

**GERİ BASAMAK AKIŞLARINDA DIŞ
TÜRBÜLANSIN VE BASINÇ GRADYENİNİN ISI
TRANSFERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Murat ATEŞ



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GERİ BASAMAK AKIŞLARINDA DIŞ TÜRBÜLANSIN VE BASINÇ
GRADYENİNİN ISI TRANSFERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Murat ATEŞ

Yrd. Doç. Dr. Erhan Pulat

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2015

TEZ ONAYI

Murat ATEŞ tarafından hazırlanan “Geri Basamak Akışlarında Dış Türbülansın ve Basınç Gradyeninin Isı Transferi Üzerine Etkileri” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yard. Doç. Dr. Erhan Pulat

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Erhan PULAT İmza
Uludağ Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI İmza
Uludağ Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kemal Furkan SÖKMEN İmza
Bursa Teknik Üni. Doğa Bil., Mim. ve Müh. Fak.
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman Demir

Enstitü Müdürü

.../.../...

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarını eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.././

Murat ATEŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GERİ BASAMAK AKIŞLARINDA DIŞ TÜRBÜLANSIN VE BASINÇ GRADYENİNİN ISI TRANSFERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Murat ATEŞ

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erhan PULAT

Bu çalışmada, geri basamak akışlarında dış türbülansın ve basınç gradyeninin ısı transferi üzerine etkileri sayısal olarak araştırılmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan geri basamak geometrileri ve bu geometrilerin uyarlanmış durumları kullanılmış olup, akış iki boyutlu, sıkıştırılmaz ve türbülanslı olarak göz önüne alınmıştır. Önce Standard $k-\varepsilon$, RNG $k-\varepsilon$ ve Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modelleri yeniden birleşme uzunluğu ve ısı transferi açısından karşılaştırılmıştır. Bu amaçla ANSYS FLUENT 12.0 kullanılarak tüm karşılaştırmalarda algoritma, uzaysal ayrıklaştırma ve yakın duvar modellemesi etkileri göz önüne alınmıştır. Deneysel veriyle en uyumlu yeniden birleşme uzunluğu SIMPLE algoritması, ikinci derece upwind ayrıklaştırması (Second Order Upwind-SOU) ve standard duvar fonksiyonu (Standard Wall Function-SWF) kullanarak Realizable $k-\varepsilon$ modeliyle elde edilmiştir. Deneysel verilerle en uyumlu ısı transferi dağılımı ise SIMPLE-C algoritması, birinci derece upwind ayrıklaştırması (First Order Upwind-FOU) ve dengesiz duvar fonksiyonu (Nonequilibrium Wall Function-NEWF) kullanarak yine Realizable $k-\varepsilon$ modeliyle elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre dış türbülansın ve basınç gradyeninin etkileri SIMPLE-C algoritması, birinci derece ayrıklaştırması ve dengesiz duvar fonksiyonuyla Realizable $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılarak araştırılmıştır. Dış türbülans etkilerinin incelenmesinde ayrıca Standard $k-\omega$ ve SST $k-\omega$ modelleri de SIMPLE-C algoritması ve birinci derece upwind ayrıklaştırmasıyla denenmiştir. Basınç gradyeni etkisi olmadan giriş türbülans şiddeti arttıkça yeniden birleşme uzunluğu yavaşça azalmakta ve yerel Stanton (St) sayısı dağılımı da yavaşça artmaktadır. Türbülans şiddeti etkisi olmadan ters basınç gradyeni arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artmakta ve yerel St sayısı da yavaşça azalmaktadır. Son olarak genişleme oranının yerel St sayısı dağılımı üzerine etkileri de araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geri basamak akışı, ısı transferi, yeniden birleşme uzunluğu, ters basınç gradyeni, türbülans şiddeti, hesaplamalı analiz

2015, xvi + 143 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

THE EFFECTS OF OUTER TURBULENCE AND PRESSURE GRADIENT ON HEAT TRANSFER IN BACKWARD FACING STEP FLOW

Murat ATEŞ

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy

SIMPLE-C algorithm

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Erhan PULAT

In this study, the effects of outer turbulence and pressure gradient on heat transfer in backward facing step (BFS) flows are investigated numerically. BFS geometries that are commonly used in literature and their adopted forms are used and flow is considered as two dimensional, incompressible and turbulent. Firstly, Standard, RNG and Realizable $k-\varepsilon$ turbulence models are compared by considering their prediction capability of reattachment length and heat transfer distribution. For this purpose, by using ANSYS FLUENT 12.0, effects of algorithm, spatial discretization and near wall modelling approaches are also considered in all comparisons. The best predicted reattachment length is obtained by using Realizable $k-\varepsilon$ model with SIMPLE algorithm, Second Order Upwind (SOU) spatial discretization and Standard Wall Function (SWF). The best predicted heat transfer distribution is obtained by using again Realizable $k-\varepsilon$ model with SIMPLE-C algorithm, First Order Upwind (FOU) spatial discretization and Non-equilibrium wall function (NEWF). According to these results, the effects of outer turbulence and pressure gradient are investigated by using Realizable $k-\varepsilon$ model with SIMPLE-C algorithm, FOU spatial discretization and NEWF. In addition, Standard $k-\omega$ and SST $k-\omega$ models with SIMPLE-C algorithm and FOU spatial discretization are also tested in investigation of the effects of outer turbulence. Without pressure gradient effect, reattachment length slightly decreases and local Stanton (St) number distribution slightly increases with increasing inlet turbulence intensity. Without outer turbulence effect, reattachment length increases and local St number distribution slightly decreases with increasing adverse pressure gradient. Finally, effects of expansion ratio on the local St number distribution are also investigated.

Key Words: Backward face step flow, heat transfer, reattachment length, adverse pressure gradient, turbulence intensity, computational analysis

2015, xvi + 143 pages

TEŐEKKÖR

Bu tez alıŐması boyunca, motive edici yaklaşımları ile bana yardımcı olan tÖm alıŐma arkadaşlarıma; sağladıkları teknik destek ile bu alıŐmanın hazırlanmasında yardımcı olan Uludağ Üni. Mühendislik Fak. Makine Müh. Bölümü öğretim üyeleri ve öğretim görevlilerine; yaptığı yönlendirmeler ve hazırlanan plan çerçevesinde izlenecek yolu gösterip bu tezin hazırlanmasında büyük emeği olan danışman hocam Yard. Doç. Dr. Erhan PULAT'a; nerede ve ne zaman olursa olsun daima bana güç vererek, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Murat ATEŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ VE GENEL BİLGİLER	4
3.MATERYAL METOT	10
3.1. Simülasyon	10
3.2. Geometri	11
3.2.1. Vogel ve Eaton geometrisi	11
3.2.2. Driver ve Seegmiller geometrisi	12
3.2.3. Isomoto ve Honami geometrisi	13
3.2.4. Haque ve ark. geometrisi	14
3.2.5. Geometriler hakkında genel bilgiler	14
3.2.6. Uyarlanmış geometriler	16
3.3. Korunum Denklemleri ve Türbülans Modelleri	23
3.3.1. Standart $k - \varepsilon$ (standard $k - \varepsilon$) modeli	25
3.3.2. RNG $k - \varepsilon$ (Renormalization group $k - \varepsilon$) modeli	26
3.3.3. Realizable $k - \varepsilon$ (realizable $k - \varepsilon$) modeli	28
3.3.4. Standart $k - \omega$ (standard $k - \omega$) modeli	30
3.3.5. SST $k - \omega$ (Shear Stress Transport $k - \omega$) modeli	33
3.4. Duvar Fonksiyonları	37
3.4.1 Standart duvar fonksiyonu	37

3.4.2. Dengesiz duvar fonksiyonu	39
3.4.3. Güçlendirilmiş duvar davranışı	40
3.5. Sınır Şartları	42
3.6. Sayısal Yöntem ve Ağ Örgü (Mesh) Yapısı	45
4. BULGULAR	58
4.1. Vogel ve Eaton (1985) Çalışması	58
4.2. Driver ve Seegmiller (1985) Çalışması	95
4.3. Isomoto ve Honami (1989) Çalışması	98
4.4. Haque ve ark. (2007) Çalışması	104
4.5. Uyarlanmış Çalışmalar	108
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	135
KAYNAKLAR	139
ÖZGEÇMİŞ	143

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
k	Türbülans kinetik enerjisi
ε	Türbülans kinetik enerjisi dağılım oranı
ω	Türbülans frekansı
H	Basamak yüksekliği
H_g	Giriş yüksekliği
H_c	Çıkış yüksekliği
L_g	Giriş uzunluğu
L	Basamak sonrası kanal uzunluğu
L_t	Toplam uzunluk
u	Hız bileşeni (x eksen)
ρ	Yoğunluk
P	Basınç
μ	Dinamik viskozite
c_p	Özgül ısı
T	Sıcaklık
Λ	Isıl iletkenlik
μ_t	Türbülans viskozitesi
C_i	Kullanılan modele göre türbülans sabiti
h	Isı transfer katsayısı
Tu	Türbülans şiddeti
u_τ	Sürtünme hızı
y^+	cidardan olan birimsiz uzaklık
Ω_m	Koordinat sistemi açısız hızı
X_r	Yeniden birleşme uzunluğu

Kısaltmalar	Açıklama
St	Stanton
Re	Reynolds
SKE	Standard $k - \varepsilon$
RNG	Renormalization group $k - \varepsilon$
RKE	Realizable $k - \varepsilon$
RSM	Reynolds stress model
SKW	Standard $k - \omega$
SST	Shear stress transport $k - \omega$
SWF	Standart duvar fonksiyonu
NEWF	Dengesiz duvar fonksiyonu
EWT	Güçlendirilmiş duvar fonksiyonu
FOU	Birinci dereceden yaklaşım (First order upwind)
SOU	İkinci dereceden yaklaşım (Second order upwind)
DF	Duvar fonksiyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Geri basamak akışının yapısı	1
Şekil 2.1. Geri basamak akışında sınır değişimi	5
Şekil 3.1. Standart geri basamak akışı temel geometrisi	11
Şekil 3.2. Vogel ve Eaton (1985) geometrisi	12
Şekil 3.3. Driver ve Seegmiller (1985) geometrisi	12
Şekil 3.4. Driver ve Seegmiller (1985) 2 derecelik değişim geometrisi	13
Şekil 3.5. Driver ve Seegmiller (1985) 4 derecelik değişim geometrisi	13
Şekil 3.6. Driver ve Seegmiller (1985) 6 derecelik değişim geometrisi	13
Şekil 3.7. Isomoto ve Honami (1989) geometrisi	14
Şekil 3.8. Haque ve ark. (2007) geometrisi	14
Şekil 3.9. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi	16
Şekil 3.10. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi (3 derece)	17
Şekil 3.11. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi (6 derece)	17
Şekil 3.12. Uyarlanmış Vogel ve Eaton Geometrisi	18
Şekil 3.13. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi (3 derece)	18
Şekil 3.14. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi (6 derece)	19
Şekil 3.15. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi	19
Şekil 3.16. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi (3 derece)	20
Şekil 3.17. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi (6 derece)	20
Şekil 3.18. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi	21
Şekil 3.19 Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi (3 derece).....	21
Şekil 3.20. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi (6 derece)	22
Şekil 3.21. Vogel ve Eaton (1985) genel ağ örgü yapısı	47
Şekil 3.22. Vogel ve Eaton (1985) genel ağ örgü yapısı (seyrek).....	47
Şekil 3.23. Vogel ve Eaton (1985) genel ağ örgü yapısı (sık).....	48

Şekil 3.24. Vogel ve Eaton (1985) için farklı ağ örgü yapılarında y^+	48
Şekil 3.25. Vogel ve Eaton (1985) için farklı ağ örgü yapılarında Stanton sayısı	48
Şekil 3.26. Driver ve Seegmiller (1985) genel ağ örgü yapısı	49
Şekil 3.27. Isomoto ve Honami (1989) genel ağ örgü yapısı	49
Şekil 3.28. Haque ve ark. (2007) genel ağ örgü yapısı	49
Şekil 3.29. Isomoto ve Honami (1989) genel ağ örgü yapısı ($k-\omega$ modelleri için)	50
Şekil 3.30. Haque ve ark. (2007) genel ağ örgü yapısı ($k-\omega$ modelleri için)	50
Şekil 3.31. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi	51
Şekil 3.32. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi (3 derece açılı)	51
Şekil 3.33. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi (6 derece açılı)	52
Şekil 3.34. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi	52
Şekil 3.35. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi (3 derece açılı)	52
Şekil 3.36. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi (6 derece açılı)	53
Şekil 3.37 Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi	53
Şekil 3.38. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi (3 derece açılı)	53
Şekil 3.39. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi (6 derece açılı)	54
Şekil 3.40. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi	54
Şekil 3.41. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi (3 derece açılı)	54
Şekil 3.42. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi (6 derece açılı)	55
Şekil 3.43. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi ($k-\omega$ modelleri için)	56
Şekil 3.44 Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi (6 derece açılı, $k-\omega$ modelleri için)	56
Şekil 3.45. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi ($k-\omega$ modelleri için)	56
Şekil 3.46. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi (6 derece açılı, $k-\omega$ modelleri için) ..	57
Şekil 4.1. SIMPLE FOU Standard $k-\varepsilon$ için y^+	58
Şekil 4.2. SIMPLE FOU RNG $k-\varepsilon$ için y^+	59
Şekil 4.3. SIMPLE FOU Realizable $k-\varepsilon$ için y^+	59
Şekil 4.4. SIMPLE SOU Standart $k-\varepsilon$ için y^+	60
Şekil 4.5. SIMPLE SOU RNG $k-\varepsilon$ için y^+	60

Şekil 4.6. SIMPLE SOU Realizable $k-\varepsilon$ için y^+	61
Şekil 4.7. SIMPLE-C FOU Standard $k-\varepsilon$ için y^+	61
Şekil 4.8. SIMPLE-C FOU RNG $k-\varepsilon$ için y^+	62
Şekil 4.9. SIMPLE-C FOU Realizable $k-\varepsilon$ için y^+	62
Şekil 4.10. SIMPLE-C SOU Standard $k-\varepsilon$ için y^+	63
Şekil 4.11. SIMPLE-C SOU RNG $k-\varepsilon$ için y^+	63
Şekil 4.12. SIMPLE-C SOU Realizable $k-\varepsilon$ için y^+	64
Şekil 4.13 Stanton sayısı ile basamak sonrası alt duvar arasındaki ilişki	65
Şekil 4.14. SIMPLE FOU Standard $k-\varepsilon$ için hız profili	66
Şekil 4.15. SIMPLE FOU RNG $k-\varepsilon$ için hız profili	66
Şekil 4.16. SIMPLE FOU Realizable $k-\varepsilon$ için hız profili	67
Şekil 4.17. SIMPLE SOU Standard $k-\varepsilon$ için hız profili	67
Şekil 4.18. SIMPLE SOU RNG $k-\varepsilon$ için hız profili	68
Şekil 4.19. SIMPLE SOU Realizable $k-\varepsilon$ için hız profili	68
Şekil 4.20. SIMPLE-C FOU Standard $k-\varepsilon$ için hız profili	69
Şekil 4.21. SIMPLE-C FOU RNG $k-\varepsilon$ için hız profili	69
Şekil 4.22. SIMPLE-C FOU Realizable $k-\varepsilon$ için hız profili	70
Şekil 4.23. SIMPLE-C SOU Standard $k-\varepsilon$ için hız profili	70
Şekil 4.24. SIMPLE-C SOU RNG $k-\varepsilon$ için hız profili	71
Şekil 4.25. SIMPLE-C SOU Realizable $k-\varepsilon$ için hız profili	71
Şekil 4.26. Sınır tabaka yüksekliği	72
Şekil 4.27. SIMPLE FOU Standard $k-\varepsilon$ için Stanton sayısı	73
Şekil 4.28. SIMPLE FOU RNG $k-\varepsilon$ için Stanton sayısı	73
Şekil 4.29. SIMPLE FOU Realizable $k-\varepsilon$ için Stanton sayısı	74
Şekil 4.30. SIMPLE SOU Standard $k-\varepsilon$ için Stanton sayısı	74
Şekil 4.31. SIMPLE SOU RNG $k-\varepsilon$ için Stanton sayısı	75
Şekil 4.32. SIMPLE SOU Realizable $k-\varepsilon$ için Stanton sayısı	75
Şekil 4.33. SIMPLE-C FOU Standard $k-\varepsilon$ için Stanton sayısı	76

Şekil 4.34. SIMPLE-C FOU RNG k-ε için Stanton sayısı	76
Şekil 4.35. SIMPLE-C FOU Realizable k-ε için Stanton sayısı	77
Şekil 4.36. SIMPLE-C SOU Standard k-ε için Stanton sayısı	77
Şekil 4.37. SIMPLE-C SOU RNG k-ε için Stanton sayısı	78
Şekil 4.38. SIMPLE-C SOU Realizable k-ε için Stanton sayısı	78
Şekil 4.39. Yeniden birleşme uzunluğunun gösterimi	79
Şekil 4.40. SIMPLE FOU Standard k-ε için yeniden birleşme	80
Şekil 4.41. SIMPLE FOU RNG k-ε için yeniden birleşme	80
Şekil 4.42. SIMPLE FOU Realizable k-ε için yeniden birleşme	81
Şekil 4.43. SIMPLE SOU Standard k-ε için yeniden birleşme	81
Şekil 4.44. SIMPLE SOU RNG k-ε için yeniden birleşme	82
Şekil 4.45. SIMPLE SOU Realizable k-ε için yeniden birleşme	82
Şekil 4.46. SIMPLE-C FOU Standard k-ε için yeniden birleşme	83
Şekil 4.47. SIMPLE-C FOU RNG k-ε için yeniden birleşme	83
Şekil 4.48. SIMPLE-C FOU Realizable k-ε için yeniden birleşme	84
Şekil 4.49. SIMPLE-C SOU Standard k-ε için yeniden birleşme	84
Şekil 4.50. SIMPLE-C SOU RNG k-ε için yeniden birleşme	85
Şekil 4.51. SIMPLE-C SOU Realizable k-ε için yeniden birleşme	85
Şekil 4.52. Modifiye Standard k-ε için yeniden birleşme	91
Şekil 4.53. Modifiye Standard k-ε için ısı transferi	91
Şekil 4.54. Modifiye RNG k-ε için yeniden birleşme	92
Şekil 4.55. Modifiye RNG k-ε için ısı transferi	92
Şekil 4.56 Driver ve Seegmiller (1985) için y^+	95
Şekil 4.57. Driver ve Seegmiller (1985) için yeniden birleşme	96
Şekil 4.58. Driver ve Seegmiller (1985) için yeniden birleşmenin dar aralıkta gösterimi.....	97
Şekil 4.59. Driver ve Seegmiller (1985) deneysel çalışma ve analizler için yeniden birleşmelerin gösterimi.....	97
Şekil 4.60. Isomoto ve Honami (1989) için y^+	99

Şekil 4.61. Isomoto ve Honami (1989) için yeniden birleşme	99
Şekil 4.62. Isomoto ve Honami (1989) için yeniden birleşme (dar aralık)	100
Şekil 4.63 Isomoto ve Honami (1989) için y^+ (k- ω modeller)	101
Şekil 4.64 Isomoto ve Honami için yeniden birleşme (Standard k- ω)	102
Şekil 4.65 Isomoto ve Honami için yeniden birleşme (SST k- ω)	102
Şekil 4.66 Isomoto ve Honami(1989) için yeniden birleşme uzunluklarının grafiksel olarak karşılaştırılması.....	103
Şekil 4.67. Haque ve ark. (2007) için y^+	104
Şekil 4.68 Haque ve ark. (2007) için yeniden birleşme (k- ϵ model)	105
Şekil 4.69. Haque ve ark. (2007) için y^+ (k- ω modeller)	106
Şekil 4.70. Haque ve ark. (2007) için yeniden birleşme (Standard k – ω modeli)	106
Şekil 4.71. Haque ve ark. (2007) için yeniden birleşme (SST k – ω modeli)	107
Şekil 4.72. Haque ve ark. (2007) için yeniden birleşme uzunluklarının grafiksel olarak karşılaştırılması.....	107
Şekil 4.73. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller için y^+	109
Şekil 4.74. Uyarlanmış Vogel ve Eaton için y^+	109
Şekil 4.75. Uyarlanmış Isomoto ve Honami için y^+	110
Şekil 4.76. Uyarlanmış Haque ve ark. için y^+	110
Şekil 4.77. Uyarlanmış çalışmalar için yeniden birleşmeler (standart geri basamak geometrisi)	111
Şekil 4.78. Uyarlanmış çalışmalar için Stanton sayısı (standart geri basamak geometrisi).....	112
Şekil 4.79. Uyarlanmış çalışmalar için yeniden birleşmeler (6 derece açılı)	113
Şekil 4.80. Uyarlanmış çalışmalar için Stanton sayıları (6 derece açılı)	113
Şekil 4.81. Uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. için karşılaştırmalı yeniden birleşmeler (Standart geri basamak akış geometrisi)	115
Şekil 4.82. Uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. için karşılaştırmalı yeniden birleşmeler (6 derece açılı)	115
Şekil 4.83. Uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. karşılaştırmalı Stanton sayıları (standart geri basamak akışı geometrisi)	116
Şekil 4.84. Uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. karşılaştırmalı Stanton sayıları (6 derece açılı)	116

Şekil 4.85. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (standart geri basamak akışı)	118
Şekil 4.86. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (3 derece açılı)	118
Şekil 4.87. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (6 derece açılı).....	119
Şekil 4.88. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (standart geri basamak akışı).....	119
Şekil 4.89. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (3 derece açılı)	120
Şekil 4.90. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (6 derece açılı).....	120
Şekil 4.91. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (standart geri basamak akışı)	121
Şekil 4.92. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (3 derece açılı).....	121
Şekil 4.93. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (6 derece açılı).....	122
Şekil 4.94. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (standart geri basamak akışı).....	122
Şekil 4.95. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (3 derece açılı).....	123
Şekil 4.96. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (6 derece açılı).....	123
Şekil 4.97. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi için $Tu=0,2$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,11$).....	124
Şekil 4.98. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi için $Tu=3,3$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,11$).....	124
Şekil 4.99. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi için $Tu=7,5$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,11$).....	125
Şekil 4.100. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için $Tu=0,2$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,25$).....	125
Şekil 4.101. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için $Tu=3,3$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,25$).....	126
Şekil 4.102. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için $Tu=7,5$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,25$).....	126

Şekil 4.103. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için $Tu=0,2$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,43$).....	127
Şekil 4.104. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için $Tu=3,3$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,43$).....	127
Şekil 4.105. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için $Tu=7,5$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,43$).....	128
Şekil 4.106. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için $Tu=0,2$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,67$).....	128
Şekil 4.107. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için $Tu=3,3$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,67$).....	129
Şekil 4.108. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için $Tu=7,5$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,67$).....	129
Şekil 4.109. Uyarlanmış geometriler için $Tu=0,2$ ve standart geri basamak geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı.....	130
Şekil 4.110. Uyarlanmış geometriler için $Tu=0,2$ ve 3 derece açılı geometri için genişleme oranına göre Stanton sayısı.....	130
Şekil 4.111. Uyarlanmış geometriler için $Tu=0,2$ ve 6 derece açılı geometri için genişleme oranına göre Stanton sayısı.....	131
Şekil 4.112. Uyarlanmış geometriler için $Tu=3,3$ ve standart ger basamak geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı.....	131
Şekil 4.113. Uyarlanmış geometriler için $Tu=3,3$ ve 3 derece açılı geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı.....	132
Şekil 4.114. Uyarlanmış geometriler için $Tu=3,3$ ve 6 derece açılı geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı.....	132
Şekil 4.115. Uyarlanmış geometriler için $Tu=7,5$ ve standart ger basamak geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı.....	133
Şekil 4.116. Uyarlanmış geometriler için $Tu=7,5$ ve 3 derece açılı geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı.....	133
Şekil 4.117. Uyarlanmış geometriler için $Tu=7,5$ ve 6 derece açılı geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı.....	134

ÇİZELGELER DİZİNİ

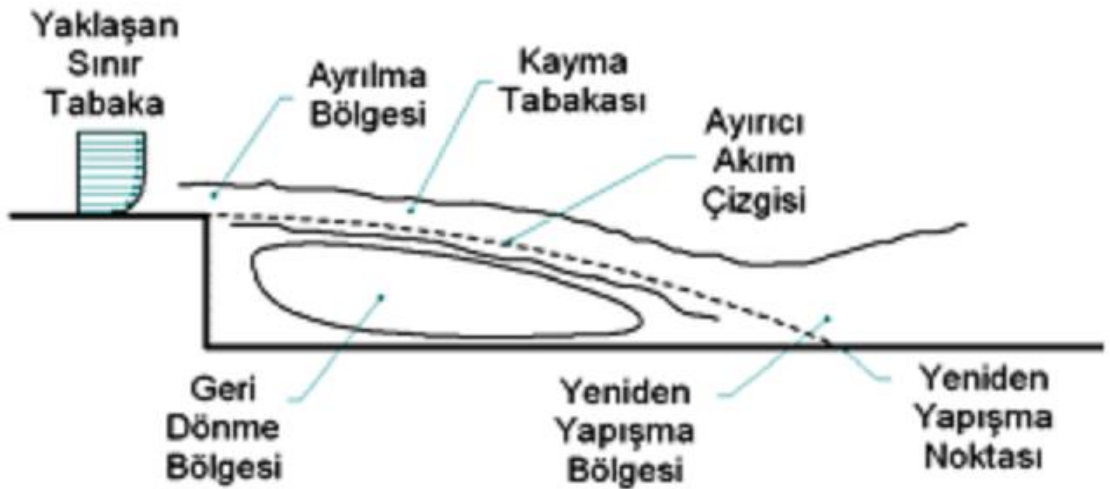
	Sayfa
Çizelge 3.1. Geometrilere dair genel ölçüler	15
Çizelge 3.2. Uyarlanmış geometri genel özellikleri	23
Çizelge 3.3. Cidarlara göre sınır şartları	42
Çizelge 3.4. Sınır şartları için fiziksel büyüklükler	43
Çizelge 3.5 Uyarlanmış geometriler için cidarlara göre sınır şartları	44
Çizelge 3.6. Uyarlanmış geometriler için sınır şartları için büyüklükler	44
Çizelge 3.7. Modifiye modeller için tanımlanmış katsayılar	46
Çizelge 3.8. Ağ örgüsü bağımsızlığı için kullanılan ağ örgüleri bilgileri	47
Çizelge 3.9. Ağ Örgü Bilgileri	50
Çizelge 3.10 Ağ Örgü Bilgileri (k- ω modelleri için)	51
Çizelge 3.11. Uyarlanmış modeller için ağ örgü bilgileri	55
Çizelge 3.12. Uyarlanmış modeller için ağ örgün bilgileri (k- ω modelleri için)	57
Çizelge 4.1. SIMPLE algoritması birinci dereceden yaklaşım için genel değerlendirme.....	86
Çizelge 4.2. SIMPLE algoritması ikinci dereceden yaklaşım için genel değerlendirme.....	87
Çizelge 4.3. SIMPLE-C algoritması birinci dereceden yaklaşım için genel değerlendirme.....	88
Çizelge 4.4. SIMPLE-C algoritması ikinci dereceden yaklaşım için genel değerlendirme.....	89
Çizelge 4.5. Modifiye Standard k- ϵ için akış karakteristikleri ve ısı transferine yönelik genel değerlendirme	93
Çizelge 4.6. Modifiye RNG k- ϵ için akış karakteristikleri ve ısı transferine yönelik genel değerlendirme	94
Çizelge 4.7. Driver ve Seegmiller (1985) için akış karakteristikleri karşılaştırması	98
Çizelge 4.8. Isomoto ve Honami (1989) için yeniden birleşme karşılaştırması	100
Çizelge 4.9. Isomoto ve Honami (1989) için yeniden birleşme uzunluklarının karşılaştırılması	103

Çizelge 4.10. Haque ve ark. (2007) için yeniden birleşme uzunluklarının karşılaştırılması	108
Çizelge 4.11. Uyarlanmış çalışmalar için yeniden birleşmeler uzunlukları (standart geri basamak geometrisi)	111
Çizelge 4.12. Uyarlanmış çalışmalar için yeniden birleşmeler uzunlukları (6 derece açılı)	114
Çizelge 4.13. Uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. için karşılaştırmalı yeniden birleşmeler	117

1. GİRİŞ

Akışkanlar mekaniğinin ana olaylarından laminar ve türbülanslı akışların temel konularından biri olan ayrılan ve yeniden birleşen akışlar üzerinde teorik olarak birçok çalışma yapılmasının sebebi gerek günlük yaşantımızdaki birçok olayda karşımıza çıkmasından kaynaklanmaktadır. Haque ve ark. (2007) birçok gerçek akış durumunun temeli olan geri basamak akışlarını, bazen sayısal programların iyileştirilmesinde test durumu olarak kullanılabilceği gibi, aerodinamik başta olmak üzere birçok alanda karşılaşılan bir problem olduğunu belirtmişlerdir. Kanalların ani genişlemesi, motorların ateşlenmesi ve yanmanın dengelenmesi, baskılı devre kartlarında ısı transferinin hesaplanması gibi birçok mühendislik uygulamasında geri basamak akışı oluştuğunu; akım ayrışmasının ve yeniden birleşmenin difüzörler, türbin kanatları, mikro elektrik ve mekanik aygıtlar gibi birçok cihazın genel performansını etkilediğini belirtmişlerdir.

Bir geri basamak akışı yaklaşan bir sınır tabaka, basamaktan sonra bir geri dönme bölgesi, bu bölgeden ayırıcı bir akım çizgisi ile ayrılan bir kayma tabakası, yeniden yapışma bölgesi ve takip eden bir kayma tabakasından oluşmaktadır (İlday ve Atlı, 2006). Şekil 1.1’de bu akıma ait genel yapı gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Geri basamak akışının yapısı (İlday ve Atlı, 2006)

Geri basamak akışının en karakteristik bağımlı değişkeni yeniden birleşme uzunluğudur. Eaton ve Johnston (1981) tarafından belirtildiği üzere çeşitli deneylere ait yeniden birleşme uzunluklarının karşılaştırılması bağımsız farklı değişkenlerin etkilerini ortaya çıkarmaktadır. Bu değişkenler; yaklaşan sınır tabakanın karakteri ve kalınlığı, serbest akım türbülansı, basınç gradyeni ve basamak açıklık oranı şeklindedir (İlday ve Atlı, 2006).

Konu ile ilgili olarak literatürde birçok deneysel ve teorik olarak birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bradshaw ve Wong (1972), Eaton ve Johnston (1981) ve Etheridge ve Kemp (1978) tarafından yapılan çalışmalar, konu ile ilgili ilk nümerik çalışmalara örnek verilebilir. Armaly ve ark. (2003), Lee ve Mateescu (1998), Aubrun ve ark. (2000) ve Fessler ve Eaton (1997) farklı genişleme oranlarında Reynolds sayısının geniş aralıkları için yapılan çalışmalara örnek gösterilebilir. Deneysel ve teorik araştırmanın yapıldığı bir diğer çalışmada Armaly ve ark. (1983), çeşitli akış rejimlerinin ayrılma uzunluğunun, tipik varyasyonları ile Re sayısı tarafından karakterize edildiğini göstermişlerdir.

Geri basamak akışları üzerindeki ısı transferi ile birlikte değişen basınç gradyeninin etkisi incelenmek istendiğinde ise pek fazla kaynak bulunamamaktadır. Bu sebepten dolayı bu çalışmanın temel konusu olarak, geri basamak akışlarında basınç gradyeninin ısı transferine etkisi ele alınmıştır. ANSYS 12.0 çok amaçlı bilgisayar destekli mühendislik programı kullanılarak yapılan bu çalışmada, gerekli incelemelerin yapılması, etkilerin gözlemlenebilmesi ve doğrulamaların sağlanabilmesi amacıyla Vogel ve Eaton (1985) tarafından yapılan çalışma baz alınmıştır. İlk olarak ilgili çalışmadaki deney düzeneği sayısal olarak modellenmiş, gerekli sınır şartları ve deneysel veriler uygulanmıştır. Nümerik çalışma sonucunda elde edilen veriler ile deneysel sonuçlar karşılaştırılarak doğrulama gerçekleştirilmiştir.

Temel geometride (Vogel ve Eaton, 1985) yapılan doğrulamanın ardından değişen basınç gradyeni ile ilgili olarak Driver ve Seegmiller (1985) tarafından yapılan çalışma modellenerek, deneysel sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Buradaki doğrulamanın ardından iki deney geometrisi arasında benzerlik kurulması sonucunda elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Ayrıca Isomoto ve Honami (1989) ve Haque ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmaların modellenmesi de gerçekleştirilerek deneysel sonuçlara ulaşılmaya çalışılmış; yapılan doğrulamanın ardından buradaki geometriler ile temel geometri çalışmasındaki geometri ile benzerlik kurularak, değişen basınç gradyeninin ısı transferi üzerine etkileri incelenmiştir.

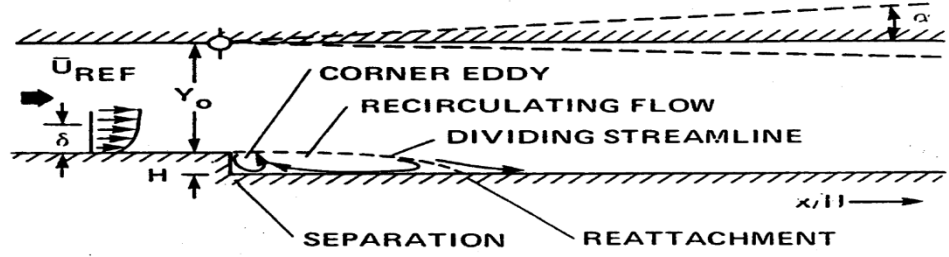
Yukarıdaki çalışmalar değerlendirildiğinde dış türbülansın ve basınç gradyeninin yeniden birleşme uzunluğu üzerine etkileri sadece birkaç çalışmada araştırılmasına rağmen, ısı transferi üzerine etkilerini araştıran çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada ANSYS FLUENT 12.0 kullanılarak geri basamak akışı ve ısı transferi karakteristikleri üzerine dış türbülansın ve basınç gradyeninin etkileri $k-\epsilon$ ve $k-\omega$ tabanlı türbülans modelleri kullanılarak araştırılmıştır. Kullanılan farklı türbülans modelleri sonucunda elde edilen veriler, literatürdeki deneysel veriler ile karşılaştırılarak en uyumlu model belirlenmiştir. Ayrıca ilgili türbülans modellerinde kimi katsayı modifikasyonları denenerek gerek ısı transferi gerekse akış karakteristikleri üzerine etkileri de araştırılmıştır.

Farklı türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilen doğrulama sonucunda ise karşılaştırılan deneysel çalışmada (Vogel ve Eaton, 1985) bulunmayan ve bu tez çalışmasının amaçlarından biri olan dış türbülansın farklı basınç gradyenleri altında ısı transferi üzerine etkileri araştırılmıştır. Farklı türbülans şiddetleri uygulanarak sonuçlar üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ VE GENEL BİLGİLER

Geri basamak akışları üzerinde yapılan deneysel ya da nümerik çalışmalar söz konusu olduğunda ilk akla gelen çalışmalardan biri Armaly ve ark. (1983) tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışmada iki boyutlu bir kanala monte edilen basamak kullanılarak, laminer, türbülanslı ve geçiş akışlarında çeşitli Re sayıları için (70-8000) Laser Doppler ölçüm cihazı yardımıyla hız dağılımı ve yeniden birleşme uzunluğu ölçülmüştür. Kullanılan deney düzeneğindeki oran (1/36), iki boyutlu tam gelişmiş akış sağlayacağını göstermesine rağmen, deney sonuçları bunun düşük Reynolds sayılarında mümkün olabileceğini göstermiştir. Yeniden birleşme uzunluğunun Reynolds ile bağlantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Laminer akışlarda Reynolds sayısı arttıkça, yeniden birleşme uzunluğunun da arttığı belirtilmiştir. Reynolds sayısı daha da arttıkça akışta dalgalanmalar başlamış, geçiş rejimi başlangıcı ve türbülanslı akış oluşumu gözlenmiştir. Test kısmındaki basamağın önünde bir geri akış gözlemlenmiş; gözlemlenen bu bölgenin başlangıçta arttığı, Re sayısının artmasıyla azaldığı ve türbülanslı akıma geçince kaybolduğu gözlemlenmiştir. Reynolds sayısı 400'e kadar olan ifadeler nümerik olarak doğrulanmış, fakat bu değerden sonra sapmalar başlamış ve bunun nedeni ise içsel üç boyutluluk olarak açıklanmıştır.

İki boyutlu geri basamak akışlarının türbülanslı yeniden birleşme uzunluğu ile ilgili nümerik tahminler yardımıyla karşılaştırmalı sonuçlarını sunarak, Reynolds geriliminin basınç gradyenine nasıl etkilediği, türbülans kinetik enerji üretimini, yayılım ve dağılımın yeniden birleşmedeki rolünün inceleyen bir çalışma ise Driver ve Seegmiller (1985) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için kurulan deney düzeneğinde 1.125 lik bir genişleme oranı kullanılarak, Laser Doppler ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Geri basamak akışında sınır değişimi (Driver ve Seegmiller, 1985)

Şekil 2.1’de görülen deney düzeneğinde Driver ve Seegmiller (1985), sistem sınırlarındaki farklılıkların yeniden birleşmedeki sınır tabakaya zıt basınç gradyeni sunmakta olduğunu fakat yeniden birleşme bölgesindeki basınç gradyenini azalttığını göstermişlerdir. Sistem sınırlarındaki farklılıklar ile yeniden birleşme uzunluğunun birbirine bağlı olduğu ortaya konulmuştur. Sistem sınırlarındaki farklar arttıkça, kayma tabakasının oranı ile yeniden birleşme uzunluğunun arttığı bilgisine varılmıştır. Ayrıca sistem sınırlarındaki farklılıklarda Reynolds gerilmeleri arasında önemli bir değişiklik olmadığı; duvar etrafındaki üçlü türbülans korelasyonunun yeniden birleşmede aniden kaybolduğu gözlemlenmiştir. Uygulanan farklı türbülans modellerin içerisinde elde edilen en uygun modelin $k-\epsilon$ olduğu hesaplamalar sonucunda ortaya konulmuştur.

Genişleme oranı 1.25 olan ve 38 mm’lik bir basamak üzerinden gerçekleştirilen, basamak sonrası yüzeye sabit ısı akısı uygulanan bir deneysel çalışmada ise Vogel ve Eaton (1985), yeniden birleşme ve yerel ısı transfer katsayısının artmasında iki unsurun neden olduğunu göstermişlerdir. Türbülans yoğunluğunun tepe noktasının ölçüldüğü bölgede maksimum ısı transfer katsayısının yeniden birleşmenin biraz yukarısında oluştuğunu ve ısı transfer katsayısının, yeniden birleşme istikametinde hızlı bir şekilde düz plaka davranışına geçtiğini belirtmişlerdir.

Ayrıca aynı çalışmada, ısı transferi direncinin büyük bir kısmının türbülanslı akışta duvar yakınında oluştuğunu; türbülansın basamağa yakın kısmı hariç ayrılmış serbest kayma tabakasında çok güçlü olduğunu; eğer ısı transferi doğru tahmin edildiği

takdirde, duvara yakın bölgedeki yüksek sıcaklık değişimlerinin, bu bölgenin anlaşılmasının önemini gösterdiğini ifade etmişlerdir (Vogel ve Eaton, 1985).

Vogel ve Eaton (1985), çeşitli akış bölgelerinde, ısı transfer katsayısının farklı fiziksel mekanizmalar tarafından kontrol edildiği belirtilerek, yeniden birleşmenin üst bölgesine doğru, duvara yakın tabakanın laminer sınır tabaka olarak büyüdüğü ve geri dönen akışın merkezine yaklaştıkça kalınlaştığı örnek olarak verilmiştir. Bu tabaka kalınlaşmasının ise ısı transfer katsayısının hızlı bir şekilde düşmesine neden olduğu belirtilmiştir. Yeniden birleşmenin alt kısmında ise duvara yakın tabakanın, sıradan türbülanslı sınır tabaka gibi davranmakta olduğu belirtilerek; ısı transfer katsayısının yerel sürtünme ve Reynolds analojisi uygulamaları ile belirlendiğini aktarmışlardır.

Yeniden birleşme bölgesi içerisinde, duvara yakın bölgede esasen ortalama bir akış ve etkili bir iletkenliğin olmadığı türbülans dalgalanmalarının yoğunluğu ile belirtilmiştir (Vogel ve Eaton, 1985).

Yerel türbülans şiddetini değiştirerek, geri basamak üzerinden ayrılmış kesme tabakasının ve yeniden birleşmenin değişimini incelemeye yönelik yapılan bir diğer çalışmada ise; yeniden birleşme uzunluğunun, ayrılma sırasında cidar yakınlarında maksimum türbülans yoğunluğu ile güçlü bir negatif ilişkisi olduğu halde giriş sınır tabakadan itibaren hız dağılımının etkisinin yeniden birleşme sürecinde zayıf olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, basamağın hemen ardındaki sürüklenme bölgesindeki türbülansın yeniden birleşme uzunluğunun belirlenmesinde önemli bir rol oynadığı bilgisi elde edilmiştir (Isomoto ve Honami, 1989).

İki boyutlu geri basamak akışı modellenmesi kullanılan bir diğer çalışmada Lee ve Mateescu (1998), alt ve üst cidarlardaki ayrılma ve birleşme uzunluklarını, $Re \leq 3000$ ve genişleme oranı 1,17 ve 2,0 aralıklarında sensör dizileri kullanılarak kesintisiz bir

şekilde ölçmüştür. Akım ayrışmasının, alt ve üst cidarlardaki yeniden birleşmeye ait ölçümlerinin literatürdeki bazı çalışmalardan %7'lik bir fark ile saptandığı belirtilmiştir.

Kostas ve ark. (2001) yapmış oldukları deneysel çalışmada farklı Re sayılarında, Reynolds gerilmeleri ve türbülans kinetik enerji üretimlerinin önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmişlerdir. Reynolds gerilmeleri ve kinetik enerji üretimi dağılımı tepe noktalarının, Re sayısı düşük olan akış için daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Karasu (2001) yapmış olduğu çalışmada ise geriye doğru basamaklar arkasında üç farklı Reynolds sayısı için sürekli, sıkıştırılmayan, iki boyutlu, ayrımlı ve yeniden birleşmeli kompleks çevrintili türbülanslı akışın kapsamlı bir çalışmasının sayısal hesaplama sonuçlarını bizlerle paylaşmıştır. Bu çalışmada üç farklı Re sayısında k-ε tabanlı türbülans modeli kullanılarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Standard k-ε türbülans modeli performansının araştırıldığı bu çalışmanın sonuçları literatürde belirtilen çeşitli deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. İki boyutlu kanal karşısında hesaplanan ve ölçülen yerel akış yönü hızı ile türbülans kinetik enerji profillerinin karşılaştırılmasının genel olarak oldukça iyi olduğu ve basamak arkasındaki kompleks türbülanslı akış bölgesinin uzunluğu ve genişliğinin Standard k-ε modeli tarafından daha küçük olarak hesaplandığını bildirmiştir.

Pulat ve Diner (2001) ise kanal genişleme oranının ve Re sayısının yeniden birleşme uzunluğu üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda belirli bir kanal genişleme oranı için (1.5) Re sayısının artmasıyla yeniden birleşme uzunluğunun arttığı ve belirli bir Re sayısı için (Re=150) kanal genişleme oranının artmasıyla yeniden birleşme uzunluğunun azaldığı sonucunu elde etmişlerdir.

Nie ve Armaly (2003) ise basamağın bulunduğu duvarın üzerindeki bölgede maksimum Nusselt sayısının gelişimini, jet akışı gibi çarpmaya bağlı bir davranış tarafından oluşturulduğunu gösteren bir çalışma sunmuşlardır.

Geri basamak akışları üzerinde yapılan nümerik çalışmalarda kullanılan türbülans modelleri üzerinde Kim ve ark. (2005) detaylı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında yüksek Re sayısında geri basamak akışının ölçümleri; standard duvar fonksiyonu, dengesiz duvar fonksiyonu ve iki tabakalı model duvar fonksiyonları için altı farklı türbülans modeli (SKE, RNG, RKE, RSM, SKW ve SST) kullanarak karşılaştırılmışlardır. Hesaplanan sonuçların açık bir şekilde kullanılan duvar fonksiyonu ve türbülans modelinden etkilendiği görülmüştür. Yapılan çalışmanın doğrulanması için Driver ve Seegmiller (1985) geometrisi üzerinde, dengesiz duvar fonksiyonu kullanılarak yeniden birleşme, yüzey sürtünmesi ve statik basınç katsayısının 0 ve 6° lik sınır açılarında en iyi tahmininin RNG ve RKE modelleri tarafından verildiğini bildirmişlerdir.

Chen ve ark. (2006) basamak yüksekliği arttıkça birinci ve ikinci geri dönme bölgelerinin de arttığını; enine hız bileşenlerinin tepe değerlerinin azaldığını; maksimum sıcaklığın yükseldiğini; yağın sıcaklığının hızlı bir şekilde yükseldiğini ve maksimum türbülans kinetik enerji şiddetinin arttığını; akım yönünde olan yüzeyde basamağın yanında ve basamak yüksekliğinin altında türbülans kinetik enerjisinin küçüldüğünü; geri dönme bölgesinde sürtünme katsayısındaki pik noktasının şiddetinin ise önemli bir şekilde değişmediğini bildirmişlerdir. Yeniden birleşme noktasının aşağısında yüzey sürtünme katsayısının tam gelişmiş kanal akışına asimptotik olarak yaklaştığını ifade etmişlerdir. Yüzey sürtünme katsayısı şiddetinin basamak yüksekliği arttıkça azaldığını ve Stanton sayısındaki yükselmenin de azaldığı aktarılmıştır.

Eiffel tipi açık devreli bir ses altı hava tüneline gerçekleştirilen deneysel çalışmada ise İlday ve Atlı (2006); temel basamak, akım yönünde 45° eğik yüzeye sahip basamak,

akım yönünde ters yönde 45° eğime sahip basamak, yarıçapı basamak yüksekliği kadar olan çeyrek daire kesitli basamak ve çapı basamak yüksekliği kadar olan yarım daire kesitli basamak olmak üzere beş farklı basamak kullanmışlardır. Temel basamak halinin mevcut literatür ile uygunluk gösterdiği, dairesel yüzeye sahip basamak hallerinin daha küçük yeniden birleşme uzunluğu verirken negatif ve pozitif eğik yüzeyli basamak hallerinin temel basamak haline göre kayda değer bir farklılık oluşturmadığı bildirilmiştir. Tüm modeller için basınç ve kayma gerilmesi dağılımlarının uygun normalleştirmeler ile birbirleriyle karşılaştırılmış ve kendi içlerinde ve mevcut literatür ile uyum sağladıkları aktarılmıştır.

Geri basamak akışları üzerinde yapılan bir diğer deneysel çalışmada ise Pozarlik ve ark. (2008), literatürde yer alan Vogel ve Eaton (1985) geometrisi üzerinde farklı türbülans modelleri uygulayarak yüzey sürtünme katsayısı ve Stanton sayısının deneysel verilerine ulaşmaya çalışmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen verilere dayanarak, kullanılan türbülans modellerinin deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum içerisinde olduklarını, k- ϵ tabanlı modelin yeniden birleşme uzunluğunu için elde edilen sonucun, deneysel çalışmadaki verinin %15 altında kaldığını aktarmışlardır.

Singh ve ark. (2011) ise geri basamak akışlarında önemli bir parametre olan yeniden birleşme uzunluğunun farklı basamak açıları için yaptıkları çalışma kapsamında; 15° , 30° , 45° ve 90° lik basamak açıları kullanılarak, hazırlanan modeli RNG k- ϵ türbülans modeli yardımıyla çözümlenmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda basamak açısı arttıkça yeniden birleşme uzunluğunun da arttığı bilgisini verilmiştir.

3. MATERYAL METOT

3.1 Simülasyon

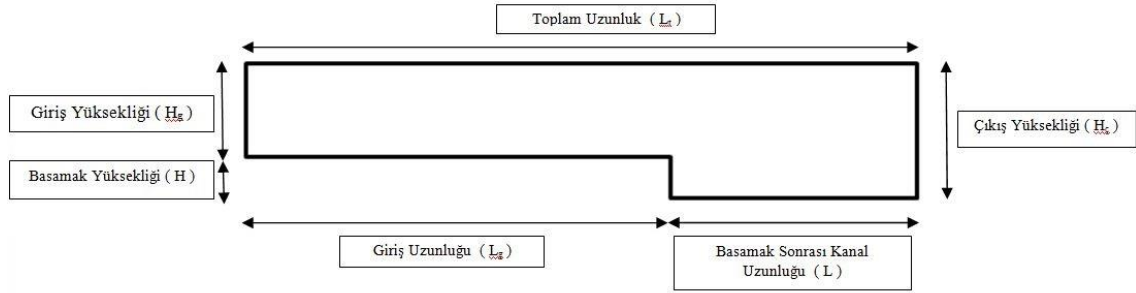
Bu çalışmada dört farklı deneysel geri basamak akışı geometrisi modellenmiştir. Bu geometrilerden ilki standart geri basamak akışı geometrisi (basınç gradyeninin dik kate alınmadığı 0°'lik durum) olup, Vogel ve Eaton (1985) tarafından ele alınan ve deneysel olarak ısı transferini inceleyen bir çalışmadır. İkinci modellenen geometri ise Driver ve Seegmiller (1985) tarafından incelenen ve standart geri basamak akışının sınırları değiştirilerek farklı basınç gradyenleri altında yeniden birleşme uzunluklarını ele alan çalışmadır. Üçüncü (Isomoto ve Honami, 1989) ve dördüncü (Haque ve ark. 2007) geometriler ise standart geri basamak akışı geometrileri olmakla beraber önceki geometrilerden gerek genişleme oranı gerekse sınır şartları olarak farklılık gösterdiği ve farklı türbülans şiddetleri altında yeniden birleşme uzunluklarının incelendiği geometrilerdir. İlk geometride (Vogel ve Eaton, 1985) ısı transferi üzerinden doğrulama yapılırken, ikinci geometride ise yapılan doğrulama sonucunda Driver ve Seegmiller (1985) geometrisi kullanılarak basınç gradyenindeki değişimler incelenmiştir. Üçüncü ve dördüncü geometrilerde de ilk geometride olduğu gibi doğrulamalar gerçekleştirilip farklı türbülans şiddetlerinin yeniden birleşme uzunluklarına olan etkisi incelenmiştir. Son olarak ilk geometride (Vogel ve Eaton, 1985) türbülans şiddetinin iki farklı basınç gradyeni altında (3° ve 6° için) ısı transferi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Gerekli validasyon çalışmalarının ardından diğer çalışmalarda ele alınan geometriler ile temel çalışma olarak ele alınan Vogel ve Eaton (1985) arasında benzerlik kurularak, ısı transferi ve değişen sınır şartlarına bağlı olarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

İki boyutlu yapılan bu çalışmaların ağ örgüleri ICEM-CFD programıyla, ağ örgülerinin gerçekleştirilmesinin ardından gerekli çözümler ise ANSYS FLUENT 12.0 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Akışkan olarak hava kullanılmış ve akışkanın termodinamik özellikleri olarak 20°’deki termodinamik özellikleri kullanılmıştır.

3.2 Geometri

Bu çalışmada ele alınan standart geri basamak akışına ilişkin kullanılan geometriler Şekil 3.1’ de gösterilen geometri baz alınarak oluşturulmuştur. Bu geometri üzerinde giriş yüksekliği (H_g), basamak yüksekliği (H), çıkış yüksekliği (H_c), giriş uzunluğu (L_g), basamak sonrası kanal uzunluğu (L) ve toplam uzunluk (L_t) tanımlanmıştır.



