilen son durum hariç tüm durumlarda girdap yönü cw'den cw-ccw'ye değişmektedir. Yani sınır şartları aynı kalmasına rağmen akış modeli değişmektedir. Hybrid initialization metodunda Tu ve LS aynı olmasına rağmen tüm durumlarda girdap yönü cw'den ya ccw'ye ya da cw-ccw'ye değişmektedir. 1'inci, 2'nci ve 6'ncı, 7'nci durumlarda (satırlarda) cw'den ccw'ye değişmekte; 3'üncü, 4'üncü, 5'inci, 8'inci ve 9'uncu durumlarda (satırlarda) cw'den cw-ccw'ye değişmektedir. Yani yine sınır şartları aynı kalmasına rağmen akış modeli değişmektedir. Her iki initialization metodunda da kaldırma kuvveti yaklaşımı değiştiğinde bir durum hariç (kırmızıyla gösterilen) tüm durumlarda akış modeli değişmektedir.

Çizelge 3. Aynı kaldırma kuvveti yaklaşımında initialization metodunun etkisi

Standart Initialization				Hibrit Initialization			
Boussinesq Yaklaşımı		İdeal Gaz Yaklaşımı		Boussinesq Yaklaşımı		İdeal Gaz Yaklaşımı	
Tu	LS	Tu	LS	Tu	LS	Tu	LS
0,01 (1%)	0,00168 cw	0,01	0,00168 cw-ccw	0,01	0,00168 cw	0,01	0,00168 ccw
	0,0168 cw		0,0168 cw-ccw		0,0168 cw		0,0168 ccw
	0,168 cw		0,168 cw-ccw		0,168 cw		0,168 cw-ccw
0,04 (4%)	0,00168 cw	0,04	0,00168 cw-ccw	0,04	0,00168 cw	0,04	0,00168 cw-ccw
	0,0168 cw		0,0168 cw-ccw		0,0168 cw		0,0168 cw-ccw
	0,168 cw		0,168 cw-ccw		0,168 cw		0,168 ccw
0,16 (16%)	0,00168 cw	0,16	0,00168 cw-ccw	0,16	0,00168 cw	0.16	0,00168 ccw
	0,0168 cw		0,0168 cw-ccw		0,0168 cw		0,0168 cw-ccw
	0,168 cw		0,168 cw		0,168 cw		0,168 cw-ccw

Aynı kaldırma kuvveti (Boussinesq) yaklaşımında initialization metodunun değişmesi akış modelinde herhangi bir değişikliğe sebep olmamaktadır (3'üncü ve 9'uncu sütunlar cw olarak aynı kalmaktadır). Aynı kaldırma kuvveti (Ideal Gas) yaklaşımında 3'üncü, 4'üncü, 5'inci, 8'inci durumlarda (satırlarda) initialization metodunun değişmesi akış modelinde yine herhangi bir değişikliğe sebep olmamaktadır. Yalnızca 1'inci, 2'nci, 6'ncı, 7'nci durumlarda akış modeli cw-ccw'den ccw'ye değişmekte sadece son durum olan 9'uncu durumda (satırda) cw'den cw-ccw'ye değişmektedir.

Tüm çalışmadan çıkarılacak sonuç, aynı sınır şartları altında iterasyondan bağımsızlığın sağlanması koşuluyla oda havalandırmasında sayısal sonuçlarda çözüm çokluğuyla (Solution multiplicity) karşılaşılabileceğidir. Esas olarak buna çözülen denklemlerin non-lineer olmasının sebep olduğu söylenebilir. Çünkü literatürde bu tarz kaotik sonuçlara non-lineer denklemlerin çözümünde sınır şartları aynı kalsa da başlangıç şartlarındaki çok küçük değişikliklerin bile sebep olabileceği bildirilmiştir. Bu sonuçlar sadece oda havalandırmasıyla ilgili değil non-lineer denklemlerin çözüldüğü her türlü farklı uygulamalarda karşımıza çıkabilir. Dolayısıyla non-lineer denklemler kapsayan sayısal

çözümlerde çözüm çokluğuyla karşılaşılabileceği akılda tutulmalıdır. Çalışmanın geliştirilebilmesi açısından, daha yüksek bir değerde iterasyonun gerçekleştirilmesi (örn. 27000 iterasyon sayısında) girdap yönlerinin karşılaştırılmasında daha net sonuçlar verecektir ve güvenilirliğini arttıracaktır.

KAYNAKLAR

ANSYS, Inc. (2013). ANSYS Fluent User and Theory Guide 15.0 Release

ANSYS, Inc. (2010). ANSYS Fluent User and Theory Guide 13.0 Release

Alfonsi, G. (2009). Reynolds-averaged navier–stokes equations for turbulence modeling, Applied Mechanic Reviews, 62, doi:10.1115/1.3124648.

Awbi, H. B. (1989). Application of compututional fluid dynamics in room ventilation, buiding and environment, University of Reading, doi:10.1016/0360-1323(89)90018-8.

Awbi, H. B., Clements-Croome, D. J., Chu, G. (1992, Temmuz). Prediction of air flow and thermal comfort in offices, ISCRACVE konferansında sunulan bildiri, Universtiy of Tokyo, https://www.researchgate.net/publication/344206404

Awbi, H.B. (2005). Ventilation and air distribution systems in buildings. Frontiers in Mechanical Engineering, 1: 1-4.

