

**ÇARPAN JET TERMOAKIŞLARINDA İKİ DENKLEMLİ
TÜRBÜLANS MODELLERİ İÇİN MODEL
SABİTLERİNİN MODİFİKASYONU**

Sedat ARSLAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇARPAN JET TERMOAKIŞLARINDA İKİ DENKLEMLİ TÜRBÜLANS
MODELLERİ İÇİN MODEL SABİTLERİNİN MODİFİKASYONU**

Sedat ARSLAN
0000-0003-4565-6305

Doç. Dr. Erhan PULAT
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇARPAN JET TERMOAKIŞLARINDA İKİ DENKLEMLİ TÜRBÜLANS MODELLERİ İÇİN MODEL SABİTLERİNİN MODİFİKASYONU

Sedat ARSLAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Erhan PULAT

Isıl çarpan jet akışları yüksek ısı transferi artırımı yüzünden yaygın kullanım alanına sahiptir. Ayrıca literatürde akış ayrılmasına sahip karmaşık bir problem olmasından dolayı da türbülans modellerinin uygunluğunun test edilmesinde de sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında ANSYS-FLUENT yazılımı kullanılarak farklı sınır şartlarına sahip 4 farklı impinging jet geometrisi üzerinde k-ε türbülans modelleri ile alt (hedef) plaka üzerindeki yerel ısı transferi hesaplamalı olarak araştırılmış ve literatürdeki deneysel çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Std. k-ε türbülans modelinin başta çarpma noktası olmak üzere ısı transferini iyi tahmin etmediği bilinmektedir. Bundan dolayı, std. k-ε modeli ve yaygın olarak kullanılan diğer iki k-ε modelinin model sabitlerinden ikisi modifiye edilerek ısı transferini iyileştirip iyileştirmedikleri araştırılmıştır. Std. k-ε modeli ağ yapısının iyi oluşturulması ve giriş sıcaklığının düşürülmesiyle ısı transferi tahminini sınırlandırılmış ve sabit yüzey sıcaklığına sahip geometride iyileştirmesine rağmen, katsayıların modifikasyonu kayda değer bir iyileştirmeye sebep olmamıştır. Dolayısıyla std. k-ε türbülans modeli ısıl çarpan jet akışlarının tahmininde kullanılacaksa katsayıların modifikasyonundan ziyade duvar fonksiyonunun kullanma şartlarına dikkat edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çarpan ısıl jet akışı, türbülans, iki denklemlili türbülans modelleri, türbülans model sabitlerinin modifikasyonu, hesaplamalı akışkanlar dinamiği

2021, ix + 82 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

MODIFICATIONS OF MODEL CONSTANTS FOR TWO EQUATIONS TURBULENCE MODELS IN IMPINGING JET THERMOFLOWS

Sedat ARSLAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asoc. Prof. Dr. Erhan PULAT

Impinging jet thermoflows are widely used due to high heat transfer enhancement. These flows are treated as complex flows because of separation, and they are also often used for the suitability of turbulence models. In this thesis, local heat transfer on the lower (target) plate is investigated computationally for 4 different impinging jet geometries with different boundary conditions with k- ϵ turbulence models by using ANSYS-FLUENT software. It is well known that std. k- ϵ model has a bad performance especially in the prediction of the stagnation point heat transfer. Therefore, it has been investigated whether heat transfer is improved by modifying two model constants of three k- ϵ turbulence models. Although heat transfer prediction in confined and constant wall temperature impinging jet geometry has been improved by considering carefully near-wall mesh structure and decreasing inlet air temperature, modifications of model constants do not cause considerable improvements. So it has been suggested that it must be paid attention to wall function usage conditions instead of model constants modifications.

Key words: Impinging thermal jet flow, turbulence, two equations turbulence models, modification of turbulence model constants, computational fluid dynamics

2021, ix + 82 pages.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi ve tez alıőmasını hazırlamamdaki destek ve yardımlarından ötürü kıymetli danışman hocam Do. Dr. Erhan Pulat'a teşekkür ederim.
Tez alıőmam esnasında her koőulda yanımda olan aileme sonsuz teőekkürlerimi sunuyorum.

Sedat ARSLAN

11/01/2021

İÇİNDEKİLER

	sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Türbülanslı Akış.....	9
2.2. Türbülans Modelleri.....	11
2.3. İki Denklemlili Türbülans Modelleri	12
2.3.1. Standard k- ϵ Türbülans Modeli.....	12
2.3.2. RNG k- ϵ Türbülans Modeli	13
2.3.3. Realizable k- ϵ Türbülans Modeli	13
2.3.4. Standard k- ω Türbülans Modeli.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği	14
3.2. ANSYS FLUENT	15
3.3. k- ϵ Türbülans Modellerinde Kullanılan Katsayılar.....	16
3.4. Geometri Ölçüleri.....	19
3.5. Sınır Şartları	21
3.6. Fluentte Kullanılan Özellikler.....	23
3.7. Ağdan Bağımsızlık Çalışması	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	57
5. SONUÇ.....	79
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
k	Türbülans kinetik enerjisi
ν	Kinematik viskozite
ω	Spesifik yayılım
ε	Türbülans kinetik enerji yayılımı
ρ	Yoğunluk
μ	Dinamik viskozite
μ_t	Türbülanslı viskozite
$C_{1\varepsilon} C_{2\varepsilon}$	k- ε türbülans modeli için model sabitleri
D_h	Hidrolik çap
U	Hız
C_f	Sürtünme katsayısı
y^+	Boyutsuz hız
Kısaltmalar	Açıklama
HAD	Hesaplama Akışkanlar Dinamiği
LES	Large Eddy Simulation
RNG	Renormalized Group
SST	Shear Stress Transport

ŞEKİLLER DİZİNİ

	sayfa
Şekil 1.1. Çarpan jet akışındaki akış bölgeleri.....	1
Şekil 1.2. H/D_h oranının Nusselt sayısına etkisi	2
Şekil 2.1. Hellsten'in RCSST modelinde C_f ile deneysel sonuçlar arasında bulunduğu ilişki.....	4
Şekil 2.2. Laminer(a) ve türbülanslı akış (b) karakteristiği	9
Şekil 2.3. Şelaleden akan suda türbülans olayının gözlemlenmesi.....	10
Şekil 2.4. Türbülans jet akışında düzlemsel lazer kaynaklı floresans (DLKF) ile gözlemlenen akış karakteristiği.....	10
Şekil 2.5. Günümüzde kullanılan türbülans modelleri.....	12
Şekil 3.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarının işlem adımları.....	15
Şekil 3.2. Birinci geometrinin ölçüleri.....	19
Şekil 3.3. İkinci geometrinin ölçüleri.....	19
Şekil 3.4. Üçüncü geometrinin ölçüleri.....	20
Şekil 3.5. Dördüncü geometrinin ölçüleri.....	20
Şekil 3.6. Birinci geometrinin sınır şartları.....	21
Şekil 3.7. İkinci geometrinin sınır şartları.....	21
Şekil 3.8. Üçüncü geometrinin sınır şartları.....	22
Şekil 3.9. Dördüncü geometrinin sınır şartları.....	22
Şekil 3.10. van Heiningen geometrisinin 5000 elemanlı ağ yapısı.....	26
Şekil 3.11. van Heiningen geometrisinin 10000 elemanlı ağ yapısı.....	26
Şekil 3.12. van Heiningen geometrisinin 15000 elemanlı ağ yapısı.....	27
Şekil 3.13. van Heiningen geometrisinin 20000 elemanlı ağ yapısı.....	27
Şekil 3.14. van Heiningen geometrisinin 30000 elemanlı ağ yapısı.....	28
Şekil 3.15. van Heiningen geometrisinin 82000 elemanlı ağ yapısı.....	28
Şekil 3.16. van Heiningen geometrisinin 133000 elemanlı ağ yapısı.....	29
Şekil 3.17. van Heiningen geometrisinin $k-\epsilon$ modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri.....	29
Şekil 3.18. van Heiningen geometrisinin SST $k-\omega$ modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri.....	30
Şekil 3.19. van Heiningen geometrisinin $k-\epsilon$ modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri.....	31
Şekil 3.20. Alimohammadi geometrisinin 100000 elemanlı ağ yapısı.....	32
Şekil 3.21. Alimohammadi geometrisinin 121000 elemanlı ağ yapısı.....	33
Şekil 3.22. Alimohammadi geometrisinin 140000 elemanlı ağ yapısı.....	33
Şekil 3.23. Alimohammadi geometrisinin 200000 elemanlı ağ yapısı.....	34
Şekil 3.24. Alimohammadi geometrisinin 731000 elemanlı ağ yapısı.....	34
Şekil 3.25. Alimohammadi geometrisinin $k-\epsilon$ modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri.....	35
Şekil 3.26. Alimohammadi geometrisinin $k-\epsilon$ modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri.....	36
Şekil 3.27. Alimohammadi geometrisinin $k-\epsilon$ modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri.....	38

Şekil 3.28. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ değerleri.....	40
Şekil 3.29. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ değerleri.....	42
Şekil 3.30. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı çözüm metodlarındaki y+ değerleri	44
Şekil 3.31. Alimohammadi geometrisinin Transition SST modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ değerleri	45
Şekil 3.32. Del Frate geometrisinin 68000 elemanlı ağ yapısı	46
Şekil 3.33. Del Frate geometrisinin 83000 elemanlı ağ yapısı	46
Şekil 3.34. Del Frate geometrisinin 100000 elemanlı ağ yapısı	47
Şekil 3.35. Del Frate geometrisinin 139000 elemanlı ağ yapısı	47
Şekil 3.36. Del Frate geometrisinin 280000 elemanlı ağ yapısı	48
Şekil 3.37. Del Frate geometrisinin 568000 elemanlı ağ yapısı	48
Şekil 3.38. Del Frate geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ değerleri	49
Şekil 3.39. Del Frate geometrisinin Standard k-ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ değerleri.....	50
Şekil 3.40. Del Frate geometrisinin SST k-ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ değerleri.....	51
Şekil 3.41. Guerrra geometrisinin 56000 elemanlı ağ yapısı	52
Şekil 3.42. Guerrra geometrisinin 68000 elemanlı ağ yapısı	53
Şekil 3.43. Guerrra geometrisinin 89000 elemanlı ağ yapısı	53
Şekil 3.44. Guerrra geometrisinin 143000 elemanlı ağ yapısı	54
Şekil 3.45. Guerrra geometrisinin 239000 elemanlı ağ yapısı	54
Şekil 3.46. Guerrra geometrisinin 740000 elemanlı ağ yapısı	55
Şekil 3.47. Guerrra geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ değerleri ..	55
Şekil 4.1. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	57
Şekil 4.2. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	57
Şekil 4.3. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	58
Şekil 4.4. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	58
Şekil 4.5. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.6. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.7. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.8. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.9. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.10. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.11. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.12. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.13. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	63
Şekil 4.14. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	63
Şekil 4.15. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.16. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.17. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	65
Şekil 4.18. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	65
Şekil 4.19. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	66

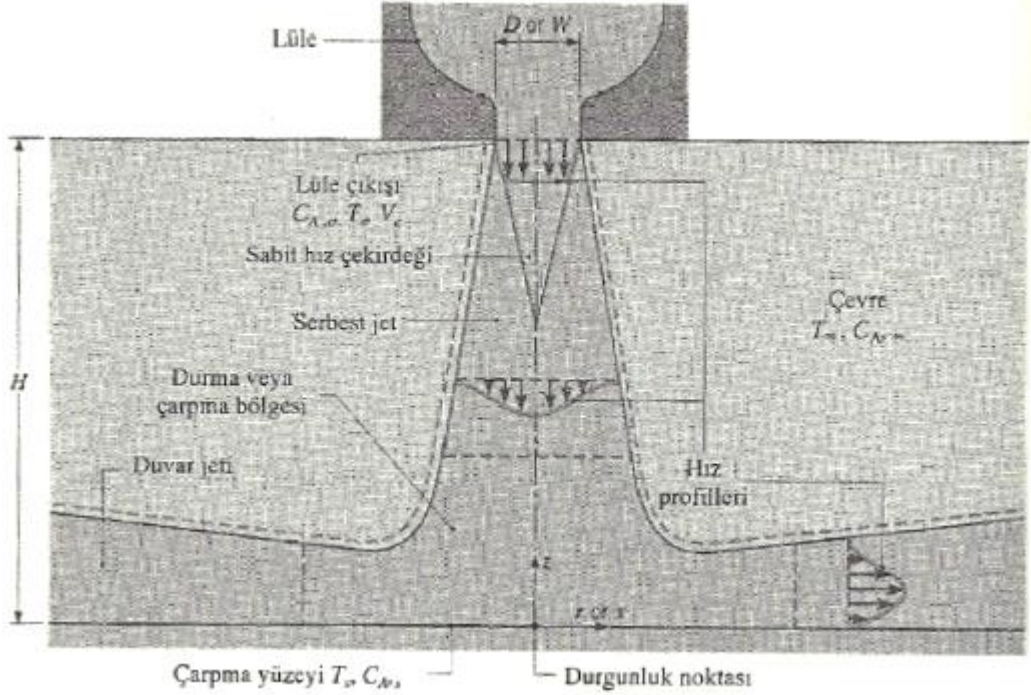
Şekil 4.20. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.21. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	67
Şekil 4.22. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	68
Şekil 4.23. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	69
Şekil 4.24. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	70
Şekil 4.25. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	71
Şekil 4.26. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	72
Şekil 4.27. van Heiningen geometrisinde modifiye edilmiş Standard k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	72
Şekil 4.28. van Heiningen geometrisinde modifiye edilmiş Realizable k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	73
Şekil 4.29. van Heiningen geometrisinde modifiye edilmiş RNG k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	73
Şekil 4.30. Alimohammadi geometrisinde modifiye edilmiş Standard k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	74
Şekil 4.31. Alimohammadi geometrisinde modifiye edilmiş Realizable k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	74
Şekil 4.32. Alimohammadi geometrisinde modifiye edilmiş RNG k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	75
Şekil 4.33. Del Frate geometrisinde modifiye edilmiş Standard k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	75
Şekil 4.34. Del Frate geometrisinde modifiye edilmiş RNG k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	76
Şekil 4.35. Del Frate geometrisinde modifiye edilmiş Realizable k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	76
Şekil 4.36. Guerra geometrisinde modifiye edilmiş Standard k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	77
Şekil 4.37. Guerra geometrisinde modifiye edilmiş RNG k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	77
Şekil 4.38. Guerra geometrisinde modifiye edilmiş Realizable k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Hamba'nın (1987) bulduğu katsayıların deneysel sonuçlar ile mukayesesi .	5
Çizelge 2.2. Türbülans modelleri ve impinging jet akışı ile ilgili yapılan literatür araştırmaları.....	5
Çizelge 3.1. Standard k-ε türbülans modelindeki katsayılar	16
Çizelge 3.2. RNG k-ε türbülans modelindeki katsayılar.....	16
Çizelge 3.3. Realizable k-ε türbülans modelindeki katsayılar	17
Çizelge 3.4. Standard k-ε türbülans modeli için önerilen $C_{1\epsilon}$ ve $C_{2\epsilon}$ katsayıları	17
Çizelge 3.5. RNG k-ε türbülans modeli için önerilen $C_{1\epsilon}$ ve $C_{2\epsilon}$ katsayıları	18
Çizelge 3.6. Realizable k-ε türbülans modeli için önerilen $C_{2\epsilon}$ katsayıları.....	18
Çizelge 3.7. Kullanılan sınır şartları	23
Çizelge 3.8. Havanın termofiziksel özellikleri.....	23
Çizelge 3.9. Fluent'te çözücü özellikleri.....	24
Çizelge 3.10. Fluentte rölaksasyon katsayıları.....	24
Çizelge 3.11. Fluentte k- ω modelinde yakınsama kriterleri	25
Çizelge 3.12. Fluentte k-ε modelinde yakınsama kriterleri	25
Çizelge 3.13. Van Heiningen geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	30
Çizelge 3.14. van Heiningen geometrisinin SST k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	31
Çizelge 3.15. van Heiningen geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	32
Çizelge 3.16. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	35
Çizelge 3.17. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	37
Çizelge 3.18. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	39
Çizelge 3.19. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	41
Çizelge 3.20. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	43
Çizelge 3.21. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı çözüm metodlarındaki y+ karşılaştırması	44
Çizelge 3.22. Alimohammadi geometrisinin Transition SST modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	45
Çizelge 3.23. Del Frate geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	49
Çizelge 3.24. Del Frate geometrisinin Standard k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	50
Çizelge 3.25. Del Frate geometrisinin SST k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	51
Çizelge 3.26. Guerra geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması	56

1. GİRİŞ

Çarpan jet akışkan, yüksek ısı ve kütle transferi sağladığından ötürü pek çok endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem ile lüle tarafından yönlendirilmiş gaz veya sıvı akışkan soğutularak ya da ısıtılarak yüzeye çarptırılmak suretiyle özellikle çarpma bölgesinde yüksek miktarda ısı ve kütle transferi sağlanabilmektedir. Bununla ilgili uygulamalara cam levhanın temperlenmesi, metal plakaların tavlanması, gaz türbini kanatlarının soğutulması, tekstil ürünlerinin kurutulması örnek olarak verilebilir.

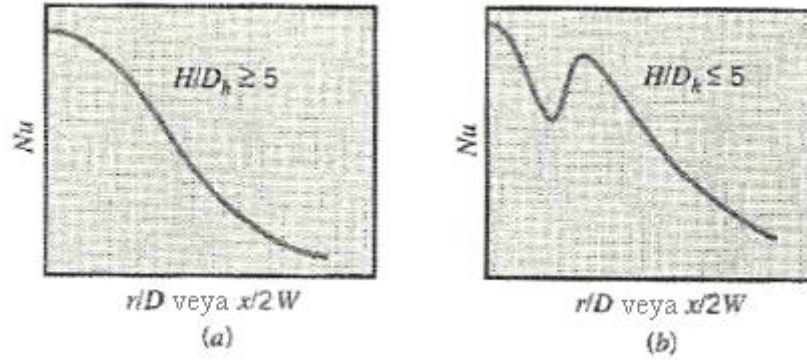


Şekil 1.1. Çarpan jet akışındaki akış bölgeleri (Incropera ve DeWitt 2001)

Gaz jetleri şekil 1.1’de gösterildiği gibi genellikle D çapındaki yuvarlak ya da W genişliğindeki dikdörtgen bir lüleden durgun çevreye püskürtülür. Jet genellikle türbülanslıdır ve lüle çıkışında sabit bir hız dağılımına sahiptir (Incropera ve Dewitt 2001).

Akış bölgesi genellikle **serbest jet bölgesi**, **çarpma bölgesi**, **duvar jeti bölgesi** olarak adlandırılan 3 bölümden oluşur.

Şekil 1.1'deki sabit hız çekirdeğinin altında kalan bölgede hız profili tüm jet kesiti boyunca sabit değildir ve maksimum hız lüle çıkışından uzaklık arttıkça azalır. Bu bölgeye **serbest jet bölgesi** adı verilir. Bu bölge boyunca akış özellikleri çarpma yüzeyinden etkilenmez. Akışkanın duvara çarptığı bölge ise **çarpma bölgesi** olarak adlandırılır. Bu bölgede akış özellikleri hedef yüzeyinden etkilenir. Z doğrultusunda ve x ve ya r doğrultusunda hız önce azalır ve sonra artarak devam eder. Çarpma bölgesinden uzaklaştıkça artarak devam eden hız belli bir mesafeden sonra yavaşlamaya başlar. Bu bölge **duvar jeti bölgesi** adını alır. Bu bölgede hem çarpma hem de serbest yüzey hız profilleri sıfırdır.



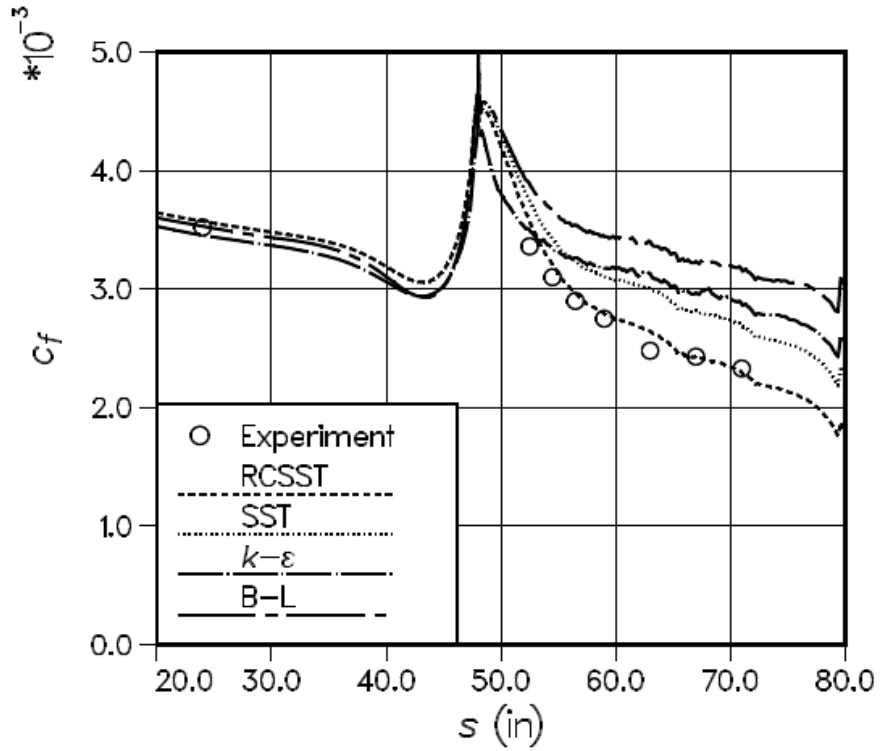
Şekil 1.2. H/D_h oranının Nusselt sayısına etkisi (Incropera ve DeWitt 2001)

Çarpan jet akışında H (lüle çıkışı ile çarpma yüzeyi arasındaki mesafe) ile D_h (lüle çapı) oranı büyük önem teşkil eder. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi H/D_h 5 ten büyük olduğunda ve 5 ten küçük veya eşit olduğunda Nu sayısı çarpma yüzeyinden r veya x doğrultusunda farklı olarak değişmektedir. Bu oran 5 ten büyük olduğunda ikincil peak oluşmadığı gibi 5 ten küçük olduğunda ikincil peak 'in oluştuğu rahatlıkla görülebilir. Nusselt sayısı ısı transferi açısından büyük önem arz etmektedir. Nusselt sayısının büyüklüğü ısı transferinin büyüklüğünü gösterir. Bundan ötürü H/D_h 5 ten küçük olduğunda ısı transferinin daha fazla olduğu söylenebilir. Literatürdeki deneysel çalışmalara bakıldığında Nusselt sayısının; Reynold sayısı, Prandtl sayısı, sınırlandırmanın olup olmaması, türbülans gibi parametrelere bağlı olduğu görülür. Literatürdeki sayısal çalışmalara bakıldığında bu parametrelere ek olarak kullanılan türbülans modelinin ve çözüm metodunun da etkisi görülmektedir. Wang ve ark. (2014) SST k- ω türbülans modelinin jet akışlar için iyi sonuçlar verdiğini tespit etmiştir. Kurbatskii (2009) yaptığı

çalışmasında standard ve realizable k- ϵ türbülans modelinde (modifiye edilmiş katsayılar ile) çarpma bölgesindeki hız profilinin daha doğru tahmin edildiğini tespit etmiştir. Klinzing ve Sparrow (2009) sınırlandırılmamış ve sabit yüzey sıcaklığına sahip jet akışlarda standard k- ϵ türbülans modelinin diğer modellere göre daha doğru sonuçlar verdiğini tespit etmiştir. Hellsten (1997) modifiye edilmiş SST k- ω modelinin kavis ve dönmelerde iyi sonuçlar verdiğini fakat skin friction tahmininde başarısız olduğunu görmüştür. Durbin (1996) k- ϵ türbülans modelinin çarpma bölgesindeki anormal sonuçları üzerine yorumlar yapmıştır. Jaramillo ve ark. (2007) non-linear ve explicit metodunun deneysel ile yakın sonuçlar verdiğini görmüştür. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında çarpan jet akışında k- ϵ türbülans modelinin doğru sonuçlar vermediği bilinmektedir. Bu tez çalışmasında 4 farklı tipteki çarpan jet akışında Standard k- ϵ , Realizable k- ϵ ve RNG k- ϵ türbülans modellerindeki türbülans katsayılarının modifikasyonu hesaplamalı olarak incelenmekte olup deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmaktadır ve ortaya çıkan sonuçlar irdelenmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bir yüzeye çarpan jet akışı için taşınım katsayısının incelenmesi Martin (1977) tarafından yapılmıştır. Hellsten (1997) yaptığı çalışmasında SST k- ω türbülans modelinin modifiye edilmesiyle RCSST modelini ortaya çıkarmıştır. Özellikle C_f parametresinin tahmininde öngördüğü modelin deneysel çalışmalarla aşırı benzerlik gösterdiğini belirtmiştir.



Şekil 2.1. Hellsten'in RCSST modelinde C_f ile deneysel sonuçlar arasında bulunduğu ilişki (Hellsten 1997)

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi RCSST türbülans modeli SST k- ω , $k-\epsilon$ ve B-L modelinden daha yakın sonuçlar vermiştir.

Hamba (1987) $k-\epsilon$ türbülans modelindeki katsayıları LES (Large Eddy Simulation) yöntemiyle tahmin etmeye çalışmıştır.

Çizelge 2.1. Hamba'nın (1987) bulduğu katsayıların deneysel sonuçlar ile mukayesesi

	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 3}$	$C_{\varepsilon 4}$	$C_{\varepsilon 5}$	$C_{\varepsilon 6}$	$C_{\varepsilon 7}$
Case 4.1	0.085	0.033	—	—	—	—
Case 4.2	0.085	0.0051	0.045	—	—	—
Case 4.3	0.074	0.013	—	8.5	-11	3.6
Case 4.4	0.080	0.0023	0.036	8.7	-11	3.8
Standard ²⁾	0.13	0.069	—	—	—	—
Channel ⁶⁾	0.072	0.1	-0.1	—	—	—
Theory ³⁾	0.13	-1.2	2.2	4.3	-5.8	2.4

Hamba (1987) çalışmasında $C_{\varepsilon 2}$ katsayısını 1,9 olarak almıştır.