Şekil 3.1. Standart geri basamak akışı temel geometrisi

3.2.1 Vogel ve Eaton geometrisi

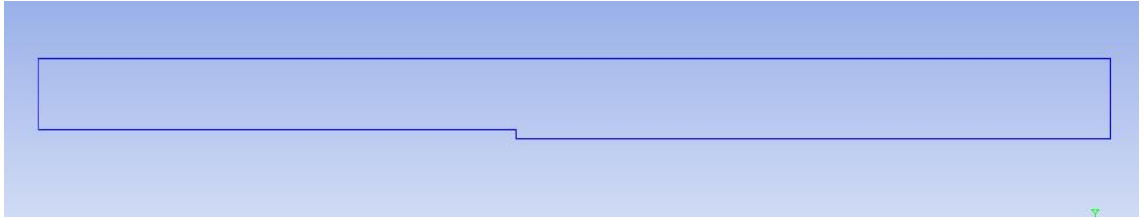
Temel geometri olarak ele alınan Vogel ve Eaton (1985) tarafından gerçekleştirilen çalışmada kullanılan geometri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. İlgili geometrinin giriş yüksekliği 152 mm, basamak yüksekliği 38 mm, çıkış yüksekliği 190 mm, basamak sonrası kanal uzunluğu 760 mm ve kanalın toplam uzunluğu 3040 mm olacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Vogel ve Eaton (1985) geometrisi

3.2.2 Driver ve Seegmiller geometrisi

Bu tez çalışması kapsamında ele alınan bir diğer geometri ise Şekil 3.3'te gösterilen Driver ve Seegmiller (1985) geometrisidir. Bu geometri, giriş yüksekliği 101,6 mm, basamak yüksekliği 12,7 mm, çıkış yüksekliği 114,3 mm, basamak sonrası kanal uzunluğu 949,2 mm ve kanalın toplam uzunluğu 1711,2 mm olacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 3.3. Driver ve Seegmiller (1985) geometrisi

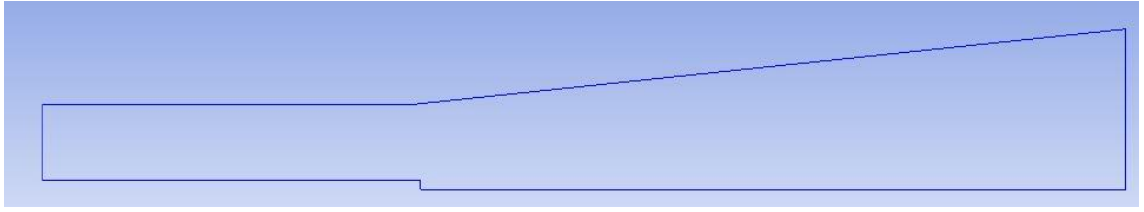
Bu deneysel çalışmadaki sınır değişikliği üst cidarda gerçekleştirildiğinden dolayı, üst cidarda girişten 756 mm sonra sırasıyla 2, 4 ve 6 derecelik sınır değişiklikleri uygulanmıştır. Söz konusu geometriler Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Driver ve Seegmiller (1985) 2 derecelik değişim geometrisi



Şekil 3.5. Driver ve Seegmiller (1985) 4 derecelik değişim geometrisi



Şekil 3.6. Driver ve Seegmiller (1985) 6 derecelik değişim geometrisi

3.2.3 Isomoto ve Honami geometrisi

Modellenen geometrilerden bir diğeri olan ve Isomoto ve Honami (1989) tarafından yapılan deneysel çalışmaya ait geometri Şekil 3.7' de gösterilmiştir. Bu geometri giriş yüksekliği 80 mm, basamak yüksekliği 40 mm, çıkış yüksekliği 120 mm, basamak sonrası kanal uzunluğu 500 mm ve kanalın toplam uzunluğu 660 mm olacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 3.7. Isomoto ve Honami (1989) geometrisi

3.2.4 Haque ve ark. geometrisi

Bu tez çalışmasında yer alan son geometri ise Haque ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ele alınan geometri olup, ilgili geometri Şekil 3.8' de gösterilmiştir. Bu geometri giriş yüksekliği olarak 6 mm, basamak yüksekliği 4 mm, çıkış yüksekliği 10 mm, basamak sonrası kanal uzunluğu 120 mm ve kanalın toplam uzunluğu 630 mm olacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 3.8. Haque ve ark. (2007) geometrisi

3.2.5 Geometriler hakkında genel bilgiler

Literatürde geri basamak akışları ile ilgili çalışmalarda genel olarak tüm değerlendirmelerin basamak yüksekliği olarak tanımlanan H cinsinden ifade edildiği görülmüştür. Bu sebepten dolayı bu çalışma kapsamında ele alınan dört geometrinin basamak yüksekliği (H) cinsinden tanımlanmış halleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Geometrilere dair genel ölçüler

	Basamak Yüksekliği (mm)	Basamak Yüksekliği (H)	Giriş (H)	Çıkış (H)	Genişleme Oranı (Çık./Gir.)	Basamak Öncesi Sınır Genişleme Noktası (H)
Vogel ve Eaton (1985)	38	H	4H	5H	1,25	-
Driver ve Seegmiller (1985)	12,7	H	8H	9H	1,125	0,47H
Isomoto ve Honami (1989)	40	H	2H	3H	1,5	-
Haque ve ark. (2007)	4	H	1,5H	2,5H	1,67	-

Dört geometri için yapılan gerekli doğrulama çalışmalarının ardından bu geometriler, temel geometri olarak tanımlanan Vogel ve Eaton (1985) tarafından gerçekleştirilen çalışmadaki deneysel düzeneğe geometrik olarak uyarlanmıştır. Bu uyarlama sonrasında standart geri basamak geometrisi ve Driver ve Seegmiller (1985) tarafından gerçekleştirilen deneysel düzenekteki sınır genişleme noktası baz alınarak her bir geometri için kendi basamak yüksekliğine göre 0,47 H 'lik mesafeden itibaren 6° lik bir genişleme ile sınır değişikliği modellenerek elde edilen sonuçlar akış karakteristikleri ve ısı transferi; aynı şekilde tüm uyarlanmış geometriler için standart geri basamak geometrisi ile birlikte 3° ve 6° lik sınır değişikliklerinde farklı türbülans şiddetleri altındaki ısı transferi davranışları incelenmiştir.

3.2.6 Uyarlanmış geometriler

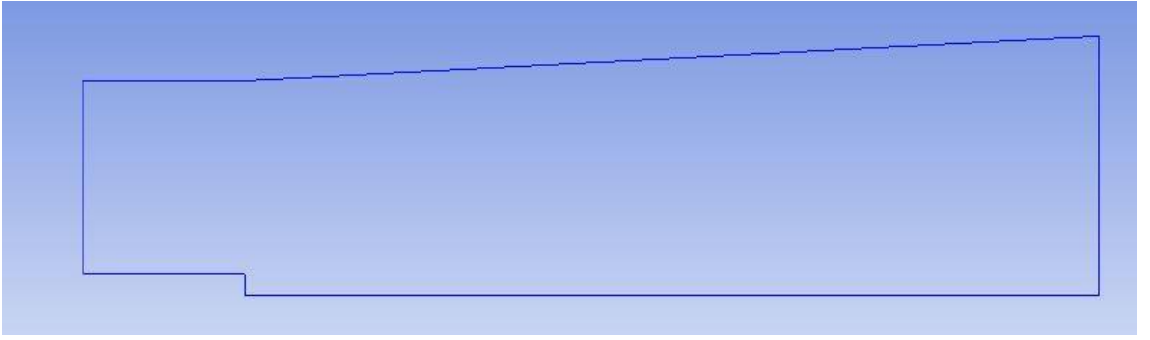
Söz konusu uyarlama çalışmasının temel amacı ele alınan çalışmalarda uygulanmayan ısı transferi ve basınç gradyeni değişikliklerini, tek bir çalışmanın baz alınarak bir arada değerlendirilmesidir. Vogel ve Eaton (1985) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmadaki genişleme oranı temel değişken olarak belirlenip, diğer geometrik uzunluklar sabit tutulmuştur. Böylece diğer uyarlanmış geometriler olarak nitelendirilen modeller, literatürde yer alan modellere benzetilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçların tek bir değişkene göre daha sağlıklı bir şekilde yorumlanması sağlanmıştır. Bu kapsamda girişten basamağa kadar olan uzunluğun, akışın tam gelişmiş akış haline geldiği noktadan itibaren ele alındığı modeller hazırlanmıştır. Bu nokta gerekli doğrulamaların ardından $3,8H$ olarak bulunmuştur. Geometrilerin uyarlanması ardından ise standart geri basamak akış geometrisi, 3° ve 6° lik açısal sınır değişikliği gerçekleştirilen çalışmalarda komple bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir.

İlk uyarlama, Driver ve Seegmiller (1985) tarafından yapılan çalışmaya ait olan geometri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.9' da gösterilen bu geometri de giriş yüksekliği olarak 171 mm, basamak yüksekliği 19 mm, çıkış yüksekliği 190 mm, basamak sonrası kanal uzunluğu 760 mm ve kanalın toplam uzunluğu 904 mm olacak şekilde ele alınmıştır.

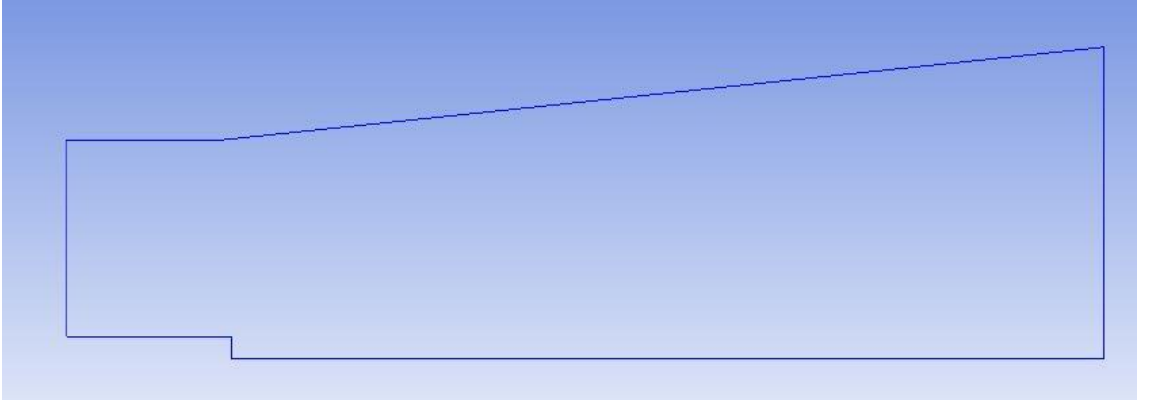


Şekil 3.9. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi

Aynı geometri üzerinde üst cidarda gerçekleştirilen 3° ve 6° lik açısal sınır değişiklikleri ise Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Bu geometride, Driver ve Seegmiller (1985) geometrisindeki basamak hizasının 0,47H’ lık bir mesafe kadar gerisinden başlayan açısal genişleme, uyarlanmış geometride basamak yüksekliği olarak tanımlanan yeni değere göre 0,47H’ lık bir mesafeden başlayarak genişlemiştir. Bu değer 9 mm olup; giriş, çıkış ve kanal uzunluklarında herhangi bir değişiklik söz konusu değildir.



Şekil 3.10. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi (3 derece)



Şekil 3.11. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi (6 derece)

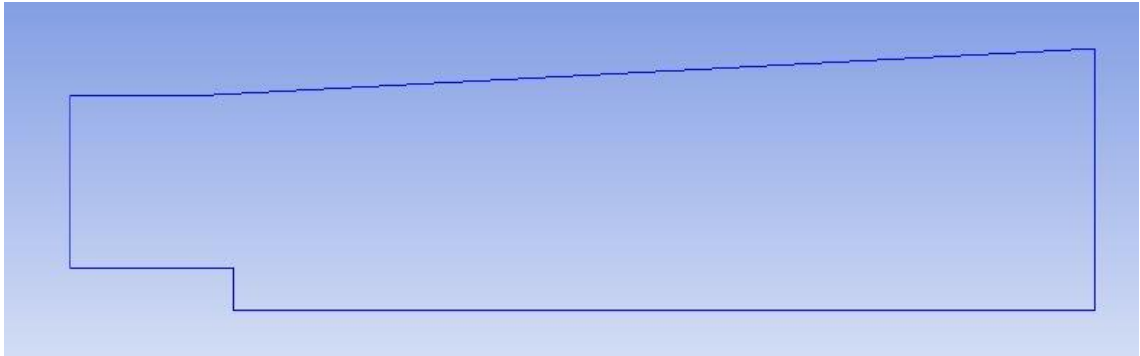
Diğer bir uyarlama geometri çalışması ise Vogel ve Eaton (1985) tarafından yapılan çalışmaya ait olan geometri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.12’de gösterilen bu geometri de giriş yüksekliği olarak 152 mm, basamak yüksekliği 38 mm, çıkış

yüksekliği 190 mm, basamak sonrası kanal uzunluğu 760 mm ve kanalın toplam uzunluğu 904 mm olacak şekilde ele alınmıştır.

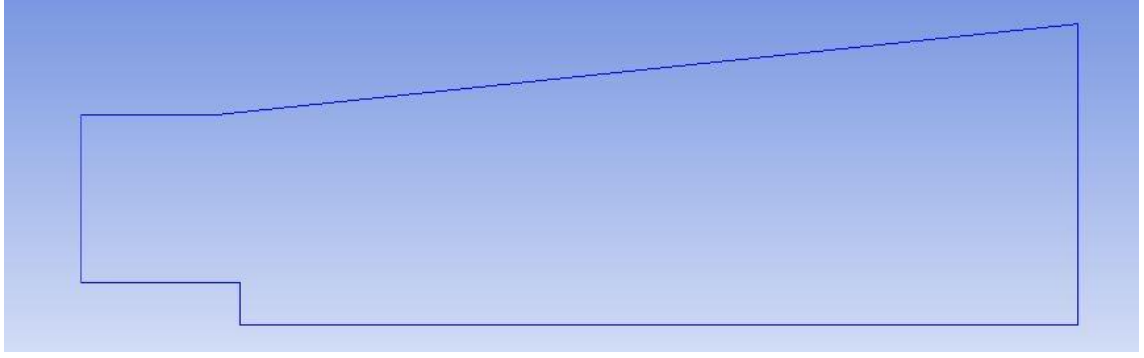


Şekil 3.12. Uyarlanmış Vogel ve Eaton Geometrisi

Aynı geometri üzerinde üst cidarda gerçekleştirilen 3° ve 6° lik açısız sınır değişiklikleri ise Şekil 3.13 ve Şekil 3.14' te gösterilmektedir. Driver ve Seegmiller (1985) geometrisindeki basamak hizasının 0,47H 'lık bir mesafe kadar gerisinden başlayan açısız genişleme, bu geometride basamak yüksekliği olarak tanımlanan yeni değere göre 0,47H 'lık bir mesafeden başlayarak genişlemiştir. Bu değer 17,86 mm olup; giriş, çıkış ve kanal uzunluklarında herhangi bir değişiklik söz konusu değildir.



Şekil 3.13. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi (3 derece)



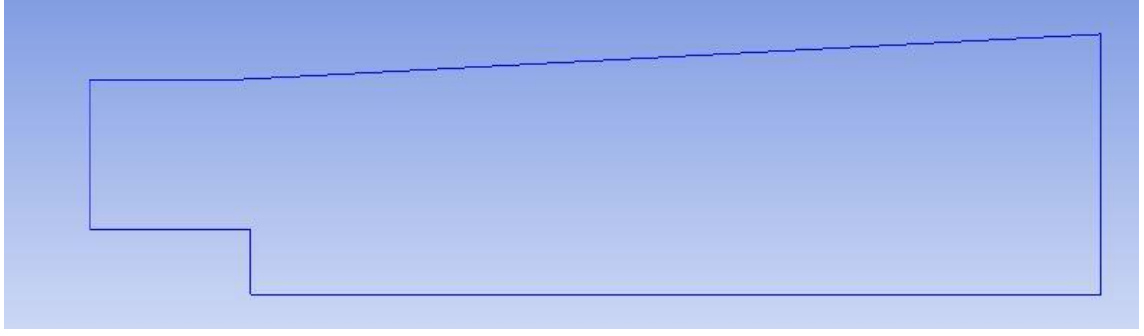
Şekil 3.14. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi (6 derece)

Diğer bir uyarlama geometri çalışması ise Isomoto ve Honami (1989) tarafından yapılan çalışmaya ait olan geometri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.15’ te gösterilen bu geometride giriş yüksekliği 133 mm, basamak yüksekliği 57 mm, çıkış yüksekliği 190 mm, basamak sonrası kanal uzunluğu 760 mm ve kanalın toplam uzunluğu 904 mm olacak şekilde ele alınmıştır.

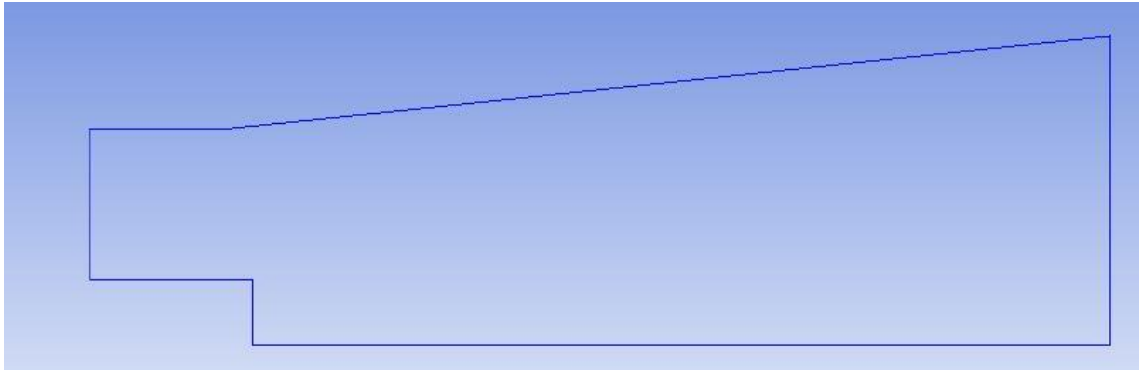


Şekil 3.15. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi

Aynı geometri üzerinde üst cidarda gerçekleştirilen 3° ve 6° lik açisal sınır değişiklikleri ise Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’ de gösterilmektedir. Driver ve Seegmiller (1985) geometrisindeki basamak hizasının 0,47H ’lık bir mesafe kadar gerisinden başlayan açisal genişleme, bu geometride basamak yüksekliği olarak tanımlanan yeni değere göre 0,47H ’lık bir mesafeden başlayarak genişlemiştir. Bu değer 26,8 mm olup; giriş, çıkış ve kanal uzunluklarında herhangi bir değişiklik söz konusu değildir.



Şekil 3.16. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi (3 derece)



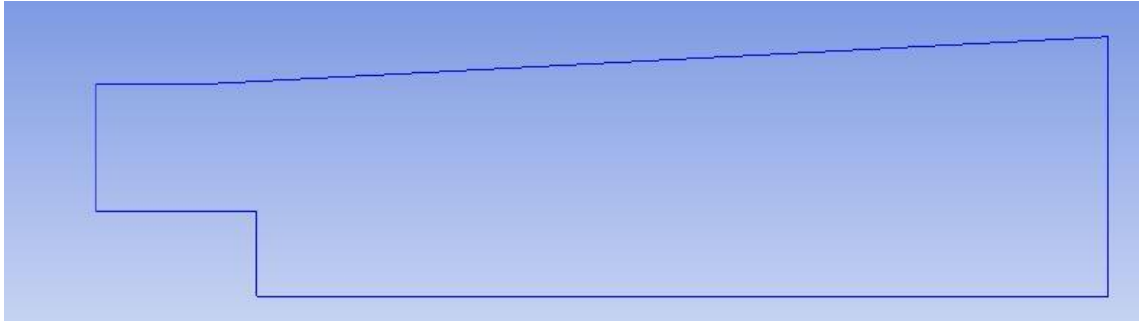
Şekil 3.17. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi (6 derece)

Son uyarlama geometri çalışması ise Haque ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmaya ait olan geometri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.18’de gösterilen bu geometri de giriş yüksekliği olarak 114 mm, basamak yüksekliği 76 mm, çıkış yüksekliği 190 mm, basamak sonrası kanal uzunluğu 760 mm ve kanalın toplam uzunluğu 904 mm olacak şekilde ele alınmıştır.



Şekil 3.18. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi

Aynı geometri üzerinde üst cidarda gerçekleştirilen 3° ve 6° lik açısal sınır değişiklikleri ise Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de gösterilmektedir. Driver ve Seegmiller (1985) geometrisindeki basamak hizasının $0,47H$ ’lık bir mesafe kadar gerisinden başlayan açısal genişleme, bu geometride basamak yüksekliği olarak tanımlanan yeni değere göre $0,47H$ ’lık bir mesafeden başlayarak genişlemesidir. Bu değer $35,72$ mm olup; giriş, çıkış ve kanal uzunluklarında herhangi bir değişiklik söz konusu değildir.



Şekil 3.19. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi (3 derece)



Şekil 3.20. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi (6 derece)

İlgili geometrilerin orijinal boyutları her ne kadar farklı olsada, giriş ve çıkış yükseklikleri ile ilgili olarak H cinsinden dolaylı olarak genişleme oranı üzerinden oluşturulan benzerlikler Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Bu bağlamda temel geometri olarak nitelendirilebilecek Vogel ve Eaton (1985) çalışması üzerinden etkiler rahatlıkla incelenebilecektir.

Çizelge 3.2. Uyarlanmış geometri genel özellikleri

	Basamak Yüksekliği (mm)	Basamak Yüksekliği (H)	Giriş (H)	Çıkış (H)	Genişleme Oranı (Çık./Gir.)	Basamak Öncesi Sınır Genişleme Noktası (H)
Vogel ve Eaton (1985)	38	H	4H	5H	1,25	-
Uyarlanmış Vogel ve Eaton	38	H	4H	5H	1,25	0,47H
Driver ve Seegmiller (1985)	12,7	H	8H	9H	1,125	0,47H
Uyarlanmış Driver ve Seegmiller	19	H	4,5H	5H	1,11	0,47H
Isomoto ve Honami (1989)	40	H	2H	3H	1,5	-
Uyarlanmış Isomoto ve Honami	57	H	3,5H	5H	1,43	0,47H
Haque ve ark. (2007)	4	H	1,5	2,5H	1,67	-
Uyarlanmış Haque ve ark.	76	H	3H	5H	1,67	0,47H

3.3 Korunum Denklemleri ve Türbülans Modelleri

Navier – Stokes denklemlerindeki değişkenlerin indis gösterimleri hız bileşenlerine benzer bir şekilde ortalama ve dalgalanma bileşenlerine ayrılabilirler.

$$u_i = \bar{u}_i + u'_i \quad (3.1)$$

Burada u_i anlık akışkan hızı, u'_i hız dalgalanmasını ve \bar{u}_i ise herhangi bir noktadaki u_i 'nin zaman ortalama değeridir.

Süreklilik Denklemi

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.2)$$

Momentum Denklemi

$$\rho \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \rho \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\overline{u'_i u'_j} \right) \quad (3.3)$$

Enerji Denklemi

$$\rho c_p \frac{\partial u_i T}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} - \rho \overline{u'_i T'} \right] \quad (3.4)$$

Momentum denkleminde, $-\overline{u'_i u'_j}$ ifadesi yerel hız geçişleri ve türbülans viskozitesi μ_t (Boussinesq Hipotezi) ile ilişkili olan Reynolds gerilimidir (Launder ve Spalding, 1972).

$$-\overline{\rho u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.5)$$

Türbülans viskozitesi olan kullanılan μ_t türbülans modeline bağlı olarak farklı metodlar ile hesaplanabilir. Bu farklı yollar ise şu şekildedir.

3.3.1 Standart k- ε (standard k- ε) modeli

Bu model Launder ve Spalding (1972) tarafından önerilen klasik iki denklemlilik bir modeldir. Bu modelde,

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.6)$$

k türbülans kinetik enerjisini, ε ise türbülans kinetik enerjisinin yayılım oranını temsil eder. Buradaki değişkenler ise aşağıdaki taşınım denklemlerinden elde edilirler.

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_i} (k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (3.7)$$

ve

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_i} (\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (3.8)$$

Bu denklemlerde, G_k ortalama hız geçişlerine bağı olarak türbülans kinetik enerji üretimini temsil eder. Ayrıca,

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (3.9)$$

ve

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \text{ ve } S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (3.10 \text{ ve } 3.11)$$

şeklindedir.

Bu modelde kullanılan sabitler şu şekildedir.

$$C_{1\varepsilon}=1.44; C_{2\varepsilon}=1.92; C_\mu=0.09;$$

$$\sigma_k=1.0; \sigma_\varepsilon=1.3$$

3.3.2 RNG k-ε (Renormalization group k-ε) modeli

RNG k-ε modeli, standart k-ε modeline benzemekle beraber, farklı sabitleri ile birlikte taşınım denklemlerinde de ek terimleri vardır. Türbülanstaki girdap etkisi RNG modellerde dikkate alınmaktadır. Ayrıca, küçük Re sayılarında da akışları tahmin etme

özelliğine sahiptir (Hofmann ve ark. 2007). Ayrıca Yakhot ve Orszag (1986) bu model ile ilgili olarak detaylı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. RNG k-ε modelinin taşınım denklemleri, standart k-ε modelindeki formları ile benzerlik göstermektedir (Pulat ve ark., 2011).

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_i} (k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - \rho \varepsilon \quad (3.12)$$

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_i} (\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon \quad (3.13)$$

Bu modelde, G_k standart k-ε modeli gibi hesaplanmaktadır. α_k ve α_ε sabitleri ise 1,393 tür. RNG modeli ile standart k-ε modeli arasındaki temel fark ise ek terim olan ε nun aşağıdaki denklemlerle ifadesidir.

$$R_\varepsilon = \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \eta / \eta_0) \varepsilon^2}{1 + \beta + \eta^3} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3.14)$$

Buradaki ifadeler ise şu şekildedir.

$$\eta \equiv \frac{S_k}{\varepsilon}; \quad \eta_0 = 4.38; \quad \beta = 0.012$$

Ayrıca model sabitleri ise aşağıdaki gibidir.

$$C_{1\varepsilon} = 1.42; C_{2\varepsilon} = 1.68$$

3.3.3 Realizable k-ε (realizable k-ε) modeli

Shih ve ark. (1994) tarafından geliştirilen ve yeni olarak nitelendirilebileceğimiz bu modelde türbülans viskozitesi yeni bir formülasyona sahiptir. Bu modelde Reynolds gerilmelerindeki belirli matematiksel kısıtlamalar, türbülanslı akışların fiziği ile uyumludur. Realizable k-ε modelinin ortalama hız bileşenlerinin simülasyonu diğer k-ε modellerinden fark edilebilir derecede daha az hassastır. Bu modelde C_μ sabit değildir.

C_μ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{kU^*}{\varepsilon}} \quad (3.15)$$

Bu ifadedeki terimler ise aşağıdaki gibidir.

$$U^* \equiv \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij}\tilde{\Omega}_{ij}} \quad (3.16)$$

$$\tilde{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ijk}\omega_k \quad (3.17)$$

$$\Omega_{ij} = \overline{\Omega_{ij}} - \varepsilon_{ijk}\omega_k \quad (3.18)$$

$\overline{\Omega_{ij}}$ açısal hızın ω_k referans çerçevesi ile dönen ortalama dönme oranının indis gösterimidir. Bu modelde taşınım denklemleri ise aşağıdaki gibidir.

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (ku_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (3.19)$$

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} \quad (3.20)$$

S ve G_k , standart k- ε modelindeki gibi hesaplanması karşın farklı olan ifadeler aşağıdaki gibidir.

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right] \quad (3.21)$$

$$\eta = S \frac{k}{\varepsilon} \quad (3.22)$$

Bu modeldeki diğer sabitler ise şu şekildedir.

$$A_0 = 4.04; A_S = \sqrt{6} \cos \phi$$

$$\phi = \frac{1}{3} \cos^{-1} \left(\sqrt{6} \frac{S_{ij} S_{jk} S_{ki}}{\tilde{S}^3} \right)$$

$$\tilde{S} = \sqrt{S_{ij} S_{ij}}$$

$$C_{1\varepsilon} = 1.44; C_2 = 1.9; \sigma_k = 1.0; \sigma_\varepsilon = 1.2$$

3.3.4 Standart k- ω (standard k- ω) modeli

Ampirik bir türbülans modeli olan standart k- ω modelinin FLUENT'teki kullanılan versiyonu Wilcox (1998) tarafından sunulan modele dayanmaktadır. Bu model düşük Re sayılarının etkisi, sıkıştırılabilirlik ve kayma akımının yayılımına ilişkin değişiklikler içermektedir. Bahse konu olan türbülans modelinde μ_t , türbülans kinetik enerjisi k ve dağılım oranı ω 'nin bir fonksiyonudur.

$$\mu_t = \alpha^* \frac{\rho k}{\omega} \quad (3.23)$$

$$\alpha^* = \alpha_\infty^* \left(\frac{0.024 + \frac{\rho k}{6\mu\omega}}{1 + \frac{\rho k}{6\mu\omega}} \right) \quad (3.24)$$

k ve ω aşağıdaki denklemlerden elde edilirler.

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_i} (k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k \quad (3.25)$$

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_i} (\omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega \quad (3.26)$$

G_k , standard k- ε modelinde kullanılan G_k ile aynıdır. G_ω ise dağılım oranının üretimidir. Aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$G_\omega = \alpha \frac{\omega}{k} G_k \quad (3.27)$$

Burada α değeri ise şu şekildedir.

$$\alpha = \frac{\alpha_\infty}{\alpha^*} \left(\frac{\alpha_0 + \frac{\rho k}{2.95 \mu \omega}}{1 + \frac{\rho k}{2.95 \mu \omega}} \right) \quad (3.28)$$

Türbülans kinetik enerjisinin dağılımı olan Y_k ise aşağıdaki gibidir.

$$Y_k = \rho \beta^* f_{\beta^*} k \omega \quad (3.29)$$

Formülde yer alan diğer ifadelere ilişkin formüller ise şu şekildedir.

$$f_{\beta^*} = \begin{cases} 1 & x_k \leq 0 \\ \frac{1 + 680x_k^2}{1 + 400x_k^2} & x_k > 0 \end{cases} \quad (3.30)$$

$$x_k \equiv \frac{1}{\omega^3} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (3.31)$$

$$\beta^* = 0.09 \left(\frac{4/15 + \left(\frac{\rho k}{8\mu\omega} \right)^4}{1 + \left(\frac{\rho k}{8\mu\omega} \right)^4} \right) \quad (3.32)$$

Dağılım oranı olarak nitelendirilen Y_ω ise aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Y_\omega = \rho \beta f_\beta \omega^2 \quad (3.33)$$

Formülde yer alan diğer ifadelerle ilişkin formüller ise aşağıdaki gibidir.

$$f_\beta = \frac{1 + 70x_\omega}{1 + 80x_\omega} \quad (3.34)$$

$$x_\omega = \left| \frac{\Omega_{ij} \Omega_{jk} S_{ki}}{(\beta_\infty^* \omega)^3} \right| \quad (3.35)$$

$$\Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.36)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (3.37)$$

Sıkıştırılmaz akışlar için $\beta = \beta_i = 0,072$ dir.

Modeldeki diğer sabitler ise aşağıdaki gibidir.

$$\alpha_{\infty}^* = 1; \alpha_{\infty} = 0.52; \alpha_0 = \frac{1}{9}$$

$$\sigma_k = 2.0; \sigma_{\omega} = 2.0$$

3.3.5 SST k- ω (Shear - Stress Transport k- ω) modeli

Menter (1994) tarafından geliştirilen SST k- ω modeli, standart k- ω modeli ile aynı yapıya sahip olsa da, bu modelde standart k- ϵ modeli, k- ω ya dönüştürülmüştür. Bu model standart k- ω ya göre akışların geniş kapsamında daha güvenilir ve hassastır (Pulat ve ark., 2011).

μ_t aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\mu_t = \frac{\rho k}{\omega} \frac{1}{\max\left[\frac{1}{\alpha^*}, \frac{SF_2}{\alpha_1 \omega}\right]} \quad (3.38)$$

Bu ifadedeki değerler ise şu şekildedir.

$$F_2 = \tanh(\Phi_2^2) \quad (3.39)$$

$$\Phi_2 = \max\left[2 \frac{\sqrt{k}}{0.09 \omega y}, \frac{500 \mu}{\rho y^2 \omega}\right] \quad (3.40)$$

$$\alpha^* = \alpha_\infty^* \left(\frac{0.024 + \frac{\rho k}{6\mu\omega}}{1 + \frac{\rho k}{6\mu\omega}} \right) \quad (3.41)$$

y, bir sonraki yüzeye uzaklığı ifade etmektedir. SST k- ω modelinde taşınım denklemleri ise şöyledir.

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_i} (ku_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \tilde{G}_k - Y_k \quad (3.42)$$

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_i} (\omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega \quad (3.43)$$

Bu taşınım denklemlerinde yer alan ifadeler ise şu şekildedir.

$$\Gamma_k = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \quad (3.44)$$

$$\Gamma_\omega = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \quad (3.45)$$

$$\sigma_k = \frac{1}{F_1 / \sigma_{k,1} + (1 - F_1) / \sigma_{k,2}} \quad (3.46)$$

$$\sigma_\omega = \frac{1}{F_1 / \sigma_{\omega,1} + (1 - F_1) / \sigma_{\omega,2}} \quad (3.47)$$

$$F_1 = \tanh(\Phi_1^4) \quad (3.48)$$

$$\Phi_1 = \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{0.09\omega y}, \frac{500\mu}{\rho y^2 \omega} \right), \frac{4\rho k}{\sigma_{\omega,2} D_{\omega}^+ y^2} \right] \quad (3.49)$$

$$D_{\omega}^+ = \max \left[2\rho \frac{1}{\sigma_{\omega,2}} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-10} \right] \quad (3.50)$$

$$\tilde{G}_k = \min(G_k, 10\rho\beta^* k\omega) \quad (3.51)$$

G_k ise aşağıdaki ifadelere göre hesaplanır.

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (3.52)$$

$$G_{\omega} = \frac{\alpha}{V_t} G_k \quad (3.53)$$

α ise aşağıda yer alan ifadeye göredir.

$$\alpha = \frac{\alpha_{\infty}}{\alpha^*} \left(\frac{\alpha_0 + \frac{\rho k}{2.95\mu\omega}}{1 + \frac{\rho k}{2.95\mu\omega}} \right) \quad (3.54)$$

Fakat α_{∞} tanımı, standard k- ω daki tanımdan farklıdır. Bu ifade SST k- ω modelinde sabit olmayıp, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\alpha_{\infty} = F_1 \alpha_{\infty,1} + (1 - F_1) \alpha_{\infty,2} \quad (3.55)$$

Buradaki hesaplamada kullanılan terimler ise şöyledir.

$$\alpha_{\infty,1} = \frac{\beta_{i,1}}{\beta_{\infty}^*} - \frac{\kappa^2}{\sigma_{\omega,1} \sqrt{\beta_{\infty}^*}} \quad (3.56)$$

$$\alpha_{\infty,2} = \frac{\beta_{i,2}}{\beta_{\infty}^*} - \frac{\kappa^2}{\sigma_{\omega,2} \sqrt{\beta_{\infty}^*}} \quad (3.57)$$

$$Y_k = \rho \beta^* k \omega, \quad Y_{\omega} = \rho \beta \omega^2 \quad (3.58 \text{ ve } 3.59)$$

Sıkıştırılmayan akışlar için β , β_i eşittir. Fakat SST k- ω modelinde β_i sabit olmayıp, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\beta_i = F_1 \beta_{i,1} + (1 - F_1) \beta_{i,2} \quad (3.60)$$

$$D_{\omega} = 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega,2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (3.61)$$

Bu modelde kullanılan sabitler ise sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_{k,1} = 1.176; \quad \sigma_{\omega,1} = 2.0; \quad \sigma_{k,2} = 1.0; \quad \sigma_{\omega,2} = 1.168$$

$$\alpha_1 = 0.31; \quad \beta_{i,1} = 0.075; \quad \beta_{i,2} = 0.0828$$

3.4 Duvar Fonksiyonları

Akışın üzerinde gerçekleştiği duvar bölgesi viskoz alt tabaka, tampon tabaka ve tam türbülans bölgesi olmak üzere üç alt tabakadan oluşur. Viskoz alt tabakada akış neredeyse laminer olup moleküler viskozite akıştaki baskın özelliktir. Tam türbülanslı bölgede ise türbülans etkin rol oynar. Tampon tabaka ise viskoz alt tabaka ile tam türbülans bölgesi arasındadır. Moleküler viskozite ile türbülans bu bölgede eşit önemdedir (Pulat ve ark., 2011).

Duvar bölgesini modellemek için iki farklı yaklaşım söz konusudur. Bir yaklaşımda, viskoz alt tabaka ile tampon tabaka çözülmez. Bunun yerine, duvar fonksiyonları denilen yarı ampirik formüller bu bölgeler için kullanılır. Duvar fonksiyonları duvar ve türbülans bölgesi arasında köprü vazifesi görür. Bir diğer yaklaşımda, türbülans modelleri viskoz alt tabakayı da kapsayarak bu bölgelerde sık ağ örgüsü kullanılmasını geçerli kılacak şekilde değiştirilir (Pulat ve ar. 2011). Bu çalışmada standart duvar fonksiyonu (standard wall function), dengesiz duvar fonksiyonu (non-equilibrium wall function) ve güçlendirilmiş duvar davranışı (enhanced wall treatment) kullanılmıştır.

3.4.1 Standart duvar fonksiyonu

Lauder ve Spalding (1974) önerisi temeline dayanılarak FLUENT tarafından kullanılan bu fonksiyon endüstriyel akışlarda geniş bir alanda kullanılmaktadır (Pulat ve ark. 2011). Bu modele göre duvara yakın bölgede momentum denklemi aşağıdaki gibidir.

$$U^* = \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^*) \quad (3.62)$$

Momentum denkleminde yer alan terimler ve ifadeler ise aşağıdaki gibidir.

$$y^* \equiv \frac{\rho C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} y_p}{\mu} \quad (3.63)$$

κ : von Karman sabiti (=0.4187)

E : ampirik sabit (=9.793)

k_p : Belirli bir noktadaki türbülans kinetik enerjisi

y_p : Belirli bir noktanın duvara olan uzaklığı

Enerji denklemi için

$$T^* \equiv \frac{(T_\omega - T_p) \rho c_p C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{\dot{q}} \quad (3.64)$$

Enerji denkleminde yer alan terimler ve ifadeler ise şöyledir.

T_ω : Duvar sıcaklığı

T_p : Duvara bitişik olan hücre sıcaklığı

\dot{q} : Duvar ısı akısı

Türbülans için, türbülans kinetik enerjisi k ve ε aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$G_k \approx \tau_\omega \frac{\partial U}{\partial y} = \tau_\omega \frac{\tau_\omega}{\kappa \rho C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} y_p} \quad (3.65)$$

$$\varepsilon_p = \frac{C_\mu^{3/4} k_p^{3/2}}{\kappa y_p} \quad (3.66)$$

3.4.2 Dengesiz duvar fonksiyonu

Kim ve Choudhury (1995) iki tabakalı duvar yaklaşımı gösteren dengesiz duvar fonksiyonunun, standart duvar fonksiyonundaki gibi sıcaklık aynı kalmasına rağmen, ortalama hızın basınç değişim etkilerine daha duyarlı olduğunu belirtmişlerdir (Pulat ve ark. 2011).

$$\left[U - \frac{1}{2} \frac{dp}{dx} \left(\frac{y_v}{\rho \kappa \sqrt{k}} \ln \left(\frac{y}{y_v} \right) + \frac{y - y_v}{\rho \kappa \sqrt{k}} + \frac{y_v^2}{\mu} \right) \right] \left(\frac{C_\mu^{1/4} k^{1/2} y}{\tau_\omega / \rho} \right) = \frac{1}{\kappa} \ln \left(E \frac{\rho C_\mu^{1/4} k^{1/2} y}{\mu} \right) \quad (3.67)$$

y_v fiziki viskoz alt tabaka kalınlığıdır. Aşağıdaki ifadeye göre tanımlanır.

$$y_v \equiv \frac{11.225 \mu}{\rho C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}} \quad (3.68)$$

Türbülans miktarları ile ilgili tahminler ise aşağıdaki gibidir.

$$\tau_t = \begin{cases} 0, & y < y_v \\ \tau_w, & y > y_v \end{cases} \quad (3.69)$$

$$k = \begin{cases} \left(\frac{y}{y_v}\right)^2 k_p, & y < y_v \\ k_p, & y > y_v \end{cases} \quad (3.70)$$

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{2\nu k}{y^2}, & y < y_v \\ \frac{k^{3/2}}{C_l^* y}, & y > y_v \end{cases} \quad (3.71)$$

3.4.3 Güçlendirilmiş duvar davranışı

İki tabakalı model (two-layer model) ve güçlendirilmiş duvar fonksiyonundan (enhanced wall function) oluşur. İki tabakalı modelde, laminer alt tabakayı çözümlenebilmek için sık ağ örgüsü gerekmektedir. Ayrıca bu ağ örgüsü tüm duvarların çözüm alanlarında küçük olmalıdır. Bu sebepten dolayı tüm geometriler için uygun olmama ihtimali mevcuttur. Bu sebepten dolayı, iki tabakalı modelin gelişmiş duvar fonksiyonu ile birleştirilmesi avantajlıdır (Anonim, 2006).

İki Tabakalı Model: Bu modelde, tüm çalışma alanı viskoziteden etkilenen bölgeye bölünmekte ve tam türbülans bölgesine göre duvar mesafesini baz alarak Reynolds sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Re_y \equiv \frac{\rho y \sqrt{k}}{\mu} \quad (3.72)$$

Burada y şu şekilde ifade edilir.

$$y \equiv \min_{\vec{r}_w \in \Gamma_w} \|\vec{r} - \vec{r}_w\| \quad (3.73)$$

Burada \vec{r} alanın bir noktasındaki konum vektörü ve \vec{r}_w de duvar sınırındaki konum vektörüdür. Eğer $Re_y > 200$ ise, k- ϵ modeli ya da RSM modeline göre aksi takdirde Wolfstein'in tek denklemler modeline (Wolfstein 1969) göre çalışır. Türbülans viskozitesi şu şekilde hesaplanır.

$$\mu_{t,2layer} = \rho C_\mu \ell_\mu \sqrt{k} \quad (3.74)$$

ℓ_μ ise uzunluk ölçeği olup, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\ell_\mu = y C_\ell^* \left(1 - e^{-Re_y/A_\mu}\right) \quad (3.75)$$

$$\mu_{t,enh} = \lambda_\epsilon \mu_t + (1 - \lambda_\epsilon) \mu_{t,2layer} \quad (3.76)$$

Güçlendirilmiş Duvar Davranışı: Bu modelde, Kader'in (1981) önermiş olduğu bir fonksiyon ile laminer ve türbülans yasaları harmanlanır.

$$u^+ = e^\Gamma u_{lam}^+ + e^{-\frac{1}{\Gamma}} u_{turb}^+ \quad (3.77)$$

$$\Gamma = -\frac{0.01(y^+)^4}{1 + 5y^+} \quad (3.78)$$

$$T^+ = e^{\Gamma} T_{lam}^+ + e^{-\frac{1}{\Gamma}} T_{turb}^+ \quad (3.79)$$

$$\Gamma = -\frac{0.01(\text{Pr } y^+)^4}{1 + 5\text{Pr}^3 y^+} \quad (3.80)$$

3.5 Sınır Şartları

Bu çalışma kapsamında ele alınan geometriler için hazırlanan modellerde kullanılan sınır şartları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Cidarlara göre sınır şartları

	Bu Çalışmada			
	Giriş	Üst Duvar, Basamak Öncesi Alt Duvar, Basamak	Basamak Sonrası Alt Duvar	Çıkış
Vogel ve Eaton (1985)	Hız Girişi	Adiyabatik Duvar	Sabit Isı Akısı Uygulanmış Duvar	Basınç Çıkışı
Driver ve Seegmiller (1985)	Hız Girişi	Adiyabatik Duvar	Adiyabatik Duvar	Basınç Çıkışı
Isomoto ve Honami (1989)	Hız Girişi	Adiyabatik Duvar	Adiyabatik Duvar	Basınç Çıkışı
Haque ve ark. (2007)	Hız Girişi	Adiyabatik Duvar	Adiyabatik Duvar	Basınç Çıkışı

Literatürde yer alan bu çalışmalarda cidarlara tanımlanan sınır şartları için kullanılan fiziksel büyüklükler ise Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Sınır şartları için fiziksel büyüklükler

	Giriş Hızı (m/s)	Giriş Sıcaklığı ($T = T_{\infty}$) (°C)	Türbülans Şiddeti (Tu) (%)	Adiyabatik Duvarlar	Isı Akısı Uygulaması (W/m^2)	Çıkış Basıncı
Vogel ve Eaton (1985)	11,3	20	0,2	$u=0$ $v=0$	270	$P=0$ $T = T_{\infty}$
Driver ve Seegmiller (1985)	44,2	20	4	$u=0$ $v=0$	-	$P=0$ $T = T_{\infty}$
Isomoto ve Honami (1989)	12	20	0,25; 1,3 3,3; 5,3 5,7; 7,4	$u=0$ $v=0$	-	$P=0$ $T = T_{\infty}$
Haque ve ark. (2007)	4,84	20	5; 5,5 6; 6,5 7,5	$u=0$ $v=0$	-	$P=0$ $T = T_{\infty}$

Bölüm 3.2.6’da belirtilen uyarlanmış geometriler için tanımlanan cidar sınır şartları ve sınır şartlarında kullanılan fiziksel büyüklükler ise Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6’da belirtilmişlerdir.

Çizelge 3.5. Uyarlanmış geometriler için cidarlara göre sınır şartları

	Giriş	Üst Duvar, Basamak Öncesi Alt Duvar, Basamak	Basamak Sonrası Alt	Çıkış

			Duvar	
Uyarlanmış Vogel ve Eaton	Hız Girişi	Adiyabatik Duvar	Sabit Isı Akısı Uygulanmış Duvar	Basınç Çıkışı
Uyarlanmış Driver ve Seegmiller	Hız Girişi	Adiyabatik Duvar	Sabit Isı Akısı Uygulanmış Duvar	Basınç Çıkışı
Uyarlanmış Isomoto ve Honami	Hız Girişi	Adiyabatik Duvar	Sabit Isı Akısı Uygulanmış Duvar	Basınç Çıkışı
Uyarlanmış Haque ve ark.	Hız Girişi	Adiyabatik Duvar	Sabit Isı Akısı Uygulanmış Duvar	Basınç Çıkışı

Çizelge 3.6. Uyarlanmış geometriler için sınır şartları büyüklükleri

	Uniform Giriş Hızı (m/s)	Giriş Sıcaklığı ($T = T_{\infty}$) (°C)	Türbülans Şiddeti (Tu) (%)	Adiyabatik Duvarlar	Sabit Isı Akısı (W/m^2)	Çıkış Basıncı
Uyarlanmış Vogel ve Eaton	10	20	0,2; 1,3; 3,3; 5,5; 6,5; 7,5	$u=0$ $v=0$	270	$P=0$ $T = T_{\infty}$
Uyarlanmış Driver ve Seegmiller	40	20	0,2; 1,3; 3,3; 5,5; 6,5; 7,5	$u=0$ $v=0$	270	$P=0$ $T = T_{\infty}$
Uyarlanmış Isomoto ve Honami	11	20	0,2; 1,3; 3,3; 5,5; 6,5; 7,5	$u=0$ $v=0$	270	$P=0$ $T = T_{\infty}$
Uyarlanmış Haque ve ark.	4	20	0,2; 1,3; 3,3; 5,5; 6,5; 7,5	$u=0$ $v=0$	270	$P=0$ $T = T_{\infty}$

3.6 Sayısal Yöntem ve Ağ Örgü (Mesh) Yapısı

Bu tez çalışmasında öncelikli olarak Vogel ve Eaton (1985) tarafından yapılan deneysel çalışmanın doğrulanmasına yönelik bir arayış sergilenmiştir. Yapılacak doğrulamanın ardından diğer geometriler ve analizler için uygun algoritma seçilmiştir. Bu yaklaşım çerçevesinde SIMPLE ve SIMPLE-C algoritmalarında birinci ve ikinci dereceden yaklaşımlar kullanılarak sırasıyla Standart k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleri üzerinden ısı transferini en doğru tahmin eden modele ulaşmaya çalışılmıştır. Ayrıca kullanılan her model için ayrı ayrı standart duvar fonksiyonu, dengesiz duvar fonksiyonu ve güçlendirilmiş duvar davranışı kullanılarak en iyi çözüm için değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

Bu bağlamda yapılan çalışmalar sonucunda söz konusu çalışmada gerek ısı transferini gerekse akış karakteristiklerini deneysel sonuçlar ile en yakın tahmin eden modelin, SIMPLE-C algoritması, birinci dereceden yaklaşım, Realizable k-ε modeli ve dengesiz duvar fonksiyonu olduğu görülmüştür.

Vogel ve Eaton (1985) geometrisinde gerçekleştirilen doğrulamanın ardından ısı transferi ve akış karakteristiklerinin tahminine yönelik katsayı değişimleri gerçekleştirilerek en iyi çözüme yaklaşılabilmesi için Standart k-ε ve RNG k-ε modellerinde dengesiz duvar fonksiyonu için farklı katsayılar uygulanmıştır. Söz konusu metoda ilişkin katsayı değişiklikleri Çizelge 3.7’de belirtilmiştir.

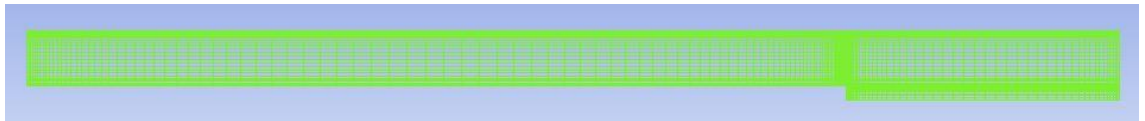
Çizelge 3.7. Modifiye modeller için tanımlanmış katsayılar

Standart k – ε Dengesiz Duvar Fonksiyonu	
Akış Karakteristikleri	Isı Transferi

Varsayılan	Mod. 1	Mod. 2	Varsayılan	Mod. 1	Mod. 2
c1 = 1,42 c2 = 1,68	c1 = 1,577 c2 = 1,92	c1 = 1,485 c2 = 1,833	c1 = 1,42 c2 = 1,68	c1 = 1,44 c2 = 1,833	c1 = 1,485 c2 = 1,92
RNG k – ε Dengesiz Duvar Fonksiyonu					
Akış Karakteristikleri			Isı Transferi		
Varsayılan	Mod. 1		Varsayılan	Mod. 2	
c1 = 1,42 c2 = 1,68	c1 = 1,599 c2 = 1,68		c1 = 1,42 c2 = 1,68	c1 = 1,542 c2 = 1,68	

Bununla birlikte temel geometride ısı transferi ve akış karakteristiklerini en doğru tahmin eden Realizable k-ε modeli dengesiz duvar fonksiyonunun, Isomoto ve Honami (1989) ve Haque ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmaları, daha hassas modelleyebilmesi için Standart k-ω ve SST k-ω türbülans modelleri de kullanılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Temel geometri olarak nitelendirilen Vogel ve Eaton (1985) çalışmasındaki deneysel düzenek Şekil 3.21’ de gösterildiği gibi bir ağ örgüsüne sahiptir. Bu ağ örgüsü oluşturulurken birçok kez deneme yapılmıştır. Basamak sonrası alt duvar üzerinden, cidara en yakın ağ örgüsünün birimsiz uzunluğu (y^+) kontrolü gerçekleştirilerek, belirlenen güvenilir aralıkta kalmasından (30-300) dolayı Şekil 3.21’ deki ağ örgüsünün kullanımı uygun bulunmuştur. Bu kapsamda modellenen geometri üzerinden elde edilecek sonuçların ağ örgüsünden bağımsızlığı da kontrol edilerek, ulaşılan optimum yapının diğer geometrilere de uygulanmasına geçilmiştir.

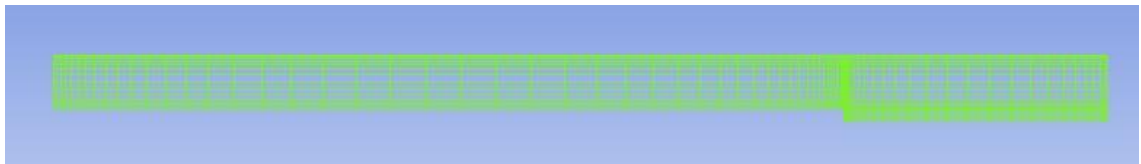


Şekil 3.21. Vogel ve Eaton (1985) genel ağ örgü yapısı

Yapılan bu çalışmalarda Şekil 3.20’de belirlenen ağ örgü yapısı daha sık ve daha seyrek olmak üzere iki farklı şekilde modellenerek eleman ve düğüm sayıları farklı olacak şekilde y^+ kontrolüne tabi tutulmuşlardır. Ayrıca Vogel ve Eaton (1985) çalışmasında kontrol edilen temel özellik olan ısı transferi karakteristiği de sık ve seyrek ağ örgü yapısı için incelenmiştir. Bu inceleme sırasında kullanılan türbülans modeli ise Bölüm 4’te gösterileceği üzere kullanılmasına karar verilen SIMPLE – C algoritması, birinci dereceden yaklaşım, Realizable $k - \epsilon$ türbülans modeli ve dengesiz duvar fonksiyonudur. Ağ örgüsü bağımsızlığı için kullanılan yapılara ait yapılar ve detay bilgileri Şekil 3.22, Şekil 3.23’de Çizelge 3.8’ de; yapılan kontroller sonucunda elde edilen grafikler ise Şekil 3.24 ve Şekil 3.25’de sunulmaktadır. Şekil 3.24’teki y eksenini ile Şekil 3.25’teki x eksenindeki ifadeler birimsiz olup; Şekil 3.24’teki x ekseninin birimi metredir. Şekil 3.25’teki y eksenini ise Stanton sayısıdır.

