



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**GURNEY FLAP YAPISININ
KANAT AERODİNAMİK
KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Cumali KILIÇ

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

TEMMUZ 2022



**GURNEY FLAP YAPISININ KANAT AERODİNAMİK
KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENEMESİ**

CUMALİ KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM
ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2022

Cumali Kılıç tarafından hazırlanan “Gurney Flap Yapısının Kanat Aerodinamik Karakteristiğine Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Cuma Karakuş

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~

.....
.....

Başkan: Prof. Dr. Ertuğrul Baltacıoğlu

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~

.....
.....

Üye: Doç. Dr. Mustafa Atakan Akar

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~

.....
.....

TezSavunmaTarihi: 22/07/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Cumali KILIÇ

22/07/2022

GURNEY FLAP YAPISININ KANAT AERODİNAMİK KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Cumali KILIÇ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2022

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Gurney flap yapısının kanat aerodinamik karakteristiğine etkisinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Kanat profili olarak çeşitli kullanım alanlarına sahip ve simetrik bir kanat profili olana NACA 0012 kanat profili kullanılmıştır. Çalışma bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programlarından biri olan ANSYS Fluent ile sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Kanat veter uzunluğunun 1m olarak alındığı çalışmada, veter uzunluğuna bağlı olarak Reynolds sayısı 1×10^6 olarak alınmıştır. Analizlerde akışkan olarak hava kullanılmıştır. Çalışmada Reynolds sayısı sabit parametre olarak kabul edilmiş, Gurney flap açısı, hücum açısı, Gurney flap geometrisi ve türbülans modeli değişken parametre olarak kabul edilmiştir. Türbülans modeli olarak havacılıkta sıklıkla kullanılan Spalart-Allmaras (S-A) türbülans modeli ve Shear Stress Transport (SST) k- ω türbülans modeli kullanılmıştır. Türbülans model verileri literatürde bulunan deneysel ve sayısal veriler ile karşılaştırılmasında SST k- ω modelin literatür verileri ile ortalama korelasyon katsayısı 0,9519 elde edilmiştir. S-A model verilerinin literatür verileri ile ortalama korelasyon katsayısı 0,9254 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak S-A modeline kıyasla, SST k- ω modeli ile daha doğru çözüm elde edildiği belirlenmiştir. Analizde kullanılan Gurney flap açıları arasında 90°'lik açının optimum sonuç verdiği ve bu durumun literatür ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Optimum flap açısı olarak belirlenen 90°'lik Gurney flap açısında hücum açısının 3°, 6°, 9°, 12°, 15°, 18° değerlerinde sırasıyla %90; %50,27; %36,03; %27,04; %18,36; %6,39 değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Yarım Gurney flap yapısının 90°'lik Gurney flap yapısının yerine kullanılmasıyla birlikte hücum açısının 3°, 6°, 9°, 12°, 15°, 18° değerlerinde sırasıyla %15,92; %7,38; %5,33; %4,44; %4,39; %2,83; %6,715 artış gözlemlenmiştir. Aerodinamik verimleri karşılaştırıldığında en yüksek artış hücum açısının 0°'de %11,11 değerinde gerçekleşmiştir. Gurney flap geometrisinin incelenmesinde yarım Gurney flap yapısının aerodinamik karakteristiğinin, klasik Gurney flap yapısına benzer olduğu ve bu nedenle yarım Gurney flap yapısının kullanılmasının uygulamalarda ağırlık faktörü açısından daha avantajlı olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gurney flap, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Türbülans Modeli, Kanat, Aerodinamik

Sayfa Sayısı: 136

Danışman: Doç. Dr. Cuma Karakuş

EVOLUTION EFFECT of GURNEY FLAP STRUCTURE on AIRFOIL
AERODYNAMIC CHARACTERISTICS

(M. Sc. Thesis)

Cumali KILIÇ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY

ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

July 2022

ABSTRACT

In this thesis, the effect of the Gurney flap Structure on airfoil aerodynamic characteristics was investigated. NACA 0012 airfoil profile which has various usage areas and has a symmetrical airfoil, is used as an airfoil. The study was carried out numerically with ANSYS Fluent, one of the computational fluid dynamics (HAD) programs. In the study where the wing chordlength was taken as 1m, the Reynolds number was taken as $Re=1 \times 10^6$ depending on the chordlength. Reynolds number was accepted as a constant parameter, Gurney flap angle, angle of attack, Gurney flap geometry and turbulence model were accepted as variable parameters. Spalart-Allmaras (S-A) and Shear Stress Transport (SST) $k-\omega$ turbulence models which are frequently used often in aviation were used. In the comparison of turbulence model data with experimental and numerical data in the literature, the average correlation coefficient of SST $k-\omega$ model with literature data was 0.9519. The average correlation coefficient of the S-A model data with the literature data was calculated as 0.9254. As a result, it was determined that a more accurate solution was obtained with the SST $k-\omega$ model compared to the S-A model. It has been observed that the 90° angle among the Gurney flap angles used in the analysis gives optimum results and this situation is compatible with the literature. At the 90° Gurney flap angle, which is determined as the optimum flap angle, the angle of attack is 90%, at the values α of 3° , 6° , 9° , 12° , 15° and 18° , respectively; 50.27%; 36.03%; 27.04%; 18.36%; an increase of 6.39% was observed. With the use of half Gurney flap structure instead of 90° Gurney flap structure, the angle of attack of 3° , 6° , 9° , 12° , 15° , 18° values are 15.92%, respectively; 7.38%; 5.33%; 4.44%; 4.39%; 2.83%; An increase of 6,715% was observed. When the aerodynamic efficiency is compared, the highest increase occurred at 0° of the angle of attack, at 11.11%. In the examination of the Gurney flap geometry, it has been concluded that the aerodynamic characteristics of the half Gurney flap structure are similar to the classical Gurney flap structure, and therefore the use of the half Gurney flap structure will be more advantageous in terms of weight factor in applications.

Key Words:Gurney Flap, Computational Fluid Dynamics, Turbulence Model, Airfoil, Aerodynamic

Page Number: 136

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cuma Karakuş

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında sonsuz sabrı ve emeğinden ötürü danışman hocam Doç. Dr. Cuma Karakuş'a, tez süresince yardımlarını benden esirgemeyen İsmail Üstün'e ve Sevgi Aslan'a, tez süreci boyunca manevi desteklerini esirgemeyen Melisa Albayrak'a, ve tüm eğitim hayatım boyunca maddi-manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teőekkürlerimi borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE METOT	28
2.1. MATERYAL.....	28
2.2. METOT	31
2.2.1. Ağdan Bağımsızlık	31
2.2.2. Ağ Yapısının Oluşturulması	32
2.2.3. HAD Parametreleri	34
3. TARTIŞMA	51
3.1. Gurney Flap Açısının ve Hücüm Açısının Değişken Parametre Olarak Kabul Edilmesi	51
3.1.1. Basınç Dağılımı	71
3.1.2. Basınç Katsayısı	79
3.1.3. Türbülans Kinetik Enerjisi (TKE) Dağılımı.....	86
3.1.4. Akım Çizgileri.....	93
3.2. Gurney Flap Geometrisinin ve α Açılarının Değişken Parametre Olarak Kabul Edilmesi	99
3.2.1. Basınç Dağılımı	105
3.2.2. Basınç Katsayısı	111
3.2.3. Türbülans Kinetik Enerjisi (TKE) Dağılımı.....	118
3.2.4. Akım Çizgileri.....	123
4. SONUÇ	129
KAYNAKÇA.....	131
DİZİN	136

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Tacoma Narrows Köprüsü (Olson, 2015).....	1
Şekil 1.2. Üç Boyutlu Dairesel kesitli cisim etrafındaki akış yapısı.....	2
Şekil 1.3. Kanat profilinin geometrik yapısı.....	3
Şekil 1.4. Kanat üzerine etkiyen kuvvetlerin gösterimi.....	4
Şekil 1.5. Coanda etkisinin kanat üzerinde taşıma kuvveti oluşturması.....	5
Şekil 1.6. Akış kontrol metodolojisi şeması	6
Şekil 1.7. NACA 0012 kanat profiline ait pasif akış kontrol metot örnekleri	8
Şekil 1.8. Farklı flap çeşitleri (Skybrary, 2022).....	9
Şekil 1.9. Kanat firar kenarına yerleştirilen Gurney flap yapısının fiziksel etkisinin şematik gösterimi	10
Şekil 1.10. NACA0012 kanat profili firar kenarında Gurney flap açısının (θ) gösterimi ...	11
Şekil 2.1. Kullanılan NACA 0012 kanat profilleri (a) referans (b) Gurney flap yapılı.....	29
Şekil 2.2. Analizlerde kullanılan Gurney flap geometrileri (a) klasik (b) 1,25 (c) 1,5 (d) şimşek (e) yarım.....	29
Şekil 2.3. C şekilli hesaplama alanı	31
Şekil 2.4. Hesaplama alanındaki ağ yapısı.....	32
Şekil 2.5. Gurney flap yapısına sahip kanatprofili etrafında oluşturulan ağ yapısı	33
Şekil 2.6. NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=25^\circ$ 'deki TKE dağılımı	36
Şekil 2.7. İki boyutlu akış için xy-düzlemindeki akım çizgisinin gösterimi (Çengel, 2020)	36
Şekil 2.8. Akış yapısının gösteriminde yaygın olarak kullanılan metotlar (a) akım çizgileri (b) akım tüpü (White, 2016)	37
Şekil 2.9. Kontrol hacminin ve kontrol sınırının gösterilmesi.....	38
Şekil 2.10. Kontrol hacminin $t=\Delta t$ anındaki durumunun gösterilmesi	39
Şekil 2.11. Türbülans modellerinin sınıflandırılması	43
Şekil 2.12. Hız profilleri arasındaki fark sebebiyle gradyen oluşumu.....	44
Şekil 2.13. Yıllar içerisinde önerilen modellerin zaman çizelgesi.....	46
Şekil 2.14. Karıştırma fonksiyonun duvara olan mesafe ile değişimi	48
Şekil 2.15. Karıştırma fonksiyonun duvara en yakın mesafe gösterimi	48
Şekil 3.1. Farklı türbülans modelleri ile C_L katsayısının α açısıyla değişimi	52
Şekil 3.2. Referans kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişimin farklı türbülans modellerinde ve literatür verileri ile karşılaştırılması	53
Şekil 3.3. $\theta=0^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişiminin S-A ve SST k- ω türbülans modellerinde karşılaştırılması	54

Şekil 3.4. $\theta=15^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişimin S-A ve SST k- ω türbülans modellerinde karşılaştırılması	55
Şekil 3.5. $\theta=30^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişimin S-A ve SST k- ω türbülans modellerinde karşılaştırılması	56
Şekil 3.6. $\theta=45^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür verileri ile karşılaştırılması.....	57
Şekil 3.7. $\theta=60^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür verileri ile karşılaştırılması.....	58
Şekil 3.8. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür verileri ile karşılaştırılması.....	59
Şekil 3.9. Referans kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülansmodel ve literatür verileri ile karşılaştırılması	60
Şekil 3.10. $\theta=0^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model verileri ile karşılaştırılması.....	61
Şekil 3.11. $\theta=15^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model verilerinin karşılaştırılması.....	62
Şekil 3.12. $\theta=30^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişimininfarklı türbülans model verilerinin karşılaştırılması.....	63
Şekil 3.13. $\theta=45^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişimininfarklı türbülans modelleri ve literatür verilerinin karşılaştırılması	64
Şekil 3.14. $\theta=60^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişimininfarklı türbülans model ve literatür verileriyle karşılaştırılması	65
Şekil 3.15. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür verileriyle karşılaştırılması	66
Şekil 3.16. Aerodinamik verim katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür ile karşılaştırılması.....	67
Şekil 3.17. S-A türbülans modeline göre aerodinamik verimin, farklı θ açılarında, α açısıyla değişimi.....	68
Şekil 3.18. SST k- ω türbülans modeline göre aerodinamik verimin, farklı θ açılarında, α açısıyla değişimi.....	69
Şekil 3.19. Kanat profili üzerinde $\alpha=0^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans kanat profili (b) $\theta=90^\circ$	71
Şekil 3.20. Kanat profili üzerinde $\alpha=3^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	72
Şekil 3.21. Kanat profili üzerinde $\alpha=6^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	74
Şekil 3.22. Kanat profili üzerinde $\alpha=9^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	75
Şekil 3.23. Kanat profili üzerinde $\alpha=12^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	76
Şekil 3.24. Kanat profili üzerinde $\alpha=15^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	77
Şekil 3.25. Kanat profili üzerinde $\alpha=18^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	78

Şekil 3.26. Gurney flap yapısına sahip olmayan referans NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=0^\circ$ 'deki basınç katsayısı	79
Şekil 3.27. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=0^\circ$ 'deki basınç katsayısı	80
Şekil 3.28. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=3^\circ$ 'deki basınç katsayısı	81
Şekil 3.29. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=6^\circ$ 'deki basınç katsayısı	82
Şekil 3.30. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=9^\circ$ 'deki basınç katsayısı	83
Şekil 3.31. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=12^\circ$ 'deki basınç katsayısı	84
Şekil 3.32. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=15^\circ$ 'deki basınç katsayısı	84
Şekil 3.33. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=18^\circ$ 'deki basınç katsayısı	85
Şekil 3.34. $\alpha=0^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	86
Şekil 3.35. $\alpha=3^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	87
Şekil 3.36. $\alpha=6^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	88
Şekil 3.37. $\alpha=9^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	89
Şekil 3.38. $\alpha=12^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	90
Şekil 3.39. $\alpha=15^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	91
Şekil 3.40. $\alpha=18^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$	92
Şekil 3.41. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=0^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	93
Şekil 3.42. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=3^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	94
Şekil 3.43. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=6^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	95
Şekil 3.44. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=9^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	95
Şekil 3.45. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=12^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	96
Şekil 3.46. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=15^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	96
Şekil 3.47. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=18^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	97
Şekil 3.48. Kasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=12^\circ$ 'deki hız vektörleri.....	98
Şekil 3.49. S-A türbülans modelinde C_L katsayısının α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması.....	99
Şekil 3.50. SST k- ω türbülans modelinde C_L katsayısının α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması.....	100
Şekil 3.51. S-A türbülans modelinde C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması.....	101
Şekil 3.52. SST türbülans modelinde C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması.....	102

Şekil 3.53. S-A türbülans modelinde aerodinamik verim değerlerinin α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması.....	103
Şekil 3.54. SST türbülans modelinde aerodinamik verim değerlerinin α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması.....	104
Şekil 3.55. $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait basınç dağılımı (a) $\alpha=0^\circ$ (b) $\alpha=3^\circ$	105
Şekil 3.56. $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait basınç dağılımı (a) $\alpha=6^\circ$ (b) $\alpha=9^\circ$	107
Şekil 3.57. $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait basınç dağılımı (a) $\alpha=12^\circ$ (b) $\alpha=15^\circ$	109
Şekil 3.58. $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait $\alpha=18^\circ$ 'deki basınç dağılımı.....	110
Şekil 3.59. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=0^\circ$ 'deki basınç katsayısı	111
Şekil 3.60. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=3^\circ$ 'deki basınç katsayısı	112
Şekil 3.61. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=6^\circ$ 'deki basınç katsayısı	113
Şekil 3.62. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=9^\circ$ 'deki basınç katsayısı	114
Şekil 3.63. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=12^\circ$ 'deki basınç katsayısı	115
Şekil 3.64. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=15^\circ$ 'deki basınç katsayısı	116
Şekil 3.65. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=18^\circ$ 'deki basınç katsayısı	117
Şekil 3.66. $\theta=90^\circ$ 'lik Yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait TKE dağılımı (a) $\alpha=0^\circ$ (b) $\alpha=3^\circ$	118
Şekil 3.67. Yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait TKE dağılımı (a) $\alpha=6^\circ$ (b) $\alpha=9^\circ$	120
Şekil 3.68. Yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait TKE dağılımı (a) $\alpha=12^\circ$ (b) $\alpha=15^\circ$	121
Şekil 3.69. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=18^\circ$ 'deki TKE dağılımı.....	122
Şekil 3.70. $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapısına $\alpha=0^\circ$ ait akım çizgisi.....	123
Şekil 3.71. Yarım Gurney flap yapısına ait $\alpha=3^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	124
Şekil 3.72. Yarım Gurney flap yapısına ait $\alpha=6^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	125
Şekil 3.73. Yarım Gurney flap yapısına ait $\alpha=9^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	125
Şekil 3.74. Yarım Gurney flap yapısına ait $\alpha=12^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	126
Şekil 3.75. Yarım Gurney flap yapısına ait $\alpha=15^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	127
Şekil 3.76. Yarım Gurney flap yapısına ait $\alpha=18^\circ$ 'deki akım çizgisi.....	127
Şekil 3.77. Yarım Gurney flap yapısına ait $\alpha=12^\circ$ 'deki hız vektörleri.....	128

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Ağ sayısının kaldırma katsayısına etkisi.....	31
Çizelge 2.2. Kullanılan analiz özellikleri.....	50
Çizelge 3.1. Türbülans model verilerinin deney verisi ile korelasyon katsayıları.....	59
Çizelge 3.2. Aerodinamik verimin literatür verisi (Uddin (2011)) ile karşılaştırılması	70



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

c	Veter uzunluğu (chord)
α	Hücum açısı
θ	Flap açısı
S-A	Spalart-Allmaras
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
SST	Kayma gerilmesi transport (Shear Stress Transport)
ω	Türbülans spesifik dağılım oranı (1/s)
ε	Türbülans dağılım oran (m^2/s^3)
μ	Dinamik viskozite ($kg/m^{-1}s^{-1}$)
μ_t	Türbülans viskozitesi
NACA	National Advisory Committee for Aeronautics
F_D	Sürüklenme kuvveti (N)
F_L	Taşıma kuvveti (N)
C_D	Sürüklenme katsayısı
C_L	Kaldırma katsayısı
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
A	Kesit alanı (m^2)
V	Serbest akım hızı (m/s)
∇	Del operatörü
TKE	Türbülans kinetik enerjisi (m^2/s^{-2})

1. GİRİŞ

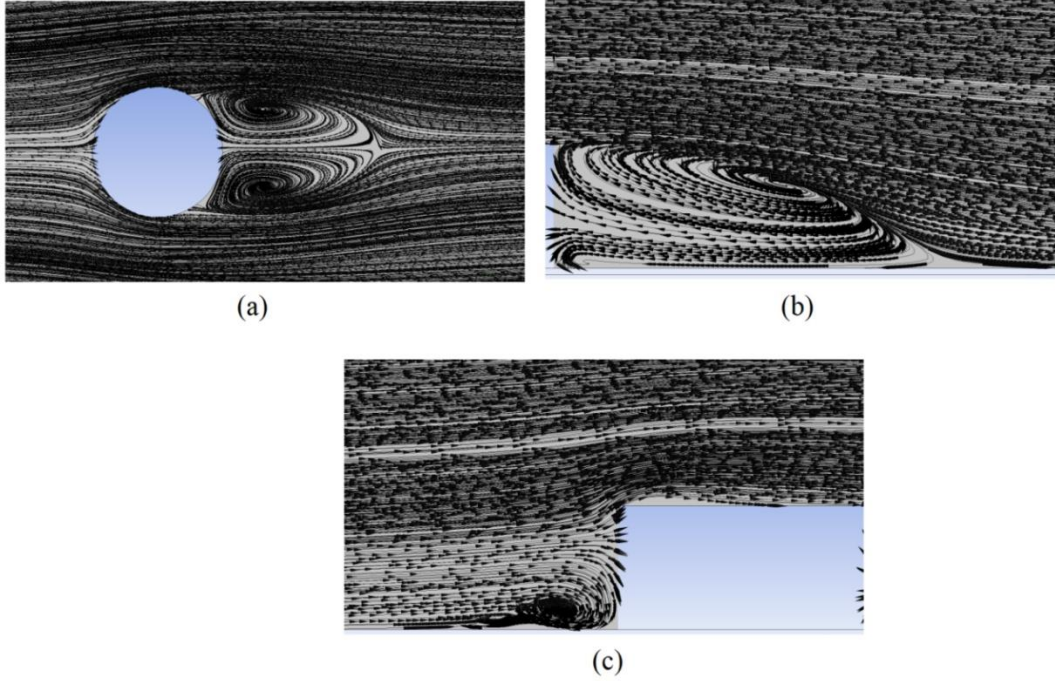
Akış içerisindeki bir cisim etrafında, cisim yüzeyi boyunca akış çizgileri ilerlemiyor ve cisim arkasında büyük ölçekli bir art izi bölge oluşmasının nedeni olan cisim yüzeyinde akış ayrılmaları yaşanıyor ise, bahsedilen cisim aerodinamik açıdan küt cisim sayılmaktadır. Küt cisimler, "pressure drag" olarak adlandırılan, toplam sürüklemenin içerisinde yer alan basınç sürüklemesi etkisi altında kalan cisimlerdir. Silindir, kare prizma, piramit veya küre geometrik şekillerine sahip küt cisimler, endüstri alanında ve mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [1].

Kullanılan birçok aracın veya yapının küt cisim şeklinde olmasından dolayı, küt cisim üzerindeki akış yapısının incelenmesi gerek araçlardaki yakıt tüketiminin azaltılmasını ki bu durum verimi arttırdığı gibi emisyonun azaltılmasını gerekse yapısal anlamda ani ve yıkıcı sonuçlara yol açan hasarların önlenmesini sağlamaktadır. Bu tür hasarlara verilebilecek en uygun örnek 1940 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Washington'da meydana gelen ve Şekil 1.1'de gösterilen Tacoma Narrows Köprüsü'nün çöküşü olabilir. Yıkılışının ardından yıllar geçmesine rağmen yıkılmasının nedeni hakkındaki tartışmalar sürerken, bazı görüşlere göre, köprü'nün yıkıldığı gün çıkan kuvvetli rüzgarın etkisiyle köprü üzerinde oluşan rezonans ile birlikte köprü'nün sahip olduğu doğal rezonansların oluşturduğu net kuvvetinin etkisiyle köprü yıkılmıştır. Bir takım fizikçilere göre ise köprü salınımlarının aksine, monoton şekilde artan rüzgar hızına ilave burulma salınımı etkisiyle yıkıldığı yönündedir [2].



Şekil 1.1. Tacoma Narrows Köprüsü (Olson, 2015)

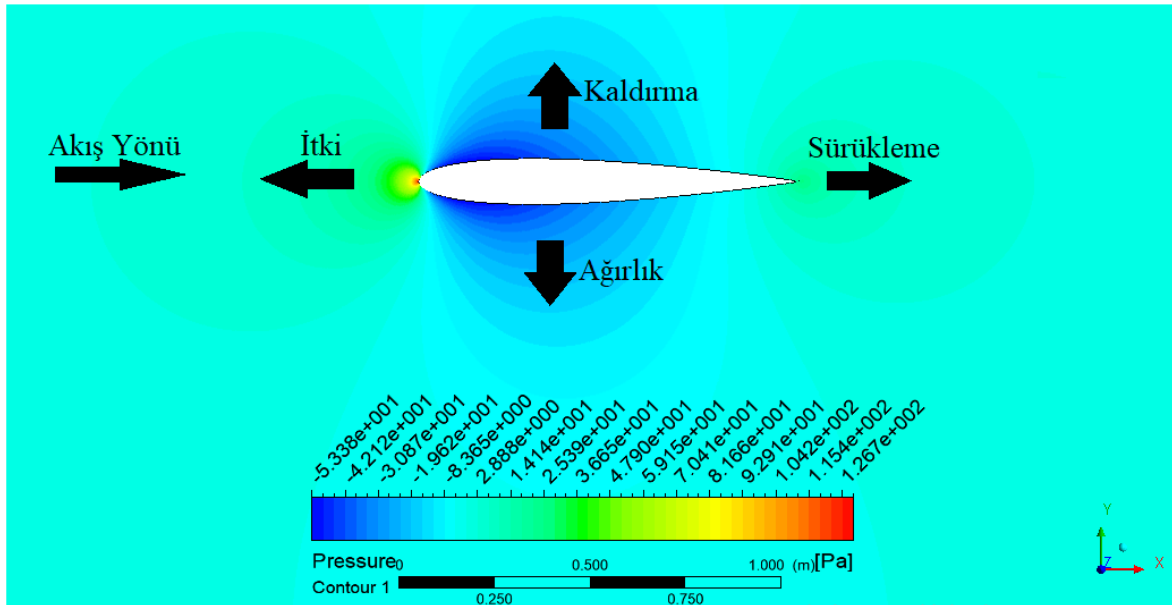
Farklı yapılardaki küt cisimler üzerindeki farklı akış yapılarının incelenmesiyle birlikte, farklı koşullardaki girdap şiddeti gibi akış yapısı hakkında bilgi edinilebilmektedir. Köprü ve bina gibi sivil yapıların çoğu dikdörtgen veya dairesel kesitli yapılar kullanılmaktadır. Bu tür yapıların üzerinden akmakta olan akışın modellenmesi, kare veya dairesel silindir kullanılarak kolayca modellenebilmektedir.



Şekil 1.2. Üç Boyutlu Dairesel kesitli cisim etrafındaki akış yapısı

Dairesel kesite sahip olan üç boyutlu bir silindirin $Re = 1000$ değerinde akmakta olan suyun silindir üzerindeki akış yapısı Şekil 1.2’de gösterilmektedir. Şekil 1.2a’da gösterilen akış yapısı silindirin yüksekliğinin orta noktasında meydana gelen akış yapısıdır. Silindirin art izi bölgesi incelendiğinde iki adet girdap yapısı ve girdapların aşağı akımındaki durma noktası net olarak ayırt edilmektedir. Şekil 1.2b’de silindir arkasındaki ters akış bölgesi ve girdap yapısı net bir şekilde görülmektedir. Şekil 1.2c’de ise silindirin tam orta noktasında dikey bir şekilde yerleştirilen düzlemdaki akış yapısı görülmektedir. Silindirin akış ile temas ettiği yüzeyin alt kısmında meydana gelen ters akış bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgede oluşan girdap yapısı silindirin yan yüzeyleri boyunca devam ederek silindir arkasına uzanmaktadır. Bu girdap yapısı aldığı şekilden ötürü “at nalı girdap” yapısı olarak adlandırılmaktadır.

Kanat yapısının hücum kenarı olarak adlandırılan ön kenarı ile firar kenarı olarak adlandırılan arka kenarı arasında çizilen düz çizgi veter çizgisi olarak adlandırılmaktadır. Veter çizgisi üzerinden hücum kenarı ile firar kenarı arasındaki mesafe ölçüsü veter olarak ifade edilmektedir. Veter çizgisine dik bir şekilde kanat üst kısmı ile alt kısmı arasında mesafe airfoil kalınlığı olarak bilinir ve veter çizgisi boyunca değişik değerlere sahiptir. Kamber çizgisi, kanat üst yüzeyi ile alt yüzeyinin tam ortasında bulunmaktadır. Kamber, kamber çizgisi ile veter çizgisi arasındaki maksimum mesafe olarak ifade edilmektedir. Hücum açısı ise kanat veter çizgisi ile serbest akım çizgisi arasında kalan açı olarak ifade edilmektedir.

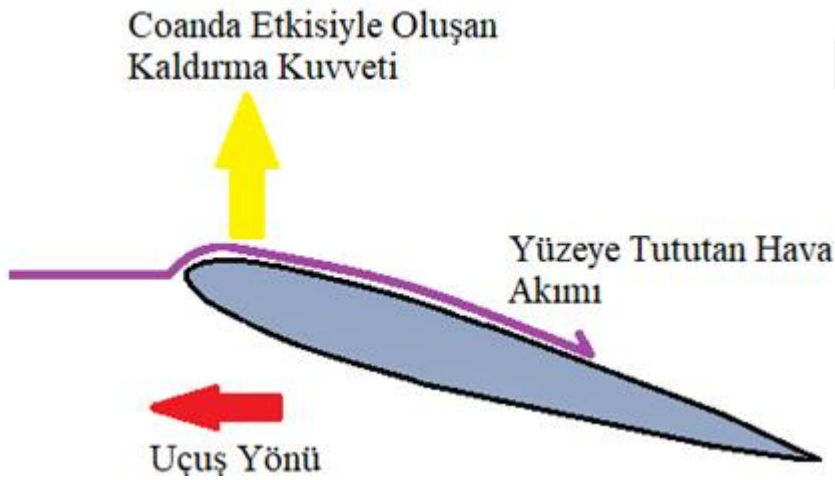


Şekil 1.4. Kanat üzerine etkiyen kuvvetlerin gösterimi

Kanat üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 1.4'te görülmektedir. Kaldırma kuvveti kanada göredik konumda olan aerodinamik bileşendir. Kanat üzerinde kaldırma bileşenin oluşmasının açıklanması için farklı teoriler mevcuttur. Bunlardan ilki Bernoulli prensibidir. Bernoulli prensibine göre gazlarda ve sıvılarda göreceli yüksek hız alanları düşük basınç sistemleri yaratırken, göreceli yüksek basınç alanları düşük hız alanları yaratmaktadır. Bu nedenle kanat üst yüzeyinde yüksek hız ve düşük basınç varken, kanat alt yüzeyinde yüksek basınç ve düşük hız mevcuttur. Yüksek basınçlı hava, alçak basınçlı hava tarafına ilerler ve profil altındaki yüksek basınçlı hava kanadı yukarı yönde iter ve kanat üzerinde oluşan bu kuvvet taşıma (kaldırma) kuvveti olarak adlandırılır. Fakat akışkanlar dinamiğinde, bir engel tarafından ayrılan ve engelin sonundaki bir noktada birleşen iki hava parçasının

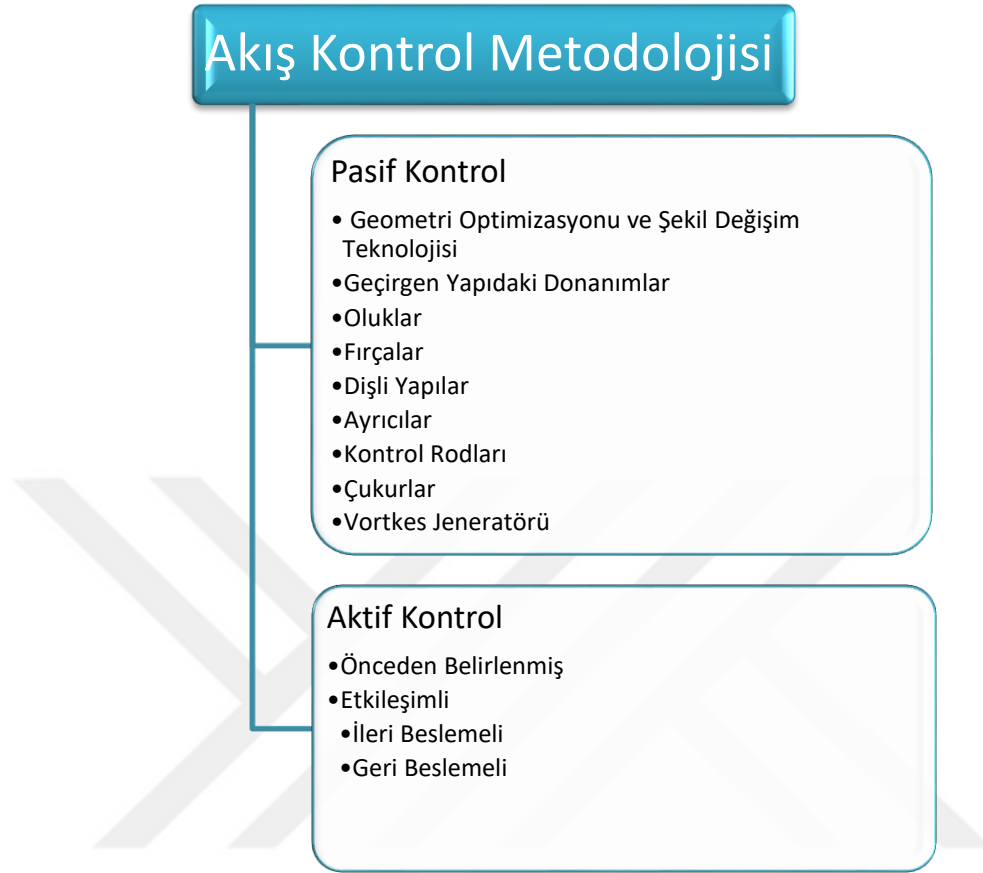
açıklanabileceği bir ilke bulunmamaktadır. İkincisi ve literatürde taşıma kuvvetinin oluşumu için doğru sayılan teori dönen akış teorisidir. Bu teoriye göre kanat profili, kanat üst yüzeyi boyunca üzerinden geçmekte olan havayı büker ve firar kenarından geçen kanata dik bir hız yaratmaktadır. Havanın kanat profili tarafından bükülmesi, akışın viskozite özelliğinden ve Coanda etkisinin sonucudur. Coanda etkisi en temel tanımı ile yüksek hızlı hava akışının izleyeceği düz bir çizgide hareket etmek yerine kıvrımlı bir yüzey üzerinde hareket etmesidir. Coanda etkisi, Şekil 1.5'te görüldüğü gibi taşıma kuvvetinin oluşumu hava akışının yönünün değişimi ile veya kanat profili üzerinde alçak basınç bölgesi yaratan havanın sürüklenmesiyle elde edilebilir [6].

Hava akışına paralel ve taşıma kuvvetine dik olan aerodinamik bileşen ise sürüklenme kuvvetidir. Sürüklenme kuvveti hava akışına ters yönde gerçekleşen göreceli hareket sonucu oluşmaktadır. Sürüklenme kuvveti kanat şekline bağlı olup, kanat üzerindeki basınç dağılımını etkilemektedir.



Şekil 1.5. Coanda etkisinin kanat üzerinde taşıma kuvveti oluşturması

Kaldırmanın artırılması, sürüklemenin azaltılması, gürültünün minimize edilmesi, sınır tabaka ayrılması gibi kanat aerodinamik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan metotlar aktif metot ve pasif metot olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aktif ve pasif metotların temel mantığı sınır tabaka bölgesinde akışın kontrol edilmesine dayanmaktadır. Akış kontrolünde kullanılan aktif ve pasif metotlar sayesinde türbülans karakteristiği değişebilir, türbülans kinetik enerjisi azalabilir veya artabilir, hafif veya ağır stall fenomenini akış ayrılmasını engelleyebilir veya geciktirebilir [7].



Şekil 1.6. Akış kontrol metodolojisi şeması

Akış kontrol yöntemleri Şekil 1.6’da gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde aktif akış metodunun, önceden belirlenmiş ve etkileşimli olmak üzere iki grupta sınıflandırıldığı görülmektedir. Önceden belirlenmiş aktif kontrol metotlarında, akış alanının durumundan bağımsız olarak düzenli veya düzensiz akış girdileri mevcuttur. Açık döngülü kontrol şemasına sahip olan önceden belirlenmiş aktif kontrol metodu, akış alanlarının düzenlenmesinde oldukça verimli bir metottur. Önceden belirlenmiş aktif kontrol metotlarına örnek olarak, sürüklenme azaltmak için kullanılan titreşim üreticiler, stall sonrası kaldırma arttırıcılar, jet vektörlemesinde kullanılan piezoelektrik üreticiler verilebilir [8]. Jet vektörlemesinde kullanılan piezoelektrik üreticilerine ait çalışmaya örnek olarak Mossi ve ark. (2005)’nin yayımladıkları çalışma gösterilebilir [9].

Etkileşimli aktif akış kontrol metodunda ise akışa düzenleyici tarafından verilen enerji, ölçüm elemanı olan sensörlerden gelen ölçüm ile sürekli ayarlanmaktadır. Etkileşimli aktif akış kontrol çevrimi, ileri beslemeli veya geri beslemeli çevrim olarak

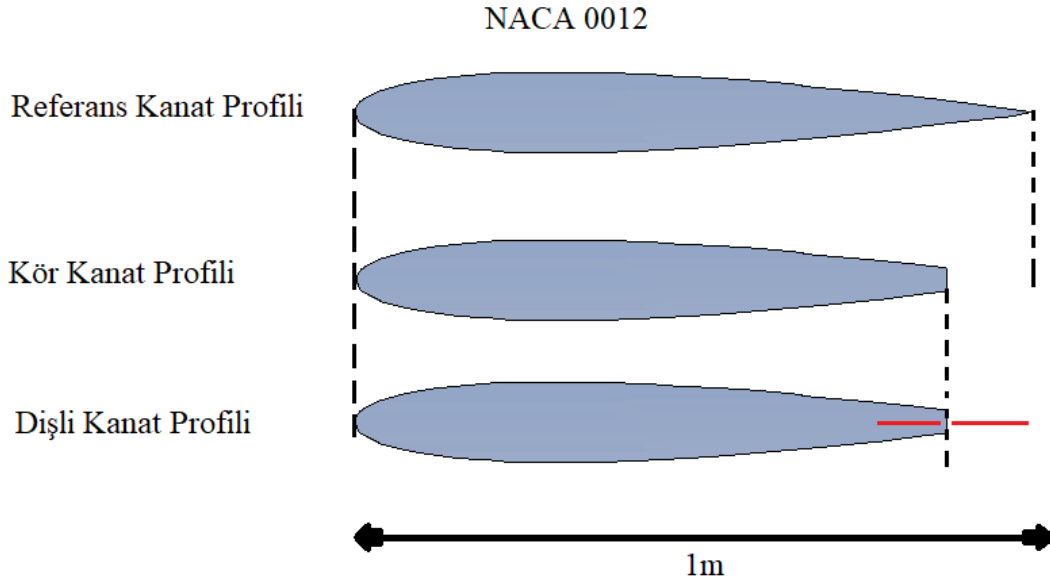
sınıflandırılmaktadır. İleri beslemeli etkileşimli aktif kontrol çevriminde, sensörler düzenleyicinin yukarı akım bölgesine yerleştirilmektedir. Bu durumun sonucu olarak, ölçülen akış alanı parametreleri ile kontrol edilen akış alanı parametreleri farklılık göstermektedir. Geri beslemeli etkileşimli aktif akış kontrol metodunda ise sensör, üreticinin aşağı akımına kontrol edilen akış alanı içerisinde konumlandırılmıştır. Geri beslemeli etkileşimli akış kontrol metodunda, akışa üretici tarafından gönderilen enerjinin kontrolü sağlanmaktadır [8].

Aktif metotların kullanılması ile elde edilen fakat pasif metotlarla elde edilemeyen iki kazanım mevcuttur. Bunlardan ilki aktif akış kontrol teknolojisi kullanılarak, doğal akış yapısının kontrolünü, az miktarda ve bölgesel enerji girdisiyle sağlamaktır. Belirlenen hassas bölgede kontrol sağlanması oldukça etkilidir. İkinci kazanım ise türbülanslı sınır tabakalardaki türbülans üretimi gibi karmaşık ve dinamik yapıları işlemlerde yüzey sürtünmesinin ve bunun bir sonucu olarak da viskoz sürtünmesinin azaltılması noktasında kontrol sağlanmasıdır. Sınır tabakalardaki türbülans oluşumu, duvara yakın bölgeler ve düşük hızlara ait akım çizgileri ile bağıntılı dinamik ve karışık fenomen olarak anlaşılmaktadır [8].