Martin (1977) $2\ 000 < Re < 400\ 000$ aralığında tek bir yuvarlak lüle için denklem

2.1'i önermiştir.

$$\frac{\overline{Nu}}{Pr^{0,42}} = G[r/D, H/D]F_1(Re) \quad (2.1)$$

Burada

$$F_1 = 2Re^{0,5}(1 + 0,005Re^{0,55})^{0,5} \quad (2.2)$$

$$G = \left(\frac{D}{r}\right) \left[\frac{1-1,1\left(\frac{D}{r}\right)}{1+0,1\left(\frac{H}{D}-6\right)\left(\frac{D}{r}\right)} \right] \quad (2.3)$$

Türbülans modelleri ve impinging jet akışı ile ilgili yapılan literatür araştırmaları çizelge 2.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2. Türbülans modelleri ve impinging jet akışı ile ilgili yapılan literatür araştırmaları

Sıra No	Yazarı	Yayın Yılı	Yayın Yeri	Yayın Adı
1	Hamba, F.	1987	Journal of the physical Society of Japan, 56(10):3405-3408.	Estimate of Constants in the k-ε Model of Turbulence by Using Large Eddy Simulation

Çizelge 2.3. Türbülans modelleri ve impinging jet akışı ile ilgili yapılan literatür araştırmaları (devam)

2	Lam, S. H.	1992	Phys. Fluids A, 4(5):1007-1017.	On the RNG Theory of Turbulence
3	Durbin, P. A.	1996	International Journal of Heat and Fluid Flow,17(1):89-90.	On the k-3 Stagnation Point Anomaly
4	Shur, M., Spalart, P. R.	1996	Aerospace Science and Technology, 5:297-302.	On the Sensitization of Turbulence Models to Rotation and Curvature
5	Cziesla, T., Tandogan, E., Mitra, N. K.	1997	Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, 32(1):1-17.	Large Eddy Simulation of Heat Transfer from Impinging Slot Jets
6	Hellsten, A.	1997	29.AIAA Fluid Dynamics Conference, 15-18 Haziran 1997, Albuquerque, NM.	SOME IMPROVEMENTS IN MENTER'S k- ω SST TURBULENCE MODEL
7	Lee, D. H., Chung, Y. S., Kim, D. S.	1997	International Journal of Heat and Fluid Flow, 18(1):160-169.	Turbulent flow and heat transfer measurements on a curved surface with fully developed round impinging jet
8	Chan, T. L., Leung, C. W., Jambunathan, K., Ashforth-Frost, S., Zhou, Y., Liu, M. H.	2001	International Journal of Heat and Fluid Flow, 45(2002):993-1006.	Heat transfer characteristics of a slot jet impinging on a semi-circular convex surface.
9	Shi, Y., Ray, M., B. Mujumbar, A., S.	2002	Industrial & Engineering Chemistry Research,41:4643-4653.	Computational study of impingement Heat Transfer under a Turbulent Slot Jet

Çizelge 2.4. Türbülans modelleri ve impinging jet akışı ile ilgili yapılan literatür araştırmaları (devam)

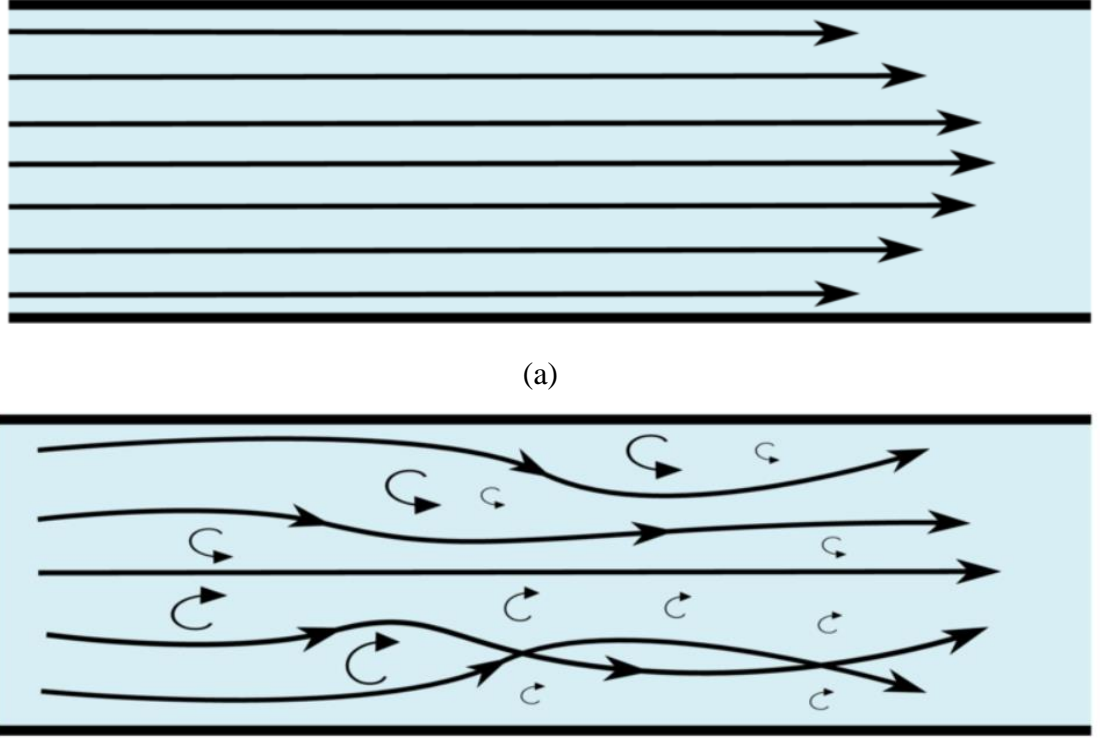
10	Guerra,D. R. S.,Su,J.,Freire,A.P.S.	2005	International Journal of Heat and Mass Transfer, 48:2829-2840.	The near Wall behavior of an impinging jet.
11	Jaramillo, J. E., Perez-Segarra, C. D., Oliva, A., Claramunt, K.	2007	International Journal of Heat and Mass Transfer, 50:3749-3766.	Analysis of different RANS models applied to turbulent forced convection
12	Rohde, U., Höhne, T., Kliem, S., Hemström, S., Scheuerer, M., Toppila, T., Aszodi, A., Boros, I., Farkas, I., Mühlbauer, P., Vyskocil, L., Klepac, J.,Remis, J., Dury, T.	2007	Nuclear Engineering and Design, 237(2007):1639-1655.	Fluid mixing and flow distribution in a primary circuit of a nuclear pressurized water reactor— Validation of CFD codes
13	Klinzing, W. P., Sparrow, E. M.	2009	Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, 55(3):205-228.	Evaluation of Turbulence Models for External Flows
14	Wolfshtein, M.	2009	International Journal of Heat and Mass Transfer, 52:4103-4107.	Some comments on turbulence modelling
15	Kurbatskii, K. A.	2009	47. AIAA Aerospace Sciences Meeting,5-8 Haziran 2009, AIAA.	Comparison of RANS Turbulence Models in Numerical Prediction of Chevron Nozzle Jet Flows
16	Del Frate,L.,Galassi, G.	2011	International conference Nuclear Energy for New Europe,12-15 Eylül 2011,Bovec,Slovenia	CFD Simulations of a Normally-Impinging Jet from a Circular Nozzle

Çizelge 2.5. Türbülans modelleri ve impinging jet akışı ile ilgili yapılan literatür araştırmaları (devam)

17	Raiesi, H., Piomelli, U., Pollard, A.	2011	Journal of Fluids Engineering, 133(2)	Evaluation of Turbulence Models Using Direct Numerical and Large-Eddy Simulation Data
18	Alimohammadi,S.,Murray,D . B.,Persoons,T.	2014	. Journal of Heat Transfer, 136:091703-1	Experimental validation of a computational fluid Dynamics Methodology for Transitional Flow Heat Transfer Characteristics of a Steady Impinging Jet
19	Wang, P., Lv, J., Bai, M., Wang, Y., Hu, C.	2014	International Journal of Computational Fluid Dynamics, 28:301-315.	Numerical investigation of the flow and heat behaviours of an impinging jet
20	Lafouraki, B. Y., Ramiar, A., Ranjbar, A. A.	2016	Flow Turbulent Combust, 97:571-589.	Numerical Simulation of Two Phase Turbulent Flow of Nanofluids in Confined Slot Impinging Jet
21	Kılıc, M., Çalışır, T., Başkaya, Ş.	2017	Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 39(1):329-344.	Experimental and Numerical Study of Heat Transfer from a Heated Flat Plate in a Rectangular Channel with an Impinging Jet

2. 1. Türbülanslı Akış

Günlük hayatta türbülanslı akış pek çok yerde gözlemlenebilir. Bacalardan çıkan dumanlarda, nehir ya da şelalede akan suda, kuvvetle çarpan rüzgarda karşımıza çıkar. Şelalede akan su incelendiğinde akışın düzensiz, istikrarsız ve rastgele görünümlü olduğu görülür. Türbülans günümüzde klasik fiziğin çözülmemiş en büyük olaylarından biridir. Türbülansa tam olarak neyin neden olduğu halen bilinmemektedir. Türbülans, akış esnasında akışkan zerreciklerinin gelişigüzel hareket ederek, iplikciklerin birbirine karışması durumuna denir. Genellikle laminer akıştan türbülanslı akışa bir geçiş bölgesinden sonra ulaşılır. Laminer ve türbülanslı akış bölgeleri hem zorlanmış hem de doğal ısı taşınımının bir karakteristiğidir (Genceli 2002).

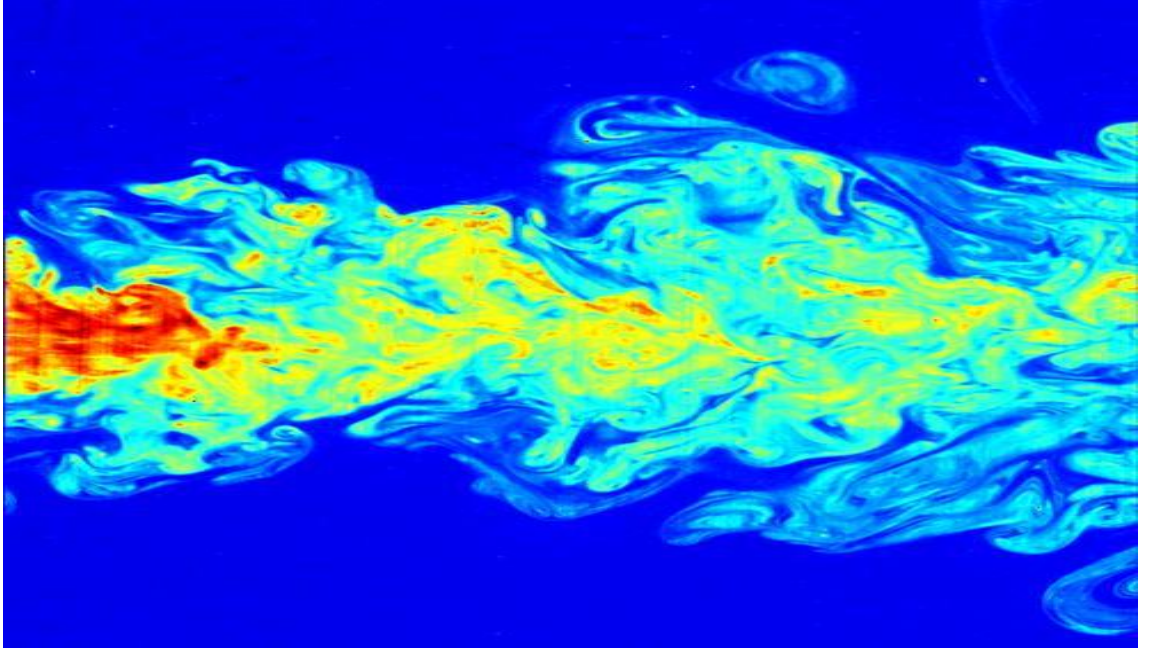


Şekil 2.2. Laminer(a) ve türbülanslı akış (b) karakteristiği (Anonim)

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi laminer akışta akışkan iplikcikleri birbirine paralel ve düzenli iken türbülanslı akışta akışkan iplikcikleri rastgele dağılımlı ve düzensizdir.



Şekil 2.3. Şelaleden akan suda türbülans olayının gözlemlenmesi (Kevin Payravi)



Şekil 2.4. Türbülans jet akışında düzlemsel lazer kaynaklı floresans (DLKF) ile gözlemlenen akış karakteristiği (C. Fukushima ve J. Westerweel)

Türbülans olayı ile ilgili en önemli parametre Reynold sayısıdır. Re sayısı akışın laminar mı yoksa türbülanslı mı olduğu gösteren en önemli parametredir. Re sayısının fiziksel anlamı ise akışta meydana gelen atalet kuvvetlerin viskoz kuvvetlere oranıdır. Re sayısı matematiksel olarak denklem (2.4) ile ifade edilir.

$$Re = U \frac{L_k}{\nu} \quad (2.4)$$

U:akışkanın hızı[m/s]

L_k =karakteristik uzunluk[m]

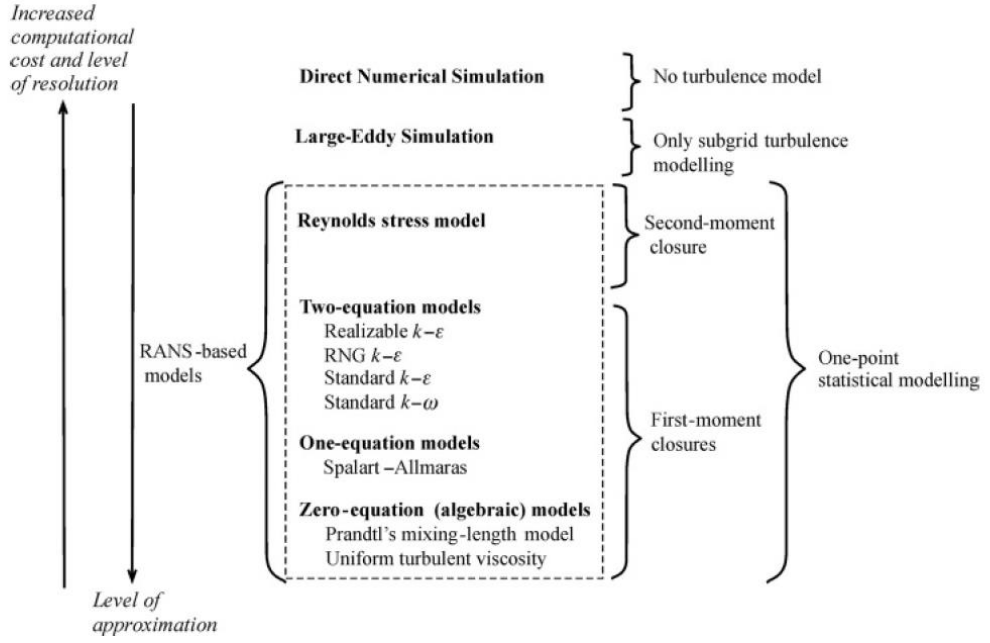
ν =akışkanın kinematik viskozitesi[m²/s]

iç akışlarda karakteristik uzunluk olarak D_h hidrolik çap tarifi kullanılır.

Dairesel kesitli iç akışlarda $D_h=D$ olarak ifade edilir.

2. 2. Türbülans Modelleri

Sanayide karşılaşılan pek çok akış problemi türbülanslı akış karakteristiği gösterir. Bu sebeple türbülans olayı mühendislik alanının önemli bir konusudur. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde pek çok türbülans modeli kullanılır. Bunlardan en çok kullanılan modellerin başında k- ϵ türbülans modeli gelir. İlk geliştirilen türbülans modeli olan Standard k- ϵ modeli Jones and lauder tarafından 1972 yılında ortaya atılmıştır. Daha sonraki yıllarda Standard k- ϵ modelinin duvara yakın bölgelerde çok iyi sonuçlar vermediği görülmüştür ve ilerleyen yıllarda RNG k- ϵ ile Realizable k- ϵ türbülans modelleri ortaya çıkmıştır. O yıllardan günümüze k- ϵ türbülans modellerinin yanında SST k- ω , Reynold Stress model gibi farklı modeller de geliştirilmiştir. Günümüzde kullanılan türbülans modelleri şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Günümüzde kullanılan türbülans modelleri (Anderrson ve ark. 2012)

2. 3. İki Denklemlili Türbülans Modelleri

2. 3. 1. Standard $k-\epsilon$ Türbülans Modeli

Standard $k-\epsilon$ türbülans modeli yaygınlık ve ekonomik olarak pek çok CFD problemine uygunluk sağlar. Standard $k-\epsilon$ türbülans modelinde korunum denklemlerine ilave olarak iki tane daha denklem çözülür. Bunlar k ve ϵ denklemleridir. k türbülans kinetik enerji olarak tanımlanırken ϵ türbülans kinetik enerji yayılımı olarak ifade edilir. k denklem (2.5) ile ifade edilirken ϵ denklem (2.6) ile ifade edilir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \epsilon \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (2.6)$$

Burada;

ρ : akışkan yoğunluğu

u_i : ilgili yöne karşılık gelen hız bileşeni

E_{ij} : deformasyon oranının bileşeni

μ_t : türbülans viskozitesi

$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ olarak ifade edilir.

2. 3. 2. RNG k-ε Türbülans Modeli

RNG k-ε dönen akışları tahmin etme açısından iyi olsa da jet akışlarında Standard modele göre geride kalmaktadır (Andersson 2012). RNG k-ε türbülans modeli, Standard k-ε türbülans modelindeki ε denkleminde S_ε kaynak teriminin ilave edilmesiyle elde edilmiştir. Böylelikle yeni türbülans yayılım denklemi denklem (2.7) ile ifade edilir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - S_\varepsilon \quad (2.7)$$

2. 3. 3. Realizable k-ε Türbülans Modeli

Realizable k-ε türbülans modeli çözümde tahmin edilen stres tensöründeki gerçekleştirilebilir kısıtlaması sebebiyle bu ismi almıştır. k denklemindeki düzeltme ile standard modelden ayrılır. Literatür çalışmalarına bakıldığında sınır tabaka akışları ve ayrılmış akışlarda standard modele göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

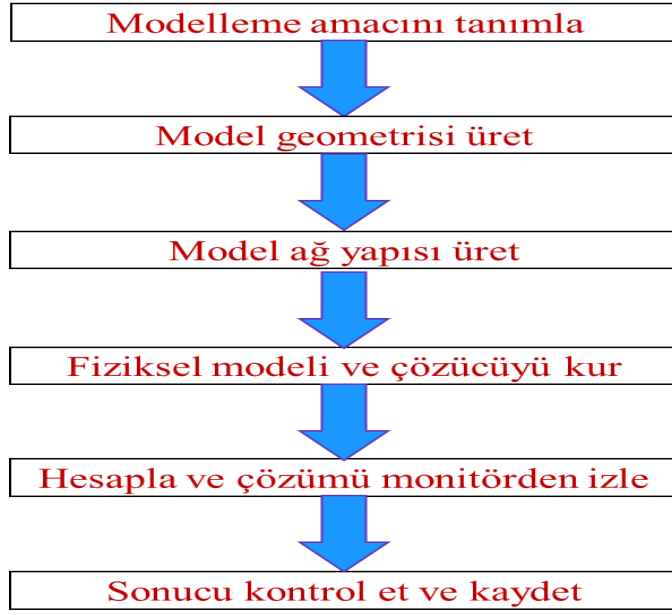
2. 3. 4. Standard k-ω Türbülans Modeli

Diğer popüler iki denklemlilik türbülans modeli k-ω türbülans modelidir. Bu modelde ω Uzunluk belirleyen nicelik olarak kullanılır. Bu nicelik spesifik yayılım olarak olarak tanımlanır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

İçerisinde herhangi bir akışkanın bulunduğu bir mühendislik probleminin çözümünde 2 tip yaklaşım vardır. Bunlar, deneysel yaklaşım ve hesaplamalı yaklaşımdır. Bunlardan ilki (deneysel) genellikle uygulamada yüksek maliyet ve uzunca bir süre ister. Bu sebeple bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte deneysel çalışmadan daha az maliyetli ve daha az zaman isteyen **hesaplamalı yöntemler** ortaya çıkmıştır. Gün be gün sanayide kullanımı popülerleşen Hesaplamalı yöntemlerin kullanımı bilgisayar algoritmasına ve belleğine dayanır. Özellikle akışkan ihtiva eden mühendislik problemlerinin daha karmaşık olmasından ötürü Hesaplamalı yöntemlerin özel ilgi alanı olan **Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)** ortaya çıkmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği akademik çalışmalarda genellikle deneysel çalışmaların validasyonu amacıyla kullanılırken sanayide ortaya çıkan pek çok problemin çözümünde de kullanılır. Günümüzde Hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanan pek çok ticari program mevcuttur. Bu tez çalışması hazırlanırken ANSYS FLUENT ticari programından istifade edilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarında kullanılan işlem adımları şekil 3.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarının işlem adımları

3. 2. ANSYS FLUENT

Fluent sonlu hacimler metodu kullanan; ısı transferi analizi, kimyasal reaksiyon analizi gibi pek çok analizi yapabilen bir programdır. FLUENT, C++ programlama dili ile yazılmıştır.

FLUENT’te yapılabilen analizlerin bazıları şunlardır:

- Zamana bağlı rejim analizi
- Sürekli rejim analizi
- 2 boyutlu ve 3 boyutlu akış analizi
- Laminer ve türbülanslı akış analizi
- Çok fazlı akış analizi
- Newtonian ve non-newtonian akış analizi
- Sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akış analizi
- Isı iletimi analizi
- Isı taşınımı analizi
- Isı ışınımı analizi

3.3. k-ε Türbülans Modellerinde Kullanılan Katsayılar

Bölüm 2’de belirtildiği gibi k-ε türbülans modelleri Standard k-ε, RNG k-ε ve Realizable k-ε olmak üzere üçe ayrılır.

Çizelge 3.1. Standard k-ε türbülans modelindeki katsayılar

C_{μ}	0,09
$C_{1\varepsilon}$	1,44
$C_{2\varepsilon}$	1,92
TKE Prandtl	1
TDR Prandtl	1,3
Enerji prandtl	0,85
Duvar Prandtl	0,85

Çizelge 3.2. RNG k-ε türbülans modelindeki katsayılar

C_{μ}	0,0845
$C_{1\varepsilon}$	1,42
$C_{2\varepsilon}$	1,68
Duvar Prandtl	0,85

Çizelge 3.3. Realizable k-ε türbülans modelindeki katsayılar

$C_{2\varepsilon}$	1,9
TKE Prandtl	1
TDR Prandtl	1,2
Enerji prandtl	0,85
Duvar Prandtl	0,85

$C_{1\varepsilon}$ ve $C_{2\varepsilon}$ katsayılarının modifikasyonu yapılırken k-ε türbülans modelinde yaygın olarak kullanılan denklem 2.5 göz önüne alınmıştır.

$$\frac{P}{\varepsilon} - 1 = \frac{C_{2\varepsilon} - C_{1\varepsilon}}{C_{1\varepsilon} - 1} \quad (2.5)$$

Burada türbülans eddy üretiminin türbülans eddy yayılımına oranı $\frac{P}{\varepsilon} = 2$ olarak alınmıştır.

Denklem 2.5 ten elde edilen yeni $C_{1\varepsilon}$ ve $C_{2\varepsilon}$ değerleri çizelge 3.4., 3.5., 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Standard k-ε türbülans modeli için önerilen $C_{1\varepsilon}$ ve $C_{2\varepsilon}$ katsayıları

$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$
1,415	1,83
1,43	1,86
1,445	1,89
1,475	1,95
1,49	1,98
1,505	2,01

Çizelge 3.5. RNG k-ε türbülans modeli için önerilen $C_{1\varepsilon}$ ve $C_{2\varepsilon}$ katsayıları

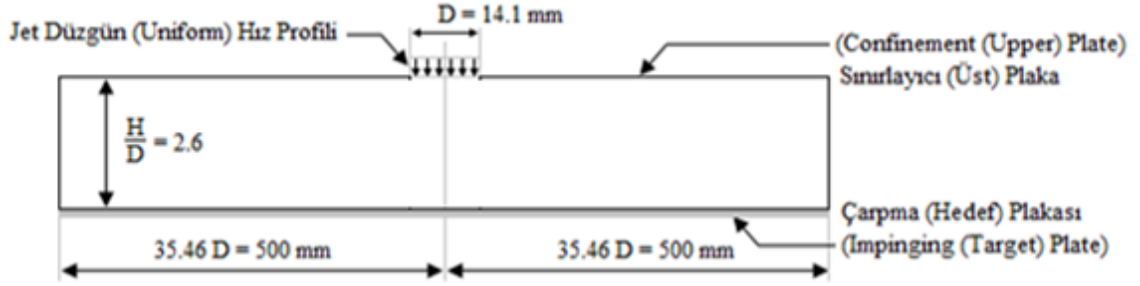
$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$
1,295	1,59
1,31	1,62
1,325	1,65
1,355	1,71
1,37	1,74
1,385	1,77

Çizelge 3.6. Realizable k-ε türbülans modeli için önerilen $C_{2\varepsilon}$ katsayıları

$C_{2\varepsilon}$
1,81
1,84
1,87
1,93
1,96
1,99

3. 4. Geometri Ölçüleri

İlk geometri olarak van Heiningen ve ark. (2002) deneysel olarak çalıştıkları geometri kullanılmıştır.

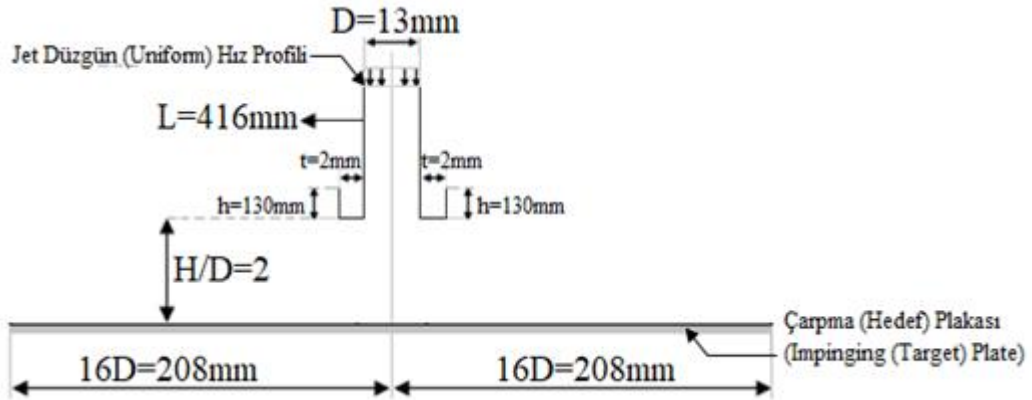


Şekil 3.2. Birinci geometrinin ölçüleri

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi jet geometrisi simetrik olup lüle çapı $D=14,1$ mm dir.

Çarpma plakası uzunluğu simetri ekseninden her iki tarafa $35,46D$ olup çarpma plakasından lüle çıkışına kadarki mesafe $H=2,6D$ olarak alınmıştır.

İkinci geometri olarak Alimohammadi ve ark. (2014) deneysel olarak çalıştıkları geometri kullanılmıştır.

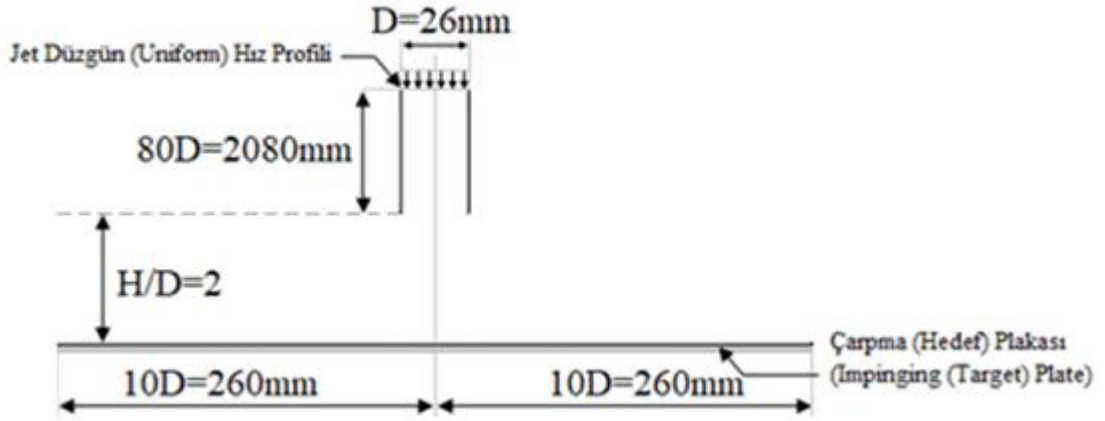


Şekil 3.3. İkinci geometrinin ölçüleri

Şekil 3.3’de görüldüğü gibijet geometrisi simetrik olup lüle çapı $D=13$ mm dir.