Çizelge 3.8. Ağ örgüsü bağımsızlığı için kullanılan ağ örgüleri bilgileri

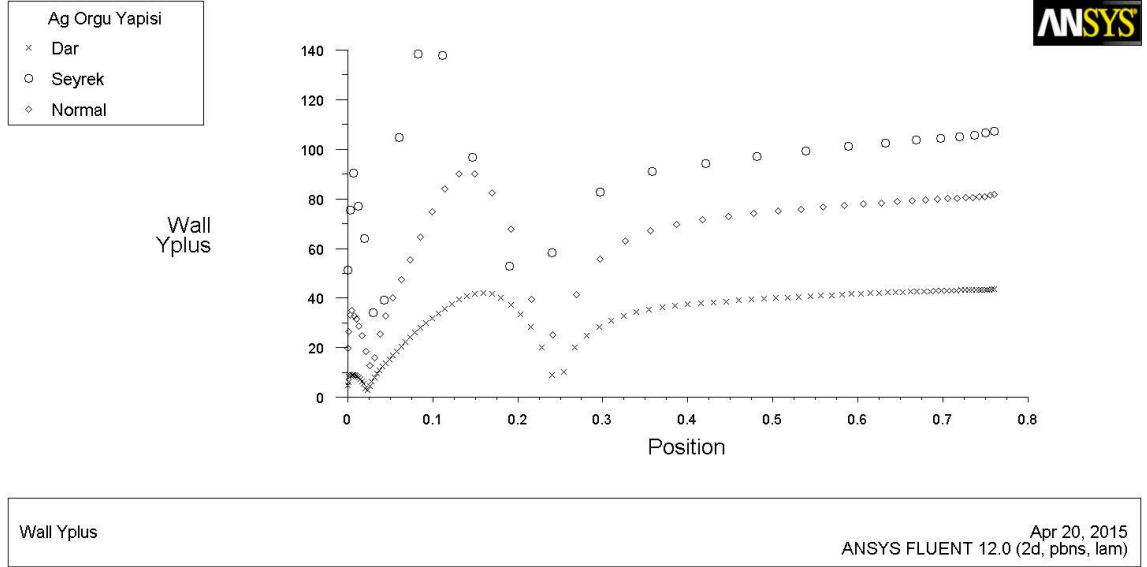
Vogel ve Eaton (1985)	Bu Çalışmada		
	Ağ Örgü Yapısı	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
Seyrek Ağ Örgüsü	Hiperbolik	1175	1270
Normal Ağ Örgüsü	Hiperbolik	4828	5020
Sık Ağ Örgüsü	Hiperbolik	19166	19540



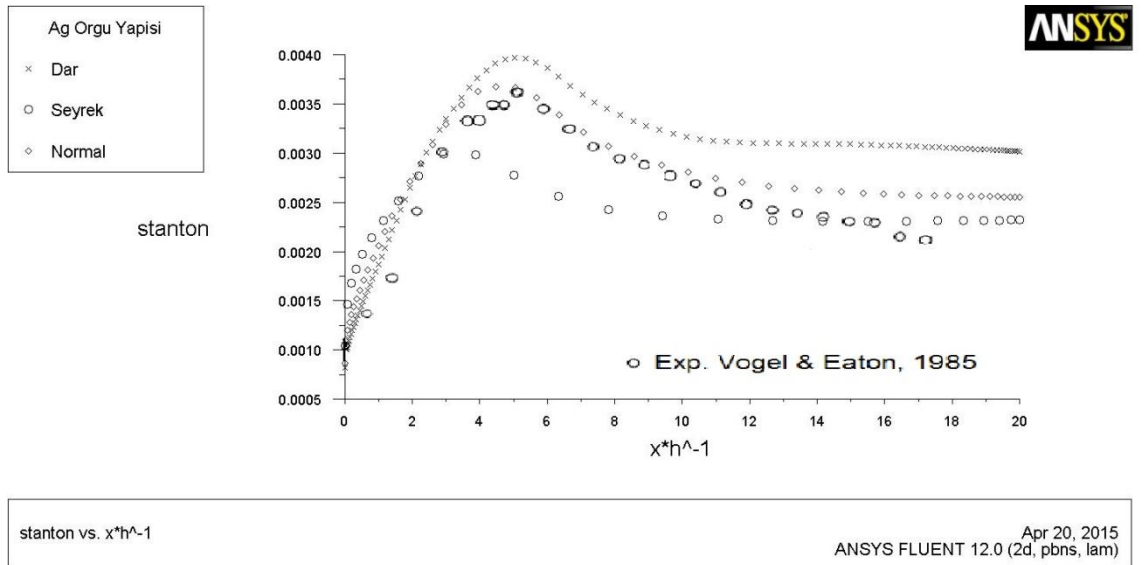
Şekil 3.22. Vogel ve Eaton (1985) genel ağ örgü yapısı (seyrek)



Şekil 3.23. Vogel ve Eaton (1985) genel ağ örgü yapısı (sık)

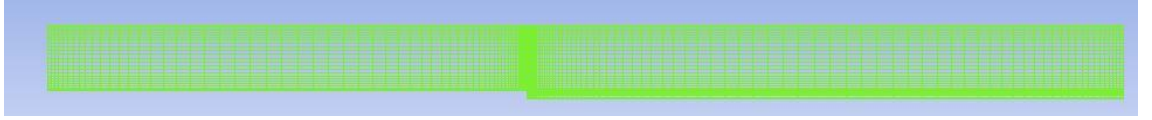


Şekil 3.24. Vogel ve Eaton (1985) için farklı ağ örgü yapılarında y^+

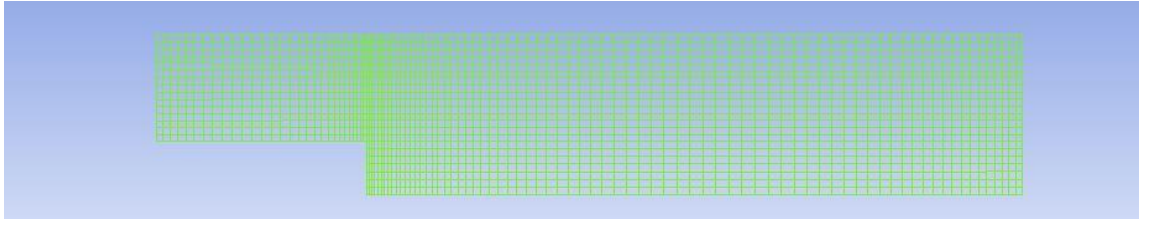


Şekil 3.25. Vogel ve Eaton (1985) için farklı ağ örgülerinde Stanton sayısı

Şekil 3.21’ de belirtilen ağ örgü yapısının ağ örgü yapısından bağımsız bir şekilde istenilen değerleri sağlamasının ardından, uygulanan sistematik yaklaşım diğer modellerin ağ örgü yapısının oluşturulmasında da takip edilmiştir. Bu doğrultuda diğer geometriler için kullanılan ağ örgü yapıları ise Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Driver ve Seegmiller (1985) genel ağ örgü yapısı



Şekil 3.27. Isomoto ve Honami (1989) genel ağ örgü yapısı



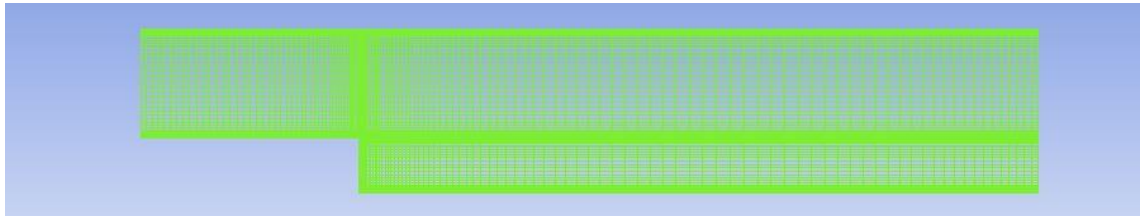
Şekil 3.28 Haque ve ark. genel ağ örgü yapısı

Şekil 3.21, Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de kullanılan genel ağ örgü yapıları Realizable k - ϵ modeli dengesiz duvar fonksiyonu için kullanılan yapılardır. Bu yapılara ilişkin genel bilgiler ise Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Ağ örgü bilgileri

	Bu Çalışmada		
	Ağ Örgü Yapısı	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
Vogel ve Eaton (1985)	Hiberbolik	4828	5020
Driver ve Seegmiller (1985)	Hiberbolik	4474	4640
Isomoto ve Honami (1989)	Hiberbolik	2041	2166
Haque ve ark. (2007)	Hiberbolik	3636	3833

Isomoto ve Honami (1989) ve Haque ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmaların daha hassas modellenebilmesi yönelik yapılan $k-\omega$ modelleri kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde kullanılan genel ağ örgü yapıları ve bilgileri ise Şekil 3.29, Şekil 3.30 ve Çizelge 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.29. Isomoto ve Honami (1989) genel ağ örgü yapısı ($k-\omega$ modelleri için)

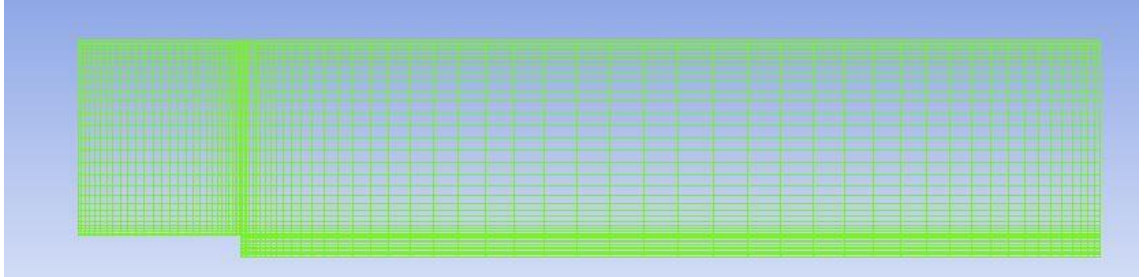


Şekil 3.30. Haque ve ark. (2007) genel ağ örgü yapısı ($k-\omega$ modelleri için)

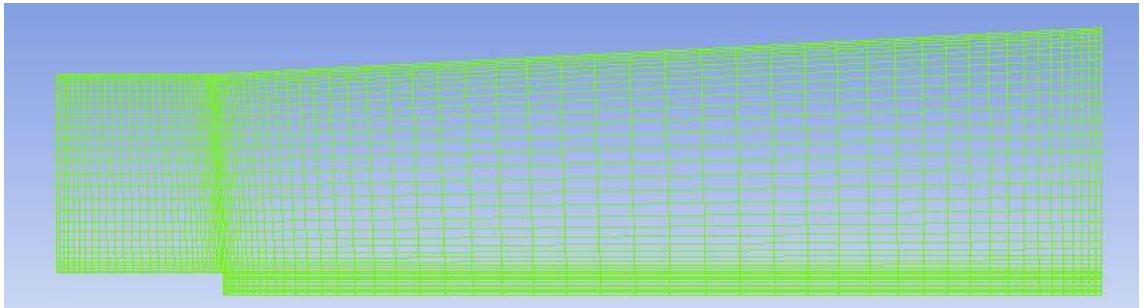
Çizelge 3.10. Ağ örgü bilgileri (k- ω modelleri için)

	Bu Çalışmada		
	Ağ Örgü Yapısı	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
Isomoto ve Honami (1989)	Hiperbolik	7634	7844
Haque ve ark. (2007)	Hiperbolik	7015	6792

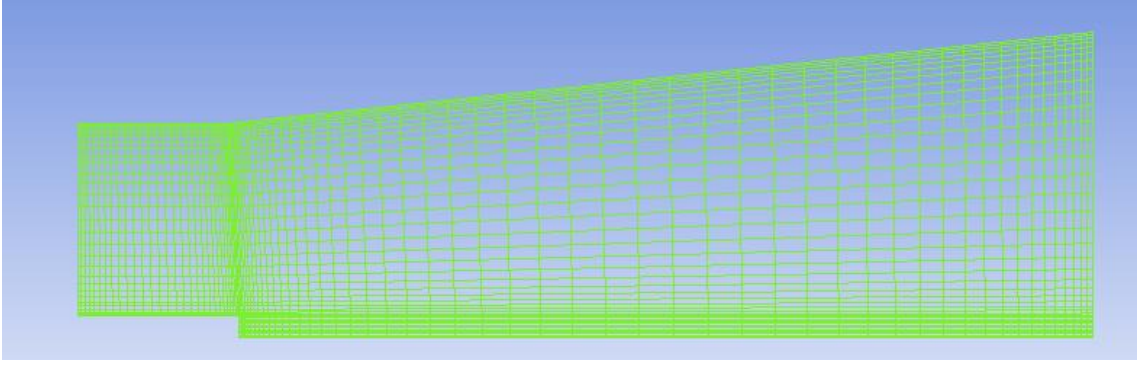
Belirtilen bu ağ örgüleri ve ağ örgü bilgileri ile doğrulaması gerçekleştirilen modellemelerin ardından, Realizable k- ϵ modeli dengesiz duvar fonksiyonu için uyarlanmış geometri olarak tanımladığımız modeller üzerindeki ağ örgü yapıları ve ağ örgü bilgileri ise Şekil 3.31 - 3.42' de ve Çizelge 3.10'da belirtilmiştir.



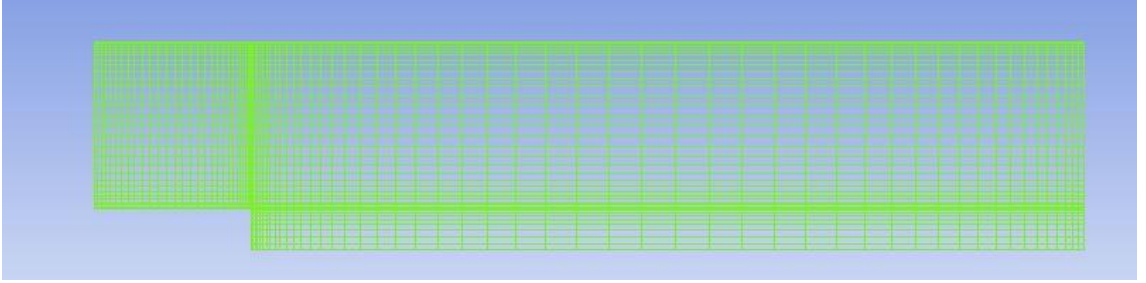
Şekil 3.31. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi



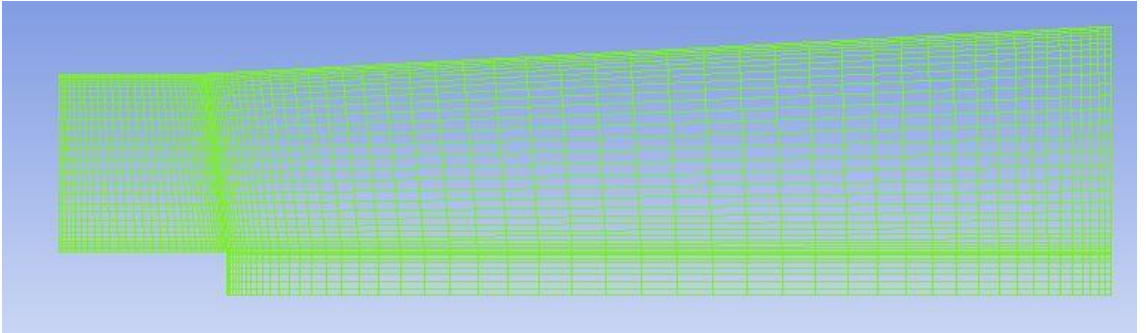
Şekil 3.32. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi (3 derece açılı)



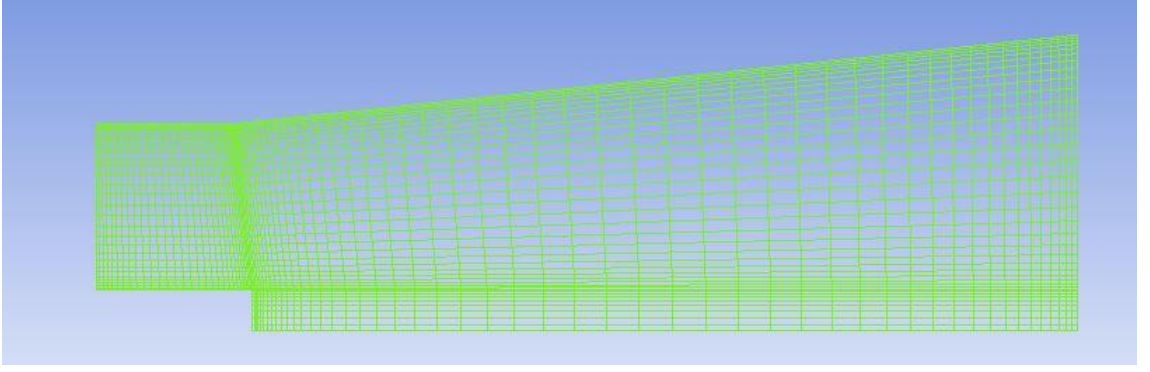
Şekil 3.33. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi (6 derece açılı)



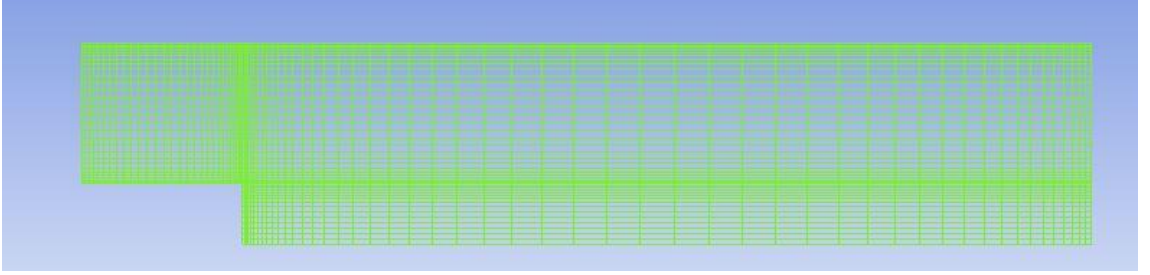
Şekil 3.34. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi



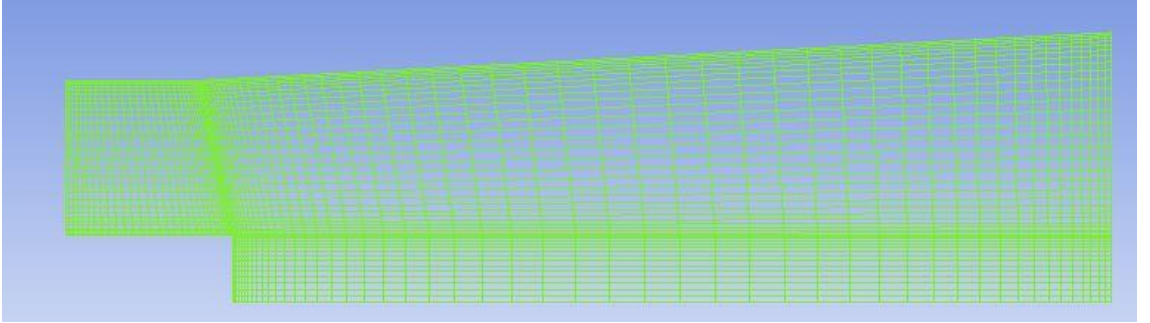
Şekil 3.35. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi (3 derece açılı)



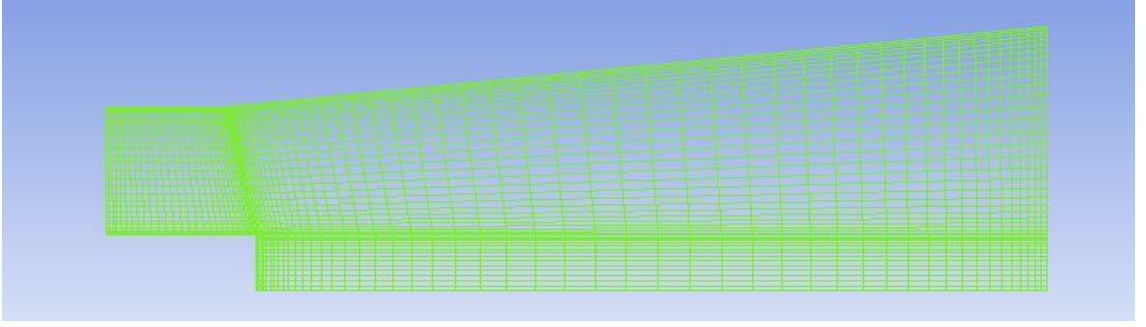
Şekil 3.36. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi (6 derece açılı)



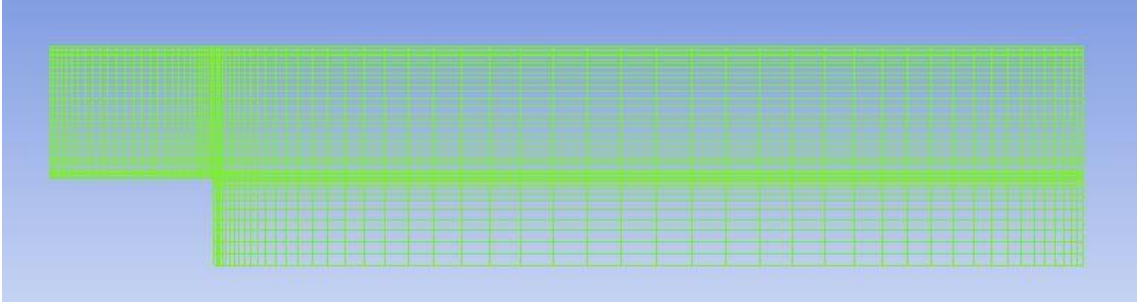
Şekil 3.37. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi



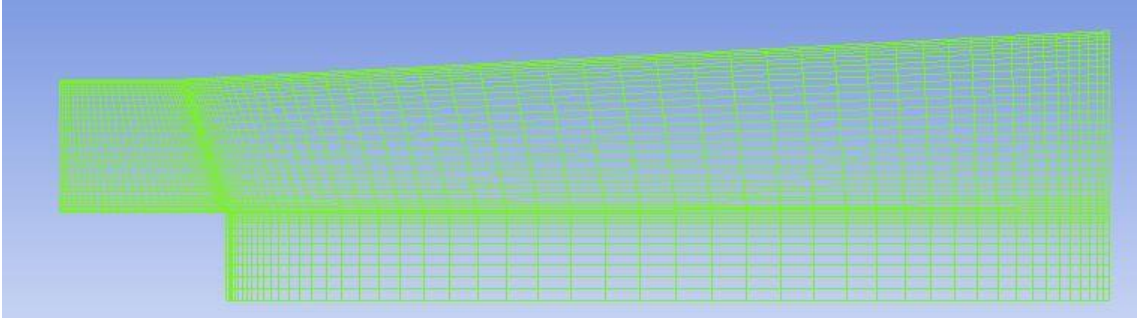
Şekil 3.38. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi (3 derece açılı)



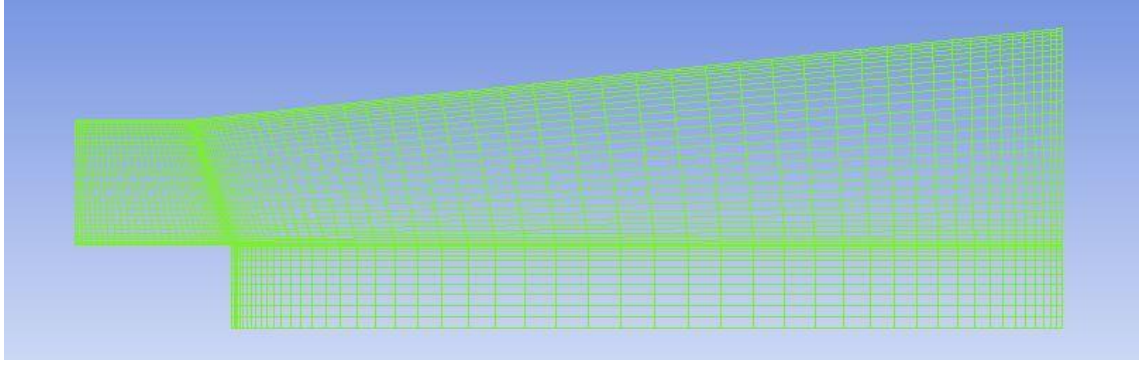
Şekil 3.39. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi (6 derece açılı)



Şekil 3.40. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi



Şekil 3.41. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi (3 derece açılı)

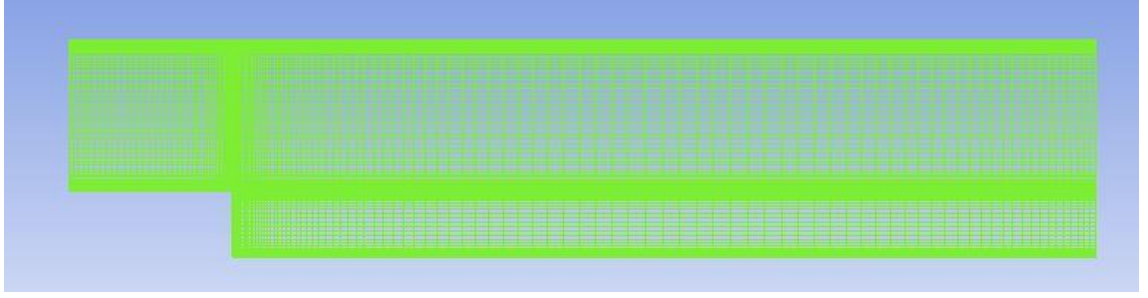


Şekil 3.42. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi (6 derece açılı)

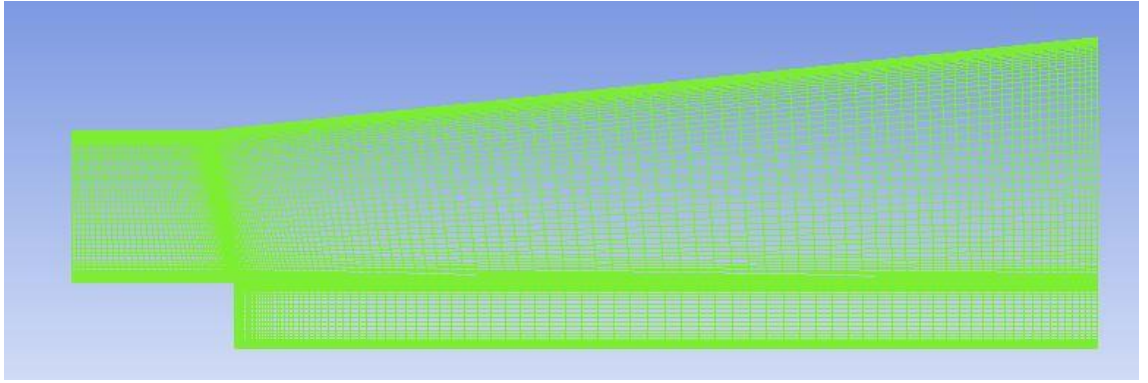
Çizelge 3.11. Uyarlanmış modeller için ağ örgü bilgileri

	Bu Çalışmada			
	Ağ Örgü Yapısı	Genişleme Açısı	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
Uyarlanmış Driver ve Seegmiller	Hiperbolik	0; 3°; 6°	2998	2881
Uyarlanmış Vogel ve Eaton	Hiperbolik	0; 3°; 6°	2894	2779
Uyarlanmış Isomoto ve Honami	Hiperbolik	0; 3°; 6°	3206	3085
Uyarlanmış Haque ve ark.	Hiperbolik	0; 3°; 6°	3050	2032

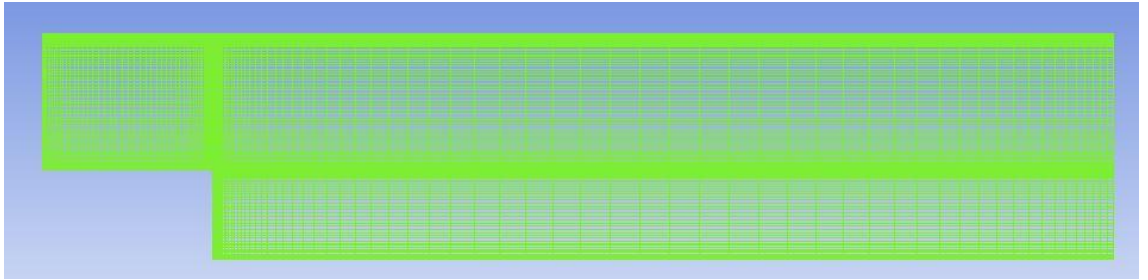
Literatürde yer alan Isomoto ve Honami (1989) ve Haque ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmaların doğrulanmasına yönelik yapılan daha hassas çözümler için gerçekleştirilen $k-\omega$ modelleri üzerinden yapılan analizdeki yaklaşım, uyarlanmış Isomoto ve Honami ile Haque ve ark. geometrilerine de uygulanmıştır. Bu yaklaşım sonucu ilgili ağ örgü yapıları ile ağ örgü bilgileri Şekil 3.43, Şekil 3.44, Şekil 3.45, Şekil 3.46 ve Çizelge 3.11’de belirtilmiştir.



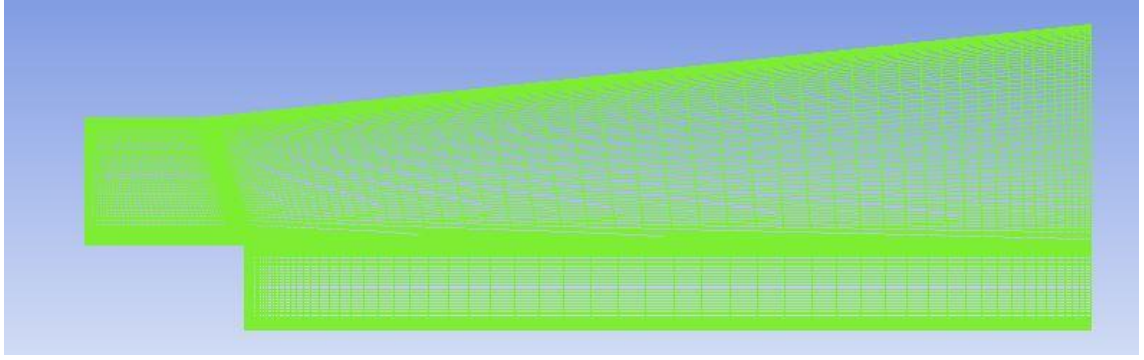
Şekil 3.43. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi ($k-\omega$ modelleri için)



Şekil 3.44. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi (6 derece açılı, $k-\omega$ modelleri için)



Şekil 3.45. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi ($k-\omega$ modelleri için)



Şekil 3.46. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi (6 derece açılı, $k-\omega$ modelleri için)

Çizelge 3.12. Uyarlanmış modeller için ağ örgün bilgileri ($k-\omega$ modelleri için)

	Bu Çalışmada		
	Ağ Örgü Yapısı	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
Uyarlanmış Isomoto ve Honami	Hiberbolik	10358	10123
Uyarlanmış Haque ve ark.	Hiberbolik	10893	10669

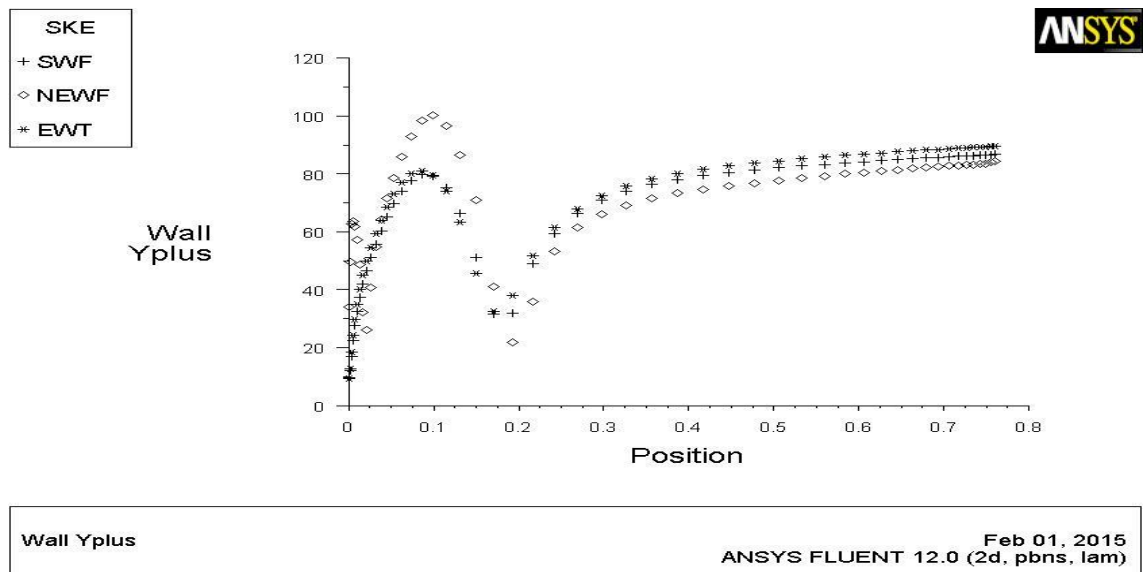
Tüm analizler belirtilen bu ağ örgü yapılarında gerçekleştirilmiş olup, daha önce belirtilen sınır şartlarının uygulanması sonucunda elde edilen bulgular ise şu şekildedir.

4. BULGULAR

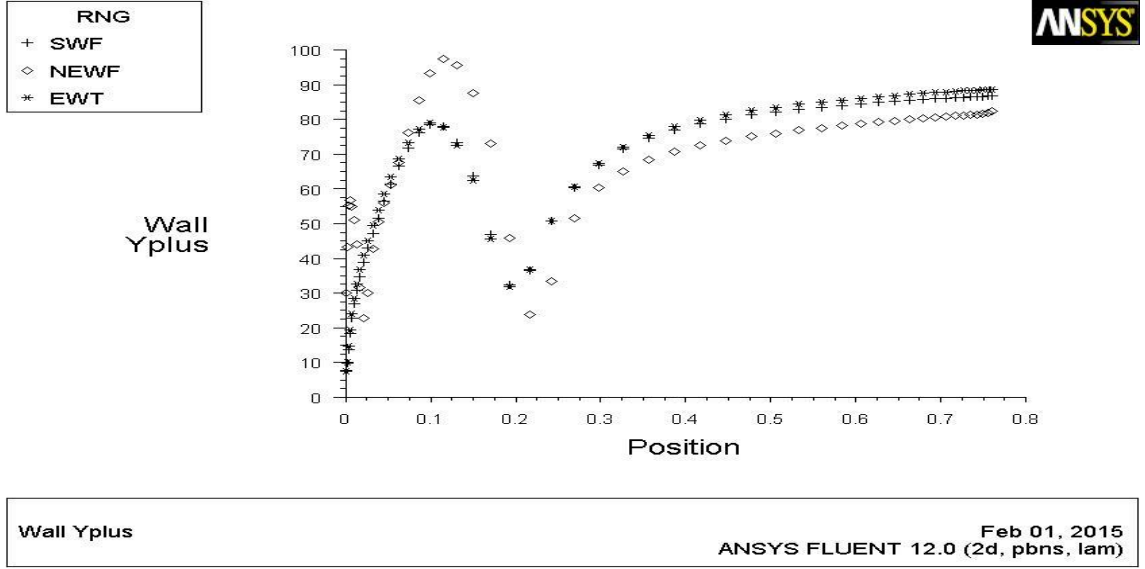
4.1 Vogel ve Eaton (1985) Çalışması

Temel geometri olarak değerlendirilen ve öncelikli olarak deneysel çalışmada elde edilen ısı transferine yönelik çalışmanın doğrulanabilmesi amacıyla ilk olarak ele alınan geometri Vogel ve Eaton (1985) tarafından gerçekleştirilen çalışmadır. Bu çalışmanın doğrulanabilmesi için sırasıyla SIMPLE ve SIMPLE-C algoritmalarında, birinci ve ikinci dereceden yaklaşımları ile sırasıyla Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleri uygulanmıştır. Kullanılan programda yer alan tüm duvar fonksiyonları uygulanarak ağ örgü modellemesinin güvenilir bir şekilde yapıldığına kanaat getirmek adına ilk olarak y^+ incelemesi gerçekleştirilmiştir.

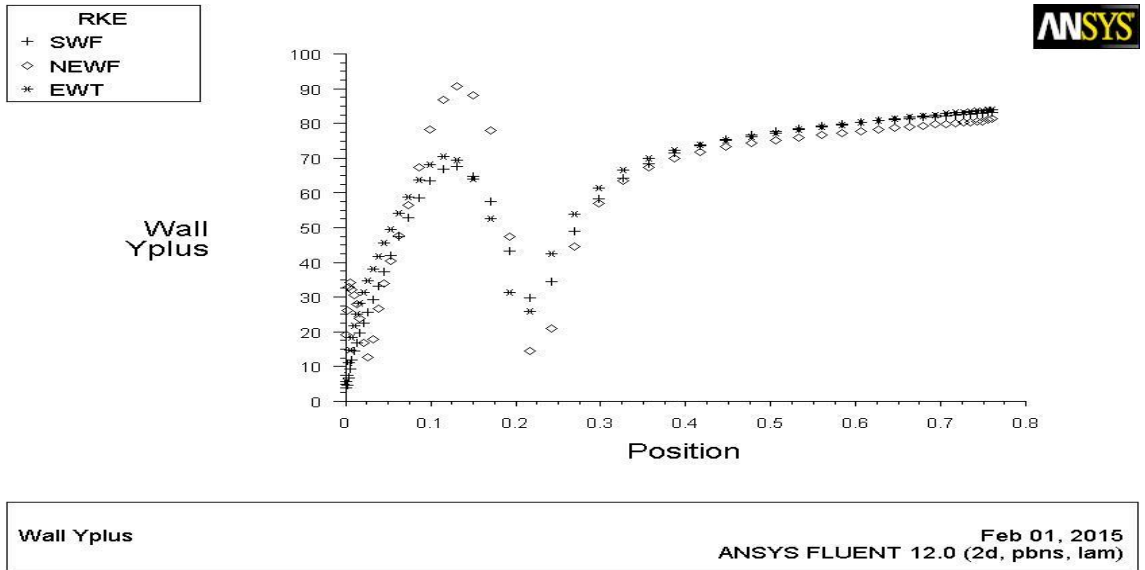
Kullanılan k-ε tabanlı modelin, güvenilir aralık olarak belirlenen y^+ aralığı (30-300) Şekil 3.21’de belirlenen geometride sağlanmıştır. Bu aralıklar Şekil 4.1 – 4.12’de x eksenini birim olarak metreyi, y eksenini birimsiz y^+ ‘yı ifade edecek şekilde belirtilmiştir.



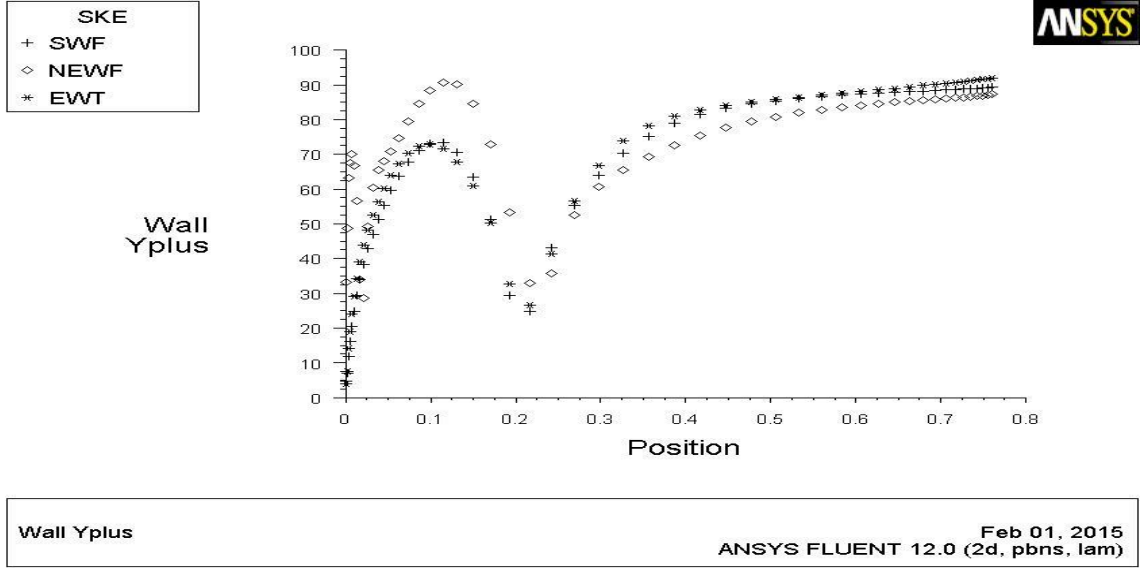
Şekil 4.1. SIMPLE FOU Standard k-ε için y^+



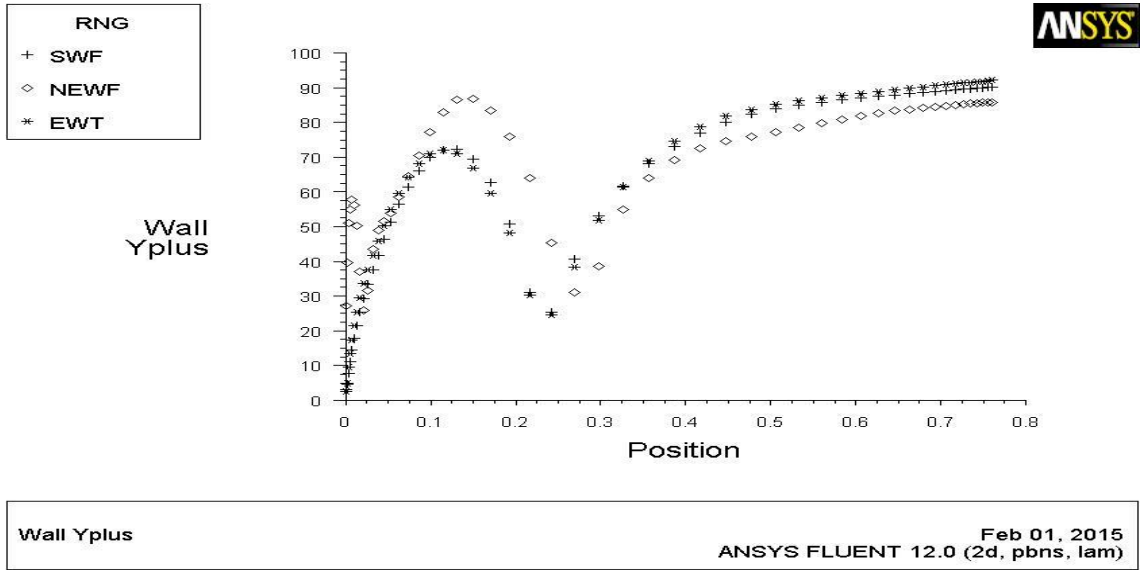
Şekil 4.2. SIMPLE FOU RNG k-ε için y^+



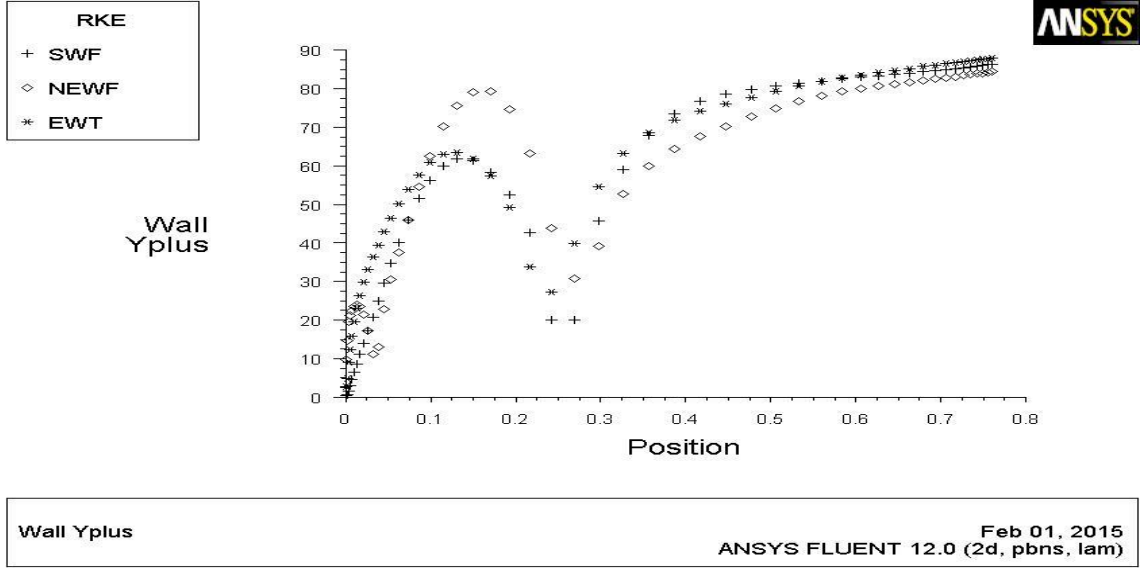
Şekil 4.3. SIMPLE FOU Realizable k-ε için y^+



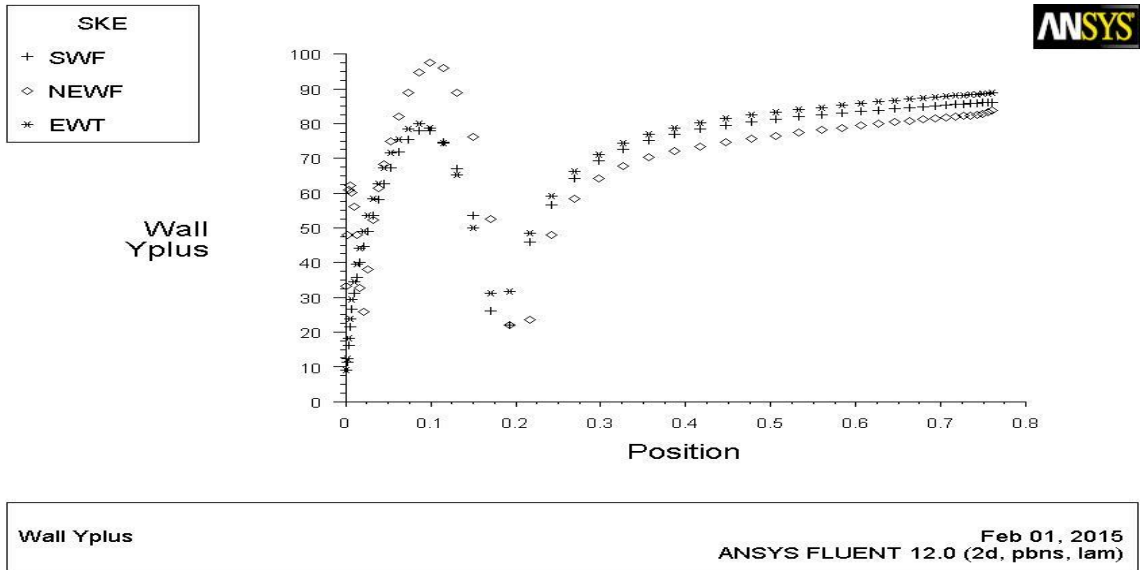
Şekil 4.4. SIMPLE SOU Standart k-ε için y^+



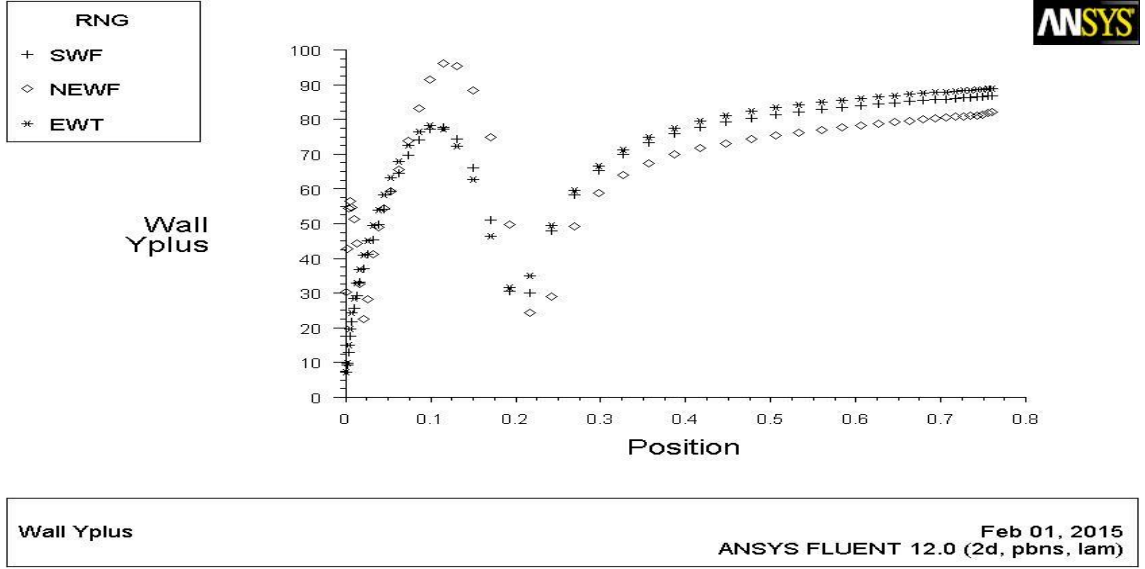
Şekil 4.5. SIMPLE SOU RNG k-ε için y^+



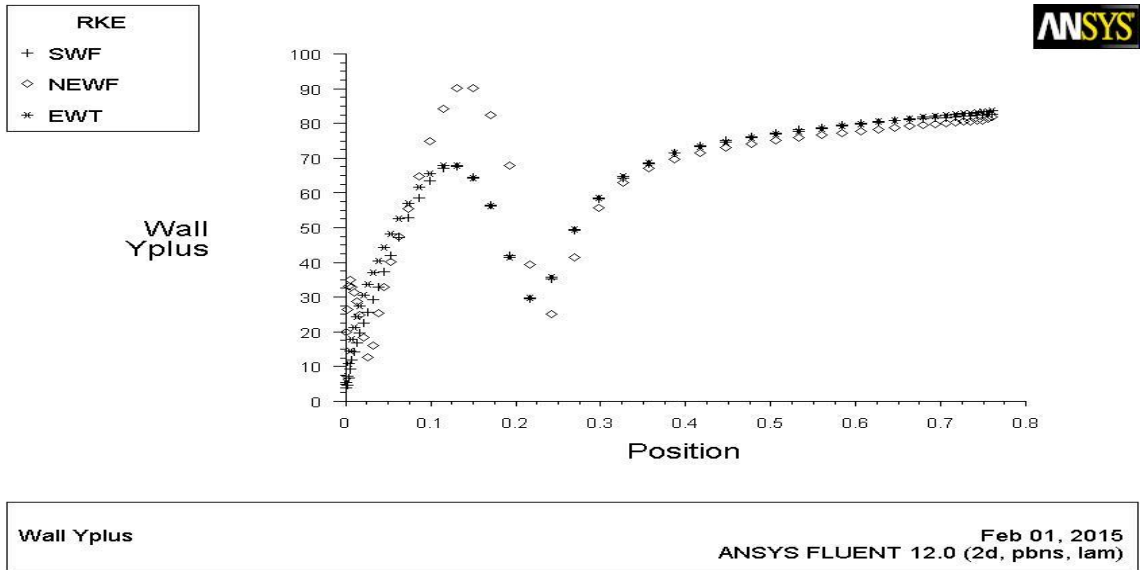
Şekil 4.6. SIMPLE SOU Realizable $k-\epsilon$ için y^+



Şekil 4.7. SIMPLE-C FOU Standard $k-\epsilon$ için y^+



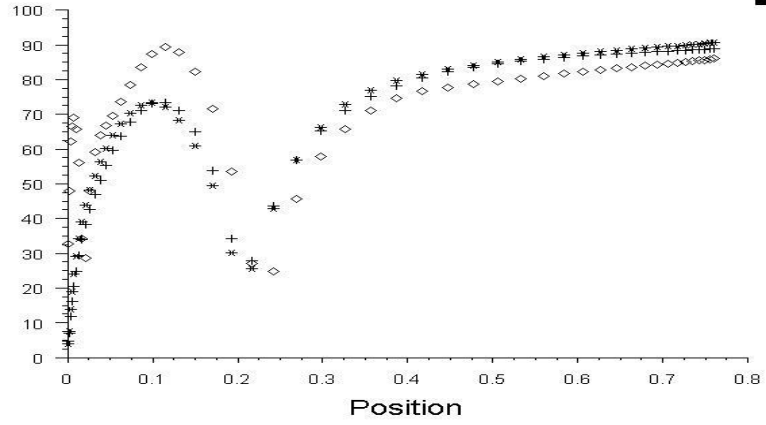
Şekil 4.8. SIMPLE-C FOU RNG $k-\epsilon$ için y^+



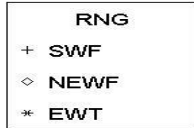
Şekil 4.9. SIMPLE-C FOU Realizable $k-\epsilon$ için y^+



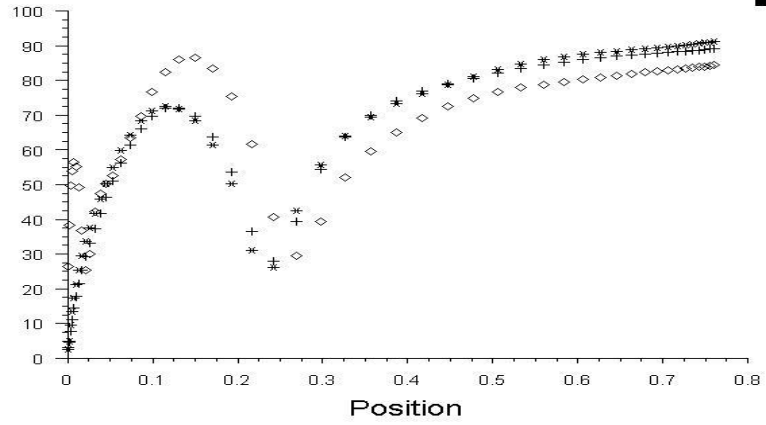
Wall
Yplus



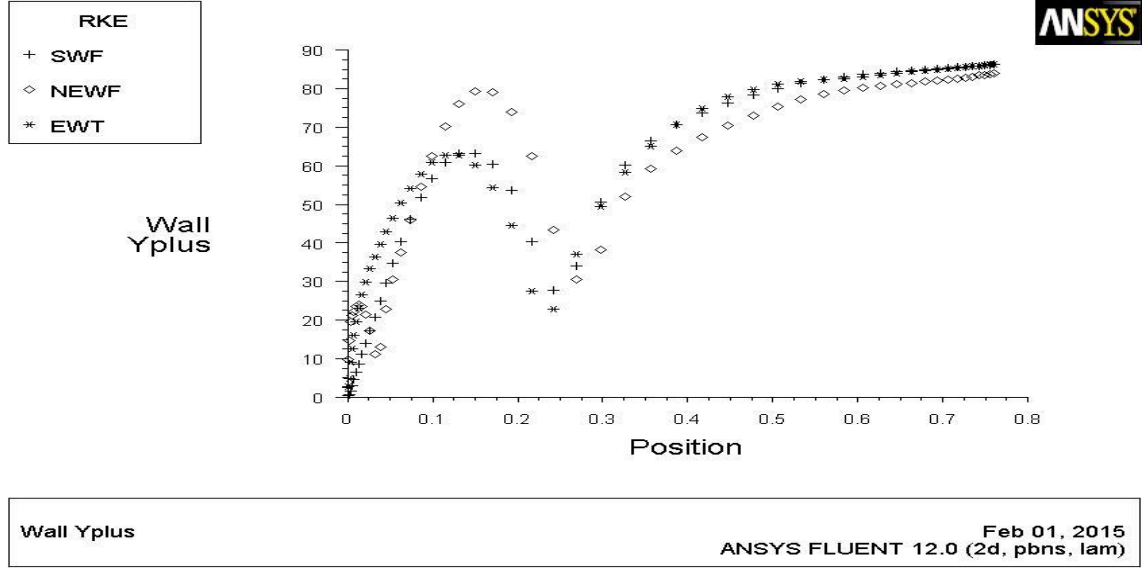
Şekil 4.10. SIMPLE-C SOU Standard k-ε için y^+



Wall
Yplus

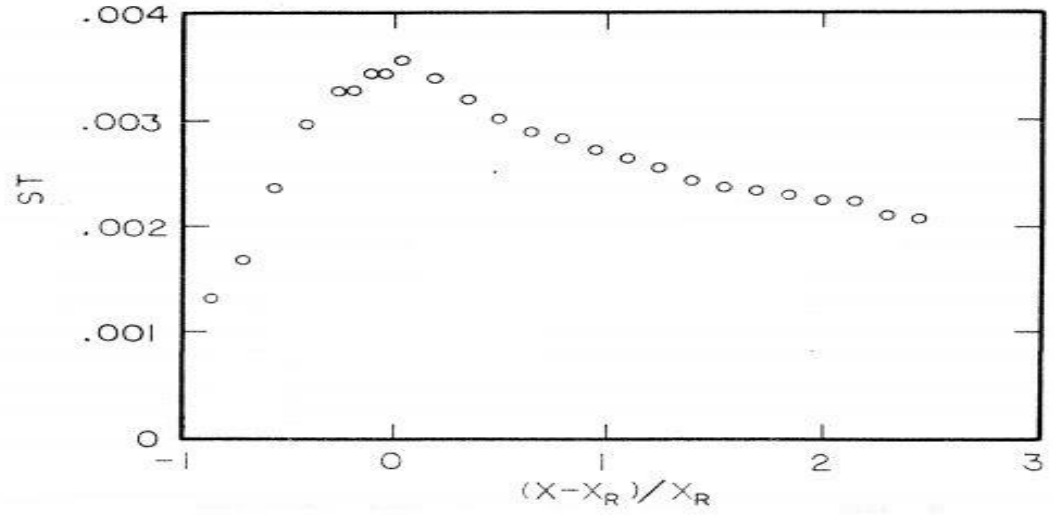


Şekil 4.11. SIMPLE-C SOU RNG k-ε için y^+



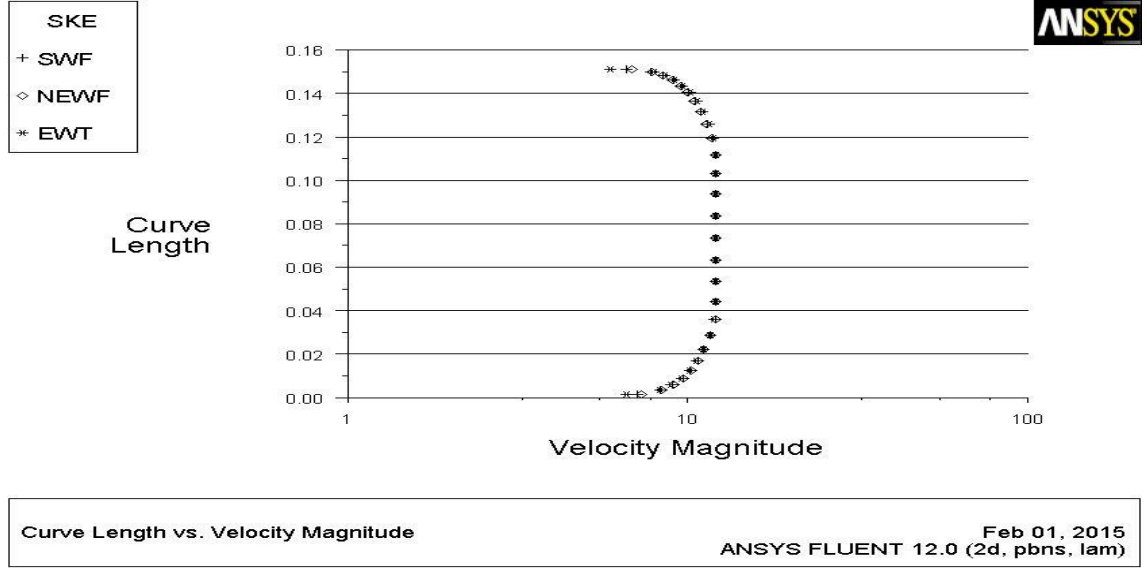
Şekil 4.12. SIMPLE-C SOU Realizable k-ε için y^+

Ele alınan geometride y^+ aralığının sağlanmasının ardından, hazırlanan modelin güvenilirliğinin daha da artırılabilmesi adına ısı transferinin tahminine yönelik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Bu sebepten dolayı Şekil 4.13'te yer alan grafikteki, Vogel ve Eaton (1985) tarafından gerçekleştirilen çalışmada belirtilen Stanton sayısı ile referans yüzey olarak tanımlayacağımız basamak sonrası alt duvar arasındaki ilişkinin doğrulaması yapılmıştır.