Akış kontrol metotları içerisinde diğer bir ana başlık ise pasif akış kontrol metodudur. Pasif akış kontrol metodundaki ana fikir mevcut geometrideki yapılan değişiklikler sayesinde geometrinin akış içerisinde optimum hali almasıdır. Pasif akış kontrol metotlarında, aktif akış kontrol metotlarında olduğu gibi harici güç kullanımı mevcut değildir. Krishnan ve ark. (2022) NACA 0012 kanat profili geometrisi üzerinde gerçekleştirdiği modifikasyon sayesinde elde ettikleri aerodinamik iyileştirme kanat üzerindeki akış yapısının pasif kontrolüne örnek olarak gösterilebilir [10]. Şekil 1.6'da birkaç gösterilen pasif akış kontrol metotlarında, geometri optimizasyonu ve şekil değişim teknolojisi, ek yüzey iyileştirmeleri, geçirgen yapıdaki donanımlar, oluklar, fırçalar, dişli yapılar, kontrol rodları, ayırıcılar, çukurlar ve vorteks jeneratörleri ana konu başlıklarıdır [7].

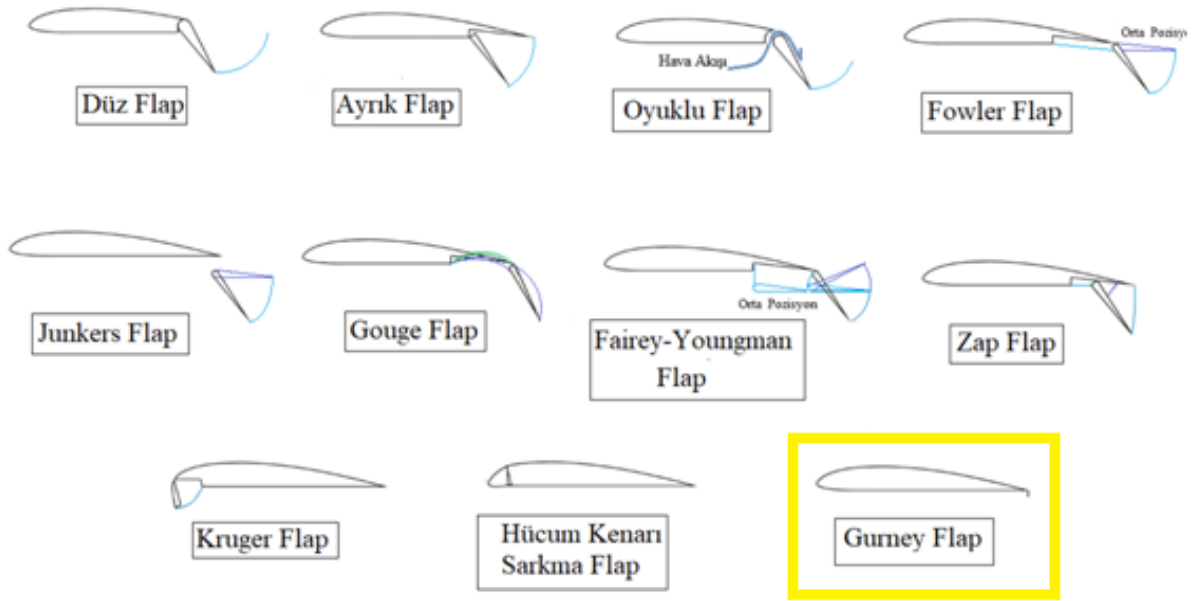
Kanat veter uzunluğunun 1m olduğu NACA 0012 kanat profillerinin farklı firar kenarlarına sahip çeşitleri Şekil 1.7'de gösterilmiştir. Şekilde yer alan ve kanat geometrisinde aerodinamik karakteristiğin iyileştirilmesi için değişiklikler pasif akış kontrol metoduna örnek olarak gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde üstte normal NACA 0012 kanat

profiliyer almaktadır. Orta bulunan görselde ise sivri firar kenarının çıkarıldığı kanat profili, altta ise kör kanat profiline eklenen dişli yapısı yer almaktadır.



Şekil 1.7. NACA 0012 kanat profiline ait pasif akış kontrol metot örnekleri

Pasif akış kontrol metotları içerisinde sayılan vorteks jeneratörleri, stall ve türbülans durumlarını önlemek, akışkanın cisim yüzeyi boyunca akış katmanları arasındaki etkileşimi arttırmak için dizayn edilen küçük ekipmanlardır. Vorteks jeneratörlerine örnek olarak flap yapıları, eleron (aileron) olarak adlandırılan kanatçıklar ve dümen yapıları verilebilir. Yüksek kaldırıcı ekipmanlardan birisi olan ve stall açısını arttırmaya, akış ayrılmalarını geciktirmeye yarayan belirli uzunluklara sahip aerodinamik parçalara flap denir. Flapli kanat yapılarının çeşitleri Şekil 1.8'de gösterilmiştir [11]. Literatürde hakkında birçok çalışmanın bulunduğu Gurney flap yapısı, bu tez çalışmasının asıl konusudur.

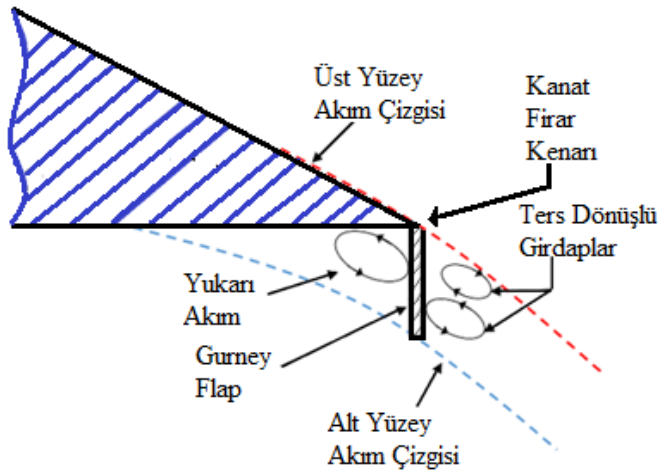


Şekil 1.8. Farklı flap çeşitleri (Skybrary, 2022)

Düz flap yapısı, kanat firar kenarında bir menteşe ile kanat alt yüzeyine eğilmesiyle oluşan yapıdır. Düz flap yapısı ile üretilebilecek kaldırma oldukça sınırlıdır. Ayrık flap yapısı kanat alt yüzeyinde dönmüş flap yapısıdır. Ayrık flap yapısı düz flap yapısına kıyasla bir miktar fazla taşıma kuvveti üretmektedir. Oluklu flap yapısı diğer flap yapıları gibi kanat kamberlik oranını artırmaktadır. Flap ile kanat profli arasında boşluk bulunmaktadır. Oluklu flap yapısının açılmasıyla birlikte, kanat alt yüzeyinde bulunan yüksek basınçlı hava kanat ve flap arasındaki boşluktan kanat üst yüzeyine ilerlemektedir. Kanat üst yüzeyine geçen hava kanadın sınır tabakasına ilave enerji eklemektedir ve kanat yüzeyindeki basınç ayrılmasını erteleyip daha düşük sürüklenme oluşturmaktadır. Yüksek oranda taşıma kuvveti sağlayan bir diğer flap yapısı Fowler flap yapısıdır. Fowler flap yapısının genişlemesiyle birlikte, kanat yüzey alanını artırmaktadır. Flap yapısının üzerinde birden çok boşluk bulunmakta ve kanat üst yüzeyine ilave enerji eklemektedir. Junker flap yapısı, kanat firar kenarının altına eklenen düz flap yapısıdır. Junker flap yapısının tasarımında akışın kanat ile flap yapısı arasından geçmesini sağlamaktadır. Junker flap yapısı düz ve ayrık flap yapısından daha yüksek oranda taşıma kuvveti oluşturmaktadır. Parazit sürüklenme ve baskılı sürüklenme değerleri açısından diğer flap yapılarına göre daha yüksek değerlerin uçuş hızlarında elde edilmesi ve yüksek oranda ters sapma elde edilmesi açısından dezavantajlara sahiptir. Gouge flap yapısı, ayrık flap yapısı

çeşitlerinden birisidir ve herhangi bir ek mekanizmaya ihtiyaç duymadan kort uzunluğunu ve kamberliğini artırmaktadır. Fairey-Youngman flap yapısı, kanat firar kenarı kaymadan, kanat alt yüzeyinde yer almaktadır ve bu parça yukarı, aşağı hareket etmektedir. Zap flap yapısı, firar kenarına kanat alt yüzeyinde flap kadar boşluk bulunan bölgenin orta kısmına bir mafsal aracılığı ile eklenmektedir. Flap yapısı genişlediğinde üçgen şeklinde yol izlemekte ve flap yapısının alt bölgesindeki akışı baskılamaktadır. Kruger flap yapısı kanat alt hücum kenarında mafsallı bir flap yapısıdır. Kruger flap yapısı sayesinde kanat kamberliği ile kanat kalınlığı artmakla beraber, kaldırma ve sürüklenme de artmaktadır. Hücum kenarı sarkma flap yapısında kanat hücum kenarının tamamı kanat aşağısına sarmakla beraber, etkili bir şekilde kanat kamber oranını artırıp, kanat veter uzunluğunu azaltmaktadır.

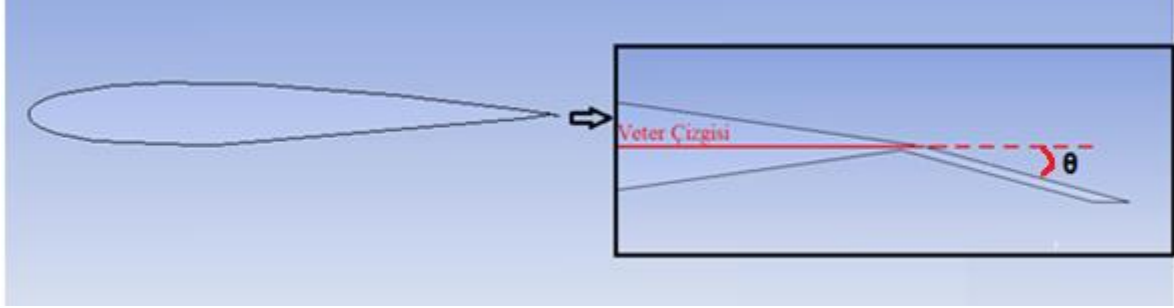
Üretiminin kolay olması, basit geometriye sahip olması ve düşük maliyeti sebebiyle, aerodinamik uygulamalarının birçoğuna konu olan Gurney flap yapısı günümüzde helikopterlerden, süper kritik kanatlara, ses üstü kanatlara ve delta kanat yapılarına kadar geniş bir kullanım aralığı mevcuttur.



Şekil 1.9. Kanat firar kenarına yerleştirilen Gurney flap yapısının fiziksel etkisinin şematik gösterimi

Klasik Gurney flap, firar kenarına eklenen küçük, düz bir plaka olup veter çizgisine dik bir şekilde yerleştirilmektedir. Gurney flap yapısı, kanada etkiyen taşıma kuvvetini sürekli hal şartlarında bulunan akışkanlar dinamiği ve özellikle aerodinamik akış şartlarındaki akış içerisinde, keskin bir arka kenara sahip cismin ilerlemesi ile keskin kenardaki durma noktasında tutunacak kadar devir dayanımı elde etmesini ifade eden Kutta koşulunun

değişmesi ile kolaylıkla artırmaktadır. Kanat firar kenarına eklenen bir Gurney flap yapısının akış üzerindeki fiziksel etkisi Şekil 1.9’da gösterilmektedir.



Şekil 1.10. NACA0012 kanat profili firar kenarında Gurney flap açısının (θ) gösterimi

NACA 0012 kanat profilinin veter çizgisi ile kanat firar kenarına yerleştirilen Gurney flap yapısı arasındaki açı olan “ θ ” Şekil 1.10’da gösterilmiştir. Çoğu klasik Gurney flap uygulamalarında bu açı $\theta=90^\circ$ olarak kabul etmektedir. Gurney flap açısının ve hücum açısının değişmesiyle kanat üzerindeki aerodinamik etkilerinin HAD programı aracılığı ile incelenmesi, literatürdeki çalışmalar incelendiğinde üzerinde fazla çalışılmayan bir konu olduğu anlaşılmaktadır.

Gurney flap yapısı, araba yarışçısı olan Dan Gurney tarafından ilk defa 1971 yılında yarış arabasında kullanılmış ve neticesinde taşıma kuvvetinin tersi yönünde bastırma kuvvetini artırmış, bu sayede arabanın hızlanma, fren ve viraj alma sırasında yol tutuşu artmıştır. Liebeck, 1989 yılında Gurney flap yapısını deneysel olarak ilk defa Newman kanat profilinde kanat veter uzunluğunun %1,25’i kadar uzunlukta kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda flapli kanat modelinin, flapsiz kanat modeline göre daha büyük kaldırma katsayısı (C_L) ürettiği ve sürüklenme katsayısını (C_D) azalttığını gözlemlemiştir [12].

Troolin, Longmire ve Lai (2006) Gurney flap yapısına sahip NACA 0015 kanat profili üzerindeki akışın zaman çözümlenmeli parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) ile analizini Reynolds sayısının 2×10^5 değerinde rüzgar tüneline gerçekleştirilmişlerdir. Gurney flap uzunluğunu, kanat veter uzunluğunun %1 ile %4 değerleri arasında kullandıkları çalışmada Gurney flap yapısının kanat firar kenarına dik bir şekilde yerleştirmişlerdir. Gurney flap yapısının eklenmesiyle birlikte kaldırma katsayısının hücum açısıyla birlikte değişiminin göreceli önemli oranda lineer arttığı sonucuna

ulaşmışlardır. Gurney flap yapıları kanat profiline aşağı akımında iki belirgin girdap dökülmesi biçiminin olduğunu gözlemlemişlerdir. Baskın olan biçimin asimmetrik küt cisimlerin arkasında Karman vorteks caddesini birleştirdiğini, diğer biçimin ise flap yukarı akımındaki boşlukta dönme hareketi yapan akışın kesikli dökülmesinin sebep olduğu ve hücum açısının artmasına bağlı olan biçim olduğunu belirtmişlerdir. Gurney flap uzunluğunun %4'lük kanat veter uzunluğuna eşit olduğu kanat profiline, 8°'lik hücum açısında birinci ve ikinci biçimlerin flap yüksekliğinin 0,18 ve 0,13 değerlerindeki Strouhal sayısı ile uyumlu olduğu vurgulanmışlardır [13].

Li, Wang ve Hua (2006) süper kritik kanat profiline Gurney flap yapısının ve ayrılmış firar kenarını etkilerinin incelemesini deney yolu ile incelemişlerdir. Kanat veter uzunluğuna bağlı Reynolds sayısı değerini $3,15 \times 10^5$ değerinde kullanmışlardır. Gurney flap uzunluğunu, kanat veter uzunluğunun %0,5; %1; %1,5; %2 değerlerinde kabul ettikleri incelendiğinde Gurney flap yapısına sahip kanat profiline test edilen süper kritik kanat profiline göre aerodinamik etkileri geliştirmede daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Gurney flap yapısının kullanılmasıyla kaldırma katsayısı, maksimum kaldırma katsayısı, maksimum kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısına oranı gibi aerodinamik parametrelerin değerlerinin arttığını vurgulamışlardır. Yüksek hız koşullarında Gurney flap yapısının kaldırma katsayısını artırması, temel olarak kanat şoku geriye çekebilmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir [14].

Lee ve Ko (2009) NACA 0012 kanat profiline firar kenarına yerleştirilen delikli yüzeye sahip Gurney flap yapısının arkasında meydana gelen akış yapısını, parçacık görüntülemeli akış ölçüm yöntemi (PIV) ile deneysel olarak incelemişlerdir. PIV ölçümünün gerçekleştirildiği rüzgar tüneline serbest akımın türbülans yoğunluğunu %0,9 olarak ölçmüşlerdir. Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline içinde bulunduğu akış yapısının Reynolds sayısı $Re=5,3 \times 10^4$ değerine eşit olarak kabul etmişlerdir. Kanat veter uzunluğunun %3,2 ; %4,8; %6,4; %12 değerinde olmak üzere dört farklı Gurney flap uzunluğunda gerçekleştirdikleri deneyde geçirgenlik oranı olarak %0, %23, %40, %50 değerlerini kullanmışlardır. Gerçekleştirilen deney sonucunda, geçirgenlik oranının %0 olduğu ve katı Gurney flap olarak isimlendirdikleri Gurney flap yapısına sahip kanat profili için Gurney flap yapısının kaldırma katsayısını artırdığını ve bu durumun flap yapısının kanat profiline kamberlik oranını artırmasından gerçekleştiği sonucuna varmışlardır. Aynı

zamanda Gurney flap yapısının Kutta koşulunun meydana geldiği bölgeyi değiştirmesinin de kaldırma katsayısında meydana gelen artışta rol oynadığını vurgulamışlardır. Kanat veter uzunluğunun %12'lik uzunluğuna sahip olan Gurney flap yapısının kanat üzerinde meydana gelen maksimum kaldırma katsayısını %75 artırdığını gözlemlemişlerdir. Genel olarak Gurney flap yapısının geçirgenliğinin artması ile daha düşük kaldırma katsayısı elde edildiğini, daha düşük genişlikte girdap oluşumunun gerçekleştiğini, daha düşük sürüklenme katsayısı elde edildiği fakat daha yüksek aerodinamik verim olarak adlandırılan kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısının elde edildiği sonuçlarına ulaşmışlardır [15].

Lee ve Su (2011) kanat profilinin firar kenarına eklenen flap yapısı ve Gurney flap yapısına sahip kanat profillerinin akış yapısını ve taşıma kuvveti iyileştirmeleri üzerine deneysel olarak rüzgar tüneline çalışmışlardır. Kanat profili olarak NACA 0015 kanat profilini kullanmışlardır. Serbest akışın türbülans yoğunluğunu %0,1 olarak, hızını ise 15,2 m/s olarak ölçmüşlerdir. Reynolds sayısının $2,54 \times 10^5$ olarak alındığı deneysel çalışmada Gurney flap yapısının uzunluğu, kanat veter uzunluğunun %0,7; %1,5; %2,1; %3; %4,5; %6 değerlerinde kullanıp, Gurney flap yapısının geçirgenlik oranı ise %0, %23, %40 olarak kabul etmişlerdir. Deneyin sonucunda firar kenarındaki flap yapısına eklenen Gurney flap yapısının ortalama akışın dönen aşağı akımında ilave bir artış yarattığı, yalnızca firar flap yapısına veya yalnızca Gurney flap yapısına göre önemli ölçüde kaldırma katsayısı, sürüklenme katsayısı elde ettiği sonuçlarına ulaşmışlardır. Maksimum kaldırma katsayısının Gurney flap yüksekliğinin artmasıyla elde edildiğini, maksimum verimin ise düşük Gurney flap yüksekliklerinde elde edildiğini vurgulamışlardır [16].

Greenblatt (2011), fan kanadı veter uzunluğunun (c), %10, %20, %30'u kadar uzunluktaki Gurney flap yapısının düşük Reynolds sayısı değerleri için deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın sonucuna göre düşük Reynolds sayılarında yüksek flap uzunluklarının, aerodinamik verim olarak adlandırılan C_L/C_D oranını, yüksek Reynolds sayılarında kullanılan düşük flap uzunlukları kadar etkilediğinitespit etmiştir. Aynı flap uzunluklarının hem kalın hem de ince yapılarının incelenmesi sonucunda hacimsel debinin belirli aralıkta beklenmedik azalma gösterdiği, fakat artan debi ile birlikte azalışın daha yavaş gerçekleştiğini ifade etmiştir [17].

Uddin ve Hasan (2011) NACA 0012 kanat profiline eklenen Gurney flap yapısını hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı aracılığı ile incelemiştir. Elde ettikleri verileri literatürdeki mevcut deneysel veriler ile karşılaştırarak çalışmalarının doğruluğunu ispatlamayı amaçlamışlardır. Nümerik çalışmalarında kullandıkları Gurney flap geometrisini dikdörtgen ve üçgen formunda seçmişlerdir. Dikdörtgen ve üçgen geometrik yapısına sahip Gurney flap yapılarının her ikisinin de aerodinamik verimi (kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısına oranını) artırdığını gözlemlemişlerdir [18].

Mohammadi, Doostlab A. ve Doostlab M.(2012) farklı şekillere sahip Gurney flap yapısının rüzgar türbin kanadı üzerindeki etkilerinin farklı hücum açılarında incelenmesini veter uzunluğuna bağlı $Re = 2,0 \times 10^6$ değerinde HAD ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada klasik Gurney flap modeli ile fırcan kenarı kavisli kanat modeli ve fırcan kenarı kama şekilli kanat modellerinin karşılaştırılmasına yer vermişlerdir. Artan hücum açısıyla birlikte C_L katsayısında artış gözlemekle beraber C_L katsayısının maksimum olduğu durum Gurney flap uzunluğunun $2c$ değerinde olduğu sonucuna ulaşmışlardır. C_L/C_D oranının hücum açısıyla değişimi incelediğinde maksimum C_L/C_D oranı flapsiz kanat profilinde gözlemlemişlerdir [19].

Takakura, Kobayashi ve Takagi (2012) Gurney flap yapısına sahip kanat profilinin akış görselleştirmesini gerçekleştirmişlerdir. Kanat profili olarak NACA 4412 kullanmışlar ve akış görselleştirmesini rüzgar tüneline gerçekleştirmişlerdir. Gurney flap yapısının uzunluğunu kanat veter uzunluğunun 0 ile 6 arasındaki değerlerde ve Reynolds sayısını $6,5 \times 10^5$ değerinde kabul etmişlerdir. Deney koşullarını üç boyutlu akış için ve sanki iki boyutlu akış için kabul etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda Gurney flap yapısının kaldırma katsayısını ve stall fenomeni açısını artırdığını, üç boyutlu akış için flap yüksekliğinin artmasıyla birlikte stall açısının önemli ölçüde arttığı sonucuna varmışlardır. İki boyutlu akış için ise kaldırma katsayısının üç boyutlu akıştaki kaldırma katsayısından aynı hücum açısında daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Gurney flap yapısının kaldırma-ağırlık oranı ve kompaktlık açısından verimli avantajlara sahip olduğu sonucuna varmışlardır [20].

Li-shu, Chao, Wen-ping ve Ke (2013) vorteks jeneratörü ve Gurney flap yapısının performansını deneysel olarak araştırmışlardır. Rüzgar tünellerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında Gurney flap yapısı ile vorteks jeneratörünü karşılaştırmışlardır. Üzerinde

herhangi bir yapının bulunmadığı sade kanat profili, Gurney flap yapılı kanat profili, vorteks jeneratör yapısına sahip kanat profili ve hem Gurney flap yapısına hem de vorteks jeneratörü yapısına sahip kanat profilinin dahil edildiği çalışmada, aynı hücum açısı için Gurney flap yapılı kanat profilinin diğer kanat profillerine oranla daha fazla taşıma kuvvetine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Vorteks jeneratörünün kullanılmasıyla kanat yüzeyinden akış ayrılması olarak ifade edilen stall fenomeninin gerçekleşme açısının önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir. Kaldırma katsayısı ve stall açısı için Gurney flap yapısı ile vorteks jeneratörünün bir arada kullanılmasının en etkili yol olacağı, iki yapının bir arada uygun koşullarda kullanımının kanat aerodinamik karakteristiğini önemli ölçüde geliştirdiği sonucuna varmışlardır [21].

Kheir-aldden ve Hamid (2014) Clark Y-14 kanat profili üzerindeki Gurney flap yapısının etkisini Reynolds sayısını $2,1 \times 10^5$ değerinde deneysel olarak incelemişlerdir. Düz Gurney flap uzunluğu olarak kanat veter uzunluğunun %1,19 ile %5,60'ı arasında değerlerini kullanmışlardır. Kanat veter uzunluğunun %5,60'ı uzunluğa sahip Gurney flap yapısına farklı uzunluklarda ve şekillerde dişler açmışlardır. Deney sonuçlarına göre kanat veter uzunluğunun %1,19 uzunluğuna sahip Gurney flap yapısını bulunduran kanat profili, Gurney flap yapısı bulunmayan kanat profiline göre %5,31 daha fazla kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısının oranı olarak ifade edilen aerodinamik verime sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Dişli Gurney flap yapısının aerodinamik verimi artırma eğilimde olduğunu özellikle dikdörtgen diş yapısına sahip Gurney flap yapısının diğer dişli Gurney flap yapılarına kıyasla daha iyi sonuç verdiğini vurgulamışlardır [22].

Jain, Sitaram ve Krishnaswamy (2015) Kanat profili üzerindeki Gurney flap etkisinin incelenmesini bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Gurney flap yapısının NACA 0012 kanat profili üzerine eklendiği sayısal çalışma iki boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Gurney flap uzunluğunun %0,5 ile %4 kanat veter uzunluğu arasında altı farklı değerde kabul ettikleri çalışmada, sonuçların karşılaştırılması için Gurney flap yapısız kanat profilini de çalışmaya dahil etmişlerdir. Gurney flap yapısının kanat profili yüzeyine eklenme açısı, 30° ile 120° arasında yedi farklı değer almıştır. Kullanılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği programında türbülans modeli olarak RNG k- ϵ türbülans modeli kullanmışlardır. Reynolds sayısının $2,1 \times 10^6$ olarak alınmıştır. Gurney flap yapılı kanat profilin hücum açısının $\alpha=10^\circ$ olduğu değerinde, Gurney flap yapısız kanat profiline göre Gurney flap uzunluğunun artmasıyla daha fazla

kaldırma katsayısı elde ettiği, maksimum kaldırma katsayısının Gurney flap kanat profili uzunluğunun artmasıyla azalma gösterdiğini vurgulamışlardır. Gurney flap ile kanat profili arasındaki açının incelenmesi sırasında $\theta=90^\circ$ 'lik açığa sahip kanat profilinin diğer Gurney flap açılara göre daha fazla kaldırma katsayısı elde ettiğini vurgulamışlardır. Aerodinamik verim olarak adlandırılan kaldırma katsayısının sürükleme katsayısına oranının 45° 'lik Gurney flap açısında gerçekleştiğini belirtmişlerdir [23].

Patel (2015), Gurney flap uzunluğunun ve hücum açısının değiştirilmesi ile NACA0012 kanat profilindeki basınç değişimini, sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Tam gelişmiş türbülans akışı ile $Re = 9,7 \times 10^4$ ve $Re = 1,9 \times 10^5$ değerlerinde gerçekleştirilen çalışmada Spalart-Allmaras, Realizable k- ϵ , Standart k- ω ve SST k- ω türbülans modellerini kullanmıştır. Deneysel çalışma ile sayısal analizde farklı türbülans modelinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, kanadın üst yüzeyinde meydana gelen ve "Stall" olarak adlandırılan akış ayrılmasını en iyi yakalayan türbülans modeli Spalart-Allmaras olduğunu tespit etmiştir. Çalışmanın sonunda orta derecedeki Reynolds sayılarında ve yüksek hücum açılarında en iyi sonuç veren türbülans modeli Spalart-Allmaras olmasına rağmen kanat analizi için SST k- ω modelinin daha en uygun olduğu bulunmuştur [24].

Feng, Choi ve Wang (2015) NACA 0012 kanat profili üzerindeki akışı kontrol edebilmek için Gurney flap yapısının kullanıldığı bir deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmada, aerodinamik akış kontrolü için geliştirilen plazma aktüatörü dielektrik bariyer deşarjı (DBD) kullanmışlardır. Dielektrik bariyer deşarjı yalıtkan bir dielektrik bariyer ile ayrılmış iki elektrot arasındaki elektrik deşarjıdır. Deneysel çalışmada Reynolds sayısı 2×10^4 değerinde kullanmışlardır. Kullanılan Gurney flap yapısı ise laminar ayrılma balonun dinamikleri kontrol edilebildiklerini vurgulamışlardır. Kanat etrafındaki modifiye edilen akışın, kaldırma katsayısında artış ile sonuçlandığını gözlemlemişlerdir [25].

Singh, Dhanalakshmi ve Chakrabarty (2015) Gurney flap yapılı NACA 4412 ve NACA 0011 kanat profillerinin incelemesini sürekli hal şartlarında, iki boyutlu nümerik olarak gerçekleştirmişlerdir. Gurney flap uzunluğunu minimum %0,5 ve maksimum %4 kanat veter uzunluğuna eşit olacak şekilde kullanmışlardır. Nümerik olarak elde ettikleri veriler ile literatürde bulunan deney verilerini karşılaştırmışlardır. Gurney flap yapılı kanat modelinde, Gurney flap uzunluğunun optimum uzunlukta seçilmesiyle birlikte kaldırma

katsayısında oldukça yüksek artış ile sürüklenme katsayısında oldukça düşük artış yakalanabileceği sonucuna varmışlardır [26].

Traub ve Chandrashekar (2016) ok açılı kanat profilinde Gurney flap yapısının performansını deneysel olarak $Re = 1,0 \times 10^5$ ve $Re = 1,5 \times 10^5$ için $\alpha = -7,5^\circ$ ve $\alpha = 30^\circ$ arasındaki açılar $2,5^\circ$ artırılarak, kanat veter uzunluğunun %1 ve %3'u kadar Gurney flap yapılarında, $\theta = 0^\circ$, $\theta = 45^\circ$ ve $\theta = 60^\circ$ de gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçları incelendiğinde her iki Reynolds sayısı için en fazla kaldırma katsayısı $\theta = 45^\circ$ de elde etmişlerdir. Gurney flap yapısının uzunluğunun %3 veter uzunluğuna eşit olduğu durum için C_L/C_D oranı en düşük olduğu değer $\theta = 45^\circ$ de, aynı zamanda yine $\theta = 45^\circ$ koşulu için maksimum C_D değeri elde edilmiştir. Gurney flap yapısına verilen θ açısının kosinüs değeri ile kaldırma katsayısının ilişkili olduğu belirtmişlerdir [27].

He ve ark. (2016) kalın SFYT 15 kanat profiline eklenen Gurney flap yapısının nümerik simülasyonunu iki boyutlu olarak gerçekleştirmişlerdir. Kanat profilinin veter uzunluğunun 5m olduğu analizde, veter uzunluğuna bağlı Reynolds sayısı değeri $7,76 \times 10^5$ olarak aldıkları çalışmada, serbest akım hızı 25 m/s kabul etmişlerdir. Kanat firar kenarına ekledikleri Gurney flap yapısının uzunluğunun etkisini flap uzunluğunun %0,25 ile %3 veter uzunluğu değerleri arasında olduğu durumları inceleyerek gerçekleştirmişlerdir. Türbülans modeli olarak SST k- ω türbülans modelini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda Gurney flap yüksekliğinin artmasıyla kaldırma katsayısının ve sürüklenme katsayısının arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Gurney flap yapısının düşük hücum açılarında aerodinamik verim olarak adlandırılan kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısına oranını artırdığı, yüksek hücum açılarında ise Gurney flap yüksekliğinin artmasıyla kanat aerodinamik verimin azaldığı belirtilmiştir [28].

Patil, Jatadhara ve Ramesh (2017), Gurney flapli NACA0012 kanat profilinin aerodinamik etkilerini HAD ile sayısal olarak incelemişlerdir. Kanat profiline verilen farklı uzunluklardaki Gurney flap uzunluklarının aerodinamik karakteristiklerine etkisini Spalart-Allmaras modeli kullanarak analizi gerçekleştirmişlerdir. Farklı flap uzunluklarının yanı sıra kanada verilen farklı hücum açılarının da etkisini irdelemişlerdir. Çalışma sonunda artan Gurney flap uzunluğu ile kaldırma katsayısında artış gözlemlemişlerdir. Ayrıca Gurney flap uzunluğunun artmasının kanat firar kenarındaki flap çevresindeki akış

hareketinin yönünü değiştirmesiyle girdap yapısının gücünü artırdığı ve bu sayede kanat aşağı akım performansını artırdığını belirtmişlerdir [29].

Meena ve Taira (2017) NACA 0000, NACA 0006, NACA 0012 ve NACA 0018 kanat profilleri üzerindeki Gurney flap yapısının kullanımını sayısal olarak incelemişlerdir. Reynolds sayısını 1000 olarak aldıkları çalışmada, Gurney flap yapısının kanat profilinin firar kenarına eklenmesinin daha fazla taşıma kuvvetinin oluşmasını sağladığı sonucuna varmışlardır. Gurney flap yapısının eklenmesi ile kanat üzerinde oluşan sürükleme katsayısının azaldığını bununla birlikte aerodinamik verim olarak adlandırılan kaldırma katsayısının sürükleme katsayısına oranının arttığını gözlemlemişlerdir. Aerodinamik verimin artmasıyla kanat performansın da arttığını belirtmişlerdir [30].

Chen, Xie, Xu, Dai ve Chen (2018) aksenal fan üzerindeki Gurney flap yapısının performansını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Fan kanatlarının uç kısmına yerleştirilen Gurney flap yapılarının uzunluğunun değişimi, flapsiz kanat modeli ile karşılaştırmışlardır. Sayısal analizde SST k- ω türbülans modeli kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre Gurney flap yapısının eklenmesiyle basıncın yükseldiği ve flap yapısının uzunluğunun artmasıyla basınç miktarının arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmada sayısal analizi gerçekleştirilen orijinal fan modeli ve Gurney flap yapısının %1,25 veter uzunluğuna sahip olan fan modeli karşılaştırmış, elde edilen sonuçlar deneysel veriler ile makul ölçüde uyum göstermiştir. Nümerik araştırma ile firar kenarına yerleştirilen Gurney flap yapısının, emme bölgesi olarak adlandırılan kanat üst yüzeyinde akışı hızlandırdığı ve ters basınç gradyenini azalttığı sonucuna ulaşmışlardır [31].

Sieradzki (2018), hava taşıtlarının kontrol yüzeylerine uygulanan Gurney flap ve t çubuk şeklinde olan ift Gurney flap yapılarının alternatifleri üzerine HAD programı aracılığı ile çalışmıştır. $Re = 2,3 \times 10^6$ olarak kabul edilmiş olup kanadın yönlendirici parçası için $-15^\circ, -10^\circ, 0^\circ, 10^\circ$ ve 15° açıları ele almıştır. Kanata $\alpha = -10^\circ$ 'den $\alpha = 10^\circ$ 'ye kadar 2° artırılarak farklı hücum açılarını uygulamıştır. Türbülans modeli olarak SST k- ω modeli kullanmıştır. Klasik Gurney flap ve t şekilli ift Gurney flap alternatifleri olarak çalışmada arka uç flap yapısını göstermiştir. Arka uç flap yapısına verilen farklı açılardaki aerodinamik karakteristiklerini araştırmıştır. Yapılan sayısal çözümlemenin ardından t şekilli flap yapısının açısı verilmemiş arka uç flap yapısıyla karşılaştırılmasıyla, benzer kaldırma katsayısı karakteristiğini yakalamıştır. Arka uç flap yapısının $\alpha = -4^\circ$ olduğu koşul

için kaldırma katsayısı karakteristiği karşılaştırılan durum için sağlanmış olsa da menteşe momenti değeri kanat yönlendiricisi parçasının eğimli olduğu duruma göre oldukça yüksek çıktığını gözlemlemiştir. Maksimum sürüklenme azalışı, kanat yönlendiricisinin pozitif eğimli açıda olduğunu gözlemlemiştir [32].

Amini, Liravi ve Izadpanah (2018) seyreltilmiş gaz akışı içerisindeki NACA 0012 kanat profilinin aerodinamik performansının Gurney flap yapısı ile değişimini bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı aracılığı ile incelemiştir. Gurney flap yapısının eklendiği NACA 0012 kanat profili iki farklı Mach sayısında ve moleküler ortalama serbest yol ile uzunluk skalasının oranını veren Knudsen sayısının üç farklı değerini göz önünde tuttıkları çalışmada “Direct Simulation Monte Carlo” (DSMC) metodunu uygulamışlardır. Gurney flap uzunluğunun veter uzunluk değerinin %2; %5; %7 değerlerinin kullandıkları çalışma sonucunda Gurney flap yapısının basıncı ve kanadın basınç yüzeyindeki kayma hızını önemli oranda değiştirdiği sonucuna ulaşmışlardır. Tüm Knudsen sayılarında Gurney flap yapısı kaldırma ve sürüklenme katsayılarını artırmış olduğunu gözlemlemiştir. Kanat veter uzunluğunun %5’i ve %7’si değerlerindeki Gurney flap uzunluklarında ve hücum açısının $\alpha=30^\circ$ ’den düşük olduğu durumlarda kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısına oranının önemli miktarda arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Diğer taraftan %2’lik veter uzunluğundaki Gurney flap yapısındaki kanat profilinde hücum açısının $\alpha=30^\circ$ ’den düşük olduğu durumlarda aerodinamik verimin dikkate değer bir değişime uğramadığını vurgulamışlardır [33].

Chen, Xie, Dai ve Chen (2018) Gurney flap yapısına sahip aksel fan performansını deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Eksen fan kanadı olarak NACA 65-(12) 10 kullanmışlardır. Gurney flap uzunluğunu, kanat veter uzunluğunun %1,25; %2,5; %5 kanat veter uzunluğunda kullanmışlardır. Deneysel çalışmanın sonucunda, Gurney flap yapısının fan kanadına eklenmesiyle birlikte toplam basıncın arttığı, Gurney flap uzunluğundaki artış ile birlikte toplam basınç değerinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Nümerik hesaplama sonucunda, firar kenarına eklenen Gurney flap yapısının akışı hızlandırdığını, emme bölgesindeki ters basınç gradyeninin azalttığını belirtmişlerdir. Deney verileri ile nümerik hesaplama verilerinin kabul edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir [34].

Ganesan ve Gowtham (2019), ters çevrilmiş NACA 23012 kanat profiline eklenen Gurney flap yapısının akış yapısına etkisini HAD programı kullanılarak sayısal analizini

gerçekleştirmişlerdir. Türbülans modeli olarak standart k- ϵ kullanılmış olup iki boyutta oluşturulan modele akışkan olarak seçilen havanın giriş hızı 0,1 Mach (33m/s) ve ters çevrilmiş NACA 23012 kanat profili $\alpha=0^\circ, \alpha=-2^\circ, \alpha=-4^\circ, \alpha=-6^\circ$ hücum açılarında incelemiştir. HAD programında yapılan sayısal analiz sonucunda, iki boyutlu modelin zaman çizgisinin görselleştirilmesinde girdapların kanadın firar kenarında Karman-vorteks yapısıyla uyumlu bir şekilde form aldığı ve bu olayın Gurney flap yakınlarda yüksek basınç oluşturduğu, bunun sonucunda ise akışın yüzeye yapışıp akış ayrılması olayının geciktirdiğini gözlemlemiştir. Gerçekleştirilen analiz sonucunda optimum değerlerin Gurney flap uzunluğu için %1 veter uzunluğu olduğu ve $\alpha=-6^\circ$ olduğu sonucunu elde etmişlerdir [35].