Çarpma plakası uzunluğu simetri ekseninden her iki tarafa $16D$ olup çarpma plakasından lüle çıkışına kadarki mesafe $H=2D$ olarak alınmıştır.

Üçüncü geometri olarak Del Frate ve ark. (2011) deneysel olarak çalıştıkları geometri kullanılmıştır.

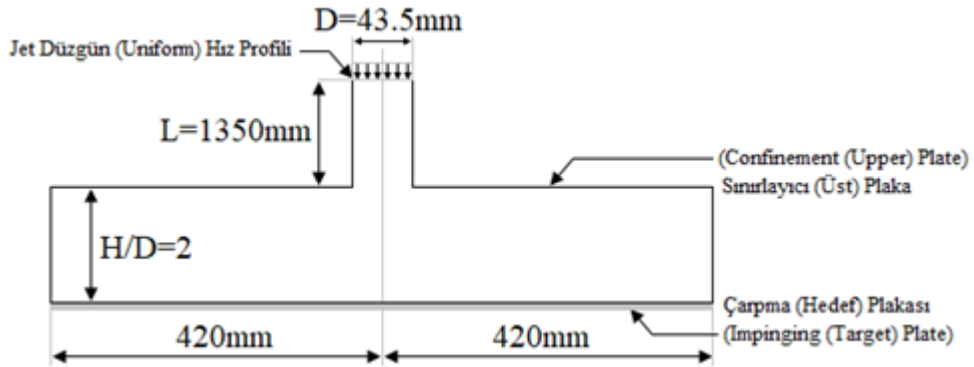


Şekil 3.4. Üçüncü geometrinin ölçüleri

Şekil 3.4’de görüldüğü gibi jet geometrisi simetrik olup lüle çapı $D=26$ mm dir.

Çarpma plakası uzunluğu simetri ekseninden her iki tarafa $10D$ olup çarpma plakasından lüle çıkışına kadarki mesafe $H=2D$ olarak alınmıştır.

Dördüncü geometri olarak Guerra ve ark. (2005) deneysel olarak çalıştıkları geometri kullanılmıştır.



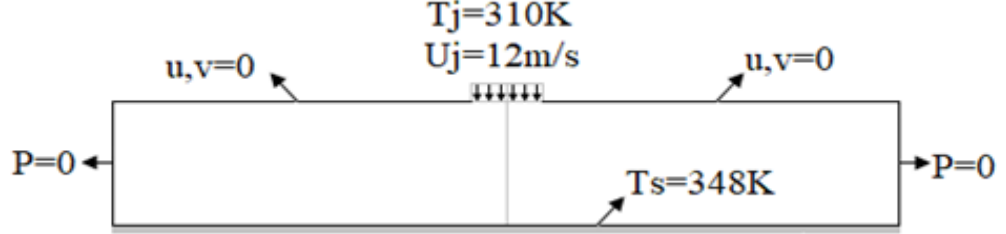
Şekil 3.5. Dördüncü geometrinin ölçüleri

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi jet geometrisi simetrik olup lüle çapı $D=43,5$ mm dir.

Çarpma plakası uzunluğu simetri ekseninden her iki tarafa 420 mm olup çarpma plakasından lüle çıkışına kadarki mesafe $H=2D$ olarak alınmıştır.

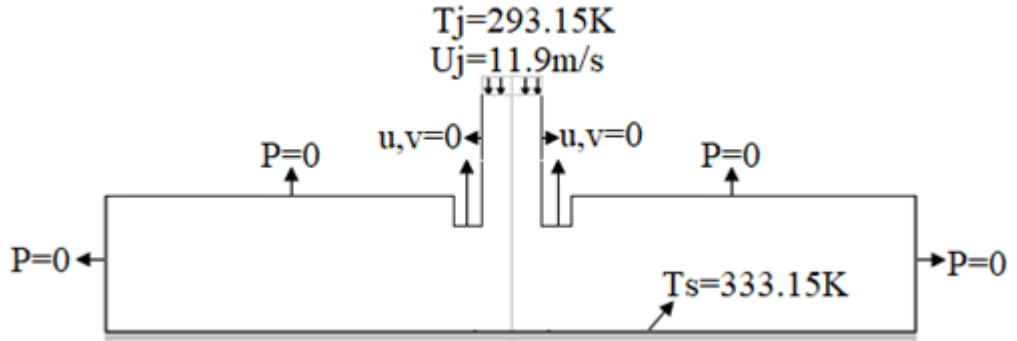
3. 5. Sınır Şartları

Birinci geometri sınırlandırılmış ve sabit yüzey sıcaklığına sahip jettir.



Şekil 3.6. Birinci geometrinin sınır şartları

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi lüle çıkışından 310 K sıcaklığında ve 12m/s hızında hava girişi olmaktadır. Çarpma plakası uniform 348 K sıcaklığında olup sınırlayıcı üst plaka sabit duvar olarak kabul edilmiştir. Hava çıkışı atmosfer basıncındaki ortama olmaktadır. İkinci geometri sınırlandırılmamış (daldırma) ve sabit yüzey sıcaklığına sahip jettir.



Şekil 3.7. İkinci geometrinin sınır şartları

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi lüle çıkışından sisteme 293,15 K sıcaklığında ve 11,9 m/s hızında hava girişi olmaktadır. Çarpma plakası uniform 333,15 K sıcaklığında olup modelde sınırlayıcı üst plaka bulunmamaktadır. Hava çıkışı atmosfer basıncındaki ortama olmaktadır.

Üçüncü geometri sınırlandırılmamış(daldırma) ve sabit ısı akısına sahip jettir.

Çizelge 3.7. Kullanılan sınır şartları

1.geometri	Sınırlandırılmış	Sabit yüzey sıcaklığı	van Heiningen geometrisi
2.geometri	Sınırlandırılmamış	Sabit yüzey sıcaklığı	Alimohammadi geometrisi
3.geometri	Sınırlandırılmamış	Sabit ısı akısı	Del Frate geometrisi
4.geometri	Sınırlandırılmış	Sabit ısı akısı	Guerra geometrisi

3. 6. Fluentte Kullanılan Özellikler

Analizlerde kullanılan akışkan olan havanın termofiziksel özellikleri çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Havanın termofiziksel özellikleri

Yoğunluk	1,1281 kg/m ³
Özgül ısı	1007,4 J/kgK
Isıl iletkenlik	0,02704 W/mK
Dinamik viskozite	1,906×10 ⁻⁵ Kg/ms

Fluent'te kullanılan çözücü özellikleri çizelge 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Fluent'te çözücü özellikleri

Çözücü tipi	Basınç tabanlı
Rejim tipi	Sürekli rejim
Hız formülasyonu	Mutlak
Düzlemsel/eksenel simetri	Düzlemsel
Yerçekimi etkisi	Yok

Fluent'te kullanılan ön tanımlı rölaksasyon katsayıları çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Fluentte rölaksasyon katsayıları

Basınç	0,5
Momentum	0,5
Yoğunluk	1
Body kuvvetleri	1
Türbülans kinetik enerji	0,75
Spesifik yayılım oranı	0,75
Türbülans viskozitesi	1
Enerji	0,75

Fluent'te $k-\omega$ türbülans modelinde kullanılan yakınsama kriterleri çizelge 3.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. Fluentte k- ω modelinde yakınsama kriterleri

Süreklilik	0,001
x yönündeki hız	0,001
y yönündeki hız	0,001
Enerji	10^{-6}
K	0,001
ω	0,001

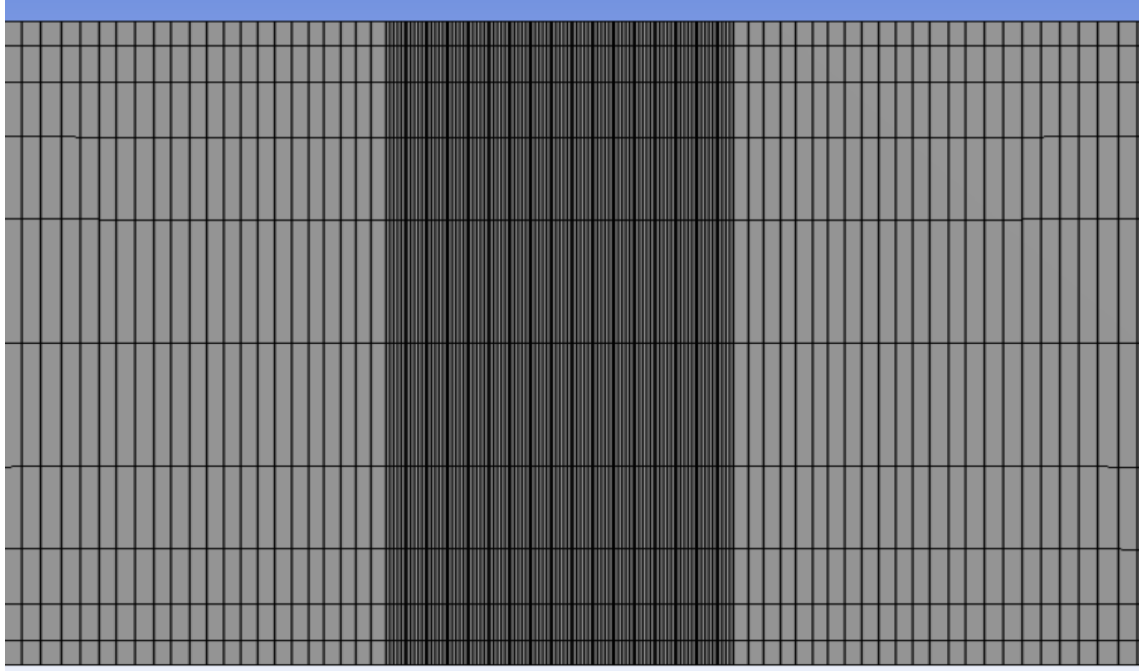
Fluent'te k- ϵ türbülans modelinde kullanılan yakınsama kriterleri çizelge 3.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Fluentte k- ϵ modelinde yakınsama kriterleri

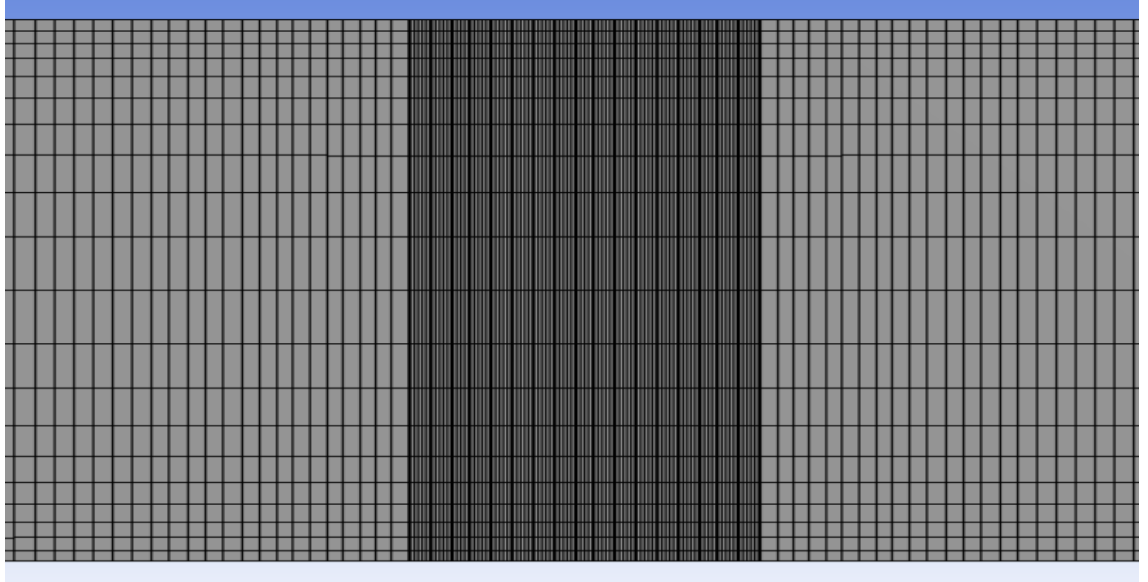
Süreklilik	0,001
x yönündeki hız	0,001
y yönündeki hız	0,001
Enerji	10^{-6}
K	0,001
ϵ	0,001

3. 7. Ağdan Bağımsızlık Çalışması

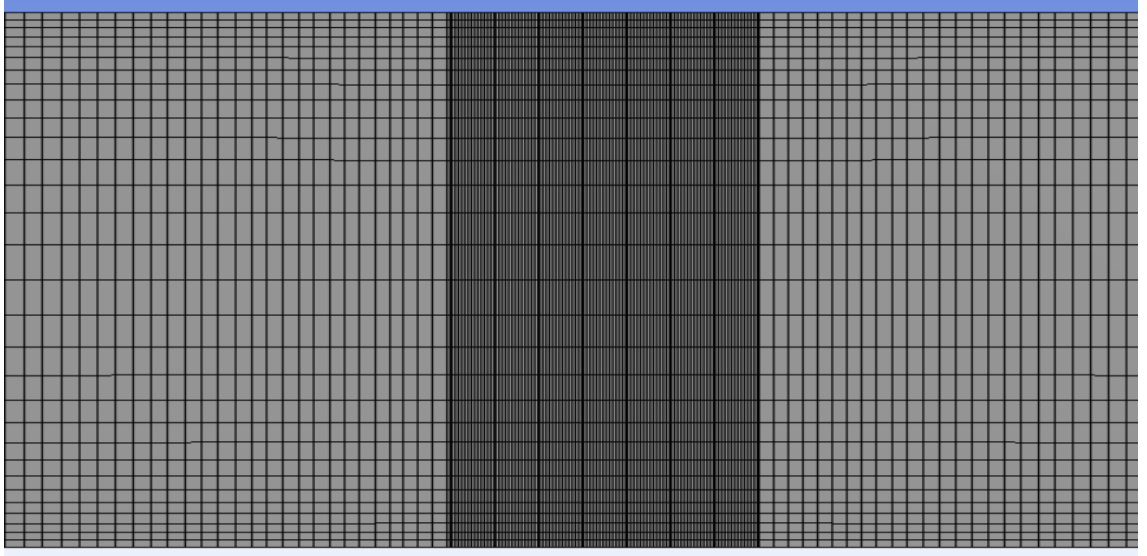
Sabit yüzey sıcaklığına sahip sınırlandırılmış geometride (van Heiningen geometrisi) farklı ağ yapıları şekil 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16'da gösterilmiştir.



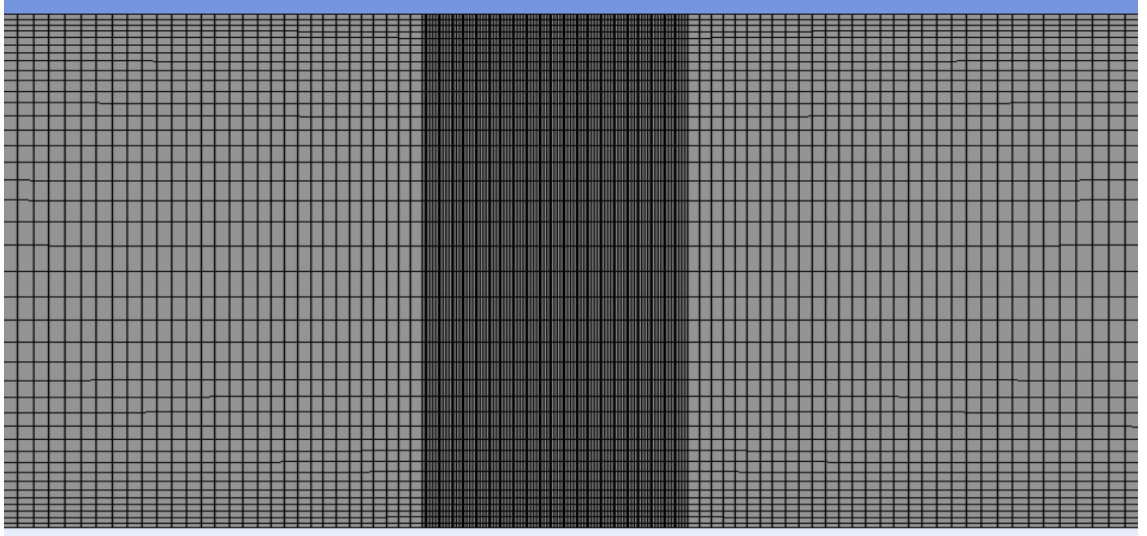
Şekil 3.10. van Heiningen geometrisinin 5000 elemanlı ağ yapısı



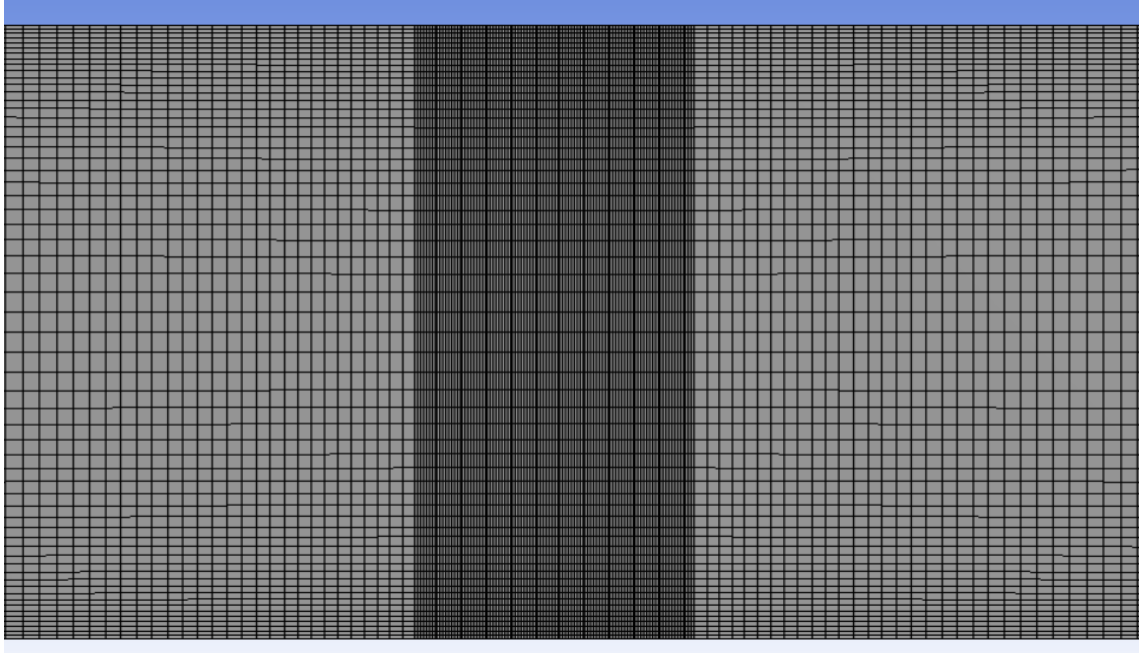
Şekil 3.11. van Heiningen geometrisinin 10000 elemanlı ağ yapısı



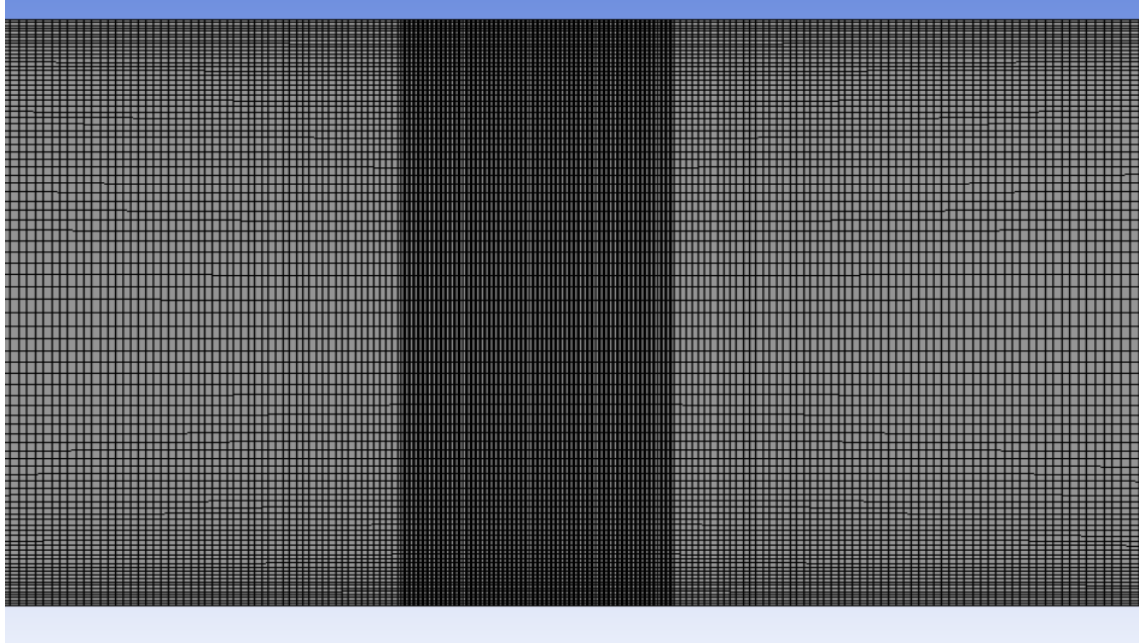
Şekil 3.12. van Heiningen geometrisinin 15000 elemanlı ağ yapısı



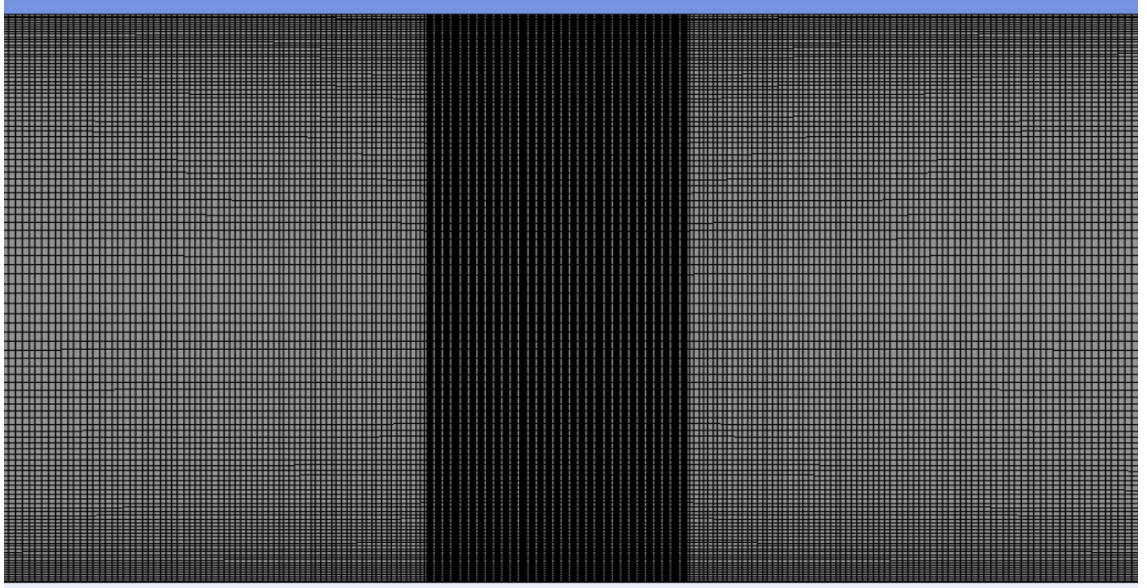
Şekil 3.13. van Heiningen geometrisinin 20000 elemanlı ağ yapısı



Şekil 3.14. van Heiningen geometrisinin 30000 elemanlı ağ yapısı

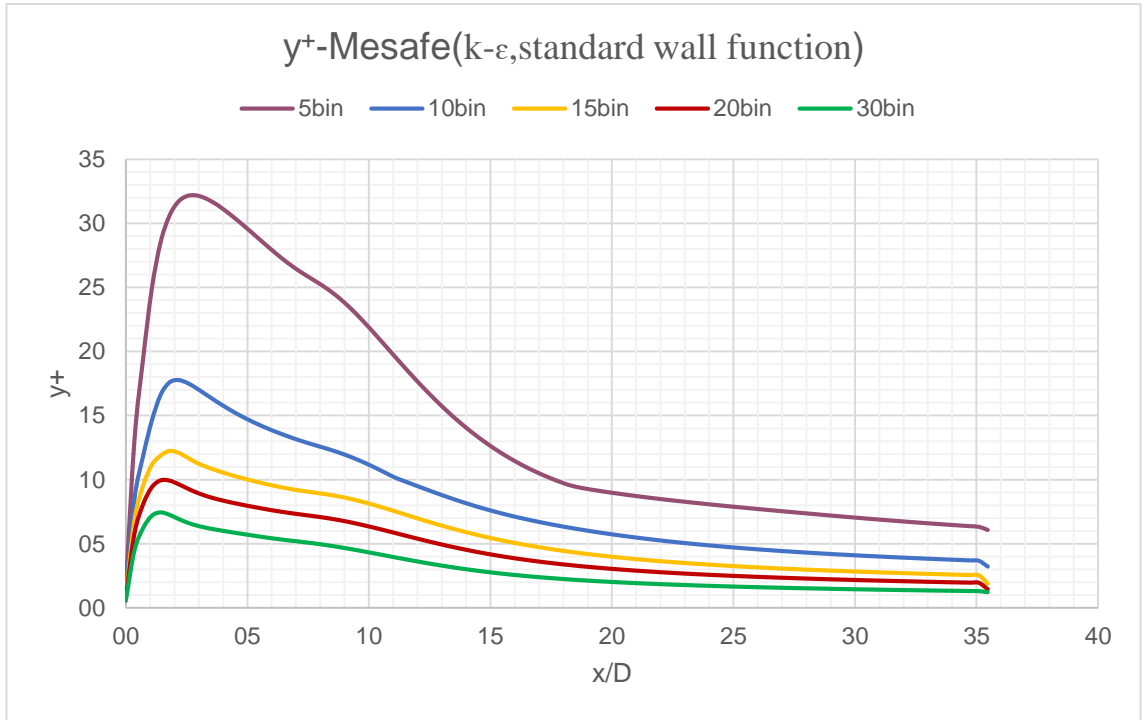


Şekil 3.15. van Heiningen geometrisinin 82000 elemanlı ağ yapısı



Şekil 3.16. van Heiningen geometrisinin 133000 elemanlı ağ yapısı

van Heiningen geometrisinin $k-\epsilon$ modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.17'de gösterilmektedir.