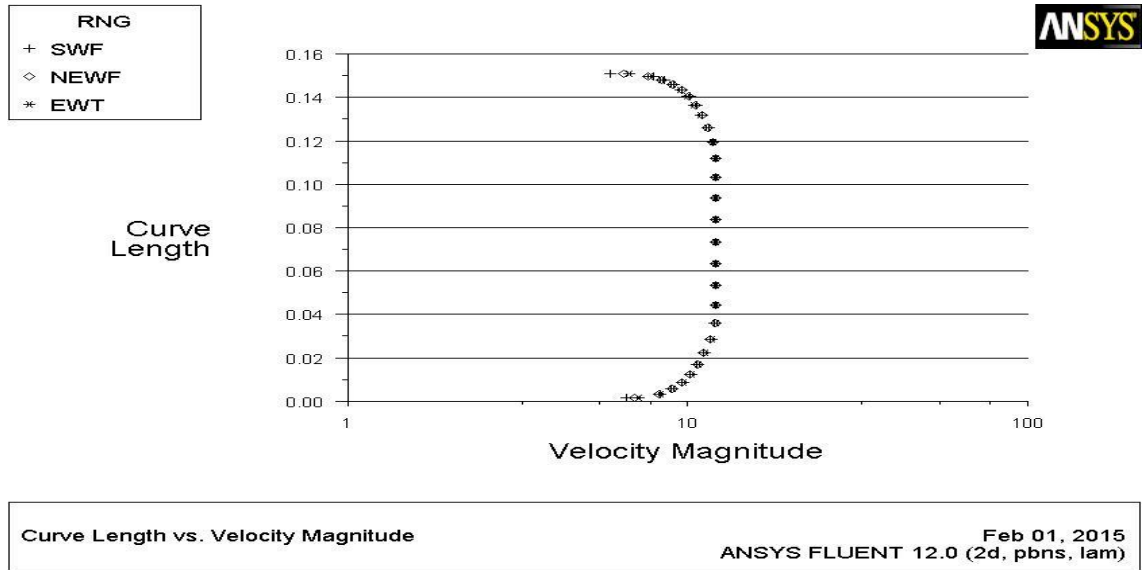


Şekil 4.13. Stanton sayısı ile basamak sonrası alt duvar arasındaki ilişki (Vogel ve Eaton, 1985)

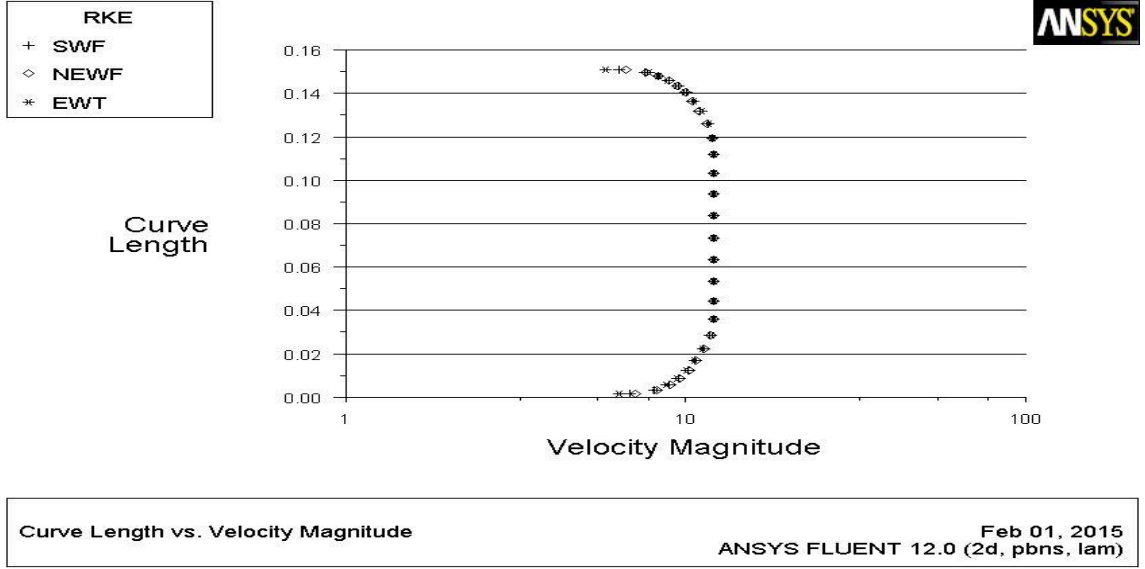
Şekil 4.13'te yer alan grafik, tam gelişmiş akış sınırı ile basamak yüksekliğinin (δ/h) 1,1 için geçerli olduğu Vogel ve Eaton (1985) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Bu sebepten dolayı ampirik ifadeler ile saptanan, basamağın 4H mesafe gerisinde hız profili ölçülerek sınır tabaka yüksekliği ölçülmüştür. Bu mesafe basamaktan 144 mm geride hesaplanmıştır. Yapılan hız profili ölçümleri Şekil 4.14 – Şekil 4.25'te gösterilmiştir. Belirtilen şekillerde yer alan grafiklerde x eksenini m/sn cinsinden hızı, y eksenini ise metre cinsinden yüksekliği göstermektedir.



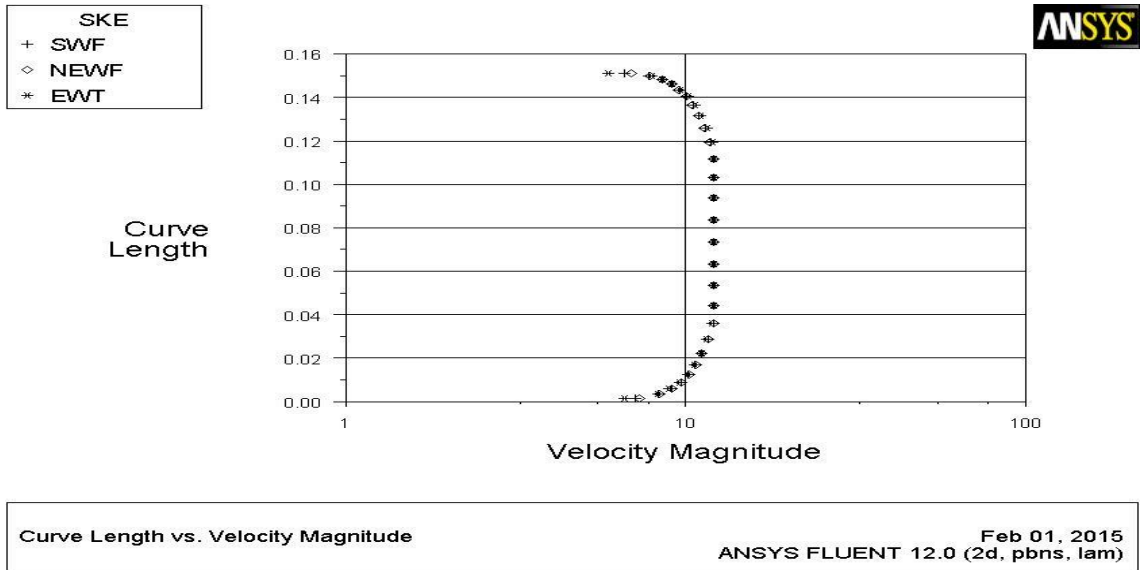
Şekil 4.14. SIMPLE FOU Standard k-ε için hız profili



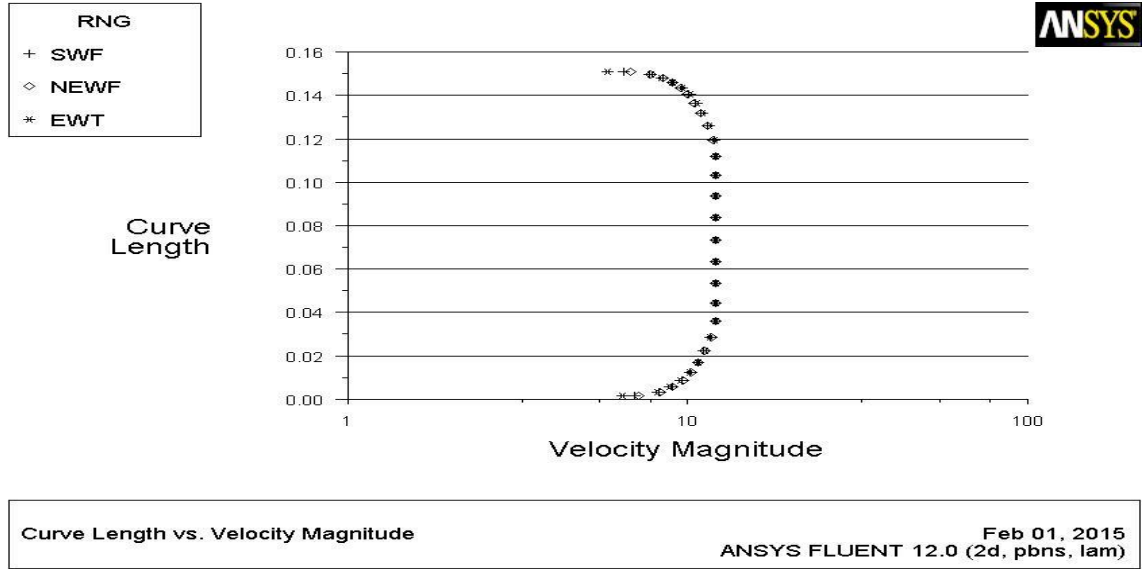
Şekil 4.15. SIMPLE FOU RNG k-ε için hız profili



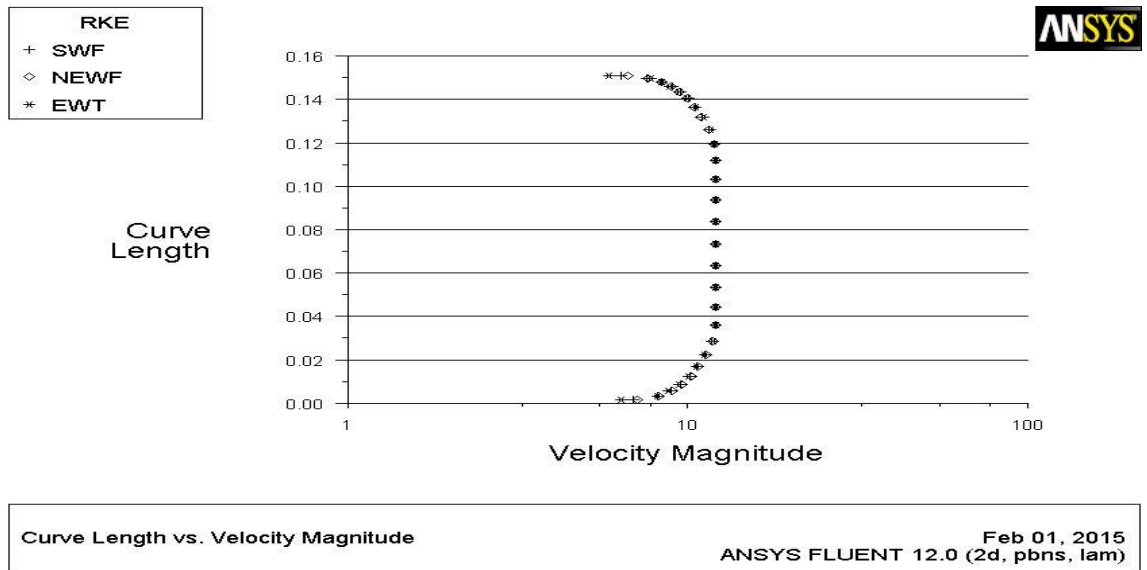
Şekil 4.16. SIMPLE FOU Realizable k-ε için hız profili



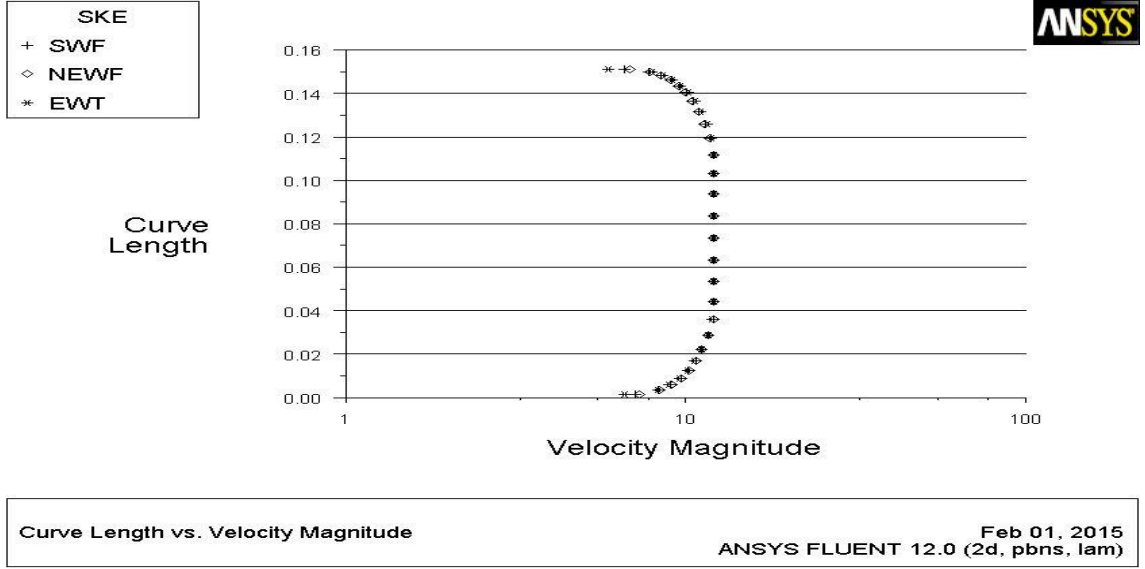
Şekil 4.17. SIMPLE SOU Standard k-ε için hız profili



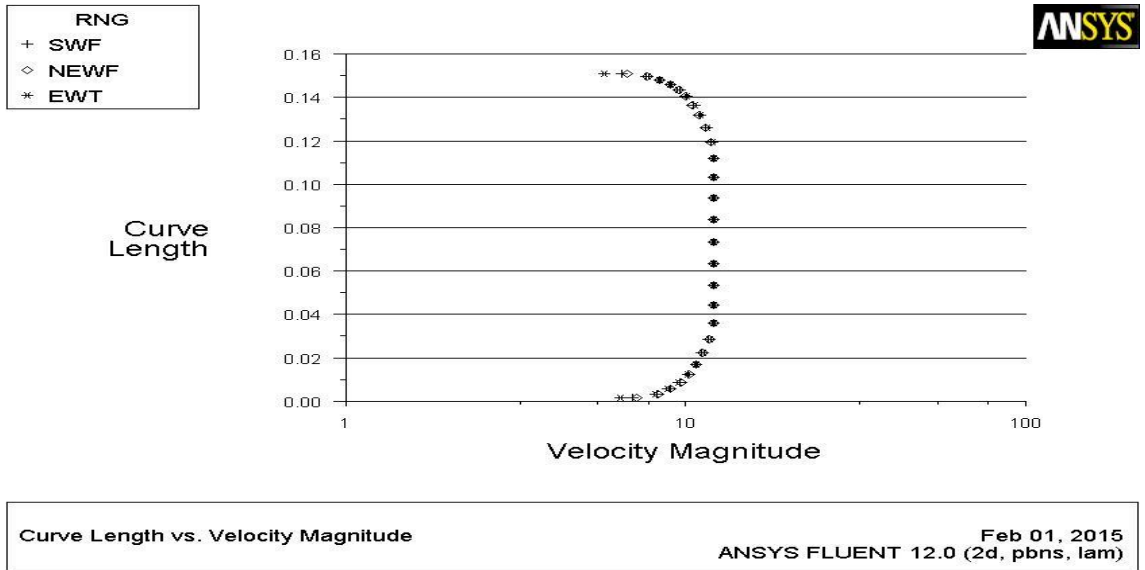
Şekil 4.18. SIMPLE SOU RNG k- ϵ için hız profili



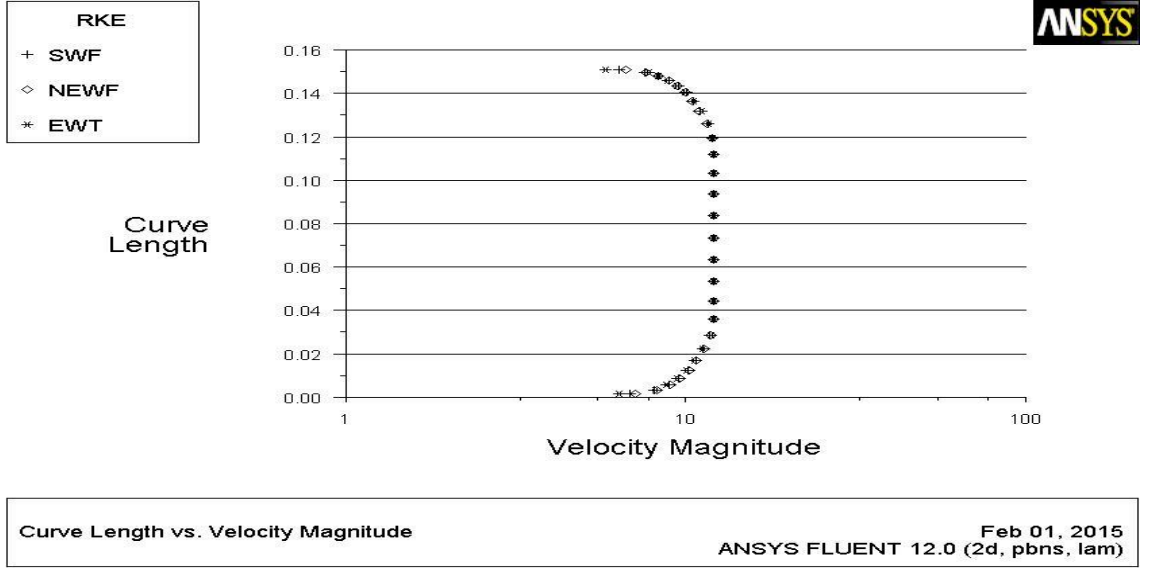
Şekil 4.19. SIMPLE SOU Realizable k- ϵ için hız profili



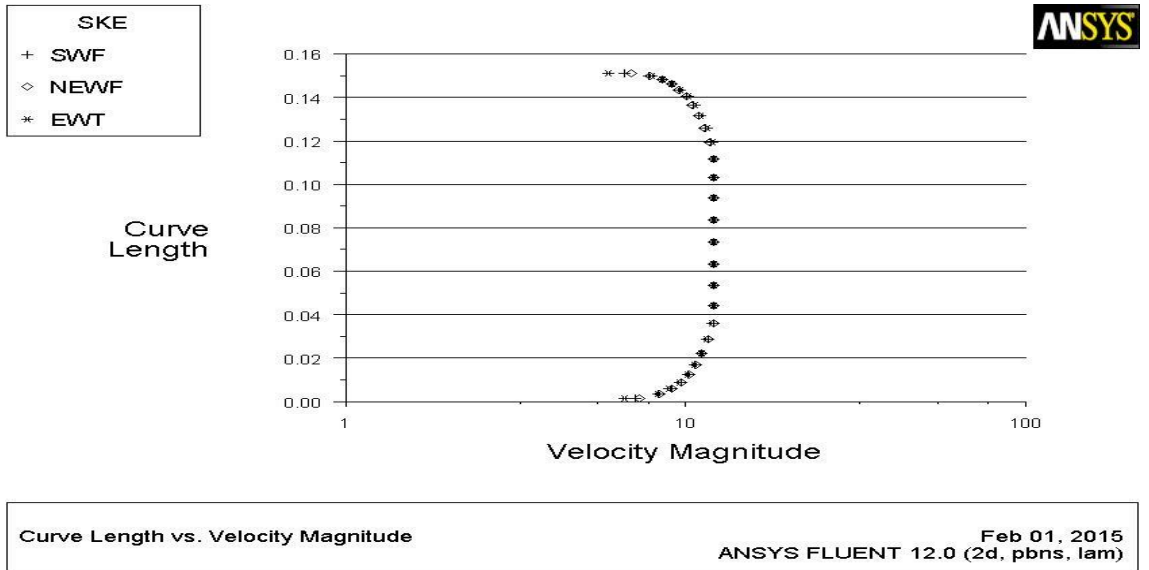
Şekil 4.20. SIMPLE-C FOU Standard k-ε için hız profili



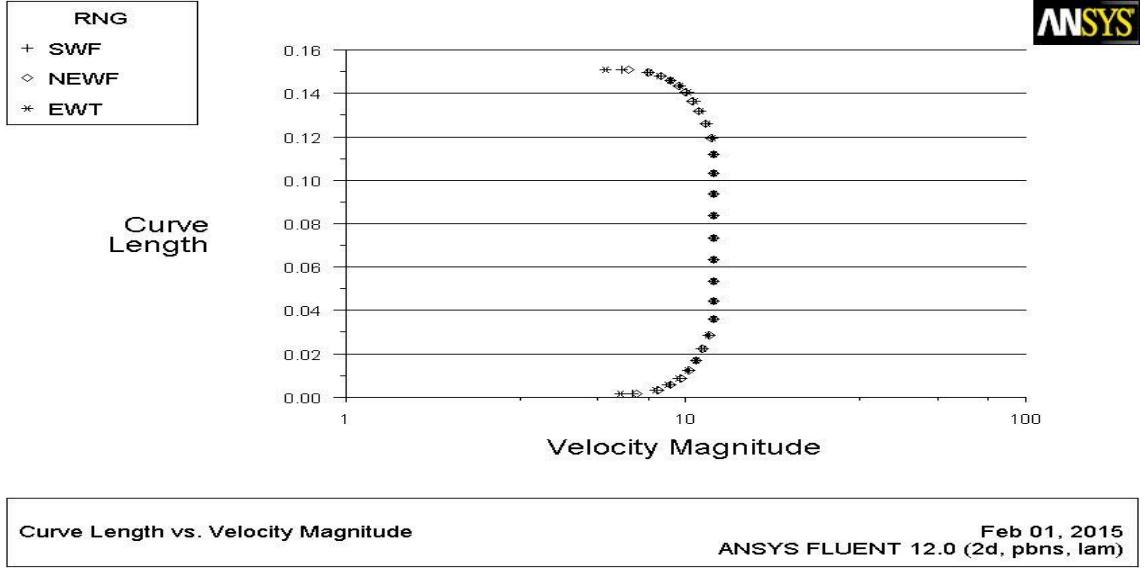
Şekil 4.21. SIMPLE-C FOU RNG k-ε için hız profili



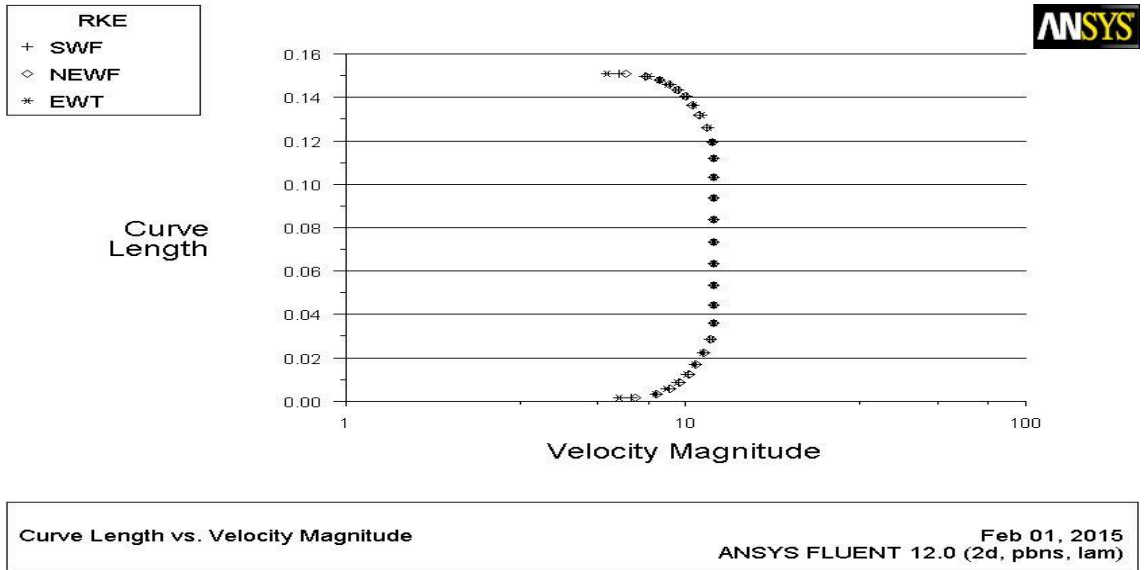
Şekil 4.22. SIMPLE-C FOU Realizable k-ε için hız profili



Şekil 4.23. SIMPLE-C SOU Standard k-ε için hız profili

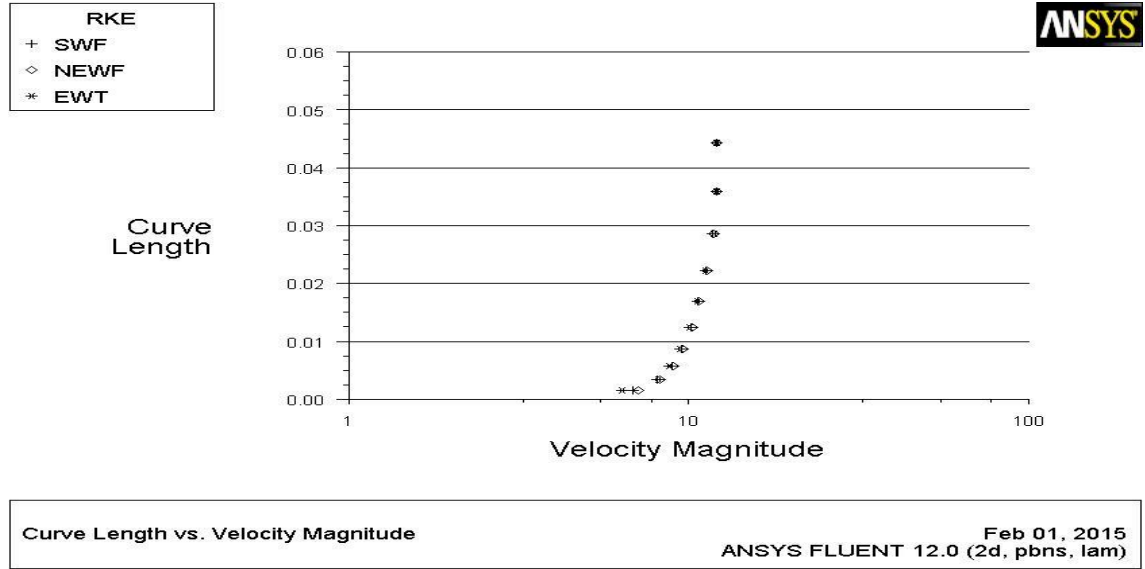


Şekil 4.24. SIMPLE-C SOU RNG k-ε için hız profili



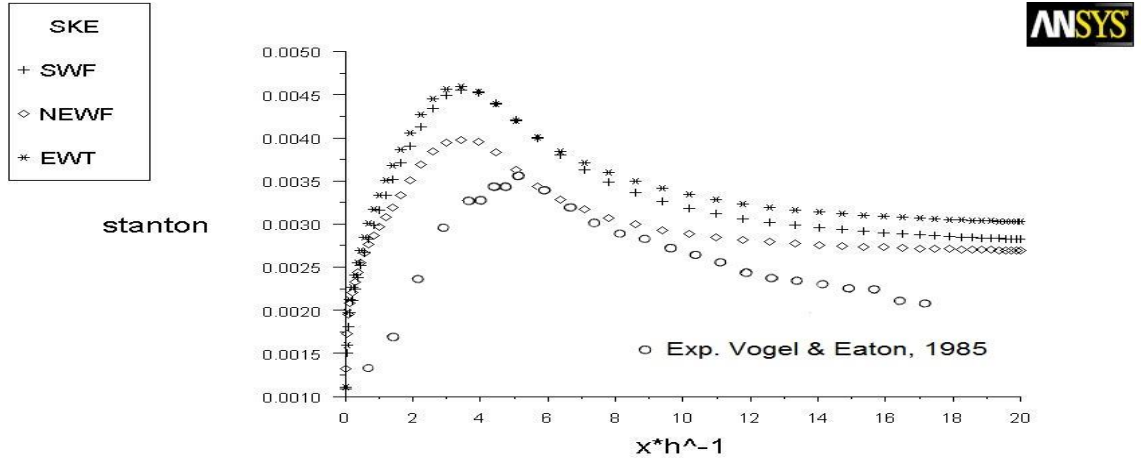
Şekil 4.25. SIMPLE-C SOU Realizable k-ε için hız profili

Yapılan ölçümler sonucunda sınır tabaka yüksekliği (δ) yaklaşık olarak 40 mm olarak bulunmuştur. Bu yaklaşım sonucunda akımın modellenmesi hususunda gerekli doğrulamalardan biri daha sağlanmıştır. Ölçülen hız profillerinin sınır tabaka yüksekliğini gösteren daha minimal bir grafik ise Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



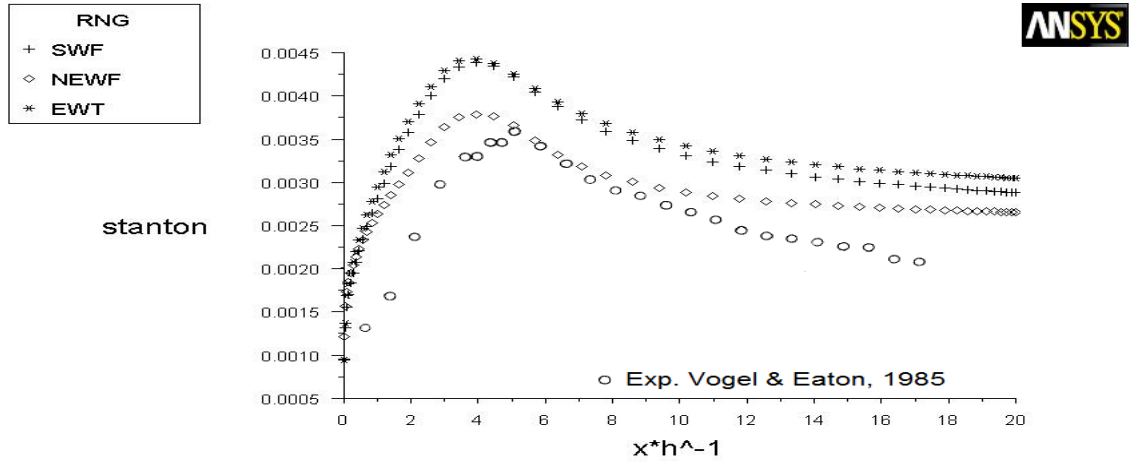
Şekil 4.26. Sınır tabaka yüksekliği

Yapılan analizlerde sınır tabaka yüksekliğinin yaklaşık olarak 40 mm olarak sağlanmasının ardından, Şekil 4.13'te belirtilen grafikte yer alan eğrinin modellemelerde yapılan analizler sonucunda ısı transferini en iyi tahmin eden türbülans modeli ve duvar fonksiyonun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda diğer doğrulama çalışmalarında sergilenen aynı yaklaşım ısı transferinin tahminine yönelik olarak da gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise Şekil 4.27 – Şekil 4.38'de aktarılmıştır. Belirtilen şekillerde yer alan grafiklerde x eksenini basamak sonrası kanal uzunluğu ile basamak yüksekliği arasındaki birimsiz oran olup; y eksenini ise Stanton sayısıdır.



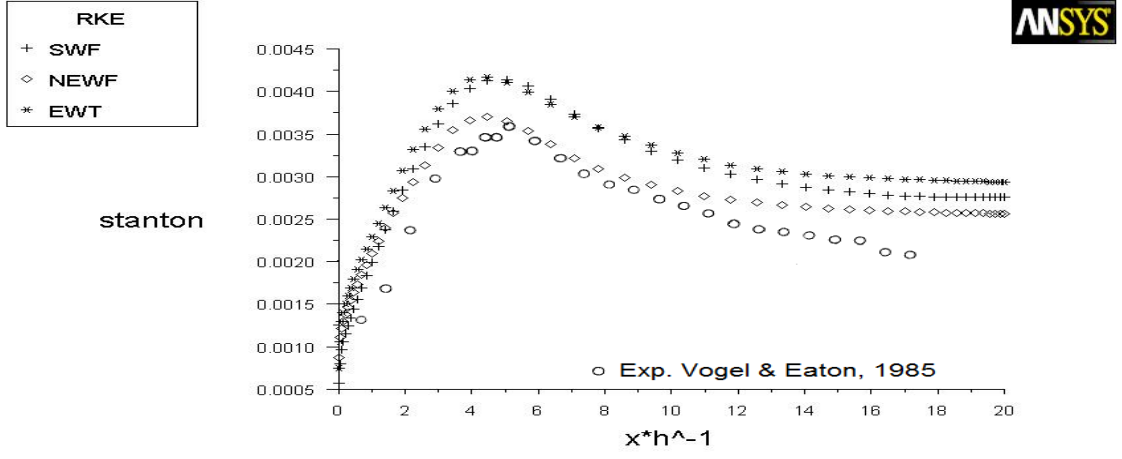
Stanton Feb 01, 2015
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, pbns, lam)

Şekil 4.27. SIMPLE FOU Standard k-ε için Stanton sayısı



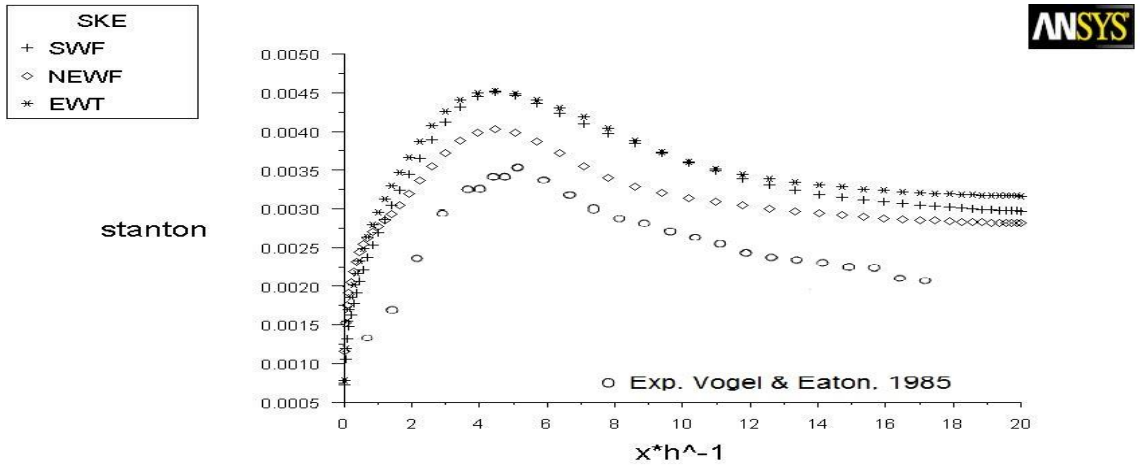
stanton vs. $x \cdot h^{-1}$ Feb 01, 2015
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, pbns, lam)

Şekil 4.28. SIMPLE FOU RNG k-ε için Stanton sayısı



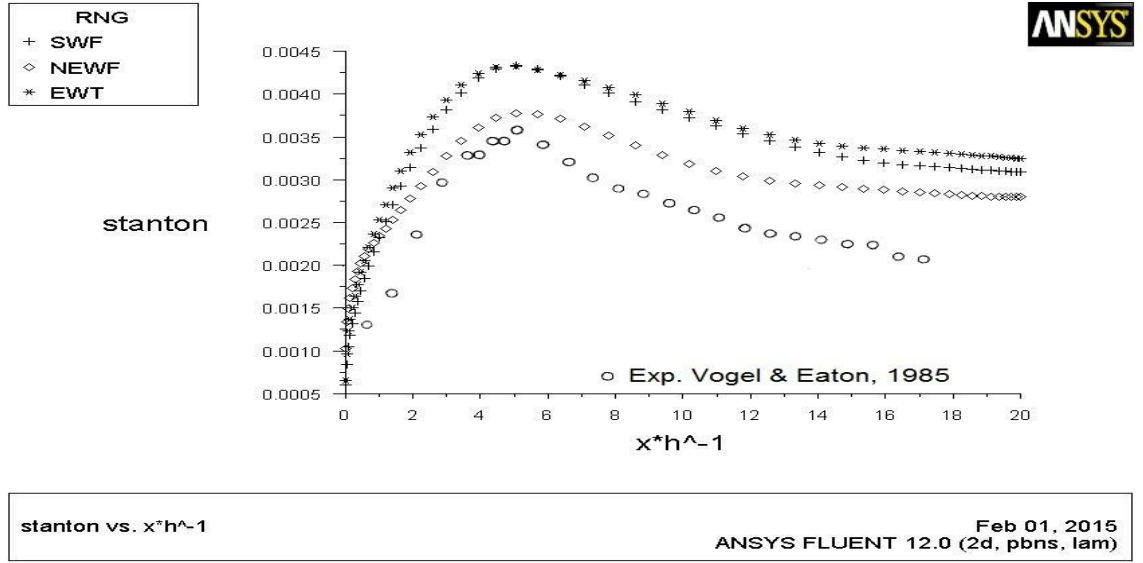
stanton vs. $x \cdot h^{-1}$ Feb 01, 2015
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, pbns, lam)

Şekil 4.29. SIMPLE FOU Realizable k-ε için Stanton sayısı

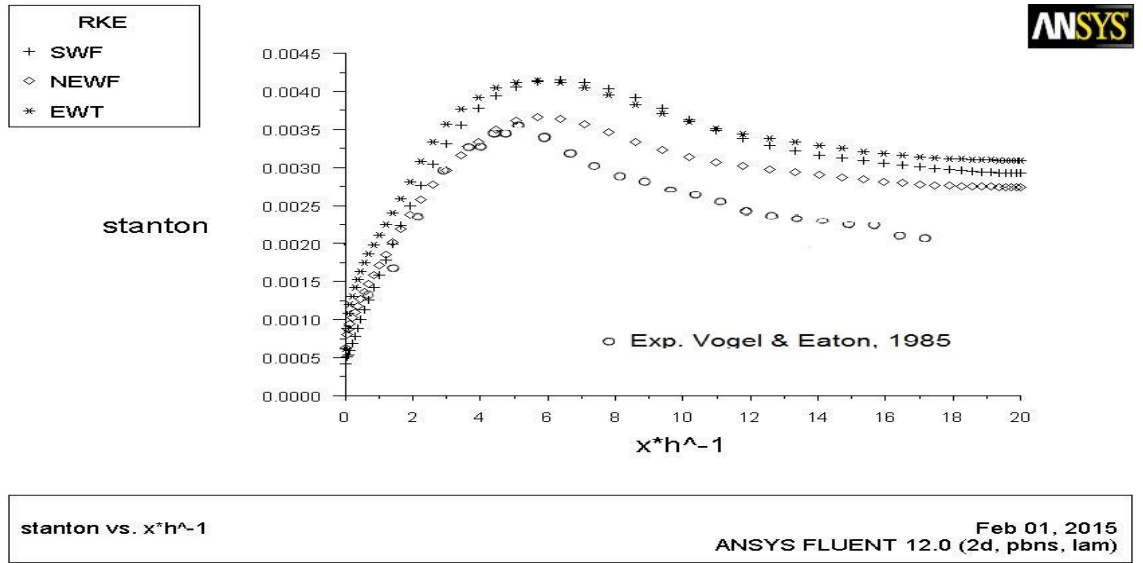


stanton vs. $x \cdot h^{-1}$ Feb 01, 2015
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, pbns, lam)

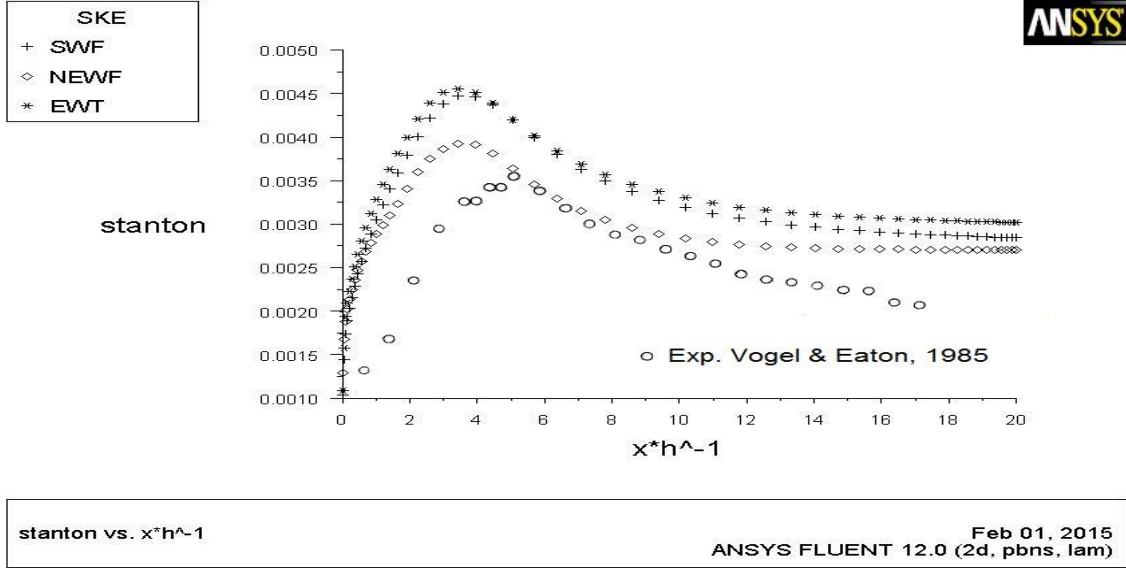
Şekil 4.30. SIMPLE SOU Standard k-ε için Stanton sayısı



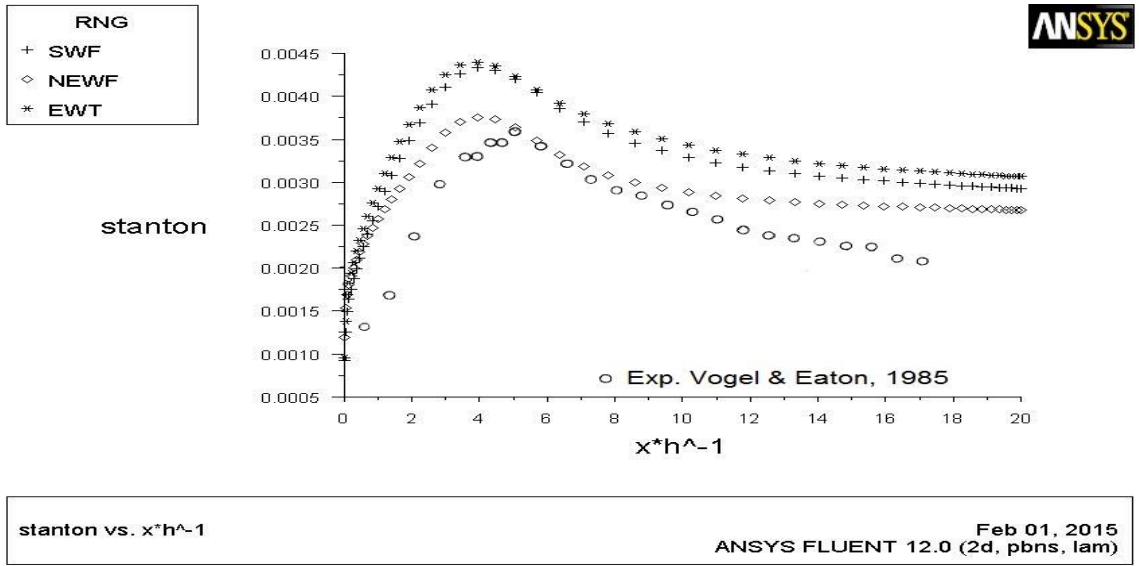
Şekil 4.31. SIMPLE SOU RNG k-ε için Stanton sayısı



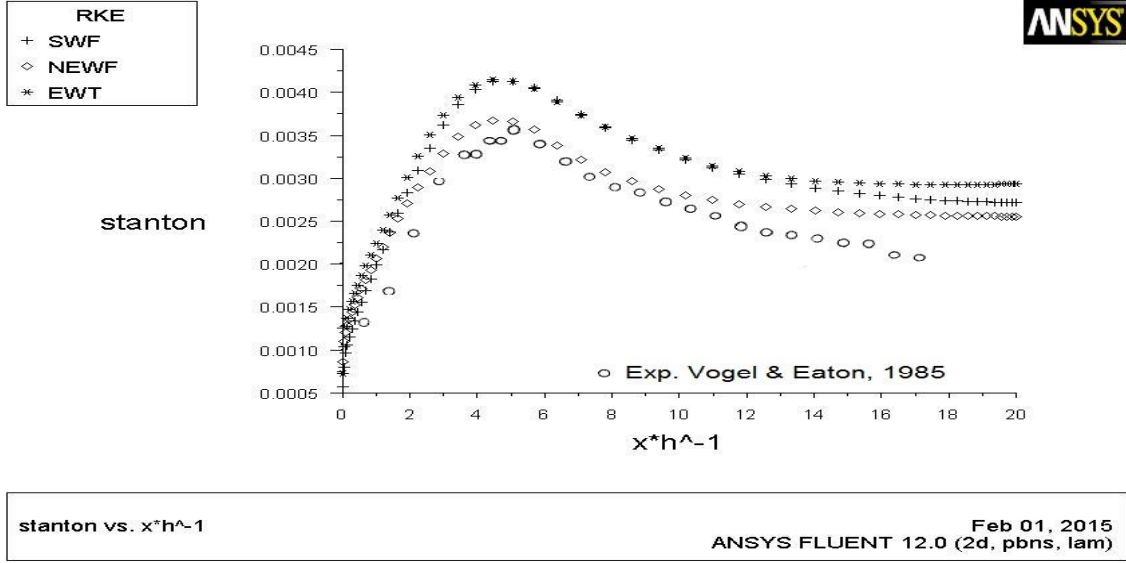
Şekil 4.32. SIMPLE SOU Realizable k-ε için Stanton sayısı



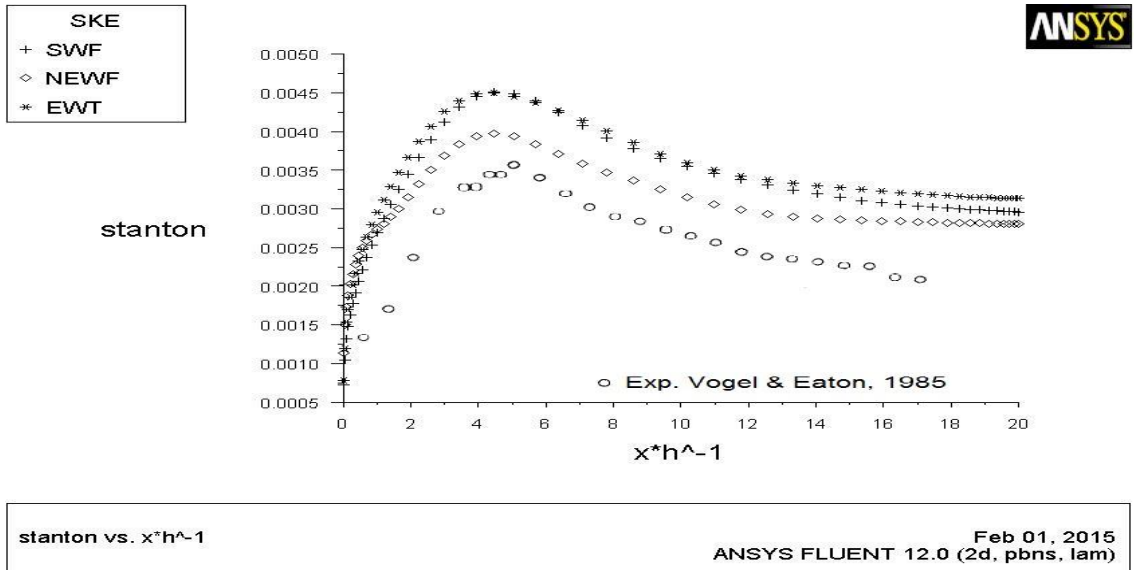
Şekil 4.33. SIMPLE-C FOU Standard k-ε için Stanton sayısı



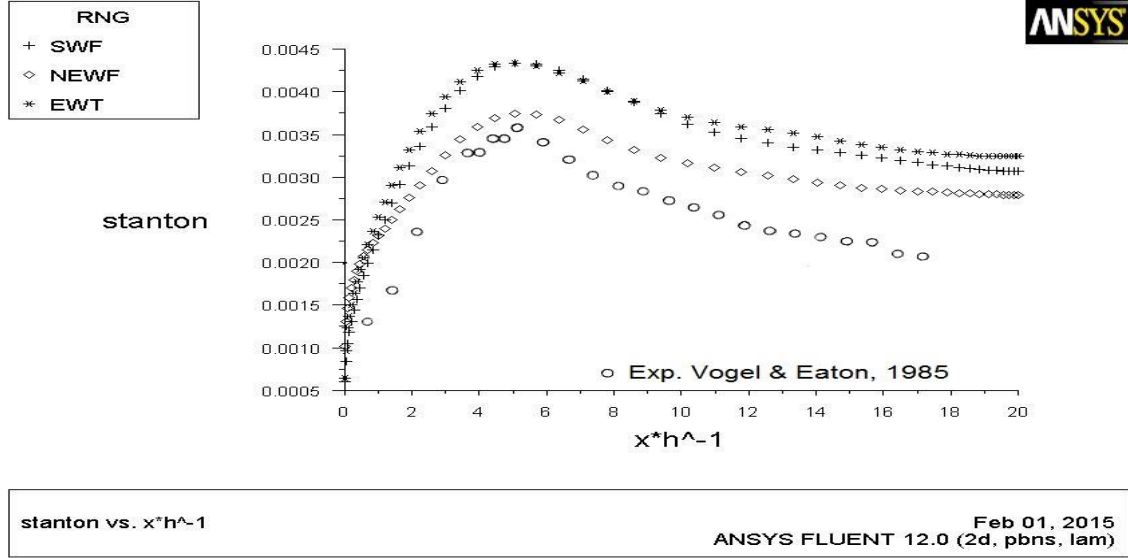
Şekil 4.34. SIMPLE-C FOU RNG k-ε için Stanton sayısı



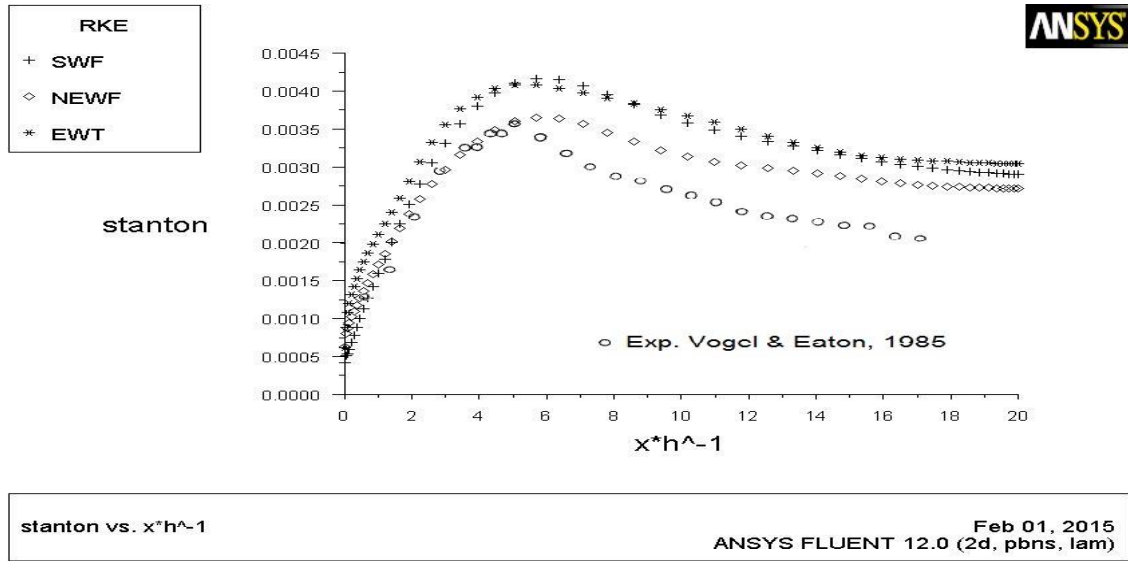
Şekil 4.35. SIMPLE-C FOU Realizable k-ε için Stanton sayısı



Şekil 4.36. SIMPLE-C SOU Standard k-ε için Stanton sayısı



Şekil 4.37. SIMPLE-C SOU RNG k-ε için Stanton sayısı

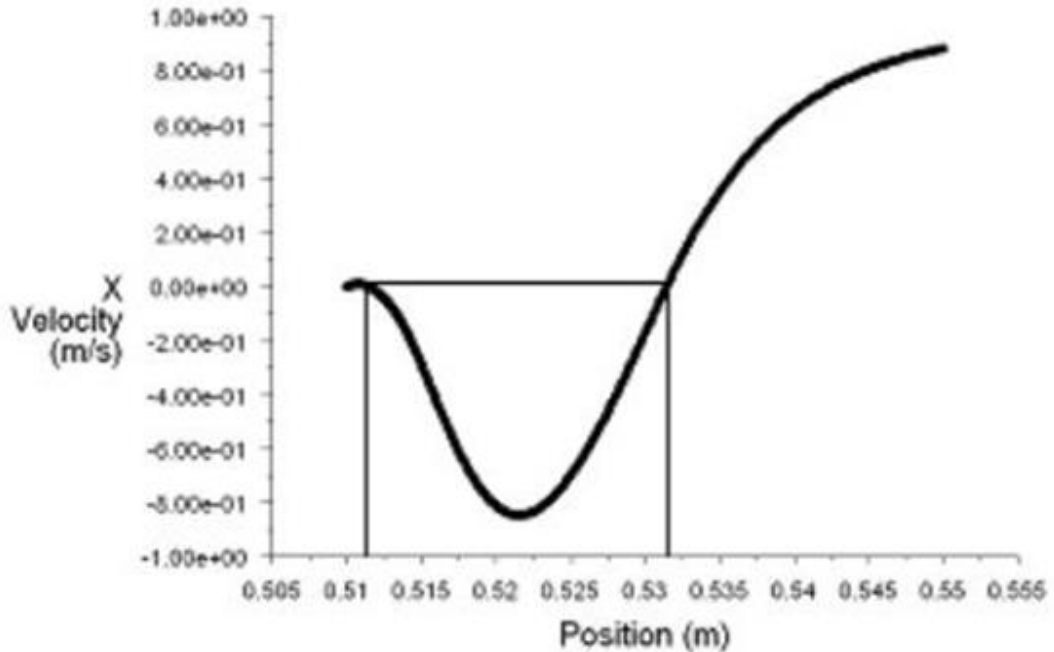


Şekil 4.38. SIMPLE-C SOU Realizable k-ε için Stanton sayısı

Yapılan analizler sonucunda temel geometri olarak nitelendirdiğimiz ve yapılacak diğer analiz çalışmalarında da izlenecek yola karar verilmesine yardımcı olacak türbülans modelinin ve duvar fonksiyonunun belirlenmesine yönelik çalışma da, ısı transferinin en iyi tahmin eden modelin Şekil 4.35’te de görüldüğü üzere SIMPLE-C algoritması,

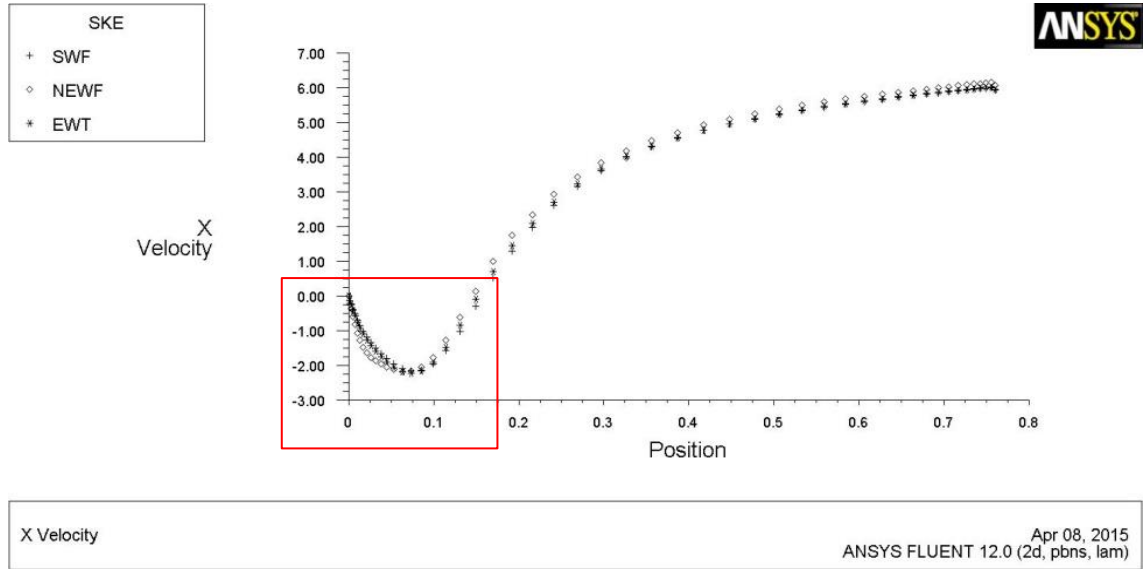
birinci dereceden yaklaşım, Realizable k- ϵ türbülans modeli ve dengesiz duvar fonksiyonu olduğu görülmüştür.