Yan, Avital, Williams ve Korakianitis (2019)Gurney flap yapısına sahip dikey eksenli NACA 0018 kanat yapısına sahip rüzgâr türbinin performansını HAD analizi, iki boyutta düzensiz akış yapısı ile SST k- ω türbülans modelinde gerçekleştirmişlerdir. Kanat profiline eklenen Gurney flap yapısının etkisini karşılaştırmak için, flapsiz kanat profilinin aerodinamik analizleri gerçekleştirilmiş olup, çalışmada farklı Gurney flap uzunlukları ve farklı θ açısı değerlerinin etkilerini araştırmışlardır. Analiz sonucunda C_L 'nin α açısının artmasıyla birlikte arttığı fakat Gurney flap yapısına sahip olan kanat profillerinin akış ayrılmasının, Gurney flap yapısına sahip olmayan kanat profiline göre daha düşük α açılarında oluştuğunu belirlemişlerdir. Artan α açısıyla birlikte C_D 'de artmakta olup, Gurney flap uzunluğu artıkça C_D 'de artmıştır [36].

Hao ve Gao(2019) Gurney flap yapısının S809 kanat profili üzerindeki etkisini bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı aracılığı ile incelemiştir. Kanat firar kenarına yerleştirilen üç farklı genişliğe sahip dikdörtgen Gurney flap yapısı ile gerçekleştirdikleri sayısal analizde, maksimum kaldırma katsayısını %20,65 artırmışlardır. Kaldırma katsayısı ile birlikte, sürüklenme katsayısı ve yunuslama momentinin de arttığını gözlemlemiştir. Gurney flap kalınlığının kaldırma katsayısına, sürüklenme katsayısına ve yunuslama momentine etkisinin oldukça düşük olduğu sonucuna varmışlardır. Gurney flap kalınlığının kanat aerodinamik karakteristiğine etkisinin düşük olmasıyla birlikte Gurney flap şeklinin üçgen formda olduğu analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerin sonucunda üçgen şeklindeki Gurney flap yapısının, dikdörtgen yapılı Gurney flap yapısına göre daha fazla maksimum kaldırma katsayısı elde ettiği sonuna ulaşmışlardır [37].

Mashari, Mousavi ve Mojtaba (2020), farklı θ açılı kanat profiline dinamik stall olayının incelenmesini NACA 0012 kanat profili üzerinde süreksiz hal şartında sayısal analizini gerçekleştirmişlerdir. Analizde SST k- ω türbülans model olarak kullanmışlardır. Çalışma içerisinde, Gurney flap uzunluğu, θ açısı, salınım genliği gibi parametreleri incelemişlerdir. Sonuçlar Gurney flapsiz kanat modeli ile karşılaştırılmıştır. Gurney flap uzunluğu için yapılan çalışmada %1 ile %3,2 arasındaki veter uzunluğuna sahip beş farklı Gurney flap yapısını kullanmışlardır. Yapılan analiz sonucunda %1 veter uzunluğundaki Gurney flap yapısının maksimum C_L değeri diğer Gurney flap uzunluklarından daha az olmasına rağmen, stall açısının yaklaşık olarak aynı olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda, $\theta=90^\circ$ kanat profiline en iyi aerodinamik performansla sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır [38].

Chandra ve Tyagi (2020) Gurney flap ve vorteks jeneratör yapılarına sahip Eppler 423 kanat profiline aerodinamik karakteristiğine etkisini deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Rüzgar tüneline gerçekleştirilen deneyde, akış hızını 20m/s olarak almışlardır. Kanat veter uzunluğunu 0,2m, kanat uzunluğunu ise 0,78m olarak belirlemişlerdir. Kanat firar kenarına eklenen Gurney flap yapıları, 3 boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Gurney flap uzunlukları kanat veter uzunluğunun %2, %3, %4, %5 değerlerinde kullanılmıştır. Kanat hücum açılarının $\alpha = -4^\circ$ den 14° 'ye kadar 2° artırılarak yapılmış oldukları çalışmada, Gurney flap yapısının kanat firar kenarına eklenmesinin, kanat kamberliğini artırdığını ve bu sayede kanat üzerinde oluşan kaldırma katsayısının arttığını vurgulamışlardır. Gurney flap uzunluğunun artmasıyla birlikte, kanat yüzeyindeki akışın ayrılması olarak bilinen stall fenomeninin gerçekleştiği açının düştüğü fakat az miktarda kaldırma katsayısının arttığını gözlemlenmiştir. Gurney flap uzunluğunun kanat veter uzunluğunun %2'sine eşit olması durumunda diğer flap uzunluklarına kıyasla optimum özelliklere sahip olduğu ve bu durumun literatürde bulunan verilerle uyumlu olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Sürüklenme katsayısı için yüksek hücum açılarında Gurney flap yapısına sahip olan kanat profillerinin, Gurney flap yapısına sahip olmayan kanat profiline kıyasla daha düşük sürüklenme katsayısına sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebi olarak Gurney flap yapısına sahip kanat profiline efektif alanının yüzey sürtünme sürüklenmesinin azaltmasına yol açması olduğu sonucuna varmışlardır. Kanat aerodinamik verimine eşit olan kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısına oranı için kanat firar kenarına eklenen Gurney flap yapısının, Gurney flapsiz kanat profili aerodinamik verimine göre daha yüksek verime sahip olduğu sonucuna varmışlardır [39].

Mohamed, Abdelrahman, Shahin, Al-Dosoky ve Higazy (2020) NACA 0012 kanat profili üzerindeki Gurney flap yapısının uzunluğunun kanat aerodinamik karakteristiğine etkisi ile ilgili HAD programı kullanarak çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan NACA 0012 kanat profilinin veter uzunluğu 1m olup, Gurney flap uzunluğu kanat veter uzunluğunun %0,25; %0,5; %1; %1,5; %2; %3; %4 ve %5'i uzunluklarında çalışmışlardır. Kanat hücum açısı olarak $\alpha=0^\circ$, $\alpha=2^\circ$, $\alpha=4^\circ$, $\alpha=6^\circ$, $\alpha=8^\circ$ ve $\alpha=10^\circ$ açılarında çalışmışlardır. Reynolds sayısı olarak 1×10^6 değerindeki gerçekleşen analizlerinde SST k- ω türbülans modelini kullanmışlardır. Analiz sonucunda Gurney flap etkisiyle kanat üzerinde oluşan kaldırma katsayısının ve sürükleme katsayısının tüm Gurney flap uzunluklarında ve hücum açılarında arttığı sonucuna varmışlardır. Çalışma sonucunda Gurney flap uzunluğunun optimum değerinin %1,5 veter uzunluğuna sahip Gurney flap yapısı olduğu sonucuna ulaşmışlardır [40]

Yang J., Yang H., Li, ve Yuan (2020) Gurney flap yapısına sahip DTU-LN221 rüzgar türbinine ait kanat profilinin yüksek türbülanslı akıdaki aerodinamik karakteristiğinin incelemesini deneysel olarak incelemiştir. Gurney flap yapısının yüksekliğini kanat veter uzunluğunun %1 ile %2'si arasındaki değerlerini, Gurney flap yapısının kalınlığını ise kanat veter uzunluğunun %0,25 ile %0,75'i arasındaki değerlerini kullanılmışlardır. Rüzgar tüneline, girişteki türbülans yoğunluğunu artırılmasıyla, kanat üzerindeki akış ayrılması olan stall fenomeninin ertelendiğini gözlemlemişlerdir. Gurney flap kalınlığının, Gurney flap uzunluğuna göreceli olarak kanat aerodinamik karakteristiğine etkisinin düşük olduğunu vurgulamışlardır. Gurney flap kalınlığının %0,75 veter uzunluğuna eşit olduğu durumda, Gurney flap yapı kanat profili üzerinde meydana gelen maksimum kaldırma katsayısının Gurney flapsiz kanat profiline göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Gurney flap yapısının stall fenomeninden sonra daha az verimli olduğunu, Gurney flap kalınlığının veter uzunluğunun %0,75'i kadar olduğu ve türbülans yoğunluğunun %10,5 olduğu durum için Gurney flap uzunluğunun artmasıyla aerodinamik verim olarak bilinen kaldırma katsayısının sürükleme katsayısına oranının %2,74'ten %14,35 değerine değiştiğini gözlemlemişlerdir. Türbülans yoğunluğunun %19 değerinde aerodinamik performansın ihmal edilebilir düzeyde olduğunu vurgulamışlardır [41].

Abdelrahman, Mohamed, Shahin, Al-Dosoky ve Higazy (2020) NACA 0012 kanat profili üzerinde bulunan çoklu Gurney flap yapısının aerodinamik performansını bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı (HAD) aracılığı ile incelemesini gerçekleştirmişlerdir. İki

boyutlu olarak gerçekleştirdikleri analizlerde türbülans modeli olarak SST k- ω modelini kullanmışlardır. Kanat profili üzerine yerleştirilen tekli Gurney flap yapısının uzunluğu %2'lik, ikili Gurney flap yapılarının uzunlukları %2'lik ve %1,5'lik, üçlü Gurney flap yapılarının ise %2'lik, %1,5'lik ve %1'lik kanat veter uzunluklarına sahip olmuştur. Farklı hücum açıları, düşük ve yüksek Reynolds sayılarında (10^6 , 10^9 sırasıyla) gerçekleştirdikleri analiz sonucunda, düşük hücum açıları ve yüksek Reynolds sayısında tüm Gurney flap yapısının aerodinamik verim olarak ifade edilen kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısına oranını, Gurney flapsiz kanat profiline göre artırdığını gözlemlemiştir. Üçlü Gurney flap yapısının hücum açısının $\alpha=2^\circ$, $\alpha=4^\circ$, $\alpha=6^\circ$ olduğu değerlerde %92; %31,5; %11,5 aerodinamik verimini artırdığını belirtmişlerdir. Düşük Reynolds sayısı için tekli Gurney flap yapısının aerodinamik verimi hücum açısının $\alpha=2^\circ$ 'den $\alpha=6^\circ$ 'ye kadar olan değerlerde artırdığını buna karşılık ikili ve üçlü Gurney flap yapısının hücum açısının $\alpha=10^\circ$ 'ye kadar olduğu değerlerde artırdığını vurgulamışlardır [42].

Chakroun ve Bangga (2021) Gurney flap yapısına sahip statik kanat profili ile dikey eksenli rüzgar türbinin aerodinamik karakteristiğine etkisini HAD yazılımı kullanarak gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirdiği analizlerinde SST k- ω türbülans modeli kullanmıştır. Statik kanat profili için NACA 4412 kullandıkları analizlerde Reynolds sayısı $1,18 \times 10^6$ olarak kabul etmişlerdir. Statik kanat profili NACA 4412 için Gurney flap açısını 90° ve 105° olarak ve Gurney flap uzunluğunu kanat veter uzunluğunun %0,5, %1,5, %2 değerlerinde kabul etmişlerdir. Hücum açısını 0° ile 12° arasındaki değerlerde tutmuşlardır. Çalışmanın Gurney flap uzunluğunun kanat aerodinamik karakteristiğine incelendiği bölümde, kanat profiline eklenen Gurney flap yapısının, kanat üzerinde oluşan sürüklenme katsayısını oldukça değiştirdiğini vurgulamışlardır. Veter uzunluğunun %0,5 değerine sahip Gurney flap yapısının kanat profiline eklenmesinin düşük hücum açılarındaki sürüklenme katsayısını oldukça düşük miktarda artırdığı sonucuna varmışlardır. Düşük ve orta derecedeki hücum açılarındaki Gurney flap kullanımının büyük sürüklenme katsayısı ortaya çıkardığını ve bu durumun Gurney flap uzunluğunun azalmasıyla önüne geçilebileceği sonucuna varmışlardır. Statik kanat profili için Gurney flap açısının değerlendirilmesinde, her iki Gurney flap açısında oluşan kaldırma katsayısının, Gurney flap yapısına sahip olmayan kanat profilinde meydana gelen kaldırma katsayısı değerinden yüksek olduğu, fakat 90° 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profilinde daha yüksek kaldırma katsayısının meydana geldiğini gözlemlemiştir [43].

Basso, Cravero ve Marsano (2021) F1 aracının ön kanadındaki Gurney flap yapısının aerodinamik etkisini ve araç bileşenleri ile etkileşimin incelemesini bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı aracı ile üç boyutlu olarak gerçekleştirmişlerdir. Türbülans modeli olarak SST k- ω modelini kullandıkları analizlerde giriş hızı olarak 70m/s, türbülans yoğunluğunu ise %5 olarak kabul etmişlerdir. Analizlerin sonunda ön kanada yerleştirilen Gurney flap yapısıyla birlikte taşıma kuvvetinin tersi yönde gerçekleşen kuvveti temsil eden bastırma kuvveti yaklaşık %24'lük, sürüklenme kuvveti ise %28'lik artış göstermiştir. Gurney flap yapısının olmadığı durumda geniş geri dolaşimli balonun aracın Gurney flap yapıları duruma kıyasla daha aşağısında meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Doğru boyutlama ve birleştirme ile Gurney flap yapısının araç bileşenlerindeki aerodinamik bastırma kuvvetini artırabileceğini, Gurney flap yapısız modele göre daha yüksek aerodinamik verime sahip olabileceğini vurgulamışlardır [44].

Ooda (2022), Gurney flap yapısına sahip süper kritik RAE8222 kanat profilinin aerodinamik karakteristiği sayısal incelemesini gerçekleştirmiştir. Kanat profilinin firar kenarına yerleştirdiği Gurney flap uzunluğunu, veter uzunluğunun %1, %2, %3 değerlerinde incelemesini gerçekleştirdiği çalışmada, Gurney flap açısının 30°, 45°, 60°, 75°, 90° olduğu açılarla birlikte, hücum açısı değerlerinin -3°, -2°, -1°, 0°, 1°, 2°, 3° olduğu değerlerin incelenmesini gerçekleştirmiştir. Sayısal analizde Spalart-Allmaras türbülans modeli kullanmıştır. Reynolds sayısının değerini $6,5 \times 10^6$ olarak kabul ettiği çalışmanın sonunda, Gurney flap yüksekliğinin artmasıyla birlikte emme yüzeyindeki maksimum emme değerinin arttığını gözlemlemiştir. Gurney flap yapısı ile birlikte kanat üzerinde meydana gelen şok dalgasının gecikmiş, Gurney flap uzunluğunun artmasıyla birlikte de şok dalgasının aşağı akıma ilerlemiştir [45].

Chen H. ve Chen B. (2022) dikey olarak havalanabilen ve helikopter benzeri bir hava aracının sahip olduğu kanat profiline eklenen Gurney flap yapısının kanat aerodinamik etkisini HAD yazılımı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Analizlerde kullanılan kanat profili kalınlığın veter uzunluğuna oranının %23 olduğu A821201 kanat profilidir. Gurney flap uzunluğu kanat veter uzunluğunun %1, %2 ve %4'ü arasındaki değerleri kabul etmişler ve türbülans modeli olarak Spalart-Allmaras modeli kullanmışlardır. Kullanılan akışkanın Reynolds sayısı değerini $4,65 \times 10^6$ olarak belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda Gurney flap yapısının kanat profiline eklenmesiyle kaldırma katsayısında artışın meydana geldiğini, kaldırma katsayısında meydana gelen artışın Gurney flap uzunluğunun artması

ile arttığını gözlemlemişlerdir. Gurney flap yapısına sahip olmayan kanat profilinde meydana gelen maksimum kaldırma katsayı ile Gurney flap yapısına sahip kanat profillerinde meydana gelen maksimum kaldırma katsayısı karşılaştırıldığında %1, %2 ve %4 veter uzunluğuna sahip kanat profilleri için sırasıyla 10,67; 15,33; 20,67'lik artış gözlemlemişlerdir. Sürüklenme katsayısının Gurney flap yapısı ile değişimi için Gurney flap yapısının sürüklenme katsayısını artırdığı, Gurney flap uzunluğunun artmasıyla sürüklenme katsayısının da arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Kanat aerodinamik verim olarak bilinen kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısına oranı ise bu tür hava araçlarında seyir hücum açısı olarak bilinen 2°'deki Gurney flap yapısına sahip olmayan kanat profilindeki aerodinamik verimin, veter uzunluğunun %1, %2, %4 uzunluklarındaki Gurney flap yapılı kanat profili aerodinamik verimlerine göre sırasıyla %9,88;%18,49;%31,47 daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Veter uzunluğunun %2'si ve %4'üne eşit olan Gurney flap uzunluklarında kanat üzerinde meydana gelen akış ayrılması olarak adlandırılan stall fenomeni 24°'lik hücum açısından 22°'lik hücum açısına düşmüştür [46].

Suresh ve Sitaram (2022), bir santrifüj fan üzerindeki Gurney flap yapısının uzunluğunun ve konumlandırılmasının fan performansına etkisini $Re = 0,59 \times 10^6$ - $Re = 1,57 \times 10^6$ aralığındadeneyssel olarak incelemişlerdir. Çalışmada elde edilen veriler ışığında, flap yapısına sahip kanat profillerinde Reynolds sayısının artmasının fan verimine etkisinin ihmal edilebilir boyutta olduğu, maksimum fan ve tasarım verim değerlerinin flap yapısına sahip olmayan kanat profillerinde Reynolds sayısının artırılmasıyla elde edildiği sonuçlarına ulaşmışlardır. Gurney flap yapısının konumlandırılmasının fan performansına etkisi incelendiğinde, flap yapısının kanat ucunda konumlandırıldığı koşul maksimum yük katsayısına ve akış katsayısına sahip olduğu gözlemlemişlerdir. Reynolds sayısının maksimum değerinde olduğu koşulda Gurney flap yapısının performansındaki artış düşük olmuştur. Flap yüksekliğinin artmasıyla fan yük katsayısının artışı düşük bir oranda olduğu sonucuna ulaşmışlardır [47].

Syawitri, Yao Y., Yao J. Ve Chandra (2022) düşük, orta ve yüksek uç hız oranlarındaki Gurney flap yapısına sahip dikey eksenli rüzgar türbini için geometrik optimizasyon üzerine hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı aracılığı ile çalışma gerçekleştirmişlerdir. Optimizasyon çalışmasının yapıldığı Gurney flap yapıları, dikey eksenli rüzgar türbininde bulunan üç adet NACA 0012 kanat profiline eklenmiştir Çalışmada türbülans modeli olarak yeni hibrit RANS-LES türbülans modelini

kullanmışlardır. Elde edilen veriler doğrultusunda Gurney flap yapısına sahip dikey eksenli rüzgar türbinleri için Gurney flap uzunluğu kanat veter uzunluğunun %3'ü değerinde optimum değerlere sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Sabit bir kanat için optimum Gurney flap yapısının uzunluğunun yaklaşık %2 kanat veter uzunluğuna sahip olması gerektiğini oluşan bu farkın ise Gurney flap yapısına sahip dikey eksenli rüzgar türbini için flap yukarı akımındaki girdap oluşumunun dönme etkisiyle engellenmesiyle oluştuğunu ifade etmişlerdir. Gurney flap açısının, dikey eksenli rüzgar türbini için 90°'lik açıda optimum olduğu sonucuna varmışlardır [48].

Yang J., Yang H., Wang ve Li (2022) türbülanslı akış koşulu altındaki yunuslama rüzgar türbin kanat profilindeki Gurney flap hakkında deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmayı, DTU-LN221 kanat profiline sahip deniz kıyısından uzakta bulunan ve Reynolds sayısının 1×10^5 değerine eşit olduğu akış içerisinde bulunan rüzgar türbini için gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmada, kullanılan kanat veter uzunluğu 0,15m ve kanat uzunluğu ise 0,395m olarak kullanmışlardır. Çalışmanın doğruluğunun ispatlanmak için Gurney flap yapısız kanat profili, bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı aracılığı ile sayısal olarak incelenmiştir. Deneysel sonucunda Gurney flap yapısız kanat profili için maksimum kaldırma katsayısını 1,428 olarak, 12°'lik hücum açısında elde etmişlerdir. Flap yapı kanat profilinde bu değer 1,6'ya ulaştığını belirtmişlerdir. Deneysel çalışma verisi ile sayısal çalışma verisinin kabul edilebilir ölçüde uyum sağladığını vurgulamışlardır. Çalışmanın sonunda elde edilen veriler doğrultusunda, Gurney flap yapısının türbülanslı koşullarda kaldırma katsayısını artırabileceği sonucuna varmışlardır [49].

Kılıç, Karakuş ve Aslan (2022) Gurney flap yapı NACA 0012 kanat profilinin kanat aerodinamik etkisini bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı aracılığı ile gerçekleştirmişlerdir. Gurney flap ile kanat arasındaki açının, kanat hücum açısının ve türbülans modelinin değişken parametre olarak, Reynolds sayısının ise 1×10^6 değerinde sabit parametre olarak kabul ettikleri çalışmada kullanılan türbülans modellerinden SST k- ω türbülans modelinin literatürde bulunan deney verisi ile daha iyi uyum gösterdiği sonucuna varmışlardır. Gurney flap yapısına sahip olmayan NACA 0012 kanat profilinin Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline oranla daha düşük kaldırma katsayısına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Gurney flap açısının $\theta=90^\circ$ olduğu durumda diğer açılara kıyasla daha fazla kaldırma katsayısı elde edildiğini belirtmişlerdir [50].

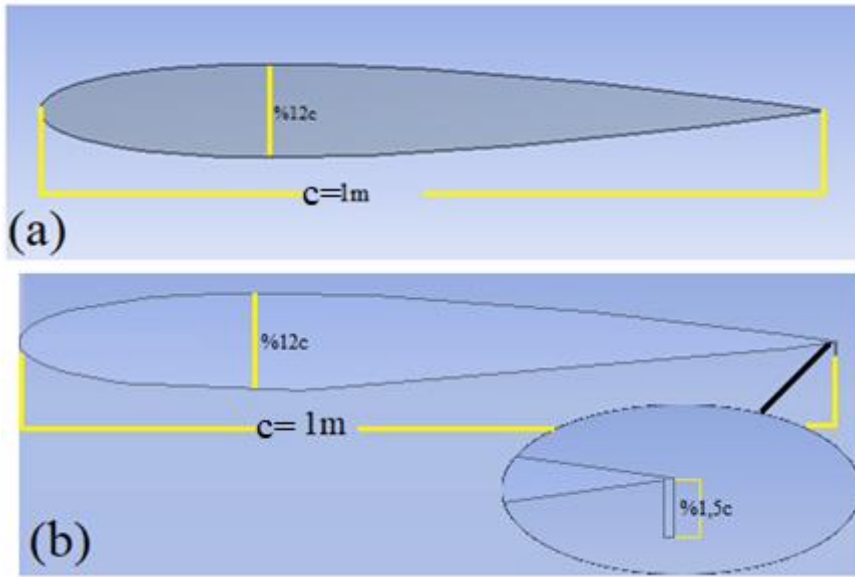
Literatür incelendiğinde, yapılan çalışmalarda kanat profillerine ait α hücum açısının ve Reynolds sayısı parametrelerinin değişken parametre olarak kabul edildiği buna karşın θ açısının sabit bir parametre kabul edildiği gözlemlenmiştir. Önceki çalışmalarda Reynolds sayısının sabit bir parametre kabul edildiği ve ikiden fazla parametrenin (α açısı, θ açısı, türbülans modeli ve Gurney flap geometrisi) değişken olarak kabul edildiği bir çalışma konusunun üzerinde çok durulmamıştır. Bu nedenle çalışmada Cessna uçakları, B-17 savaş uçağı, S-61 Sikorsky ve Sea King helikopterlerinde kullanılan NACA 0012 kanat profili referans alınmıştır. NACA 0012 kanat profiline eklenen Gurney flap yapısının, kanat aerodinamik karakteristiğine etkisi incelenmiştir. Toplamda dört değişken parametre ve bir sabit parametre incelenmiştir. Farklı α hücum açılarında ve θ Flap açılarında Gurney flap yapısının etkileri sabit veter uzunluğuna göre belirlenen Reynolds sayısında iki türbülans modeli kullanılarak incelenmiş ve elde edilen veriler, literatürde bulunan deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bu kısmında elde edilen verileri ışığında optimum θ açısı belirlenmiş, çalışmanın sonraki kısmında ise Gurney flap geometrisinde yapılan değişikliklerin NACA 0012 kanat aerodinamik karakteristiğine etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

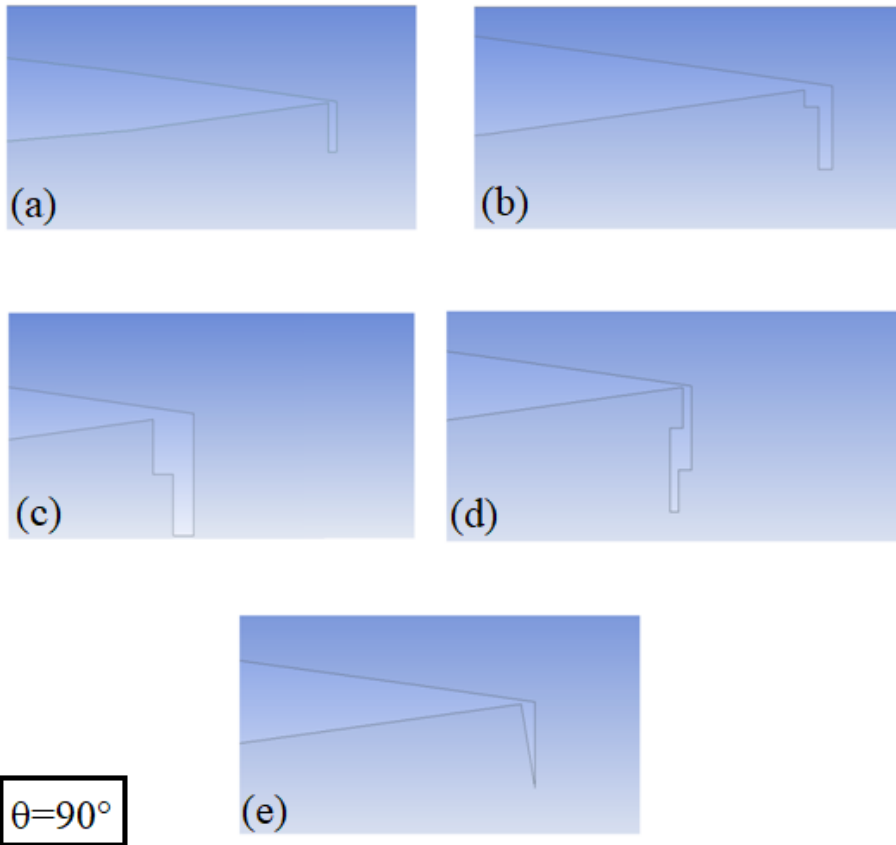
2.1.MATERYAL

Bu tez çalışmasında, mühendislik uygulamalarında kullanılan HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) yazılımlarından birisi olan ANSYS Fluent ile analizler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların yüksek maliyetli oluşu ve deney doğruluğu açısından tekrar edilen deney basamaklarının oldukça fazla zaman almasının aksine, sayısal olarak gerçekleştirilen HAD çalışmaları daha az zaman ve maliyet gerektirmektedir. Gelişen teknolojinin etkisiyle mühendislik uygulamalarında yüksek doğruluğa sahip sayısal HAD çalışmaları, deneysel çalışmalar ile doğrulaması gerçekleştirilerek, daha hızlı ve daha az maliyet ile analizler yapılması mümkün olmaktadır.

Çalışmada analizler iki boyutta gerçekleştirilmiş olup, dört haneli kanat profil grubunda yer alan ve kalınlığın veter uzunluğuna oranı %12 olan ve Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profili kullanılmıştır. Simetrik yapıya sahip NACA 0012 kanat profili açık kaynaklı olarak bulunan kanat profil kodlarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan NACA 0012 kanat profillerinin kanat veter uzunluğu 1m olarak Şekil 2.1’de gösterildiği gibi kabul edilmiştir. Şekil 2.1a’da Gurney flap yapısız kanat profili olan ve bu çalışmada referans kanat profili olarak adlandırılan kanat profili yer almaktadır. Şekil 2.1b’de NACA 0012 kanat profilinin firar kenarına yerleştirilen Gurney flap yapısı yer almaktadır. Çalışmada kullanılan Gurney flap yapısı uzunluğu kanat veter uzunluğunun %1,5’i kadardır.



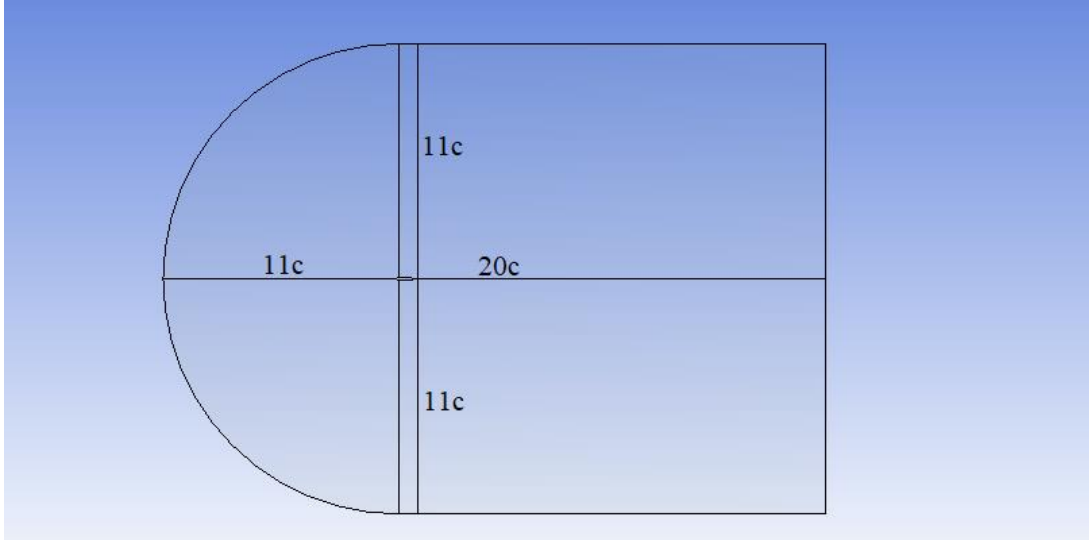
Şekil 2.1. Kullanılan NACA 0012 kanat profilleri (a) referans (b) Gurney flap yapılı



Şekil 2.2. Analizlerde kullanılan Gurney flap geometrileri (a) klasik (b) 1,25 (c) 1,5 (d) şimşek (e) yarım

Gurney flap geometrisinin kanat aerodinamik karakteristiğine etkisinin incelenmesinde kullanılan Gurney flap yapıları Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Klasik Gurney flap yapısı olarak adlandırılan dikdörtgen şekilli Gurney flap yapısı Şekil 2.2a'da gösterilmiştir. Klasik Gurney flap yapısının kalınlığı ile aynı fakat çeyrek uzunluktaki bir başka Gurney flap yapısının klasik Gurney flap yapısıyla birleştirilmesiyle oluşturulan ve 1,25 Gurney flap olarak isimlendirilen Gurney flap yapısı Şekil 2.2b'de gösterilmiştir. Aynı şekilde klasik Gurney flap yapısıyla kalınlık olarak aynı fakat uzunluk olarak yarısı uzunluktaki bir başka Gurney flap yapısı ile birleştirilmesiyle oluşan ve 1,5 Gurney flap yapısı olarak belirtilen Gurney flap yapısı Şekil 2.2c'de verilmiştir. Şekil 2.2d'de verilen ve şimşek Gurney flap olarak isimlendirilen Gurney flap yapısı, klasik Gurney flap yapısından parça eksilmesiyle oluşturulmuştur. Şekil 2.2e'de gösterilen klasik Gurney flap yapısının diyagonal şekilde bölünmesi sonucunda elde edilen ve yarım Gurney flap yapısı olarak adlandırılan Gurney flap yapısı mevcuttur.

Kanat analizinin gerçekleştirilmesi için C tipi hesaplama alanı kullanılmıştır [51]. Hesaplama alanına akışkan girdiği kesitler giriş (inlet) çıktığı kesit ise çıkış (outlet) olarak adlandırılmaktadır. Kanat profili akışın hesaplama alanına giriş kesitinden 11c uzaklığına, çıkış kesitinden ise 20c uzaklığına yerleştirilmiştir. Akış alanının yüksekliği 22c uzunluğundadır ve kanat profili akış alanı yüksekliğinin orta noktasına yerleştirilmiş olup Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Gurney flap yapısının uzunluğu, önceki çalışmalarda optimumuzunluk olarak belirlenen kanat veter uzunluğunun % 1,5'i kadar alınmıştır [52]. Akışkan olarak kullanılan havanın hesaplama alanına giriş hızı 14,6m/s olarak alınmıştır. Kanat profilinde kaymama koşulu (no slip wall condition) kabul edilmiştir. Hücüm açıları için ise hava giriş hızının x ve y bileşenleri kullanılmıştır. Bu noktada hızın x bileşeni $u = V \cos \alpha$ ile y bileşeni ise $v = V \sin \alpha$ formüllerinin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda giriş sınır şartı olarak %1 veya %1'den daha az türbülans yoğunluğu kullanılmıştır. Bu nedenle bu çalışmada giriş sınır şartında türbülans yoğunluğu %1 olarak alınmış, çıkış sınır şartında ise %5 türbülans yoğunluğu kabulü yapılmıştır [53].



Şekil 2.3. C şekilli hesaplama alanı

2.2. METOT

2.2.1. Ağdan Bağımsızlık

Ağ yapısından bağımsızlık özellikle hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) uygulamalarının sayısal analizlerinde oldukça önemli bir parametredir. Analizdeki hücre sayısı veya düğüm sayısı adı verilen ağ yapısı parametreleri çözümdeki doğruluğu büyük ölçüde etkilemektedir. Kullanılan daha fazla düğüm noktası veya hücre sayısı sonuçların daha fazla doğru çıkmasına sebep olurken, analizin yapıldığı bilgisayarda daha fazla hafıza ve hesaplama süresi gerektirmektedir. Bu sebepten dolayı çalışmalarda, ağ yapısından bağımsızlık çalışması yapılmalıdır [51]. Literatürde HAD sayısal analiz çalışmalarının çoğunda yer alan analizin ağdan bağımsızlığı çalışılması incelenmiştir. Mevcut hesaplama alanı için oluşturulan ağ yapısı “fine mesh” olarak bilinen ince ağ yapısıdır. Çizelge 2.1’de ağ sayının taşıma kuvvetine etkisinin incelenmesine ait veriler yer almaktadır. Ağdan bağımsızlık çalışmasından sonra, 103 000 hücre sayısı ile analizin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

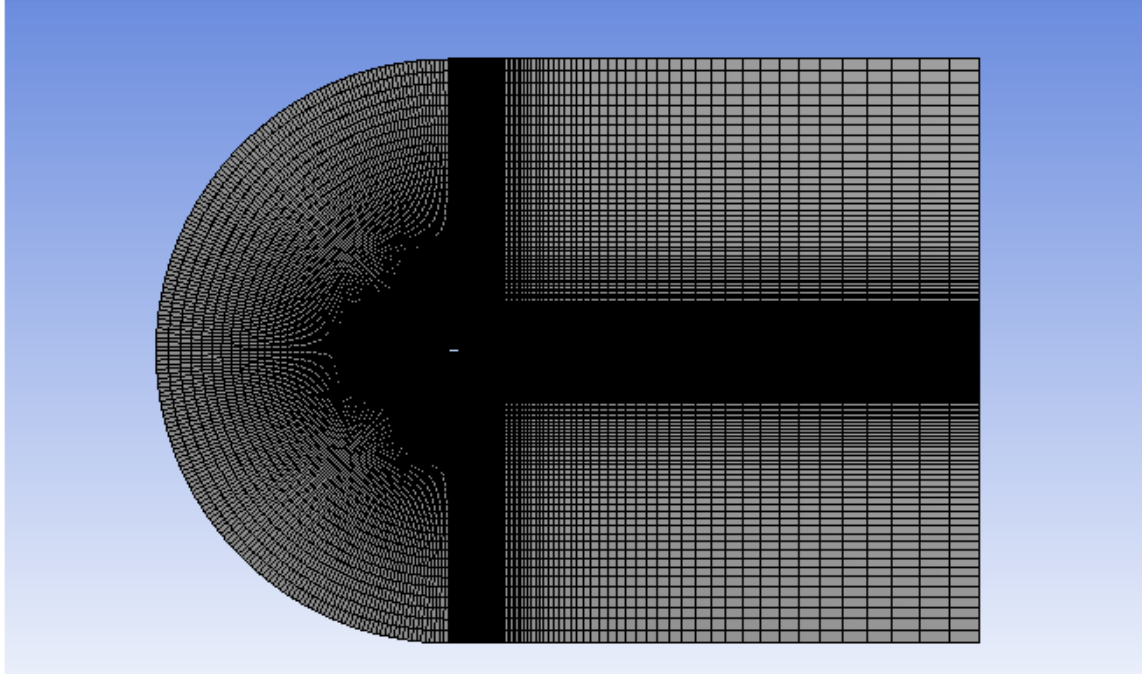
Çizelge 2.1. Ağ sayısının kaldırma katsayısına etkisi

Element Sayısı	50 000	60 000	70 000	80 000	90 000	100 000	110 000
Kaldırma Katsayısı	1,098	1,180	1,212	1,230	1,242	1,250	1,257

Yapılan ağ yapısı bağımsızlık çalışmasından elde edilen kaldırma katsayıları ile ağ sayısı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla iki veri dizileri arasındaki korelasyon katsayısına bakılmıştır. Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve derecesini belirlemeye yarayan boyutsuz bir sayıdır. Korelasyon katsayısının değeri “1” değerine yakın ise diziler arasında ilişki iyi, “0” değerine yakın ise diziler arasındaki ilişki kötüdür. Oluşturulan kaldırma katsayısı ve ağ sayısı veri dizileri korelasyon katsayısı 0,89 olarak elde edilmiştir.

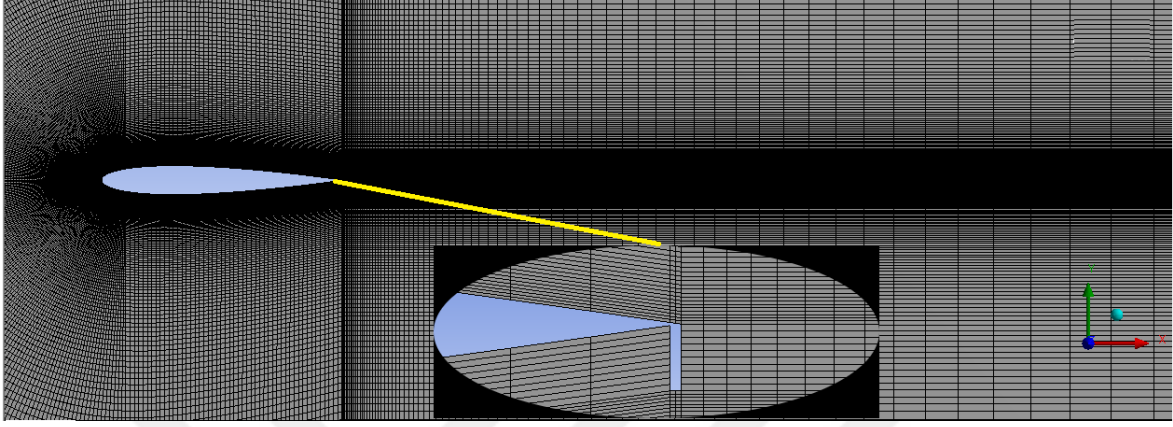
2.2.2. Ağ Yapısının Oluşturulması

Hesaplama alanında oluşturulan ağ yapısı Şekil 2.3'te görüldüğü gibi kanat profiline yakın bölgelerde daha sık ağ yapısı oluşturulurken, kanat profilinden uzakta olan bölgelerde daha seyrek ağ yapısı oluşturulmuştur. Ölü akış bölgelerinde daha düşük yoğunlukta oluşturulan hücre sayısı ile hücre sayısının optimizasyonu amaçlanmıştır. Böyle bir ağ yapısının uygulanma sebebi, sayısal analizin gerçekleştirildiği bilgisayarda daha az yer kaplaması ve analizlerin daha kısa sürede gerçekleştirmeyi amaçlamaktır.