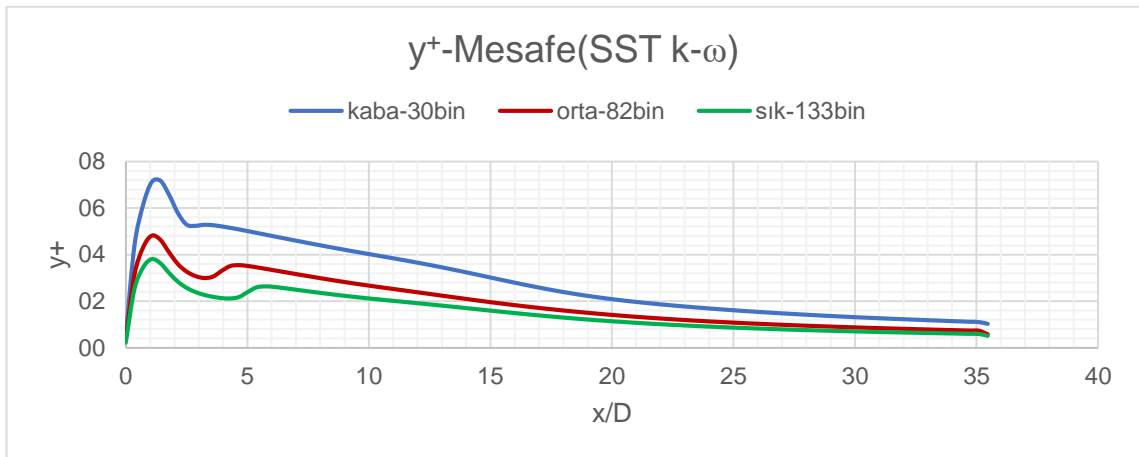
Şekil 3.17. van Heiningen geometrisinin $k-\epsilon$ modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

van Heiningen geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.13. Van Heiningen geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	max y^+	min y^+	ortalama y^+
5bin	32,2	1,5	14,5
10bin	17,8	1	8
15bin	12,2	0,8	5,7
20bin	9,9	0,7	4,4
30bin	7,4	0,5	3,1

van Heiningen geometrisinin SST k-ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.18’de gösterilmiştir.



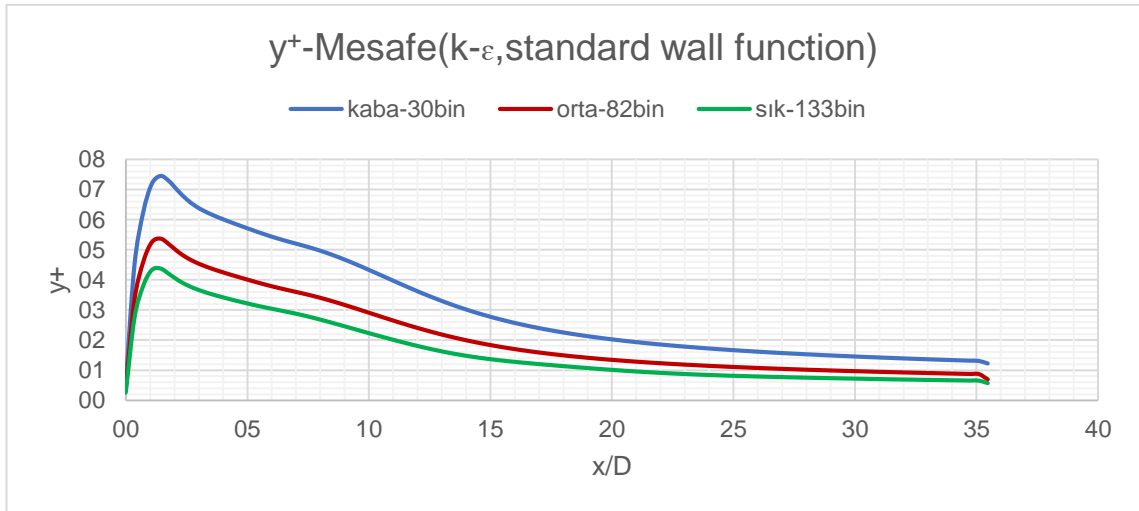
Şekil 3.18. van Heiningen geometrisinin SST k-ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

van Heiningen geometrisinin SST k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. van Heiningen geometrisinin SST k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	Max y^+	Min y^+	Ortalama y^+
30bin	7,2	0,5	2,9
82bin	4,8	0,3	1,9
133bin	3,8	0,2	1,5

van Heiningen geometrisinin k- ϵ modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.19’da gösterilmiştir.



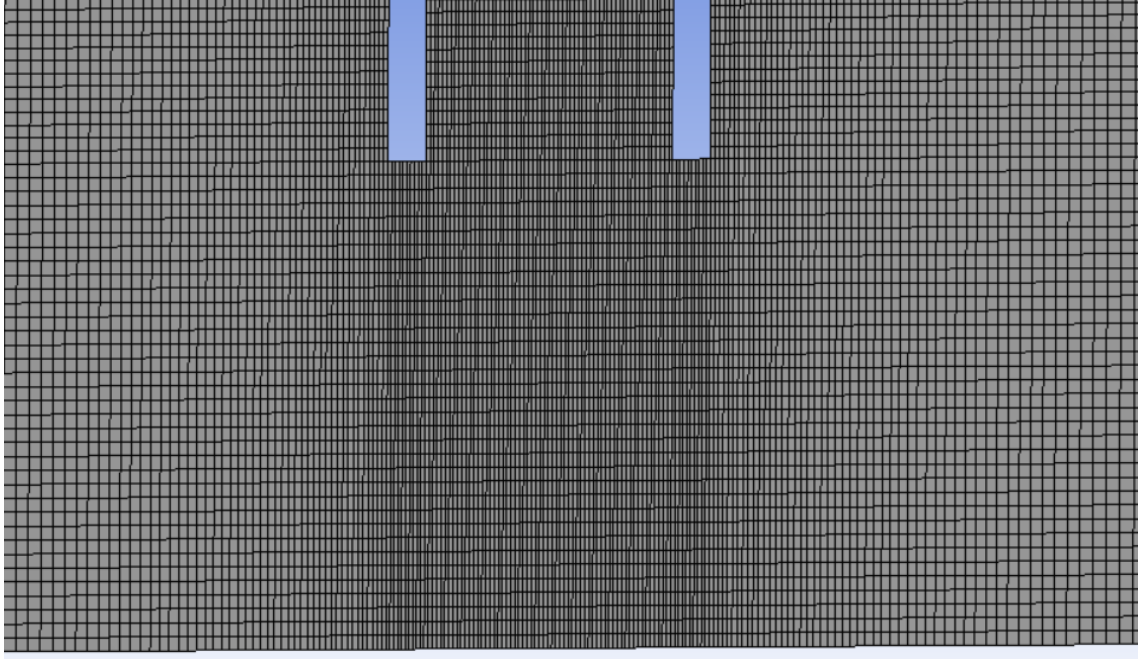
Şekil 3.19. van Heiningen geometrisinin k- ϵ modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

van Heiningen geometrisinin k- ϵ modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.15’de gösterilmiştir.

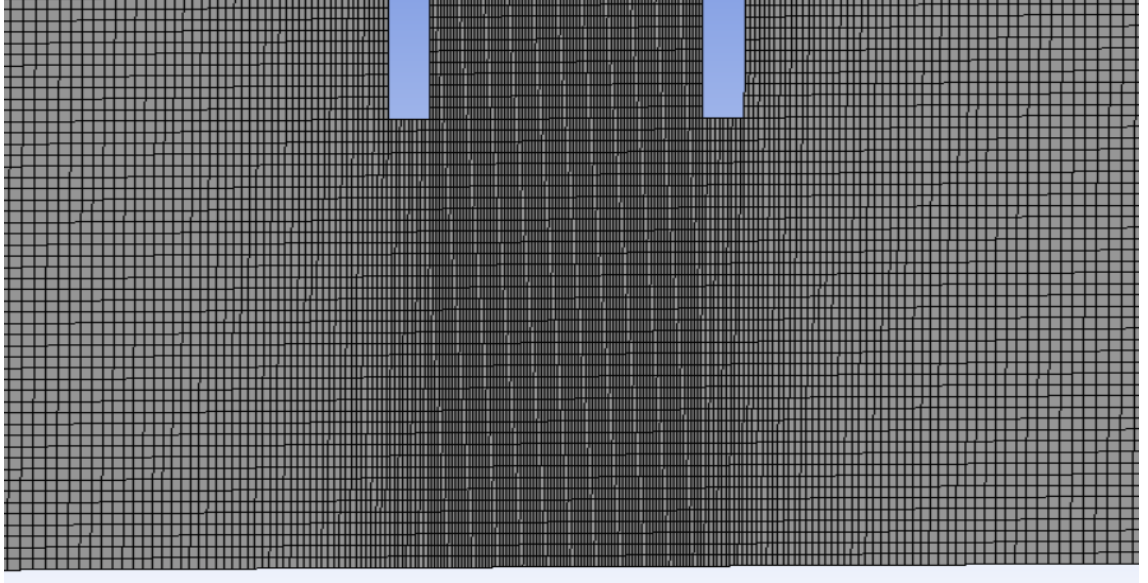
Çizelge 3.15. van Heiningen geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	Max y^+	Min y^+	Ortalama y^+
Kaba	7,4	0,5	3,1
Orta	5,4	0,4	2,1
Sık	4,4	0,3	1,6

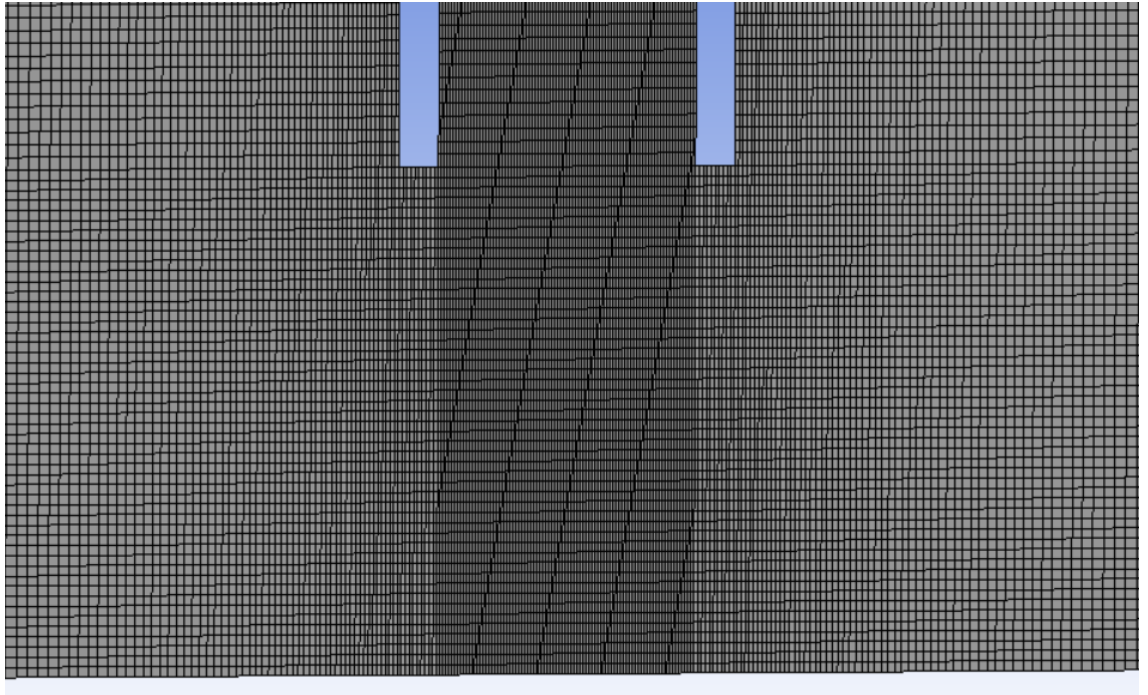
Sabit yüzey sıcaklığına sahip sınırlandırılmamış geometride (Alimohammadi geometrisi) farklı ağ yapıları şekil 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24’de gösterilmiştir.



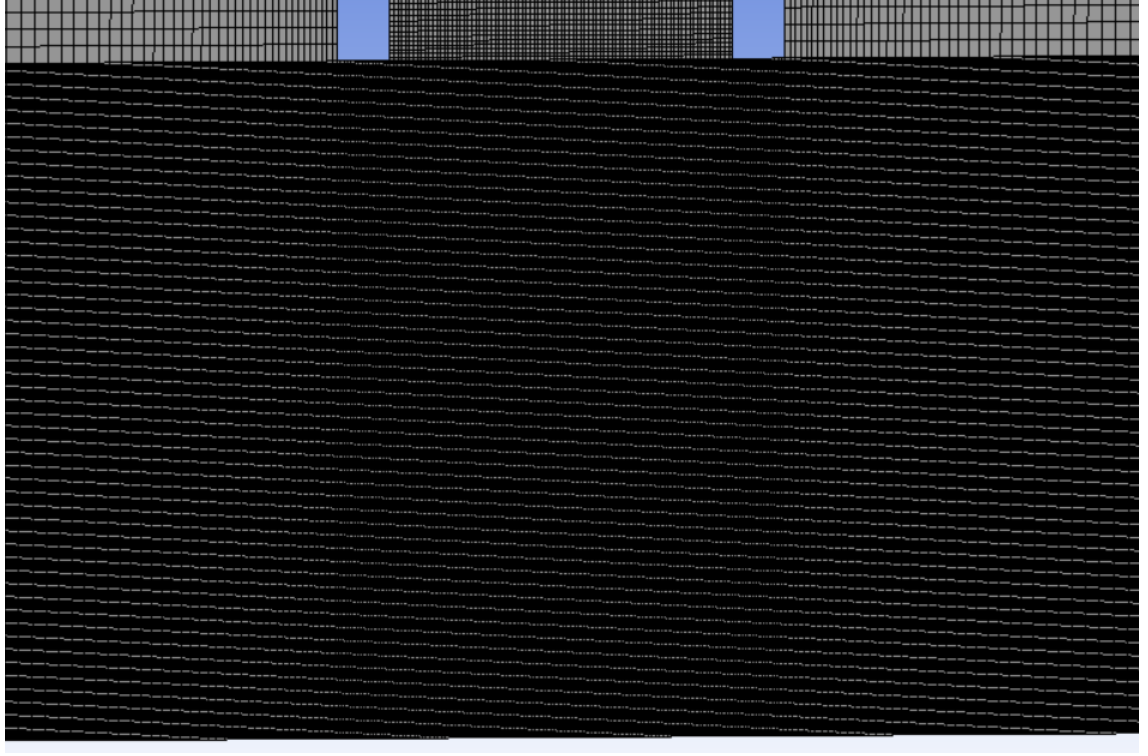
Şekil 3.20. Alimohammadi geometrisinin 100000 elemanlı ağ yapısı



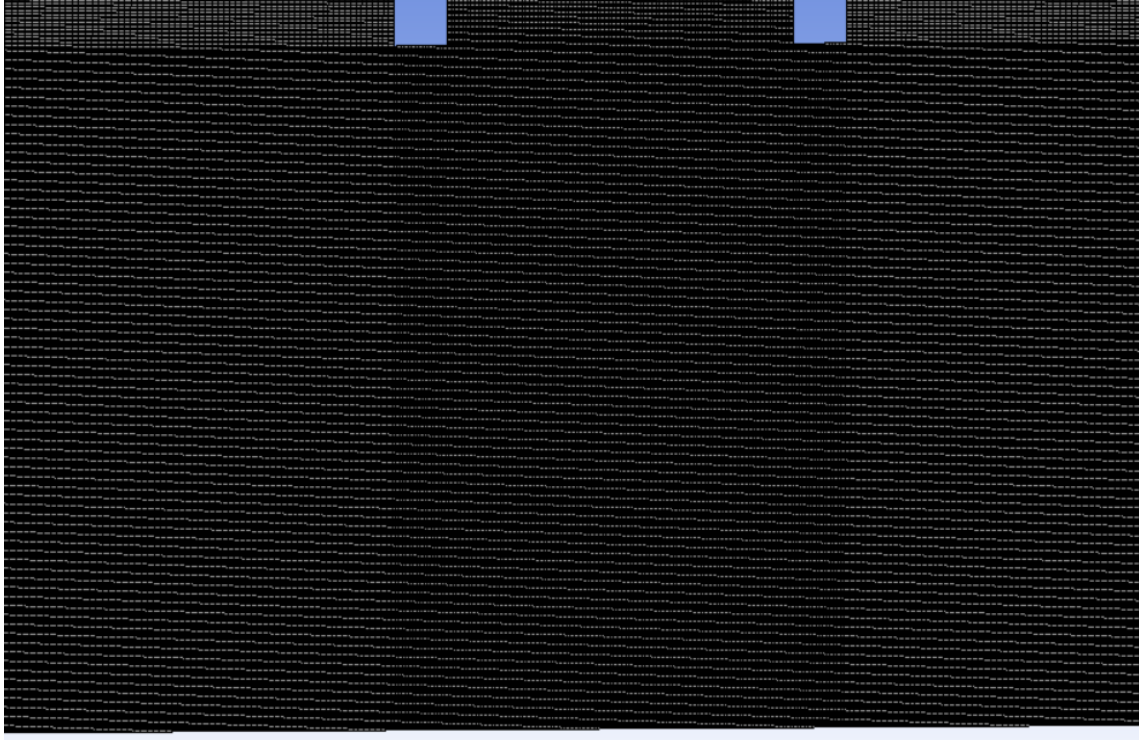
Şekil 3.21. Alimohammadi geometrisinin 121000 elemanlı ağ yapısı



Şekil 3.22. Alimohammadi geometrisinin 140000 elemanlı ağ yapısı

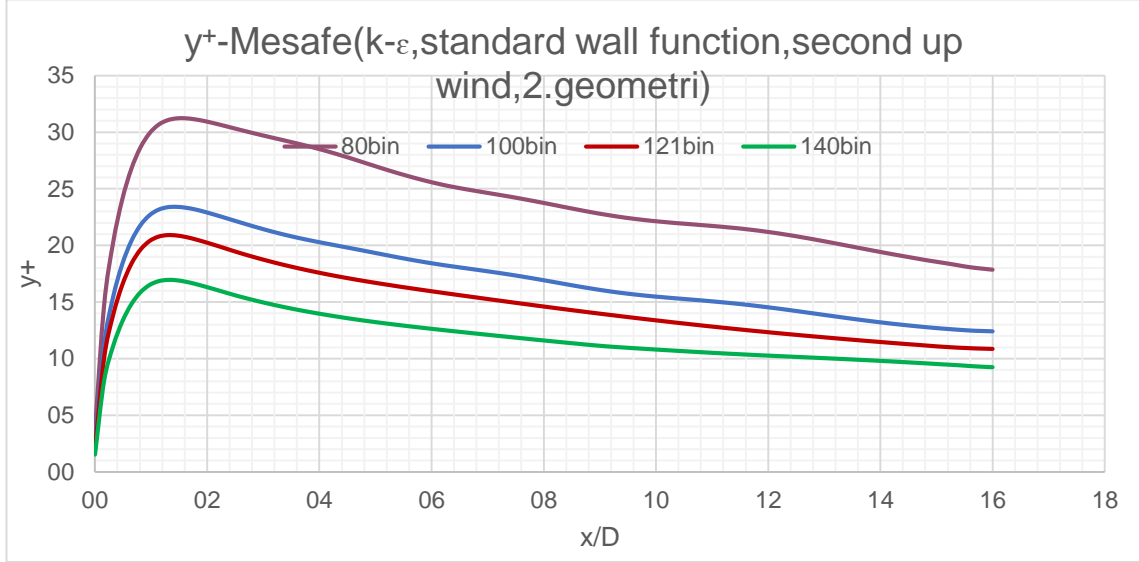


Şekil 3.23. Alimohammadi geometrisinin 200000 elemanlı ağ yapısı



Şekil 3.24. Alimohammadi geometrisinin 731000 elemanlı ağ yapısı

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.25’de gösterilmiştir.



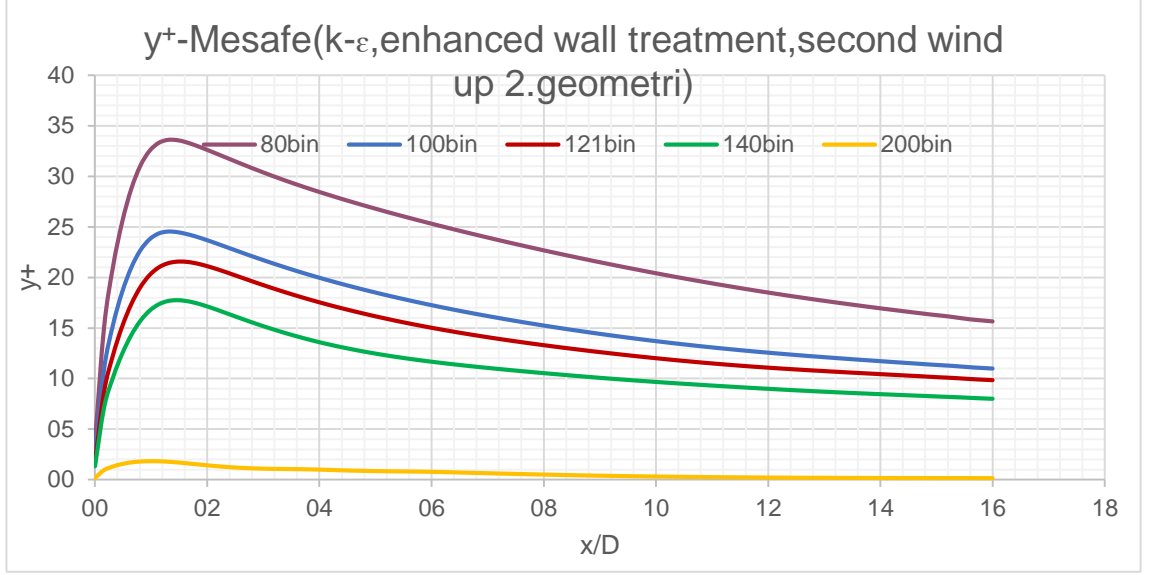
Şekil 3.25. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.16. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	Max y^+	Min y^+	Ortalama y^+
80bin	31,2	3,7	23,8
100bin	23,4	2,6	16,9
121bin	20,9	2	14,7
140bin	16,9	1,5	11,9

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.26'da gösterilmiştir.



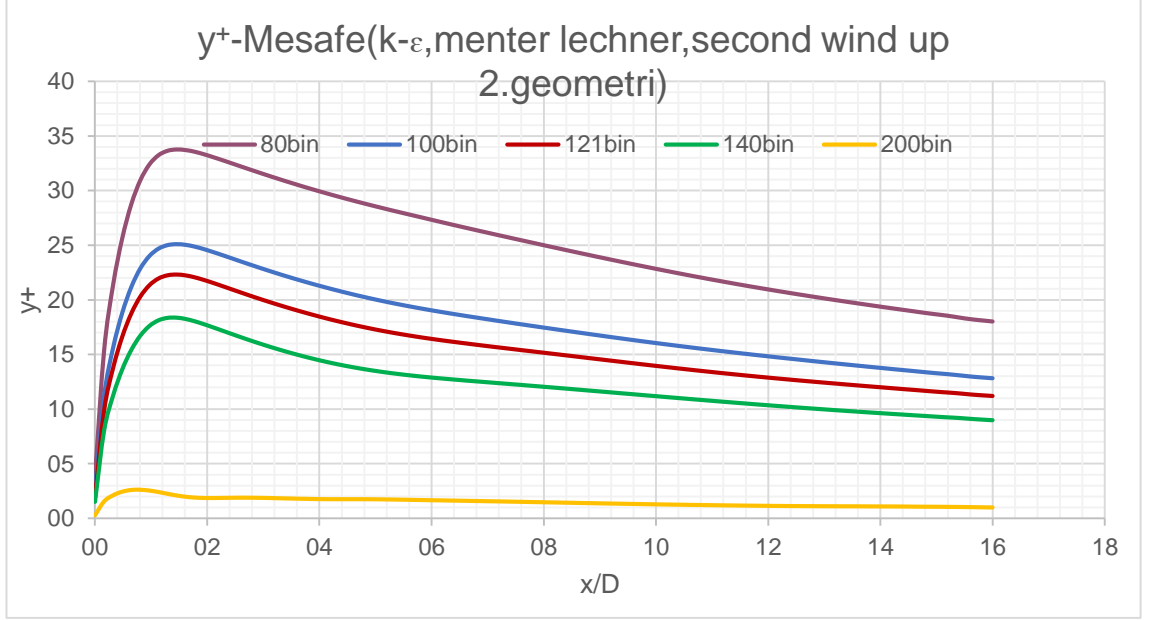
Şekil 3.26. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.17. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	Max y^+	Min y^+	Ortalama y^+
80bin	33,6	3,8	22,9
100bin	24,5	2,5	15,9
121bin	21,6	1,7	14
140bin	17,8	1,3	11,2
200bin	1,8	0,2	0,6

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.27'de gösterilmiştir.



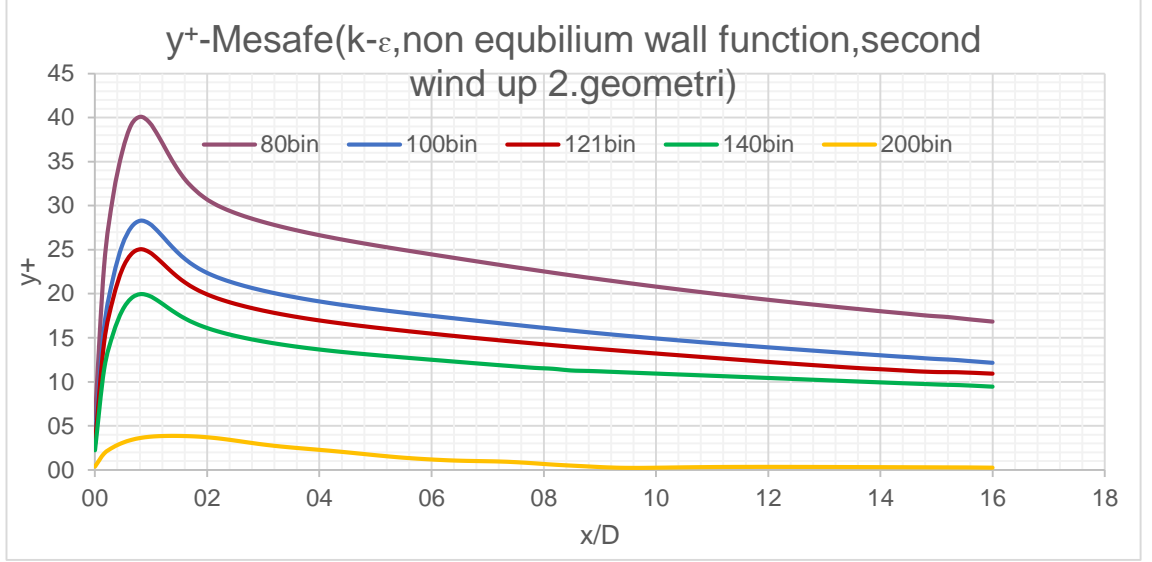
Şekil 3.27. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.18. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	max y^+	min y^+	ortalama y^+
80bin	33,8	3,8	24,8
100bin	25,1	2,5	17,6
121bin	22,3	1,9	15,4
140bin	18,4	1,5	12,3
200bin	2,6	0,3	1,5

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.28'de gösterilmiştir.