Isı transferinin tahmini ile ilgili olarak yapılan analizlerin ve bundan sonraki analizlerde izlenecek metodun belirlenmesinin ardından, yapılan çalışmaların akış karakteristikleri yönünden incelenmesine geçilmiştir. Yapılan bu çalışmada, geri basamak akışlarının temel özelliklerinden biri olan yeniden birleşme uzunluğu, analitik çözümü gerçekleştirilen modellemelerin sonuçları ile deneysel sonuç karşılaştırılmıştır. Yeniden birleşme uzunluğunun elde edilmesine yönelik Haque ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmadaki metod izlenerek, basamak sonrası yüzeyde cidara en yakın olan ağ örgüsünün X eksenı üzerindeki hız profili incelenmiştir. Şekil 4.39'da gösterilen yeniden birleşme uzunluğunun belirlenmesine yönelik grafikte, incelenen profildeki hız bileşeninin negatif değerden pozitif değere geçtiği nokta yeniden birleşme uzunluğu olarak belirlenmiştir.

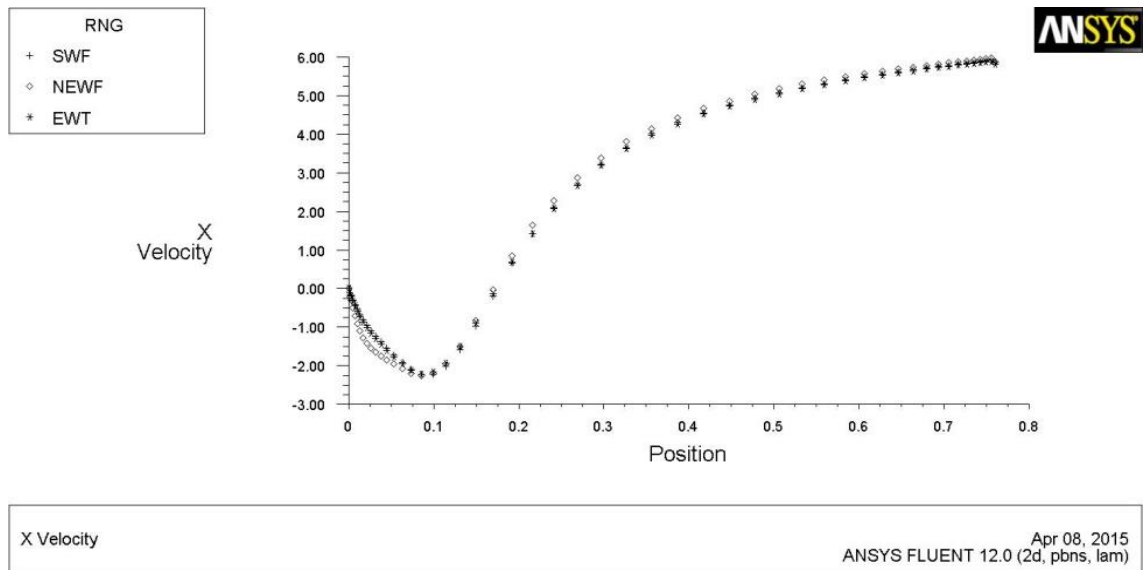


Şekil 4.39. Yeniden birleşme uzunluğunun gösterimi (Haque ve ark., 2007)

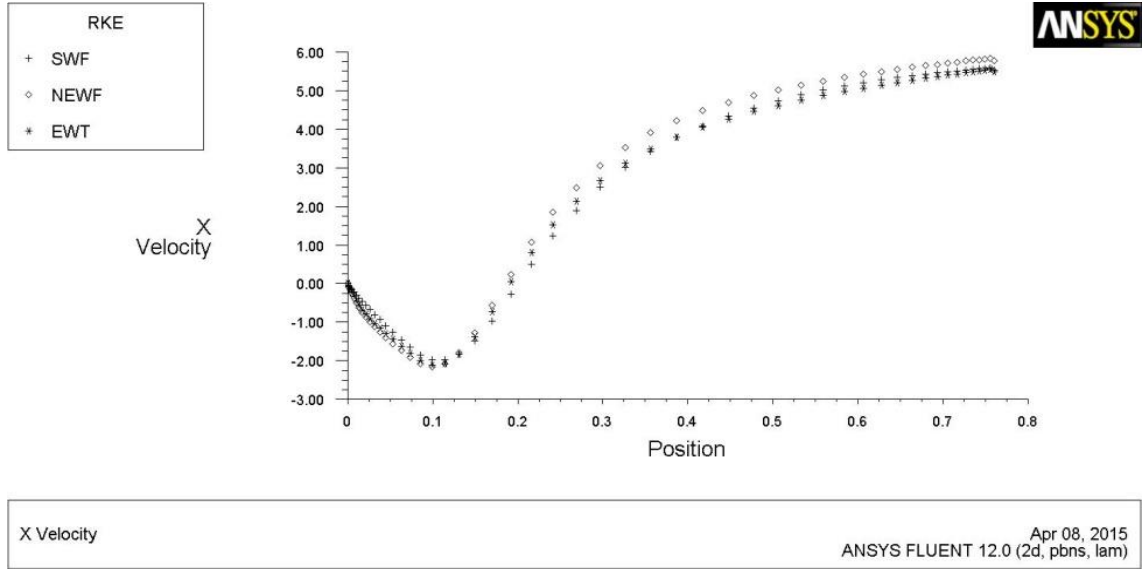
Bu bağlamda yeniden birleşme uzunluğunun belirlenmesine yönelik olarak, diğer çalışmalardaki yöntem takip edilmiş ve sonuçlar ise Şekil 4.40 – 4.51’de sunulmuştur. Şekil 4.40’ta kırmızı ile işaretlenen bölge ise yeniden birleşme uzunluklarının tespiti için incelenen bölgedir. Bu doğrultuda y eksenini (m/sn), 0 noktasında kesen eğrilerin x eksenindeki (metre) izdüşümü yeniden birleşme noktası olarak belirlenmiştir.



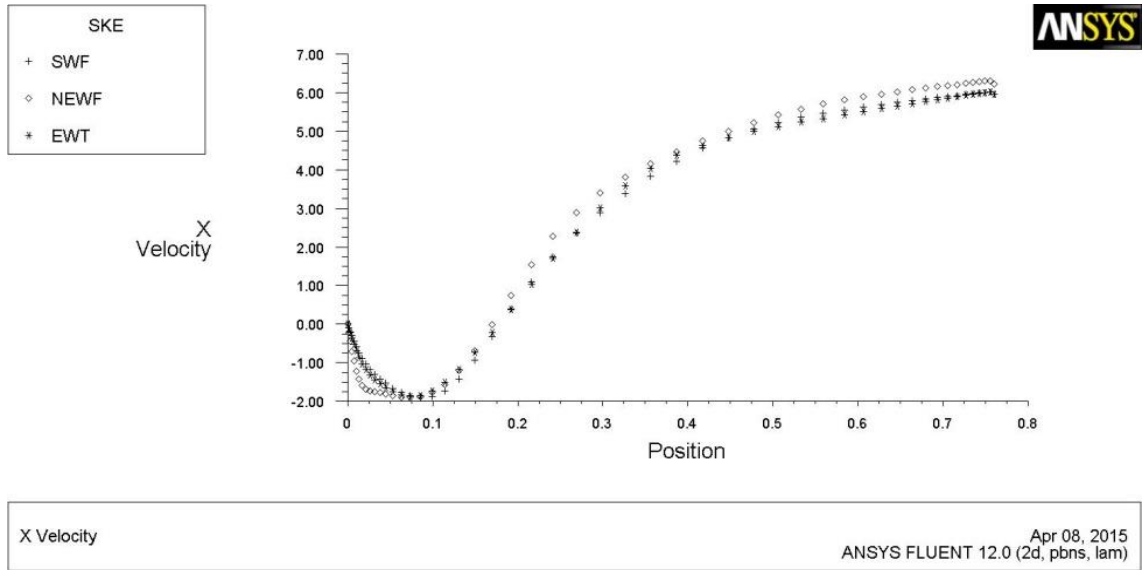
Şekil 4.40. SIMPLE FOU Standard k-ε için yeniden birleşme



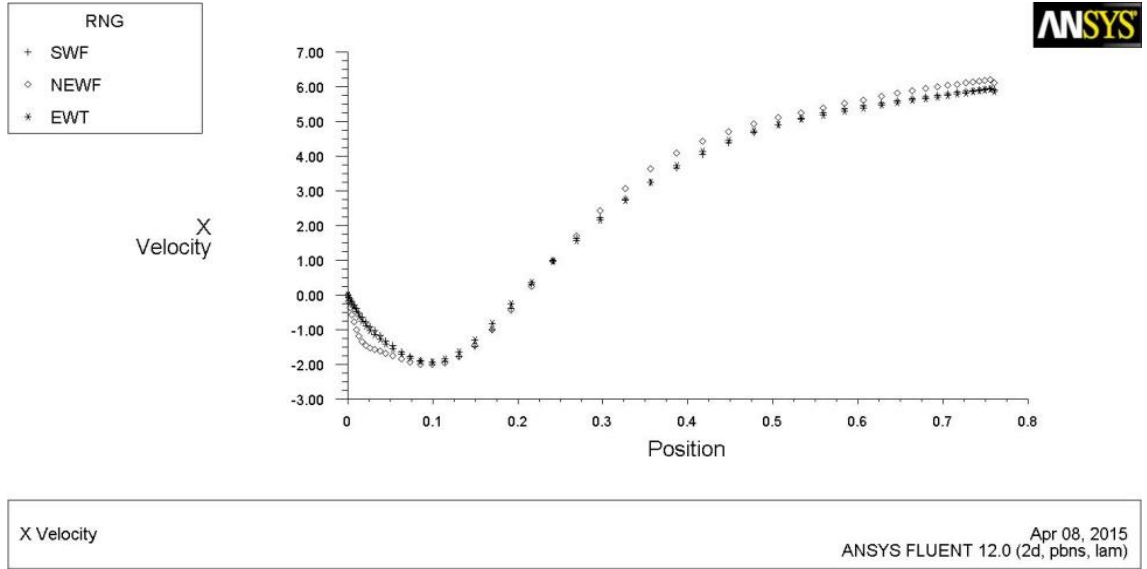
Şekil 4.41. SIMPLE FOU RNG k-ε için yeniden birleşme



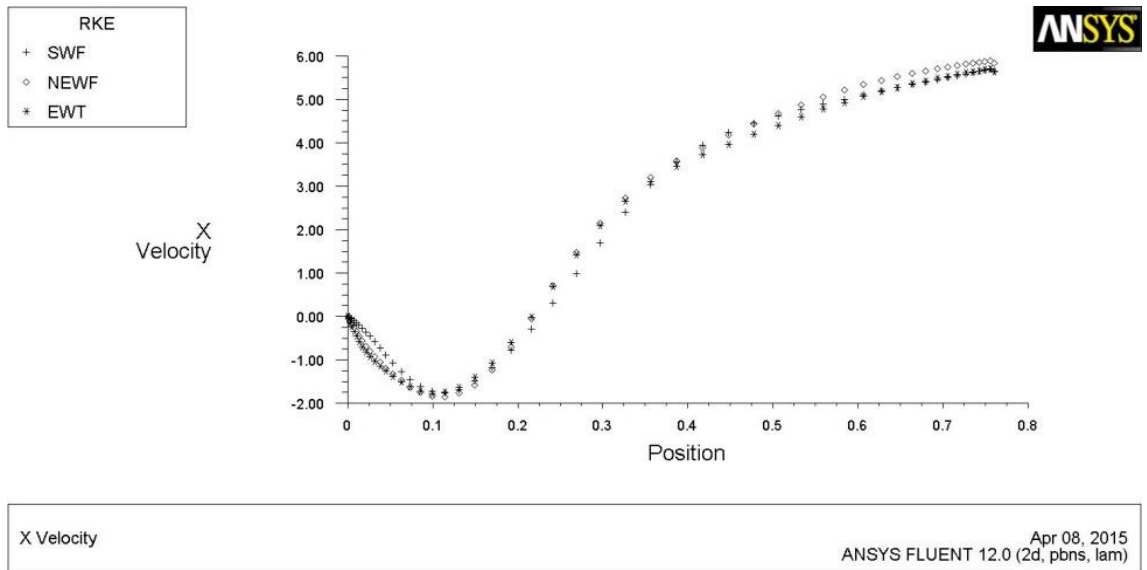
Şekil 4.42. SIMPLE FOU Realizable $k-\varepsilon$ için yeniden birleşme



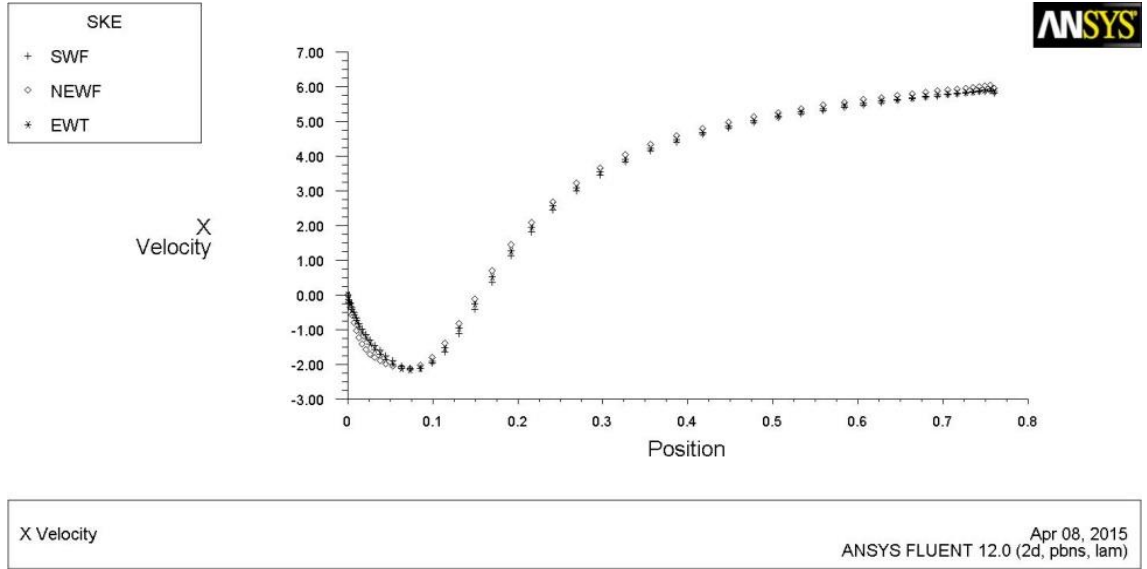
Şekil 4.43. SIMPLE SOU Standard $k-\varepsilon$ için yeniden birleşme



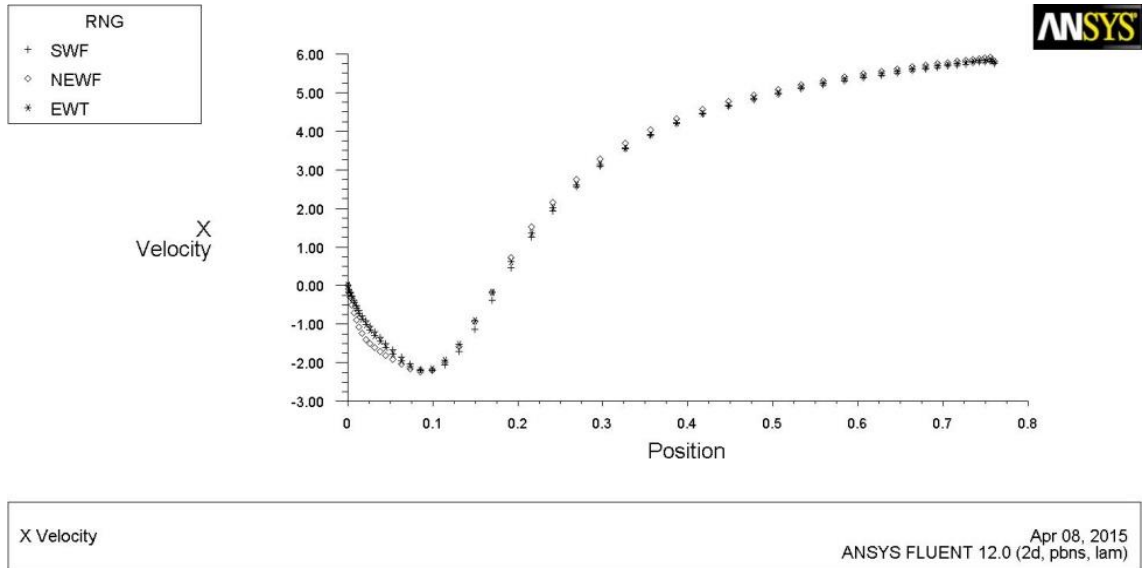
Şekil 4.44. SIMPLE SOU RNG k-ε için yeniden birleşme



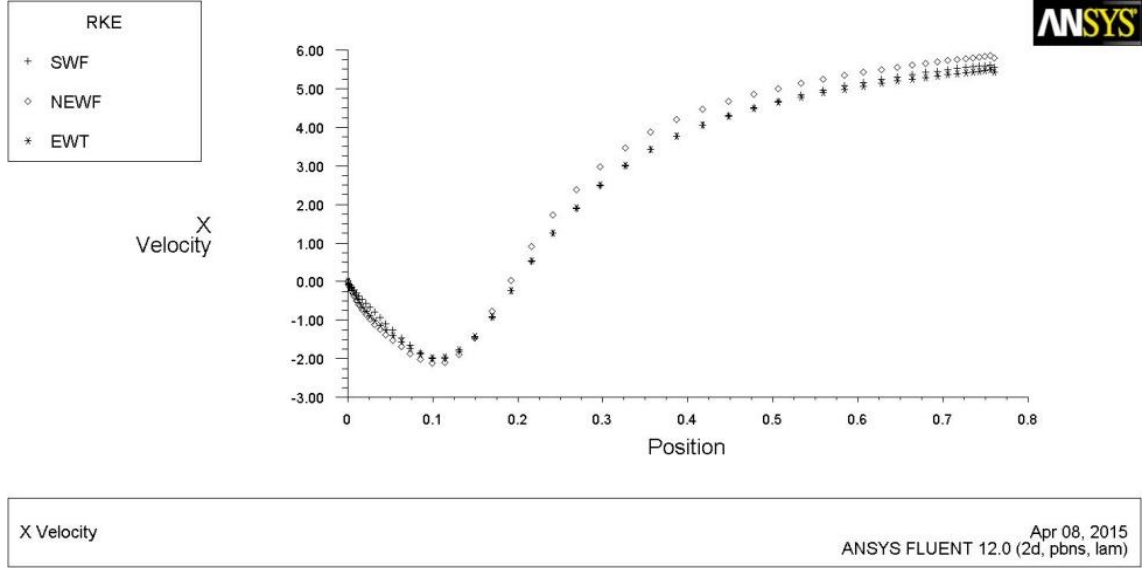
Şekil 4.45. SIMPLE SOU Realizable k-ε için yeniden birleşme



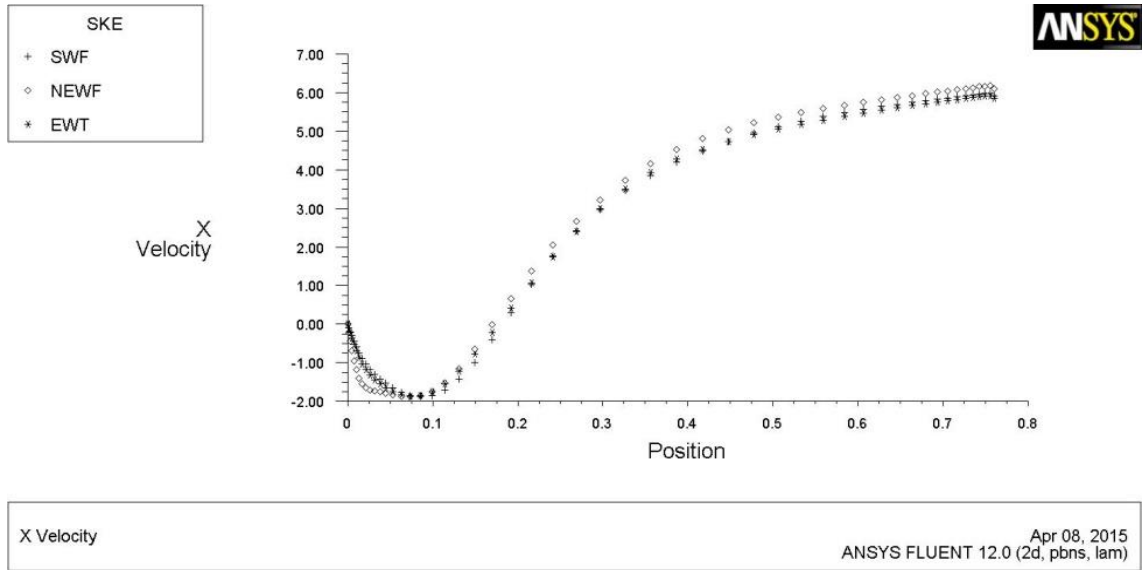
Şekil 4.46. SIMPLE-C FOU Standard k-ε için yeniden birleşme



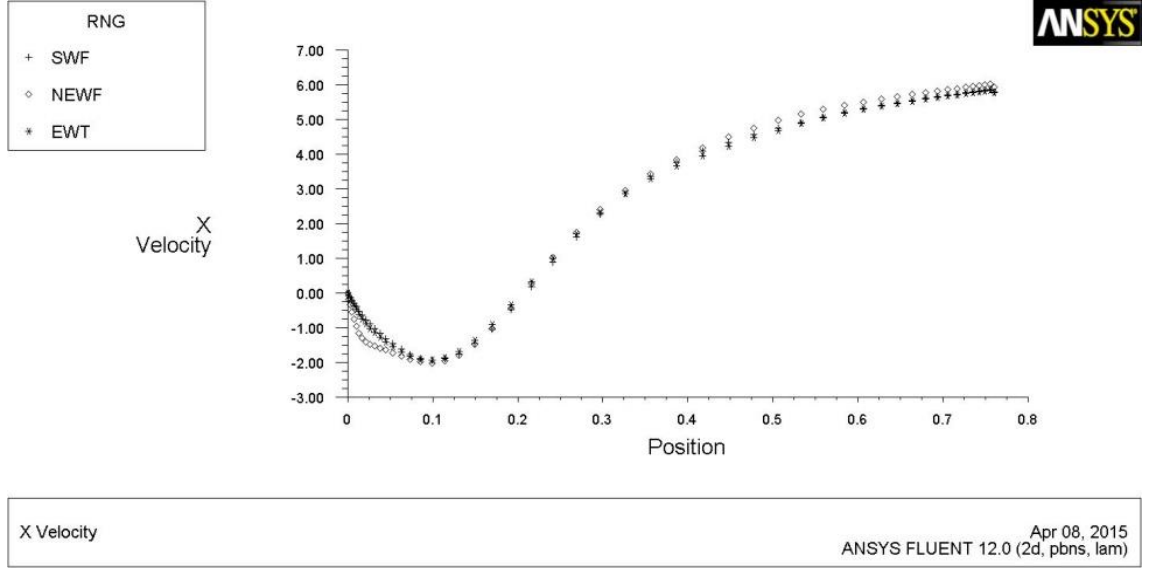
Şekil 4.47. SIMPLE-C FOU RNG k-ε için yeniden birleşme



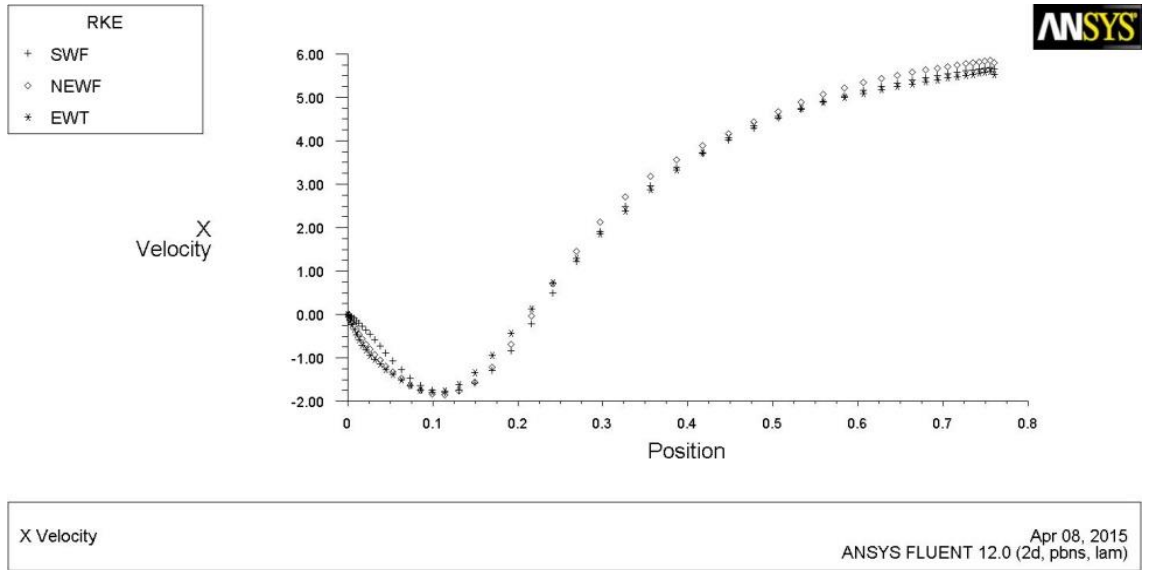
Şekil 4.48. SIMPLE-C FOU Realizable $k-\epsilon$ için yeniden birleşme



Şekil 4.49. SIMPLE-C SOU Standard $k-\epsilon$ için yeniden birleşme



Şekil 4.50. SIMPLE-C SOU RNG k-ε için yeniden birleşme



Şekil 4.51. SIMPLE-C SOU Realizable k-ε için yeniden birleşme

Temel geometri olarak belirlenen Vogel ve Eaton (1985) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada kullanılan geometri üzerinde yapılan modellemeler sonucunda ısı transferi ve akış karakteristikleri hakkında elde edilen bulguların bir arada görülerek değerlendirilebilmesine yönelik çalışmalar ise Çizelge 4.1. – Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.1 SIMPLE algoritması birinci dereceden yaklaşım için genel değerlendirme

	Vogel ve Eaton (1985) (Deneysel)	Bu Çalışmada								
		Standard k - ϵ			RNG k - ϵ			Realizable k - ϵ		
		Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF	Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF	Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF
Yeniden Birleşme (mm)	253,46	159	148	152	175	170	172	200	185	190
Yeniden Birleşme (H)	6,67	4,18	3,89	4,00	4,61	4,47	4,53	5,26	4,87	5,00
Yeniden Birleşme İçin Hata	-	-0,37	-0,42	-0,4	-0,31	-0,33	-0,32	-0,21	-0,27	-0,25
Akış Karakteristiği İçin Sıralama	-	7	9	8	4	6	5	1	3	2
Isı Transferi İçin Sıralama		8	3	9	6	2	7	4	1	5

Çizelge 4.2. SIMPLE algoritması ikinci dereceden yaklaşım için genel değerlendirme

	Vogel ve Eaton (1985) (Deneysel)	Bu Çalışmada								
		Standard k - ϵ			RNG k - ϵ			Realizable k - ϵ		
		Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF	Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF	Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF
Yeniden Birleşme (mm)	253,46	177	170	176	202	202	200	214	210	207
Yeniden Birleşme (H)	6,67	4,66	4,47	4,63	5,32	5,34	5,26	5,63	5,53	5,45
Yeniden Birleşme İçin Hata	-	-0,30	-0,33	-0,31	-0,20	-0,19	-0,21	-0,16	-0,17	-0,18
Akış Karakteristiği İçin Sıralama	-	7	9	8	5	4	6	1	2	3
Isı Transferi İçin Sıralama		8	3	9	6	2	7	4	1	5

Çizelge 4.3. SIMPLE-C algoritması birinci dereceden yaklaşım için genel değerlendirme

	Vogel ve Eaton (1985) (Deneysel)	Bu Çalışmada								
		Standard k - ϵ			RNG k - ϵ			Realizable k - ϵ		
		Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF	Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF	Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF
Yeniden Birleşme (mm)	253,46	158	151	155	186	175	176	201	193	200
Yeniden Birleşme (H)	6,67	4,16	3,97	4,08	4,89	4,61	4,63	5,29	5,08	5,26
Yeniden Birleşme İçin Hata	-	-0,38	-0,40	-0,39	-0,27	-0,31	-0,30	-0,20	-0,24	-0,21
Akış Karakteristiği İçin Sıralama	-	7	9	8	4	6	5	1	3	2
Isı Transferi İçin Sıralama		8	3	9	6	2	7	4	1	5

Çizelge 4.4. SIMPLE-C algoritması ikinci dereceden yaklaşım için genel değerlendirme

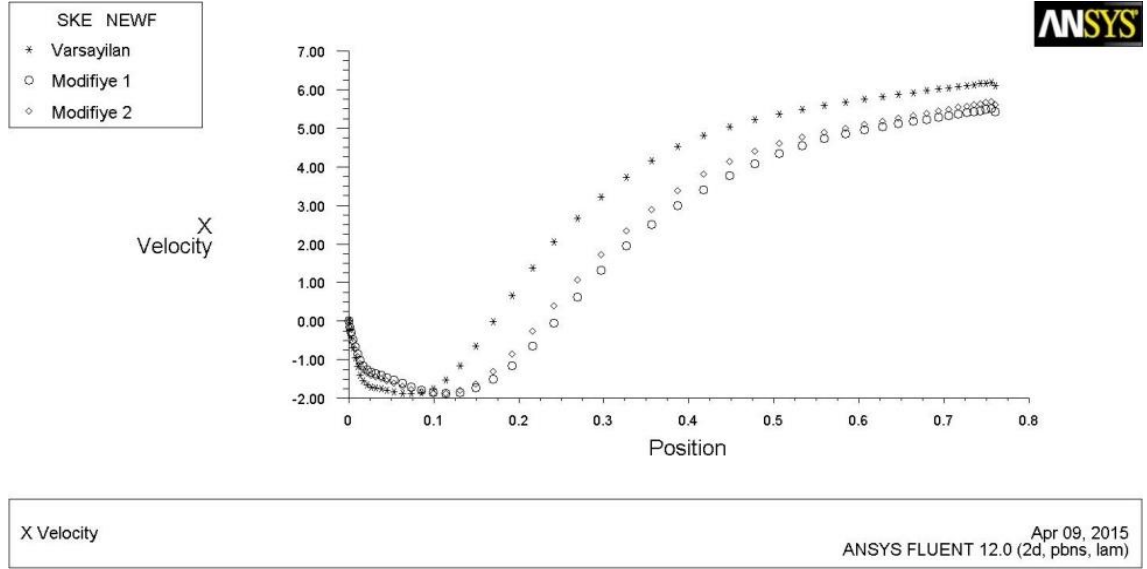
	Vogel ve Eaton (1985) (Deneysel)	Bu Çalışmada								
		Standard k - ϵ			RNG k - ϵ			Realizable k - ϵ		
		Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF	Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF	Standard DF	Dengesiz DF	Güçlend. DF
Yeniden Birleşme (mm)	253,46	180	171	175	206	204	202	211	209	205
Yeniden Birleşme (H)	6,67	4,74	4,50	4,61	5,42	5,37	5,32	5,55	5,50	5,39
Yeniden Birleşme İçin Hata	-	-0,29	-0,32	-0,31	-0,18	-0,19	-0,20	-0,16	-0,17	-0,19
Akış Karakteristiği İçin Sıralama	-	7	9	8	3	5	6	1	2	4
Isı Transferi İçin Sıralama		8	3	9	6	2	7	4	1	5

Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te gösterildiği üzere, akış karakteristiği parametresi olan yeniden birleşme uzunluğunu en yaklaşık tahmin eden modellenmenin SIMPLE algoritması, ikinci dereceden yaklaşım, Realizable k-ε türbülans modeli ve standart duvar fonksiyonu olduğu görülmektedir. Bu yaklaşım ile deneysel sonuç olan yeniden birleşme uzunluğunu (6,67H), yapılan analizler sonucunda 5,63H olarak saptanmıştır. Fakat bu yaklaşımın ısı transferine yönelik yapılan değerlendirmesinde ise, ısı transferini doğru tahmin edemediği görülmüştür.

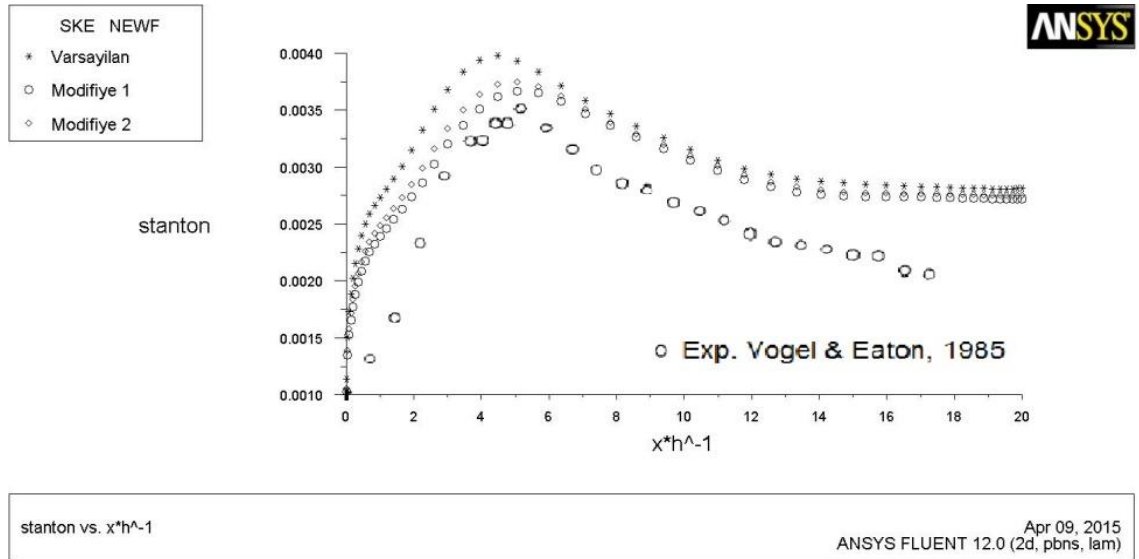
Isı transferinin tahmininde en doğru yaklaşım sergileyen SIMPLE-C algoritması, birinci dereceden yaklaşım, Realizable k-ε türbülans modeli ve dengesiz duvar fonksiyonu ile gerçekleştirilen modellenmenin sergilediği akış karakteristiği incelendiğinde ise kendi algoritması içerisinde en iyi tahmini gerçekleştiren ilk üç çözüm içinde olduğu görülmüştür. Bu yöntemle yeniden birleşme uzunluğu 5,08H olarak bulunmuştur. Isı transferine yönelik en doğru yaklaşımın da bu yol ile elde edildiği göz önünde bulundurulduğunda, yapılacak diğer çalışmalarda kullanılacak metodun SIMPLE-C algoritması, birinci dereceden yaklaşım, Realizable k-ε türbülans modeli ve dengesiz duvar fonksiyonu ile yapılacak modelleme olması gerekmektedir.

Bu değerlendirmelerin haricinde kullanılacak modelin Realizable k-ε olarak belirlenmesinin ardından, ısı transferi ve akış karakteristiğini en iyi belirleyen Standard k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinde; Çizelge 4.4'teki değerlendirmeler üzerinden Standard k-ε türbülans modeli dengesiz duvar fonksiyonu ve RNG k-ε türbülans modeli dengesiz duvar fonksiyonu modellerinde Çizelge 3.7'de belirtilen katsayı modifikasyonları uygulanarak elde edilen sonuçlar Şekil 4.52, 4.53, 4.54 ve 4.55'te gösterilmiştir. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da da, Çizelge 3.7'de belirtilen modifiye edilmiş katsayılar ile ısı transferi ve akış karakteristiklerinin elde edilmesine yönelik yapılan çalışmalara ilişkin sonuçlar sunulmuştur. Her iki modelde de modifiye edilmiş katsayılarla deneysel sonuçlara daha da yakınsandığı görülmüştür. Şekil 4.52 ve Şekil 4.54'te y eksenini m/sn cinsinden hızı, x eksenleri ise metre cinsinden uzunluğu temsil

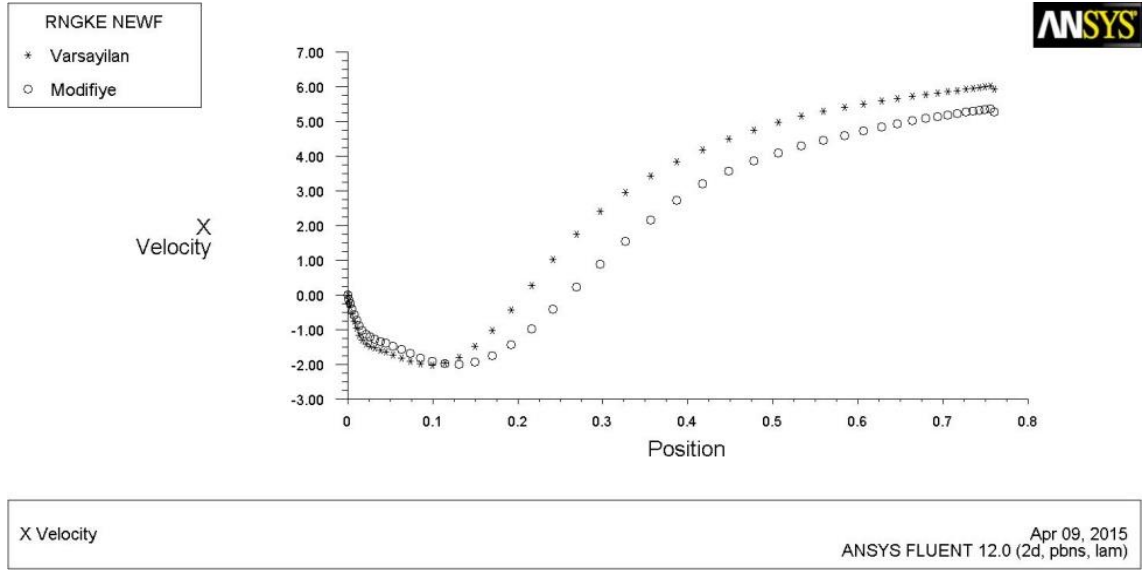
etmektedir. Şekil 4.53 ve Şekil 4.55'te ise y eksenini Stanton sayısı olup, x eksenini basamak sonrası kanal uzunluğunun basamak yüksekliğine olan birimsiz oranıdır.



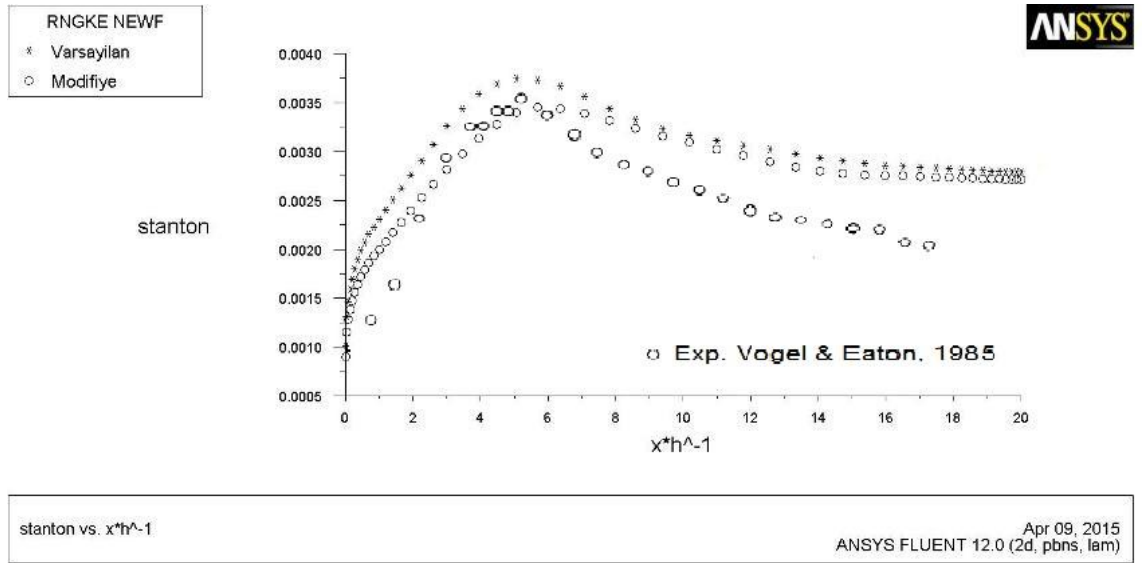
Şekil 4.52. Modifiye Standard k-ε için yeniden birleşme



Şekil 4.53. Modifiye Standard k-ε için ısı transferi



Şekil 4.54. Modifiye RNG k-ε için yeniden birleşme



Şekil 4.55. Modifiye RNG k-ε için ısı transferi

Çizelge 4.5. Modifiye Standard k-ε için akış karakteristikleri ve ısı transferine yönelik genel değerlendirme

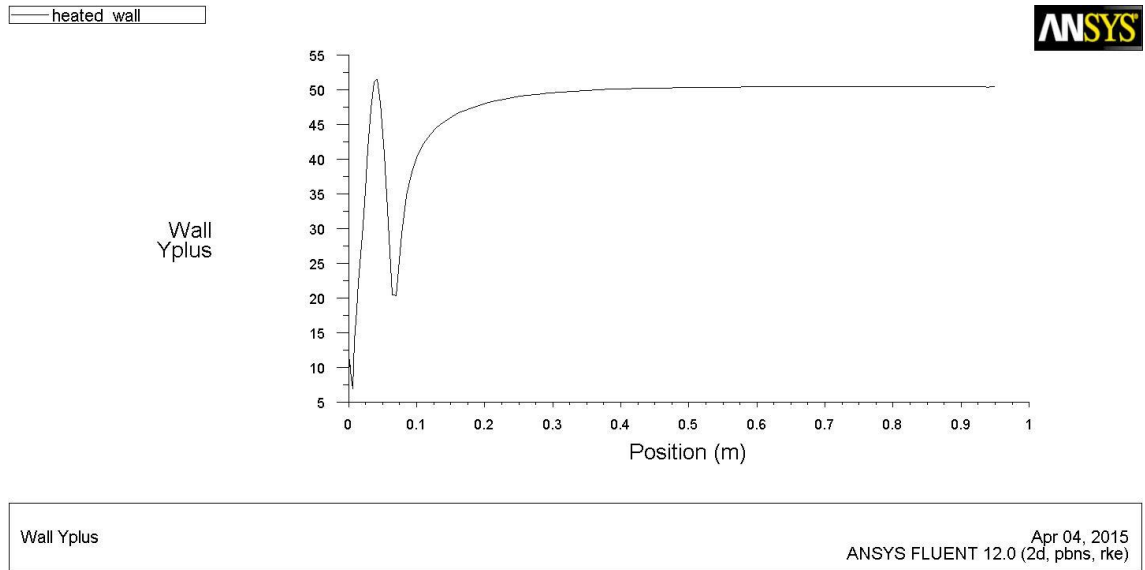
	Vogel ve Eaton (1985) (Deneysel)	Bu Çalışmada					
		Standard k-ε Dengesiz Duvar Fonksiyonu					
		Akış Karakteristikleri			Isı Transferi		
		Varsayılan	Modifiye 1	Modifiye 2	Varsayılan	Modifiye 1	Modifiye 2
Katsayılar	-	c1 = 1,42 c2 = 1,68	c1 = 1,577 c2 = 1,92	c1 = 1,485 c2 = 1,833	c1 = 1,42 c2 = 1,68	c1 = 1,44 c2 = 1,833	c1 = 1,485 c2 = 1,92
Yeniden Birleşme (mm)	253,46	170	227	245	-	-	-
Yeniden Birleşme (H)	6,67	4,47	5,97	6,45	-	-	-
Yeniden Birleşme İçin Hata	-	-0,33	-0,10	-0,03	-	-	-
Akış Karakteristiği İçin Sıralama	-	3	2	1	-	-	-
Isı Transferi İçin Sıralama	-	-	-	-	3	1	2

Çizelge 4.6. Modifiye RNG k-ε için akış karakteristikleri ve ısı transferine yönelik genel değerlendirme

	Vogel ve Eaton (1985) (Deneysel)	Bu Çalışmada			
		RNG k – ε Dengesiz Duvar Fonksiyonu			
		Akış Karakteristiği		Isı Transferi	
		Varsayılan	Modifiye 1	Varsayılan	Modifiye 1
Katsayılar	-	c1 = 1,42 c2 = 1,68	c1 = 1,599 c2 = 1,68	c1 = 1,42 c2 = 1,68	c1 = 1,542 c2 = 1,68
Yeniden Birleşme (mm)	253,46	202	261	-	-
Yeniden Birleşme (H)	6,67	5,32	6,87	-	-
Yeniden Birleşme İçin Hata	-	-0,20	0,03	-	-
Akış Karakteristiği İçin Sıralama	-	2	1	-	-
Isı Transferi İçin Sıralama	-	-	-	2	1

4.2 Driver ve Seegmiller (1985) Çalışması

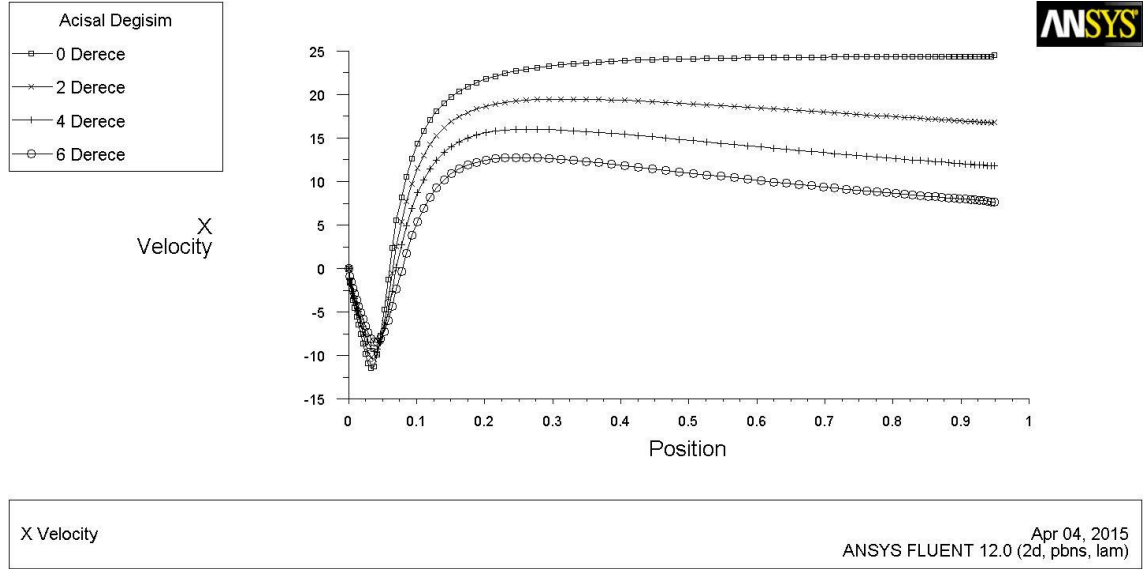
Temel geometri çalışması üzerinden gerçekleştirilen ısı transferinin tahminine yönelik doğrulamaların ardından, Driver ve Seegmiller (1985) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışma üzerinde doğrulamalar yapılmıştır. Bu yaklaşım çerçevesinde Şekil 3.26'da belirtilen temel ağ örgüsü üzerinde, temel geometride kullanılan ve doğrulamaları gerçekleştirilen model olan SIMPLE-C algoritması, birinci dereceden yaklaşım, Realizable k-ε türbülans modeli ve dengesiz duvar fonksiyonu kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler kapsamında ilk önce y^+ kontrolü yapılarak, ağ örgüsünün daha önce belirtilen güvenilir aralıkta olup olmadığı incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda elde edilen grafik, Şekil 4.56'da gösterilmiştir. Bu grafikten elde edilen bilgilere dayanılarak, ağ örgüsünün güvenilir aralıkta olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.56 Driver ve Seegmiller (1985) için y^+

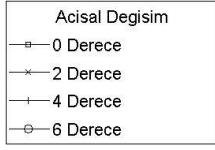
Gerçekleştirilen y^+ ardından, sırasıyla standart geri basamak geometrisi ile deneysel çalışmada belirtilen noktadan itibaren üst duvar sınır değişikliği uygulanmış geometrilerde akış karakteristiklerine yönelik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Bu

kapsamda yapılan çalışmalar Şekil 4.57’de gösterilmiştir. Bu grafikte x eksenini metre cinsinden ifade edilmekte olup, y eksenini ise m/sn cinsinden hızın ifadesidir.