Şekil 2.4. Hesaplama alanındaki ağ yapısı

Kanat etrafındaki yoğun ağ yapısı Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Kanat çevresinde yoğun ağ yapısının kullanılması neticesinde, kanat etrafındaki akış yapısı hakkında daha net bir şekilde bilgi edinilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 2.5. Gurney flap yapısına sahip kanat profili etrafında oluşturulan ağ yapısı

Çalışmada, Reynolds sayısının değeri 1×10^6 olarak alınmıştır. Bu Reynolds sayısı, yolcu taşımacılığında kullanılan ultra hafif hava araçlarında, insan gücüyle çalışan hava araçlarında kullanılmakta olup havacılık alanının dışında rüzgâr türbinlerinde kullanılmaktadır. Reynolds sayısının 5×10^6 değeri ise geniş hava araçlarının çalışma aralığının başladığı değerdir [54]. Zamandan bağımsız olarak gerçekleştirilen analizde sıkıştırılmaz akışlarda daha fazla doğruluk yakalayan basınca bağlı çözüm yöntemi kullanılmıştır. Akışkan olarak seçilen havanın yoğunluğu $1,225 \text{ kg/m}^3$ olarak, dinamik viskozitesi $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ olarak kabul edilmiştir [55]. Çözüm algoritması olarak “Coupled” kullanılmış olup, uzaysal ayrıklaştırma(discretization) basınç için ikinci dereceden, momentum, türbülans kinetik enerjisi, türbülans dağılım oranı ise ikinci dereceden upwind şemasıyla yapılmıştır. Analizlerin hepsinde kaldırma katsayısı, sürüklenme katsayısı ve süreklilik parametreleri için yakınsama kriteri 1×10^{-7} mutlak yakınsama olarak seçilmiştir [56].

2.2.3. HAD Parametreleri

Kaldırma Katsayısı

Kanat alt ve üst yüzeyleri arasında meydana gelen basınç farkından ötürü kanada dik bir şekilde meydana gelen kuvvete taşıma kuvveti denir. Taşıma kuvveti F_L ile gösterilmektedir. Taşıma kuvveti, bir takım parametreye bağlı olup taşıma kuvveti kullanılırken bu parametrelerin verilmesi pratik olmadığından, taşıma kuvvetini temsil eden kaldırma katsayısı (C_L) isimli boyutsuz bir terim kullanılmaktadır [57].

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.1)$$

Eş. 2.1’de yer alan ρ terimi akışkan yoğunluğunu (kg/m^3), V terimi akışkan hızını (m/s), A ise ön bakış alanı olarak adlandırılan akış yönünden cisme bakıldığında görülen alandır.

Sürüklenme Katsayısı

Akışkan içerisindeki kanat yapısının göreceli hareketinin neticesi olarak akış yönünün tersinde meydana gelen kuvvete sürüklenme kuvveti denir. Sürüklenme kuvveti F_D ile gösterilir ve Eş. 2.2’deki gibi hesaplanmaktadır. Taşıma kuvvetinde olduğu gibi, sürüklenme kuvvetinde de sürüklenme kuvvetini etkileyen birden fazla parametre olduğu için sürüklenme katsayısı (C_D) adı verilen terim kullanılması daha pratik olmaktadır [57]. Sürüklenme kuvveti kanat şekline bağlı olup, kanat üzerindeki basınç dağılımı ile ilişkilidir [6].

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.2)$$

Aerodinamik Verim

Aerodinamik uygulamalarında yüksek kaldırma katsayısı ve düşük sürüklenme katsayısı elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu iki amaçlanan etkinin kontrolünün daha kolay yapılması için uygulamalarda aerodinamik verim olarak adlandırılan terim kullanılmaktadır. Aerodinamik verim kaldırma katsayısının sürüklenme katsayısına oranı olarak ifade edilmektedir [39].

$$\text{Aerodinamik Verim} = \frac{C_L}{C_D} \quad (2.3)$$

Basınç Katsayısı

Boyutsuz bir sayı olan basınç katsayısı, akış alanı içerisindeki bağıl basıncı ifade etmektedir. Dış akış aerodinamik uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [57].

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{0,5 \rho_\infty V_\infty^2} \quad (2.4)$$

Eş. 2.4'te yer alan p değeri kanat üzerindeki basınç değeri olurken, p_∞ terimi akışkanın serbest akımda sahip olduğu basıncı temsil etmektedir. Denklemden yer alan diğer terimler incelendiğinde V_∞ serbest akışkan hızı, ρ_∞ terimi ise serbest akışın yoğunluk değerini temsil etmektedir.

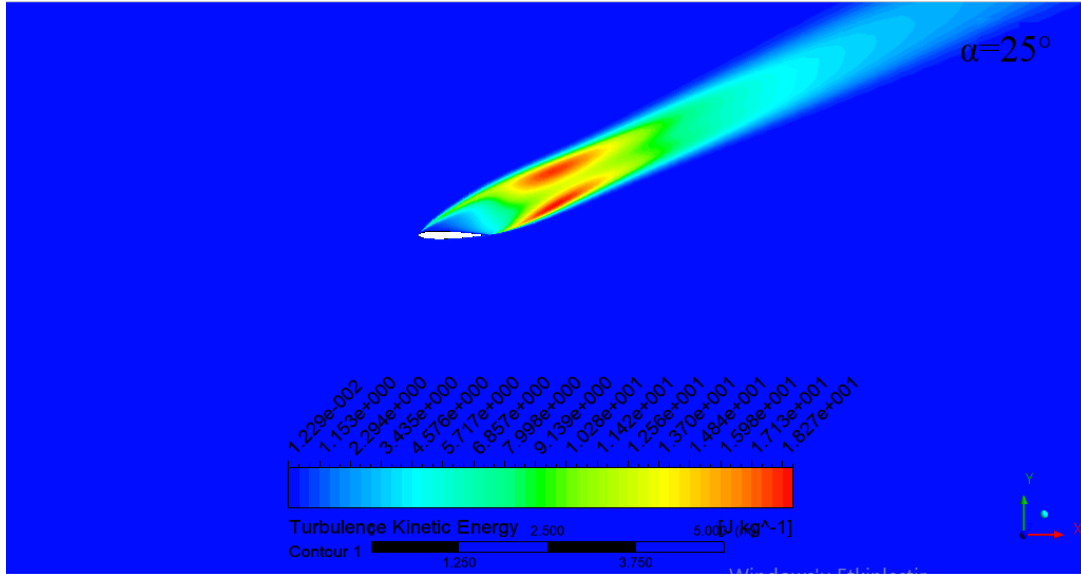
Basınç katsayısının aldığı değere göre sınıflandırması mevcuttur. Basınç katsayısı 0 değerinde ise atmosferik basınç, 0-1 arasındaki bir değer ise yüksek basınç, -1,0-0 arasındaki bir değer ise düşük basınç olarak adlandırılmaktadır.

Türbülans Kinetik Enerjisi (TKE)

Türbülans kinetik enerjisi (TKE), her bir birim kütlenin kinetik enerjisinin ortalama sapması olarak ifade edilmektedir. TKE, akış hızının büyüklüğünde ortalama karekök sapması olarak tanımlanmaktadır. Toplam TKE hız birleşenlerindeki değişkenlerin toplanmasına eşittir. Türbülans modellerinde, TKE ifadesi "k" ile gösterilmektedir.

$$\text{TKE} = \frac{1}{2} (u'^2 + v'^2 + w'^2) \quad (2.5)$$

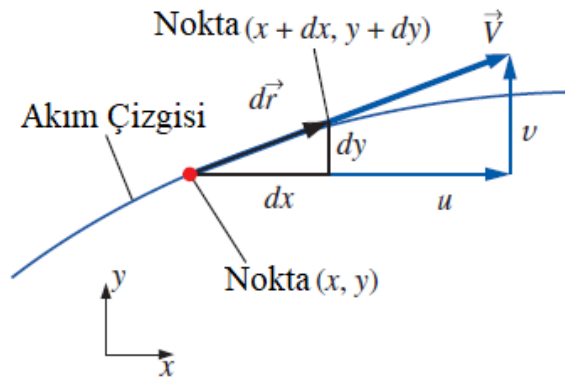
Eş. 2.5'de türbülans kinetik enerjisinin hız sapmaları cinsinden denkliği verilmiştir. TKE'nin akış yapısındaki dağılımının incelenmesi ile birlikte, akış alanı içerisindeki oluşan yapılar daha iyi anlaşılabilir. NACA 0012 kanat profilinin 25°'lik hücum açısı değerindeki TKE dağılımı Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=25^\circ$ 'deki TKE dağılımı

Akım Çizgisi

Akım çizgisi, akışın her noktasında anlık olarak yer hız vektörüne teğet olan eğridir. Akım çizgileri akış alanı boyunca anlık akış hareketinin takibinde oldukça etkili bir yoldur. İki boyutlu akış için xy düzlemindeki akım çizgisinin gösterimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

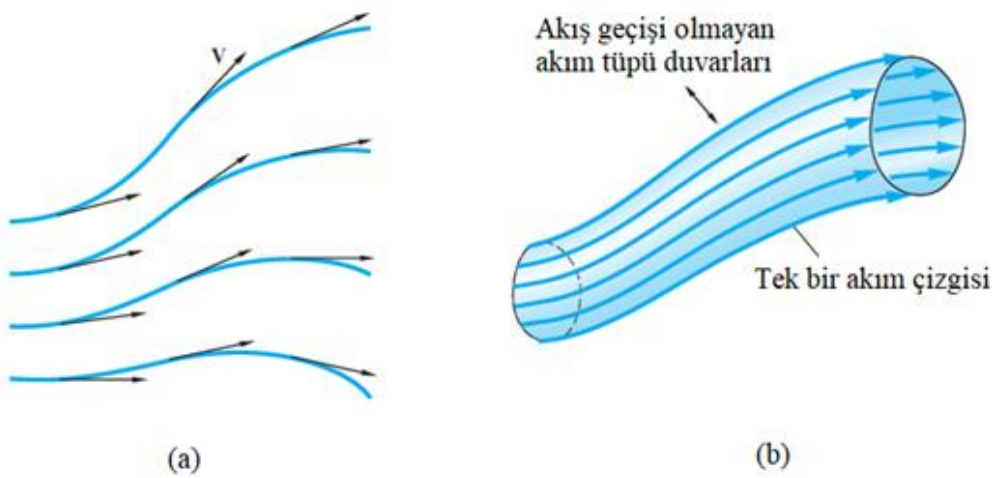


Şekil 2.7. İki boyutlu akış için xy -düzlemindeki akım çizgisinin gösterimi (Çengel, 2020)

Şekil incelendiğinde $d\vec{r}$ yayı ile yerel hız vektörü \vec{V} ile paralel olması gerektiği akım çizgisinin tanımını oluşturmaktadır. Bu nedenle $d\vec{r}$ yayının bileşenlerinin \vec{V} 'nin hız bileşenleri ile orantılı olmaktadır [57].

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} = \frac{dr}{V} \quad (2.6)$$

Eş. 2.6 incelendiğinde dr ifadesi $d\vec{r}$ vektörünün, V ifadesi ise \vec{V} vektörünün büyüklüğüdür.

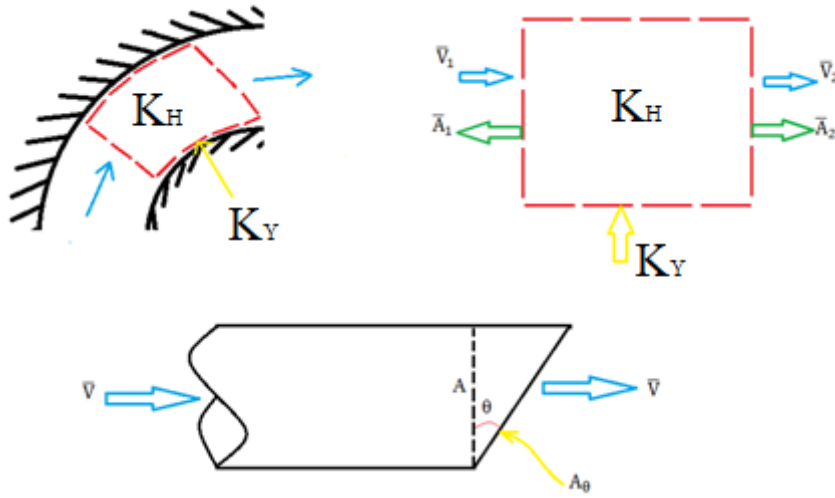


Şekil 2.8. Akış yapısının gösteriminde yaygın olarak kullanılan metotlar (a) akım çizgileri (b) akım tüpü (White, 2016)

Akış yapısının gösteriminde yaygın olarak kullanılan metotlar Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Normal akım çizgileri dizisi Şekil 2.8a'da gösterilmiştir. Akım tüpü gösterimi her biri ayrı akım çizgilerinden oluştuğu Şekil 2.8b'de gösterilmektedir. Akım çizgileri tanımından yola çıkılarak akım çizgisi içerisindeki akışkan içeride kalır ve akım tüpünün duvarlarından geçmemektedir [58].

Reynolds Transport Teoremi

Sistem analizinin, kontrol hacim analizine dönüştüren temel kuralların kullanıldığı teorem Reynolds transport teoremi olarak adlandırılmaktadır. Uzay içerisinde K_H olarak gösterilen ve sabit bir alanı ifade eden bir kontrol hacmi seçildiğinde, kontrol hacmini çevreleyen K_Y olarak ifade edilen bir sınır bulunmaktadır. Seçilen K_H ve K_Y Şekil 2.9'da gösterilmektedir [59].



Şekil 2.9. Kontrol hacminin ve kontrol sınırının gösterilmesi

$$Q = \bar{V}A \quad (2.8)$$

Eş. 2.8’de yer alan Q ifadesi hacimsel debiyi (m^3/s) ifade etmektedir. Hacimsel debi, kontrol hacminden birim zamanda geçen hacim olarak ifade edilmektedir. Ortalama hız ve alan değerlerinin çarpımı ile bulunmaktadır.

$$\dot{m} = \rho Q = \rho(\bar{V}A) \quad (2.9)$$

Hacimsel debi (m^3/s) ile yoğunluğun (kg/m^3) çarpımı ile elde edilen ve Eş.2.9’da ile gösterilen ifade kütleli debidir. Kütleli debi kontrol hacminden birim zamanda geçen kütle olarak tanımlanmaktadır.

$$Q_{\text{netçıkış}} = \sum_{KY} \bar{V}A \quad (2.10)$$

$$\dot{m}_{\text{netçıkış}} = \sum_{KY} \rho \bar{V}A \quad (2.11)$$

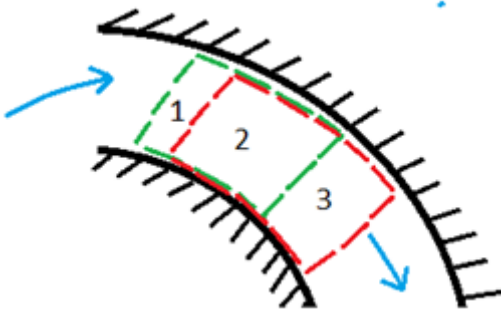
Eş. 2.10 ve 2.11’de sırası ile kontrol hacmindeki net çıkış hacimsel debiyi ve kütleli debiyi vermektedir.

Kontrol hacminde b ile gösterilen ve birim kütleyle bağlı bir özellik yazılırsa B ile gösterilen ve toplam kütleyle ait bir özellik Eş. 2.12’de gösterildiği gibi olur.

$$b = \frac{B}{m} \quad (2.12)$$

Toplam kütleyle ait B özelliği kontrol hacmi için Eş. 2.13'deki gibi yazılır.

$$\dot{B} = \sum_{KY} b \underbrace{\rho \bar{V} A}_{\dot{m}} \quad (2.13)$$



Şekil 2.10. Kontrol hacminin $t=\Delta t$ anındaki durumunun gösterilmesi

Uzayda seçilen bir kontrol hacmi için t anındaki durumu Şekil 2.10'da yeşil çizgiler ile gösterilmektedir. $t=\Delta t$ anındaki kontrol durumu ise kırmızı çizgilerle gösterilmektedir.

Sistem için yukarıdaki durum düzenlenirse Eş. 2.14 şeklini alır.

$$\frac{dB_{Sis}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{B_{t+\Delta t} - B_t}{\Delta t} \right] = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{(B_2 - B_3)_{t+\Delta t} - (B_1 - B_2)_t}{\Delta t} \right] \quad (2.14)$$

Eş. 2.14 düzenlenip Eş. 2.15 gibi yazılabilir.

$$\frac{dB_{Sis}}{dt} = \underbrace{\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{B_{2t+\Delta t} - B_{2t}}{\Delta t} \right]}_{\frac{dB_{KH}}{dt}} + \underbrace{\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{B_{3t+\Delta t} - B_{1t}}{\Delta t} \right]}_{\sum_{KY} b \rho \bar{V} A} \quad (2.15)$$

Sonuç olarak Reynolds Transport denklemi Eş. 2.16'da gösterildiği şeklini almaktadır.

$$\frac{dB_{Sis}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{KH}^{B_{KH}} b \rho dV + \sum_{KY} b \rho \bar{V} A \quad (2.16)$$

B özelliğinin sistem içerisinde zamana bağlı değişim oranı = Kontrol hacmi içerisinde B özelliğinin zamana bağlı değişim oranı + Kontrol hacminden çıkan B özelliğinin net çıkış oranı

Eş. 2.16'da yer alan \bar{V} ifadesi hacmi temsil etmektedir. Eğer akış uniform akış değilse Eş. 2.17 kullanılmaktadır.

$$\int_{KY} b \rho \bar{V} \hat{n} dA \quad (2.17)$$

Eş. 2.17'de yer alan \hat{n} ifadesi n doğrultusundaki birim vektörü ifade etmektedir.

Kütlenin Korunumu

Reynolds Transport denkleminde yer alan B özelliğinin sistemin kütlesi olarak alınması durumunda $b = \frac{\text{kütle}}{\text{kütle}} = 1$ olacaktır. Sistem kütlesi için Reynolds Transport denklemi Eş. 2.18'in düzenlenmesiyle birlikte Eş. 2.19 şeklinde olacaktır.

$$\frac{d(\text{kütle})_{Sis}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{KH} \rho dV + \int_{KY} \rho [\bar{V} dA] \quad (2.18)$$

$$0 = \frac{d}{dt} \int_{KH} \rho dV + \int_{KY} \rho [\bar{V} dA] \quad (2.19)$$

Yukarıdaki Eş. 2.19'un sağında yer alan ve kontrol hacmiyle ilgili integral kısmı akış sistemin sürekli olması durumunda 0'ise Eş. 2.20 veya tekrar düzenlenip kütlesi debisi için yazılacak olursa Eş. 2.21 gibi olacaktır.

$$\int_{KY} \rho [\bar{V} dA] = 0 \quad (2.20)$$

veya

$$\dot{m}_{giriş} = \dot{m}_{çıkış} \quad (2.21)$$

Akış aynı zamanda sıkıştırılamaz akış ise yoğunluk için Eş.2.22, hacimsel debi içinse Eş. 2.23 yazılabilir.

$$\rho_{\text{giriş}} = \rho_{\text{çıkış}} \quad (2.22)$$

$$Q_{\text{giriş}} = Q_{\text{çıkış}} \quad (2.23)$$

Momentum Korunumu

Reynolds transport denkleminde daha önce tanıtilan B özelliğinin momentum olarak alınmasıyla birlikte sistem için zamana bağlı momentum değişimi toplam kuvvete Eş. 2.42'teki gibi eşit olacaktır [60].

$$B = m\bar{V} \quad b = \frac{B}{\text{Kütle}} = \frac{m\bar{V}}{m} = \bar{V} \quad (2.24)$$

$$\left[\frac{dm\bar{V}}{dt} \right]_{\text{Sis}} = \sum \bar{F} \quad (2.25)$$

Newton'un ikinci yasası gereği, gövdenin momentum değişim oranının gövde üzerine etkiyen net kuvvete eşit olduğu yukarıdaki eşitlik sayesinde elde edilmektedir. Bir akış içerisinde ilerleyen birim hacmin akış elemanı için Eş. 2.25'in sol kısmı zaman ve uzaya bağlı olarak makroskopik boyutta bir hız alanın cismin sahip olduğu momentum gibi fiziksel niceliğin zamana bağlı değişimini tanımlayan malzeme türevi ile değişmekte ve Eş. 2.26'ya dönüşmektedir.

$$\rho \frac{D}{Dt} (V) = \rho \left[\frac{\partial}{\partial t} (V) + (V \cdot \nabla) V \right] \quad (2.26)$$

Kartezyen düzleminde ise sırasıyla x,y ve z düzlemleri için Eş. 2.27, Eş. 2.28, Eş. 2.29 şeklinde yazılmaktadır.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] \quad (2.27)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] \quad (2.28)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \rho \left[\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] \quad (2.29)$$

Navier-Stokes Denklemleri

Kütlesi δm olan bir diferansiyel sistemde, Newton yasasının sistem kütlesine uygulanmasıyla aşağıda yer alan Eş. 2.30 elde edilmektedir.

$$\delta \bar{F} = \frac{D}{Dt} (\bar{v} \delta m) \quad (2.30)$$

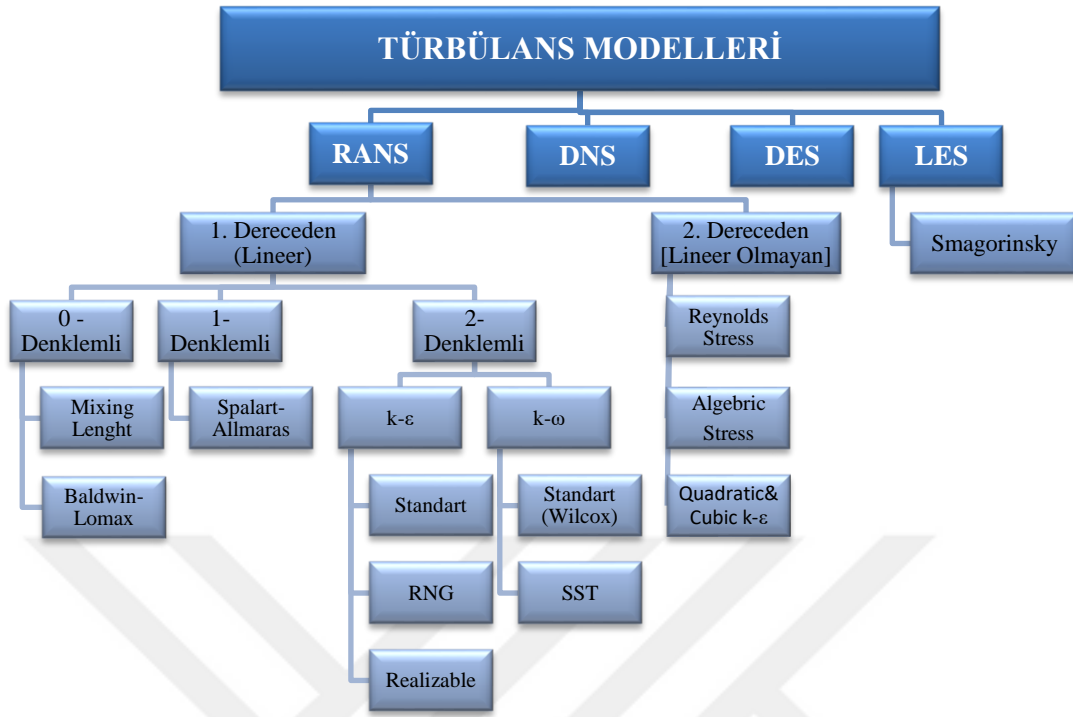
Eş. 2.30'da kütlenin sabit olması nedeni ile türevden çıkartılır ve Eş.2.31 elde edilir.

$$\delta \bar{F} = \delta m \frac{D\bar{v}}{Dt} \implies \delta \bar{F} = \delta m \bar{a} \implies \rho dx dy dz \frac{D\bar{V}}{Dt} \quad (2.31)$$

Eşitliklerde bahsedilen kuvvetler ağırlık gibi gövde kuvvetleri ve normal kayma gerilmesi gibi yüzey kuvvetleridir.

Hesaplama Yaklaşımları

HAD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) uygulamalarında, türbülans modellemesi için kullanılan yaklaşımlar Şekil 2.11'de verilmiştir [61]. Şekil incelendiğinde türbülans modelinin dört ana başlıkta sınıflandırıldığı görülmektedir. Bunlar; Büyük Girdap Simülasyonu (LES), Ayrılmış Girdap Simülasyonu (DES), Doğrudan Sayısal Simülasyon (DNS) ve Ortalama Reynolds Navier-Stokes (RANS). Her birinin kullanım amacı farklı olmakla beraber, bu tez çalışmasında kanat üzerindeki akış analizinde sıklıkla kullanılan RANS modelinden bir denklemlilik Spalart-Allmaras ve iki denklemlilik SST k- ω türbülans modelleri kullanılmıştır.



Şekil 2.11. Türbülans modellerinin sınıflandırılması

Kullanılan Türbülans Modelleri

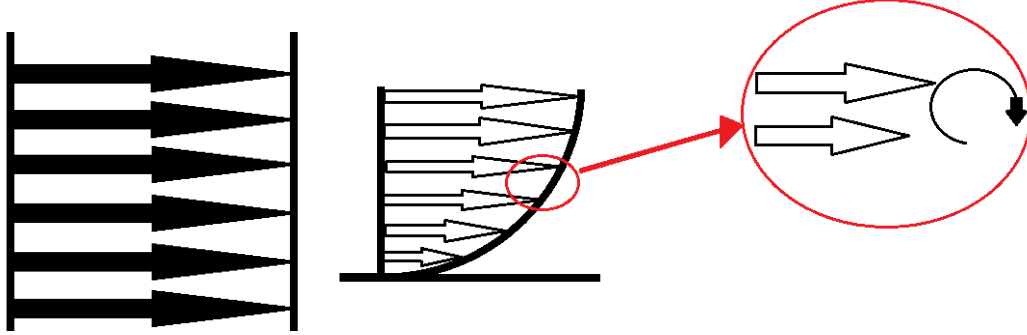
Spalart-Allmaras Türbülans Modeli

Spalart-Allmaras türbülans modeli 1994 yılında geliştirilmiştir. Spalart-Allmaras türbülans modeli, kanat, uçak gövdesi, roket, gemi gövdesi gibi yapıların içerisinde bulunduğu akışın analizinde daha az zaman, az işlem basamağı ve daha az maliyetle birlikte daha fazla doğru sonuç elde etmesiyle verimli ve etkili bir yol olarak görülmektedir. Spalart-Allmaras türbülans modeli tek denklemlidir [62].

$$\underbrace{\frac{\partial \tilde{v}}{\partial t} + \nabla(\tilde{v}\tilde{v})}_1 = \underbrace{c_{b1}S\tilde{v}}_2 + \underbrace{\frac{1}{\sigma} [\nabla(v + \tilde{v})\nabla\tilde{v}]}_3 + \underbrace{\frac{c_{b2}}{\sigma} (\nabla\tilde{v})^2}_4 - \underbrace{c_{w1}f_w \left(\frac{\tilde{v}}{d}\right)^2}_5 \quad (2.32)$$

Eş. 2.32’de verilen Spalart-Allmaras denklemi incelendiğinde, denklemin dört ana bileşeni olduğu görülmektedir. Eşitlik içerisinde “1” ile gösterilen kısım, tüm transport denklemlerinde bulunan, kısmi türev ve konveksiyon terimidir. Ortalama hız profilinde

bulunan, kesme oran tensörü olarak bilinen S ifadesi eşitlik içerisinde “2” ile gösterilen kısımda yer alır ve türbülansın üretilmesini sağlar.



Şekil 2.12. Hız profilleri arasındaki fark sebebiyle gradyan oluşumu

Türbülans oluşumu ortalama hız profillerinde yer alan hız gradyanları sayesinde olmaktadır. hız profiller arasındaki fark sebebiyle gradyan oluşumu Şekil 2.12’de gösterilmektedir. Şekilde solda yer alan hız katmanları arasında fark görülmemekte ve bu nedenle, soldaki şekle ait hız profili uniform yapıdadır. Şekilde sağ tarafta yer alan akış yapısında hız vektörlerinin birbirinden farklı hızlarda olduğu görülmektedir. Bir hız vektörünün diğerinden daha hızlı hareket etmesi, dönme hareketi oluşturmaya meyil edecek, bu dönme hareketi ise büyük girdap olacaktır. Oluşan bu durum ise daha küçük girdap yapılarının oluşumunu geciktirecek ve türbülans yaratacaktır.

$$S = \frac{1}{2} (\nabla V + (\nabla V)^T) \quad (2.33)$$

Eş. 2.33’te yer alan S ifadesi kayma oran tensörü olarak adlandırılmaktadır. Kayma oran tensörü, akışın makroskopik hareketini temsil eden tamamı kinematikten oluşan bir terimdir.

Eş. 2.32 içerisinde yer alan ve eşitlik bölümlerinin numaralandırılmasında “3” olarak nitelendirilen kısım, birçok transport denkleminde bulunan difüzyon terimidir. Difüzyon terimi, türbülansın yüksek yoğunlukta bulunduğu bölgeden düşük yoğunlukta olduğu bölgeye dağıtılmasını sağlamaktadır. Spalart-Allmaras türbülans modelinde difüzyon terimi, ek olarak lineer olmayan terimi temsil eden eşitlik bölümü “4” olarak gruplandırılmıştır. Lineer olmayan terim, difüzyonun baskın olduğu türbülans bölgelerinin

kenarında önem arz etmektedir. Bu terim, türbülans bölgesinin kenarında girdap dağılımının kontrol edilmesi amacıyla eklenmiştir. Ayrıca bu terimin eklenmesi ile birlikte eşitlikteki lineer kısım ile lineer olmayan kısım ayrılmıştır. Eşitliklerde yer alan “ c_{b2} ” girdap profilinin dağılımında daha fazla doğruluk yakalanabilmek adına 0.622 değerine sabitlenmiştir [39]. Lineer olmayan bu terim aynı zamanda kaynak terimi(source term) olarak bilinmektedir.Eşitlik içerisinde “5” olarak sınıflandırılan kısım, akış içerisindeki duvarın varlığı, viskozite ve viskoz olmayan blokajlarla (inviscid blocking) türbülans yıkımını gerçekleştirmektedir.

$$-c_{w1}f_w \left(\frac{\tilde{v}}{d}\right)^2 \quad (2.34)$$

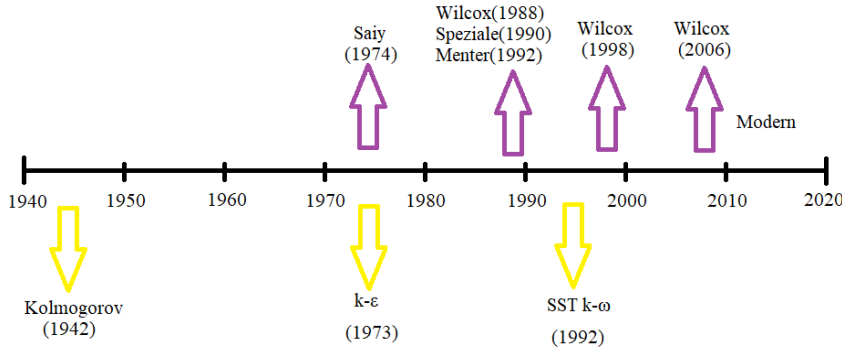
$$v_t = \tilde{v}f_{v1} \quad (2.35)$$

$$f_{v1} = \frac{x^3}{x^3 + C_{v1}^3} \quad (2.36)$$

Eş. 2.34’te yer alan türbülans yıkımını viskoz olmayan blokajlarla (inviscid blocking) gerçekleştirmektedir. Viskoz etkisiyle türbülans yıkımı v_t içerisinde tanımlanmıştır. Eşitliğin önünde yer alan eksi işareti bu yıkımı temsil etmektedir. En yakın duvara olan mesafe “d” ile gösterilmektedir. Eş. 2.35’te yer alan v_t ifadesi viskoziteyi ifade etmektedir. Eşitliğin sağında yer alan f_{v1} ifadesi Mellor ve Herring’in (1968) çalışmalarında kullandığı, Eş. 2.36’da formülüzasyonu bulunan bir fonksiyondur. Eş. 2.36’da yer alan C_{v1} sabitinin değeri daha sonra yapılan çalışmalarla değiştirilmiştir [39].

Standart k- ω Türbülans Modeli

Ters basınç gradyanlarının olduğu sınır tabaka bölgelerinde yeterli doğruluğu yakalayamayan k- ϵ , süpersonik akışlarda da yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle aerodinamik ve turbo makinelerde uygulanacak daha doğru sonuç veren bir modele ihtiyaç duyulmuştur. Şekil 2.13 incelendiğinde zaman içerisinde önerilen modeller verilmiştir [63].



Şekil 2.13. Yıllar içerisinde önerilen modellerin zaman çizelgesi

Ters basınç gradyenlerinde k-ε modelinden daha iyi sonuç verecek Spalart-Allmaras, John-King, k-ω gibi birçok türbülans modeli türetilmiştir. k-ω türbülans modelinin de bir çok farklı versiyonu ters basınç gradyeninin çözümü için kullanılmıştır.

k-ε türbülans modelinde kullanılan ε terimi türbülans dağılım oranını ifade etmektedir. Bu oran, viskozite tarafından termal enerjiye dönüştürülen kinetik enerjiyi ifade etmektedir. Birimi ise m^2/s^2 'dir. k-ω türbülans modelinde kullanılan ω terimi ise spesifik türbülans dağılım oranını ifade etmektedir.

$$\omega = \frac{\varepsilon}{C_{\mu}k} \quad (2.38)$$

Akış alanı için düşünüldüğünde ε ve ω terimlerinin ikisi de türbülans kinetik enerji dağılımını ifade etmektedir. Eş. 2.38'de gösterildiği gibi ω teriminin birimi ise 1/s olup, ε teriminin $C_{\mu}k$ ifadesine bölümü ile bulunmaktadır. C_{μ} deneysel katsayı olup değeri 0,09'dur [60]. k terimi ise türbülans kinetik enerjisini ifade etmektedir.

k terimi için transport denklemi Eş. 2.39'da verilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla(\rho V k) = \nabla \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + P_k - \rho \varepsilon \quad (2.39)$$

ω terimi için transport denklemi ise Eş. 2.40'da verilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \nabla(\rho V\omega) = \nabla\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\nabla\omega\right) + \frac{\gamma}{v_t}P_k - \beta\rho\omega^2 \quad (2.40)$$

k- ω türbülans modeli farklı deneysel katsayılara sahiptir (α, β, σ_k vb.). Prensipite k- ω ve k- ϵ türbülans modelleri aynı olsalar da aralarında birtakım farklılıklar bulunmaktadır. k- ϵ türbülans modeli, ters basınç gradyenlerinde çok fazla doğruluk yakalayamayan sönümleme fonksiyonu içermektedir. k- ω türbülans modeli ise sönümleme fonksiyonuna ihtiyaç duymaz ve bu sebepten ötürü aerodinamik ve turbo makine uygulamalarında daha yüksek doğruluk yakalamaktadır.

k- ω türbülans modelinin temel eksikliği, serbest akış bölgelerinde yeterli doğruluğu yakalayamamasıdır. Bu sorun, serbest akış bölgelerinde başarılı türbülans modeli olan k- ϵ ile birlikte kullanılmasıyla aşılmaktadır. SST k- ω türbülans modelinin temelini oluşturan bu yaklaşımda iki türbülans modelinin bir arada kullanılmasını sağlayan bir karıştırma fonksiyonu mevcuttur. Karıştırma fonksiyonu ile duvara yakın bölgelerde k- ω türbülans modeli kullanılırken, duvardan uzak bölgelerde ise k- ϵ türbülans modeli kullanılmaktadır.

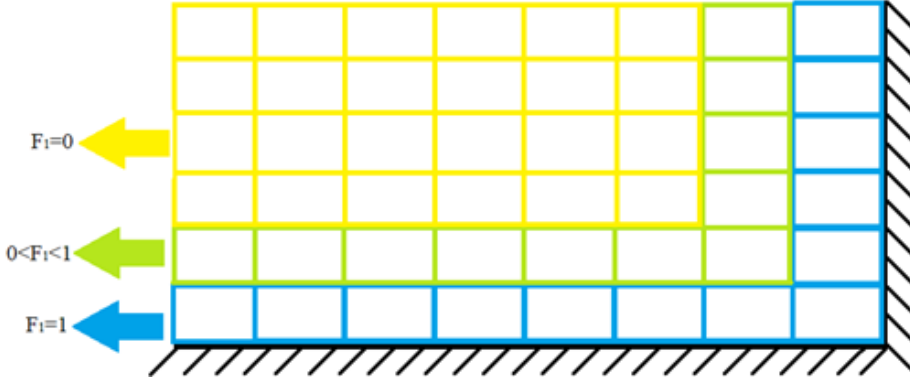
SST k- ω Türbülans Modeli

Dış akış aerodinamik uygulamalarında veya akış ayrılmalarının önemli olduğu simülasyonlarda en iyi sonuç veren türbülans modeli olarak kabul edilen Shear Stress Transport (SST) k- ω türbülans modeli, k- ω ve k- ϵ modellerinin birlikte kullanıldığı bir türbülans modelidir. Bu modellerden k- ω modeli duvara yakın bölgelerde daha iyi sonuç vermekte fakat duvara uzak bölgelerdeki serbest akış bölgelerde yetersiz kalmaktadır. Buna karşın k- ϵ türbülans modeli serbest akış bölgelerinde oldukça iyi sonuç vermektedir. SST k- ω türbülans modelinde karıştırma fonksiyonun (F_1) kullanılmasıyla duvara yakın bölgelerde k- ω türbülans modeli kullanılırken, serbest akış bölgelerinde k- ϵ modeli kullanılmaktadır.

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \nabla(\rho V\omega) = \nabla\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega}\right)\nabla\omega\right) + \frac{\gamma}{v_t}P_k - \beta\rho\omega^2 + \underbrace{2(1 - F_1)\frac{\rho\sigma\omega^2}{\omega}\nabla_k:\nabla_\omega}_1 \quad (2.41)$$

Eş. 2.41'de yer alan "1" ile gösterilen kısım, ilave terimdir. İlave terimin sonunda yer alan ifade iç çarpım tensörüdür. İç çarpım tensörünün açılımı Eş. 2.42'de verilmiştir.