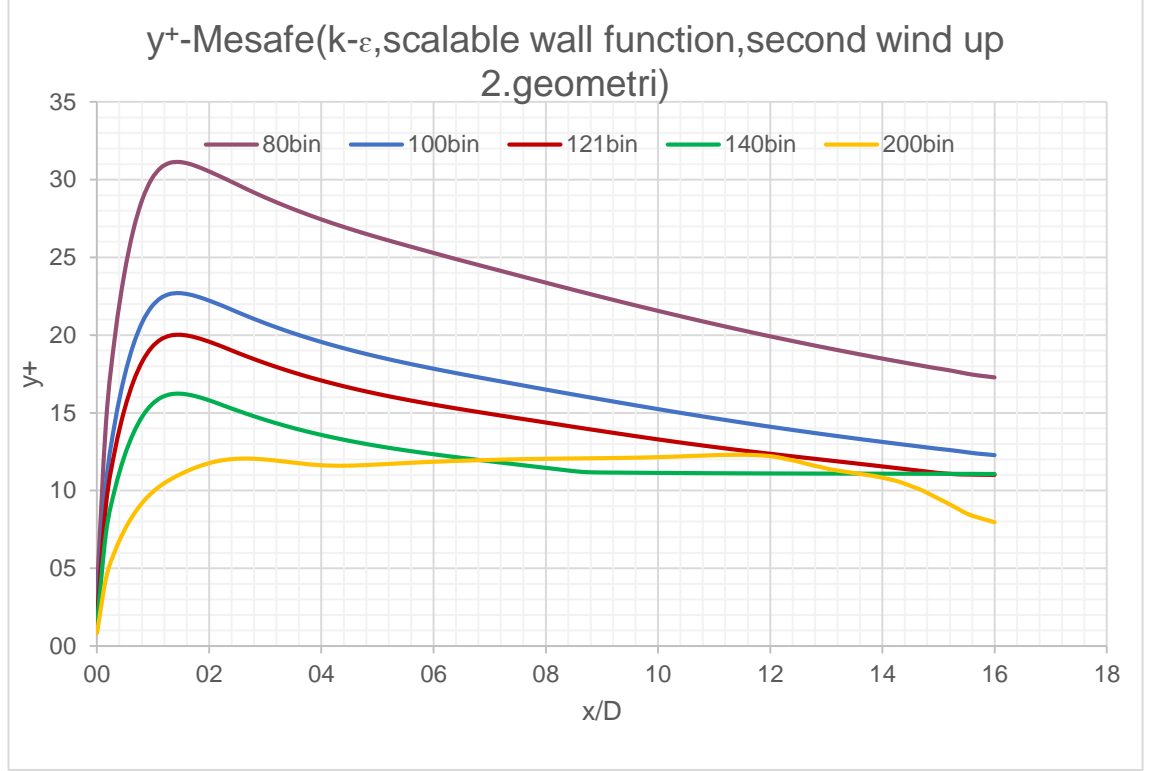
Şekil 3.28. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.19. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	max y^+	min y^+	ortalama y^+
80bin	40,1	5,9	23,4
100bin	28,3	3,8	16,8
121bin	25	2,9	14,9
140bin	20	2,2	12,2
200bin	3,8	0,2	1,2

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.29'da gösterilmiştir.



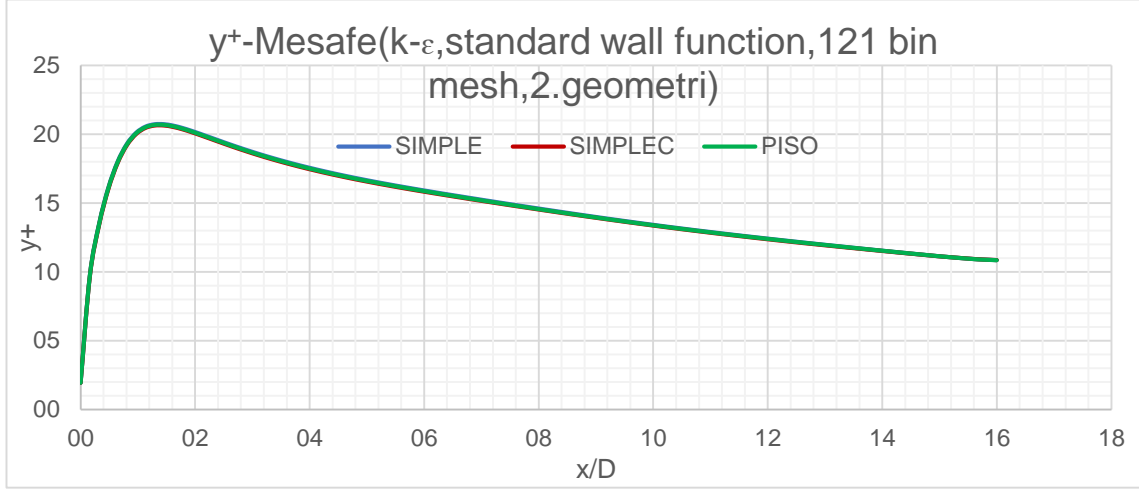
Şekil 3.29. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.20. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	Max y^+	Min y^+	Ortalama y^+
80bin	31,1	3,6	23,2
100bin	22,7	2,4	16,5
121bin	20	1,8	14,4
140bin	16,2	1,4	12,1
200bin	12,3	0,8	11,1

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı çözüm metodlarındaki y^+ değerleri şekil 3.30’da gösterilmiştir.



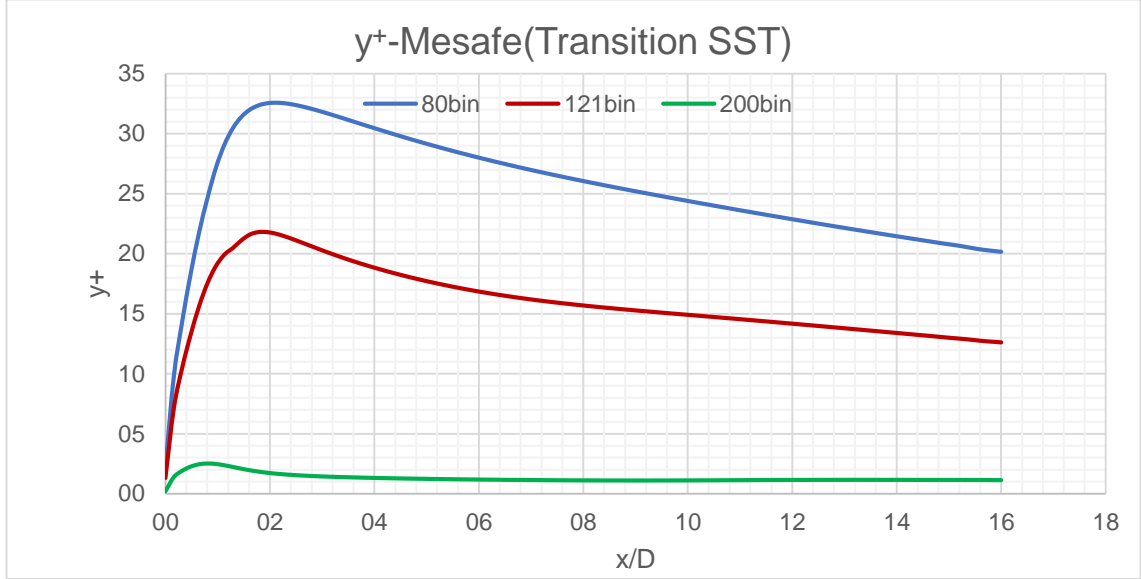
Şekil 3.30. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı çözüm metodlarındaki y^+ değerleri

Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı çözüm metodlarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.21. Alimohammadi geometrisinin k-ε modelinde farklı çözüm metodlarındaki y^+ karşılaştırması

	Max y^+	Min y^+	Ortalama y^+
SIMPLE	20,7	1,9	14,7
SIMPLEC	20,6	1,9	14,6
PISO	20,7	1,9	14,7

Alimohammadi geometrisinin Transition SST modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.31’de gösterilmiştir.



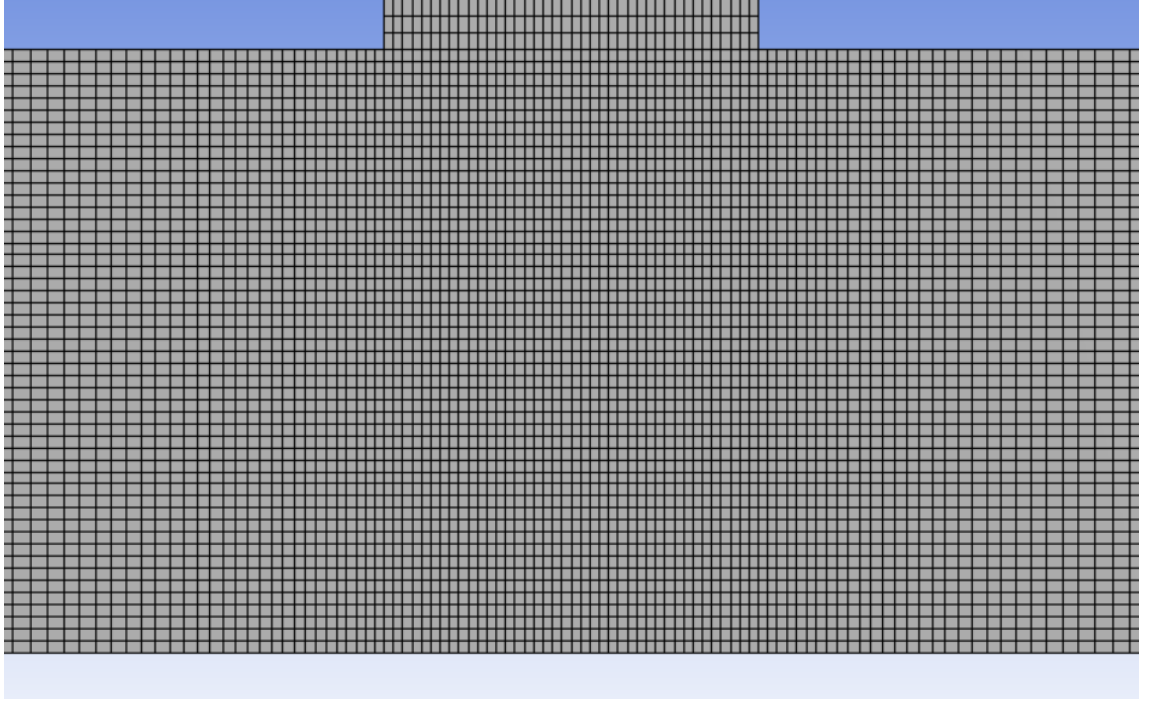
Şekil 3.31. Alimohammadi geometrisinin Transition SST modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

Alimohammadi geometrisinin k- ϵ modelinde farklı çözüm metodlarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.22’de gösterilmiştir.

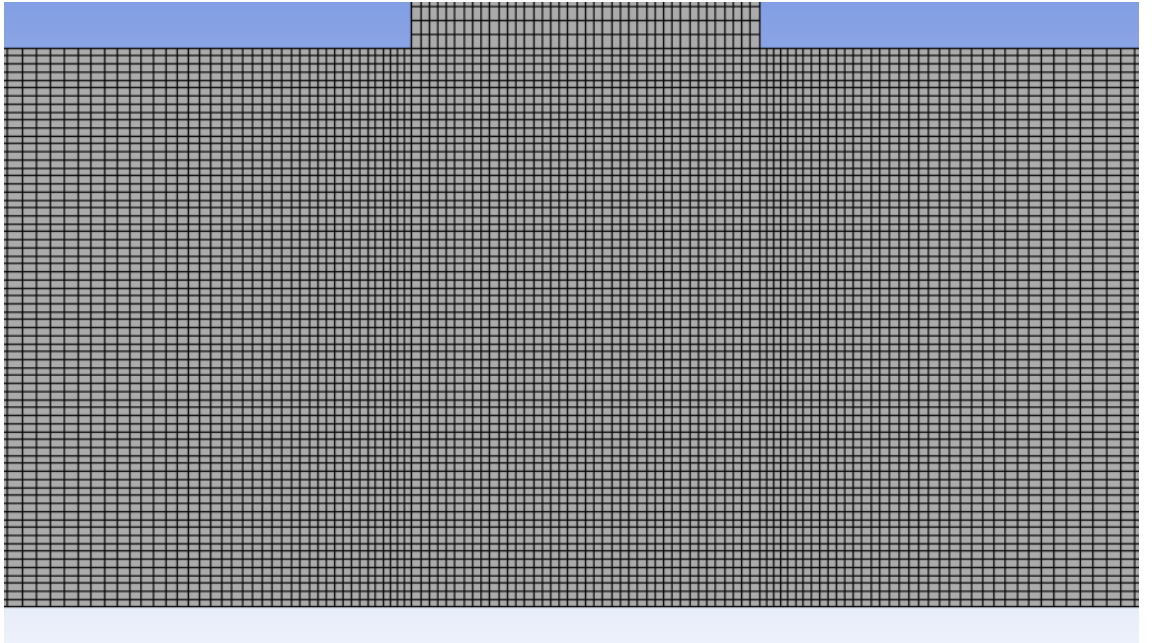
Çizelge 3.22. Alimohammadi geometrisinin Transition SST modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	Max y^+	Min y^+	Ortalama y^+
80bin	32,6	2,2	25,4
121bin	21,8	1,3	15,9
200bin	2,5	0,2	1,3

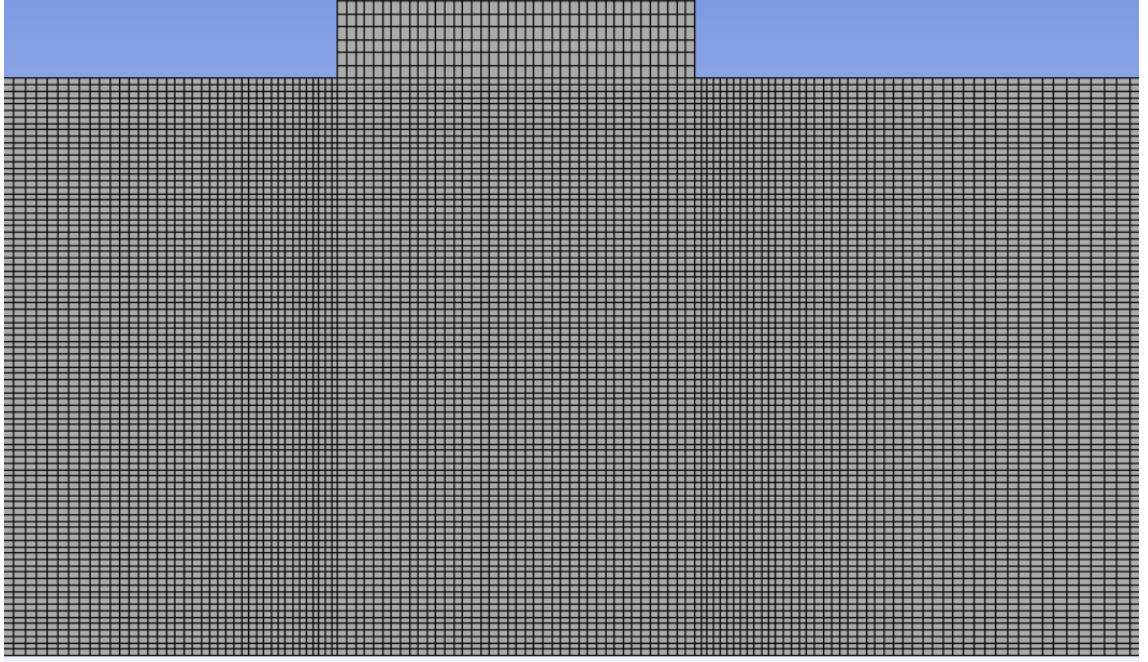
Sabit ısı akısına sahip sınırlandırılmamış geometride (Del Frate geometrisi) farklı ağ yapıları şekil 3.32, 3.33, 3.34, 3.35, 3.36, 3.37’de gösterilmiştir.



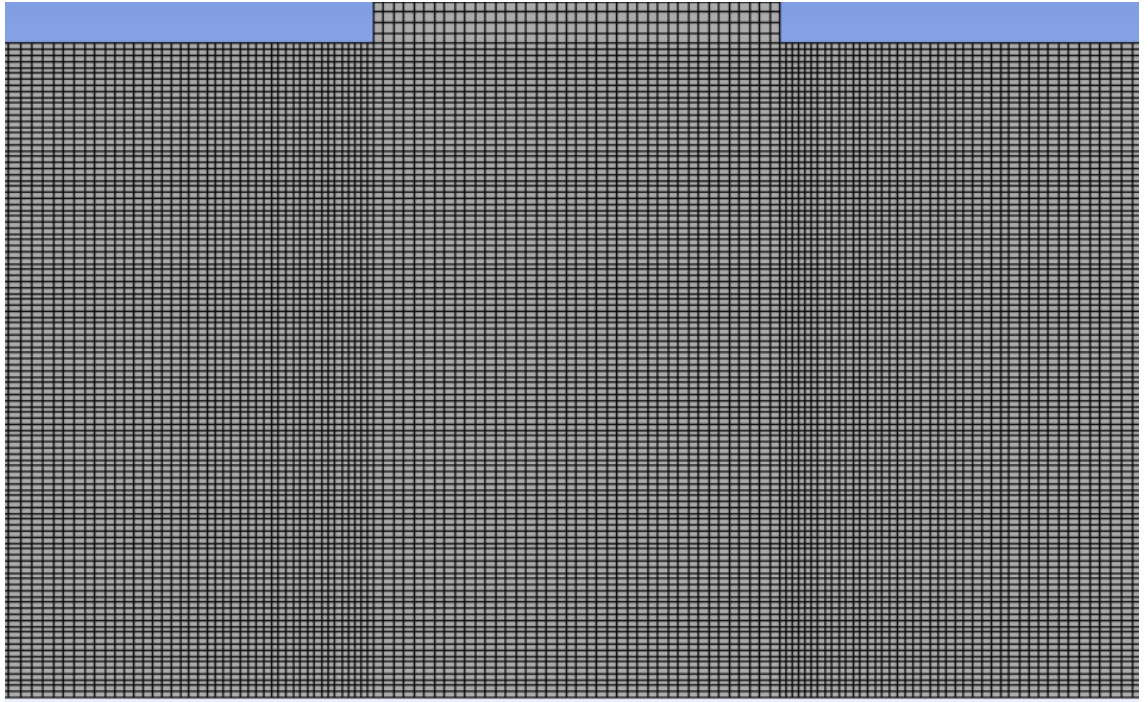
Şekil 3.32. Del Frate geometrisinin 68000 elemanlı ağ yapısı



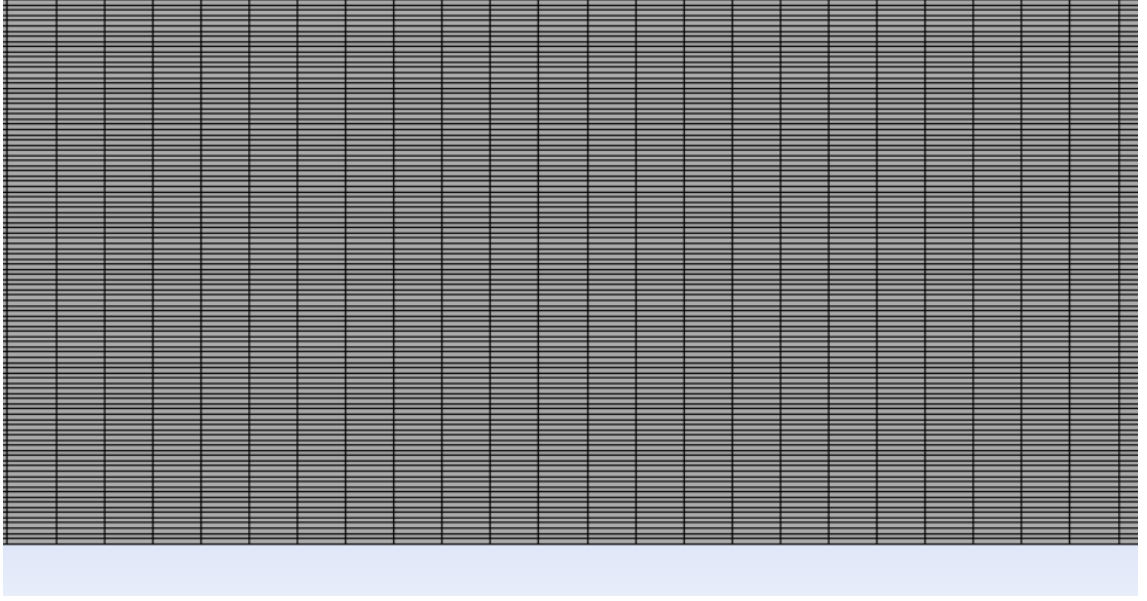
Şekil 3.33. Del Frate geometrisinin 83000 elemanlı ağ yapısı



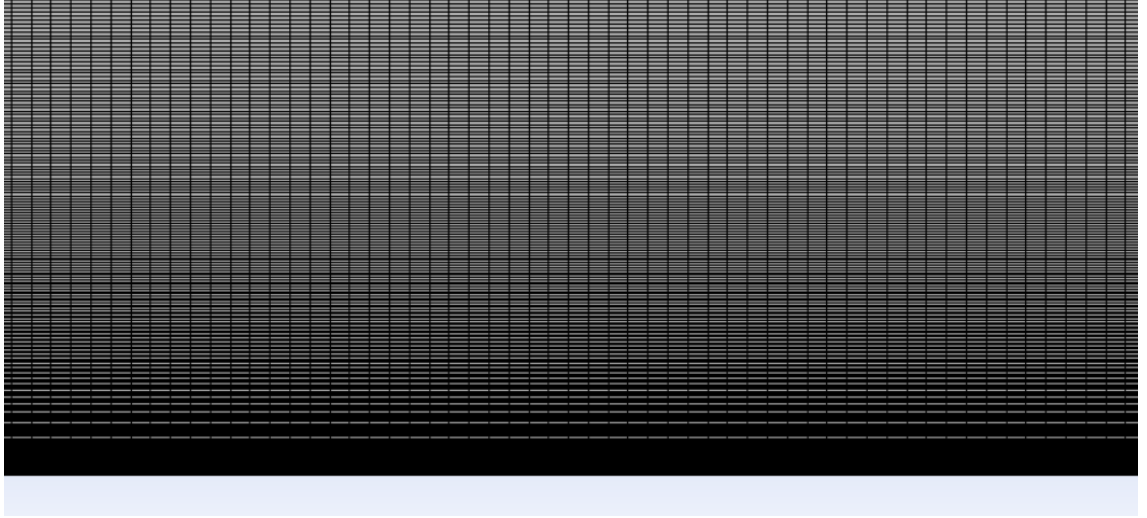
Şekil 3.34. Del Frate geometrisinin 100000 elemanlı ağ yapısı



Şekil 3.35. Del Frate geometrisinin 139000 elemanlı ağ yapısı

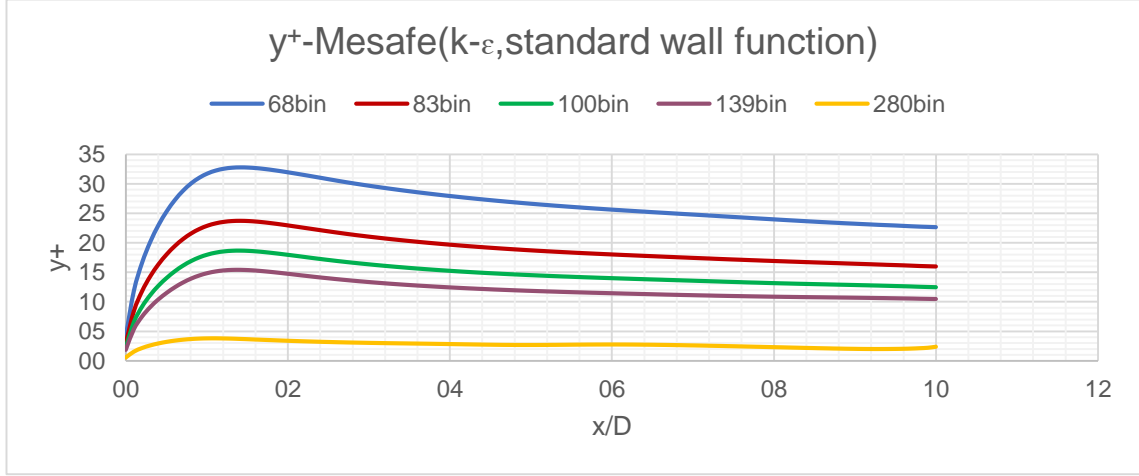


Şekil 3.36. Del Frate geometrisinin 280000 elemanlı ağ yapısı



Şekil 3.37. Del Frate geometrisinin 568000 elemanlı ağ yapısı

Del Frate geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.38’de gösterilmiştir.



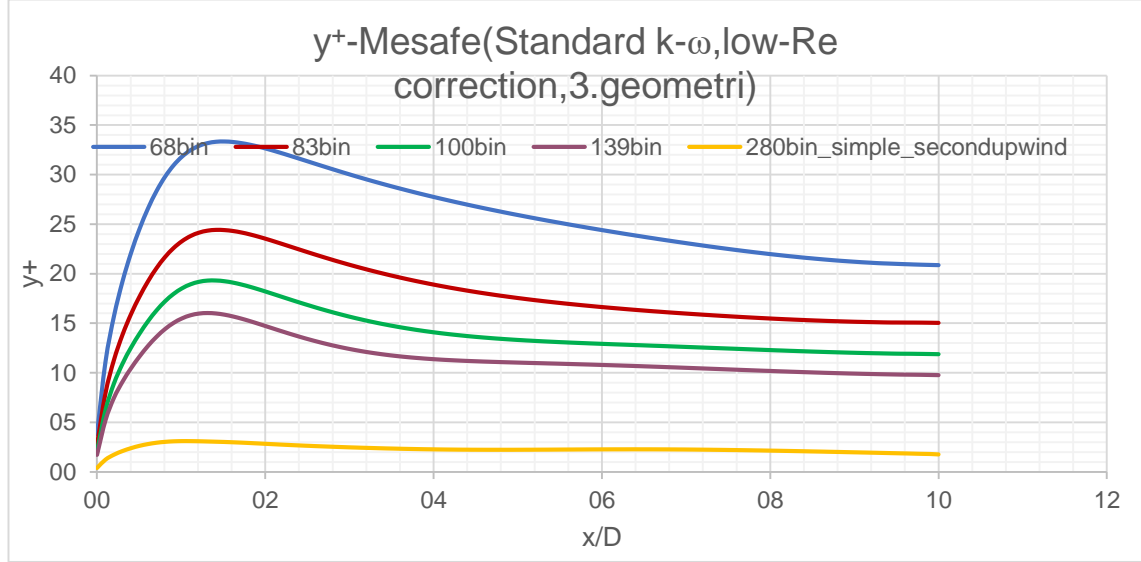
Şekil 3.38. Del Frate geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

Del Frate geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.23’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.23. Del Frate geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	Max y^+	Min y^+	Ortalama y^+
68bin	32,8	4,1	26,3
83bin	23,7	2,9	18,7
100bin	18,7	2,3	14,5
139bin	15,4	1,9	11,9
280bin	3,8	0,5	2,7

Del Frate geometrisinin Standard k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.39’da gösterilmiştir.