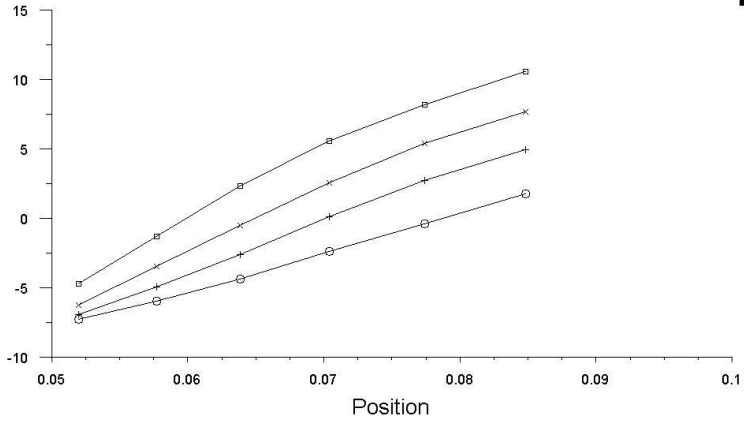


Şekil 4.57. Driver ve Seegmiller (1985) için yeniden birleşme

Yeniden birleşme uzunluğunun tahmin edilebilmesine yönelik yapılan analizden elde edilen grafiğin, daha anlaşılır halde olması ve değerlerin daha kolay okunabilmesi adına, basamak sonrası yüzeyde cidara en yakın olan ağ örgüsünün X eksenini üzerindeki hız profilinin daha küçük aralıktaki görünümü ise Şekil 4.58’de gösterilmiştir. Bu grafikte de, x eksenini metre cinsinden ifade edilmekte olup, y eksenini ise m/sn cinsinden hızın ifadesidir.



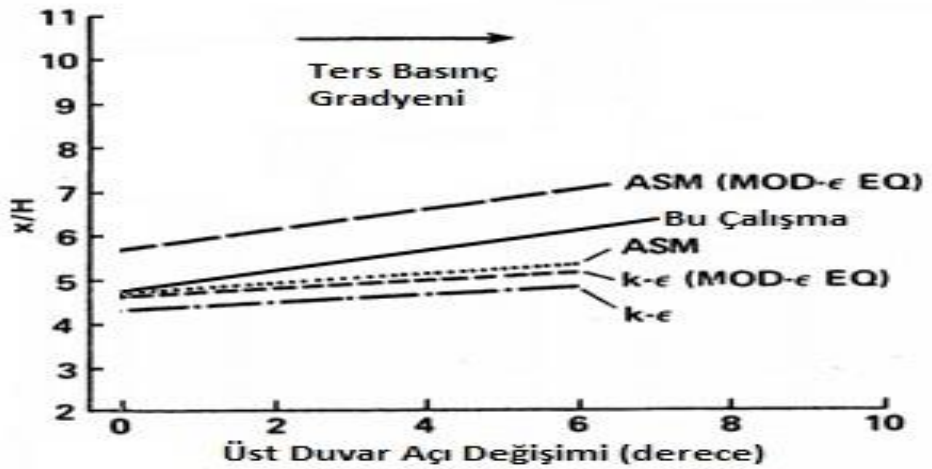
X Velocity



X Velocity Apr 04, 2015
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, pbns, lam)

Şekil 4.58. Driver ve Seegmiller (1985) için yeniden birleşmenin dar aralıkta gösterimi

Driver ve Seegmiller (1985) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmadaki sonuçlardan ve SIMPLE-C algoritması, birinci dereceden yaklaşım, Realizable k-ε türbülans modeli ve dengesiz duvar fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlardan elde edilen yeniden birleşmelerin bir arada sunulduğu çalışmalar Şekil 4.59 ve Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.59. Driver ve Seegmiller (1985) deneysel çalışma ve analizler için yeniden birleşmelerin gösterimi

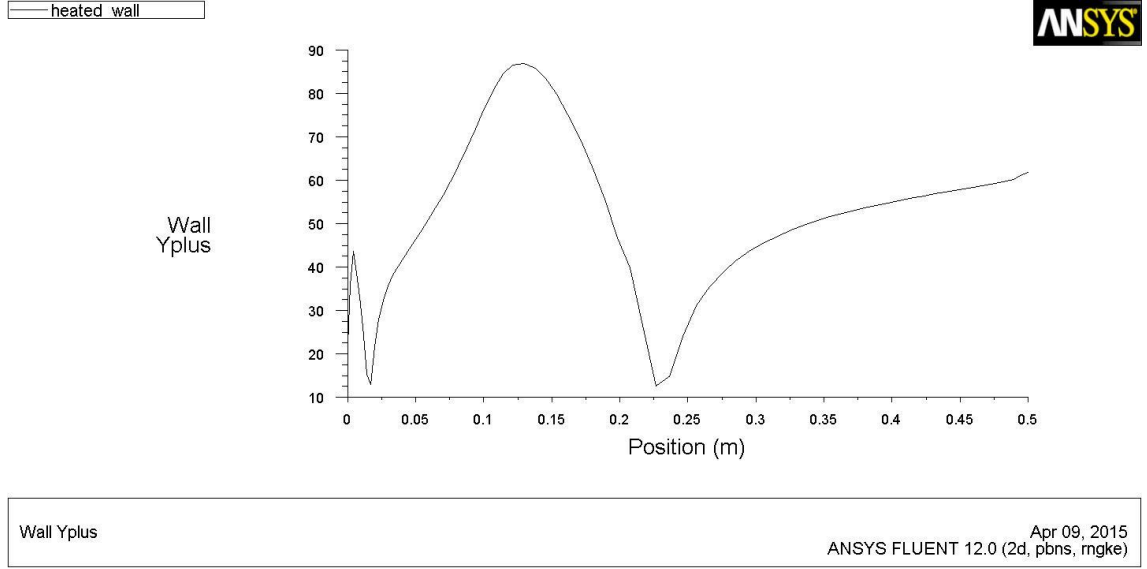
Çizelge 4.7 Driver ve Seegmiller (1985) için akış karakteristikleri karşılaştırması

Açısal Değişim (°)	Driver ve Seegmiller (1985) (Deneysel)		Bu Çalışma	
			Realizable k-ε Dengesiz Duvar Fonksiyonu	
	Xr/H	Xr (mm)	Xr/H	Xr (mm)
0	4,35	55	4,72	60
2	4,55	58	5,20	66
4	4,75	60	5,67	72
6	4,95	63	6,14	78

Elde edilen verilere göre deneysel sonuçlar ile kullanılan ağ örgü yapısı ve buna bağlı olarak kullanılan modelin vermiş olduğu sonuçların tutarlı olduğu tespitinde bulunulmuştur. Ayrıca analiz sonucunda elde edilen verilerin belirli bir eğimi olduğu da görülmektedir. Böylece yapılan analizler çerçevesinde üzerinde çalışılan geometride gerekli doğrulamalar gerçekleştirilmiştir.

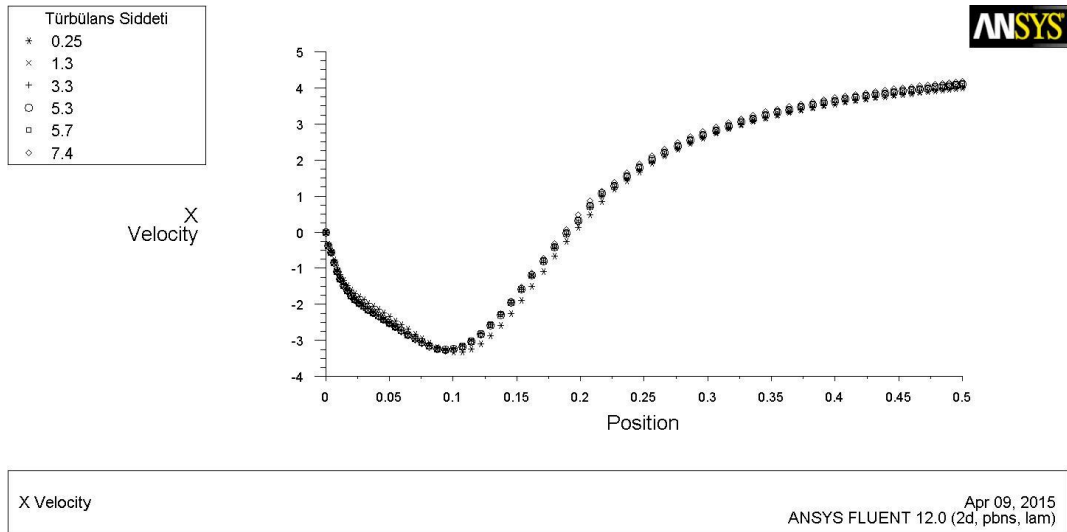
4.3 Isomoto ve Honami (1989) Çalışması

Ele alınan bu çalışmada, Isomoto ve Honami (1989) tarafından yapılan deneysel çalışmadaki akış karakteristiklerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda deneysel çalışmada olduğu gibi temel değişken olarak türbülans şiddetindeki değişimler alınmıştır. Gerçekleştirilen analizlerde doğrulama adımı olarak ilk önce ağ örgüsünün güvenilirliğine ilişkin inceleme gerçekleştirilmiş olup, bu inceleme sonucunda ağ örgüsünün güvenilir aralıkta olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.60'ta ilgili grafik sunulmuştur. Ayrıca deneysel çalışmada belirtilen türbülans şiddetleri için belirtilen sınır tabaka kalınlıkları üzerinden yapılan incelemede de; deneysel çalışmada ortalama olarak 0,023 olan sınır tabaka kalınlığının, bu çalışma kapsamında uygulanan modellerde 0,1 olduğu görülmüştür.



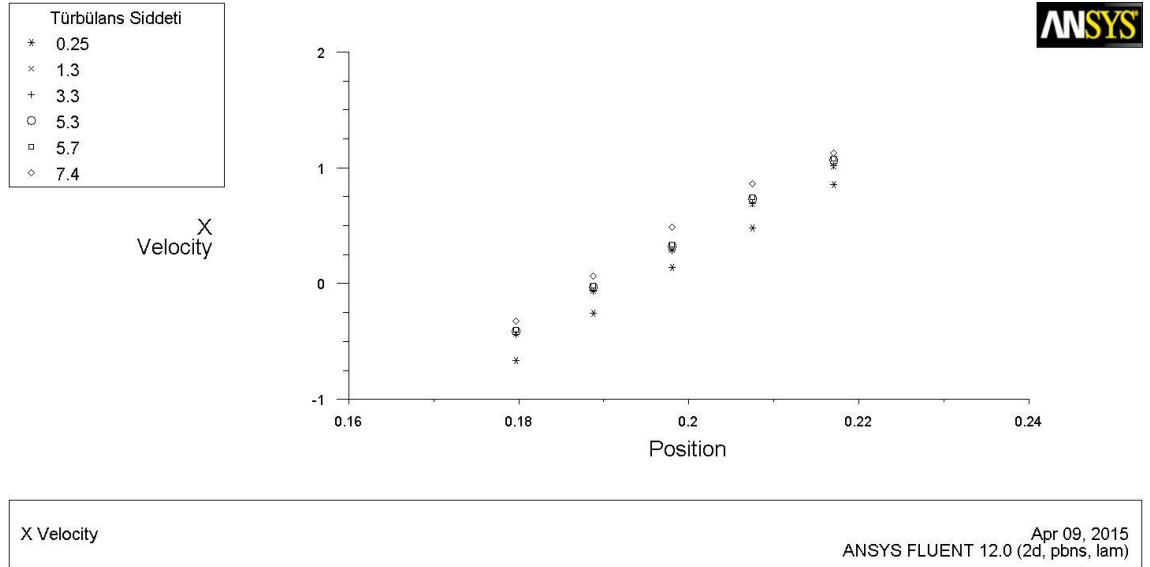
Şekil 4.60. Isomoto ve Honami (1989) için y^+

Ele alınan geometri üzerinden uygulanan modelde, gerçekleştirilen ağ örgü yapısının daha önceki çalışmalarda da dikkat edilen güvenilir aralıkta olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmada ele alınan türbülans değişikliklerinin akış karakteristiklerine olan etkisinin incelenmesine bu yaklaşım çerçevesinde devam edildiğinde ise, elde edilen sonuçlar Şekil 4.61’de gösterilmiştir. Bu şekilde belirtilen grafikte, x ekseninin birimi metre olup, y eksenini ise m/sn cinsinden hızın ifadesidir.



Şekil 4.61. Isomoto ve Honami (1989) için yeniden birleşme

Şekil 4.61'in daha küçük aralıklardaki gösterimi ise Şekil 4.62'de gösterilmiştir.



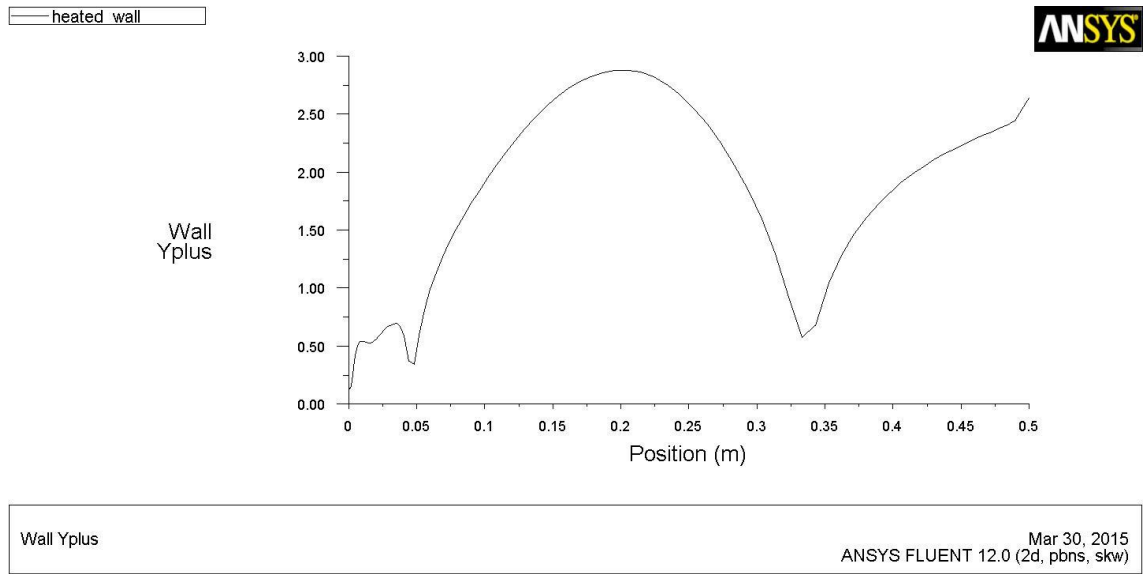
Şekil 4.62. Isomoto ve Honami (1989) için yeniden birleşme (dar aralık)

Şekil 4.62'den edinilen bilgiler ışığında Isomoto ve Honami (1989) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve temel geometri üzerinden doğrulaması gerçekleştirilen modelleme kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırması ise Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 Isomoto ve Honami (1989) için yeniden birleşme karşılaştırması

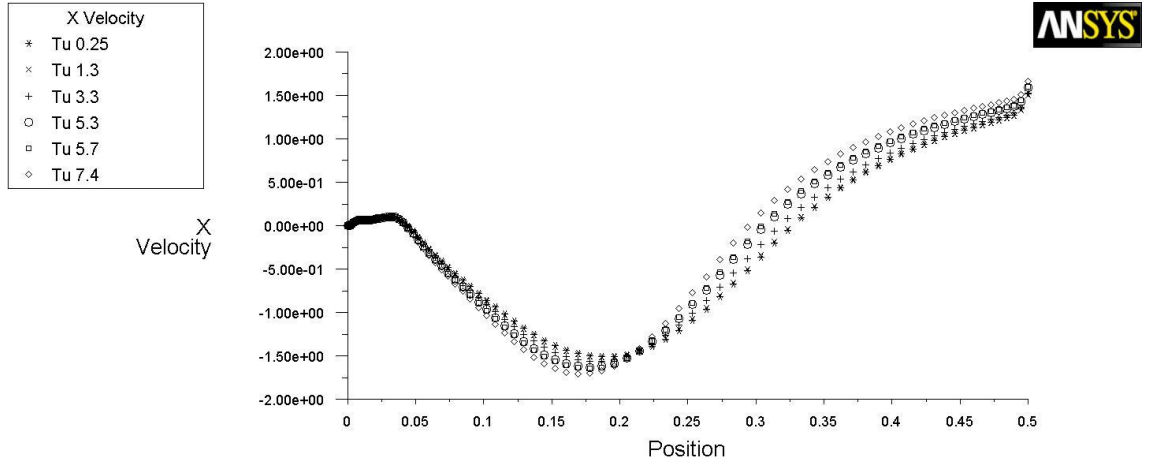
Türbülans Şiddeti (Tu) (%)	Isomoto ve Honami (1989) (Deneysel)		Bu Çalışma	
	Xr (mm)	Xr / H	Realizable k-ε Dengesiz Duvar Fonksiyonu	
			Xr (mm)	Xr / H
0,25	328,4	8,21	196	4,9
1,3	324	8,1	192	4,8
3,3	304	7,61	191	4,77
5,3	278,8	6,97	190	4,75
5,7	276,4	6,91	189	4,72
7,4	251,2	6,28	186	4,65

Çizelge 4.8'den de görüleceği üzere, deneysel sonuçlar ile yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar arasında ciddi farklar olduğu görülmüştür. Bu sebepten dolayı ilgili modelde akış karakteristiklerinin daha hassas modellenerek elde edilecek verilerin daha yüksek doğrulukla elde edilebilmesi amacıyla $k-\omega$ tabanlı türbülans modelleri uygulanmıştır. Bu yaklaşım çerçevesinde ilk olarak deneysel çalışmada kullanılan geometrinin, Şekil 3.29'da gösterildiği üzere yeni bir ağ örgü modellemesi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te ilgili çalışma için belirtilen sınır şartları Şekil 3.29'da belirtilen ağ örgü modellemesinde kullanılarak, ilk etapta kullanılan ağ örgü modellemesinin, bu türbülans metodunda belirtebileceğimiz 1-3 güvenilir aralığında olup olmadığı kontrolü gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.63'te de görülebileceği üzere ağ örgü modellemesinin güvenilir aralıkta olduğu görülmüştür.



Şekil 4.63. Isomoto ve Honami (1989) için y^+ ($k-\omega$ modeller)

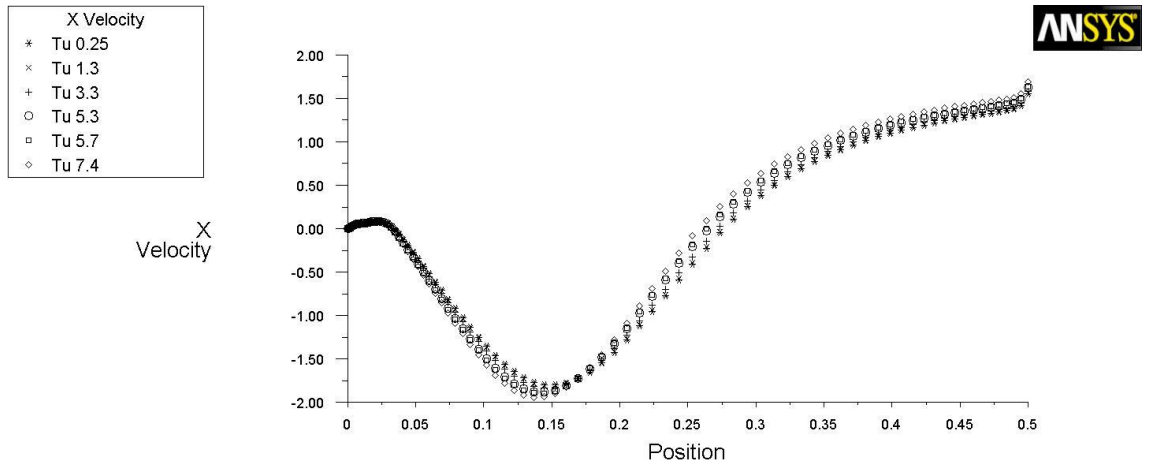
Kullanın ağ örgüsünün y^+ sonuçlarının istenilen aralıkta çıkmasına müteakip, farklı türbülans şiddetlerindeki akış karakteristiklerinin Standard $k-\omega$ ve SST $k-\omega$ türbülans modellerinde gerçekleştirilen analizleri yapılmıştır. Bu yaklaşımla Şekil 4.64 ve Şekil 4.65'te gösterildiği üzere ilgili modellerde yeniden birleşme uzunlukları belirlenmiştir. Belirtilen şekillerdeki grafiklerde x eksenin metre cinsinden ifade edilmekte olup, y eksenini ise m/sn cinsinden hızın ifadesidir.



Türbülans biddeti

Mar 30, 2015
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, pbns, lam)

Şekil 4.64 Isomoto ve Honami için yeniden birleşme (Standard k- ω)

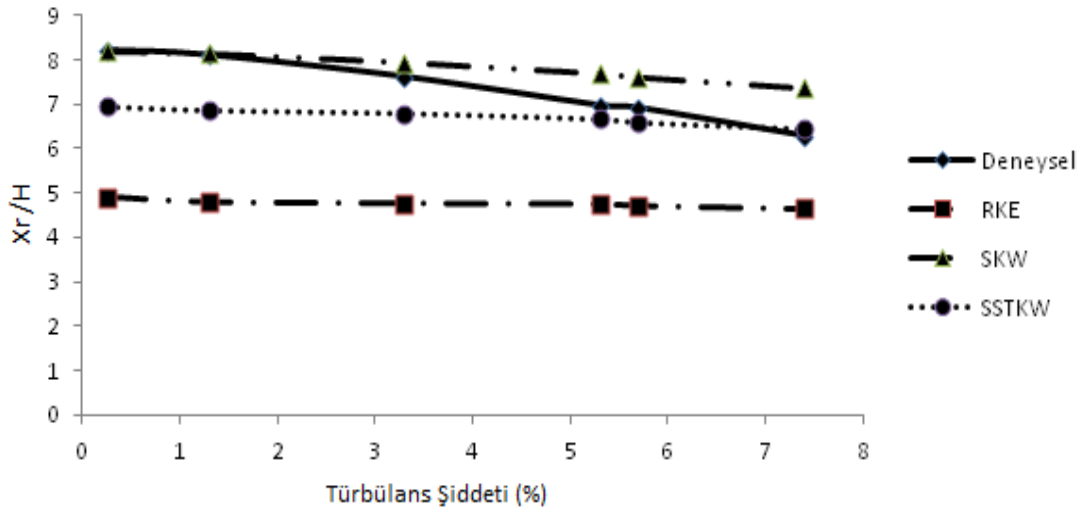


Türbülans biddeti

Mar 30, 2015
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, pbns, lam)

Şekil 4.65 Isomoto ve Honami için yeniden birleşme (SST k- ω)

Uygulanan türbülans modellerinin ardından sonuçların karşılaştırılması Şekil 4.66 ve Çizelge 4.9'da belirtilmiştir.



Şekil 4.66. Isomoto ve Honami (1989) için yeniden birleşme uzunluklarının grafiksel olarak karşılaştırılması

Çizelge 4.9. Isomoto ve Honami (1989) için yeniden birleşme uzunluklarının karşılaştırılması

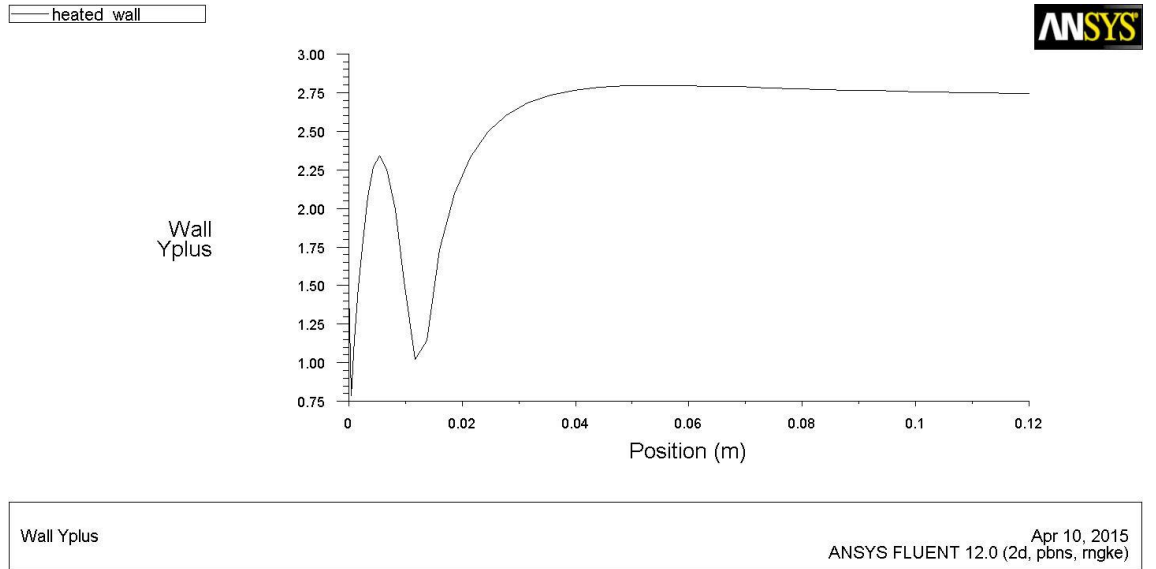
Türbülans Şiddeti (Tu) (%)	Isomoto ve Honami (1989) (Deneysel)		Bu çalışma					
			Realizable k-ε Dengesiz Duvar Fonksiyonu		Standard k - ω		SST k - ω	
	Xr (mm)	Xr / H	Xr (mm)	Xr / H	Xr (mm)	Xr / H	Xr (mm)	Xr / H
0,25	328,4	8,21	196	4,9	328	8,2	278	6,95
1,3	324	8,1	192	4,8	326	8,15	275	6,87
3,3	304	7,61	191	4,77	318	7,95	272	6,8
5,3	278,8	6,97	190	4,75	308	7,7	267	6,67
5,7	276,4	6,91	189	4,72	305	7,62	264	6,6
7,4	251,2	6,28	186	4,65	295	7,37	258	6,45

Şekil 4.66 ve Çizelge 4.9'dan da görülebileceği gibi akış karakteristiklerini daha hassas bir şekilde modelleyerek yeniden birleşme uzunluğunun tahmininde k-ω türbülans modellerinin daha doğru yaklaşım sergilediği görülmüştür. Düşük türbülans şiddetlerinde Standard k-ω modeli, deneysel sonuçlara daha yakın tahminler sunarken;

yüksek türbülans şiddetlerinde ise SST k- ω türbülans modeli daha doğru yaklaşımlarda bulunmuştur.

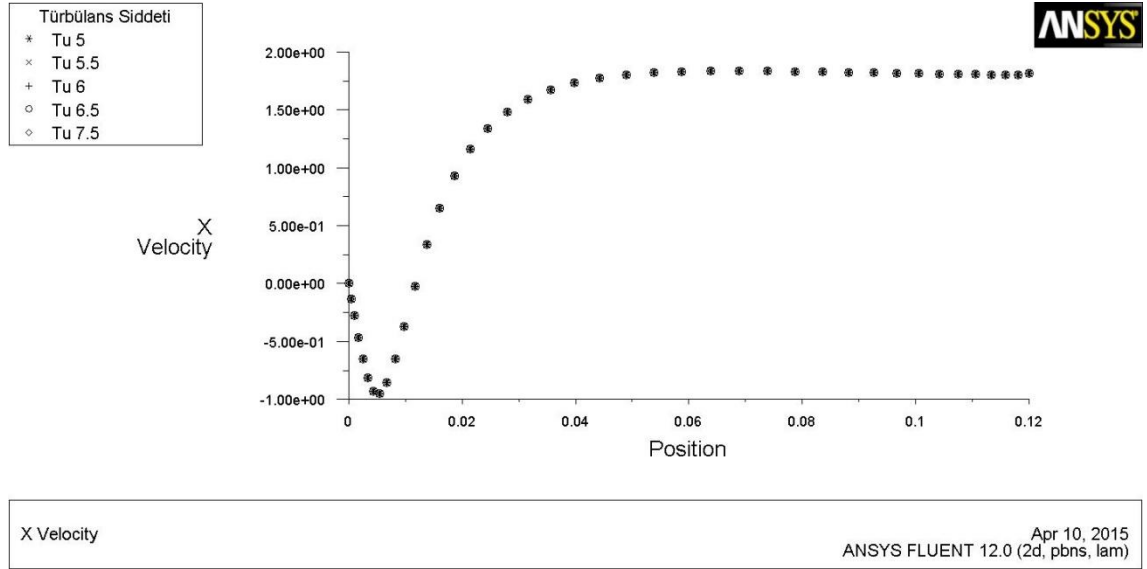
4.4 Haque ve ark. (2007) Çalışması

Haque ve ark. (2007) tarafından yapılan bu deneysel çalışmada da Isomoto ve Honami (1989) tarafından yapılan deneysel çalışmada olduğu gibi akış karakteristikleri üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Bu doğrultuda deneysel çalışmada olduğu gibi temel değişken olarak türbülans şiddetindeki değişimler ele alınmıştır. Gerçekleştirilen analizlerde doğrulama adımı olarak ilk önce ağ örgüsünün güvenilirliğine ilişkin inceleme gerçekleştirilmiş olup, bu inceleme sonucunda ağ örgüsünün diğer çalışmalarda uygulanan modele göre güvenilir aralıkta olmadığı tespit edilmiştir. İlgili grafik, Şekil 4.67’de sunulmuştur



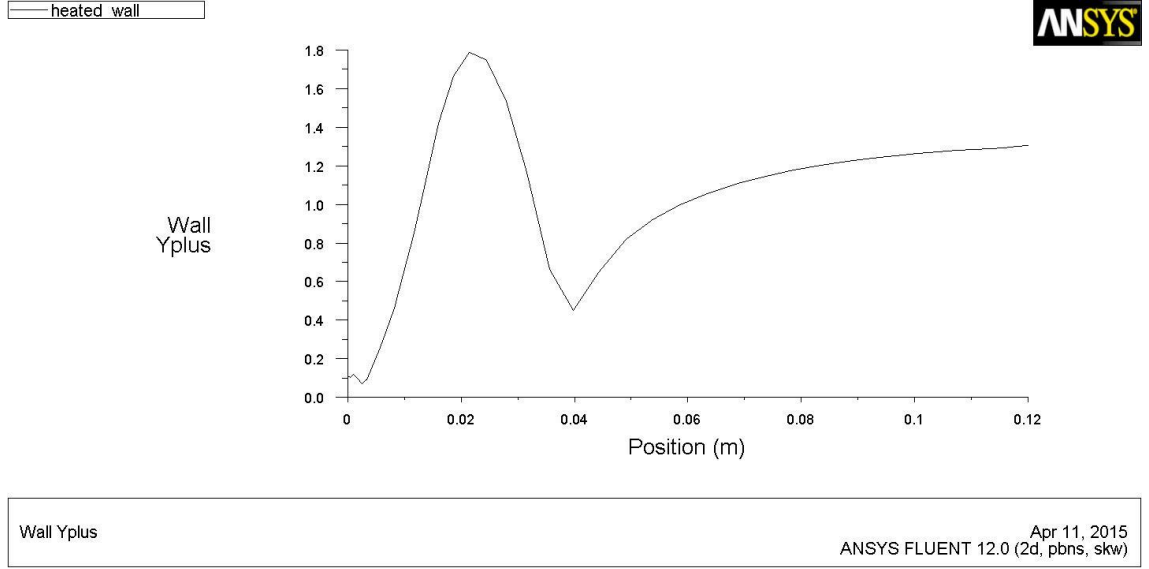
Şekil 4.67. Haque ve ark. (2007) için y^+

İstenilen y^+ değerleri beklenilen aralıkta çıkmamasına rağmen kullanılan modelden elde edilen akış karakteristikleri üzerinden yapılan değerlendirme sonucunda ilgili modele ilişkin yeniden birleşme uzunlukları Şekil 4.68’de gösterilmiştir. Bu grafikte x eksenini metre cinsinden ifade edilmekte olup, y eksenini ise m/sn cinsinden hızın ifadesidir.



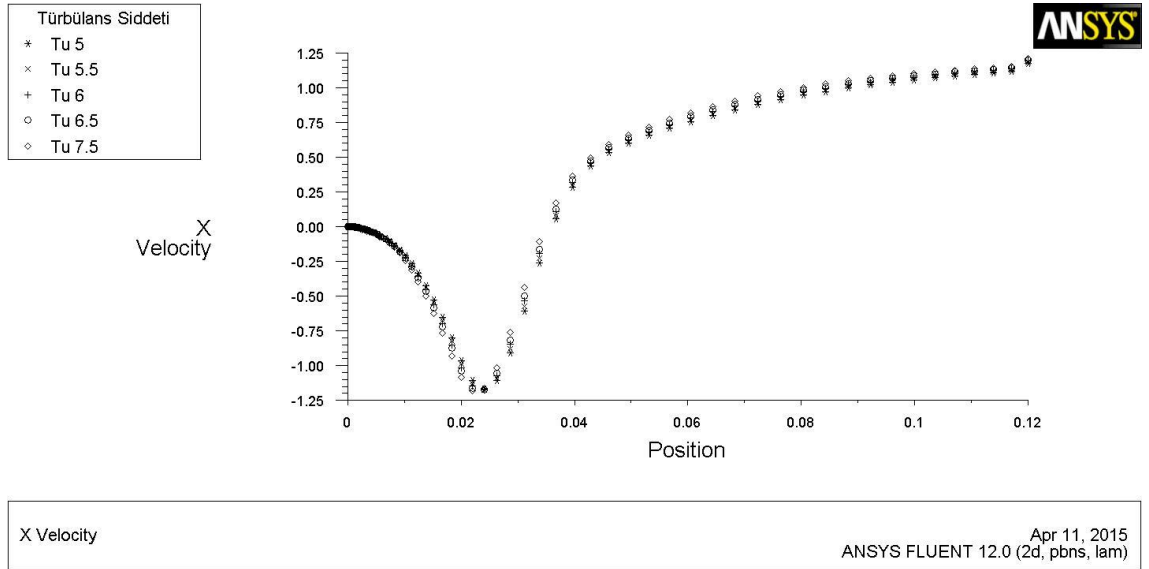
Şekil 4.68 Haque ve ark. (2007) için yeniden birleşme (k-ε model)

Diğer çalışmalarda uygulanan türbülans modellerinde kullanılan bir ağ örgü yapısının güvenilir aralıkta sonuç vermemesi üzerine, daha hassas bir yaklaşım sergilenerek akış karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla Şekil 3.30’da belirtilen ağ örgü yapısı $k - \omega$ türbülans modellerinde uygulanmıştır. İlk etapta ağ örgüsünün güvenilirliğinin anlaşılabilmesi adına y^+ kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bu kontrol sonucunda elde edilen grafik, Şekil 4.69’da gösterilmiştir.

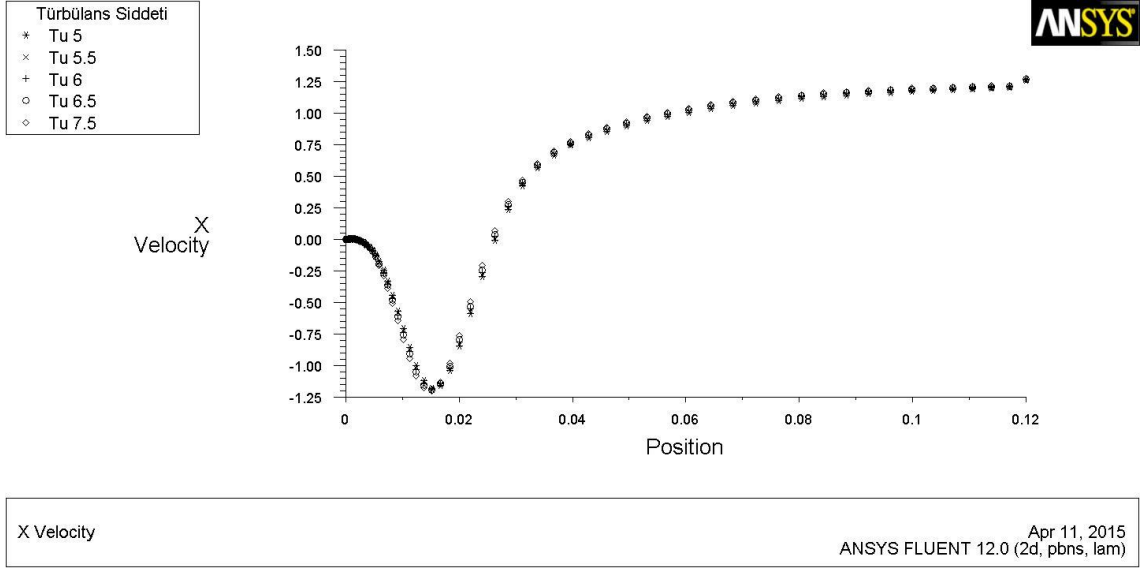


Şekil 4.69. Haque ve ark. (2007) için y^+ ($k-\omega$ modeller)

Uygulanacak $k-\omega$ türbülans modelleri için oluşturulan ağ örgüsünün daha önceki çalışmalarda olduğu gibi güvenilir aralıkta kalmasından dolayı, akış karakteristikleri üzerinden yapılan değerlendirme sonucunda farklı türbülans şiddeti uygulamalarındaki yeniden birleşme uzunlukları, Şekil 4.70 ve Şekil 4.71’de x eksenine metre cinsinden uzunluğu, y eksenine ise m/sn cinsinden hız ifadesini gösterecek şekilde belirtilmiştir.

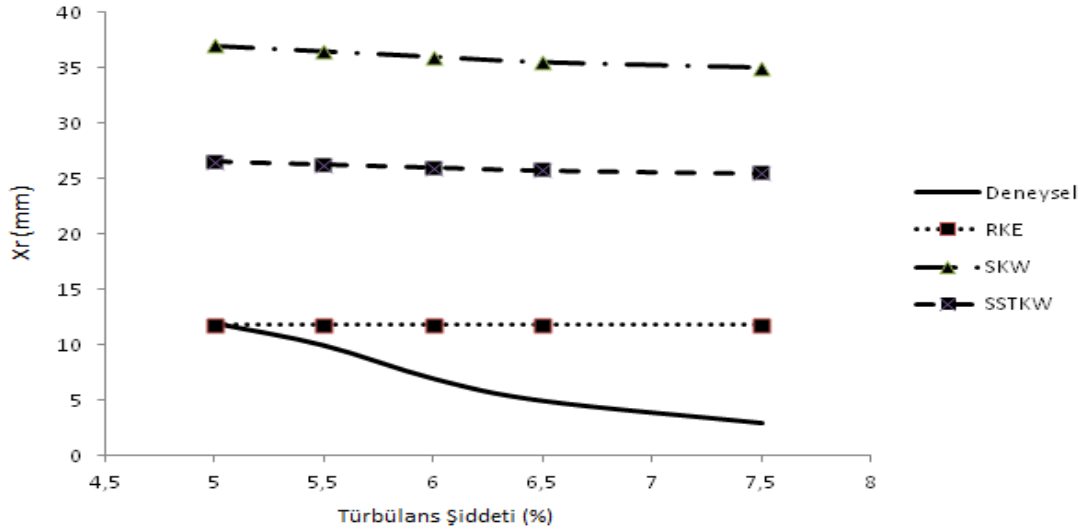


Şekil 4.70. Haque ve ark. (2007) için yeniden birleşme (Standard $k-\omega$ modeli)



Şekil 4.71. Haque ve ark. (2007) için yeniden birleşme (SST k – ω modeli)

Haque ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın modellenerek elde edilen yeniden birleşme uzunluklarına ilişkin veriler ise Şekil 4.72 ve Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.72. Haque ve ark. (2007) için yeniden birleşme uzunluklarının grafiksel olarak karşılaştırılması

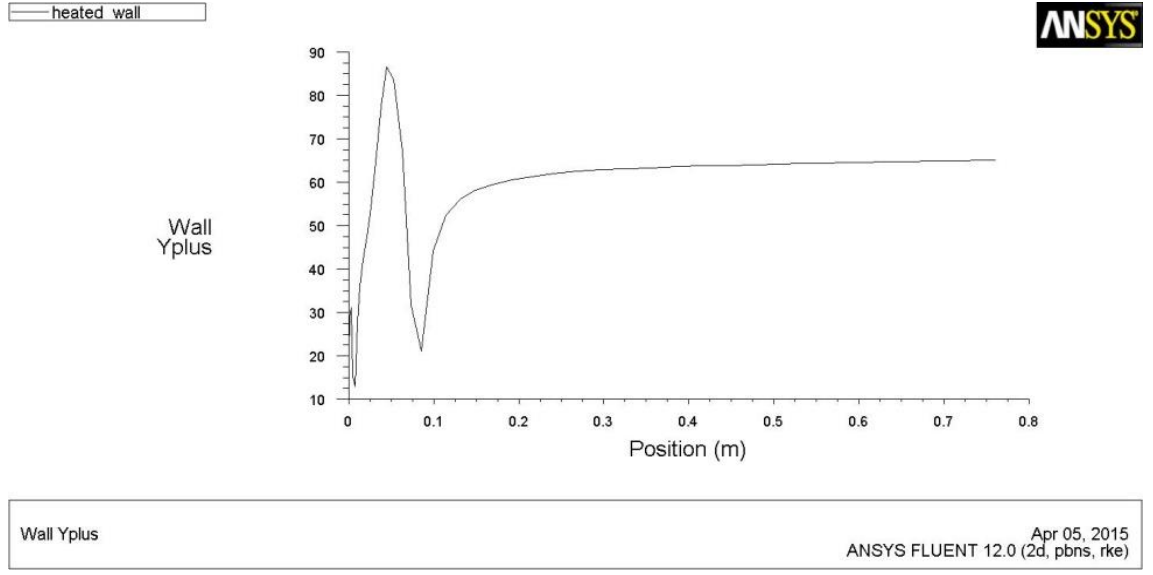
Çizelge 4.10. Haque ve ark. (2007) için yeniden birleşme uzunluklarının karşılaştırılması

Türbülans Şiddeti (Tu) (%)	Haque ve ark. (1989) (Deneysel)		Bu Çalışma					
			Realizable k-ε Dengesiz Duvar Fonksiyonu		Standard k - ω		SST k - ω	
	Xr (mm)	Xr / H	Xr (mm)	Xr / H	Xr (mm)	Xr / H	Xr (mm)	Xr / H
5	12	3	11,8	2,95	37	9,25	26,5	6,62
5,5	10	2,5	11,8	2,95	36,5	9,12	26,25	6,56
6	7	1,75	11,8	2,95	36	9	26	6,5
6,5	5	1,25	11,8	2,95	35,5	8,87	25,75	6,43
7,5	3	0,75	11,8	2,95	35	8,75	25,5	6,37

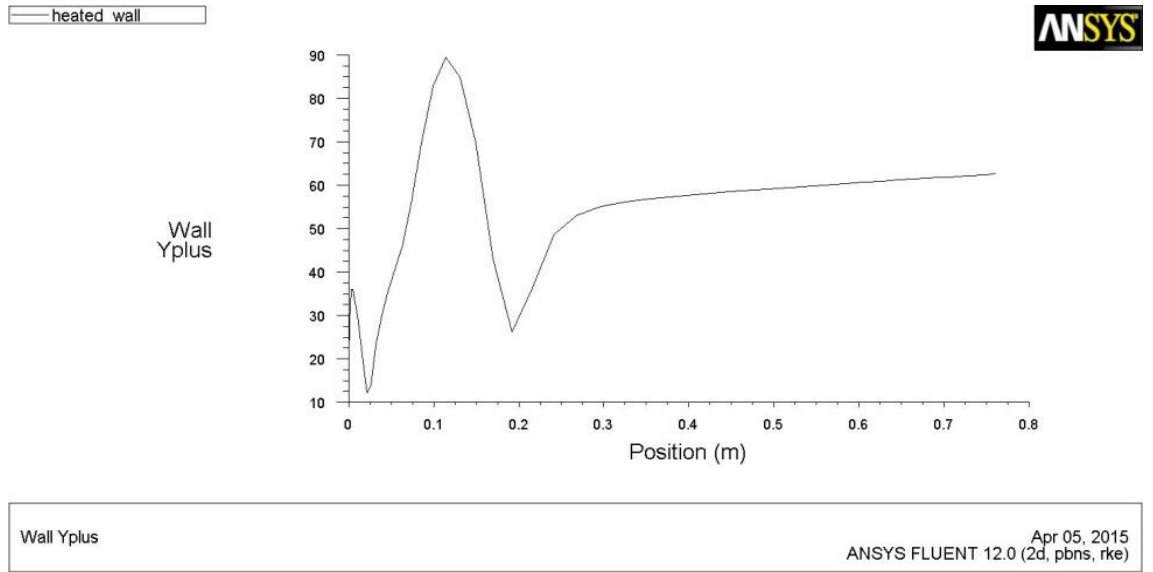
Çizelge 4.10'dan da görülebileceği gibi k - ε türbülans modeli akışı daha doğru tahmin edebilmesine karşın geometrinin ufak olmasından dolayı y^+ değeri belirlenen aralıklara inememiştir. Bu yüzden akış karakteristiklerini daha hassas bir şekilde modelleyerek yeniden birleşme uzunluğunun tahmininde k-ω türbülans modellerinin kullanılması sonucunda, k - ω modelleri için y^+ için belirlenen aralıklara inilmesine rağmen deneysel sonuçlar ile analiz sonuçları arasında fark olduğu görülmektedir.

4.5 Uyarlanmış Çalışmalar

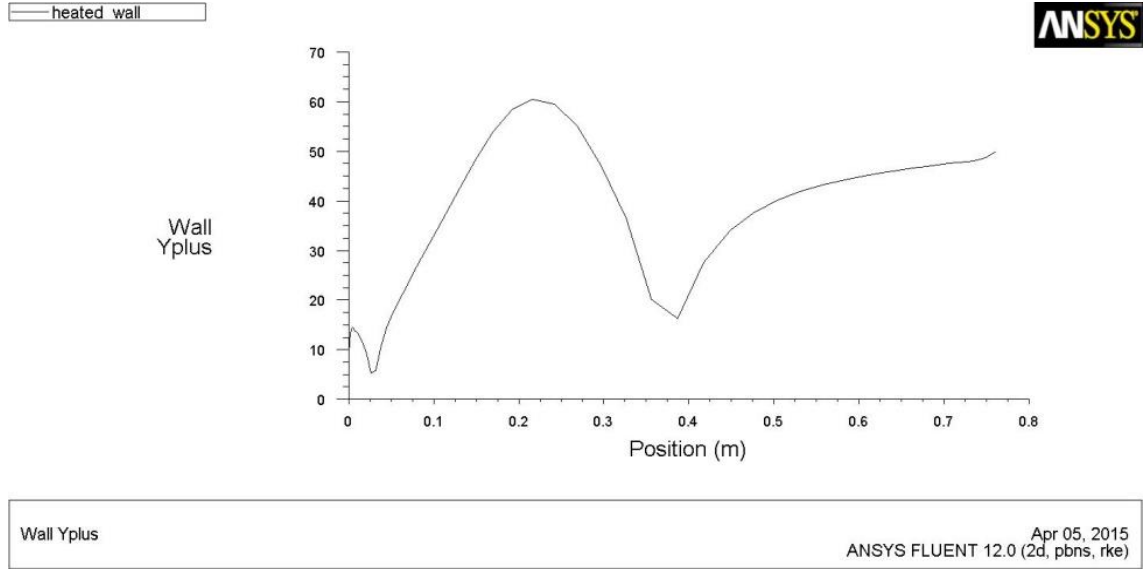
Önceki bölümlerde ele alınan çalışmalarda gerçekleştirilen doğrulamaların ardından, Şekil 3.31 - Şekil 3.42' de belirtilen ağ örgü yapıları kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler çerçevesinde Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'daki sınır şartları, SIMPLE-C algoritması, birinci dereceden yaklaşım, Realizable k-ε modeli ve dengesiz duvar fonksiyonu modelinde uygulanmıştır. Yapılan analizlerde ilk olarak y^+ kontrolü gerçekleştirilerek, kullanılan ağ örgü yapılarının güvenilir aralıkta olup olmadığının kontrolü gerçekleştirilmiştir. Yapılan kontrollerde y^+ değerlerinin güvenilir aralıkta olduğu görülmüştür. Elde edilen grafikler ise Şekil 4.73 - Şekil 4.76'te gösterilmiştir.



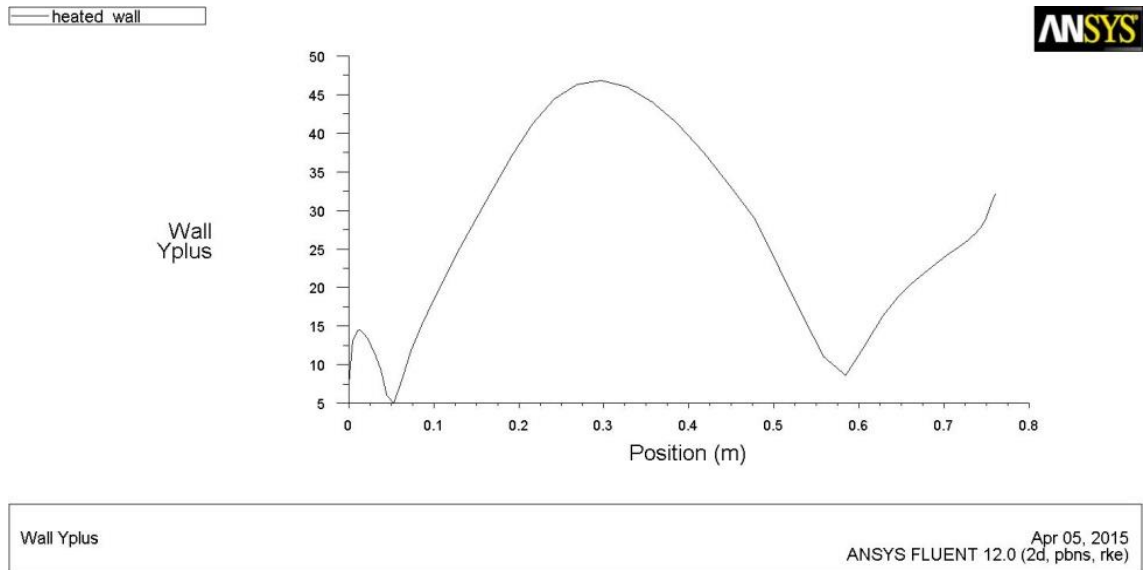
Şekil 4.73. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller için y^+



Şekil 4.74. Uyarlanmış Vogel ve Eaton için y^+



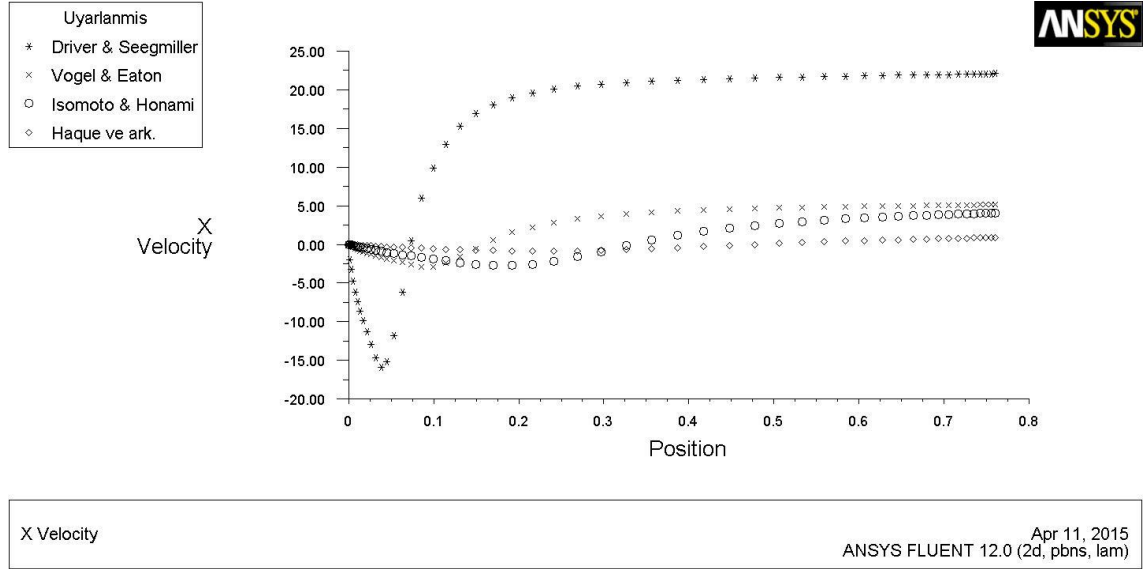
Şekil 4.75. Uyarlanmış Isomoto ve Honami için y^+



Şekil 4.76. Uyarlanmış Haque ve ark. için y^+

Uyarlanmış geometriler üzerinden gerçekleştirilen ağ örgü yapılarının güvenilir aralıkta olduğunun görülmesinin ardından, akış karakteristikleri ile ilgili incelemeler gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda yeniden birleşme uzunlukları tespit edilerek, ilgili modellerin birbirleri arasındaki bağlantılar yorumlanmıştır. Bu doğrultu da elde edilen

veriler Şekil 4.77’te gösterilmiştir. Belirtilen şekildeki grafikte x eksenini metre cinsinden konumu, y eksenini ise m/sn cinsinden hızı ifade etmektedir.



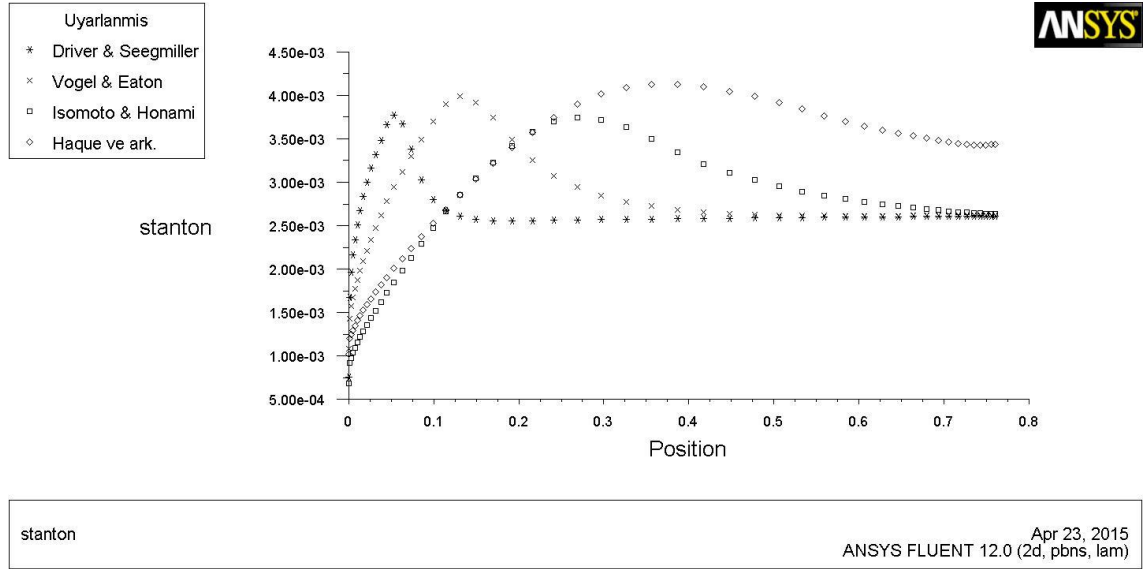
Şekil 4.77. Uyarlanmış çalışmalar için yeniden birleşmeler (standart geri basamak geometrisi)

Elde edilen veriler doğrultusunda tespit edilen yeniden birleşme uzunlukları ile ilgili veriler ise Çizelge 4.11’de aktarılmıştır.