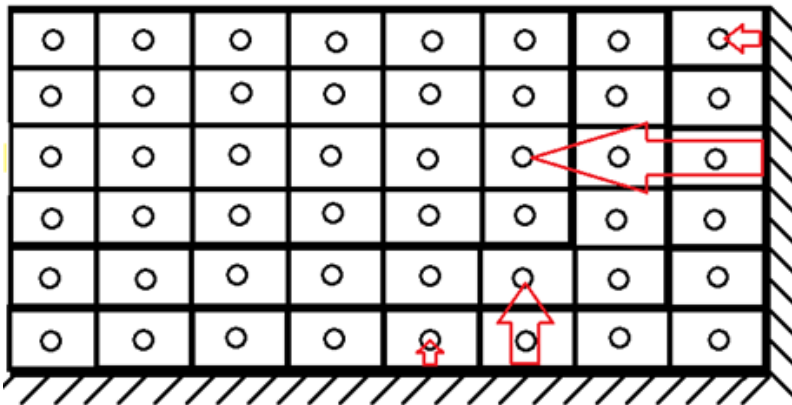
$$\nabla_k: \nabla_\omega = \frac{\partial_k \partial_\omega}{\partial_{x_j} \partial_{x_j}} = \frac{\partial_k \partial_\omega}{\partial_x \partial_x} + \frac{\partial_k \partial_\omega}{\partial_y \partial_y} + \frac{\partial_k \partial_\omega}{\partial_z \partial_z} \quad (2.42)$$



Şekil 2.14. Karıştırma fonksiyonun duvara olan mesafe ile değişimi

Karıştırma fonksiyonunun, hücrenin duvara olan mesafesine göre değişimi Şekil 2.14'te gösterilmiştir. SST $k-\omega$ türbülans modelinde türbülans modelleri arasındaki geçişi F_1 fonksiyonu sağlamaktadır. Türbülans denkleminde yer alan F_1 fonksiyonu duvara yakın bölgelerde "1" değerini alır ve model $k-\omega$ türbülans modeli haline gelir. Serbest akış bölgelerinde ise F_1 "0" değerini almakta ve model $k-\epsilon$ türbülans modeline dönüşmektedir. F_1 fonksiyonu, Eş. 2.43'te gösterildiği gibi hiperbolik bir fonksiyondur.

$$F_1 = \tanh(\arg_1^4) \quad (2.43)$$



Şekil 2.15. Karıştırma fonksiyonun duvara en yakın mesafe gösterimi

Karıştırma fonksiyonunda yer alan “arg” terimi duvara olan en yakın mesafeye bağlı olduğu Şekil 2.15’te gösterilmektedir. Bu sayede duvara olan uzaklığa bağlı olarak türbülans modeli kullanılabilir. Eş. 24’de, F1 fonksiyonundaki arg ifadesi yer almaktadır. Denklemde CD_{kw} ifadesi “cross diffusion term” olarak bilinen ifadeden gelmektedir.

$$\arg_1 = \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^*}, \frac{500\nu}{d^2\omega} \right), \frac{4\rho\sigma\omega_2k}{CD_{kw}d^2} \right] \quad (2.44)$$

Viskozite Sınırlayıcı

SST k- ω türbülans modelinde bir viskozite sınırlayıcı bulunmaktadır. Kullanılan bu sınırlayıcı sayesinde akış ayrılmalarının gerçekleştiği akışlarda deneysel veriler daha iyi yakalanmaktadır.

$$\underbrace{\mu_t = \frac{\rho k}{\omega}}_{\text{Orjinal}} \quad \Rightarrow \quad \underbrace{\mu_t = \frac{a_1 \rho k}{\max(a_1 \omega, SF_2)}}_{\text{SST k-}\omega \text{ model}} \quad (2.45)$$

Eş. 2.45’te yer alan F_2 ifadesi F_1 gibi karıştırma fonksiyonudur. SST k- ω modelde kullanılan türbülans viskozite denkleminde S veya F_2 ifadesi büyük değerler alırsa, viskozite sınırlandırılır. F_2 karıştırma fonksiyonu da Eş. 2.46’da gösterildiği gibi hiperbolik bir fonksiyon olup, duvara olan mesafeye bağlıdır. Duvara olan mesafe küçük olduğu zaman, F_2 ifadesi büyük olmaktadır.

$$F_2 = \tanh(\arg_2^2) \quad (2.46)$$

Kanat profilleri üzerinde yapılan nümerik analizlerde sıklıkla kullanılan türbülans modelleri Spalart-Allmaras ve SST k- ω modelleridir [24]. Bu tez çalışmasında, türbülanslı akışların aerodinamik çözümlerinde sıklıkla kullanılan Spalart-Allmaras türbülans modeli ve SST k- ω modeli karşılaştırılmıştır.

Kullanılan HAD yazılımında çözücü olarak sunulan basınç temelli ve yoğunluk temelli çözüm algoritması olarak basınç temelli çözüm algoritması kullanılmıştır. Analizler sürekli hal şartlarında gerçekleştirilmiştir. Hesaplama alanında giriş olarak belirlenen bölge için türbülans yoğunluğu literatüre uygun biçimde %1, çıkış olarak belirlenen bölge içinse %5

olarak seçilmiştir [53]. Hız-basınç ikili için hesaplama şeması olarak “Coupled” seçilmiştir. Coupled algoritması, momentum ve basınç temelli süreklilik denklemlerini birlikte çözmektedir. Tek fazlı sürekli hal şartlarındaki akış uygulamalarında Coupled algoritması, denklemleri ayrı çözen diğer basınç temeli hesaplama algoritmalarına göre daha verimli ve sağlam sonuçlar vermektedir [65]. Uzaysal ayrıklaşma başlığı için gradyen hesaplamalarında sonlu kareler yöntemi seçilmiştir. Sonlu kareler yöntemi, Green-Gauss metotlarına göre diverjans teoreminin kullanılmaması ve kayma hatası gibi faktörler bakımından daha avantajlıdır [66]. Basınç için ikinci dereceden uzaysal ayrıklaşma seçeneği seçilirken, momentum, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans dağılım oranı için ikinci dereceden upwind şeması kullanılmıştır. Akış Courant sayısı HAD programının önerdiği şekilde 200 seçilmiştir. Analizlerin hepsinde C_L , C_D katsayıları ve süreklilik parametreleri için yakınsama işleminin sorunsuz gerçekleşmesi için yakınsama kriteri 1×10^{-7} olarak seçilmiştir [56].

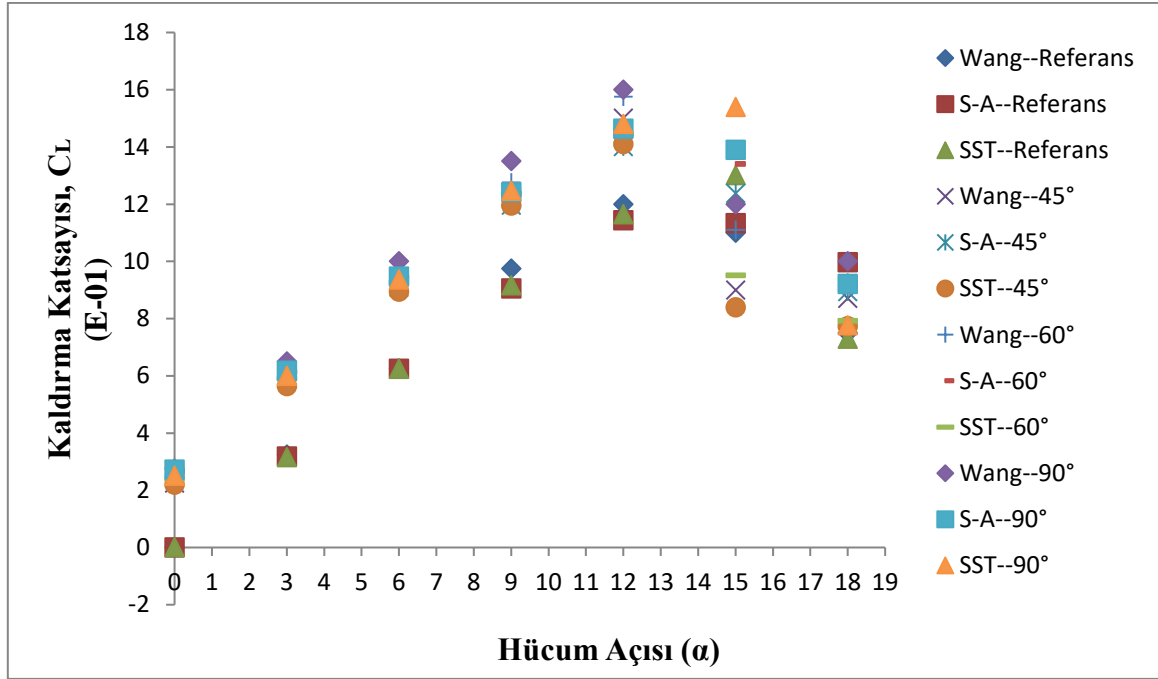
Çizelge 2.2.Kullanılan analiz özellikleri

Girdi	Değer
Akışkan	Hava
Akış Hali	Sürekli
Viskoz Rejimi	Türbülanslı
Viskoz Modeli	S-A, SST k- ω
Reynolds Sayısı, (Re)	1×10^6
Kanat Profili	Gurney Flap Yapılı/ Referans NACA 0012
Veter Uzunluğu, (c)	1m
Gurney Flap Uzunluğu	%1,5 Veter Uzunluğu
Gurney Flap Kalınlığı	0,005m
Gurney Flap Geometrisi	Klasik(Dikdörtgen); 1,25; 1,5; Şimşek; Yarım
Hücum Açısı, (α)	$0^\circ, 3^\circ, 6^\circ, 9^\circ, 12^\circ, 15^\circ, 18^\circ$
Gurney Flap Açısı, (θ)	$0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$

3. TARTIŞMA

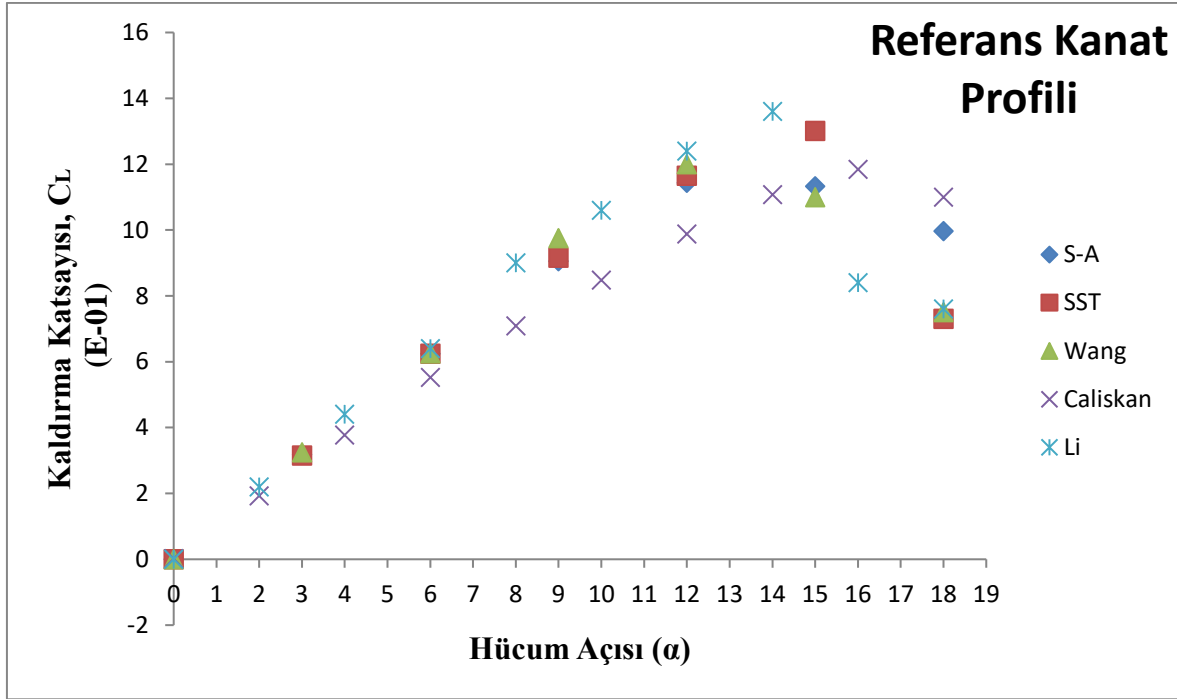
3.1. Gurney Flap Açısının ve Hücüm Açısının Değişken Parametre Olarak Kabul Edilmesi

Aerodinamik karakteristiklerinin Gurney flap açısı θ ve kanat hücüm açısı α 'nın değişken parametre olarak kabul edildiği, veter uzunluğuna bağlı Reynolds sayısı ile SST k- ω ve S-A türbülans modelleri kullanılarak Gurney flap yapısına sahip $c = 1$ m veter uzunluğundaki NACA 0012 kanadın analizleri gerçekleştirilmiştir. NACA 0012 kanat profilinin firar kenarına eklenen $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ açılardaki Gurney flap yapısının etkisinin incelenmesi, $Re = 1 \times 10^6$ sabit değerinde gerçekleştirilmiştir [50]. Elde edilen sonuçlar Wang(2008) $Re = 1 \times 10^6$ Reynolds sayılarında yapmış olduğu deney verileri ile karşılaştırılmıştır [67]. Çalışkan (2021) $Re = 2,1 \times 10^6$ değerinde gerçekleştirmiş olduğu sayısal analiz verileri ve Li (2002), (2003) $Re = 2,1 \times 10^6$ değerinde gerçekleştirmiş olduğu deney verileri ile de karşılaştırması yapılmıştır [68], [69], [70]. Wang deney verileri, bu tez çalışmasında kullanılan aynı Gurney flap uzunluğu ve θ açısı kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışkan ise çalışmasında sadece $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısı kullanmıştır. Kullanılan Gurney flap uzunluğu 0,02m alınmıştır. Li'nin deneysel verisinde kullanılan kanat profiline ait Gurney flap yapısının uzunluğu, 0,015m alınmıştır. Bu tez çalışması ile bir takım farklılıklar bulunan ve literatürde erişilebilen bu çalışma verilerinin kullanılmasının nedeni, mevcut çalışmada elde edilen verilerin doğruluğunun ispatının sağlanmasıdır.



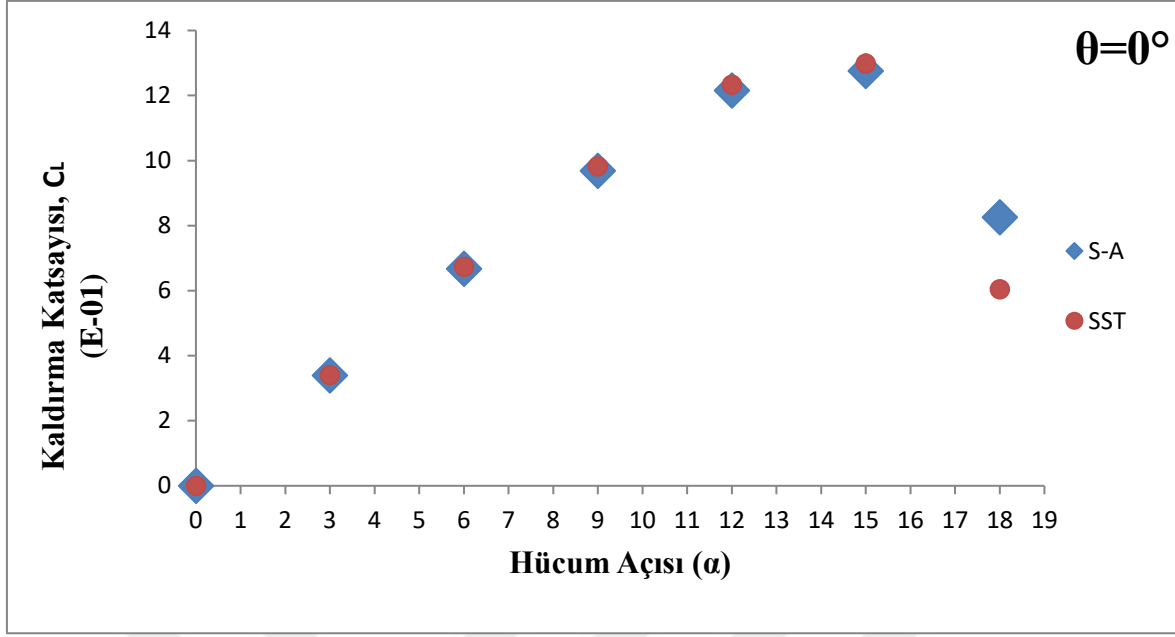
Şekil 3.1.Farklı türbülans modelleri ile C_L katsayısının α açısıyla değişimi

Farklı türbülans modelleri ile C_L katsayısının α açısıyla değişimi Şekil 3.1’de verilmektedir. Gurney flap yapısı bulunmayan NACA 0012 kanat profilini simgeleyen referans kanat profili ile $\theta=45^\circ$, $\theta=60^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ açılarının α hücüm açısıyla değişiminin Wang (2008) deneysel verileri ile karşılaştırılması verilmiştir. Şekil incelendiğinde Gurney flap yapısına sahip olmayan referans kanat profili için S-A türbülans model verilerinin ve SST k- ω türbülans model verilerinin, deney verileri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. $\alpha=9^\circ$ ’ye kadar hem türbülans model verileri hem de deney verileri oldukça yakın sonuçlar vermiştir. $\alpha=9^\circ$ ve $\alpha=12^\circ$ ’de türbülans model verileri ile deney verisinin önceki hücüm açılara kıyasla bir miktar farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. $\alpha=12^\circ$ ’ye kadar Gurney flap yapısız kanat profili olan referans kanat profili ile Gurney flap yapılı kanat profillerine ait kaldırma katsayısı değerleri incelendiğinde, Gurney flap yapısının kaldırma katsayısını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Referans kanat profiline eklenen Gurney flap yapısının $\alpha=0^\circ$ ’de farklı kanat açılarında farklı değerler almakla beraber, yaklaşık kaldırma katsayısı 0,25 değerini almıştır. Şekilde yer alan türbülans verileri arasında en fazla kaldırma katsayısı değeri $\alpha=15^\circ$ ’de SST k- ω türbülans modelinde yaklaşık 1,5 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3.2. Referans kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişimin farklı türbülans modellerinde ve literatür verileri ile karşılaştırılması

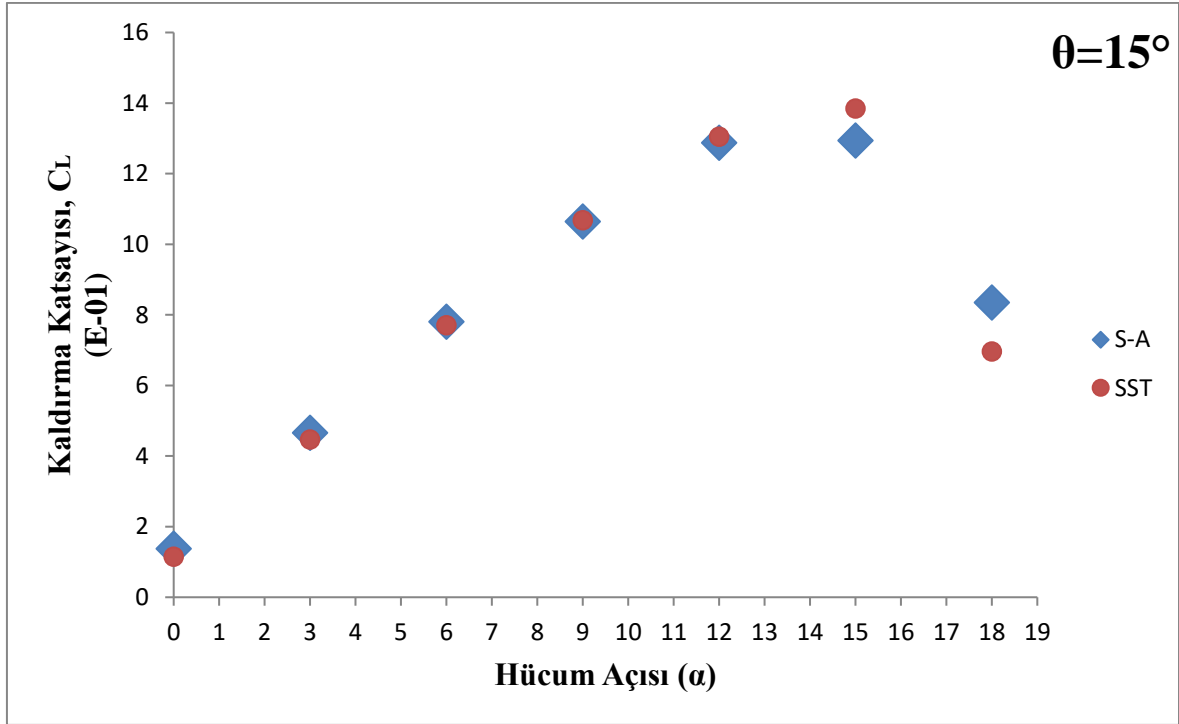
Referans kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişimin farklı türbülans modellerinde ve literatür verileri ile karşılaştırılması Şekil 3.2’de verilmektedir. Şekilde SST k- ω türbülans modelinden ve S-A türbülans modelinden elde edilen C_L katsayı verilerinin erişilebilen literatür çalışma verileri ile karşılaştırılması verilmiştir. Şekil incelendiğinde düşük α açılarında beş veri grubunun da benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu tez çalışmasında kullanılan SST k- ω türbülans modeli ve S-A türbülans modeli ile Wang (2008) deney verileri ve Li (2016) deney verileri yaklaşık olarak tüm α açılarında oldukça yakın sonuçlar verdiği, S-A türbülans modelinin $\alpha=15^\circ$ ’den sonra farklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. SST k- ω türbülans modelinin maksimum kaldırma katsayısı değeri $\alpha=15^\circ$ ’de yaklaşık olarak 1,3 değerinde elde edilmiştir. S-A türbülans modelinin maksimum kaldırma katsayısı değeri $\alpha=12^\circ$ ’de yaklaşık olarak 1,1 değerinde elde edilmiştir. Her iki türbülans modelinde, karşılaştırılması yapılan deneysel ve sayısal çalışmalarla uyumlu olarak yaklaşık $\alpha=14^\circ$ ve $\alpha=15^\circ$ ’den sonra kanadın stall açısına girmesiyle birlikte kaldırma katsayısında düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 3.3. $\theta=0^\circ$ 'lik Gurney flap yapıları kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişiminin S-A ve SST k- ω türbülans modellerinde karşılaştırılması

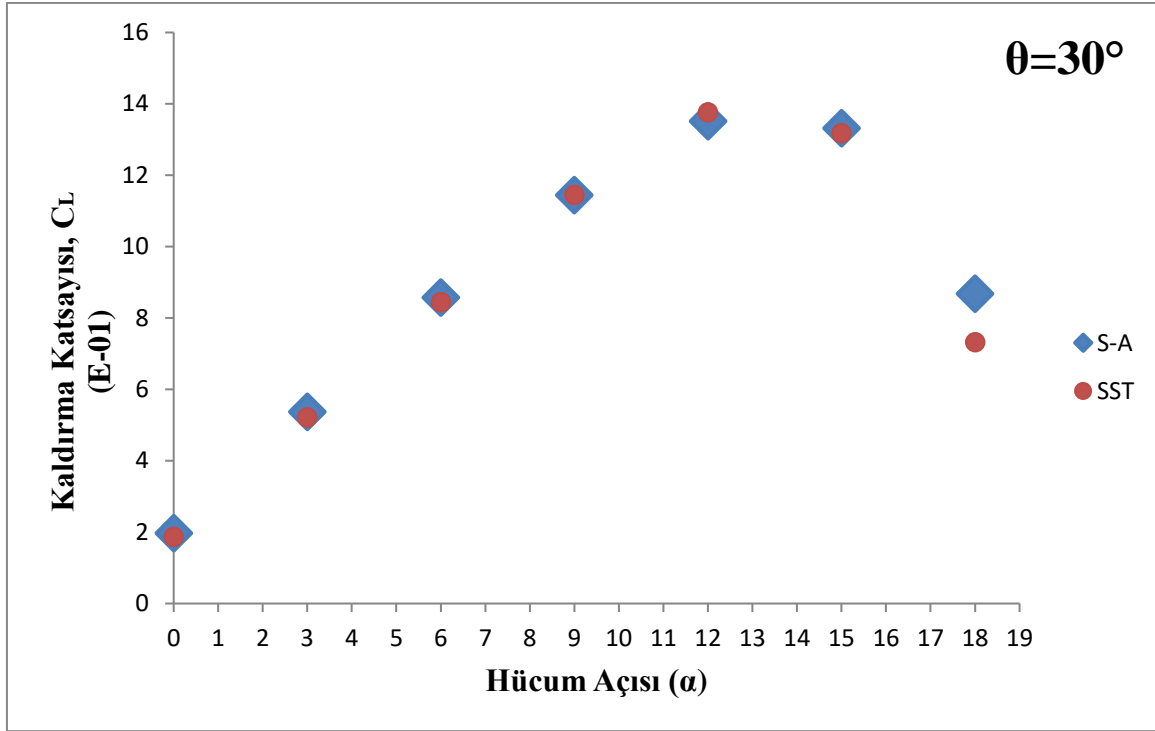
NACA 0012 kanat profiline firar kenarına $\theta=0^\circ$ 'lik açı ile eklenen Gurney flap yapısının kanat C_L katsayı değerlerinin α açısı değişimi Şekil 3.3'te verilmektedir. Şekil incelendiğinde kullanılan S-A ve SST türbülans modellerinin $\alpha=0^\circ-15^\circ$ arasındaki açılarda uyumlu olduğu görülmüştür. İki türbülans modeli arasındaki fark $\alpha=18^\circ$ 'de ortaya çıkmıştır. S-A türbülans modeli $\alpha=18^\circ$ 'de SST k- ω türbülans modelinden daha fazla C_L katsayısı değerine sahip olmuştur. Gurney flap yapısının 0° olduğu kanat profili ile Gurney flap yapısına sahip olmayan kanat profili olarak nitelendirilen referans kanat profiline C_L katsayı değerleri karşılaştırıldığında ise yaklaşık olarak benzer sonuçlar oldukları görülmüştür. Gurney flap yapısının firar kenarına $\theta=0^\circ$ açı ile eklenmesiyle $\alpha=0^\circ$ 'de referans kanat profiline önemli miktarda C_L katsayısı kazandırılmamıştır. Maksimum C_L katsayısı değeri $\alpha=15^\circ$ 'de yaklaşık olarak 1,25 değerinde SST k- ω türbülans modelinde elde edilmiştir.

Gurney flap yapısı ile NACA 0012 kanat profiline arasındaki açının 15° 'ye eşit olduğu durumda kanat üzerinde meydana gelen C_L katsayısının α açısıyla değişimi Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde $\alpha=0^\circ$ 'de ve diğer α açılarında, referans ve $\theta=0^\circ$ 'lik kanat profillerine göreceli olarak daha yüksek C_L katsayısı elde edilmiştir. Maksimum C_L katsayısı değeri $\alpha=15^\circ$ 'de SST k- ω türbülans modelinde yaklaşık 1,4 değerinde elde edilmiştir. $\alpha=15^\circ$ 'ye kadar iki türbülans modeli sonuçları ile uyumlu olmuştur.



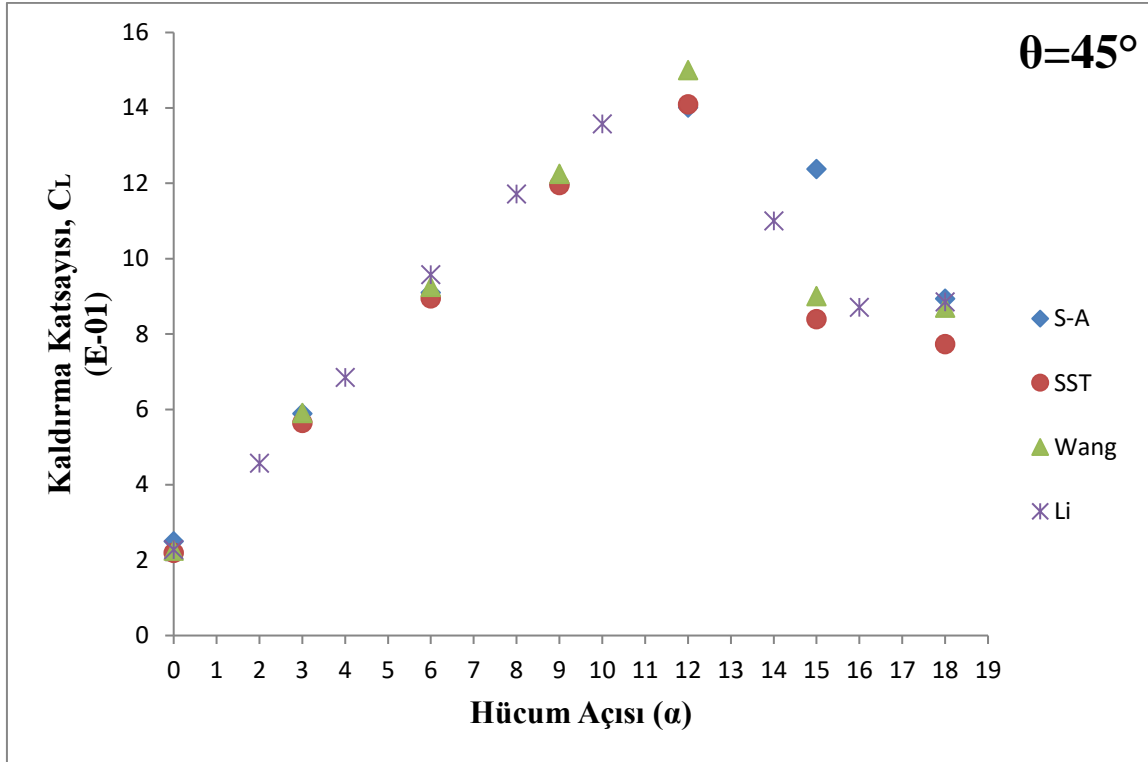
Şekil 3.4. $\theta=15^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişimin S-A ve SST k- ω türbülans modellerinde karşılaştırılması

Gurney flap açısının $\theta=30^\circ$ olduğu kanat profiline C_L katsayısı değerlerinin verildiği Şekil 3.5 incelendiğinde, $\alpha=0^\circ$ 'de, $\theta=30^\circ$ açısına sahip Gurney flap yapısının $\theta=15^\circ$ açısına sahip Gurney flap yapısına oranla referans kanat profiline daha fazla C_L katsayısı kazandırdığı görülmüştür. S-A ve SST k- ω türbülans modelleri verileri incelendiğinde, her iki türbülans model verilerinin $\alpha=15^\circ$ de dahil olmak üzere $\alpha=0^\circ-15^\circ$ arasında uyumlu oldukları görülmüştür. $\alpha=18^\circ$ 'de ise S-A türbülans modeli SST k- ω türbülans model verisine kıyasla daha yüksek sonuç vermiştir. $\theta=30^\circ$ 'ye ait C_L katsayısı verisi, referans ve $\theta=15^\circ$ 'lik kanat profillerine ait C_L katsayısı verilerinden farklı olarak maksimum C_L katsayısı değerini yaklaşık olarak 1,4 olarak $\alpha=12^\circ$ 'de elde etmiştir. $\theta=30^\circ$ 'lik kanat profiline $\alpha=12^\circ$ 'de elde etmiş olduğu maksimum C_L katsayısı değeri referans ve $\theta=15^\circ$ 'lik kanat profillerinde elde edilen maksimum C_L katsayısı değerinden göreceli olarak daha fazla olduğu görülmüştür. İncelen $\alpha=18^\circ$ açısında SST k- ω türbülans modelinde yaklaşık 0,65 kaldırma katsayısı değeri, S-A türbülans modelinde ise kaldırma katsayısı değeri yaklaşık 0,80 değerinde elde edilmiştir.



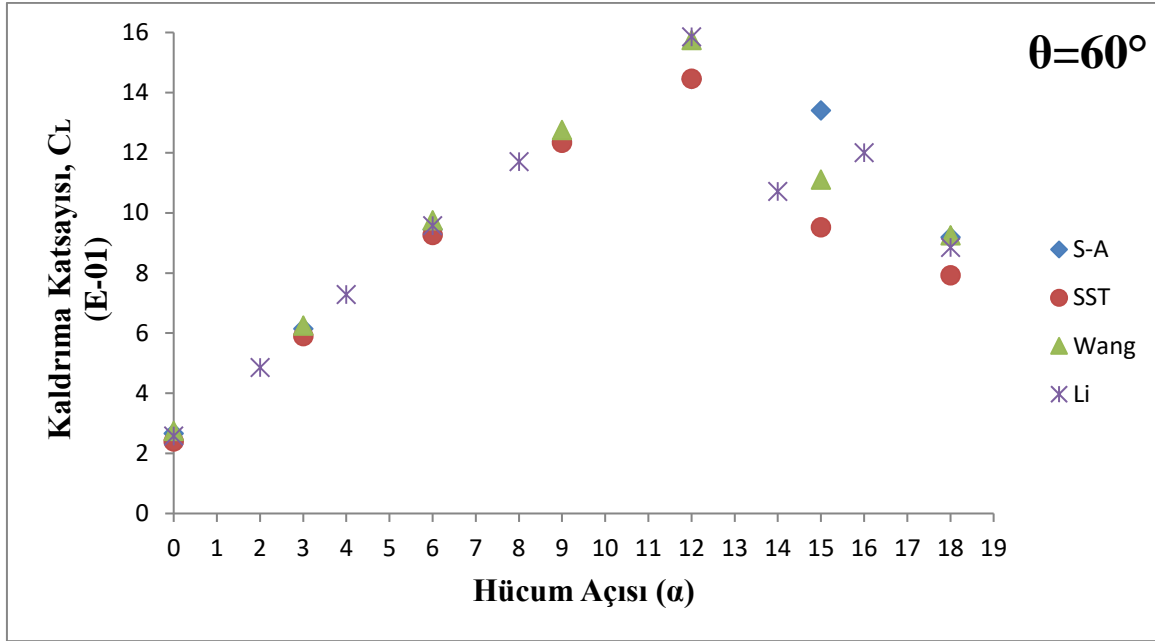
Şekil 3.5. $\theta=30^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişimin S-A ve SST k- ω türbülans modellerinde karşılaştırılması

$\theta=45^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profiline ait C_L katsayısının hücum açısı ile değişimi Şekil 3.6'da verilmiştir. SST k- ω türbülans modeli ve S-A türbülans modelinin Wang (2008) ve Li (2003) deneysel verileri ile karşılaştırılması şekilde yer almaktadır. Şekil incelendiğinde her iki türbülans modeli verilerinin literatürde yer alan veriler ile benzer sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. $\alpha=12^\circ$ 'ye kadar görülen benzerlikler, bu açıdan sonra azalmaya başlamıştır. Özellikle S-A türbülans modeline ait verilerin $\alpha=15^\circ$ 'de deney verileri ve SST k- ω türbülans modeli verilerinden farklı olduğu net bir şekilde görülmektedir. Fakat $\alpha=18^\circ$ 'de ise S-A türbülans modeli, SST k- ω türbülans modeline kıyasla deney verileriyle daha iyi uyum göstermiştir. C_L katsayılarını gösteren değerler incelendiğinde tüm veri gruplarının $\alpha=0^\circ$ 'den $\alpha=12^\circ$ 'ye kadar olan α açılarında, artış göstermiş, bu açıdan sonra ise C_L katsayıları değişik oranlarda azalış göstermiştir. Maksimum kaldırma katsayısı değeri SST k- ω türbülans modeli ve S-A türbülans modelinde için yaklaşık olarak 1,4 değerinde $\alpha=12^\circ$ 'de elde edilmiştir. Minimum kaldırma katsayısı ise $\alpha=0^\circ$ 'de yaklaşık olarak 0,2 değerinde elde edilmiştir.



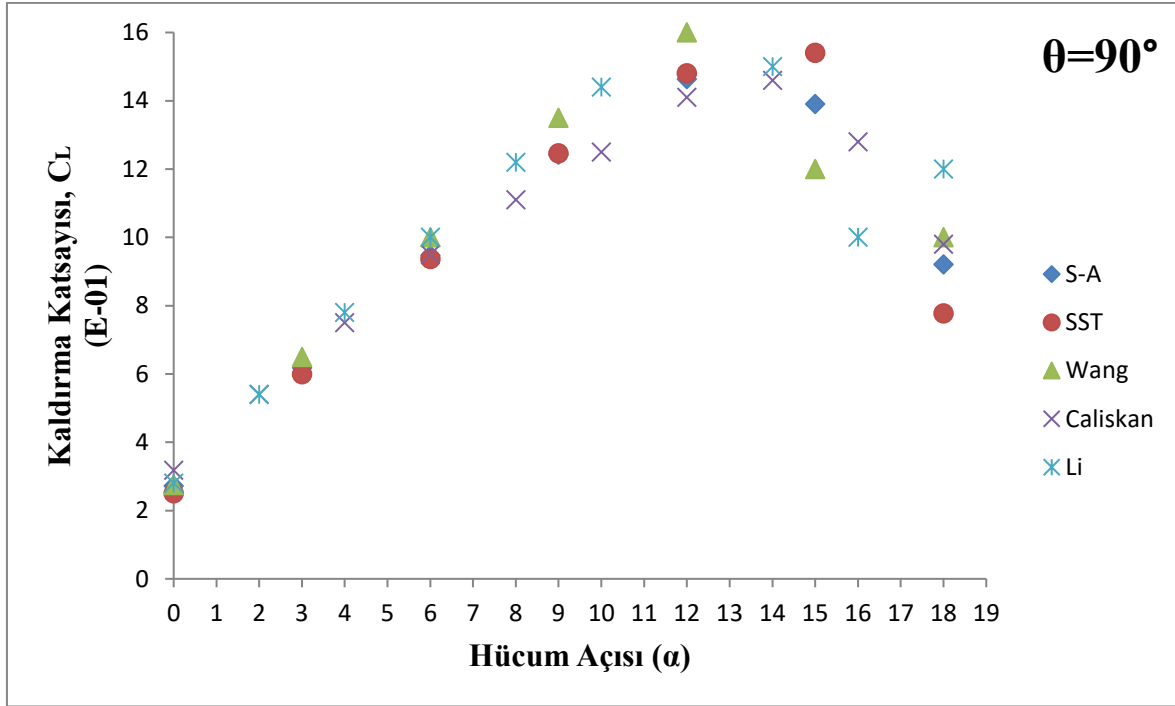
Şekil 3.6. $\theta=45^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür verileri ile karşılaştırılması

$\theta=60^\circ$ 'lik açığa sahip NACA 0012 kanat profiline ait C_L katsayı verilerinin karşılaştırılması Şekil 3.7'de verilmiştir. Diğer θ açılara ait C_L katsayısı eğrilerinde olduğu gibi $\theta=60^\circ$ 'de düşük α açılarında dört veri grubu da benzer sonuçlar vermiştir. Maksimum C_L katsayı değeri $\alpha=12^\circ$ 'de Li (2003) deney verisine ait olmuştur. Li (2003) deney verisine ait $\alpha=10^\circ$ 'deki C_L katsayısı değerine erişilememiştir. S-A türbülans verisi değerlerine bakıldığında $\alpha=15^\circ$ dışında diğer α açılarında deney verileri ile uyum gösterdiği görülmüştür. SST k- ω türbülans modeli verilerine bakıldığında deney verileri ile uyumlu olduğu fakat yüksek α açılarında, düşük α açılara kıyasla daha düşük uyumluluk gösterdiği anlaşılmıştır. Dört veri grubu da $\theta=60^\circ$ 'de ve $\alpha=18^\circ$ 'de oldukça yakın sonuçlar vermiştir. $\theta=60^\circ$ 'lik açığa sahip NACA 0012 kanat profiline ait α açısıyla değişen C_L katsayılarının oluşturdukları eğrilere bakılacak olursa, dört veri grubunun da benzer davranışlara sahip olduğu yorumu yapılabilir. Maksimum kaldırma katsayısı değeri S-A ve SST k- ω türbülans modellerinde yaklaşık olarak 1,4 değerinde gözlemlenmiştir. $\alpha=18^\circ$ 'de ise S-A türbülans modelikaldırma katsayısı değeri yaklaşık olarak 0,8 iken, SST k- ω türbülans modeli için bu değer yaklaşık olarak 0,7 olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 3.7. $\theta=60^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür verilerinde karşılaştırılması

$\theta=90^\circ$ kanat profiline C_L katsayılarının karşılaştırılması Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, maksimum C_L katsayısı değerinin Li (2016) deneysel verisine $\alpha=12^\circ$ 'de elde edildiği anlaşılmaktadır. $\alpha=6^\circ$ 'ye kadar α açıları tüm veri grupları benzer sonuçlar vermiştir. SST k- ω türbülans modeli ve S-A türbülans modeli verileri incelendiğinde, her iki türbülans modelinin literatürdeki önceki çalışmalarla benzer sonuç verdiği görülmektedir. SST k- ω türbülans modelinin karşılaştırılan verilerle şekilden de bariz olarak fark edilebilecek olan $\alpha=15^\circ$ 'deki C_L katsayısı verisidir. S-A türbülans modeli dahil, diğer veri gruplarında maksimum kaldırma katsayısı hücum açısının $\alpha=12^\circ$ 'deki değerinde elde edilirken, SST k- ω türbülans modelinde maksimum kaldırma katsayısı değeri 15° 'de yaklaşık 1,5 değerinde elde edilmiştir. $\alpha=18^\circ$ 'de türbülans modellerinin kaldırma katsayısı değerleri karşılaştırıldığında S-A türbülans modelinin yaklaşık 0,85-0,9 aralığında bir değer aldığı, SST k- ω türbülans modelinin ise yaklaşık 0,7 değerini aldığı gözlemlenmiştir.