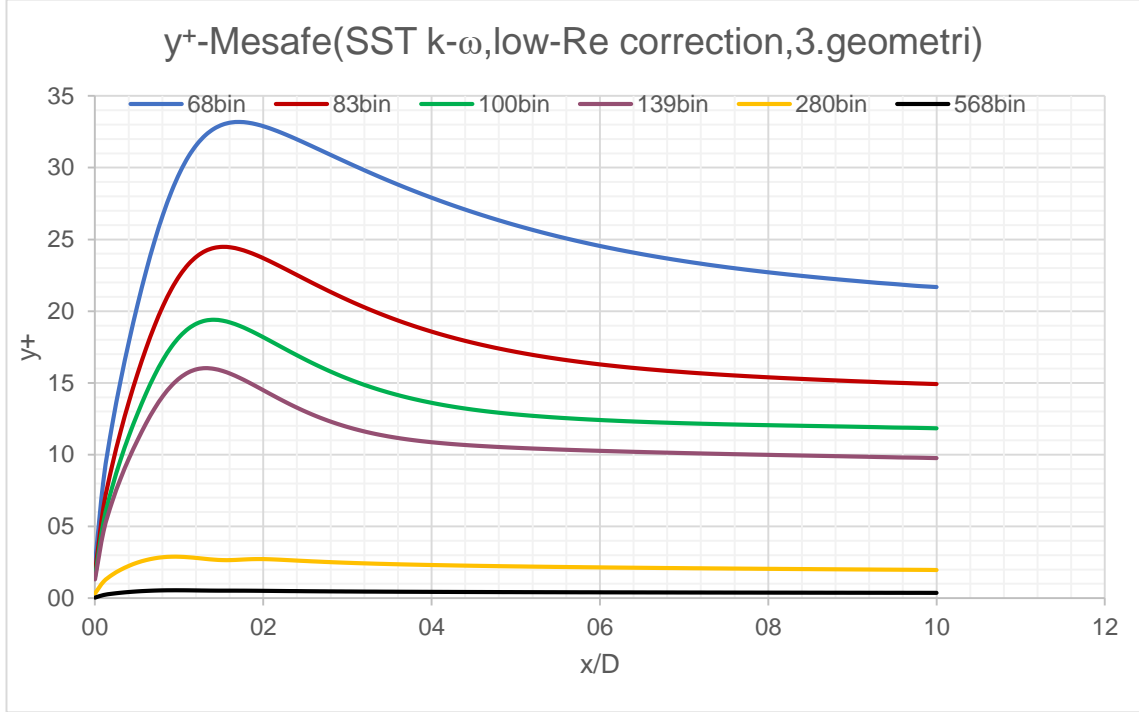
Şekil 3.39. Del Frate geometrisinin Standard k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

Del Frate geometrisinin Standard k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.24’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.24. Del Frate geometrisinin Standard k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	max y^+	min y^+	ortalama y^+
68bin	33,4	3,8	25,5
83bin	24,4	2,7	17,9
100bin	19,3	2,1	13,9
139bin	16	1,7	11,4
280bin	3,1	0,4	2,3

Del Frate geometrisinin SST k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri şekil 3.40'da gösterilmiştir.



Şekil 3.40. Del Frate geometrisinin SST k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

Del Frate geometrisinin SST k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması çizelge 3.25'de gösterilmiştir.

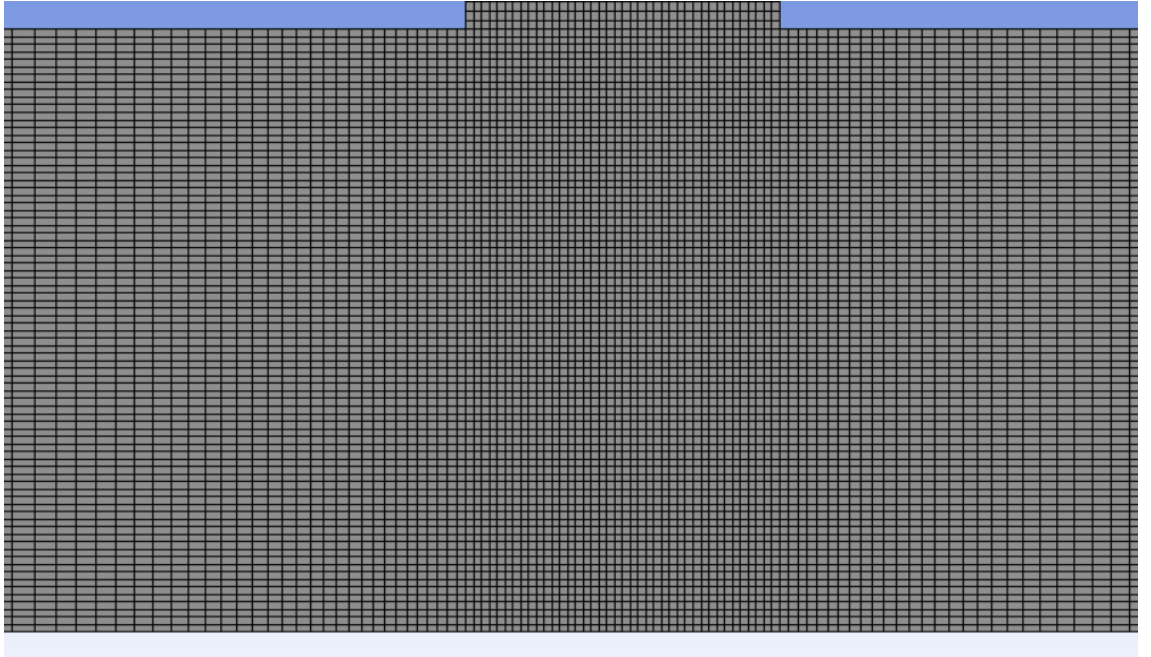
Çizelge 3.25. Del Frate geometrisinin SST k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	Max y^+	Min y^+	Ortalama y^+
68bin	33,2	2,4	25,5
83bin	24,5	1,8	17,6
100bin	19,4	1,5	13,5

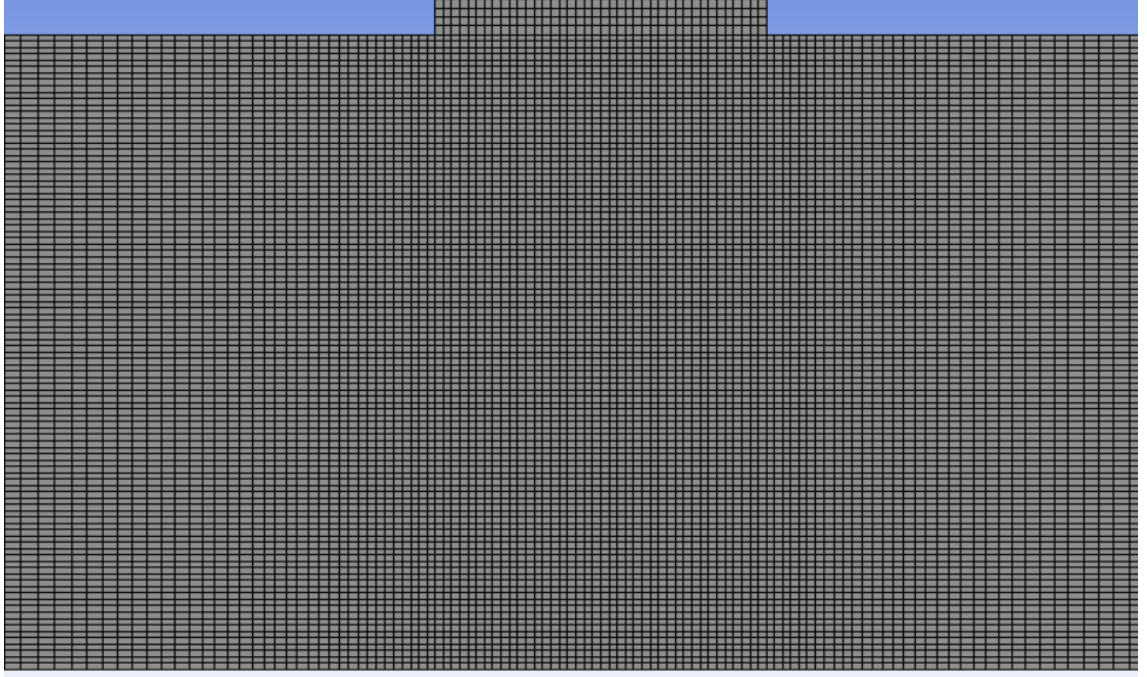
Çizelge 3.26. Del Frate geometrisinin SST k- ω modelinde farklı ağ yapılarındaki y+ karşılaştırması (devam)

139bin	16	1,3	11,1
280bin	2,9	0,3	2,2
568bin	0,6	0	0,4

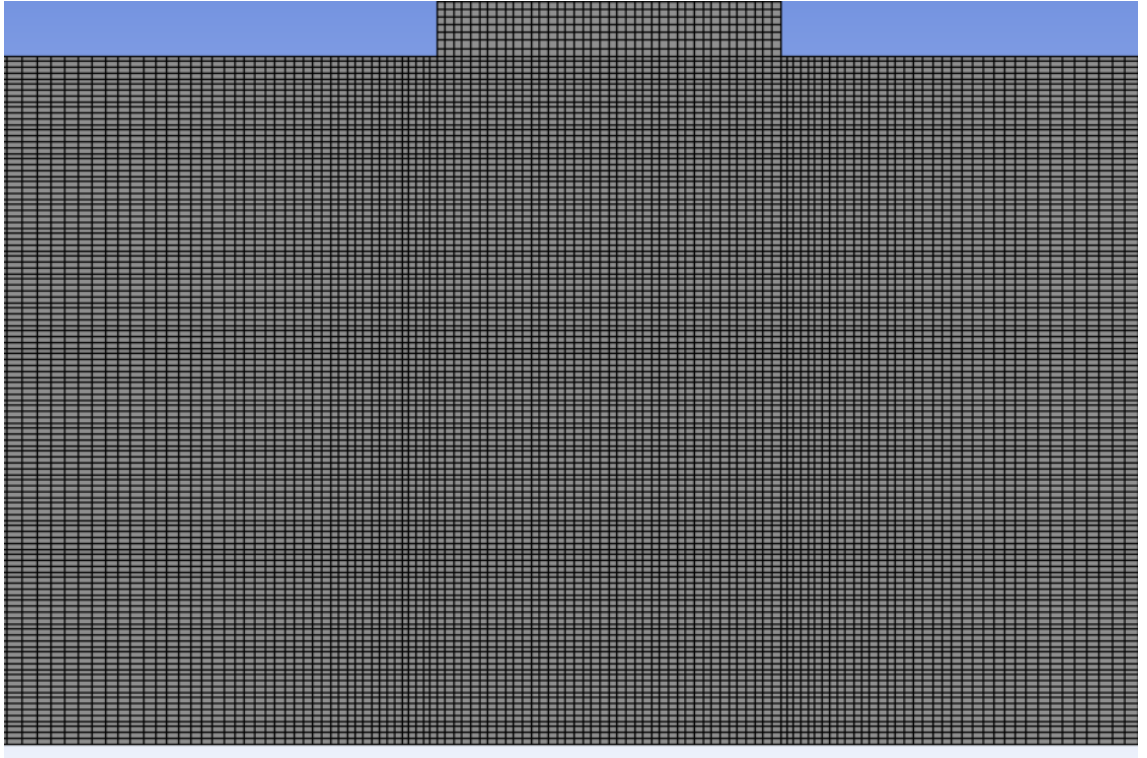
Sabit ısı akısına sahip sınırlandırılmış geometride (Guerra geometrisi) farklı ağ yapıları şekil 3.41, 3.42, 3.43, 3.44, 3.45, 3.46'da gösterilmiştir.



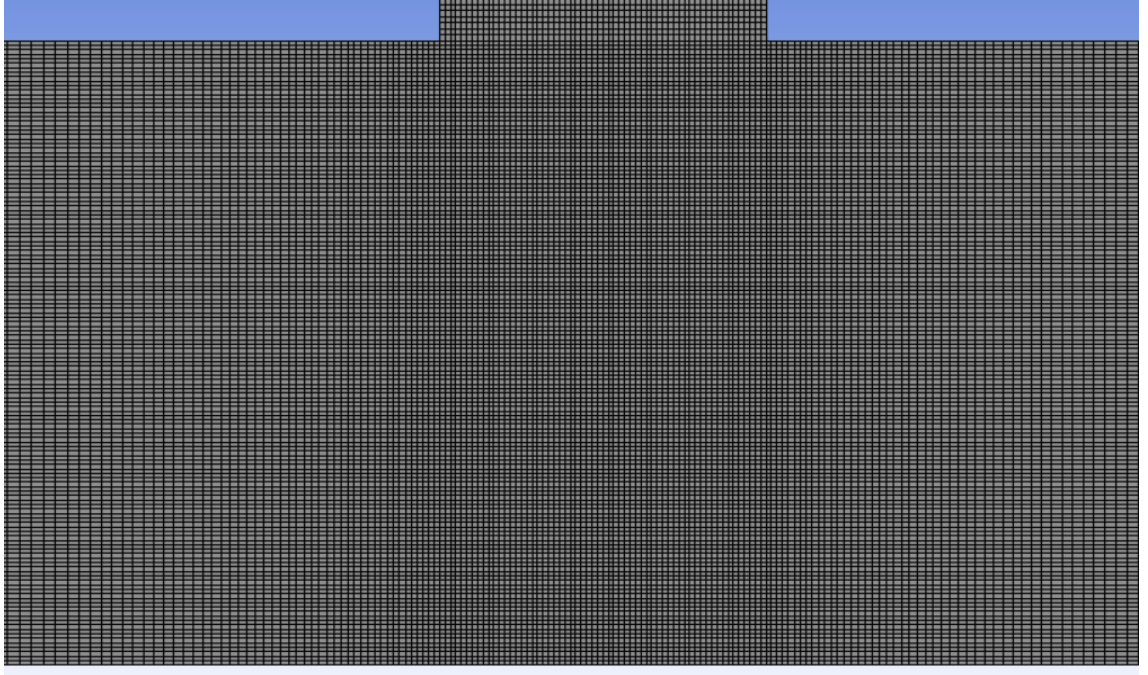
Şekil 3.41. Guerra geometrisinin 56000 elemanlı ağ yapısı



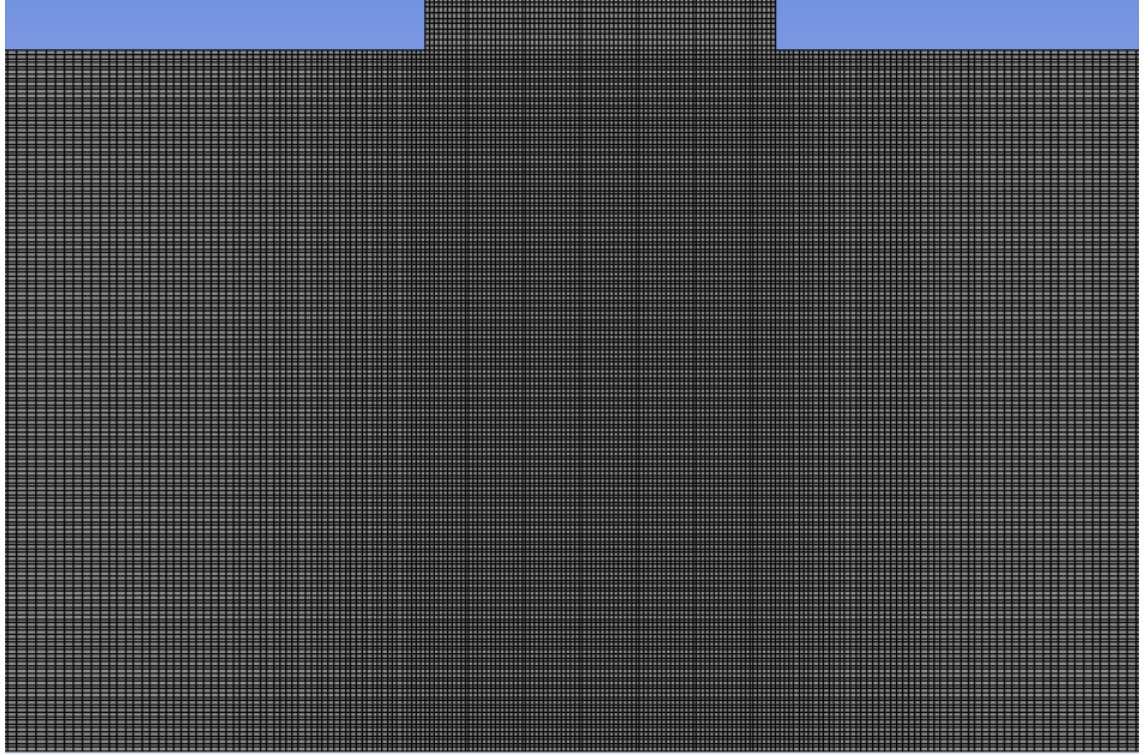
Şekil 3.42. Guerra geometrisinin 68000 elemanlı ağ yapısı



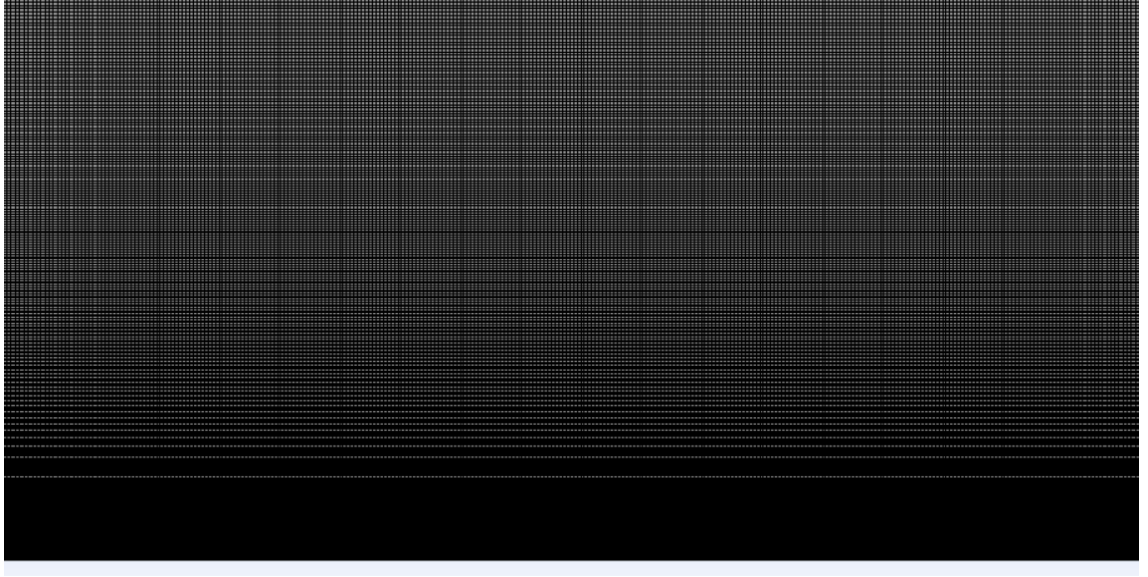
Şekil 3.43. Guerra geometrisinin 89000 elemanlı ağ yapısı



Şekil 3.44. Guerra geometrisinin 143000 elemanlı ağ yapısı

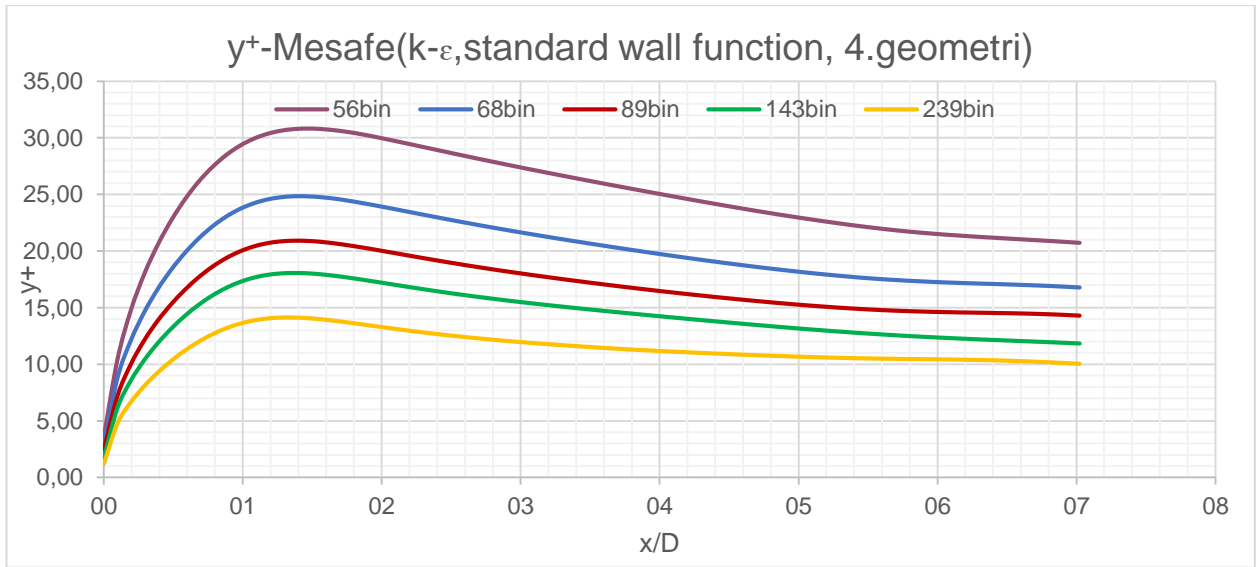


Şekil 3.45. Guerra geometrisinin 239000 elemanlı ağ yapısı



Şekil 3.46. Guerra geometrisinin 740000 elemanlı ağ yapısı

Guerra geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri Şekil 3.47’de gösterilmiştir.



Şekil 3.47. Guerra geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ değerleri

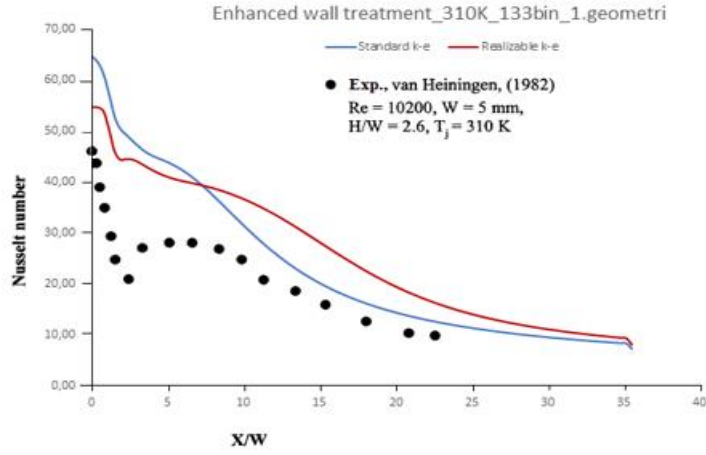
Guerra geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki minimum, maksimum ve ortalama y^+ değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 3.26’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.27. Guerrra geometrisinin k-ε modelinde farklı ağ yapılarındaki y^+ karşılaştırması

	Max y^+	Min y^+	Ortalama y^+
56bin	30,8	3,6	23,01
68bin	24,8	2,9	18,41
89bin	20,9	2,5	15,48
143bin	18,1	1,8	13,21
239bin	14,1	1,2	10,65

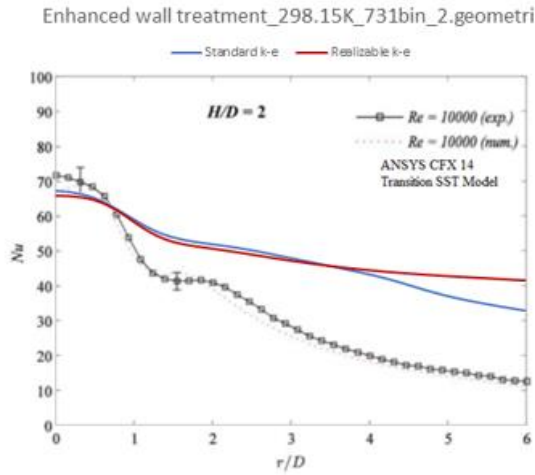
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

van Heiningen geometrisinde Standard k-ε ve Realizable k-ε türbülans modellerinin iyileştirilmiş duvar fonksiyonu yaklaşımıyla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.1’de gösterilmiştir.



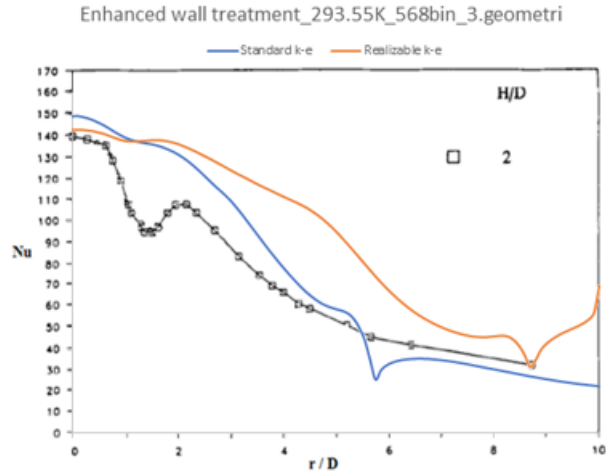
Şekil 4.1. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde Standard k-ε ve Realizable k-ε türbülans modellerinin iyileştirilmiş duvar fonksiyonu yaklaşımıyla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.2’de gösterilmiştir.



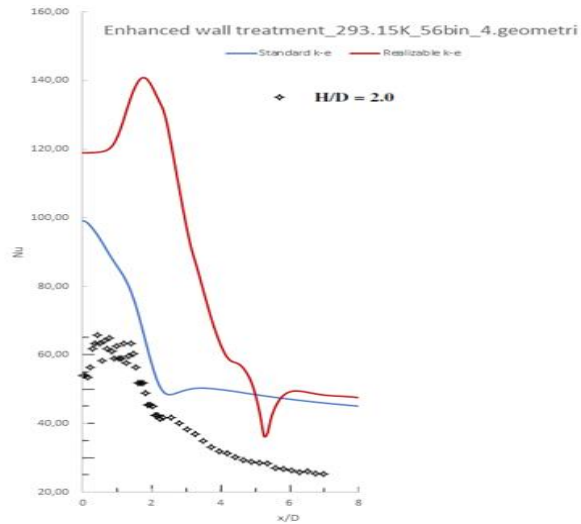
Şekil 4.2. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Del Frate geometrisinde Standard k-ε ve Realizable k-ε türbülans modellerinin iyileştirilmiş duvar fonksiyonu yaklaşımıyla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.3’de gösterilmiştir.



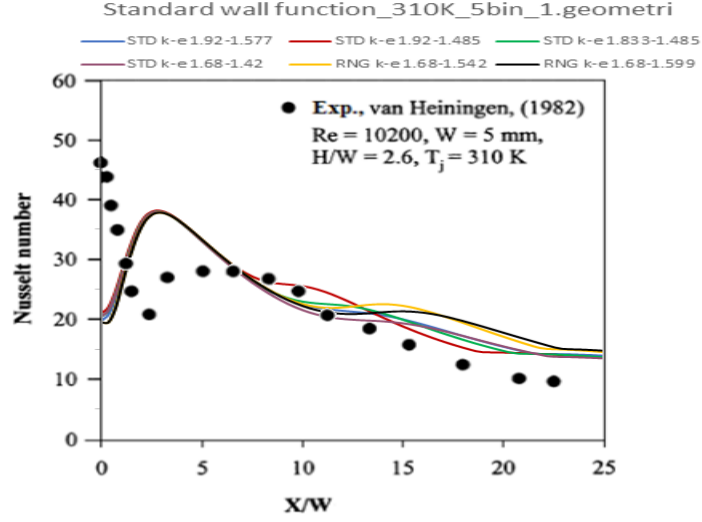
Şekil 4.3. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Guerra geometrisinde Standard k-ε ve Realizable k-ε türbülans modellerinin iyileştirilmiş duvar fonksiyonu yaklaşımıyla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.4’de gösterilmiştir.