Çizelge 4.11. Uyarlanmış çalışmalar için yeniden birleşmeler uzunlukları (standart geri basamak geometrisi)

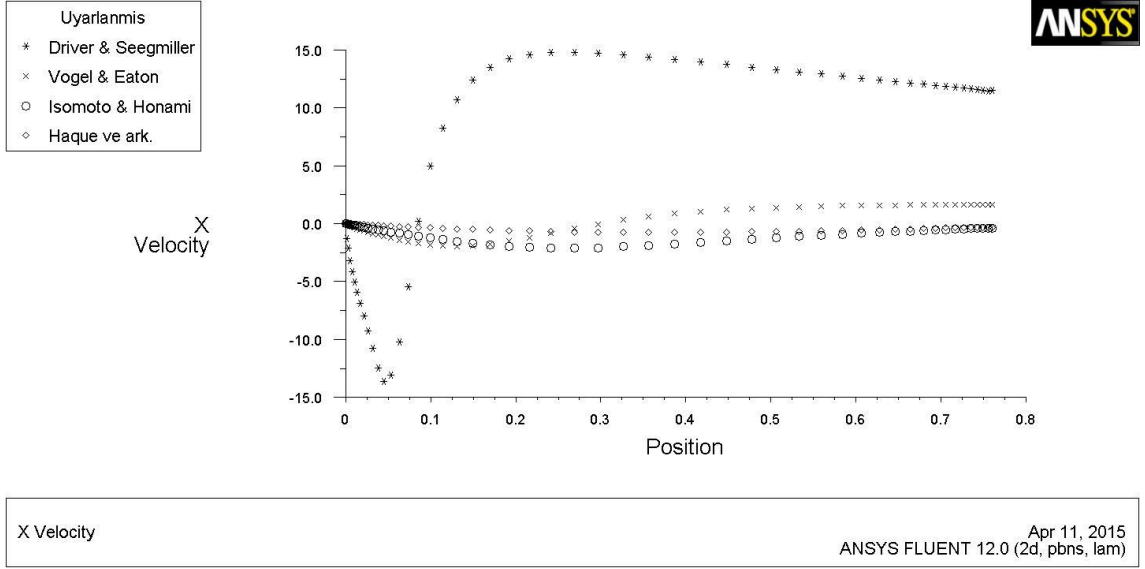
	Bu Çalışmada			
	Basamak Yüksekliği (H)	Genişleme Oranı (ER)	Yeniden Birleşme (Xr)	Xr / H
Uyarlanmış Driver ve Seegmiller	19 mm	1,11	73 mm	3,84
Uyarlanmış Vogel ve Eaton	38 mm	1,25	161 mm	4,23
Uyarlanmış Isomoto ve Honami	57 mm	1,43	341 mm	5,98
Uyarlanmış Haque ve ark.	76 mm	1,67	480 mm	6,31

Yeniden birleşme uzunluklarının bulunmasının ardından üzerinde çalışılan bir diğer nokta ise, uygulanan türbülans modelinin uyarlanmış geometrilerdeki ısı transferine yönelik davranışı olmuştur. Yapılan inceleme sonucunda elde edilen veriler Şekil 4.78’te sunulmuştur. Belirtilen şekilde x ekseninin birimi metredir.

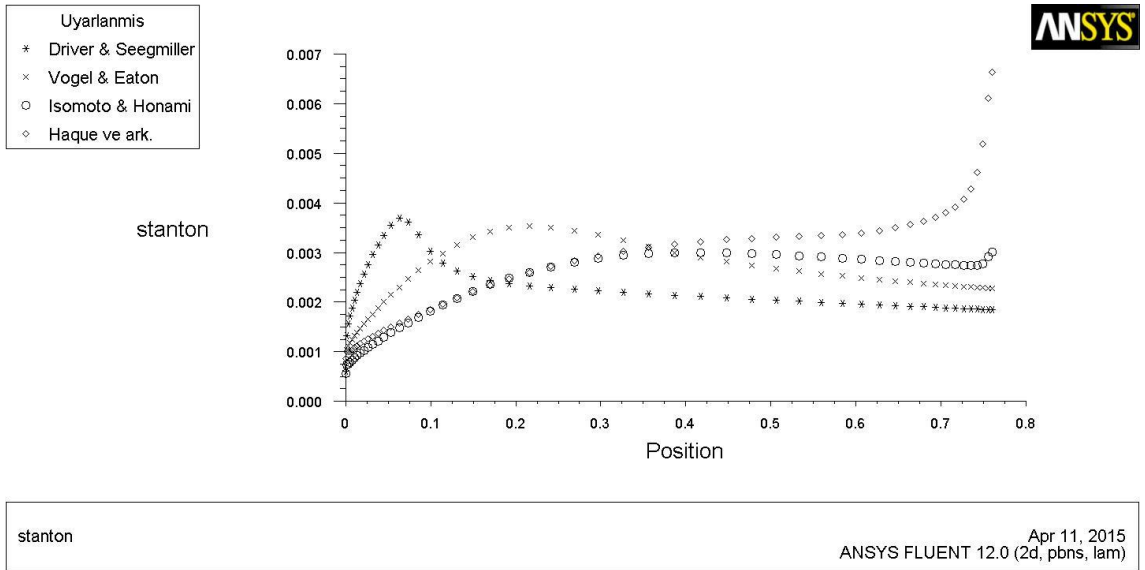


Şekil 4.78. Uyarlanmış çalışmalar için Stanton sayısı (standart geri basamak geometrisi)

Uyarlanmış geometrilerde basınç gradyeninin değişimi ile birlikte akış karakteristikleri ile ısı transferinin değişimine yönelik incelemeler ise her çalışmada 6°'lik sınır değişiklikleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda Bölüm 3.6’da bahsedilen 6° açılı uyarlanmış ağ örgü yapıları üzerinden analizler gerçekleştirilerek öncelikle yeniden birleşme uzunlukları ve ısı transferine yönelik yaklaşımları tespit edilmiştir. Edinilen bilgiler ise Şekil 4.79 ve Şekil 4.80’de sunulmuştur. Belirtilen şekillerde yer alan grafiklerde x eksenini metre cinsinden konumu belirtmekte olup; Şekil 4.79’deki y ekseninin m/sn cinsinden hızı, Şekil 4.80’deki y eksenini ise Stanton sayısını ifade etmektedir.



Şekil 4.79. Uyarlanmış çalışmalar için yeniden birleşmeler (6 derece açılı)



Şekil 4.80. Uyarlanmış çalışmalar için Stanton sayıları(6 derece açılı)

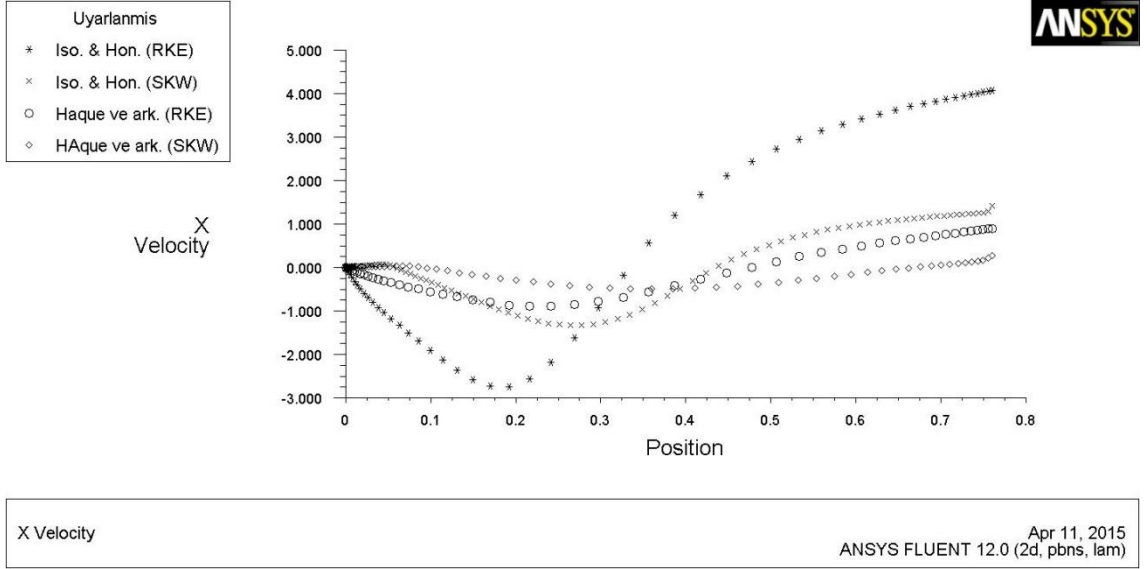
Elde edilen veriler doğrultusunda 6 derece açılı uygulanmış modellerde yeniden birleşme uzunlukları ile ilgili elde edilen veriler Çizelge 4.12’de sunulmuştur.

Çizelge 4.12 Uyarlanmış çalışmalar için yeniden birleşmeler uzunlukları (6 derece açılı)

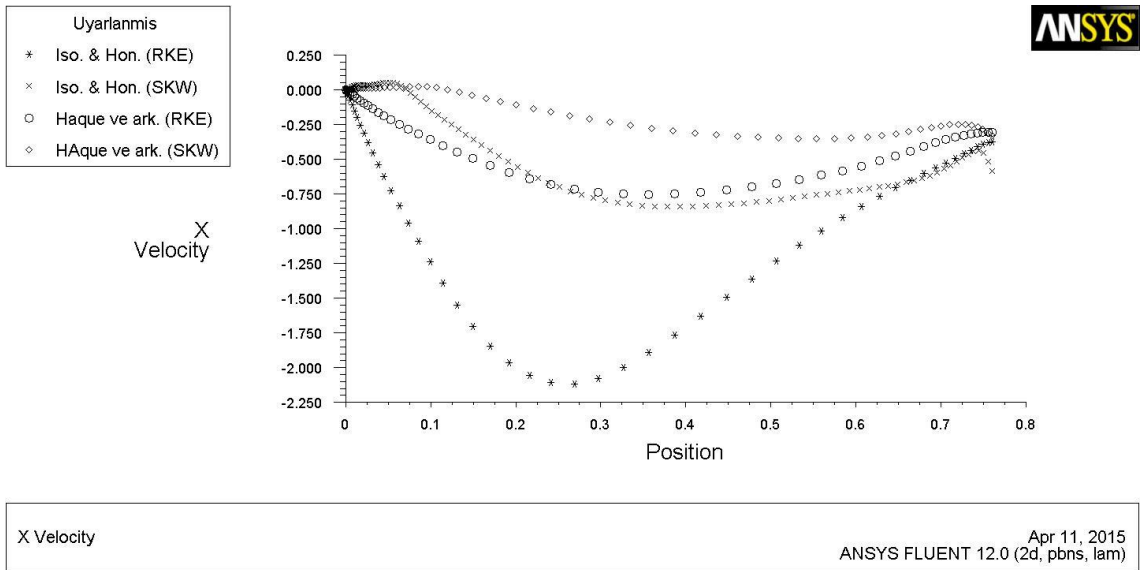
	Bu Çalışmada			
	Basamak Yüksekliği (H)	Genişleme Oranı (ER)	Yeniden Birleşme (Xr)	Xr / H
Uyarlanmış Driver ve Seegmiller	19 mm	1,11	85 mm	4,47
Uyarlanmış Vogel ve Eaton	38 mm	1,25	298 mm	7,84
Uyarlanmış Isomoto ve Honami	57 mm	1,43	-	-
Uyarlanmış Haque ve ark.	76 mm	1,67	-	-

Çizelge 4.12'den de anlaşılacağı üzere, uyarlanmış çalışmalardan Isomoto ve Honami ile Haque ve ark. modellerinde yeniden birleşme sağlanamamıştır.

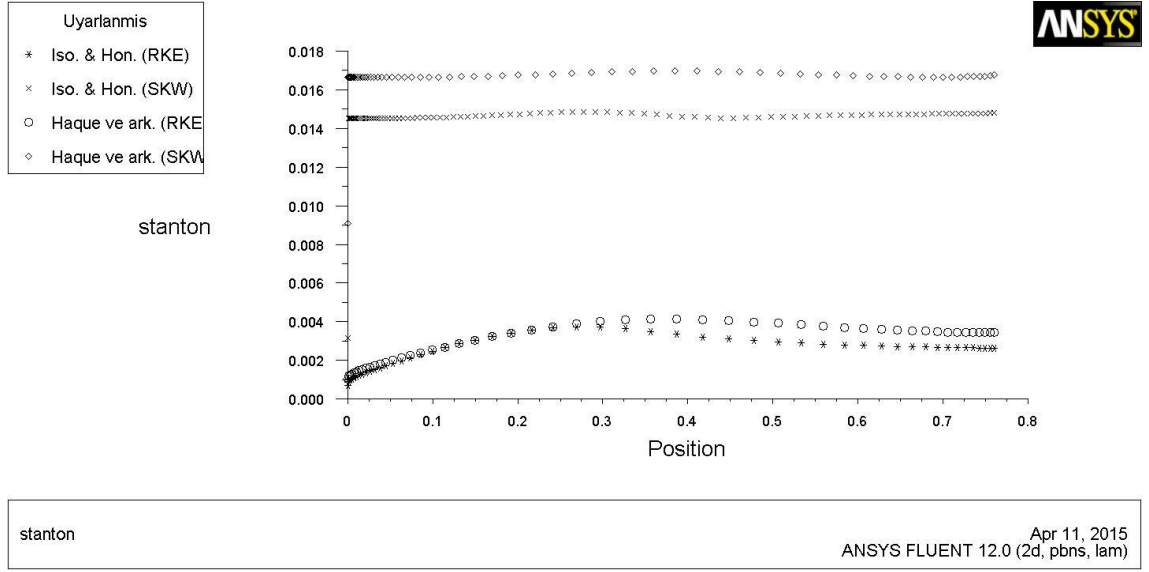
Bölüm 4.3 ve Bölüm 4.4'te belirtilen Isomoto ve Honami (1989) ve Haque ve ark. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda Realizable $k - \epsilon$ modeli kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde y^+ değerlerinin güvenilir aralıkta kalmadığı için $k - \omega$ türbülans modelleri kullanıldığından dolayı, uyarlanmış Isomoto ve Honami ile Haque ve ark. çalışmalarında da Standard $k - \omega$ modeli kullanılarak akış karakteristikleri ile ısı transferine yönelik davranışlar incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda elde edilen veriler uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. çalışmalarında kullanılan Realizable $k - \epsilon$ türbülans modellerinin sonuçları ile karşılaştırmalı olarak Şekil 4.81 - 4.84'te gösterilmiştir. Belirtilen şekillerde yer alan grafiklerde x eksenleri metre cinsinden konumu belirtmekte olup; Şekil 4.81 ve 4.82'de y eksenini m/sn cinsinden hızı ifade etmekte, Şekil 4.83 ve 4.84'te ise y eksenini Stanton sayısını göstermektedir.



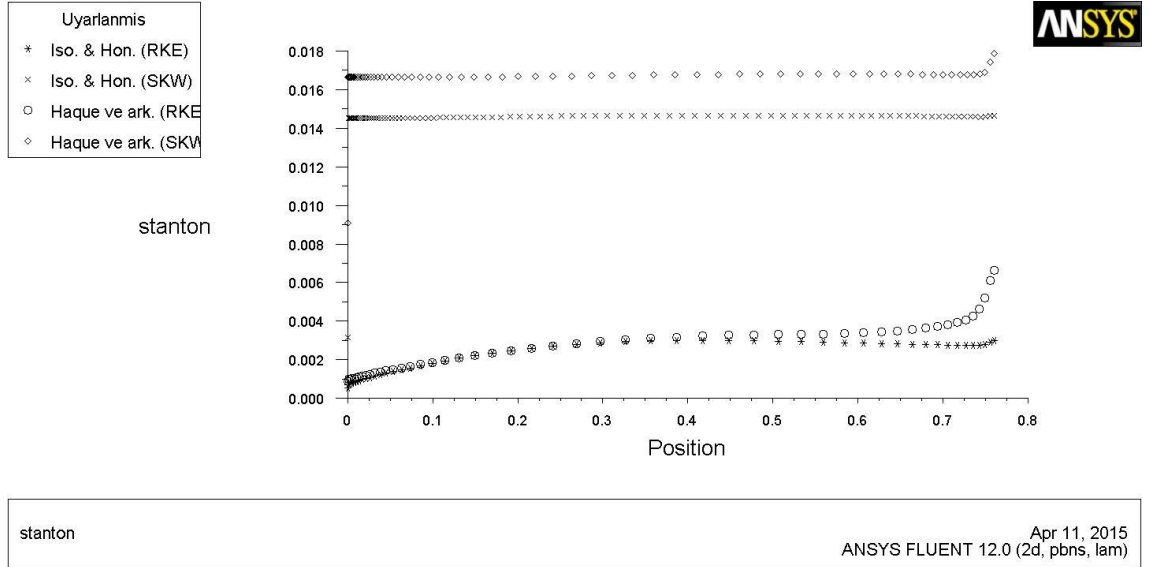
Şekil 4.81. Uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. için karşılaştırmalı yeniden birleşmeler (Standart geri basamak akış geometrisi)



Şekil 4.82. Uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. için karşılaştırmalı yeniden birleşmeler (6 derece açılı)



Şekil 4.83. Uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. karşılaştırmalı Stanton sayıları (standart geri basamak akışı geometrisi)



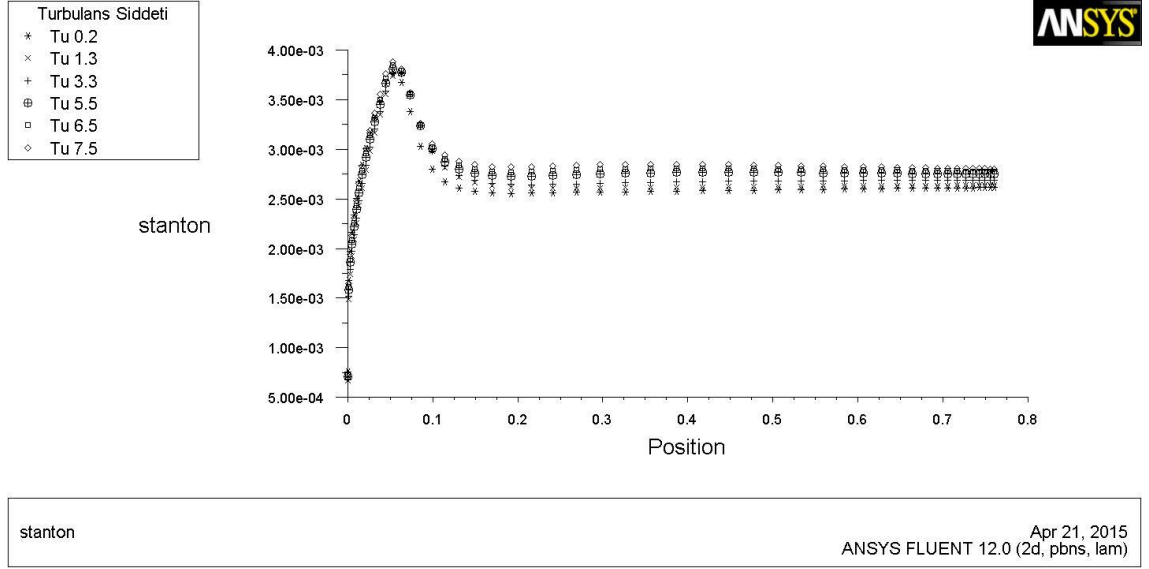
Şekil 4.84. Uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. karşılaştırmalı Stanton sayıları (6 derece açılı)

Standard geri basamak akışı geometrisine ve 6 derecelik açılı ile genişleyen sınıra sahip uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. geometrilerinde kullanılan Standard $k - \omega$ türbülans modelinin kullanılmasın ardından elde edilen yeniden birleşme uzunluklarına ilişkin karşılaştırmalar ise Çizelge 4.13’de belirtilmiştir.

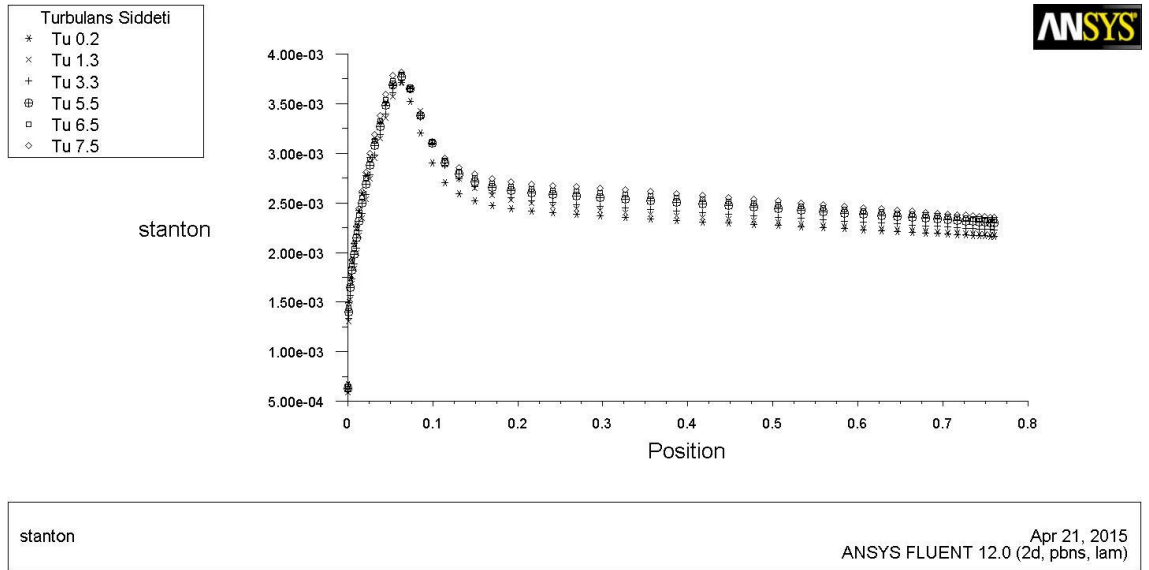
Çizelge 4.13. Uyarlanmış Isomoto ve Honami ile uyarlanmış Haque ve ark. için karşılaştırmalı yeniden birleşmeler

	Bu Çalışmada			
	Realizable k - ϵ		Standard k - ω	
	Xr	Xr / h	Xr	Xr / h
Uyarlanmış Isomoto ve Honami (0 derece)	341 mm	5,98	414	7,26
Uyarlanmış Haque ve ark. (0 derece)	480 mm	6,31	672	8,61
Uyarlanmış Isomoto ve Honami (6 derece)	-	-	-	-
Uyarlanmış Haque ve ark. (6 derece)	-	-	-	-

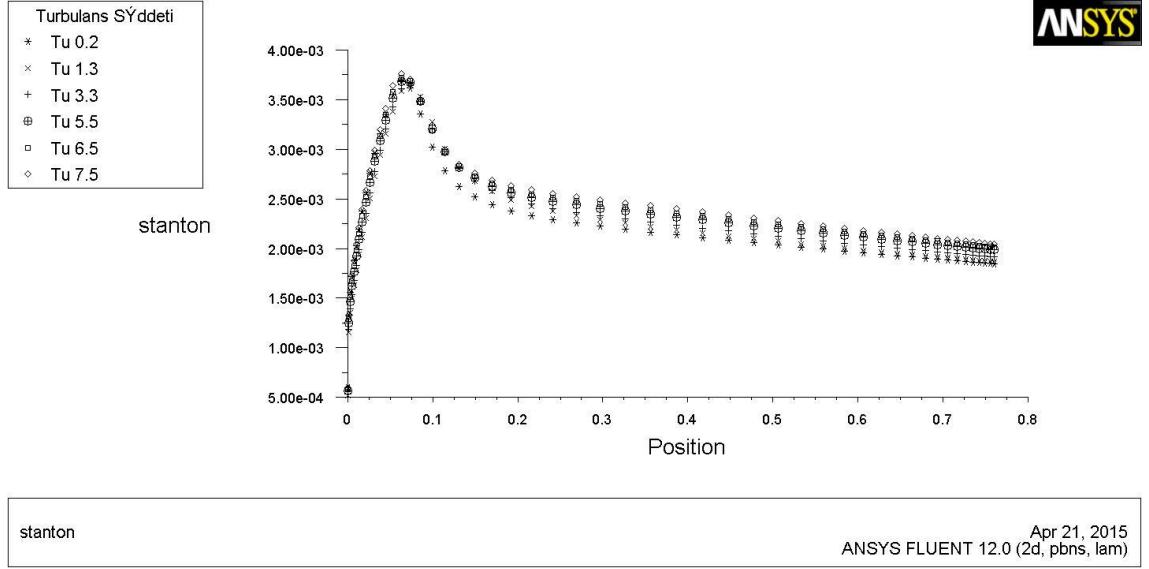
Uyarlanmış geometriler üzerinde gerçekleştirilen bir diğer çalışma ise basınç gradyeni değişimi ile türbülans şiddetleri değişiminin bir arada incelendiği çalışma olmuştur. Bu doğrultuda uyarlanmış geometriler olarak tanımlanan modellerin, standart geri basamak geometrisi ile 3 ve 6°'lik sınır değişiklikleri uygulanmış halleri için, daha önceki çalışmalarda da kullanılan türbülans şiddetleri uygulanarak ısı transferi karakteristiklerini incelemeye yönelik analizler yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu analizler kapsamında bu tez çalışmasının amaçlarından biri olan dış türbülansın farklı basınç gradyenleri altında ısı transferi üzerine etkileri hakkında elde edilen grafikler Şekil 4.85 – Şekil 4.96' te gösterilmiştir. Belirtilen şekillerde yer alan grafiklerde x eksenini metre cinsinden uzunluğu belirtmekte olup, y eksenini ise Stanton sayısıdır.



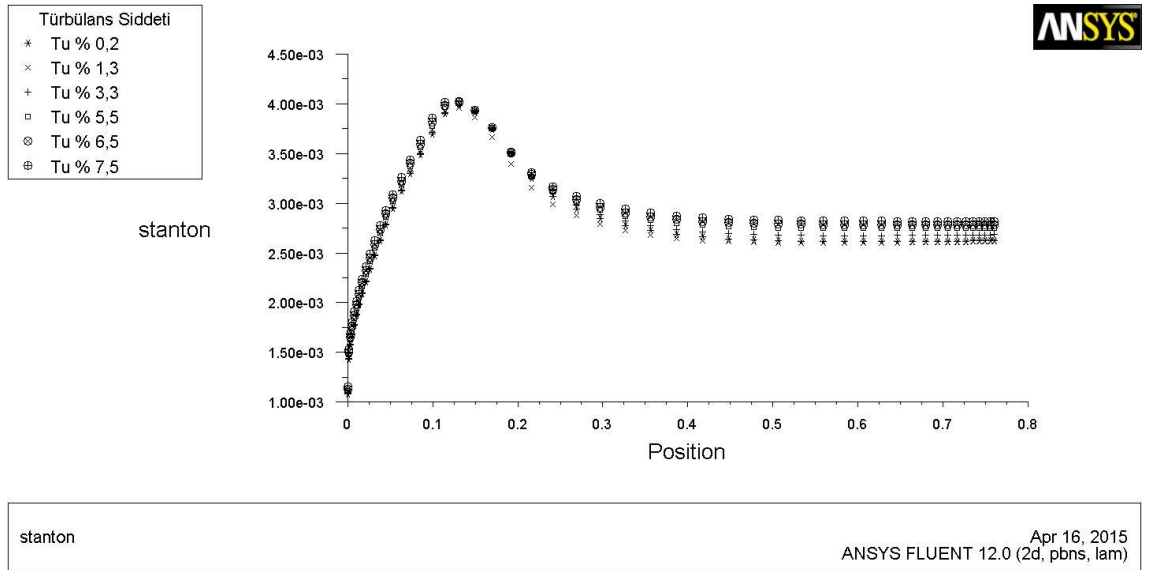
Şekil 4.85. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (standart geri basamak akışı)



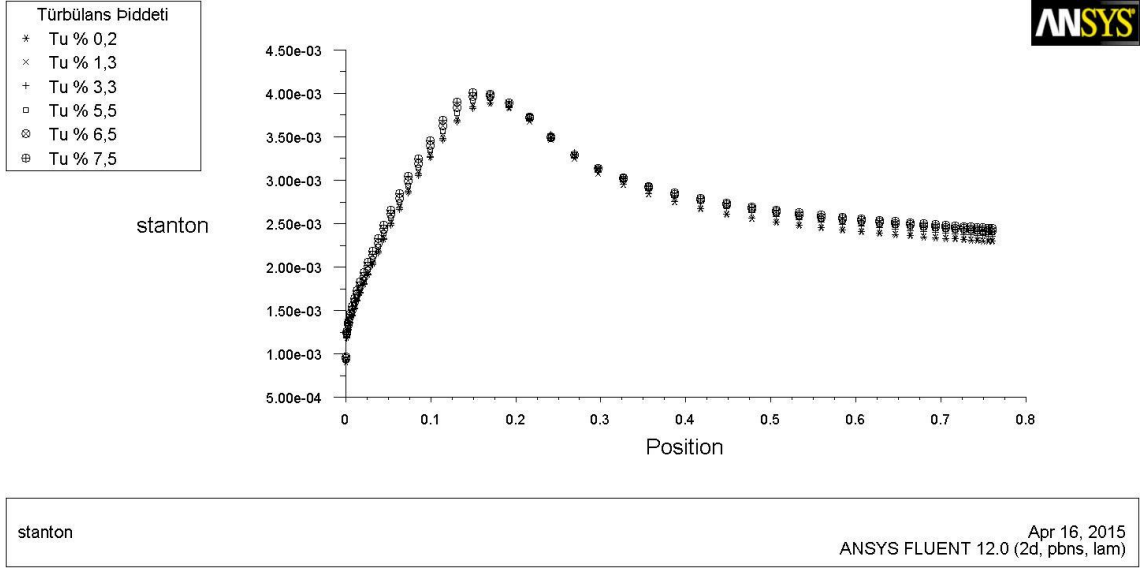
Şekil 4.86. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (3 derece açılı)



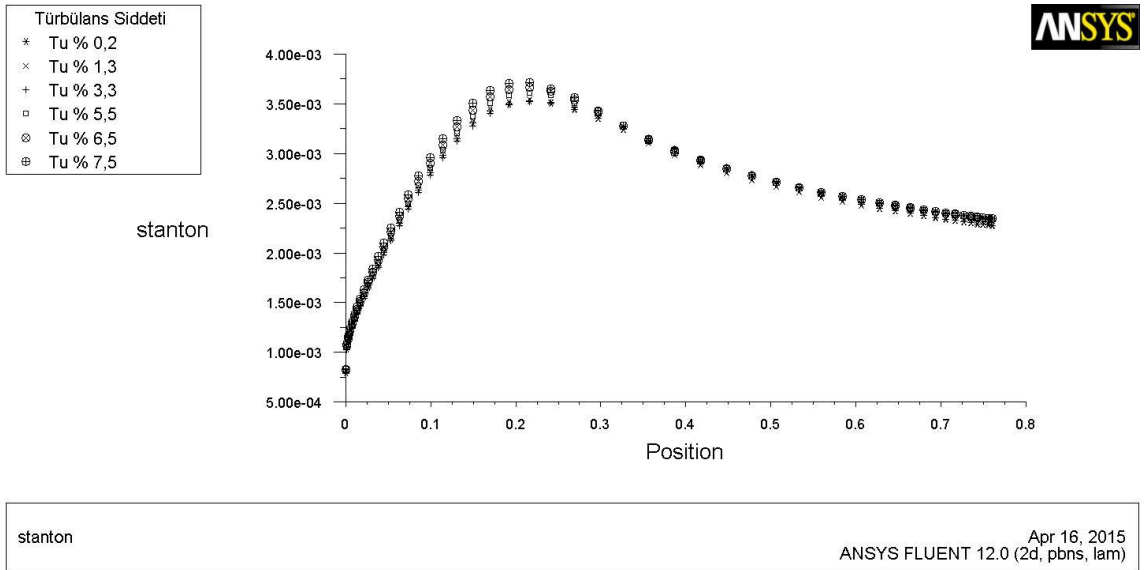
Şekil 4.87. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (6 derece açılı)



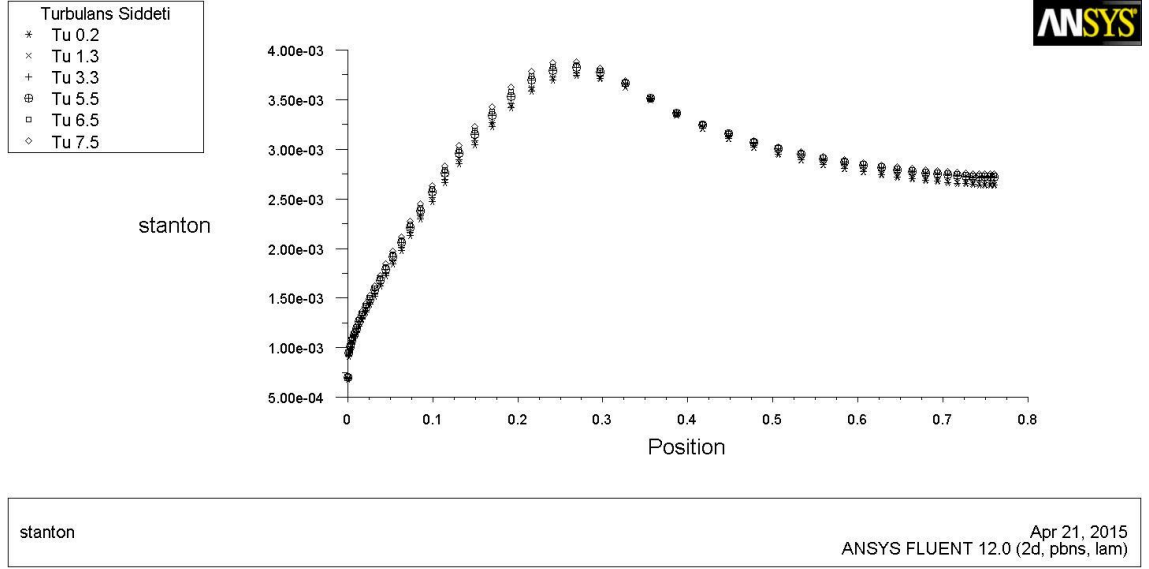
Şekil 4.88. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (standart geri basamak akışı)



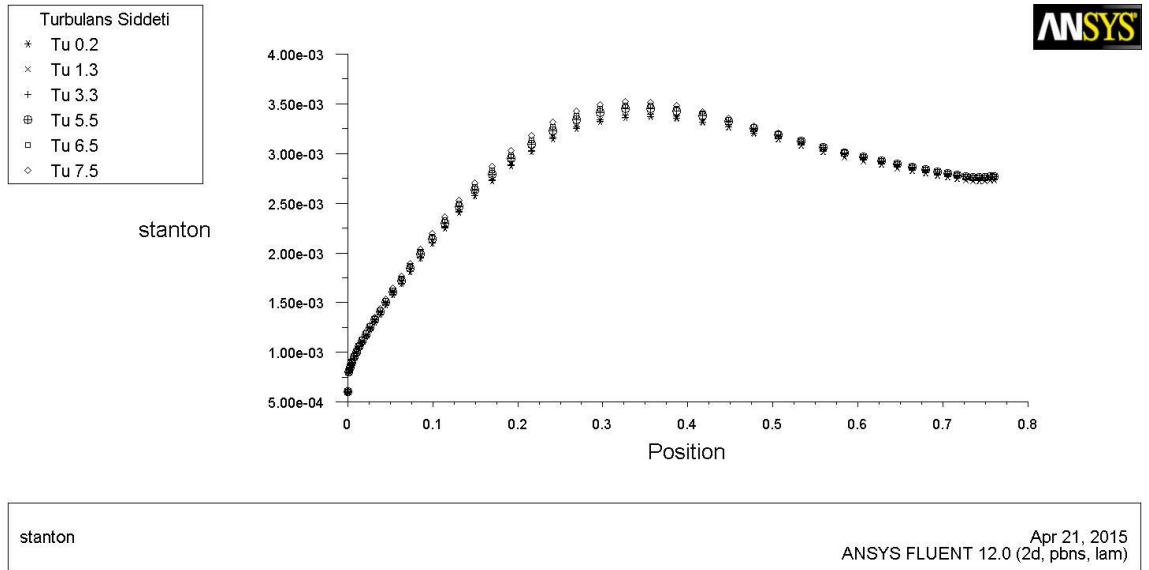
Şekil 4.89. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (3 derece açılı)



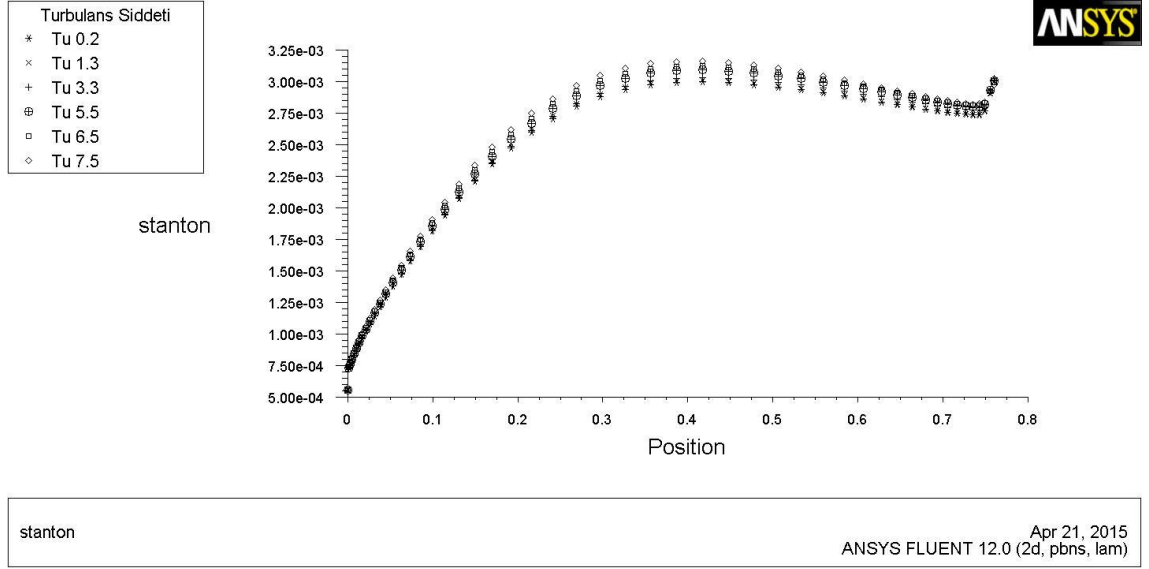
Şekil 4.90. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (6 derece açılı)



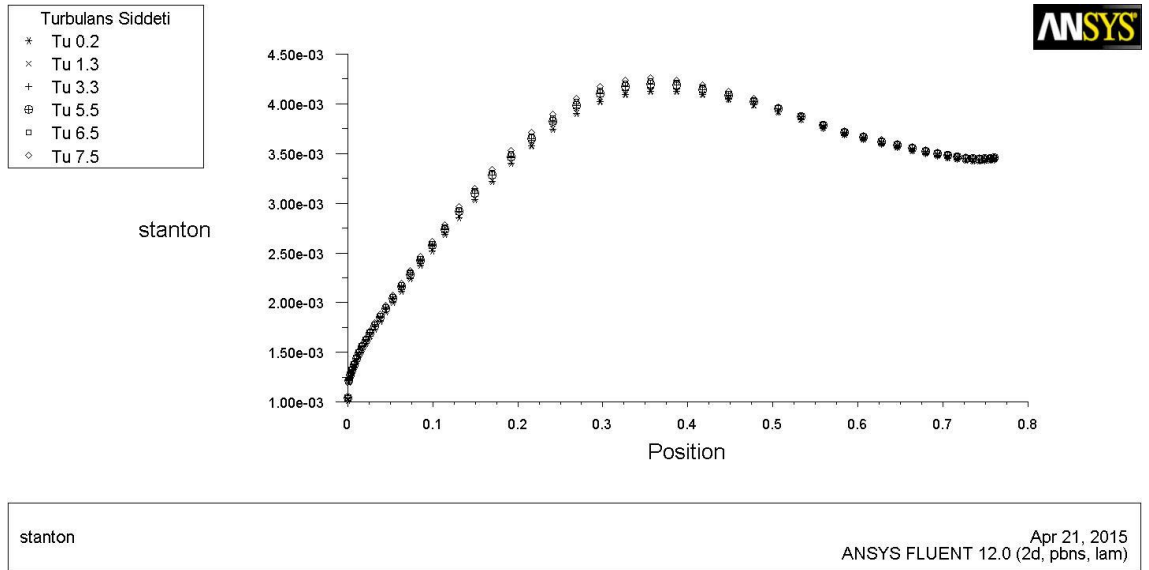
Şekil 4.91. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (standart geri basamak akışı)



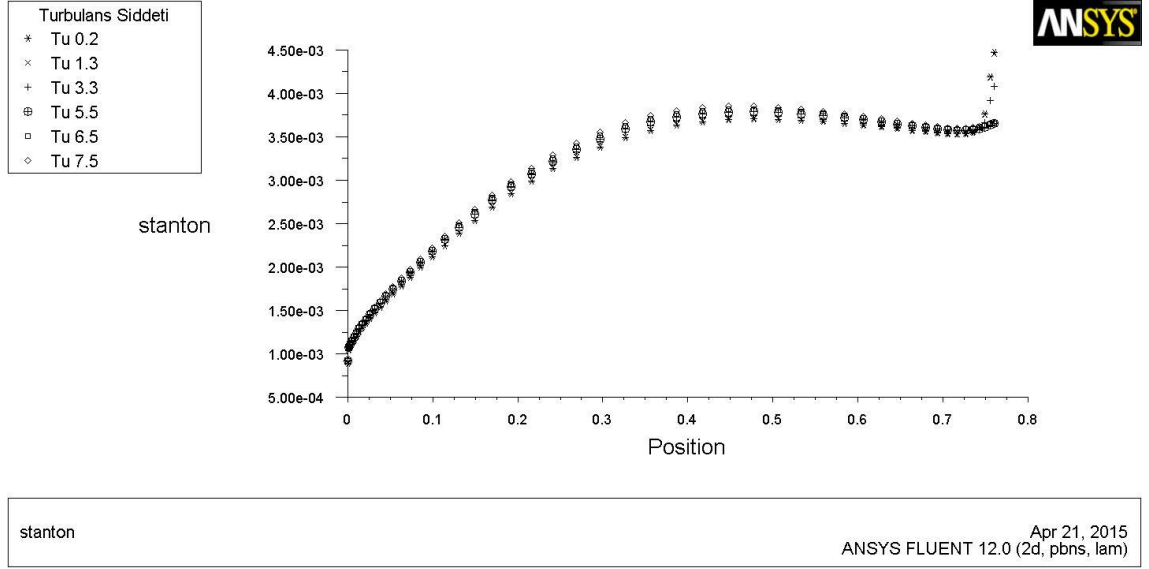
Şekil 4.92. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (3 derece açılı)



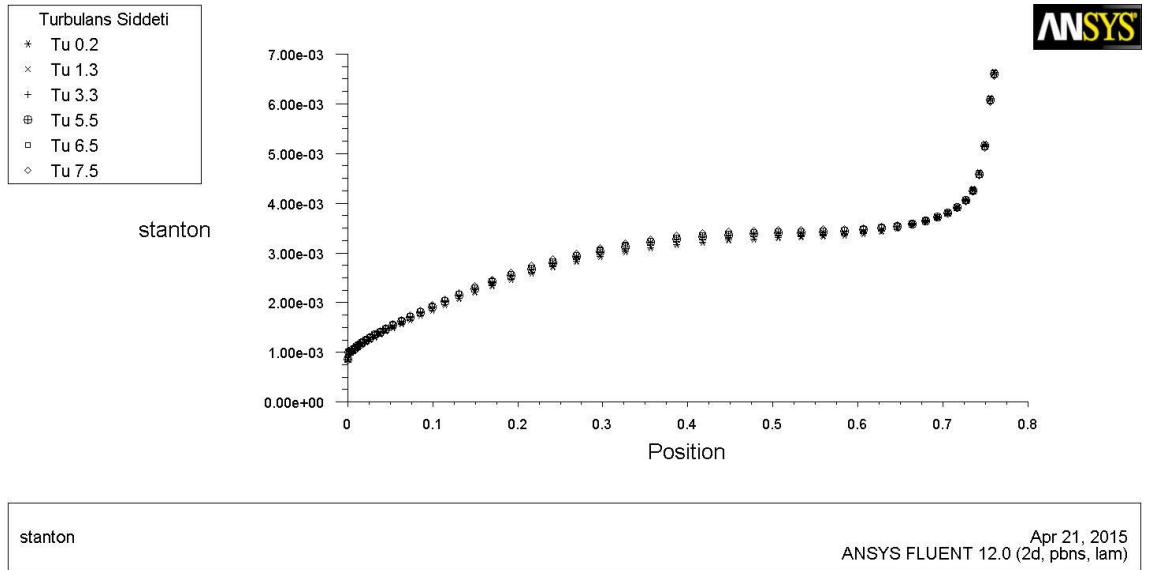
Şekil 4.93. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (6 derece açılı)



Şekil 4.94. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (standart geri basamak akışı)



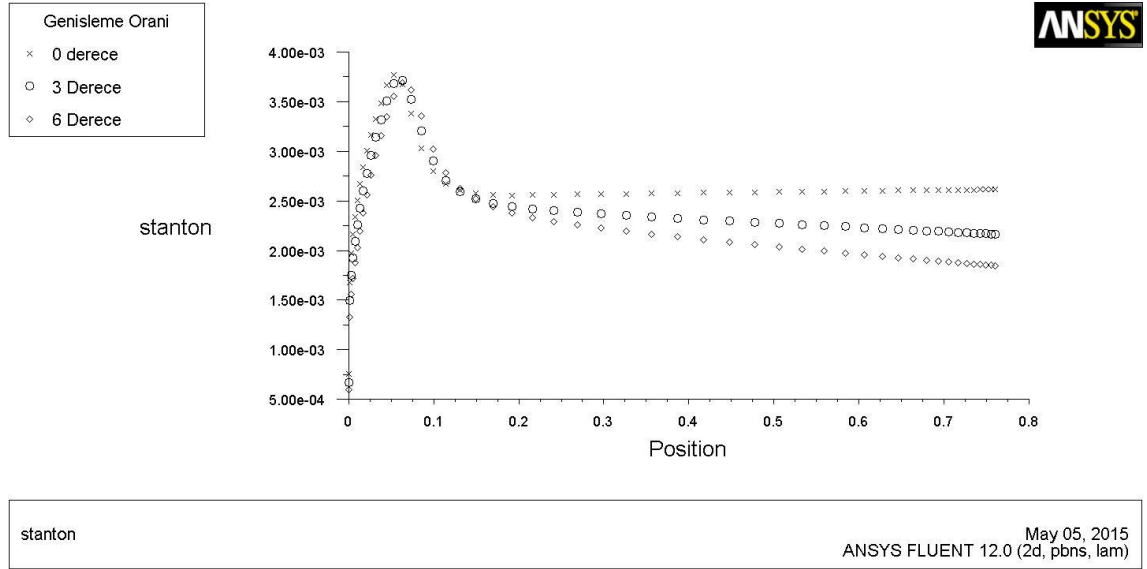
Şekil 4.95. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (3 derece açılı)



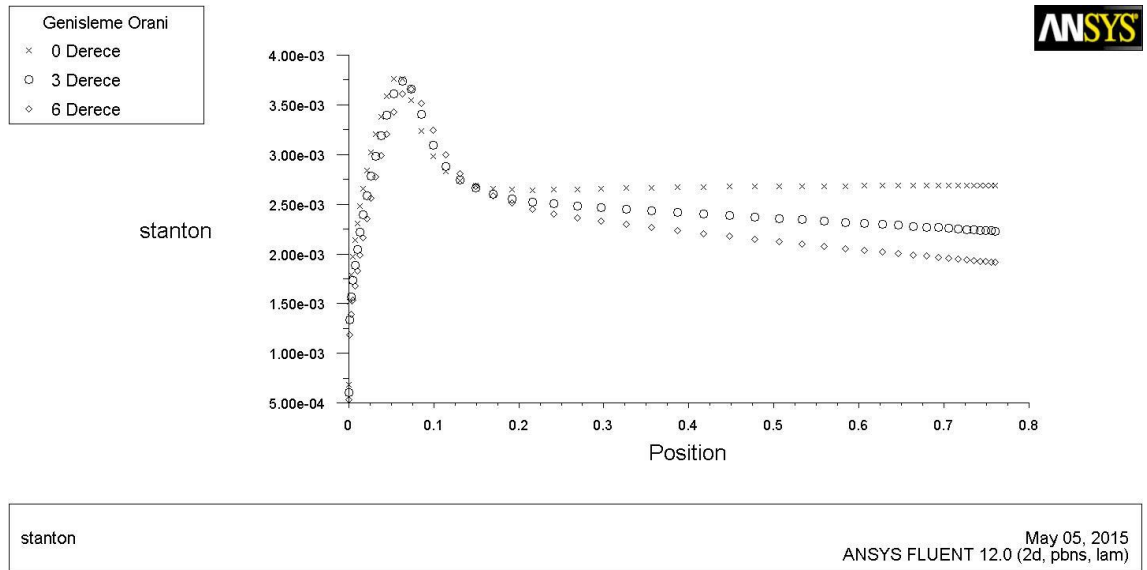
Şekil 4.96. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için farklı türbülans şiddetlerinde Stanton sayısı (6 derece açılı)

Uyarlanmış geometriler üzerinde gerçekleştirilen başka bir çalışma ise belirli bir türbülans şiddeti ve genişleme oranı altında, basınç gradyeninin değişimini gerçekleştiren açılal sınır değışikliklerinin ısı transferine etkisinin incelendiği çalışmadır. Uyarlanmış geometriler olarak tanımlanan modellerde, sırasıyla %0,2, 3,3

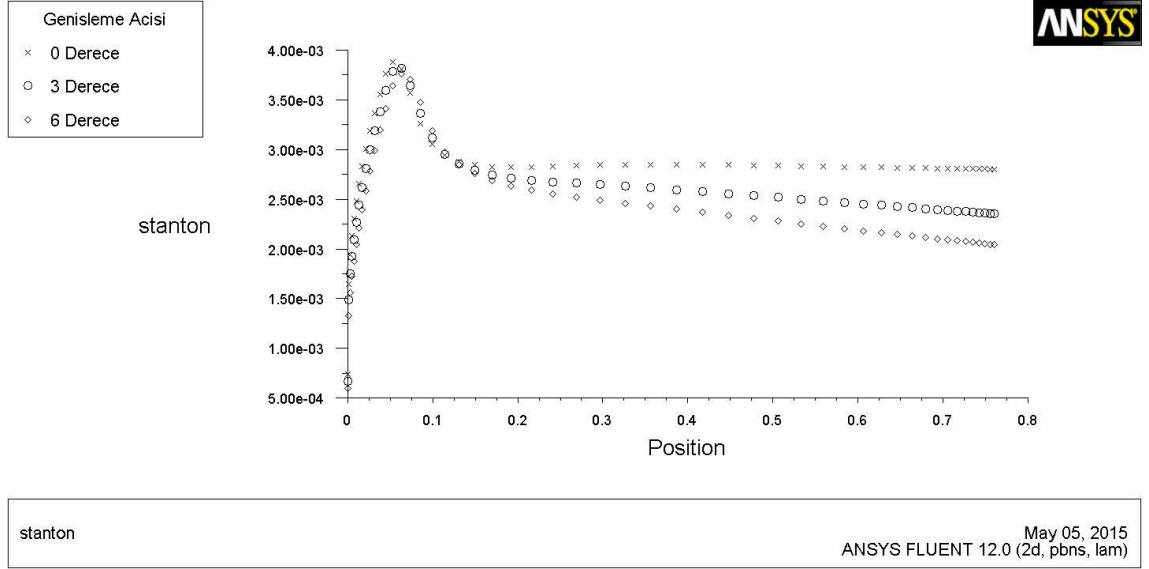
ve 7,5'lik türbülans şiddetlerinde 1,11, 1,25, 1,43 ve 1,67'lik genişleme oranları baz alınmıştır. Elde edilen grafikler Şekil 4.97 – Şekil 4.108' de gösterilmiştir. Belirtilen şekillerde yer alan grafiklerde x eksenini metre cinsinden uzunluğu belirtmekte olup, y eksenini ise Stanton sayısıdır.