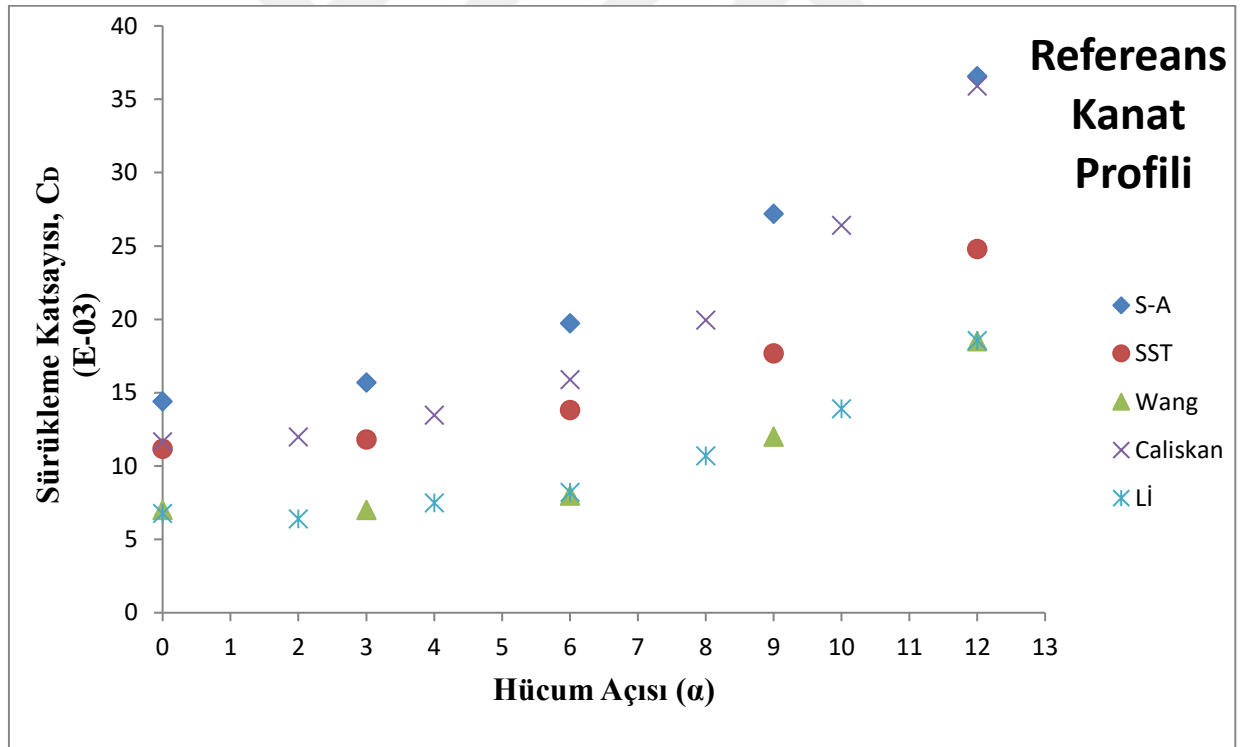
Şekil 3.8. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profiline ait C_L katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür verilerinde karşılaştırılması

C_L katsayısı için, S-A türbülans model verileri ve SST $k-\omega$ türbülans model verilerinin, deney verileri ile ilişkisinin anlaşılması adına veriler arasındaki sayısal hesaplama yazılımı kullanılarak elde edilen korelasyon katsayıları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve derecesinin belirlenmesinde gerçekleştirilen korelasyon analizde kullanılan bir katsayıdır. Bu katsayı değeri -1 ile +1 arasında değer alabilir. Eğer elde edilen korelasyon katsayısının işareti pozitifse, değişkenlerden biri artarken, diğer değişkenin de arttığını göstermektedir. Katsayı işaretinin negatif olması durumunda bir değişken artarken, diğer değişkenin azalmaktadır. Korelasyon katsayısı değeri 1'e ne kadar yakın ise iki değişken arasında o kadar doğrusal ilişki bulunmaktadır.

Çizelge 3.1. Türbülans model verilerinin deney verisi ile korelasyon katsayıları

Kanat Profili	S-A	SST $k-\omega$
Referans	0,941848	0,965644
45°	0,88555	0,995135
60°	0,933609	0,986641
90°	0,94069	0,860299

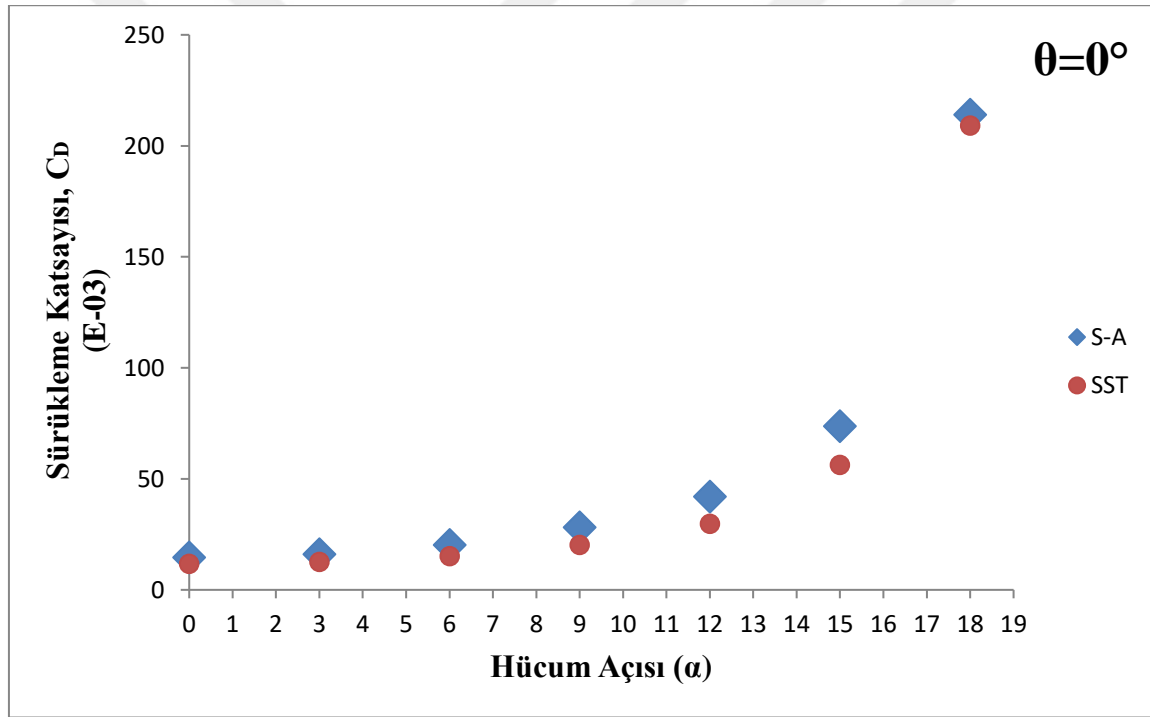
Çizelge 3.1 incelendiğinde SST k- ω türbülans modelinin referans kanat profili, $\theta=45^\circ$ ve $\theta=60^\circ$ 'lik kanat profillerinde ki sahip olduğu korelasyon katsayı değeri 1'e oldukça yakındır. Bu durumda referans kanat profili, $\theta=45^\circ$ ve $\theta=60^\circ$ 'lik kanat profillerinde SST k- ω türbülans model verilerinin ve deney verilerinin iyi derecede örtüştüğünü ifade etmektedir. SST k- ω türbülans modeli $\theta=90^\circ$ 'lik kanat profilinde ise diğer kanat profilindeki korelasyon katsayılarından daha düşük korelasyon katsayısına sahiptir. S-A türbülans modelinde ise referans kanat profili, $\theta=45^\circ$ ve $\theta=60^\circ$ 'lik kanat profillerinde, SST k- ω türbülans model korelasyon katsayıları kadar yüksek korelasyon katsayılara sahip olmasa da deney verileri ile yüksek oranda doğrusal ilişki mevcuttur. S-A türbülans modelinin $\theta=90^\circ$ 'lik kanat profilinde ise SST k- ω türbülans modeline kıyasla deney verileri ile daha iyi örtüştüğü korelasyon katsayısına bakılarak söylenebilir. Genel olarak S-A ve SST k- ω türbülans modellerinden, SST k- ω model verilerinin deney verileri ile daha iyi örtüştüğü sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.9. Referans kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülansmodel ve literatür verilerinde karşılaştırılması

Şekil 3.9'da Gurney flap yapısı bulunmayan referans olarak adlandırılan kanat profilinin elde edilen C_D katsayıları ile Wang (2008), Li (2003) deney verileri ve Çalışkan (2021) sayısal analiz verileri karşılaştırılması verilmektedir. Şekil incelendiğinde düşük α

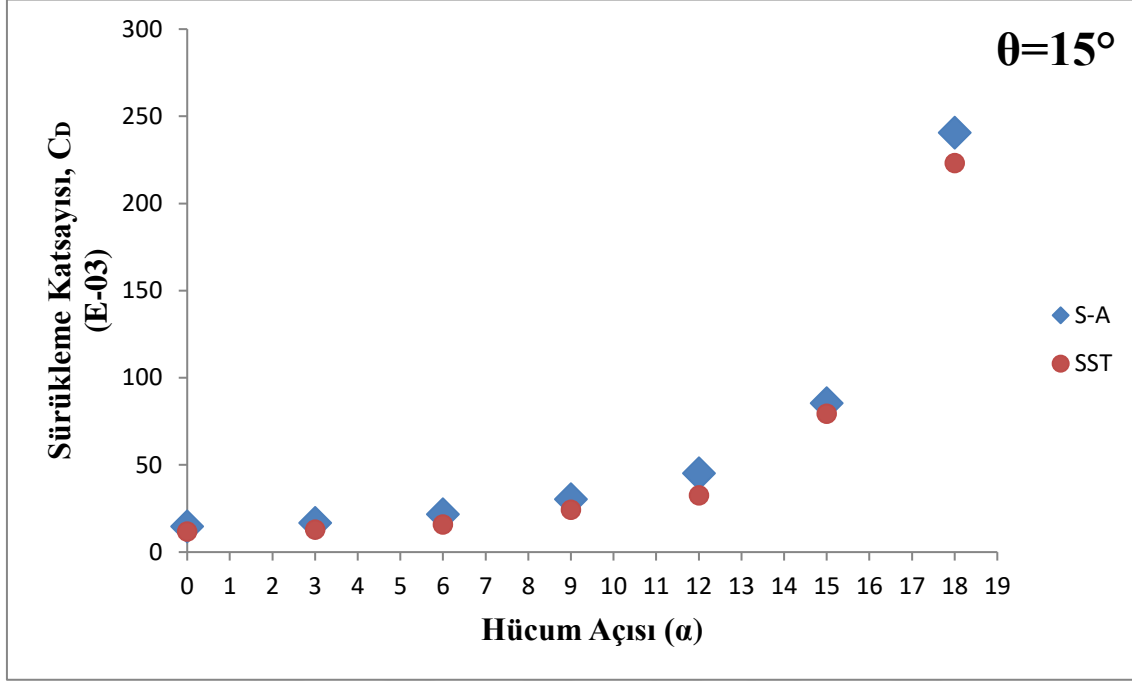
açılarında Çalışkan C_D katsayı verileri ile SST k- ω türbülans verilerinin benzer sonuçlar verdiği $\alpha=6^\circ$ 'den sonraki açılarda verilerin arasındaki farkın arttığı görülmektedir. $\alpha=9^\circ$ 'den sonraki açılarda ise S-A türbülans modeli ile Çalışkan (2021) C_D katsayısı verileri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Her dört veri eğrisi için benzer davranış gösterdiği söylenebilir. SST k- ω türbülans modeli $\alpha=0^\circ$ 'de yaklaşık 0,011 değerinde sürüklenme katsayısı ile hücum açıları içerisinde en düşük sürüklenme katsayısı değeri elde edilmiştir. $\alpha=18^\circ$ 'de ise yaklaşık 0,0225 değerinde sürüklenme katsayısı elde edilmiştir. S-A türbülans modelinde ise en düşük sürüklenme katsayısı değeri $\alpha=0^\circ$ 'de yaklaşık olarak 0,015 değerinde, en yüksek sürüklenme katsayısı ise $\alpha=18^\circ$ 'de 0,0325 değerinde elde edilmiştir.



Şekil 3.10. $\theta=0^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model verilerinde karşılaştırılması

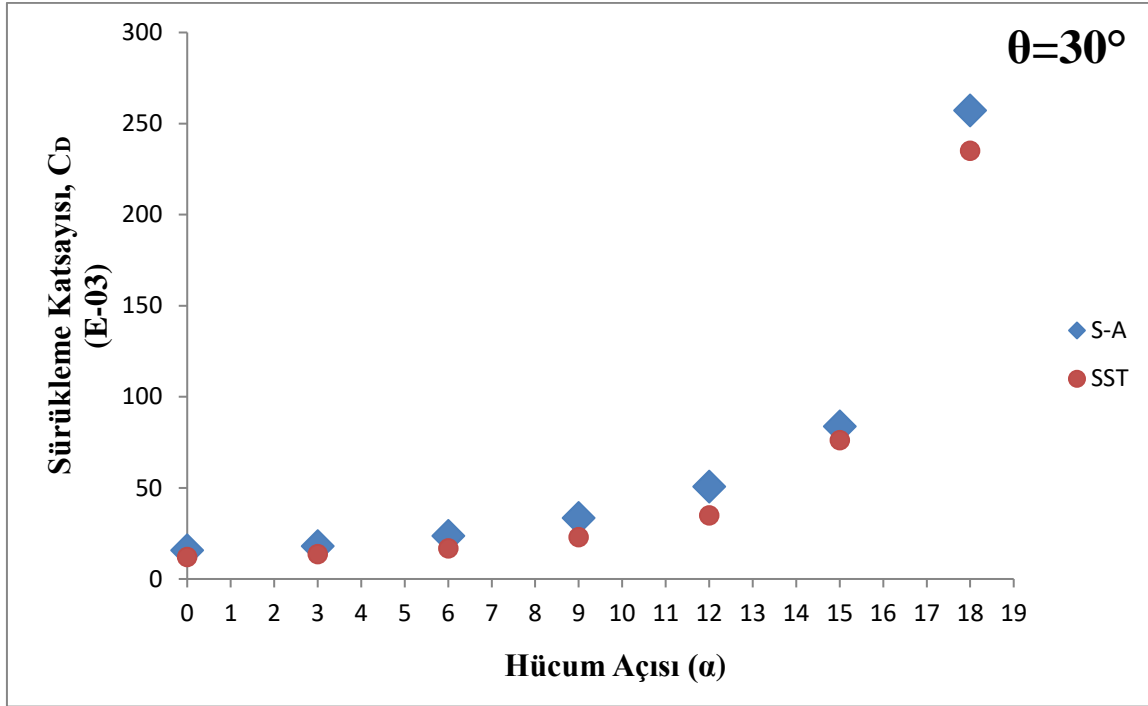
Gurney flap yapısının kanat profilinin firar kenarına $\theta=0^\circ$ 'lik açı ile yerleştirilmesiyle elde edilen C_D katsayısı değerleri Şekil 3.10'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde S-A ve SST k- ω türbülans model verilerinin benzer eğilimler gösterdiği anlaşılmıştır. $\alpha=0^\circ-6^\circ$ arasındaki açılarda benzer sonuçlar verdiği bu açıdan sonra her iki türbülans model verileri arasındaki farkın arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle $\alpha=15^\circ$ ile $\alpha=18^\circ$ açılarının C_D katsayıları incelendiğinde, α açısının artmasıyla C_D katsayısında meydana gelen artış diğer α

açılarında meydana gelen C_D katsayısı artışlarına kıyasla daha fazla olmuştur. Maksimum C_D katsayısı değeri $\alpha=18^\circ$ 'de yaklaşık olarak 0,225 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.11. $\theta=15^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model verilerinin karşılaştırılması

C_D katsayısı değerlerinin, $\theta=15^\circ$ 'de α açısıyla değişiminin verildiği Şekil 3.11 incelendiğinde maksimum C_D katsayısı değeri $\alpha=18^\circ$ 'de S-A türbülans modelinde yaklaşık olarak 0,25 olarak gerçekleşmiştir. $\theta=0^\circ$ 'lik kanat profilinin maksimum C_D katsayısı değeri ile $\theta=15^\circ$ 'lik kanat profiline ait C_D maksimum C_D katsayısı değeri karşılaştırıldığında, $\theta=15^\circ$ 'lik kanat profilinde göreceli olarak daha fazla C_D katsayısı değeri elde edilmiştir. Şekil incelendiğinde S-A türbülans modeli ve SST k- ω türbülans modellerinin yaklaşık olarak tüm α açılarında benzer sonuçlar verdikleri gözlemlenmiştir. $\theta=0^\circ$ 'de olduğu gibi $\alpha=15^\circ$ 'den $\alpha=18^\circ$ 'ye olan artışta gerçekleşen C_D katsayısı değerindeki artış, diğer α açılarındaki artışla meydana gelen C_D katsayısı artışından daha yüksek gerçekleşmiştir.

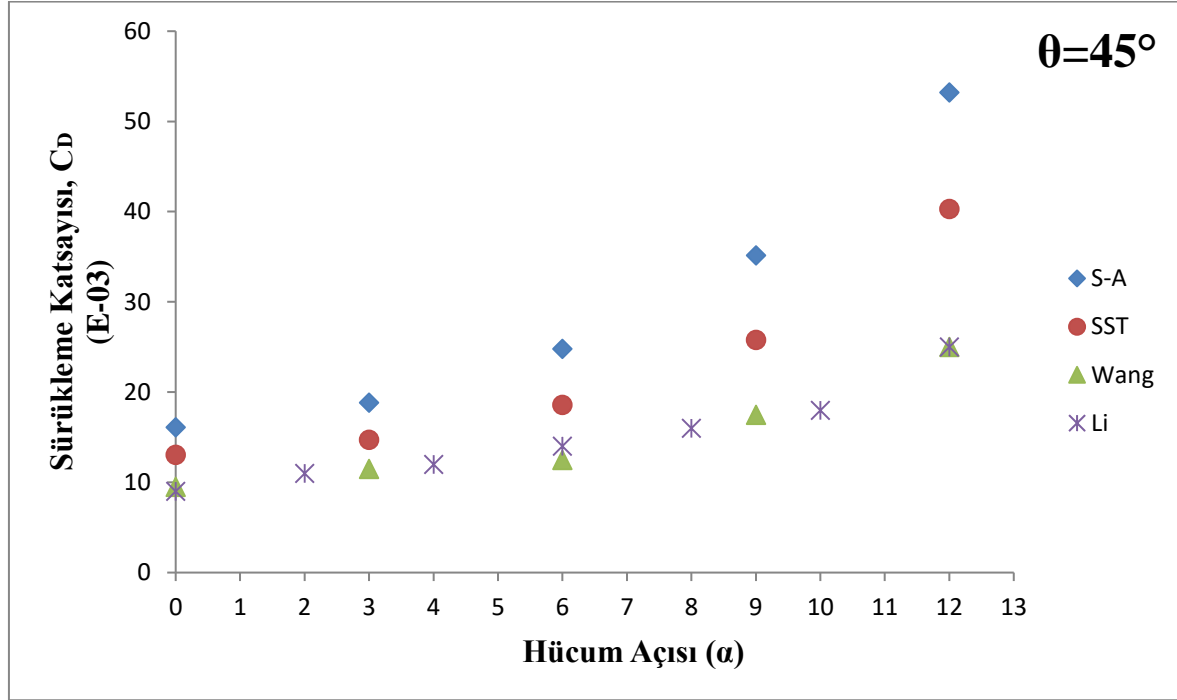


Şekil 3.12. $\theta=30^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model verilerinin karşılaştırılması

NACA 0012 kanat profilinin firar kenarına eklenen $\theta=30^\circ$ 'lik Gurney flap yapısı ile meydana gelen C_D katsayısı değerlerinin α açısıyla değişimi Şekil 3.12'de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde S-A ve SST k- ω türbülans model verilerinin uyumlu oldukları görülmüştür. Maksimum C_D katsayısı değeri $\alpha=18^\circ$ 'de S-A türbülans modelinde yaklaşık 0,27 olarak edilmiştir. $\theta=15^\circ$ ve $\theta=30^\circ$ 'lik kanat profillerinin maksimum C_D katsayısı değerleri karşılaştırıldığında $\theta=30^\circ$ 'lik kanat profilinde göreceli olarak daha yüksek C_D katsayısı değeri elde edilmiştir.

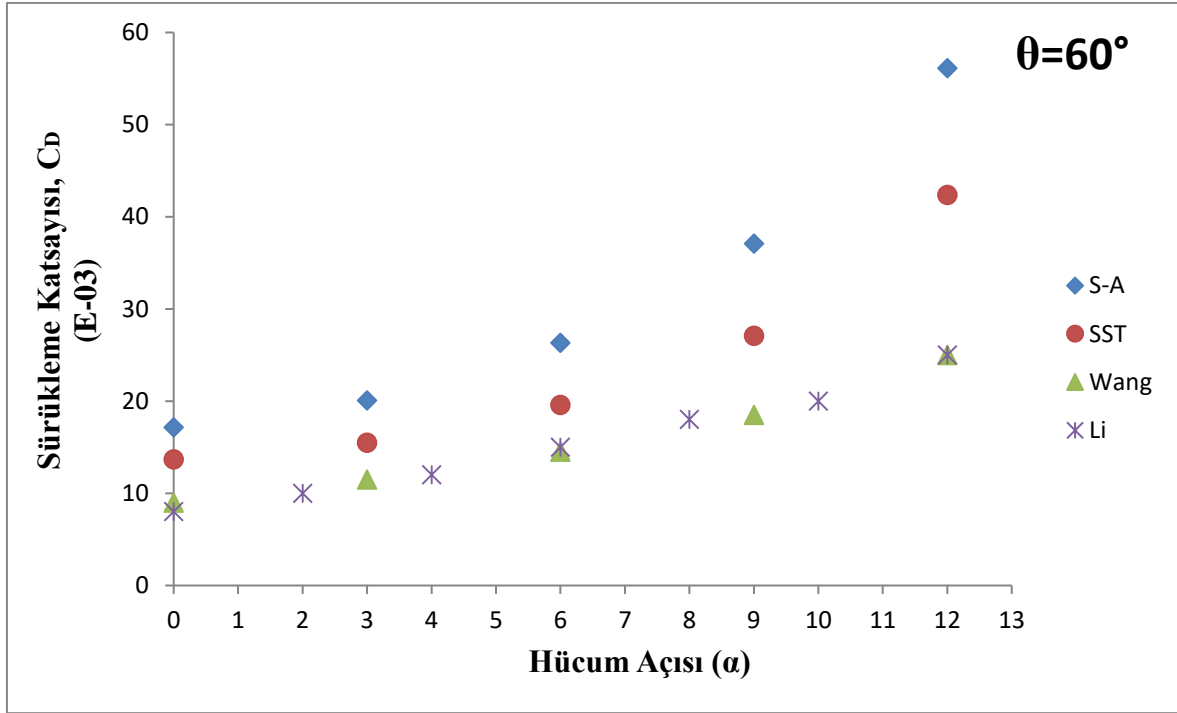
$\theta=45^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profilinin C_D katsayı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Beş veri grubu için şekil incelendiğinde, özellikle düşük α açılarında, referans kanat profilindeki α açılara kıyasla daha yakın sonuçlar verildiği gözlemlenmiştir. Karşılaştırılması yapılmakta olan türbülans modellerinden SST k- ω türbülans modeli, S-A türbülans modeline kıyasla, Wang (2008) ve Li (2003) verileri ile daha fazla uyum yakalamıştır. $\alpha=6^\circ$ 'den sonraki α açılarında SST k- ω türbülans model verileri ile deney verileri arasındaki fark α açısının artmasıyla artmaktadır. SST k- ω türbülans modelinde maksimum sürükleme katsayısı değeri yaklaşık

olarak 0,04 olarak $\alpha=12^\circ$ 'de elde edilmiştir. S-A türbülans modelinin maksimum sürüklenme katsayısı değeri yaklaşık 0,055 olarak $\alpha=12^\circ$ 'de elde edilmiştir.



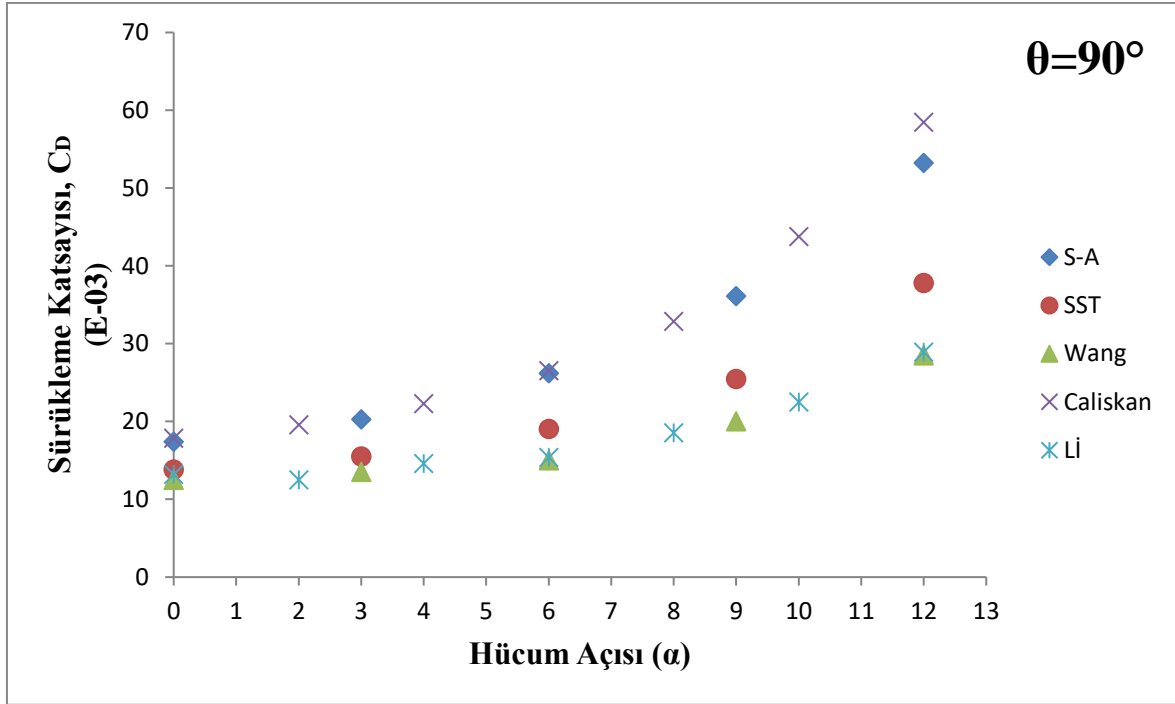
Şekil 3.13. $\theta=45^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans modelleri ve literatür verilerinin karşılaştırılması

Şekil 3.14'de yer alan $\theta=60^\circ$ 'deki kanat profiline C_D katsayı değerlerinin karşılaştırılması incelendiğinde, düşük α açılarında referans kanat profili ve $\theta=45^\circ$ 'lik kanat profili verilerine kıyasla deney verilerinde daha fazla uyum gözlemlenmiştir. $\alpha=6^\circ$ 'den sonra, $\theta=45^\circ$ 'de olduğu gibi SST k- ω türbülans model verisi ile Wang (2008) ve Li (2003) deney verileri arasındaki fark, α açısının değerinin artmasıyla birlikte artmaktadır. Kullanılan S-A ve SST k- ω türbülans modellerine ait C_D katsayı değerleri incelendiğinde S-A türbülans model verilerinin göreceli olarak daha yüksek değerlere sahip olduğu anlaşılmıştır. İki türbülans verisinin $\theta=60^\circ$ 'lik kanat profili için deney verileri karşılaştırılması ile SST k- ω türbülans model verilerinin deney verine göreceli olarak daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. SST k- ω türbülans modeli minimum sürüklenme katsayısı değerini $\alpha=0^\circ$ 'de yaklaşık 0,015 değerinde maksimum değerini ise $\alpha=12^\circ$ 'de yaklaşık 0,04 değerinde elde edilmiştir.



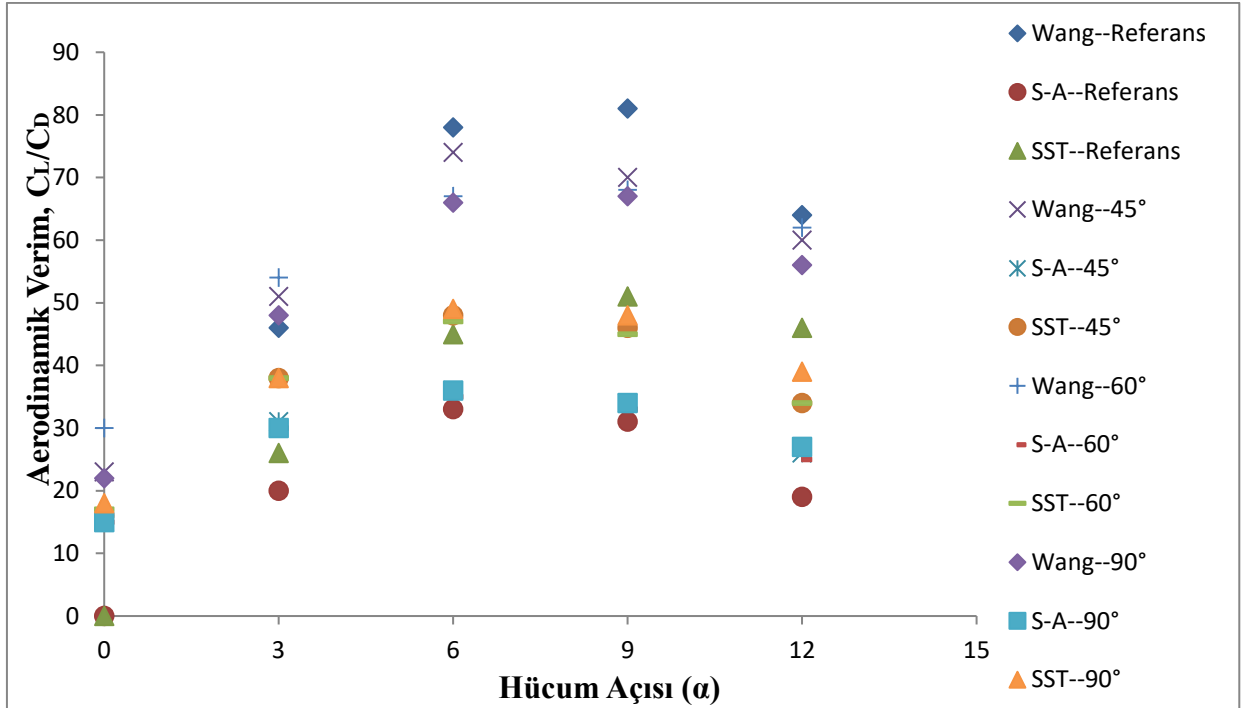
Şekil 3.14. $\theta=60^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür verileriyle karşılaştırılması

$\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline ait C_D katsayı değerlerinin karşılaştırılması Şekil.3.15'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, karşılaştırılması yapılan beş veri grubunun, düşük α açılarında daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan SST $k-\omega$ ve S-A türbülans modelleri verileri incelendiğinde, SST $k-\omega$ türbülans modelinin, Wang (2008) ve Li (2016) deney verileri ile daha uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. SST $k-\omega$ türbülans modeli ile deney verileri arasındaki uyumluluk α açısının artmasıyla azalmakta olduğu anlaşılmıştır. Çalışkan (2021) çalışmasında kullanmış olduğu SST $k-\omega$ türbülans modeline rağmen, C_D katsayısı verileri, bu çalışmada yer alan S-A türbülans modeli ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. SST $k-\omega$ türbülans modeli için minimum sürükleme katsayısı değeri $\alpha=0^\circ$ 'de Wang'ın ve Li'nin sonuçları ile oldukça yakın olarak yaklaşık 0,0125 değerinde maksimum değeri ise $\alpha=12^\circ$ 'de 0,035 değerinde elde edilmiştir. S-A türbülans modeli için minimum sürükleme katsayısı değeri $\alpha=0^\circ$ 'de Çalışkan'ın değeri ile uyumlu bir şekilde yaklaşık 0,017 değerinde maksimum değeri ise $\alpha=12^\circ$ 'de yaklaşık 0,05 değerinde elde edilmiştir.



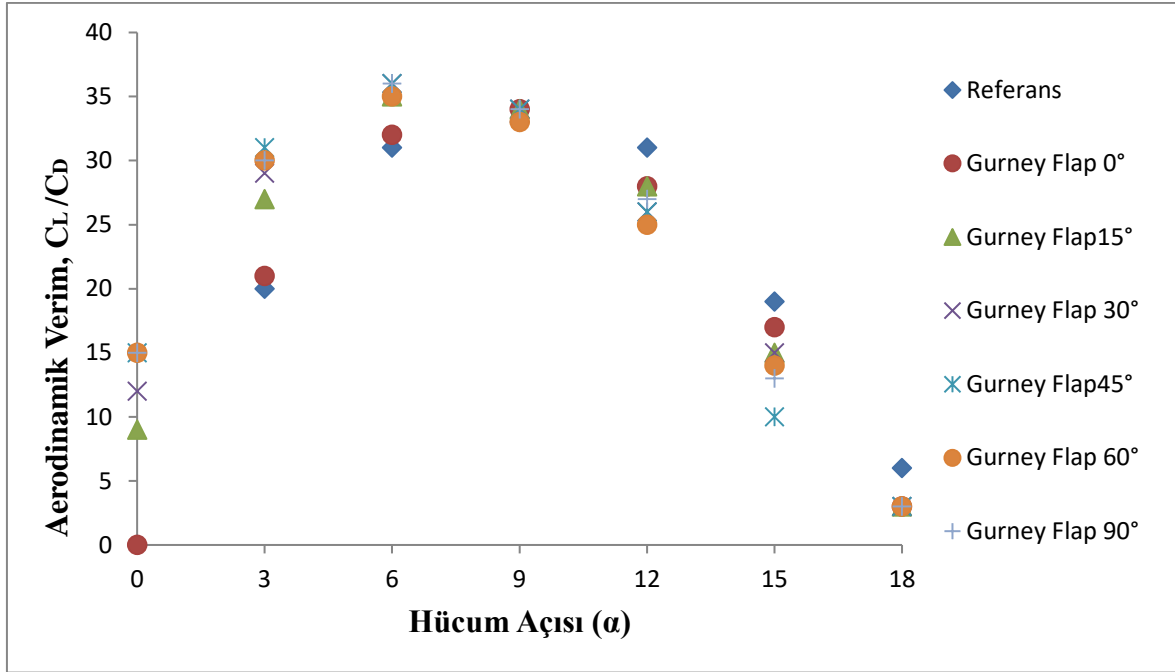
Şekil 3.15. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profiline ait C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür verileriyle karşılaştırılması

Aerodinamik verim katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür ile karşılaştırılması Şekil 3.16'da verilmiştir. Şekle göre en yüksek aerodinamik verim referans kanat profili olarak adlandırılan ve deneysel olarak elde edilen veri olmuştur. aerodinamik verim en düşük elde edildiği durum ise S-A türbülans modeline ait referans kanat profili olmuştur. Deney verileri incelendiğinde ise referans kanat profiline ait aerodinamik verim değerinin maksimum değerde olduğu ve θ açısının artmasıyla birlikte aerodinamik verimde düşüş yaşandığı görülmektedir aerodinamik verim için SST k- ω ve S-A türbülans model verilerine bakıldığında SST k- ω verilerinin daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun temel nedeni ise S-A türbülans modelinin C_D katsayısı değerlerinin, deney C_D katsayısı ve SST k- ω türbülans modelinin C_D katsayısı değerlerinden oldukça yüksek sonuç vermesidir. Aynı kanat profiline ait aerodinamik verim değerlerinin farklı olmasının nedeni, C_L katsayısında yakalanan birbirine yakın verilerin, C_D katsayısında yakalanamamış olmasıdır.