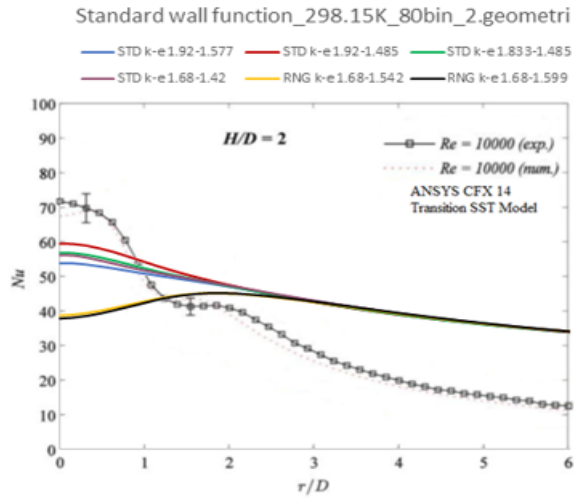
Şekil 4.4. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

van Heiningen geometrisinde Standard k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin standard duvar fonksiyonu yaklaşımıyla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.5’de gösterilmiştir.



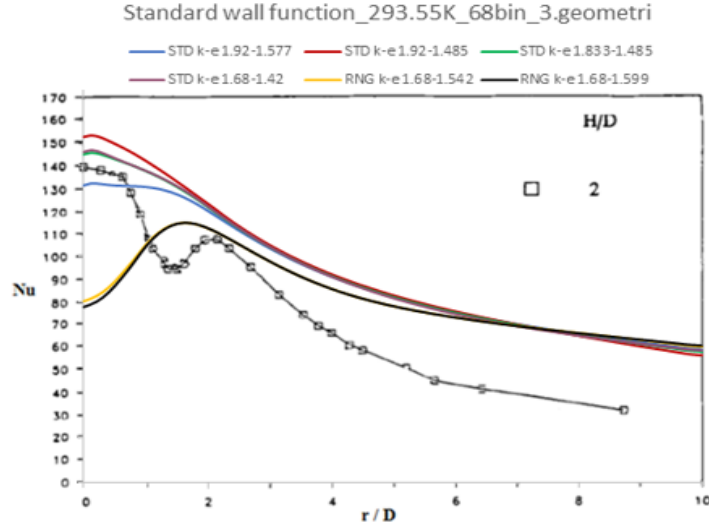
Şekil 4.5. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde Standard k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinin standard duvar fonksiyonu yaklaşımıyla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.6’da gösterilmiştir.



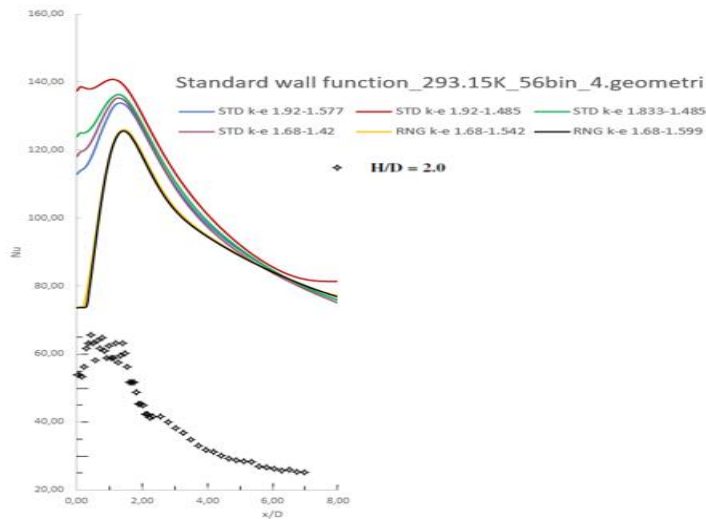
Şekil 4.6. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Del Frate geometrisinde Standard k- ϵ ve RNG k- ϵ türbülans modellerinin standard duvar fonksiyonu yaklaşımıyla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.7’de gösterilmiştir.



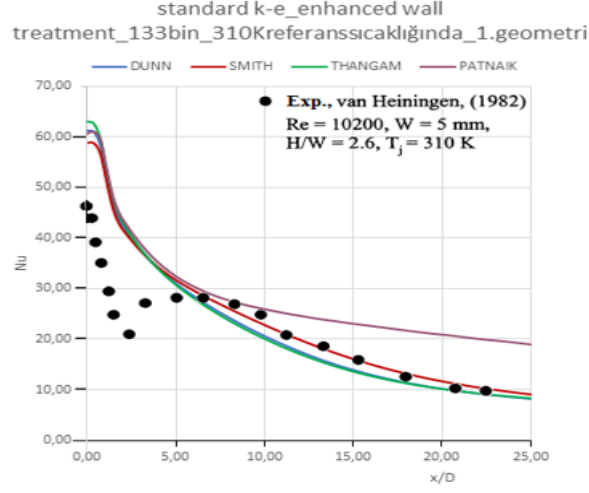
Şekil 4.7. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Guerra geometrisinde Standard k- ϵ ve RNG k- ϵ türbülans modellerinin standard duvar fonksiyonu yaklaşımıyla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.8’de gösterilmiştir.



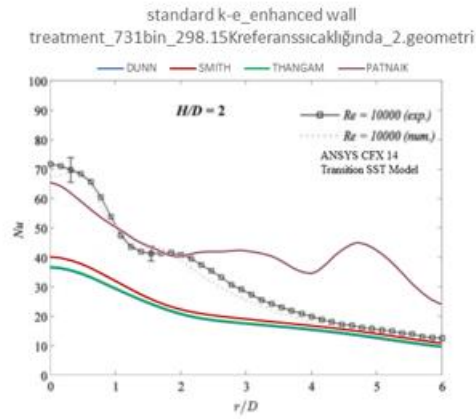
Şekil 4.8. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

van Heiningen geometrisinde Standard k-ε türbülans modelinde ve iyileştirilmiş duvar fonksiyonu yaklaşımında Dunn ve ark.'nın önermiş olduğu katsayılarla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.9'da gösterilmiştir.



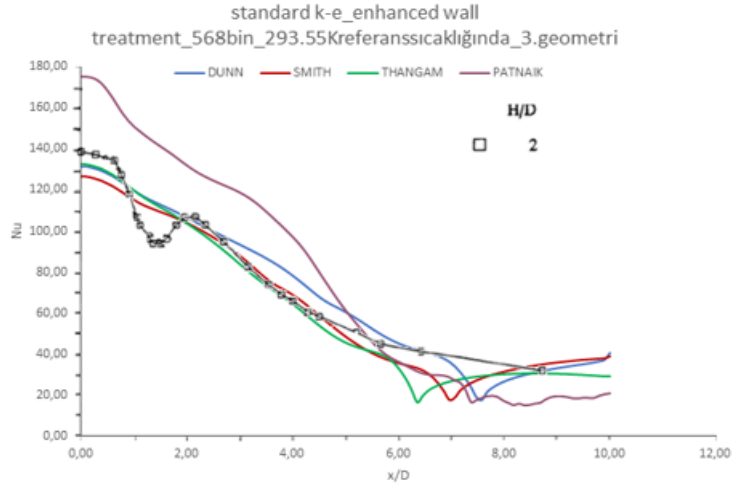
Şekil 4.9. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde Standard k-ε türbülans modelinde ve iyileştirilmiş duvar fonksiyonu yaklaşımında Dunn ve ark.'nın önermiş olduğu katsayılarla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.10'da gösterilmiştir.



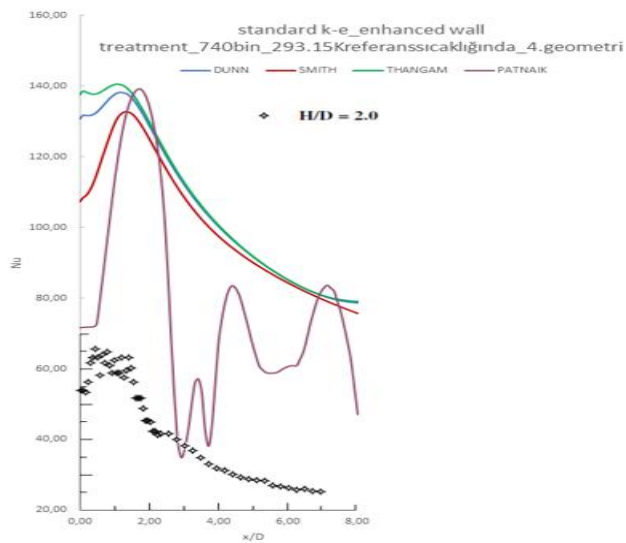
Şekil 4.10. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Del Frate geometrisinde Standard k-ε türbülans modelinde ve iyileştirilmiş duvar fonksiyonu yaklaşımında Dunn ve ark.'nın önermiş olduğu katsayılarla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.11'de gösterilmiştir.



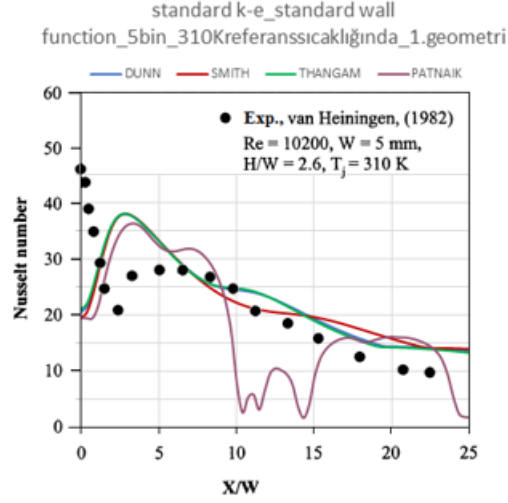
Şekil 4.11. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Guerra geometrisinde Standard k-ε türbülans modelinde ve iyileştirilmiş duvar fonksiyonu yaklaşımında Dunn ve ark.'nın önermiş olduğu katsayılarla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.12'de gösterilmiştir.



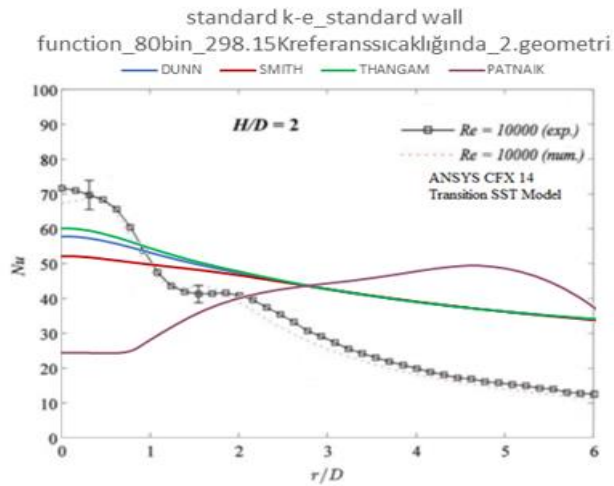
Şekil 4.12. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

van Heiningen geometrisinde Standard k-ε türbülans modelinde ve standard duvar fonksiyonu yaklaşımında Dunn ve ark.'nın önermiş olduğu katsayılarla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.13'de gösterilmiştir.



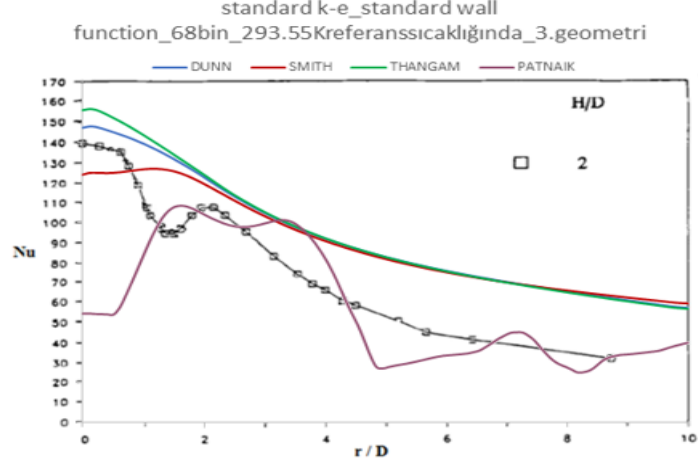
Şekil 4.13. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde Standard k-ε türbülans modelinde ve standard duvar fonksiyonu yaklaşımında Dunn ve ark.'nın önermiş olduğu katsayılarla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.14'de gösterilmiştir.



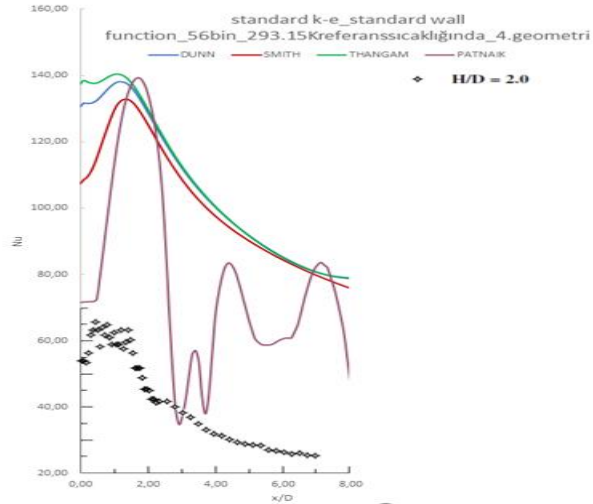
Şekil 4.14. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Del Frate geometrisinde Standard k-ε türbülans modelinde ve standard duvar fonksiyonu yaklaşımında Dunn ve ark.'nın önermiş olduğu katsayılarla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.15'de gösterilmiştir.



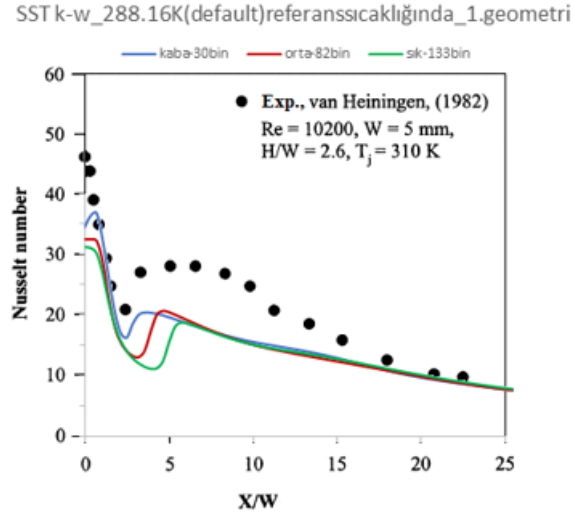
Şekil 4.15. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Guerra geometrisinde Standard k-ε türbülans modelinde ve standard duvar fonksiyonu yaklaşımında Dunn ve ark.'nın önermiş olduğu katsayılarla olan sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.16'da gösterilmiştir.



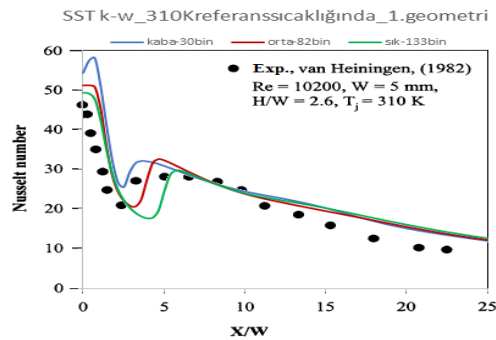
Şekil 4.16. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

van Heiningen geometrisinde 293,15 K referans sıcaklığında SST k- ω türbülans modelindeki sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

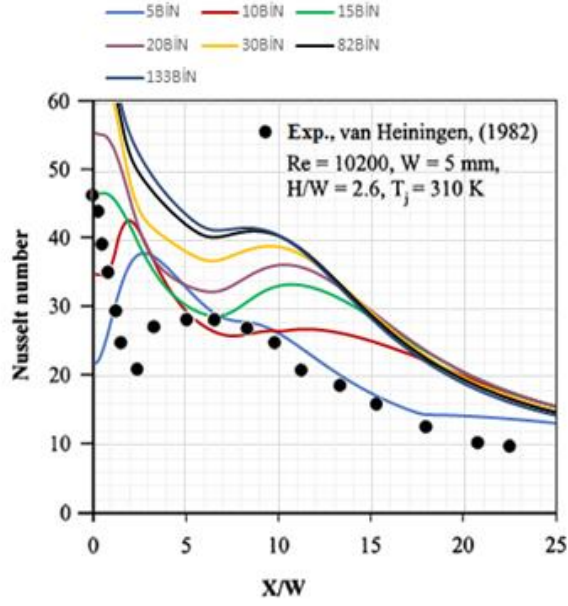
van Heiningen geometrisinde 310 K referans sıcaklığında SST k- ω türbülans modelindeki sayısal sonuçların deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

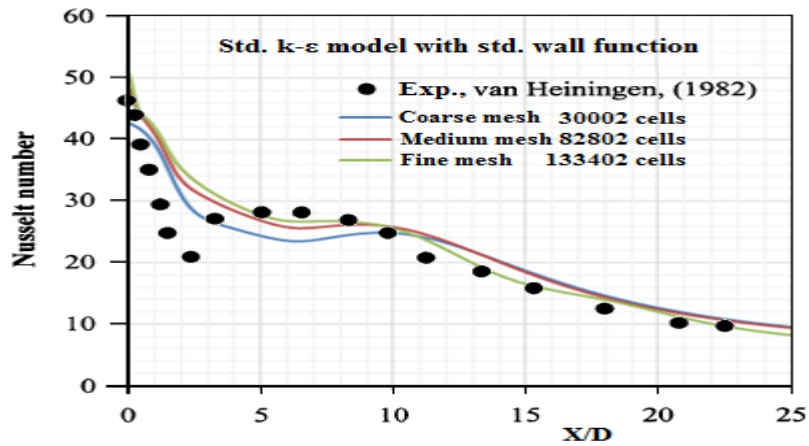
van Heiningen geometrisinde 310 K referans sıcaklığında standard k-ε türbülans modelinde Standard duvar yaklaşımıyla farklı ağ yapılarının sayısal sonuçlarının deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.19’da gösterilmiştir.

standard k-ε_standard wall function_310Kreferanssıcaklığında_1.geometri



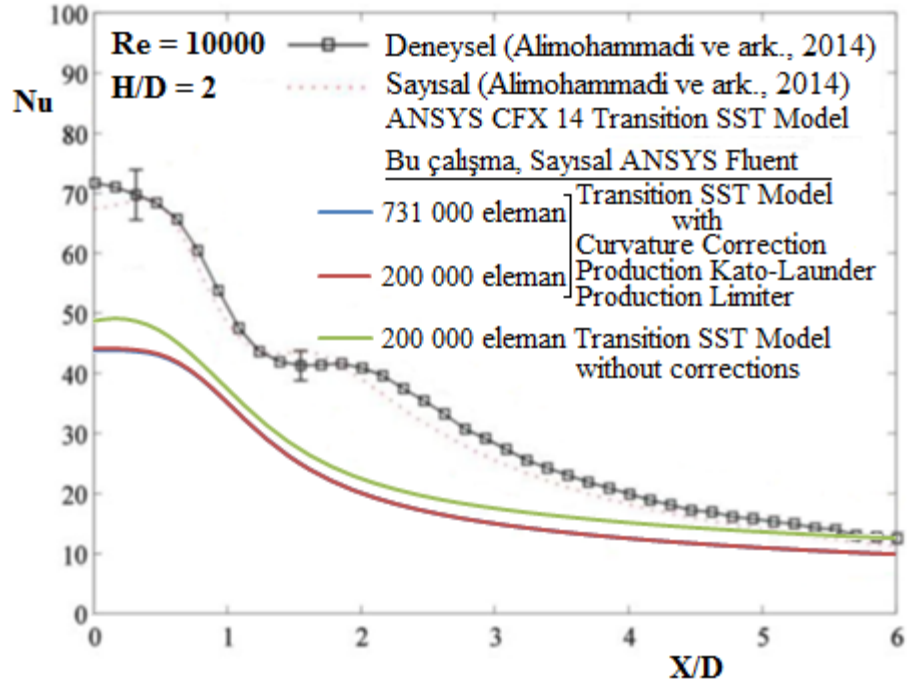
Şekil 4.19. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

van Heiningen geometrisinde 288,16 K referans sıcaklığında standard k-ε türbülans modelinde Standard duvar yaklaşımıyla farklı ağ yapılarının sayısal sonuçlarının deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.20’de gösterilmiştir.



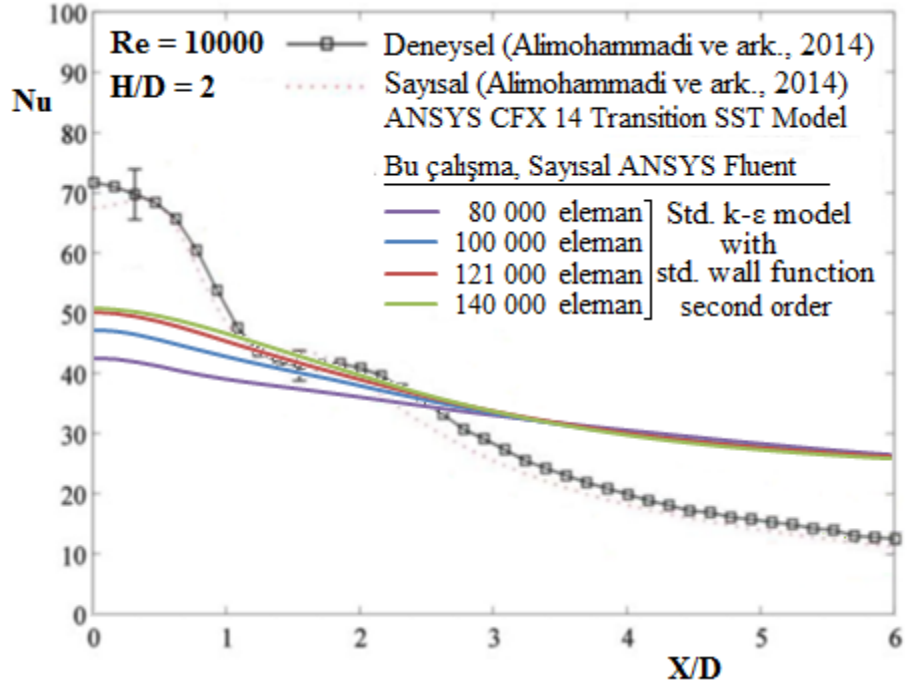
Şekil 4.20. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde Transition SST türbülans modelinde ve 288,16 K referans sıcaklığında farklı ağ yapılarının sayısal sonuçlarının deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.21’de gösterilmiştir.



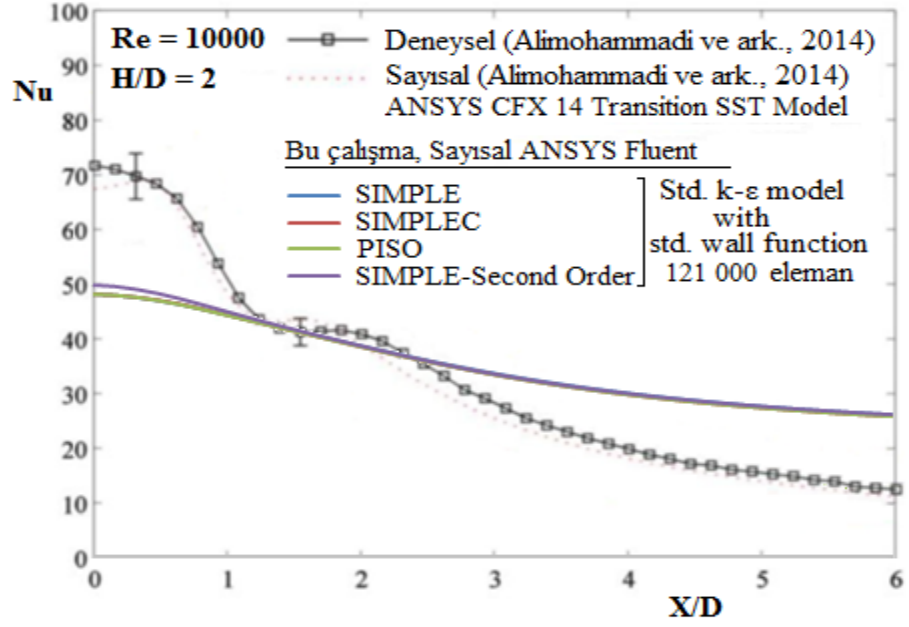
Şekil 4.21. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde 288,16 K referans sıcaklığında standard k-ε türbülans modelinde Standard duvar yaklaşımıyla farklı ağ yapılarının sayısal sonuçlarının deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.22’de gösterilmiştir.



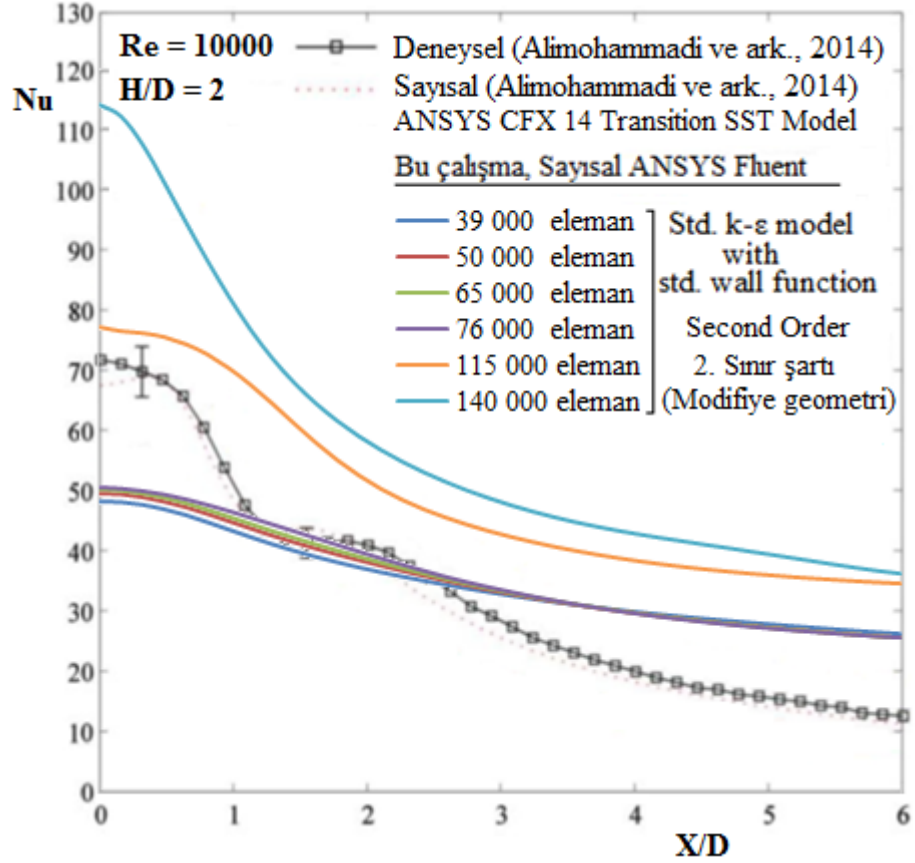
Şekil 4.22. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde 288,16 K referans sıcaklığında standard k-ε türbülans modelinde Standard duvar yaklaşımıyla farklı çözüm metodlarının sayısal sonuçlarının deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.23’de gösterilmiştir.