Awbi, H.B. (1989). Application of computational fluid dynamics in room ventilation. building and environment, 24(1): 73-84.

Awbi, H.B., Guohui, G. (1994). Predicting air flow and thermal comfort in offices. ASRAEJ Journal, 36: 17-20.

Awbi, H.B. (1998). Energy efficient room air distribution. Renew. Energy, 15: 293–299.

Chen, Q. (1995). Comparison of different k-ε models for indoor air flow computations. Numerical Heat Transfer, Part B, 28(3): 353-369.

Chen, Q., Srebric, J. (2000). Application of CFD tools for indoor and outdoor environment design. Int. J. Archit. Sci., 1(1): 14–29.

Chen, Q., Zhai, Z. (2004). The use of CFD tools for indoor environmental design: Advanced Building Simulation, Ed.: Malkawi, A., Augenbroe, G., Spon Press, New York, pp. 119-140.

Chen, Q. (2009). Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications. Building and Environment, 44: 848-858.

Costa, J.J., Oliveiraa, L.A., Blayb, D. (1999). Test of several versions for the k-ε type turbulence modelling of internal mixed convection flows. Int. Journal of Heat and Mass Transfer, 42: 4391-4409.

Ezzouhri, R., Joubert, P., Penot, F., Mergui, S. (2009). Large Eddy simulation of turbulent mixed convection in a 3D ventilated cavity: Comparison with existing data, International Journal of Thermal Sciences, 48:2017-2024.

Li, Y., Nielsen, P. V. (2011). CFD and ventilation research, doi:10.1111/j.1600 0668.2011.00723.x

Lemaire, A.D., Chen, Q., Ewert, M., Heikkinen, J., Inard, C., Moser, A., Nielsen, P.V., & Whittle, G. (1993). Room air and contaminant flow, evaluation of computational methods, Subtask-1.

Launder, B. E., Spalding, D. B. (1974). The numerical computation of turbulent flows. computer methods in applied mechanics and engineering, 3:269-289, doi: 10.1016/0045-7825(74)90029-2

Le Dreau, J., Heiselberg, P., Nielsen, P. V. (2012). Simulation with different turbulence models in an Annex 20 benchmark test using Star-CCM+, Department of Civil Engineering, University of Aalborg, Aalborg, https://www.cfdbenchmarks.com/digitalAssets/592/592376_ledreau_j_heiselberg_p_and_nielsen_pv_2012.pdf

Li, Y., Nielsen, P.V. (2011). Commemorating 20 years of Indoor Air: CFD and ventilation research, Indoor Air, 21:442-453.

Nielsen, P.V. (1990). Specification of a Two-Dimensional Test Case: (IEA). Aalborg: Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet. Aalborg.

Nielsen, P.V. (2004). Computational fluid dynamics and room air movement. Indoor Air, 14(7): 134-143.

Nielsen, P.V. (2015). Fifty years of CFD for room air distribution. Build. Environ., 91: 78-90.

Pulat, E., Ersan, H.A. (2015). Numerical simulation of turbulent airflow in a ventilated room: Inlet turbulence parameters and solution multiplicity. Energy and Buildings, 93: 227-235.

Pulat, E., Yüce, B.E. (2018). Forced, natural and mixed convection benchmark studies for indoor thermal environments. International Communications in Heat and Mass Transfer, 92: 1-14, doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.02.003

Pulat, E., Yüce, B. E. (2015). Oda havalandırmasında hava akışı, sıcaklık dağılımı, ısı transferi ve ısıl konforun sayısal Simülasyonları [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 425999)

Pulat, E., Yüce B. E. (2019). Ofis ortamında türbülanslı akış modellerinin karşılaştırılması ve çeşitli sistemlerinin ısıl konfor indisleri ve Gagge modeli kullanılarak sayısal simülasyonu [Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi. (Tez No: 594796)

Rong, L., Nielsen, P.V. (2008). *Simulation with different turbulence models in an Annex 20 room benchmark test using ANSYS CFX 11.0.* Aalborg: Department of Civil Engineering, Aalborg University. Aalborg.

Rong, L., Nielsen, P.V. (2010). *The IEA Annex 20 Two-Dimensional Benchmark Test for CFD Predictions.* Clima 2010:10th Rehva World Congress: Sustainable Energy Use in Buildings, 9-12 May, 2010, Antalya, Turkey.

Tu, J., Yeoh, G. H., Liu, C. (2020). *Hesaplamalı akışkanlar dinamiği temelleri ve uygulamaları,* Ankara: Palme Yayınevi

Voigt, L.P.K. (2000). *Comparison of turbulence models for numerical calculation of airflow in an annex 20 room*. Department of Energy Engineering, Technical University of Denmark. Kopenhag.

Zhai, Z.J., Zhang, Z., Zhang, W., Chen, Q.Y. (2007). *Evaluation of various turbulence models in predicting airflow and turbulence in enclosed environments by CFD*: Part 1-Summary of Prevalent Turbulence Models. HVAC&R Research, 13(6): 853-870.