Şekil 3.16. Aerodinamik verim katsayısının α açısıyla değişiminin farklı türbülans model ve literatür ile karşılaştırılması

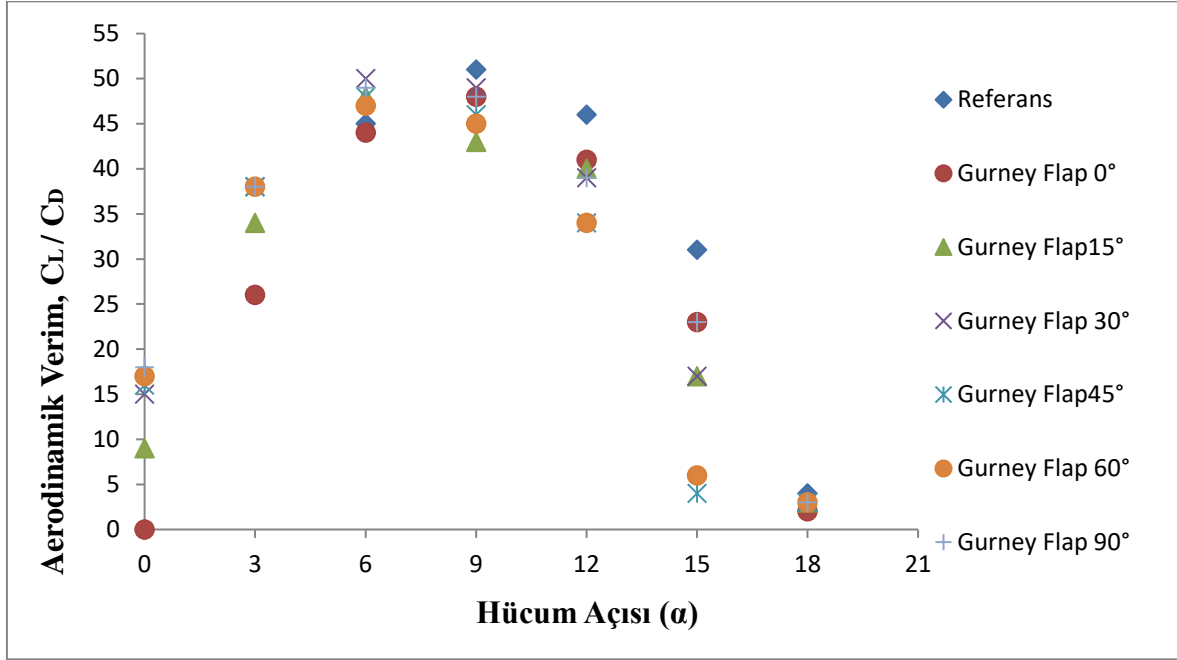
S-A türbülans modeline ait aerodinamik verim değerlerinin kanat profillerine göre değişimi Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde referans olarak adlandırılan Gurney flap yapısız kanat profili ile $\theta=0^\circ$ ’lik kanat profilinin benzer aerodinamik verim değerleri gösterdiği görülmektedir. $\alpha=6^\circ$ ’den sonra bu iki veri arasında farklılaşma başlamakta ve $\theta=0^\circ$ kanat profiline ait aerodinamik verim değeri referans kanat profili aerodinamik veriminden daha yüksek değerler almaktadır. $\theta=0^\circ$ ’ye ait aerodinamik verim değeri $\alpha=12^\circ$ ’ye kadar yükselme eğilimi gösterirken bu açıdan sonra düşüşe geçmiştir. Referans kanat profilinin aerodinamik verim değeri ise $\alpha=12^\circ$ ’den sonra düşüşe geçmiştir. Özellikle $\alpha=9^\circ$ ’den sonra referans kanat profiline ait aerodinamik verim değeri diğer tüm kanat profillerinden yüksek değerlere sahip olmuştur. Kanat profilinin θ açısındaki değişimin aerodinamik verimine etkisi, $\alpha=0^\circ$ ’deki referans ve $\theta=0^\circ$ aerodinamik verim değeri ile $\theta=15^\circ$ ’nin aerodinamik verimine bakılarak kolayca ayırt edilebilmektedir. θ açısındaki artış ile birlikte aerodinamik veriminde artış görülmektedir. $\theta=15^\circ-90^\circ$ arasındaki açılara sahip kanat profillerinin aerodinamik verimlerinde $\alpha=0^\circ-6^\circ$ arasındaki açılarda artış yaşandığı gözlemlenmiş, $\alpha=6^\circ$ ’den sonraki açılarda ise düşüş yaşanmıştır. Aerodinamik veriminin maksimum değeri yaklaşık olarak 47 değerinde $\theta=45^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ ’de elde edilmiştir.



Şekil 3.17. S-A türbülans modeline göre aerodinamik verimin, farklı θ açılarında, α açısıyla değişimi

SST $k-\omega$ türbülans modeline ait aerodinamik veriminin farklı θ değerlere sahip kanat profillerine ve referans kanat profiline göre değişimi Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Maksimum aerodinamik verim değeri, $\alpha=9^\circ$ 'de referans olarak adlandırılan Gurney flap yapısız kanat profilinde elde edilmiştir. Minimum aerodinamik verim değeri ise referans kanat profili ile $\theta=0^\circ$ 'deki kanat profilinde gözlemlenmiştir. S-A türbülans modelinde olduğu gibi, SST türbülans modelinde de referans kanat profili ile $\theta=0^\circ$ kanat profili, $\alpha=6^\circ$ 'ye kadar benzer sonuçlar vermiştir. $\alpha=9^\circ$ 'ye kadar referans kanat profilindeki artış daha fazla olmak üzere, referans ve $\theta=0^\circ$ kanat profillerinde artış gerçekleşmiştir. θ açısındaki artış ile birlikte aerodinamik verim değerlerinde artış gözlemlenmiştir. $\theta=15^\circ$ 'lik kanat profilinde maksimum aerodinamik verimi $\alpha=6^\circ$ 'de elde edilmiştir. $\theta=30^\circ$ 'deki kanat profiline ait maksimum aerodinamik verim değeri $\alpha=6^\circ$ 'de yaklaşık olarak $\theta=90^\circ$ 'deki aerodinamik verim değerinde elde edilmiştir. $\theta=45^\circ$ ve $\theta=60^\circ$ 'lik kanat profillerine ait aerodinamik veriminin maksimum değeri $\alpha=6^\circ$ 'de elde edilmiş olup, her iki θ açıda, $\alpha=12^\circ$ 'den sonra ani düşüş yaşanmıştır. Bu durumun temel nedeni, her iki θ açısına ait kanat profillerinin akış yapısının incelenmesi sonucunda, kanat üst yüzeyinden ayrılan akışta meydana gelen girdap yapısı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Genel olarak aerodinamik veriminin kanadın stall adı verilen yüzeyden akış ayrılması fenomeninin

başlamasıyla birlikte θ ve α açılara bağlı olarak değiştiği fakat $\alpha=18^\circ$ 'de incelenen tüm kanat profillerinin yaklaşık olarak benzer sonuç verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.18. SST k- ω türbülans modeline göre aerodinamik verimin, farklı θ açılarında, α açısıyla değişimi

Türbülans modelleri ile elde edilen C_L katsayılarının, deney verileri ile karşılaştırılması sırasında, $\theta=90^\circ$ açıya sahip NACA 0012 kanat profilinde maksimum C_L katsayısı $\alpha=15^\circ$ 'de elde edilmiştir. Fakat deney verileri incelendiğinde maksimum C_L katsayısının $\theta=12^\circ$ 'de gerçekleşmiş olduğu görülmektedir. Diğer θ açılara sahip kanat profilleri incelendiğinde deney verilerindeki $\alpha=15^\circ$ 'de gerçekleşen C_L katsayısı değerlerini tez çalışmasında kullanılan SST k- ω ve S-A türbülans modellerinin tam olarak yakalayamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bunun sebebi olarak $\alpha=15^\circ$ 'de meydana gelen kanat üzerindeki akış ayrılması ve akış ayrılmasında meydana gelen girdap yapılarının tam olarak yakalanamaması gösterilebilir. Kanat üzerindeki akış ayrılması "stall" olarak adlandırılmaktadır ve tüm aerodinamik uygulamalarında stall fenomeni istenmeyen bir durumdur. Referans kanat profiline eklenen %1,5c uzunluğundaki Gurney flap yapısının eklenmesiyle birlikte $\alpha=3^\circ$ 'de %90 kaldırma katsayısında artış yaşanmıştır. Kaldırma katsayısında meydana gelen %90'lık artış α açısının artmasıyla birlikte azalış gösterdiği gözlemlenmiştir.

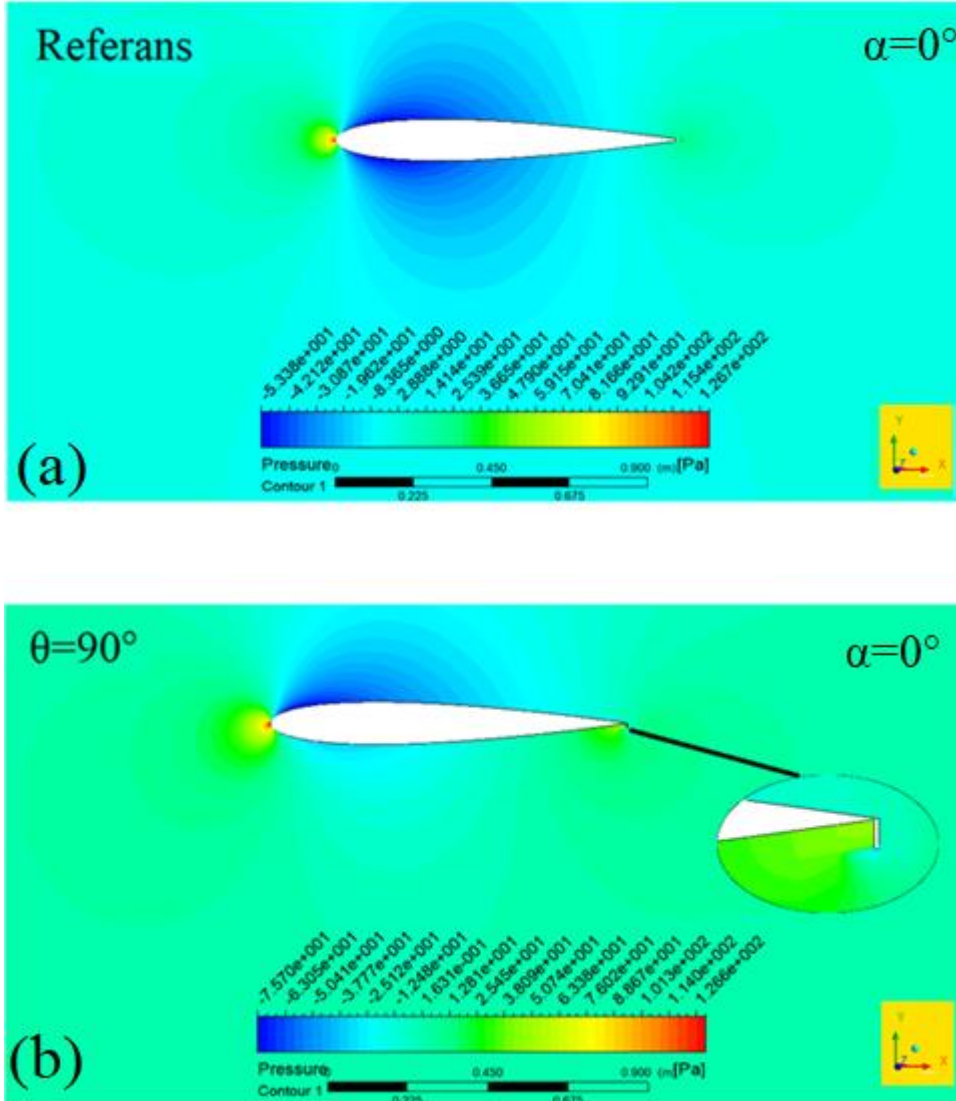
Çizelge 3.2. Aerodinamik verimin literatür verisi (Uddin (2011)) ile karşılaştırılması

Hücum Açısı (α)	Referans-SST	Referans-Uddin	%1,5c Gurney SST	%1,5c Gurney-Uddin
0°	0	0	18	20
2°	17	23	32	36
3°	26	—	38	—
4°	32	40	43	48
6°	45	52	49	56
8°	46	55	49	58
9°	51	—	48	—
10°	45	53	47	55
12°	46	46	39	51
14°	31	37	30	42
15°	31	—	23	—
16°	4	22	4	33
18°	4	4	3	4

Gurney flap yapısına sahip olamayan referans kanat profili ile kanat veter uzunluğunun %1,5 değerine eşit olduğu NACA 0012 kanat profilinin aerodinamik verimlerinin, mevcut tez çalışmasında kullanılan SST k- ω türbülans modeli ile literatürde bulunan Uddin ve ark.(2011) HAD çalışmasının karşılaştırılması Çizelge 3.2’de gösterilmiştir [18]. Çizelge incelendiğinde, referans kanat profili için SST k- ω ve Uddin ve ark.(2011) benzer sonuçlar yakaladıkları gözlemlenmiştir. Referans kanat profili için maksimum aerodinamik verim SST k- ω türbülans modelinde $\alpha=9^\circ$ ’de, Uddin ve ark. (2011) gerçekleştirdiği referans kanat profiline ait analizde ise $\alpha=8^\circ$ ’de meydana gelmiştir. Maksimum aerodinamik verimin elde edildiği açılardan sonra aerodinamik verim her iki veri grubunda da düşüşe geçmiştir. Gurney flap yapısının eklenmesiyle incelenen her iki aerodinamik verim verisinde de özellikle düşük α açılarında artış gözlemlenmiştir. Uddin ve ark. elde ettiği Gurney flap yapısına ait aerodinamik verim, SST k- ω türbülans modelin aerodinamik veriminden daha yüksek olmuştur. Gurney flap yapılı kanat profili için maksimum aerodinamik verimin elde edilmesi SST k- ω türbülans modelinde $\alpha=6^\circ$ ’de, Uddin ve ark. verilerinde ise $\alpha=8^\circ$ ’de elde edilmiştir. Elde edilen maksimum α açılardan sonraki açılarda her iki veri grubu için aerodinamik verimde düşüş gerçekleşmiştir.

3.1.1. Basınç Dağılımı

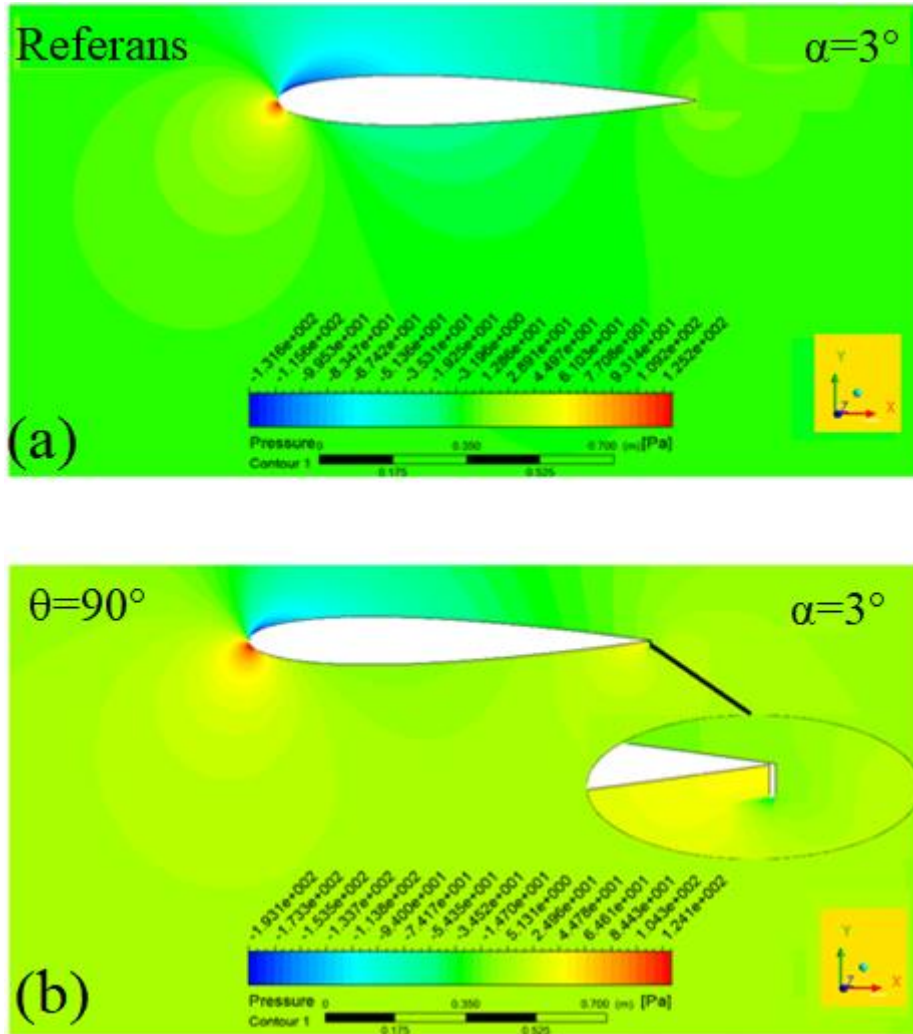
$\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profili ve Gurney flap yapısına sahip olmayan referans NACA 0012 kanat profili üzerindeki basınç dağılımının α açısı ile değişiminin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.19. Kanat profili üzerinde $\alpha=0^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans kanat profili (b) $\theta=90^\circ$

$\alpha=0^\circ$ 'deki referans ve $\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profiline ait basınç dağılımının gösterildiği Şekil 3.19a'da yer alan referans NACA 0012 kanat profiline ait basınç dağılımının için, kanat profilinin altı ve üst yüzeylerinde negatif basınç alanlarının olduğu görülmektedir. Akışın kanat profiline çarptığı kanat hücum kenarında maksimum basınç

alanı oluşmuştur. Hem alt yüzey hem de üst yüzey için, hücum kenarından firar kenarına ilerledikçe basınç artışı olduğu gözlemlenmiştir. $\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profiline ait basınç dağılımı ise Şekil 3.19b'de yer verilmiştir. Referans NACA0012 kanat profilinden farkının kanat alt yüzeyinde oluşan düşük basınç bölgesinin daha düşük yoğunlukta olduğudur. Özellikle firar kenarında yer alan Gurney flap yapısının yukarı akım bölgesinde ise kanat alt yüzeyinin hücum kenarına göre daha yüksek basınç alanının oluştuğu gözlemlenmiştir.

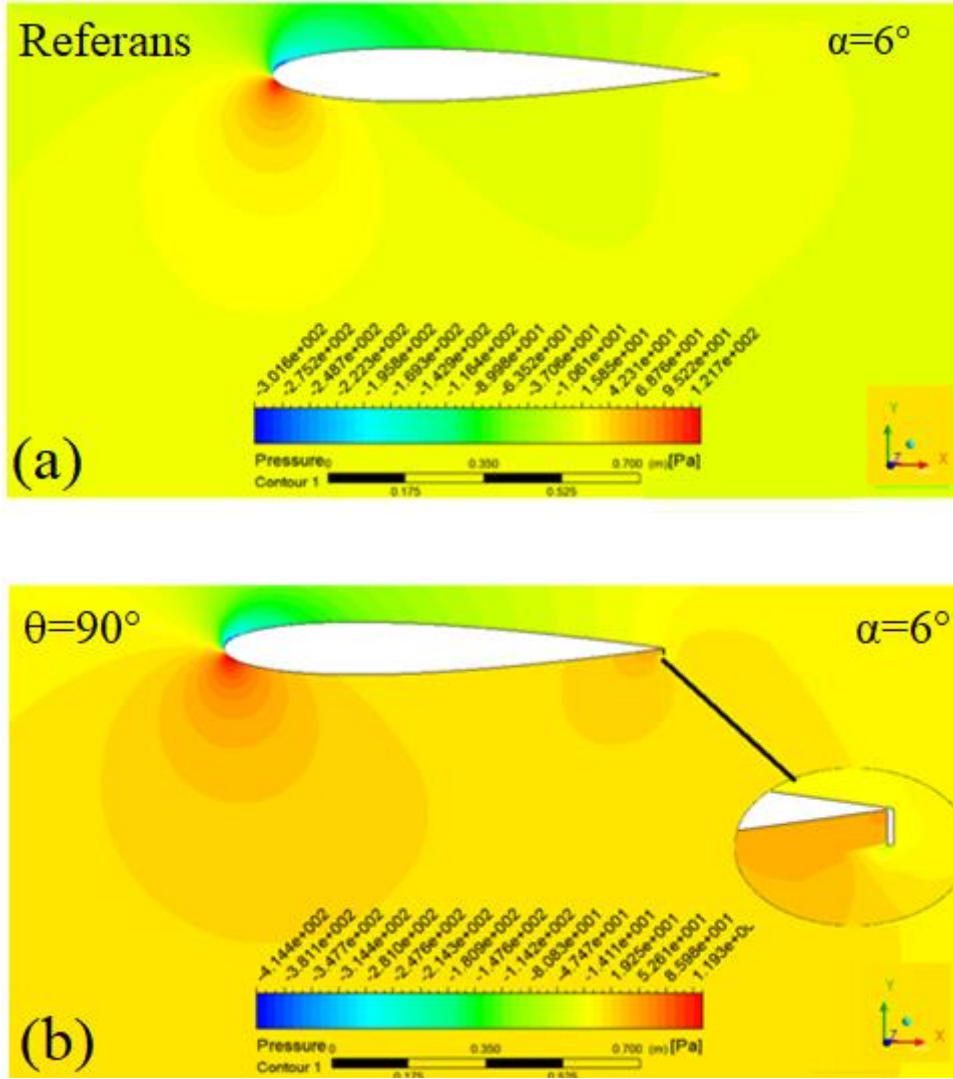


Şekil 3.20. Kanat profili üzerinde $\alpha=3^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Referans NACA 0012 kanat profiline ve $\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profiline ait $\alpha=3^\circ$ 'deki basınç dağılımı Şekil 3.20'de verilmektedir. Referans kanat profiline ait basınç dağılımının verildiği Şekil 3.20a incelendiğinde, hücum açısının değişimi ile kanat hücum kenarındaki yüksek basınç alanının yeri, $\alpha=0^\circ$ 'ye göre göreceli olarak değişmektedir. Her iki α açısındaki basınç dağılımının gösterilmesinde kullanılan renklerin Pa cinsinden basınç

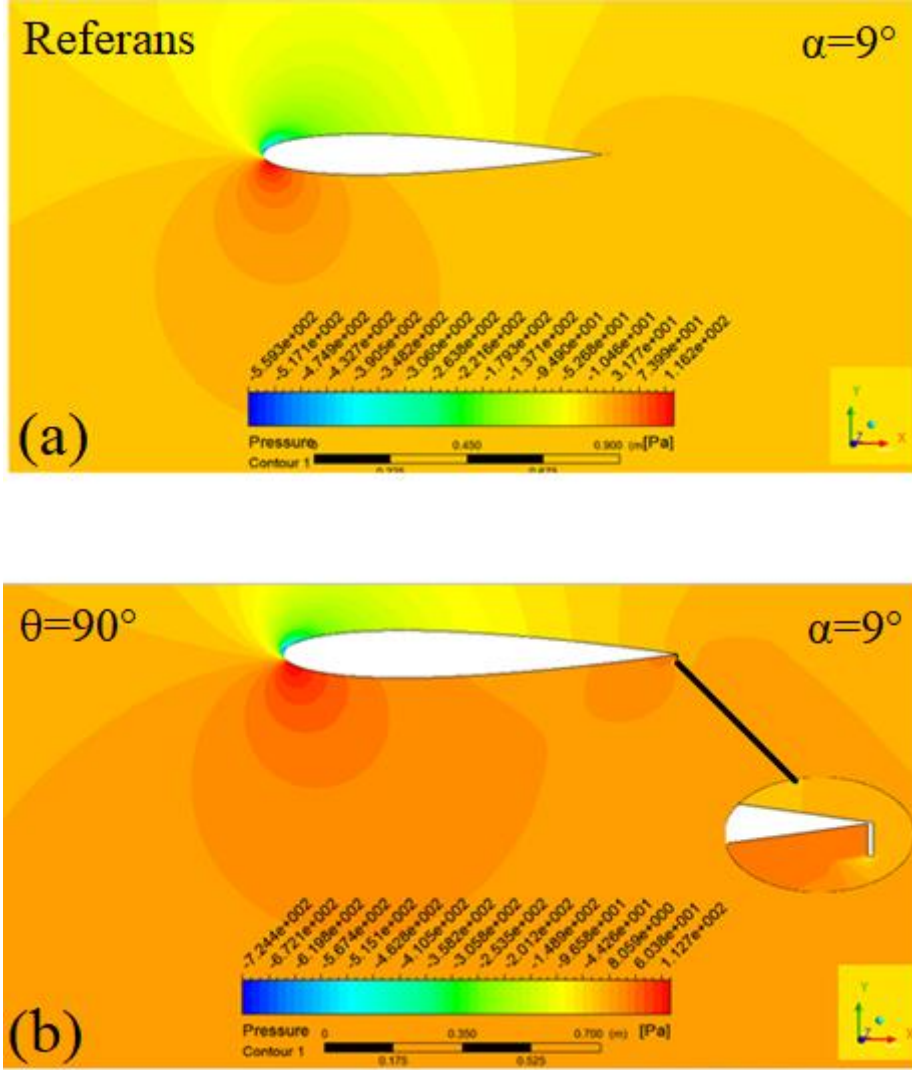
değerlerinin gösterildiği renk barı incelendiğinde $\alpha=0^\circ$ 'deki maksimum basınç değeri $\alpha=3^\circ$ 'deki maksimum basınç değerinden fazla olduğu görülmektedir. Buna karşılık olarak renk barında gösterilen minimum basınç değerinin $\alpha=3^\circ$ 'de, $\alpha=0^\circ$ 'ye göre daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. $\alpha=3^\circ$ 'de $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip olan NACA 0012 kanat profilinin basınç dağılımı Şekil 3.20b'de gösterilmektedir. Firar kenarına eklenen Gurney flap yapısı sayesinde kanat firar kenarında basınç artışı görülmektedir. $\alpha=0^\circ$ 'de ve $\alpha=3^\circ$ 'deki NACA 0012 kanat profillerine Gurney flap yapısının eklenmesinin firar kenarındaki basınç artışını etkilemesi konusundaki karşılaştırılmada, $\alpha=3^\circ$ 'deki Gurney flap yapısının daha fazla basınç artışına sebep olduğu sonucu çıkarılabilir.

Klasik Gurney flap yapısı ile referans olarak adlandırılan Gurney flap yapısız kanat profillerinin $\alpha=6^\circ$ 'deki basınç dağılımları Şekil 3.21'de verilmiştir. Şekil 3.21a'da verilen $\alpha=6^\circ$ 'deki referans kanat profiline ait basınç dağılımı incelenecek olursa, maksimum ve minimum basınç değerlerinin aynı şartlar altında $\alpha=3^\circ$ 'lik açıya göre daha düşük olduğu görülmüştür. Fakat Şekil 3.21b'de yer alan $\theta=90^\circ$ 'lik kanat profiline ait basınç dağılımı ile aynı koşullar altındaki $\alpha=3^\circ$ 'deki basınç dağılımı incelenecek olursa, maksimum basınç dağılımı $\alpha=6^\circ$ 'de göreceli olarak daha düşük değerdedir. Minimum basınç dağılımında ise $\alpha=6^\circ$ 'deki değer, $\alpha=3^\circ$ 'deki değerden göreceli olarak daha düşük olmuştur. $\alpha=6^\circ$ 'deki referans kanat profilinde kanat üst yüzeyinde meydana gelen düşük basınç bölgesi, aynı α açısındaki $\theta=90^\circ$ 'lik kanat profili kanat üzeri düşük basınç bölgesinden daha geniştir. Aynı şekilde kanat profili altında meydana gelen basınç dağılımı Gurney flap yapısına sahip olmayan kanat profilinde daha düşük gerçekleşmiştir. $\theta=90^\circ$ 'lik kanat profilindeki alt yüzeyde meydana gelen basınç dağılımında akışın kanat profiline çarptığı hücum kenarındaki bölgede maksimum basınç dağılımı gözlemlenmiştir. Alt yüzeyde hücum kenarından firar kenarına doğru basınç dağılımı incelendiğinde, kanadın orta bölgesinde hücum kenarındaki ve firar kenarındaki basınç dağılımına göre daha düşük basınç alanları mevcuttur. Firar kenarında yer alan Gurney flap yapısına doğru gelindiğinde ise basınç artışı söz konusu olmuştur. Özellikle Gurney flap yapısının kanat ile birleştiği bölgelerde göreceli yüksek basınç alanları oluşmuştur. Gurney flap yapısının uç kısımlarına doğru basınç düşüşleri yaşanmıştır. Gurney flap yapısının kenar kesimlerinde, gerçekleşen basınç düşüşünün sebebi bu bölgelerde akış hızının artmasıdır.



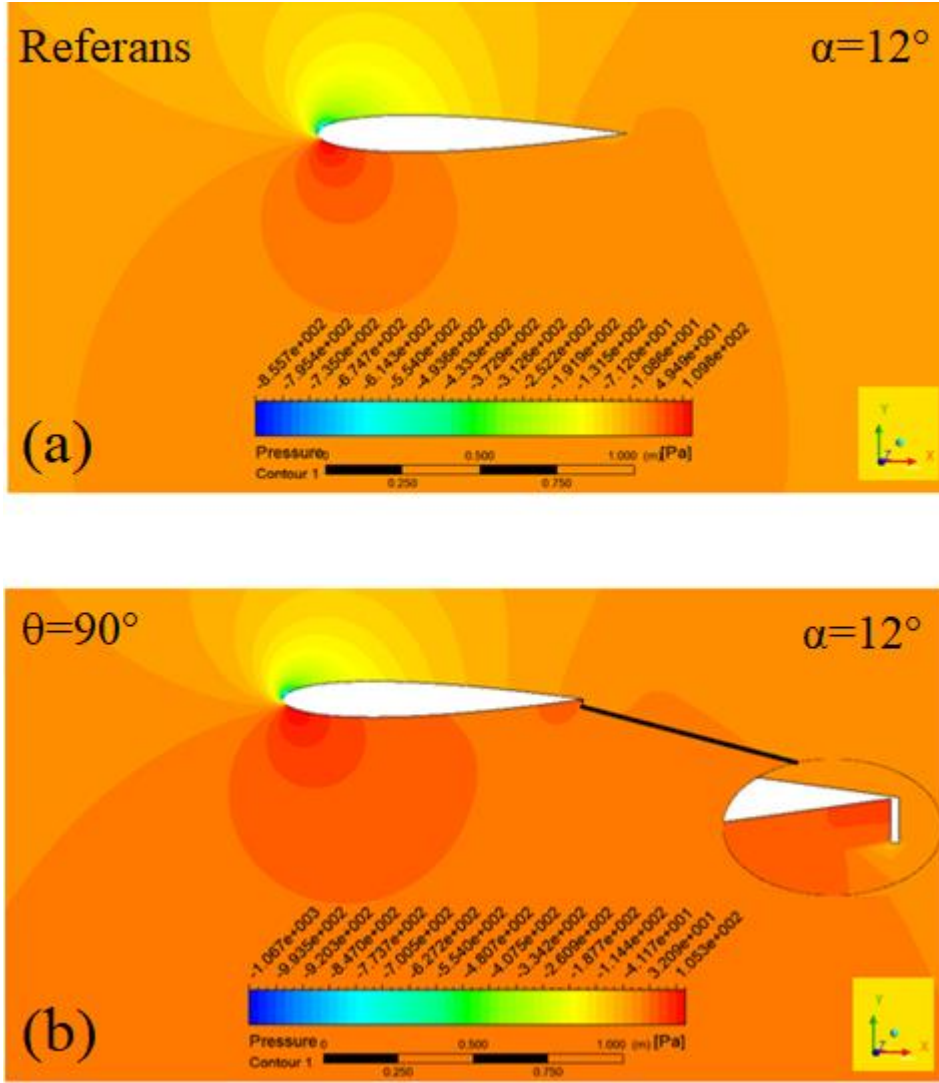
Şekil 3.21. Kanat profili üzerinde $\alpha=6^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Hücum açısının $\alpha=9^\circ$ olduğu referans ve $\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profillerine ait basınç dağılımı Şekil 3.22'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde kanat firar kenarına eklenen Gurney flap yapısının firar kenarındaki basınçta artışa neden olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Hem referans hem de Gurney flap yapılı kanat modelinin üst yüzeyi için kanadın hücum kenarından firar kenarına doğru basınç artışı söz konusu olmuştur. Gurney flap yapılı kanat modeli için $\alpha=9^\circ$ 'de gerçekleşen maksimum basınç değeri $\alpha=6^\circ$ 'de aynı koşullarda gerçekleşen basınç değerinden yüksek olmuştur.



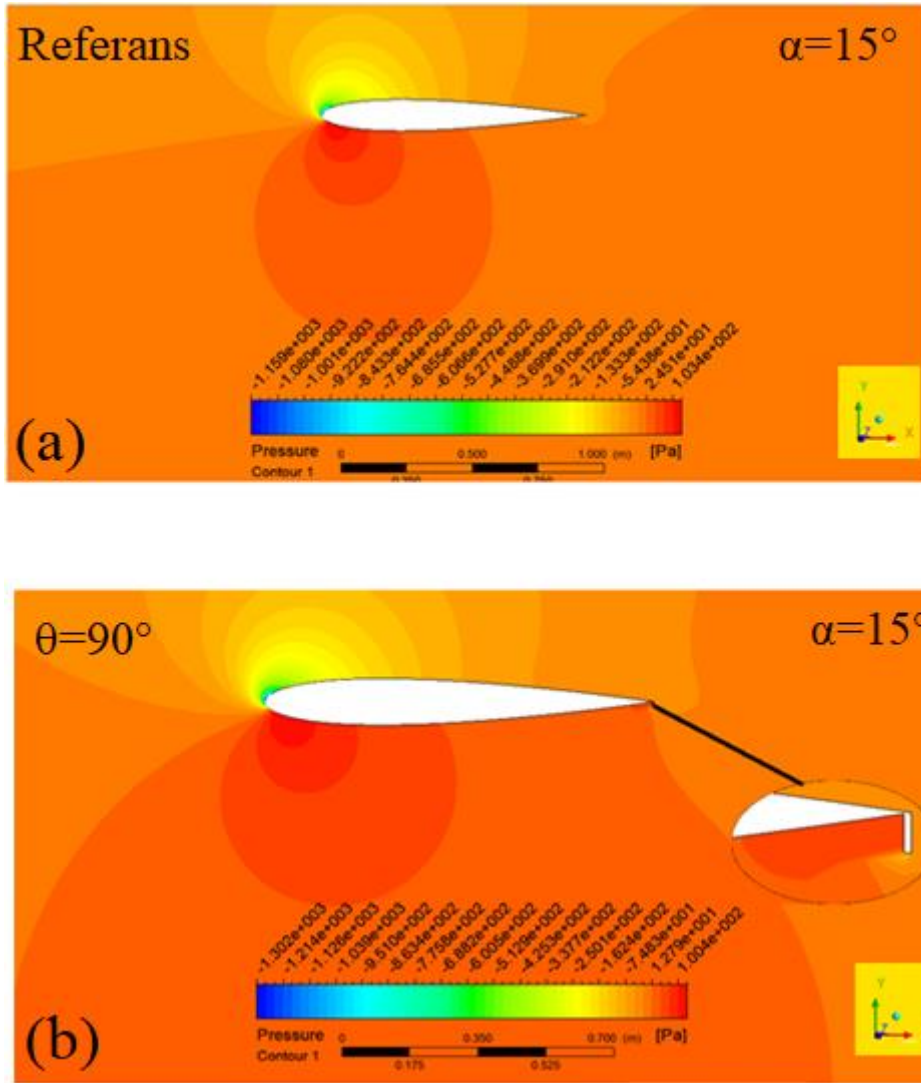
Şekil 3.22. Kanat profili üzerinde $\alpha=9^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Referans ve $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profillerinin $\alpha=12^\circ$ 'deki basınç dağılımı Şekil 3.23'de gösterilmiştir. Diğer hücum açılarındaki Gurney yapılı kanat modellerinde gerçekleştiği gibi firar kenarında bulunan Gurney flap yapısının yukarı akımında kanadın orta bölümüne göreceli olarak basınç artışı söz konusu olmuştur. Gurney flap boyunca, flap ile kanat profilinin birleştiği bölgede, flap yapısının kalan bölümüne kıyasla daha yüksek basınç alanı oluşmuştur. Gurney flap yapılı kanat profilinin $\alpha=12^\circ$ 'deki maksimum basınç değeri $\alpha=9^\circ$ 'deki aynı koşullardaki maksimum basınç değerinden daha düşük gerçekleşmiştir.



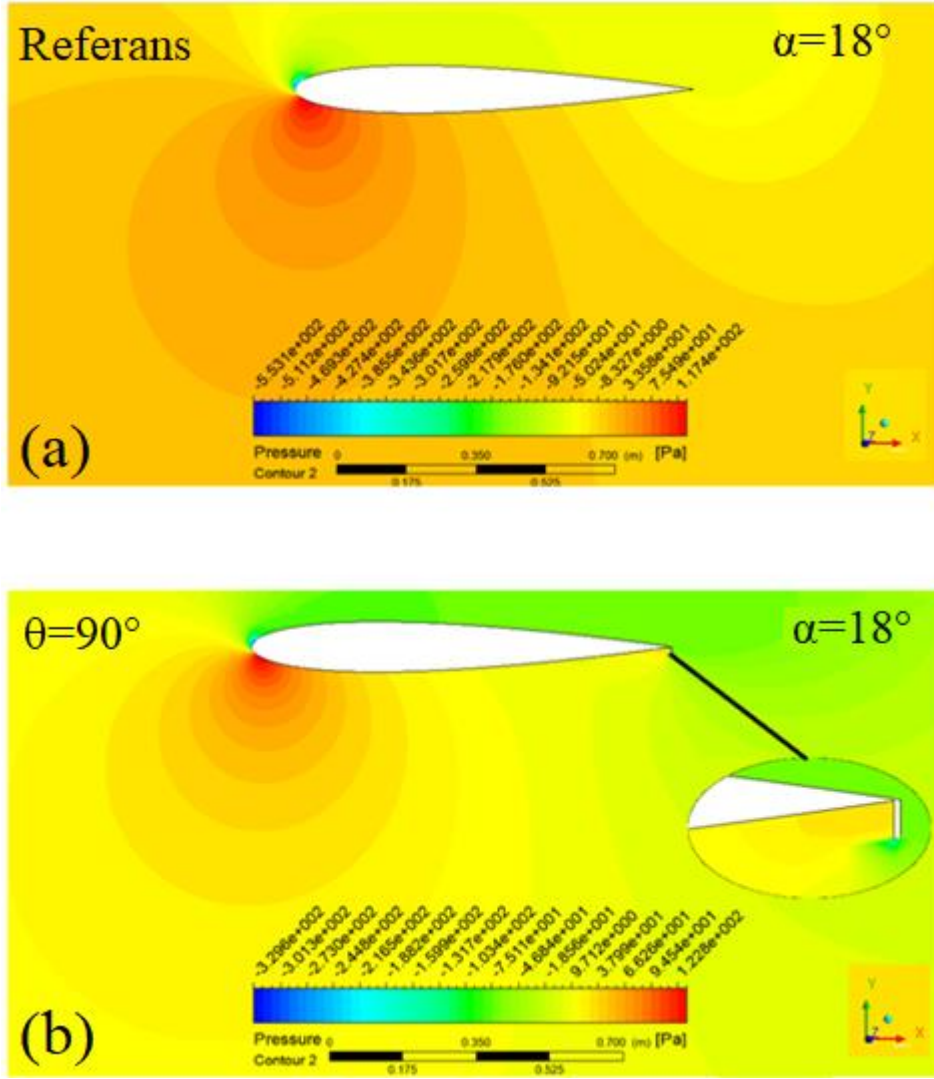
Şekil 3.23. Kanat profili üzerinde $\alpha=12^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Hücum açısının $\alpha=15^\circ$ olduğu referans ve Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profilleri için basınç dağılımı Şekil 3.24'de verilmiştir. Gurney flap yapılı kanat profilinin basınç dağılımı için flap yukarı akımında kanat orta bölgesine göreceli olarak daha yüksek basınç alanı olmuştur. Gurney flap yapılı kanat profili için $\alpha=15^\circ$ 'deki maksimum basınç değerinin, aynı koşullardaki $\alpha=12^\circ$ maksimum değerine göre daha düşük değer almıştır.