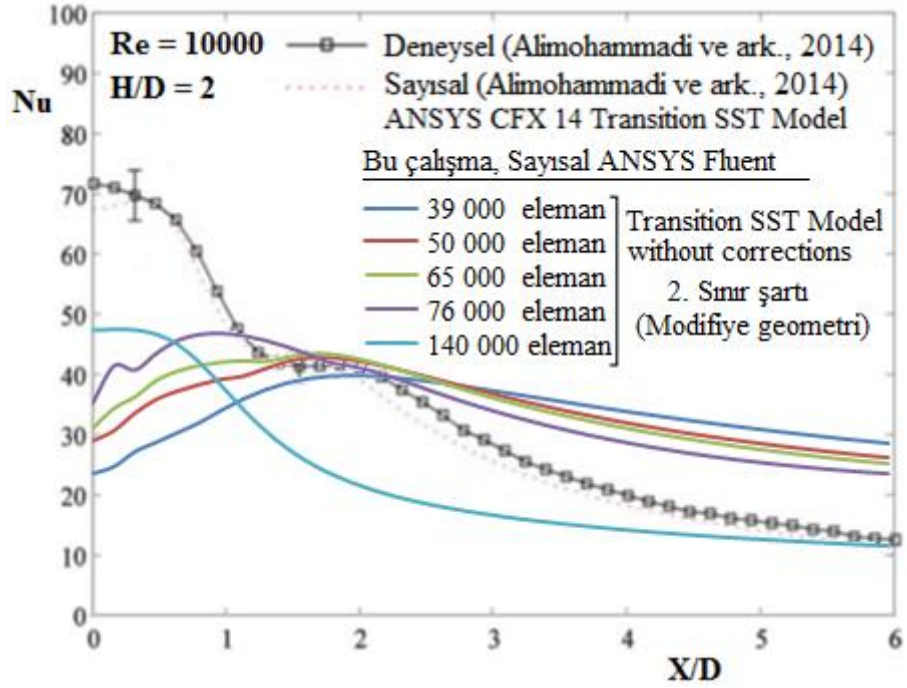
Şekil 4.23. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde 288,16 K referans sıcaklığında et kalınlığının dikkate alınmadığı durumda standard k-ε türbülans modelinde Standard duvar yaklaşımıyla farklı çözüm metodlarının sayısal sonuçlarının deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.24’de gösterilmiştir.



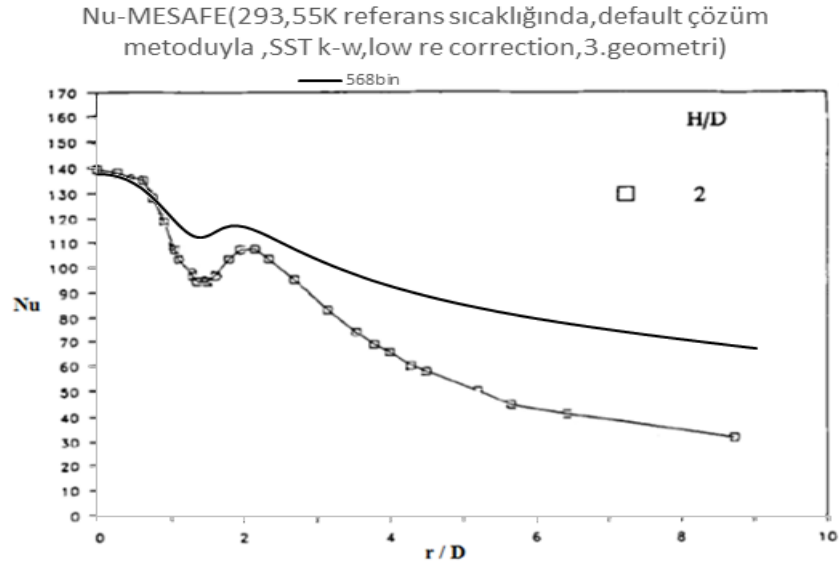
Şekil 4.24. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde 288,16 K referans sıcaklığında et kalınlığının dikkate alınmadığı durumda Transition SST türbülans modelinde farklı çözüm metodlarının sayısal sonuçlarının deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.25’de gösterilmiştir.



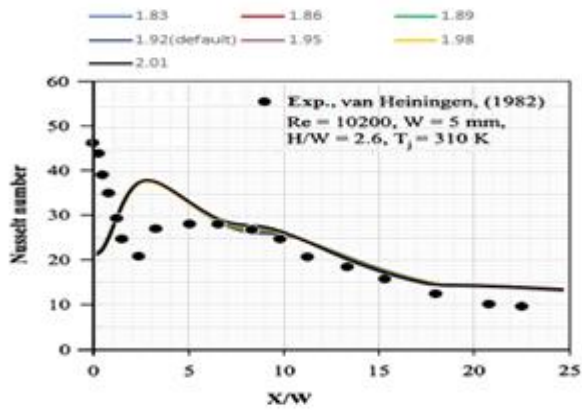
Şekil 4.25. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Del Frate geometrisinde 293,55 K referans sıcaklığında SST k- ω türbülans modelinde 568 bin ağ yapısındaki sayısal sonucun deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.26'da gösterilmiştir.



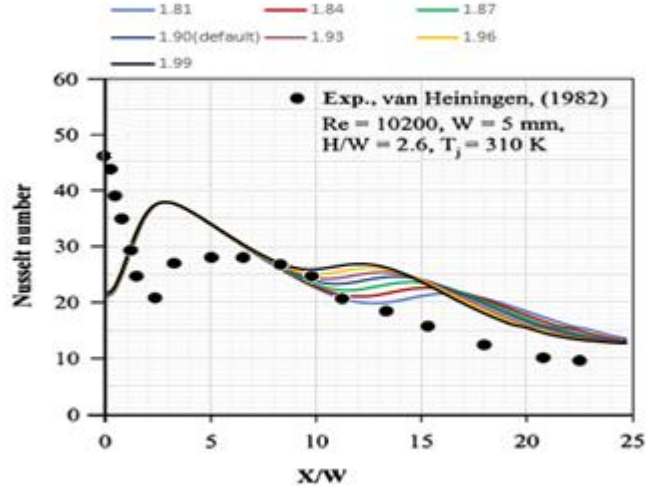
Şekil 4.26. Bulguların deneysel çalışma ile karşılaştırılması

van Heiningen geometrisinde 310 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş Standard k- ϵ türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.27'de gösterilmiştir.



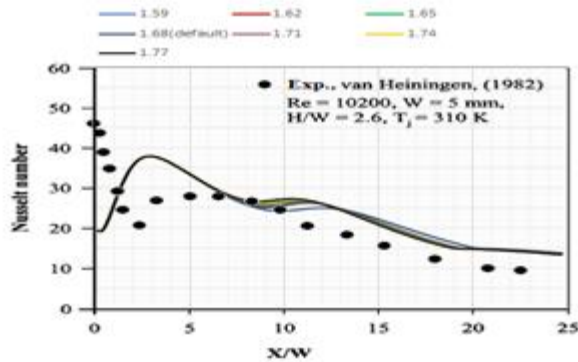
Şekil 4.27. van Heiningen geometrisinde modifiye edilmiş Standard k- ϵ türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

van Heiningen geometrisinde 310 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş Realizable k- ϵ türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.28’de gösterilmiştir.



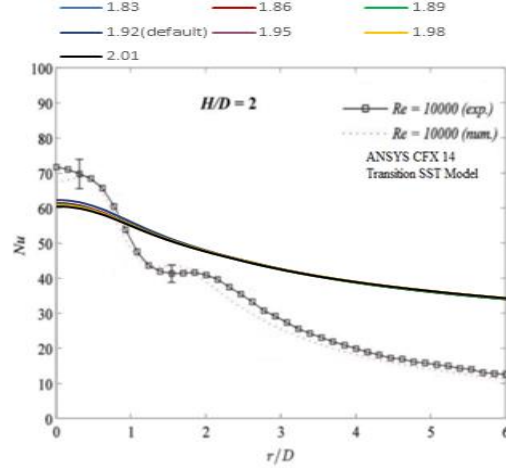
Şekil 4.28. van Heiningen geometrisinde modifiye edilmiş Realizable k- ϵ türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

van Heiningen geometrisinde 310 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş RNG k- ϵ türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.29’da gösterilmiştir.



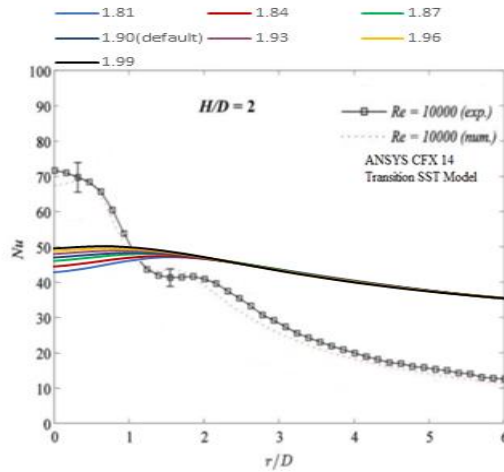
Şekil 4.29. van Heiningen geometrisinde modifiye edilmiş RNG k- ϵ türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde 298,15 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş Standard k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.30’da gösterilmiştir.



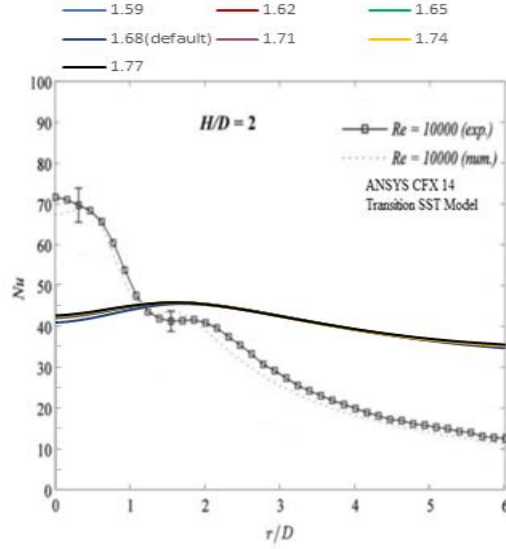
Şekil 4.30. Alimohammadi geometrisinde modifiye edilmiş Standard k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde 298,15 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş Realizable k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.31’de gösterilmiştir.



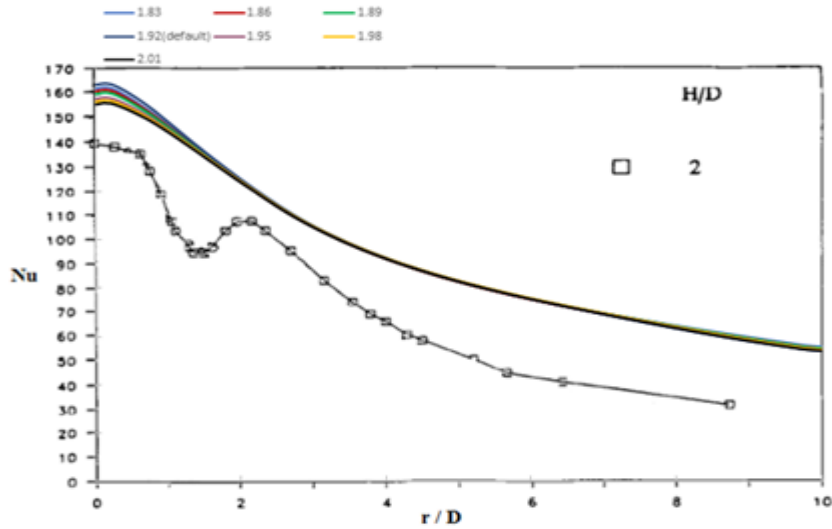
Şekil 4.31. Alimohammadi geometrisinde modifiye edilmiş Realizable k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Alimohammadi geometrisinde 298,15 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş RNG k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.32’de gösterilmiştir.



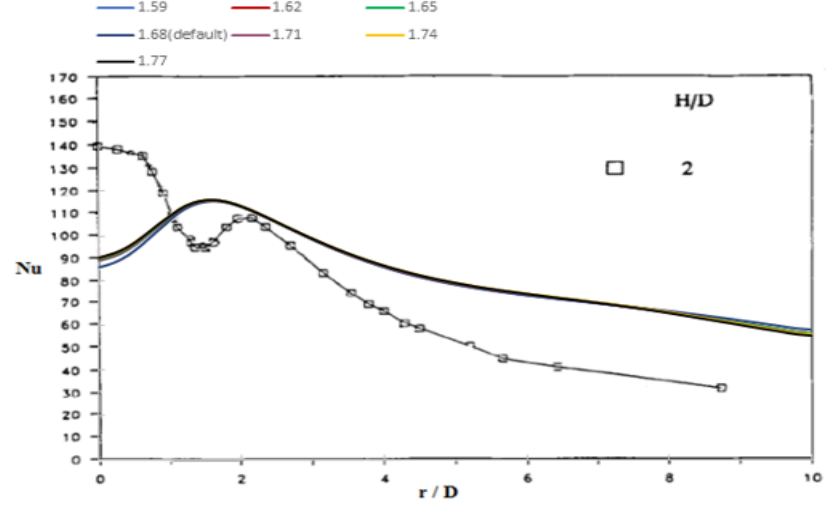
Şekil 4.32. Alimohammadi geometrisinde modifiye edilmiş RNG k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Del Frate geometrisinde 293,55 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş Standard k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.33’de gösterilmiştir.



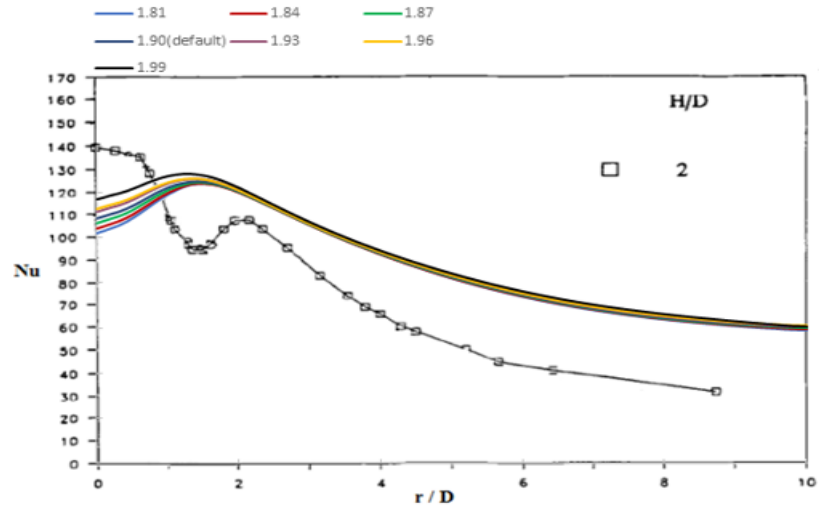
Şekil 4.33. Del Frate geometrisinde modifiye edilmiş Standard k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Del Frate geometrisinde 293,55 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş RNG k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.34’de gösterilmiştir.



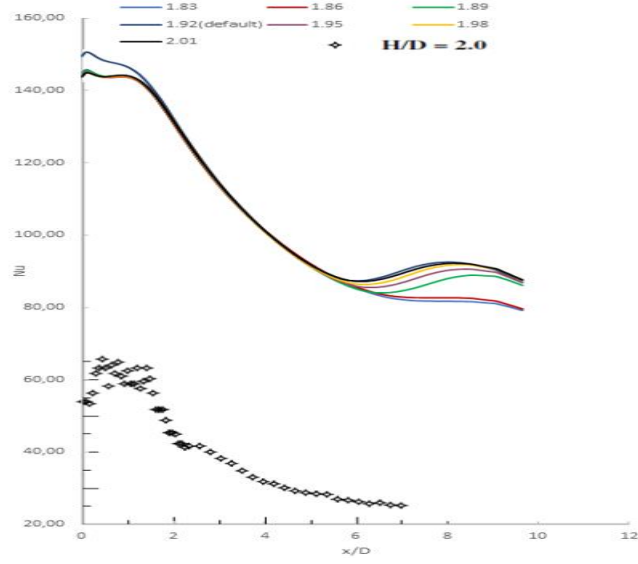
Şekil 4.34. Del Frate geometrisinde modifiye edilmiş RNG k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Del Frate geometrisinde 293,55 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş Realizable k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.35’de gösterilmiştir.



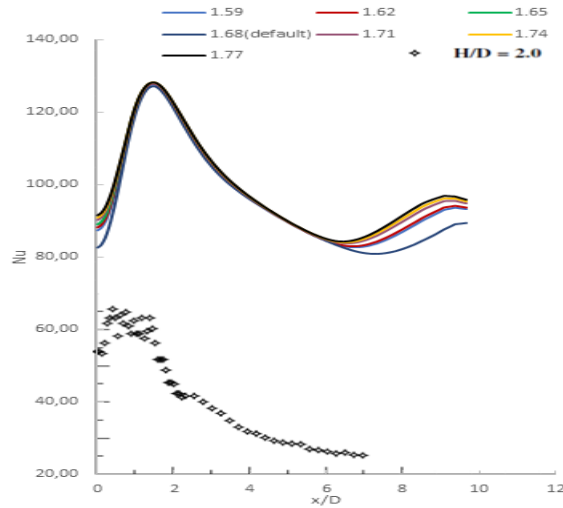
Şekil 4.35. Del Frate geometrisinde modifiye edilmiş Realizable k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Guerra geometrisinde 293,15 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş Standard k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.36'da gösterilmiştir.



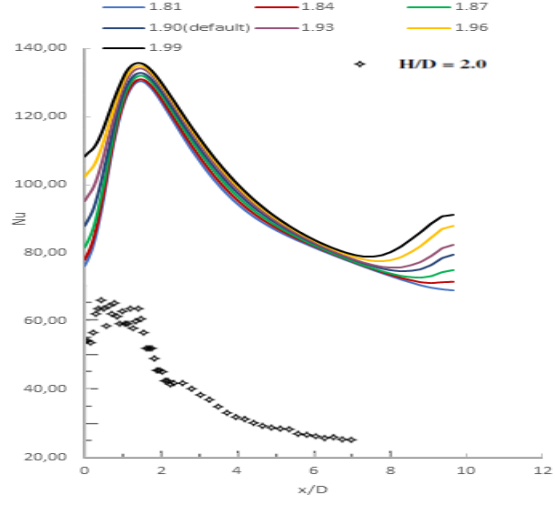
Şekil 4.36. Guerra geometrisinde modifiye edilmiş Standard k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Guerra geometrisinde 293,15 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş RNG k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.37'de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. Guerra geometrisinde modifiye edilmiş RNG k-ε türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

Guerra geometrisinde 293,15 K referans sıcaklığında modifiye edilmiş Realizable k- ϵ türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması şekil 4.38’de gösterilmiştir.



Şekil 4.38. Guerra geometrisinde modifiye edilmiş Realizable k- ϵ türbülans modelinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında ANSYS FLUENT yazılımı kullanılarak farklı sınır şartlarına sahip 4 impinging jet geometrisi üzerinde modifiye edilmiş k- ϵ türbülans modeli ile çarpma bölgesindeki ısı transferi olayı hesaplamalı olarak gözlemlenmiştir ve literatürdeki deneysel çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sabit yüzey sıcaklığına sahip sınırlandırılmış geometride (van Heiningen geometrisi) modifiye edilmiş değerlerin etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Sabit yüzey sıcaklığına sahip sınırlandırılmamış geometride (Alimohammadi geometrisi) modifiye edilmiş değerlerin ikincil peak noktasını yakalamakta başarısız olduğu gözlemlenmiştir. Sabit ısı akısına sahip sınırlandırılmamış geometride (Del Frate geometrisi) modifiye RNG k- ϵ değerlerinin ikincil peak noktasına yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Sabit ısı akısına sahip sınırlandırılmış geometride (Guerra geometrisi) yine modifiye edilmiş değerlerin iyileştirme sağlamadığı gözlemlenmiştir. Literatürdeki yapılan çalışmalardan k- ϵ türbülans modelinin impinging jet akışında başarısız olduğu bilinmektedir. Bu çalışma ile impinging jet akışında k- ϵ türbülans modelinin başarısız olmasının sebebinin modelde kullanılan katsayılardan dolayı olmadığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, Z. U., Al-abdeli, Y. M., Guzzomi, F. G. 2017.** Flow field and thermal behaviour in swirling and non-swirling turbulent impinging jets. *International journal of Thermal Sciences*, 114(-):241-256.
- Alfonsi, G. 2019.** Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equations for Turbulence Modeling. *Applied Mechanics Reviews*, 62(4)
- Alimohammadi, S., Murray, D. B., Persoons, T. 2014.** Experimental validation of a computational fluid Dynamics Methodology for Transitional Flow Heat Transfer Characteristics of a Steady Impinging Jet. *Journal of Heat Transfer*, 136(6):091703.
- Anderrson, B., Anderrson, R., Hakansson, L., Mortensen, M., Sudiyo, R., Wachem, B. 2012.** Computational Fluid Dynamics for Engineers. Cambridge University Press, New York, USA, 189 s.
- Carlomagno, G., M., Laniro, A. 2014.** Thermo-fluid-dynamics of submerged jets impinging at short nozzle-to-plate distance: A review. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 58(-):15-35.
- Chan, T. L., Leung, C. W., Jambunathan, K., Ashforth-Frost, S., Zhou, Y., Liu, M. H. 2001.** Heat transfer characteristics of a slot jet impinging on a semi-circular convex surface. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 45(-):993-1006.
- Chung, T., J. 2002.** Computational Fluid Dynamics. Cambridge University Press, Cambridge, 1012 s.
- Cziesla, T., Tandogan, E., Mitra, N. K. 1997.** Large eddy simulation of heat transfer from impinging slot jets. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 32(1):1-17.
- Çengel, Y., Boles, M. A. 2013.** Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. Palme Yayıncılık, Ankara, 978 s.
- Del Frate, L., Galassi, G. 2011.** CFD Simulations of a Normally-Impinging Jet from a Circular Nozzle. International conference Nuclear Energy for New Europe, 12-15 Eylül 2011, Bovec, Slovenia.
- Durbin, P. A. 1996.** On the k-3 stagnation point anomaly. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 17(1):89-90.
- Durbin, P., A., Pettersson Reif, B., A. 2011.** Statistical Theory and Modeling for turbulent Flows. A John Wiley and Sons Publication, UK, 357 s.
- Genceli, O. F. 2000.** Çözümlü Isı Taşımını Problemleri. Birsen Yayınevi, İstanbul, 644 s.
- Guerra, D. R. S., Su, J., Freire, A. P. S. 2005.** The near Wall behavior of an impinging jet. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(-):2829-2840.
- Hamba, F. 1987.** Estimate of Constants in the K- ϵ Model of turbulence by Using Large Eddy Simulation. *Journal of the physical Society of Japan*, 56(10):3405-3408.
- Hellsten, A. 1997.** Some Improvements in Menter's k- ω SST Turbulence Model. 29. AIAA Fluid Dynamics Conference, 15-18 Haziran 1997, Albuquerque, NM.
- Incropera, F. P., DeWITT, D. P. 2001.** Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri. Literatür Yayınları, İstanbul, 960 s.
- Ingole, S., B., Sundaram, K., K. 2012.** Review of Experimental Investigation in Heat Transfer for Jet Impingement Cooling. *International Review of Mechanical Engineering*, 6(3).
- Issac, J., Singh, D., Kango, S. 2019.** Experimental and numerical investigation of heat transfer characteristics of jet impingement on a flat plate. *Heat Mass Transfer*, 56(-):531-546.

Jambunathan, K., Lai, E., Moss, E., A., Button, B. L. 1992. A review of heat transfer data for single circular jet impingement. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 13(2).

Jaramillo, J. E., Perez-Segarra, C. D., Oliva, A., Claramunt, K. 2007. Analysis of different RANS models applied to turbulent forced convection. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50(-):3749-3766.

Kılıç, M., Yiğit, A. 2014. Isı Transferi. Alfa Aktüel, Bursa, 508 s.

Kılıç, M., Çalışır, T., Başkaya, Ş. 2017. Experimental and Numerical Study of Heat Transfer from a Heated Flat Plate in a Rectangular Channel with an Impinging Jet. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39(1):329-344.

Klinzing, W. P., Sparrow, E. M. 2009. Evaluation of Turbulence Models for External Flows. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 55(3):205-228.

Kurbatskii, K. A. 2009. Comparison of RANS Turbulence Models in Numerical Prediction of Chevron Nozzle Jet Flows. 47. AIAA Aerospace Sciences Meeting, 5-8 Haziran 2009, AIAA.

Lafouraki, B. Y., Ramiar, A., Ranjbar, A. A. 2016. Numerical Simulation of Two Phase Turbulent Flow of Nanofluids in Confined Slot Impinging Jet. *Flow Turbulent Combust*, 97(-):571-589.

Lam, S. H. 1992. On the RNG theory of turbulence. *Phys. Fluids A*, 4(5):1007-1017.

Lee, D. H., Chung, Y. S., Kim, D. S. 1997. Turbulent flow and heat transfer measurements on a curved surface with fully developed round impinging jet. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 18(1):160-169.

Martin, H. 1977. Heat and Mass Transfer between Impinging Gas Jets and Solid Surfaces. *Advances in Heat Transfer*, 13(-):1-60.

Molana, M., Banooni, S. 2013. Investigation of Heat Transfer Processes Involved Liquid Impingement Jets: A Review. *Brazilian journal of Chemical Engineering*, 30(3):413-435.

Pope, S. 2000. Turbulent flow. Cambridge University Press, New York, USA. 771 s.

Raiesi, H., Piomelli, U., Pollard, A. 2011. Evaluation of Turbulence Models Using Direct Numerical and Large-Eddy Simulation Data. *Journal of Fluids Engineering*, 133(2)

Rohde, U., Höhne, T., Kliem, S., Hemström, S., Scheuerer, M., Toppila, T., Aszodi, A., Boros, I., Farkas, I., Mühlbauer, P., Vyskocil, L., Klepac, J., Remis, J., Dury, T. 2007. Fluid mixing and flow distribution in a primary circuit of a nuclear pressurized water reactor—Validation of CFD codes. *Nuclear Engineering and Design*, 237(-):1639-1655.

Shi, Y., Ray, M., B. Mujumbar, A., S. 2002. Computational study of impingement Heat Transfer under a Turbulent Slot Jet. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 41(-):4643-4653.

Shur, M., Spalart, P. R. 1996. On the Sensitization of Turbulence Models to Rotation and Curvature. *Aerospace Science and Technology*, 5(-):297-302.

Umur, H. 2009. AKIŞKANLAR MEKANİĞİ. DORA YAYINCILIK, BURSA, 553 s.

Versteeg, H., K. 2007. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. Pearson Education, Londra, 503s.

Wang, P., Lv, J., Bai, M., Wang, Y., Hu, C. 2014. Numerical investigation of the flow and heat behaviours of an impinging jet. *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, 28(-):301-315.

Wolfshtein, M. 2009. Some comments on turbulence modelling. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(-):4103-4107.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sedat ARSLAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 22.01.1994
Yabancı Dili : İngilizce/İspanyolca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Bursa Anadolu Lisesi, 2012
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, 20018

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Elatek Kauçuk San. ve Tic. A.Ş. (2019-2020)
İletişim (e-posta) : arslansedat94@gmail.com