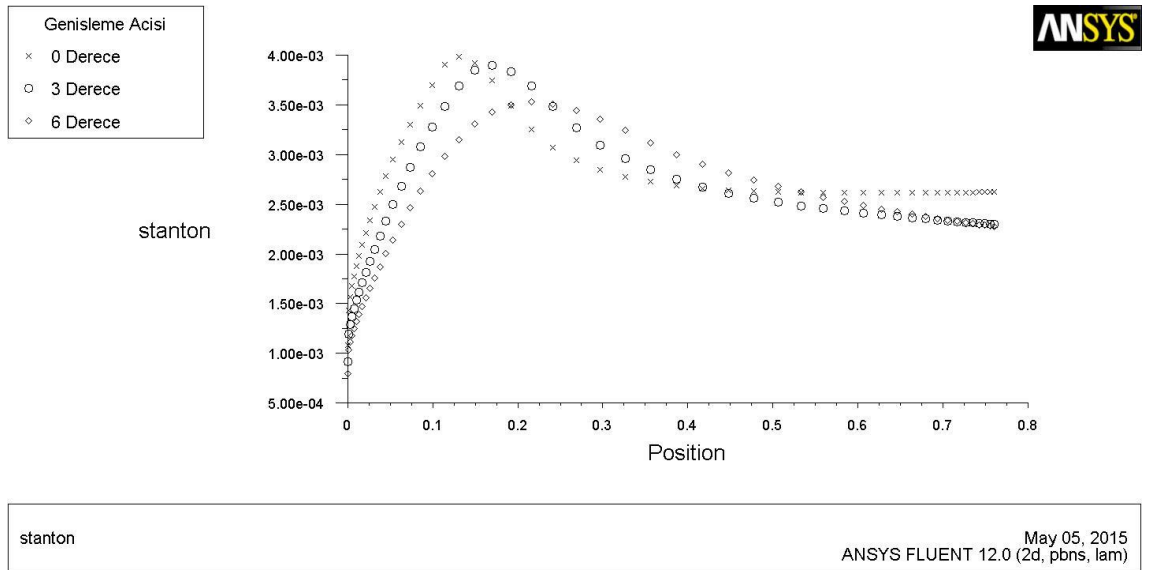
Şekil 4.97. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi için $Tu=0,2$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,11$)



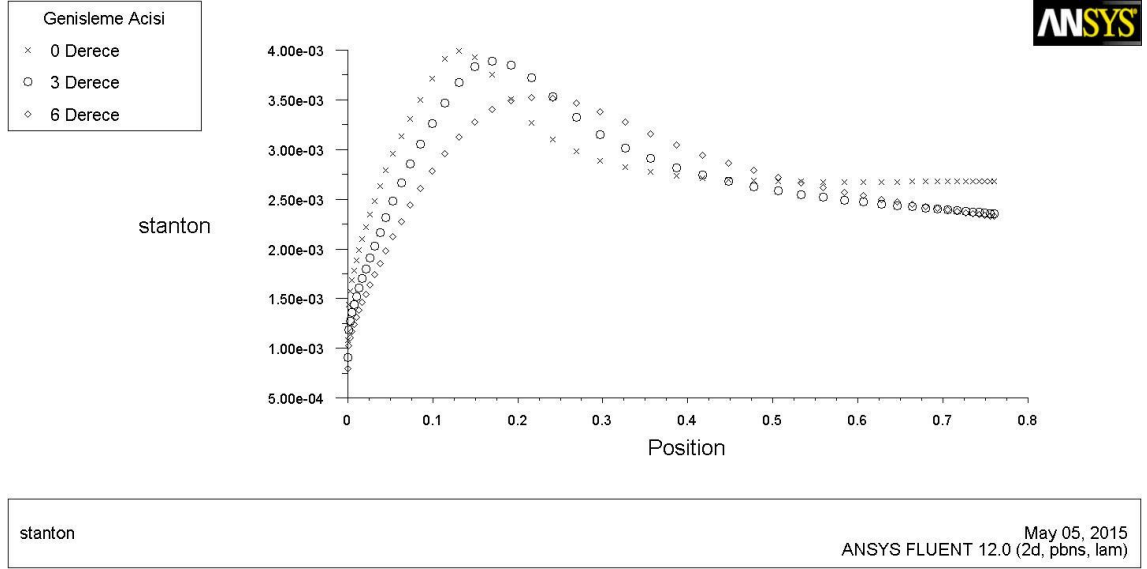
Şekil 4.98. Uyarlanmış Driver ve Seegmiller geometrisi için $Tu=3,3$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,11$)



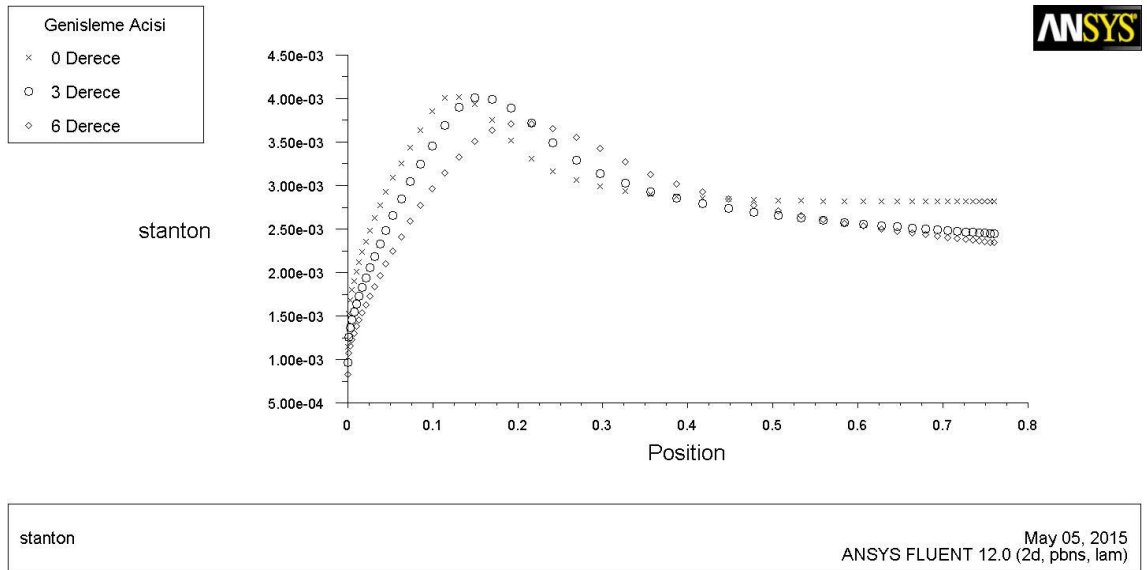
Şekil 4.99. Uyarlanmış Driver ve Seigmiller geometrisi için $Tu=7,5$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,11$)



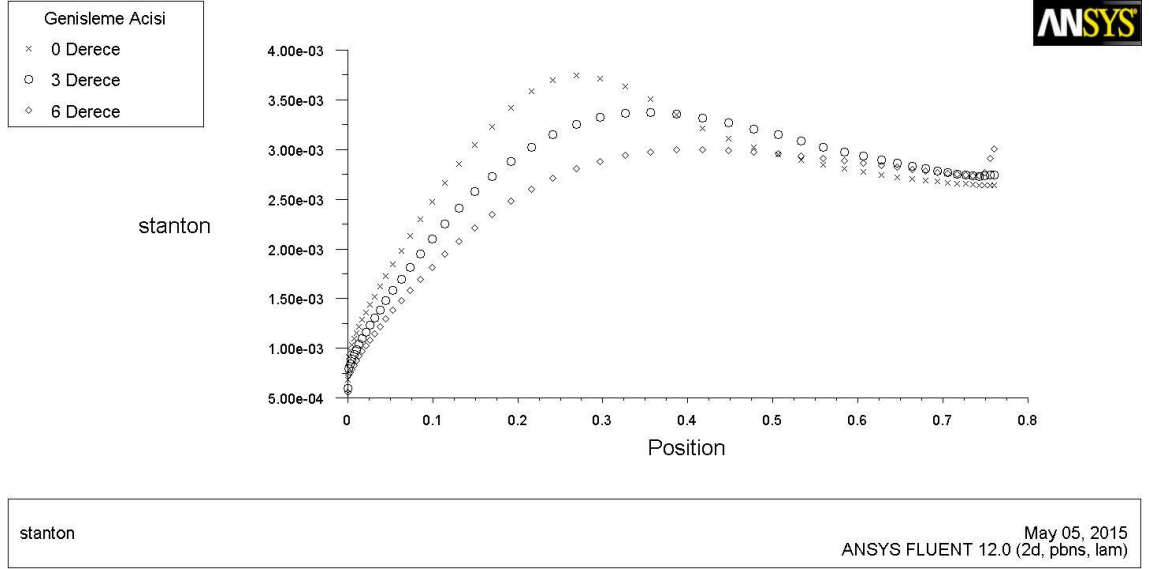
Şekil 4.100. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için $Tu=0,2$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,25$)



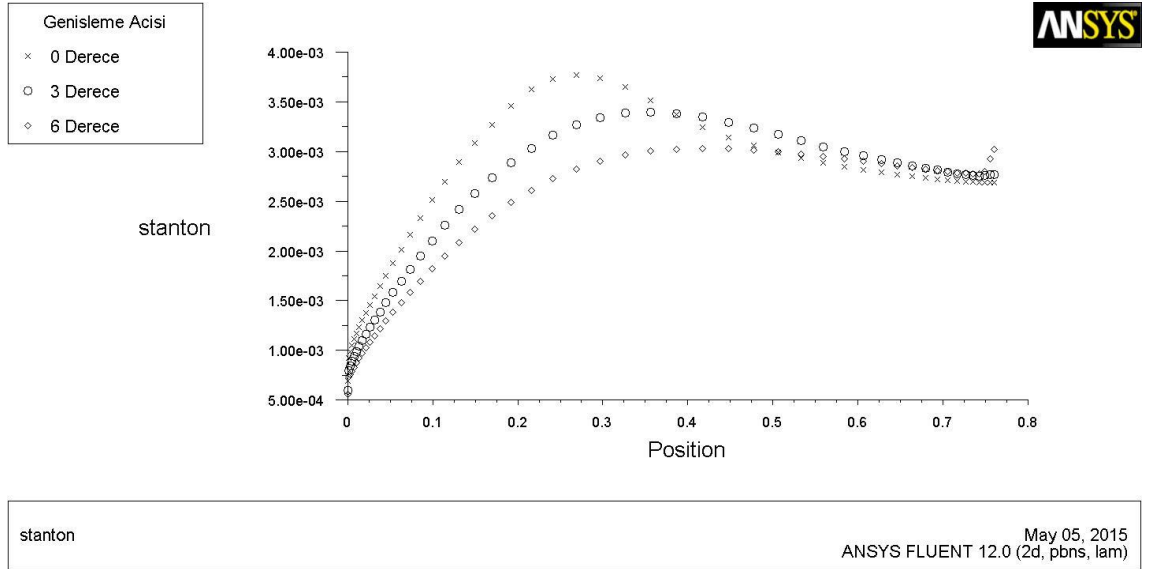
Şekil 4.101. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için $Tu=3,3$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,25$)



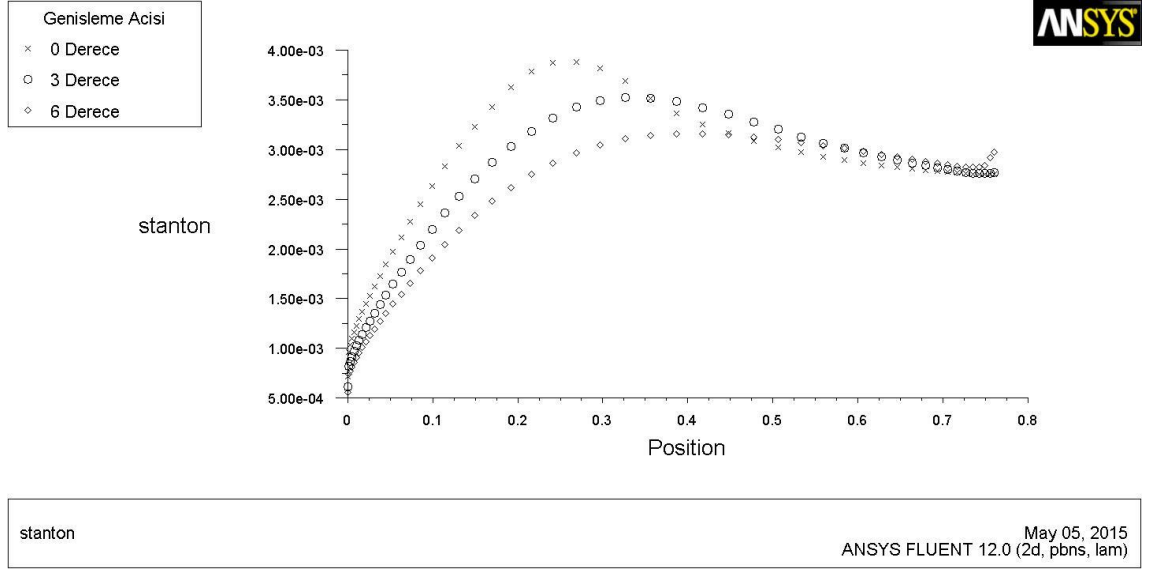
Şekil 4.102. Uyarlanmış Vogel ve Eaton geometrisi için $Tu=7,5$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,25$)



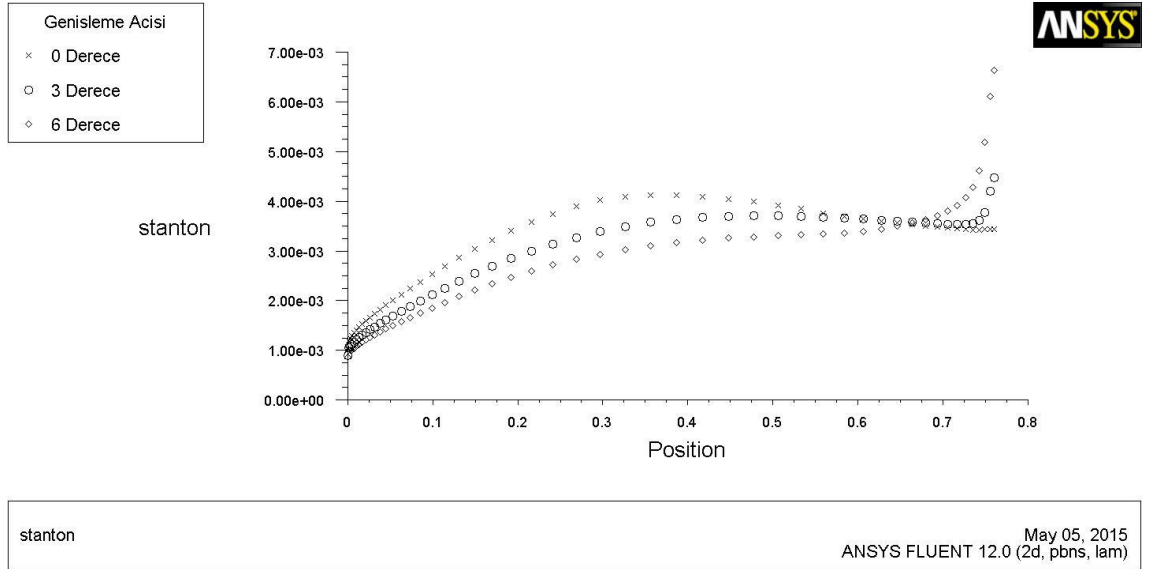
Şekil 4.103. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için $Tu=0,2$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,43$)



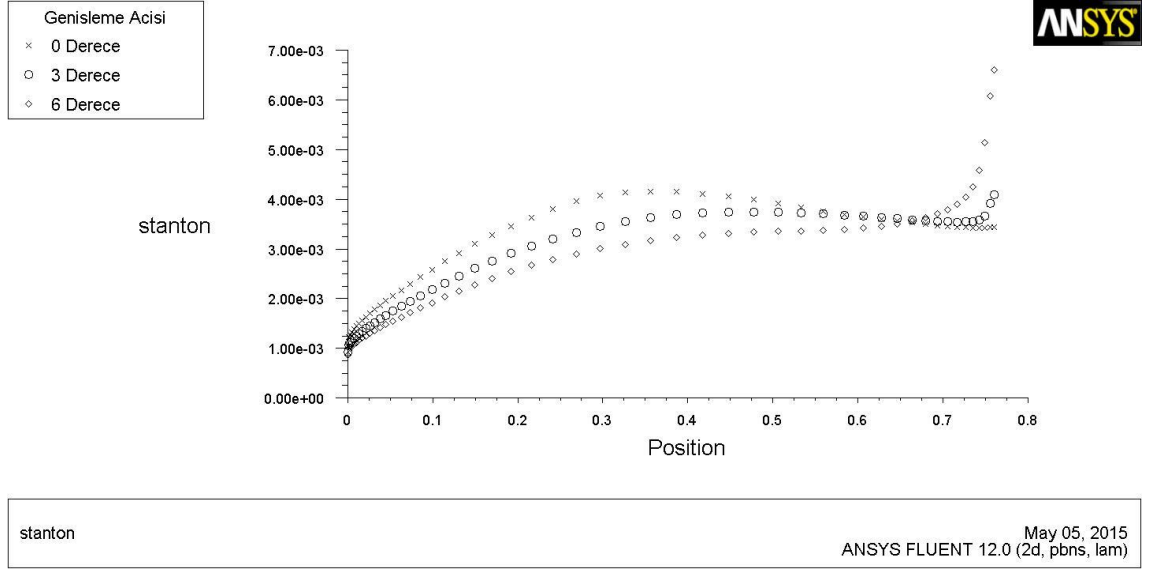
Şekil 4.104. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için $Tu=3,3$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,43$)



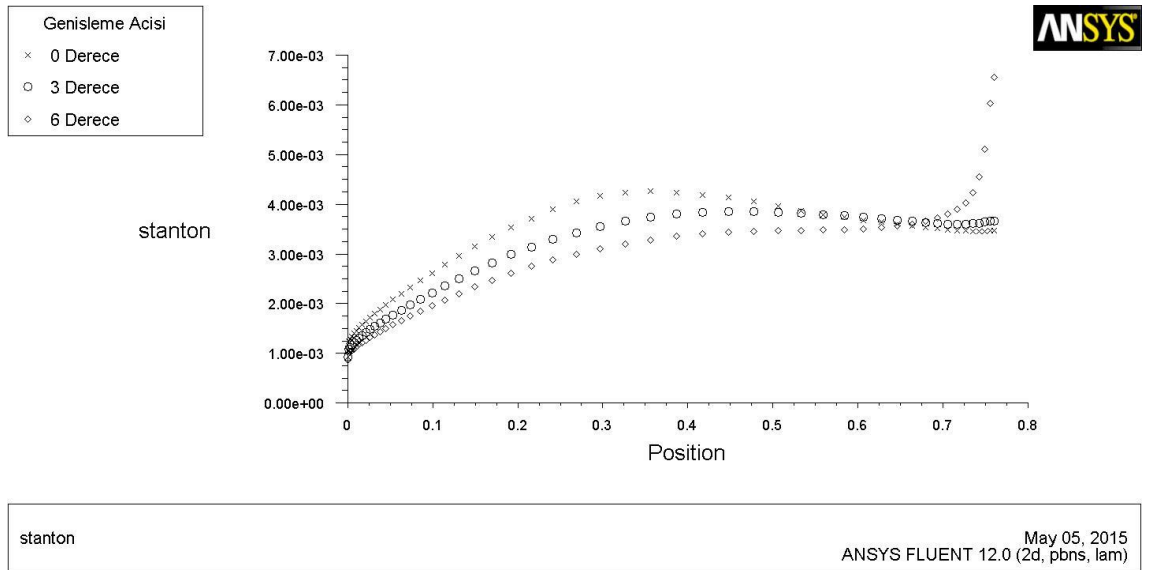
Şekil 4.105. Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi için $Tu=7,5$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,43$)



Şekil 4.106. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için $Tu=0,2$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,67$)



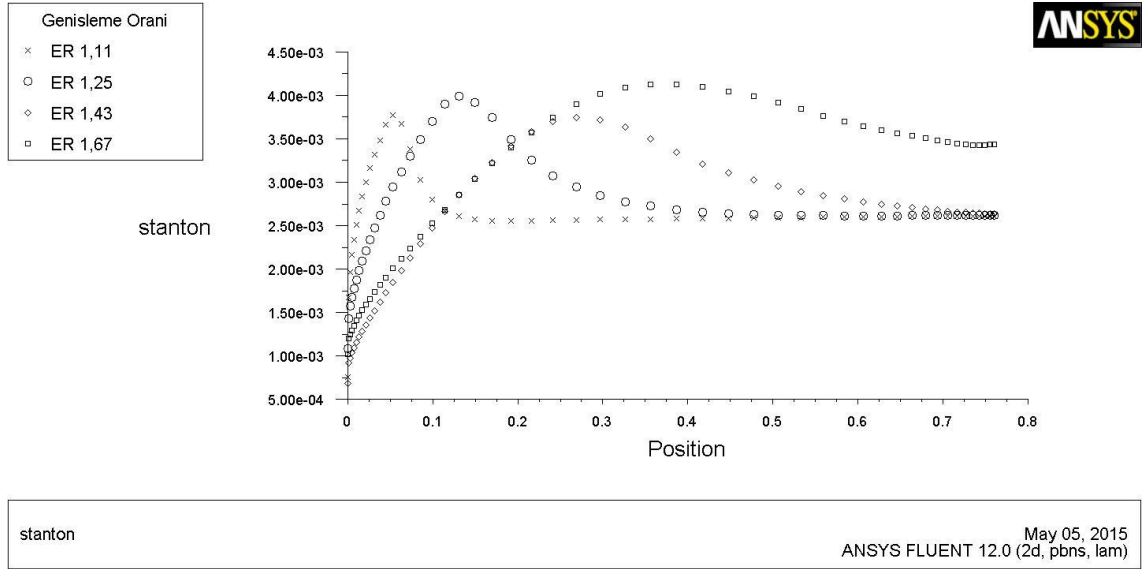
Şekil 4.107. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için $Tu=3,3$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,67$)



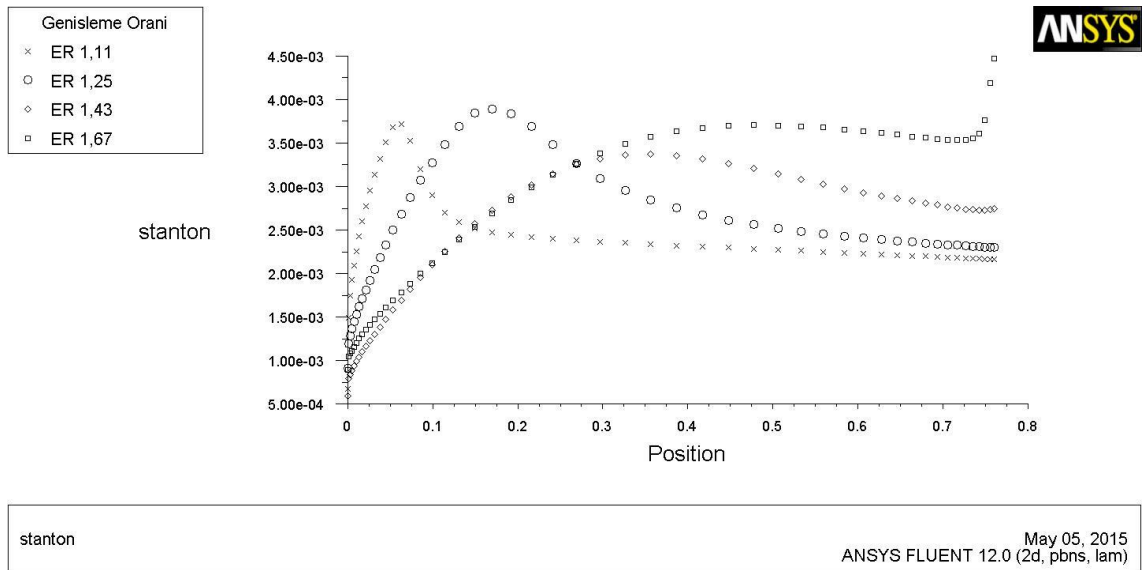
Şekil 4.108. Uyarlanmış Haque ve ark. geometrisi için $Tu=7,5$ için genişleme açısına göre Stanton sayısı ($ER=1,67$)

Uyarlanmış geometriler üzerinde gerçekleştirilen son çalışma ise belirli bir türbülans şiddeti ve basınç gradyeninin değişimini gerçekleştiren açisal sınır değişiklikleri altında, genişleme oranlarının ısı transferine etkisinin incelendiği çalışmadır. Uyarlanmış geometriler olarak tanımlanan modellerde, sırasıyla %0,2, 3,3 ve 7,5'lik türbülans

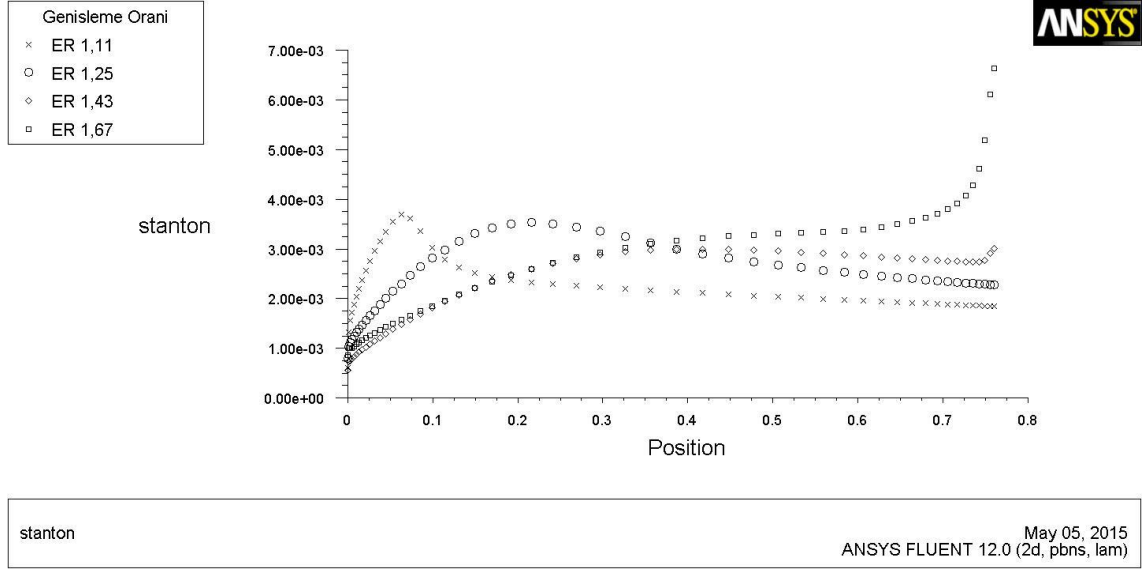
şiddetlerinde açılal sınır değışimi olmaksızın, 3 ve 6° lik açılal değışiklikler baz alınmıştır. Elde edilen grafikler Şekil 4.109 – Şekil 4.117’ de gösterilmiştir. Belirtilen şekillerde yer alan grafiklerde x eksenini metre cinsinden uzunluğu belirtmekte olup, y eksenini ise Stanton sayısıdır.



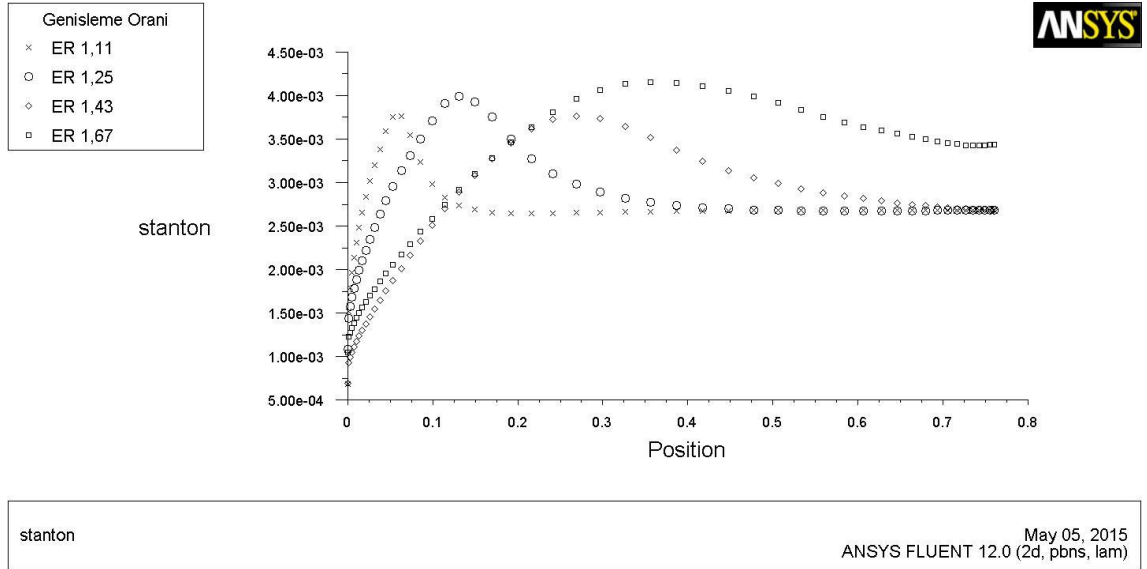
Şekil 4.109. Uyarlanmış geometriler için $Tu=0,2$ ve standart geri basamak geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı



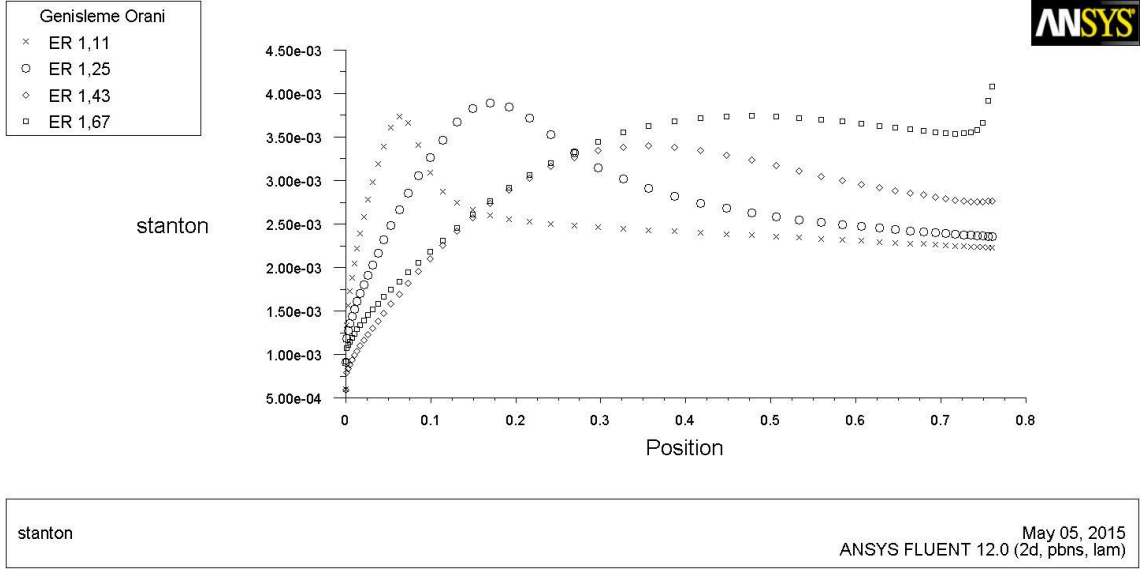
Şekil 4.110. Uyarlanmış geometriler için $Tu=0,2$ ve 3 derece açılı geometri için genişleme oranına göre Stanton sayısı



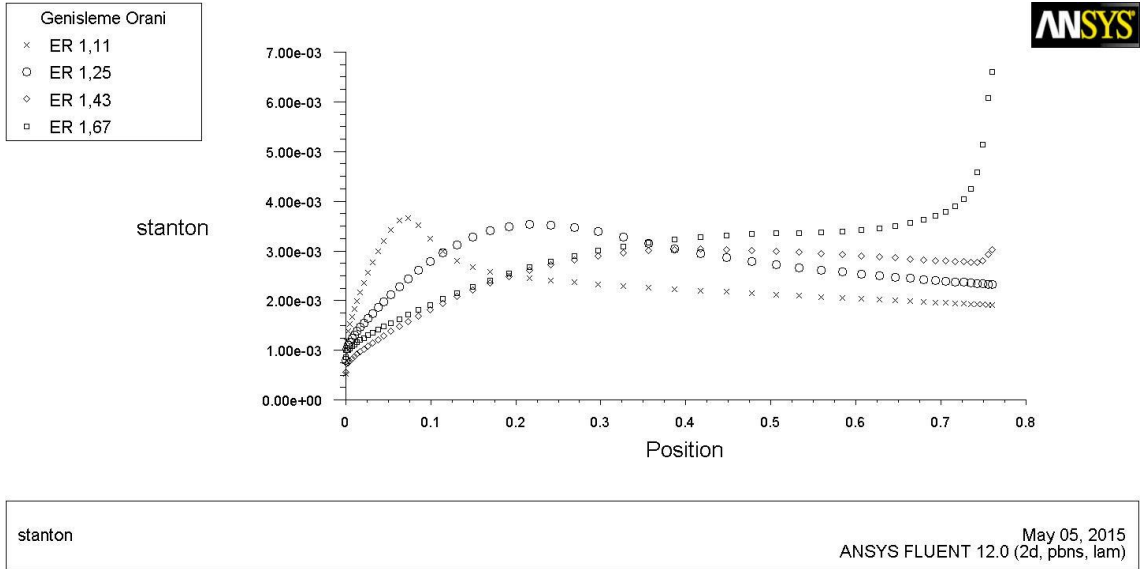
Şekil 4.111. Uyarlanmış geometriler için $Tu=0,2$ ve 6 derece açılı geometri için genişleme oranına göre Stanton sayısı



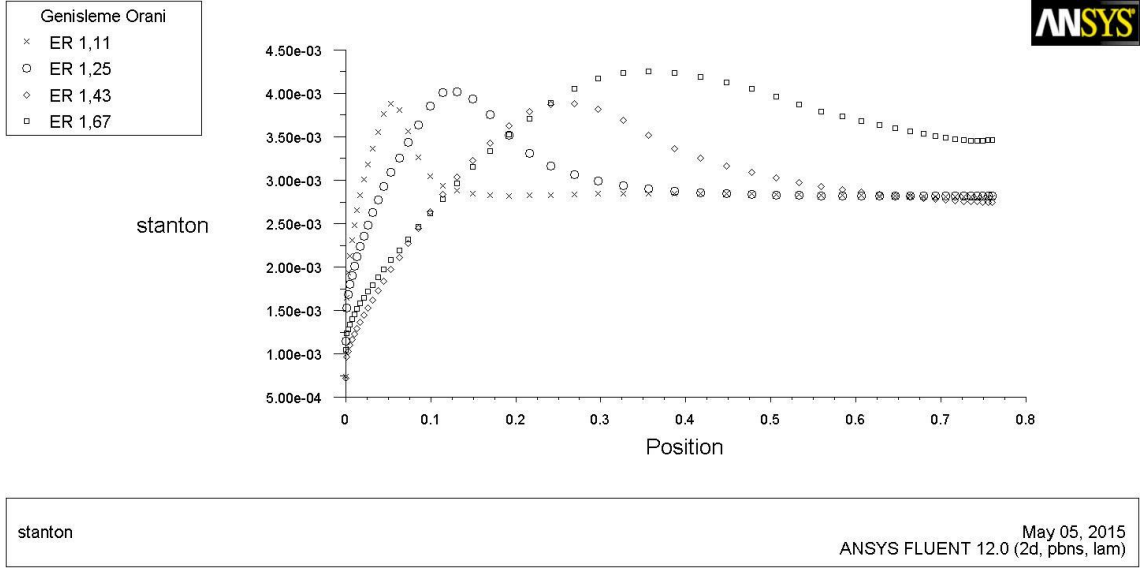
Şekil 4.112. Uyarlanmış geometriler için $Tu=3,3$ ve standart ger basamak geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı



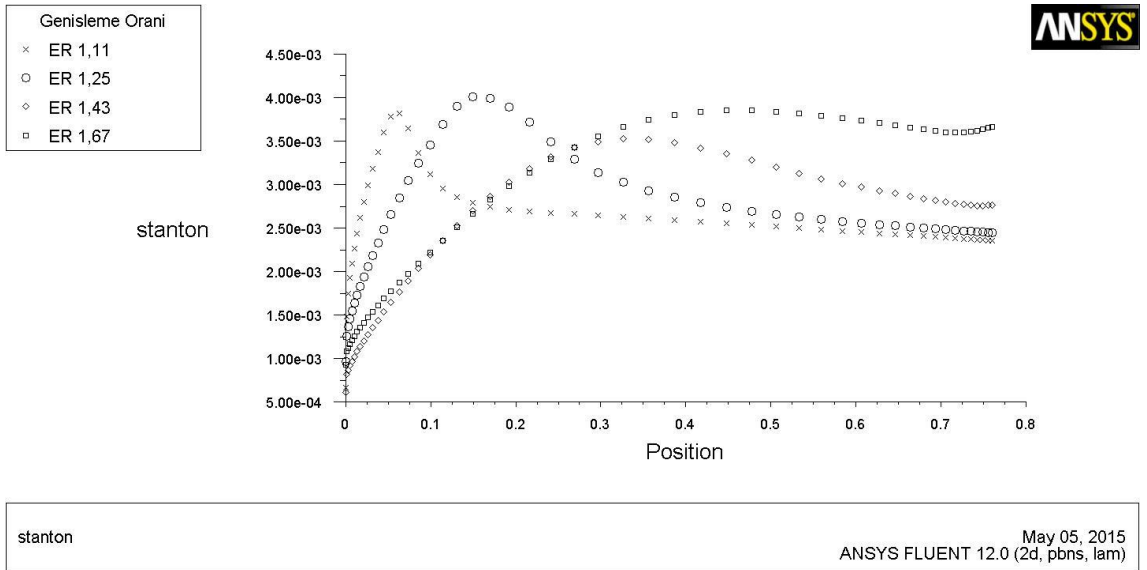
Şekil 4.113. Uyarlanmış geometriler için $Tu=3,3$ ve 3 derece açılı geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı



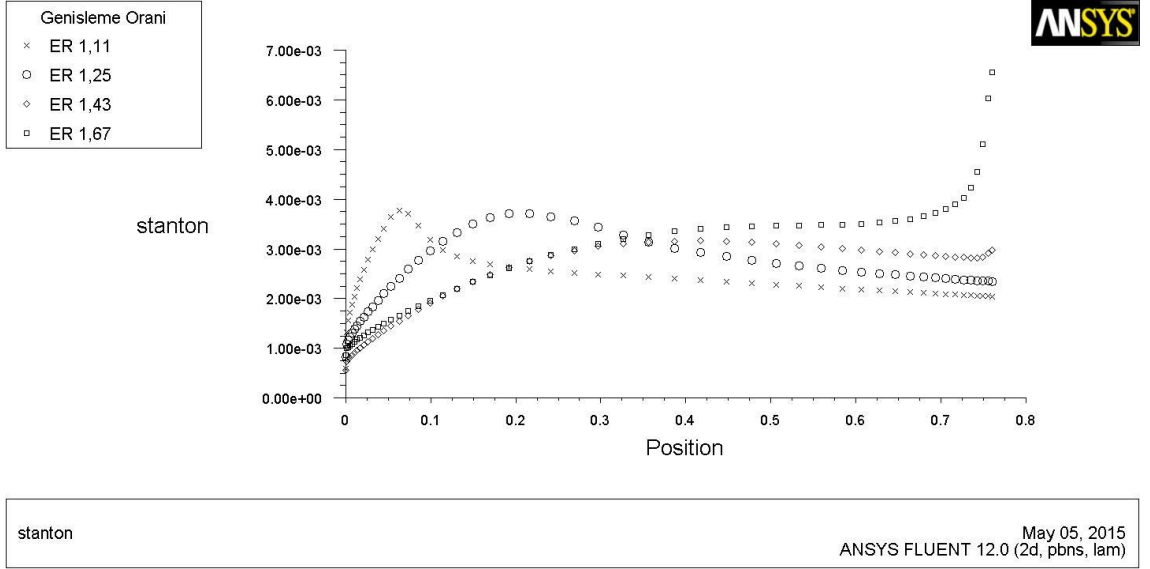
Şekil 4.114. Uyarlanmış geometriler için $Tu=3,3$ ve 6 derece açılı geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı



Şekil 4.115. Uyarlanmış geometriler için $Tu=7,5$ ve standart ger basamak geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı



Şekil 4.116. Uyarlanmış geometriler için $Tu=7,5$ ve 3 derece açılı geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı



Şekil 4.117. Uyarlanmış geometriler için $Tu=7,5$ ve 6 derece açılı geometrisi için genişleme oranına göre Stanton sayısı

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada geri basamak akışlarında dış türbülansın ve basınç gradyeninin ısı transferi üzerine etkilerini incelenmiştir. Öncelikle Vogel ve Eaton (1985) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada gerçekleştirilen doğrulamaların ardından, temel geometri olarak nitelendirilen Vogel ve Eaton (1985) geometrisine, genişleme oranı üzerinden benzerlik kurularak uyarlanan yeni geometrilerde analizler gerçekleştirilmiştir. Temel fark olarak ise deneysel çalışmada gerçekleştirilmeyen açıl sınırların değişimi ile birlikte ısı transferi uygulamasının analizlerde yer almasıdır.

$k - \epsilon$ tabanlı türbülans modelleri kullanılarak gerçekleştirilen doğrulama çalışmaları neticesinde, deneysel çalışmadaki ısı transferinin yakalanması için en doğru yaklaşımın SIMPLE-C algoritması tarafından sağlandığı görülmüştür. Bu algorithmada yer alan çözüm metodları arasındaki birinci dereceden yaklaşımların ise yine tahmin oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır. Kullanılan türbülans modelleri arasından en doğru yaklaşım ise Realizable $k - \epsilon$ türbülans modeli kullanıldığı zaman elde edilmiştir. Analiz çalışmalarında ısı transferinin en doğru tahmininin ise dengesiz duvar fonksiyonu kullanıldığı zaman gerçekleştiği görülmüştür. Gerçekleştirilen doğrulama çalışmaları arasında yer alan bir diğer husus olan akış karakteristiklerinin belirlenmesinde ise yeniden birleşme uzunluğunu tahmininde SIMPLE algoritması ile elde edilen sonuçların, aynı türbülans modeli için SIMPLE - C algoritmasına göre daha yakın olduğu; fakat ısı transferinin tahmini konusunda aynı algoritmanın SIMPLE - C algoritmasına göre daha az hassas olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki yöntem arasındaki akış karakteristikleri tahminleri arasında çok fazla fark bulunmamasından dolayı, SIMPLE-C algoritmasında birinci dereceden yaklaşımında Realizable $k - \epsilon$ türbülans modeli dengesiz duvar fonksiyonu ile elde edilen sonuçlar, bu çalışmada kullanılacak optimum modelde karar kılınmasını sağlamıştır.

Temel geometri üzerinden yapılan doğrulama çalışmaları ile birlikte Realizable $k - \epsilon$ türbülans modelinin kullanılmasına karar verildikten sonra, diğer $k - \epsilon$ tabanlı türbülans modelleri için, akış karakteristikleri ve ısı transferinin yaklaşımlarına bakılarak en doğru tahminini veren modeller için katsayı modifikasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda SIMPLE algoritmasında standart $k - \epsilon$ türbülans modeli dengesiz duvar fonksiyonu katsayılarının artırıldığında hem akış karakteristiklerinin hem de ısı transferinin tahmininde daha doğru yaklaşım sergilendiği görülmüştür. Fakat bu yaklaşım katsayıların artırılması ile doğru orantılı olmadığını görülmüştür. Aynı mantıkla SIMPLE algoritması RNG $k - \epsilon$ modeli dengesiz duvar fonksiyonu katsayılarının artırıldığında ise hem akış karakteristiklerinin hem de ısı transferinin tahmininde daha doğru yaklaşım sergilendiği görülmüştür.

Driver ve Seegmiller (1985) tarafından yapılan deneysel sonuçlara ulaşmak için, temel geometride gerçekleştirilen analizler sonucunda kullanılmasına karar verilen türbülans modelinin verdiği sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğu görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda ulaşılan veriler ile deneysel veriler arasındaki farkın az olması, uygulanan modeli doğruladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Doğrulama çalışmalarında kullanılan Vogel ve Eaton (1985) ve Driver ve Seegmiller (1985) geometrileri için aynı yöntemle oluşturulan ağ örgülerinin, diğer deneysel çalışmalarda da aynı şekilde oluşturulması sonucunda, geometrileri boyutlarından kaynaklı olarak y^+ değerlerinin güvenilir aralıkta çıkmamıştır. Bu sebepten dolayı daha doğru sonuçlara ulaşabilmek adına $k - \omega$ tabanlı türbülans modelleri de kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonrasında ise Isomoto ve Honami (1989) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmadaki sonuçlara; düşük türbülans şiddetlerinde standart $k - \omega$ modelinde daha yakın tahminlere ulaşılırken; yüksek türbülans şiddetlerinde ise SST $k - \omega$ türbülans modelinin daha doğru yaklaşımlarda bulunduğu görülmüştür. Aynı şekilde Haque ve ark. (2007) tarafından yapılan deneysel sonuçlara ulaşmada da kullanılan SST $k - \omega$ türbülans modelinin, $k - \omega$ tabanlı türbülans modelleri arasında daha yaklaşık sonuç vermesine karşın en doğru yaklaşımın Realizable $k - \epsilon$ türbülans

modeli tarafından karşılandığı verisine ulaşılmıştır. y^+ değerinin $k - \varepsilon$ tabanlı modeller için beklenen aralıkta olmamasına rağmen daha yaklaşık sonuçlar alınması ise basamak yüksekliğinin diğer modellere göre çok az olması ve buna bağlı y^+ değerinin için yeterli yüksekliğin olmamasıdır.

Deneysel çalışmalarda gerçekleştirilen doğrulamaların ardından ise genişleme oranı benzerliği kurularak yapılan uyarlamalar sonrasında, standart geri basamak geometrisi için; genişleme oranının artmasına bağlı olarak yeniden birleşme uzunluğunun arttığı görülmüştür. Aynı şekilde genişleme oranının artmasına bağlı olarak ısı transferini gelişme bölgesinin ve ısı transferinin arttığı söylenebilmektedir.

Uyarlanmış geometrilerde 6° lik sınır değişikliği gerçekleştirilerek basınç gradyeni üzerinde yapılan değişiklikler sonucunda ise genişleme oranı 1,25' ten büyük olan geometrilerde yeniden birleşmenin gerçekleşmediği görülmüştür. Geometrideki gerek basamak yüksekliğinin büyük gerekse basamak sonrası kanal uzunluğunun göreceli olarak kısa kalması genişleme oranı 1,25'ten büyük olan geometriler için yeniden birleşmenin gerçekleşmemesine yönelik bir açıklama olarak getirilmiştir. Aynı şekilde genişleme oranı 1,25'ten düşük olan geometriler için ısı transferi ile ilgili olarak, genişleme oranı arttıkça maksimum ısı transferinin azaldığı fakat ısı transferi gelişim bölgesinin arttığı; genişleme oranı 1,25'ten büyük olan geometriler için ise çıkış bölgesinden ısı transferinin arttığı görülmüştür. Bu artışın sebebi olarak ise genişleme oranının yaklaşık 1,5 ve üzerinde olması ile yeniden birleşmenin olmamasından kaynaklı olarak enerji kayıplarının az olması gösterilmektedir.

Uyarlanmış Isomoto ve Honami geometrisi ile uyarlanmış Haque ve ark. geometrilerinde ise $k - \varepsilon$ ve $k - \omega$ tabanlı türbülans modelleri kullanılarak standart geri basamak geometrisi ile 6° lik sınır değişikliği uygulanmış hallerdeki geometriler üzerinde yapılan analizler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, standart geri basamak geometrisi için $k - \varepsilon$ tabanlı türbülans modelinin $k - \omega$ tabanlı türbülans

modeline göre daha düşük bir yeniden birleşme verdiği görülmüştür. Isı transferi yaklaşımı olarak ise $k - \omega$ tabanlı modelin her iki geometri için daha yüksek bir ısı transferi sunduğu fakat sunulan bu değer basamak sonrası kanal uzunluğu boyunca neredeyse sabit kaldığı görülmüştür. Uygulanan bir diğer model olan $k - \epsilon$ tabanlı modelde ise genişleme oranı daha yüksek olan geometride ısı transferi diğer geometriye göre nispeten daha yüksek olmakla beraber, diğer türbülans modeline göre oldukça düşük seviyede kalmıştır. 6° lik sınır değişikliği gerçekleştirilmiş haldeki analizlerde ise her iki türbülans modelinde de yeniden birleşme sağlanamamakla beraber, ısı transferi olarak neredeyse standart geri basamak akışı geometrisindeki ısı transferi yaklaşımları sergilenmiştir.

Farklı basınç gradyanlerinde dış türbülansın ısı transferi üzerine etkisi incelendiğinde ise; giriş çıkış oranının artmasına bağlı olarak ısı transferi maksimum değerinin ve basamak sonrası kanal boyunca ısı transferinde düşüş olduğu görülmekle beraber, ısı transferi gelişim bölgesinin arttığı görülmüştür. Ayrıca türbülans şiddetinin artışına bağlı olarak ise ısı transferinin arttığı söylenebilmektedir. Genişleme oranının yaklaşık 1,5 ve üzerinde olduğu geometrilerde ise giriş çıkış oranının çok artması durumunda ise çıkış bölgesinde ısı transferinin arttığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2006.** Fluent User's Guide, Fluent Inc., Lebanon, NH.
- Armaly, B.F., Durst, F., Pereira, J.C.F., Schönung, B. 1983.** Experimental and theoretical investigation of backward-facing step flow. *J. Fluid Mech.*, 127:473-496.
- Armaly, B.F., Li, A., Nie, J.H. 2003.** Measurements in three-dimensional separated flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46:3573-3582.
- Aubrun, S., Kao, P.L., Boisson, H.C., 2000.** Experimental coherent structures extraction and numerical semi-deterministic modelin in the turbulent flow behind a backward-facing step. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 22:93-101.
- Bradshaw, P., Wong, F.Y.F. 1972.** The Reattachment and Relaxation of a Turbulent Shear Layer. *Journal Fluid Mechanics*, 52:113-135.
- Chen, Y.T., Nie, J.H., Armaly, B.F., Hsieh, H.T., 2006.** Turbulent separated convection flow adjacent to backward-facing step-effects of step height. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49:3670-3680.
- Driver, D.M., Seegmiller, H.L. 1985.** Features of a Reattaching Turbulent Shear Layer in Divergent Channel Flow. *AIAA Journal*, 23:163-171.
- Durst, F., Tropea, C. 1981.** Turbulent, Backward-Facing Step Flows in Two-Dimensional Ducts and Channels. Proceedings of the Third Symposium Turbulent Shear Flows, 9-11 September 1981, Davis, USA.
- Eaton, J.K., Johnston, J.P. 1981.** A Review for Research on Subsonic Turbulent Reattachment. *AIAA Journal*, 19:1092-1100.
- Etheridge, D.W., Kemp, P.H. 1978.** Measurements of Turbulent Flow Downstream of a Rearward-Facing Step. *Journal Fluid Mechanics*, 86:545-566.
- Fessler, J.R., Eaton, J.K. 1997.** Particle Response in a Planar Sudden Expansion Flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 15:413-423.

- Haque, A., Ahmad, F., Yamada, S., Chaudhry, S.R. 2007.** Assessment of Turbulence Models for Turbulent Flow over Backward Facing Step. World Congress on Engineering, 2-4 July, 2007, London, U.K.
- Hofmann, H.M., Kaiser, R., Kind, M., Martin, H. 2007.** Calculating of Steady and Pulsating Impinging Jets- An Assessment of 13 Widely Used Turbulence Models. *Numer. Heat Transfer B*, 51:565-583.
- Isomoto, K., Honomi, S. 1989.** The Effect of Inlet Turbulence Intensity on the Reattachment Process Over a Backward-Facing Step. *Journal Of Fluids Engineering*, 111:87-92.
- İlday, Ö., Atlı, V. 2006.** Geri Basamak Akışının Deneysel İncelenmesi. *itüdergisi/d mühendislik*, 5(6):27-38.
- Kader, B. 1981.** Temperature and Concentration Profiles in Fully Turbulent Boundary Layers. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 24:1541-1544.
- Karasu, T. 2001.** Geriye Doğru Basamaklar Arkasında Kompleks Çevrintili Türbülanslı Akışın Sayısal Hesaplanması. II. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi Ve Sergisi, 8-11 Kasım 2001, İzmir, Türkiye.
- Kim, J.Y., Ghajar, A.J., Tang, C., Foutch, G.L. 2005.** Comparison of near-wall treatment methods for high Reynolds number backward-facing step flow. *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, 19:493-500.
- Kim, S.E., Choudhury, D. 1995.** A Near Wall Treatment Using Wall Functions Sensitized to Pressure Gradient. *ASME Fed Separated and Complex Flow*, 217:273-279.
- Kostas, J., Soria, J., Chong, M.S. 2001.** A Study of a Backward Facing Step Flow at Two Reynolds Numbers. 14th Australasian Fluid Mechanics Conference, 10-14 December, 2001, Adelaide, Australia.
- Launder, B.E., Spalding, D.B. 1972.** Lectures in Mathematical Models of Turbulence. Academic Press, London.

- Launder, B.E., Spalding, D.B. 1974.** The Numerical Computation of Turbulent Flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3:269-289.
- Lee, T., Mateescu, D. 1998.** Experimental and Numerical Investigation of 2D Backward Facing Step Flow. *Journal Of Fluids And Structures*, 12:703-716.
- Menter, F.R. 1994.** Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. *AIAA Journal*, 32:1598-1605.
- Nie, J.H., Armaly, B.F. 2003.** Reattachment of Three-Dimensional Flow Adjacent to Backward-Facing Step. *Journal of Heat Transfer*, 125:422-428.
- Pozarlik, A.K., Panara, D., Kok, J.B.W., van der Meer, T.H. 2008.** Heat Transfer in a Recirculation Zone at Steady-State and Oscillating Conditions – The Back Facing Step Case. 5th European Thermal-Sciences Conference, 18-22 May 2008, Eindhoven, the Netherlands.
- Pulat, E., Diner, M. 2001.** Geri Basamak Akışının Nümerik Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1):29-34.
- Pulat, E., İşman, M.K., Etemoğlu, A.B., Can, M. 2011.** Effect of Turbulence Modeling and Near-Wall Modeling Approaches on Numerical Results in Impingement Heat Transfer. *Numerical Heat Transfer Part B*, 60:486-519.
- Shih, T.H., Zhu, J., Lumley, J.L. 1994.** Technical Report-TM-16721. NASA. Washington D.C.
- Singh, A.P., Paul, A.R., Ranjan, P. 2011.** Investigation of reattachment length for a turbulent flow over a backward facing step for different step angle. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 3(2):84-88.
- Vogel, J.C., Eaton, J.K. 1985.** Combined Heat Transfer and Fluid Dynamic Measurements Downstream of a Backward-Facing Step. *Journal of Heat Transfer*, 107: 922-929.
- Wilcox, D.C. 1998.** Turbulence Modeling for CFD. DCW Industries, Inc., La Canada, California.

Wolfstein, M. 1969. The Velocity and Temperature Distribution of One-Dimensional Flow with Turbulence Augmentation and Pressure Gradient. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 12:301-318.

Yakhot, V., Orszag, S.A. 1986. Renormalization Group Analysis of Turbulence. I. Basic Theory. *J. Sci. Comput.*, 1:1-51.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat ATEŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : Eyüp / 27.04.1988
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu

Lise : Bayrampaşa Anadolu Lisesi / 2006
Lisans : Uludağ Üniv. Makine Müh. Bölümü / 2011

Çalıştığı Kurum : Güney Marmara Kalkınma Ajansı (2013 -..)
İletişim : murates10@gmail.com