Şekil 3.24. Kanat profili üzerinde $\alpha=15^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Hücum açısının $\alpha=18^\circ$ olduğu, referans ve Gurney flap yapıları NACA 0012 kanat profillerinin basınç dağılımları Şekil 3.25'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde referans kanat profilinde gerçekleşen maksimum basınç değeri, Gurney flap yapıları kanat profilinde gerçekleşen maksimum basınç değerinden düşük olmuştur. Diğer Gurney flap basınç dağılımlarında olduğu gibi, Gurney flap yukarı akımında göreceli yüksek basınç alanı oluşmuştur.

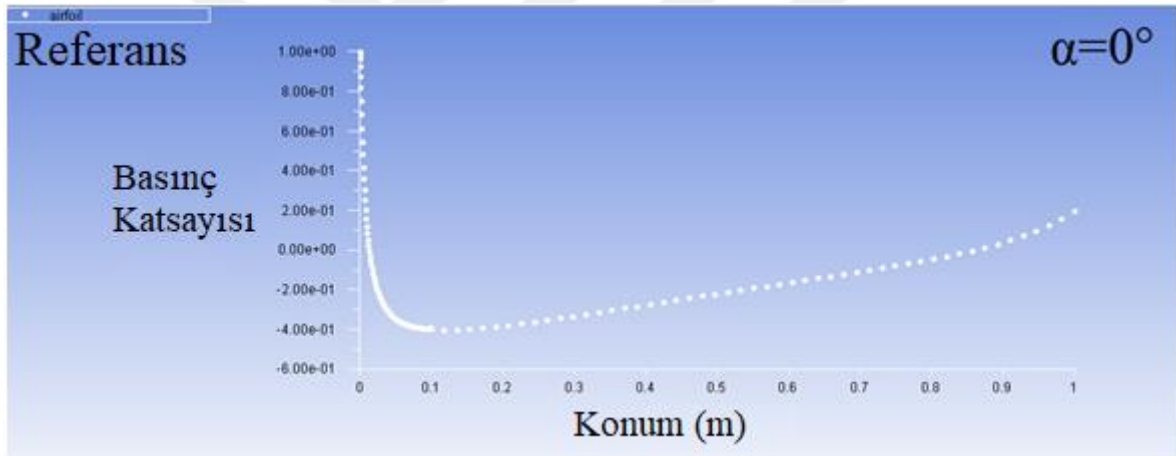


Şekil 3.25. Kanat profili üzerinde $\alpha=18^\circ$ 'deki basınç dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Genel olarak NACA 0012 kanat profili ve $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapılı kanat profilinin basınç dağılımları için, referans kanat profillerinin, Gurney flap yapılı kanat profillerine kıyasla daha yüksek maksimum basınç değerine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Gurney flap yapılı kanat profillerinin ise referans kanat profillerine kıyasla daha düşük minimum basınç değerlerine sahip oldukları gözlemlenmiştir. Referans ve Gurney flap yapılı kanat profillerinde hücum açısının artmasıyla birlikte $\alpha=15^\circ$ 'ye kadar maksimum basınç değerinde düşüş gözlemlenmiştir.

3.1.2. Basınç Katsayısı

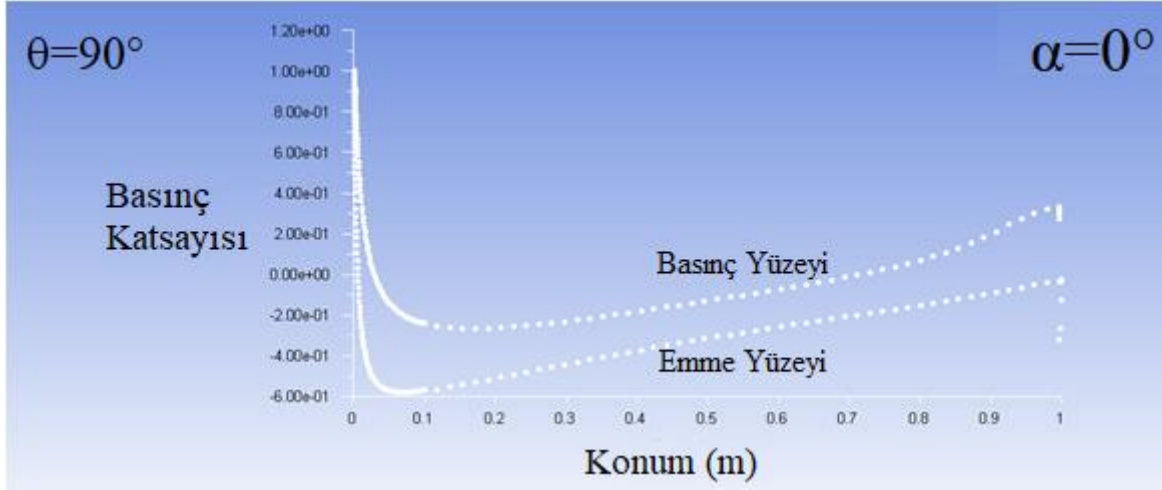
HAD programı aracılığı ile incelenen NACA 0012 kanat profilinin veter uzunluğuna göre basınç katsayısının incelenmesindeki amaç, kanat profili üzerinde meydana gelen akış yapısının daha iyi anlaşılmasıdır. Meydana gelen akış yapılarına göre basınç katsayılarının incelenmesi sonucunda, akış hakkında daha detaylı bilgi edinilmesi sağlanmaktadır. Kaldırma katsayısı değerleri, deney verileri ile S-A türbülans verilerine kıyasla daha uyumlu olan SST k- ω türbülans modelinde, aerodinamik verim olarak daha iyi sonuçlar veren $\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profiline ait basınç katsayıları incelenmiştir. Gurney flap yapısının etkisinin daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla, Gurney flap yapısına sahip olmayan referans NACA 0012 kanat profilinin basınç dağılımı da bu bölümde incelenmiştir.



Şekil 3.26. Gurney flap yapısına sahip olmayan referans NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=0^\circ$ 'deki basınç katsayısı

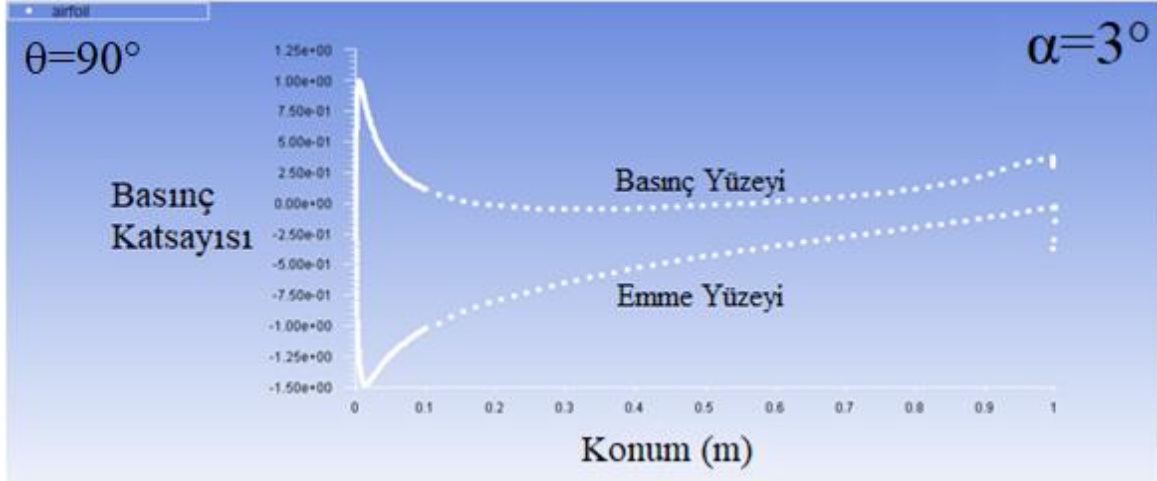
Gurney flap yapısına sahip olmayan NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=0^\circ$ 'deki veter boyunca meydana gelen basınç katsayısı dağılımı Şekil 3.26'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde tek bir eğri görülmüştür. NACA 0012 simetrik kanat profili üzerinde hücum açısının $\alpha=0^\circ$ 'de kanat alt ve üst yüzeylerinde simetrik basınç dağılımı olduğu sonucuna varılmıştır. Referans kanat profilinin basınç dağılımının verildiği Şekil 3.19a incelendiğinde kanat alt ve üst yüzeyinde simetrik basınç dağılımı vardır. Maksimum basınç katsayısı akışın kanat hücum kenarına çarptığı bölge olan veter uzunluğunun 0m'sinde meydana gelmiş daha sonra basınç katsayısında 0,1m'ye kadar logaritmik düşüş

gözlemlenmiştir. Basınç katsayısı 0,1m'de negatif değere sahip olduğu ve bu noktadan itibaren kanat firar kenarına kadar yükselme eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.27. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=0^\circ$ 'deki basınç katsayısı

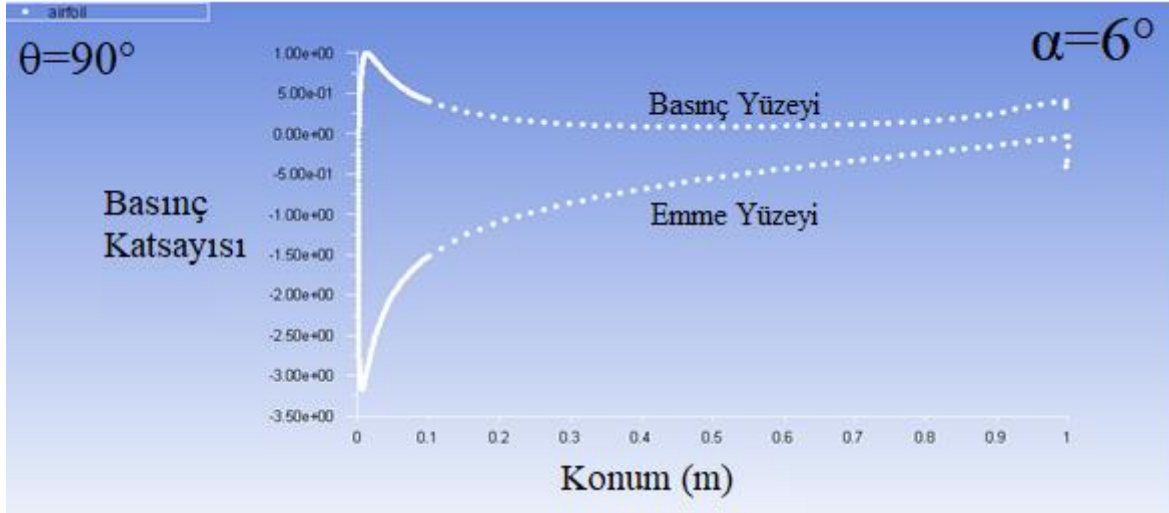
Klasik Gurney flap olarak adlandırılan $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=0^\circ$ 'deki basınç katsayısı dağılımı Şekil 3.27'de gösterilmektedir. 0 m olarak adlandırılan konum akışın kanat hücum kenarında çarptığı noktadır. Gurney flap açısının $\theta=90^\circ$ 'deki NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=0^\circ$ 'dek basınç dağılım kontürlerinin verildiği Şekil 3.27'de incelendiğinde kanat üst yüzeyinde, alt yüzeyine göreceli olarak daha düşük basınç alanı oluşmuştur. $\alpha=0^\circ$ 'deki basınç katsayısı eğrileri incelendiğinde altta yer alan eğrinin kanat üst yüzeyine ait olduğu anlaşılmaktadır. Üstte yer alan eğri ise kanat alt yüzeyini temsil etmekte olduğu anlaşılmıştır. Her iki eğri incelendiğinde hem üst hem de alt kanat yüzeylerinde 0m'de maksimum basınç katsayısı değeri elde edilmiştir. Şekilde eğriler için farklı değerlerde olmak üzere 0m ile 0,1m arasında basınç katsayısında düşüş gerçekleşmiştir. 0,1m'den sonra kanat firar kenarına kadar basınç katsayısında, her iki kanat yüzeylerinde basınç artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.28. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=3^\circ$ 'deki basınç katsayısı

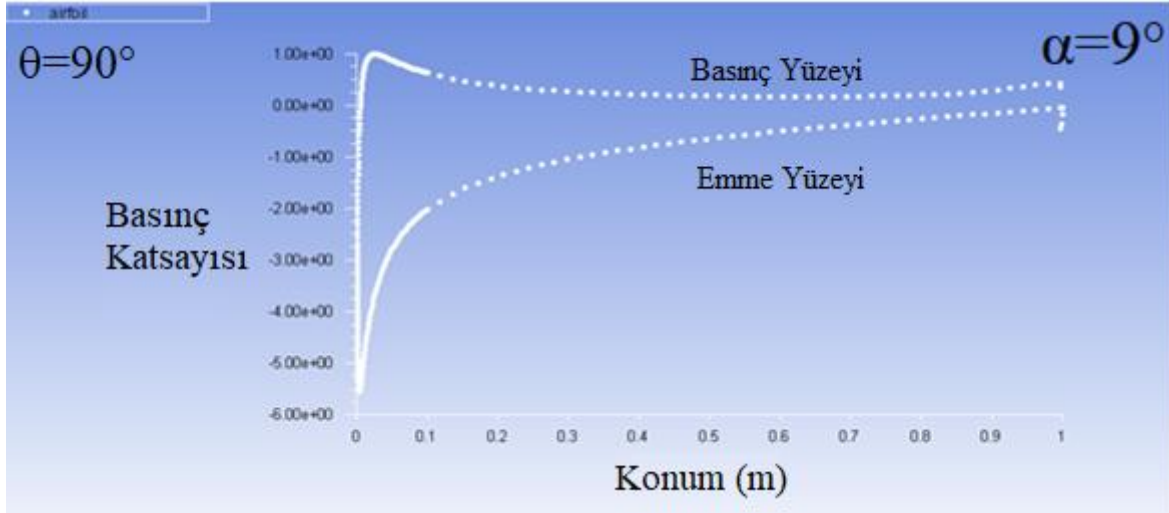
Gurney flap açısının $\theta=90^\circ$ 'ye eşit olduğu NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=3^\circ$ 'deki basınç katsayısı Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde maksimum basınç katsayısının gerçekleştiği noktadan 0,1m'ye kadar basınç düşüşü gerçekleşmiştir. Kanat üst yüzeyinde ise minimum basınç katsayısının gerçekleştiği bölgeden 0,1m'ye kadar basınç katsayısında artış gözlemlenmiştir. Hem alt hem de üst yüzeyi için 0,1m'den sonra firar kenarına kadar olan bölgelerde basınç katsayılarında artış gözlemlenmiştir. Basınç katsayılarının, $\alpha=0^\circ$ ve $\alpha=3^\circ$ için minimum değerleri incelendiğinde $\alpha=0^\circ$ 'de daha düşük basınç katsayısı gerçekleşmiştir.

Hücum açısının $\alpha=6^\circ$ olduğu $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip olan NACA 0012 kanat profilinin basınç katsayısı dağılımı Şekil 3.29'da verilmiştir. Şekildeki eğriler incelendiğinde kanat alt yüzeyinde gerçekleşen maksimum basınç katsayısı değeri, $\alpha=3^\circ$ 'de gerçekleşen maksimum basınç katsayısı değerinin gerçekleştiği konumdan farklı olduğu görülmektedir. Alt kanatta meydana gelen maksimum basınç katsayısı değerinden sonra 0,1m'ye kadar basınç katsayısında düşüş gerçekleşmiştir. $\alpha=6^\circ$ 'de gerçekleşen basınç düşüşü, $\alpha=3^\circ$ 'de gerçekleşen basınç düşüşünden daha az olmuştur. Kanat üst yüzeyinde meydana gelen minimum basınç katsayısı değeri, $\alpha=3^\circ$ 'de meydana gelen minimum basınç değerinden daha düşük gerçekleşmiştir. 0m'den farklı bit pozisyonunda gerçekleşen minimum basınç katsayısı değerinden 0,1m'ye kadar basınç katsayısında artış meydana gelmiştir. $\alpha=6^\circ$ 'de oluşan minimum basınç katsayısındaki artış, $\alpha=3^\circ$ 'deki minimum basınç katsayısında meydana gelen basınç katsayısındaki artıştan daha yüksek gerçekleşmiştir.



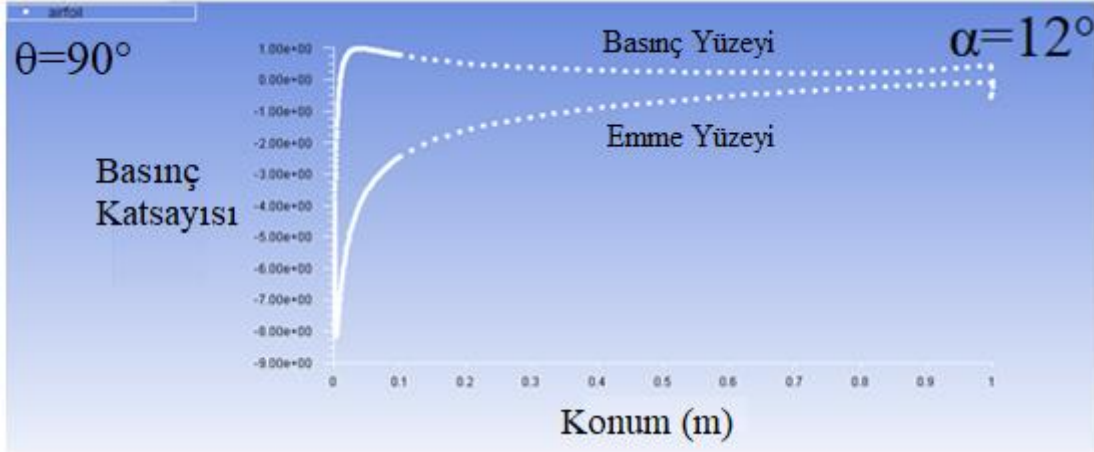
Şekil 3.29. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=6^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Klasik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=9^\circ$ 'de meydana gelen basınç katsayısı dağılımı Şekil 3.30'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde maksimum basınç katsayısı, $\alpha=6^\circ$ 'de oluşan maksimum basınç katsayısının olduğu bölgeden farklı olduğu anlaşılmıştır. Kanat alt yüzeyinde meydana gelen maksimum basınç katsayısından sonra gerçekleşen basınç katsayısı düşüşü $\alpha=6^\circ$ 'de meydana gelen basınç katsayısı düşüşünden daha az gerçekleşmiştir. Kanat alt yüzeyinde meydana gelen basınç düşüşü yaklaşık 0,2m 'ye kadar devam etmiş, daha sonra ise yaklaşık 0,85m'ye kadar aynı basınç katsayısı değerinde kalırken, 0,85m 'den sonraki konumlarda artış göstermiştir. Kanat profilinin üst yüzeyindeki minimum basınç katsayısında meydana gelen basınç katsayısı artışı, $\alpha=6^\circ$ 'deki basınç katsayısı artışından daha fazla olmuştur. Kanat üst yüzeyinde negatif basınç katsayısı değerinde meydana gelen artış, veter boyunca devam etmiştir. $\alpha=9^\circ$ 'de gerçekleşen negatif basınç alanındaki minimum negatif basınç katsayısı değeri, $\alpha=6^\circ$ 'de gerçekleşen minimum negatif basınç katsayısı değerinden daha düşük gerçekleşmiştir.



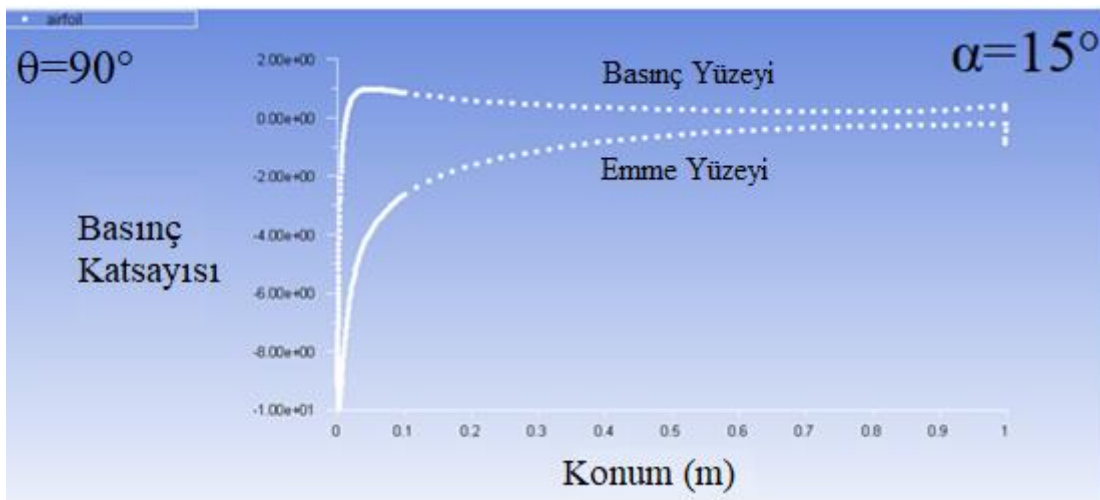
Şekil 3.30. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=9^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Hücum açısının değerinin $\alpha=12^\circ$ 'ye eşit olduğu, $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin veter uzunluğu boyunca gerçekleşen basınç katsayısı dağılımı Şekil 3.31'de verilmiştir. Şekilde kanat üst yüzeyinde gerçekleşen minimum negatif basınç katsayısı değeri, $\alpha=9^\circ$ 'de gerçekleşen minimum negatif basınç katsayısı değerinden daha düşük olmuştur. Minimum negatif basınç değerinden sonra gerçekleşen basınç katsayısındaki artış logaritmik olarak gerçekleşmiştir. Kanat alt yüzeyinde meydana gelen maksimum basınç katsayısı değeri $\alpha=9^\circ$ 'de meydana gelen maksimum basınç katsayısı değerinin gerçekleştiği alandan daha geniş alanda etkili olmuştur. $\alpha=12^\circ$ 'de ki maksimum basınç katsayısında meydana gelen düşüş, $\alpha=9^\circ$ 'de meydana gelen maksimum basınç katsayısındaki düşüşten daha düşük olmuştur. Kanat hücum kenarından firar kenarına ilerledikçe kanat alt ve üst yüzeyindeki basınç katsayısı değerleri, $\alpha=12^\circ$ 'de, $\alpha=9^\circ$ 'ye göre daha yakın olduğu gözlemlenmiştir.



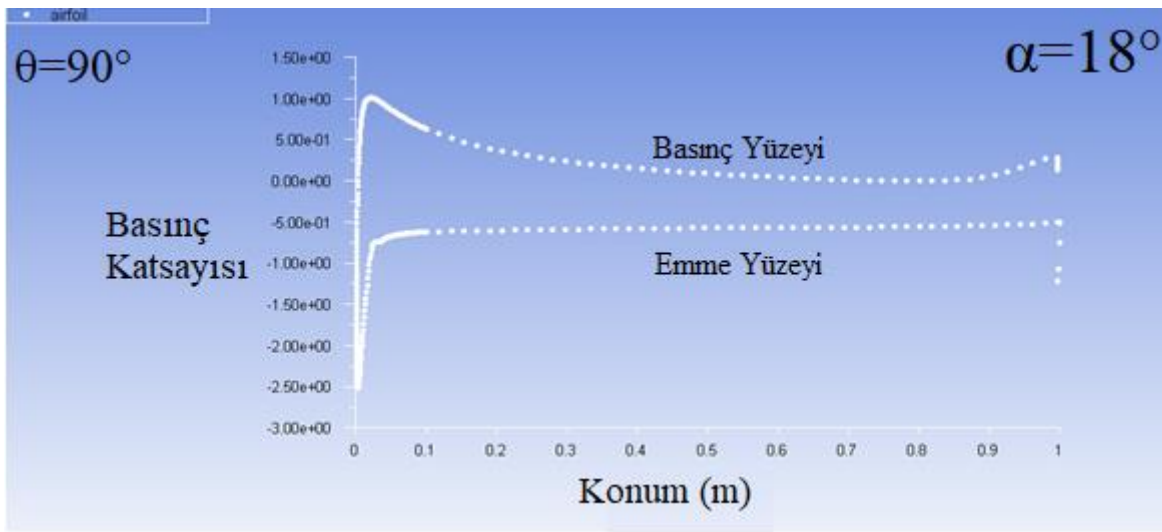
Şekil 3.31. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=12^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Gurney flap açısının $\theta=90^\circ$ 'ye eşit olduğu NACA 0012 kanat profilinde $\alpha=15^\circ$ 'de veter boyunca meydana gelen basınç katsayısı dağılımı Şekil 3.32'de verilmiştir. Kanat profilinde meydana gelen minimum negatif basınç katsayısı değeri, $\alpha=12^\circ$ 'de meydana gelen değerden daha düşük olmuştur. Kanat üst yüzeyinde meydana gelen negatif basınç katsayısında, 0,7m'ye kadar artış gerçekleşmiştir. Kanat alt yüzeyinde gerçekleşen maksimum basınç katsayısı değerindeki düşüş $\alpha=12^\circ$ 'ye göre daha düşük gerçekleşmiştir. $\alpha=15^\circ$ 'deki kanat üst ve alt yüzeylerinde gerçekleşen basınç katsayısı değerleri, $\alpha=12^\circ$ 'de elde edilen basınç katsayısı değerlerinden daha yakın sonuçlar vermiştir.



Şekil 3.32. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=15^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Gurney flap açısının $\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=18^\circ$ 'lik açıda veter boyunca meydana gelen basınç katsayısı dağılımı Şekil 3.33'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde kanat üst yüzeyinde meydana gelen basınç katsayısı veter boyunca neredeyse sabit kalmıştır. Kanat alt yüzeyinde meydana gelen maksimum basınç katsayısı değeri, $\alpha=15^\circ$ 'de gerçekleşen maksimum basınç katsayısı değerinden daha küçük bir alanda etkili olmuştur. Maksimum basınç katsayısı değerinden sonra gerçekleşen basınç düşüşünden sonra yaklaşık 0,4m'den itibaren basınç düşüş hızı azalmış, 0,8m'den itibaren tekrar artış göstermiştir.

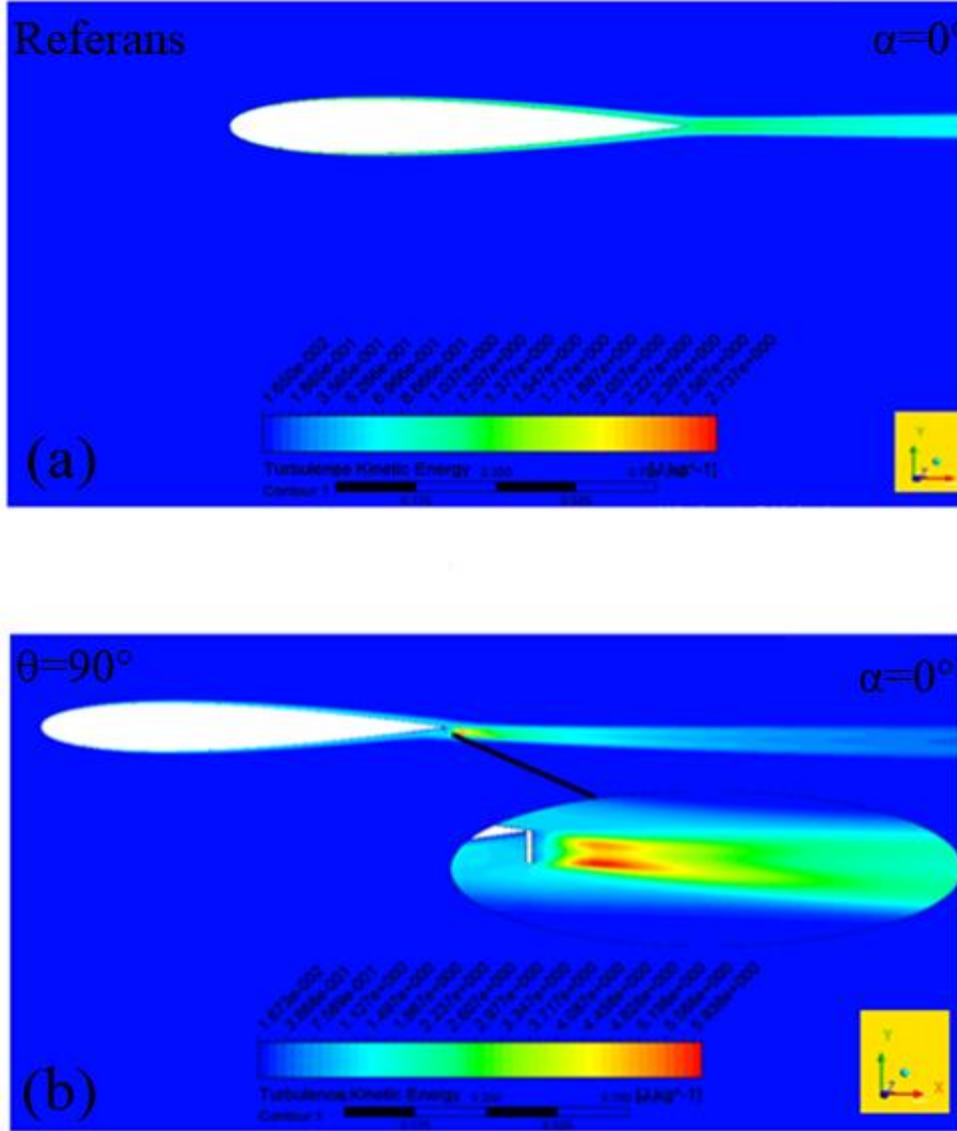


Şekil 3.33. $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=18^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Gurney flap açısının $\theta=90^\circ$ 'ye eşit olduğu NACA 0012 kanat profilinin veter boyunca dağılımının α açısı ile değişiminin incelenmesi sonucunda α açısının 15° 'ye kadar artırılmasıyla minimum negatif basınç katsayısında düşüş gerçekleştiği, $\alpha=15^\circ$ 'den $\alpha=18^\circ$ 'ye artırılması sonucunda ise minimum negatif basınç katsayısında artış gözlemlenmiştir. Kanat alt yüzey ve üst yüzey basınç katsayıları arasındaki fark $\alpha=0^\circ$ 'den $\alpha=15^\circ$ 'ye kadar olan hücum açısındaki artışla azalış göstermiş ve $\alpha=15^\circ$ 'de minimum basınç katsayısı farkı elde edilmiştir. $\alpha=18^\circ$ 'de ise kanat üst yüzeyindeki basınç katsayısı yaklaşık olarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir.

3.1.3. Türbülans Kinetik Enerjisi (TKE) Dağılımı

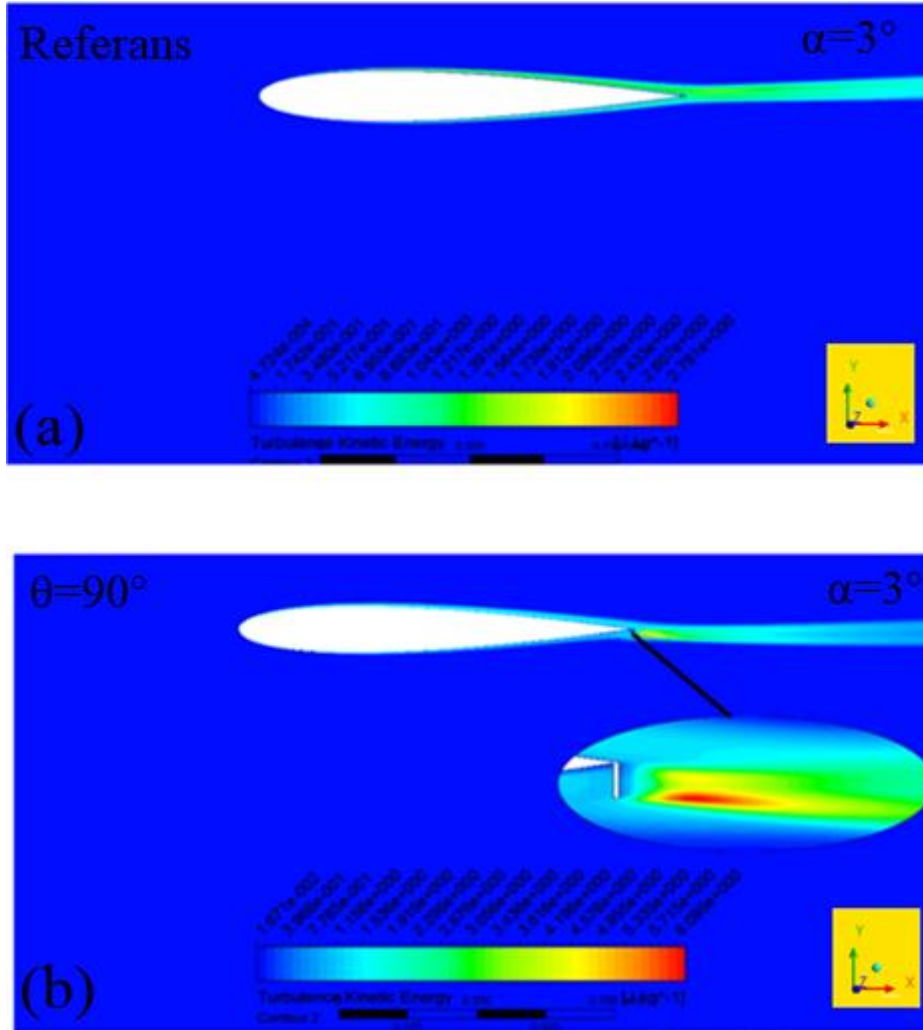
Referans NACA 0012 kanat profili ve Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profili üzerindeki akışın TKE dağılımının incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Her iki kanat profiline ait TKE dağılımının, α açısıyla değişiminin gözlemlenmesi neticesinde Gurney flap yapısının akış TKE dağılımının analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.34. $\alpha=0^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

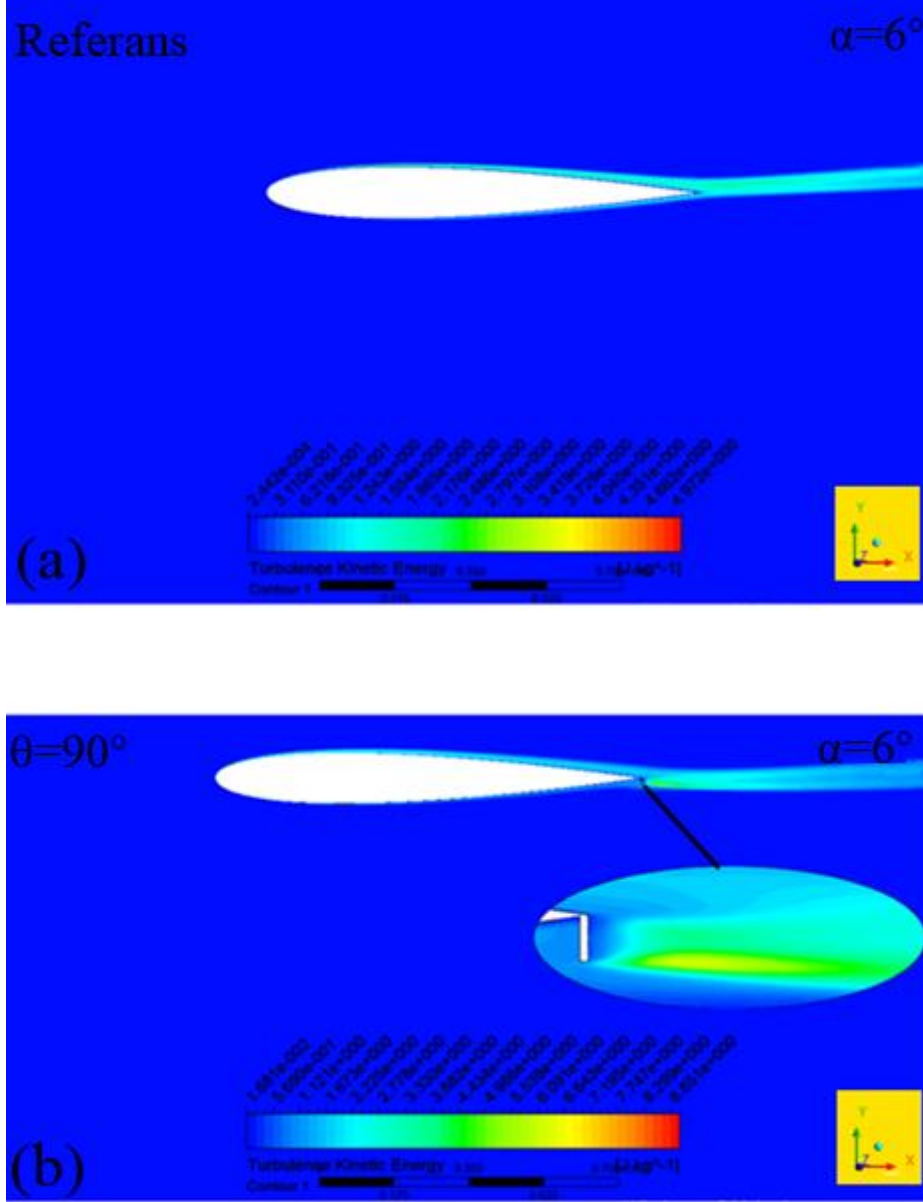
Referans NACA 0012 kanat profiline ve $\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profiline $\alpha=0^\circ$ 'deki TKE dağılımı Şekil 3.34'te gösterilmiştir. Şekil 3.34a incelendiğinde referans kanat profili için TKE dağılımı kanat üzerinde simetriğe yakın olmuştur. Şekil 3.34b incelendiğinde Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profilinin Gurney flap yapısının arkasında oluşan

girdap yapılarının TKE dağılımı net bir şekilde görülmüştür. Girdap yapılarının TKE dağılımında, Gurney flap yapısının arkasında oluşan girdap çiftinden altta bulunan girdabın üstte bulunan girdaba göre TKE'si daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca referans kanat profiline ait maksimum TKE, Gurney flap yapıları kanat profiline ait maksimum TKE'sinden düşük olmuştur.



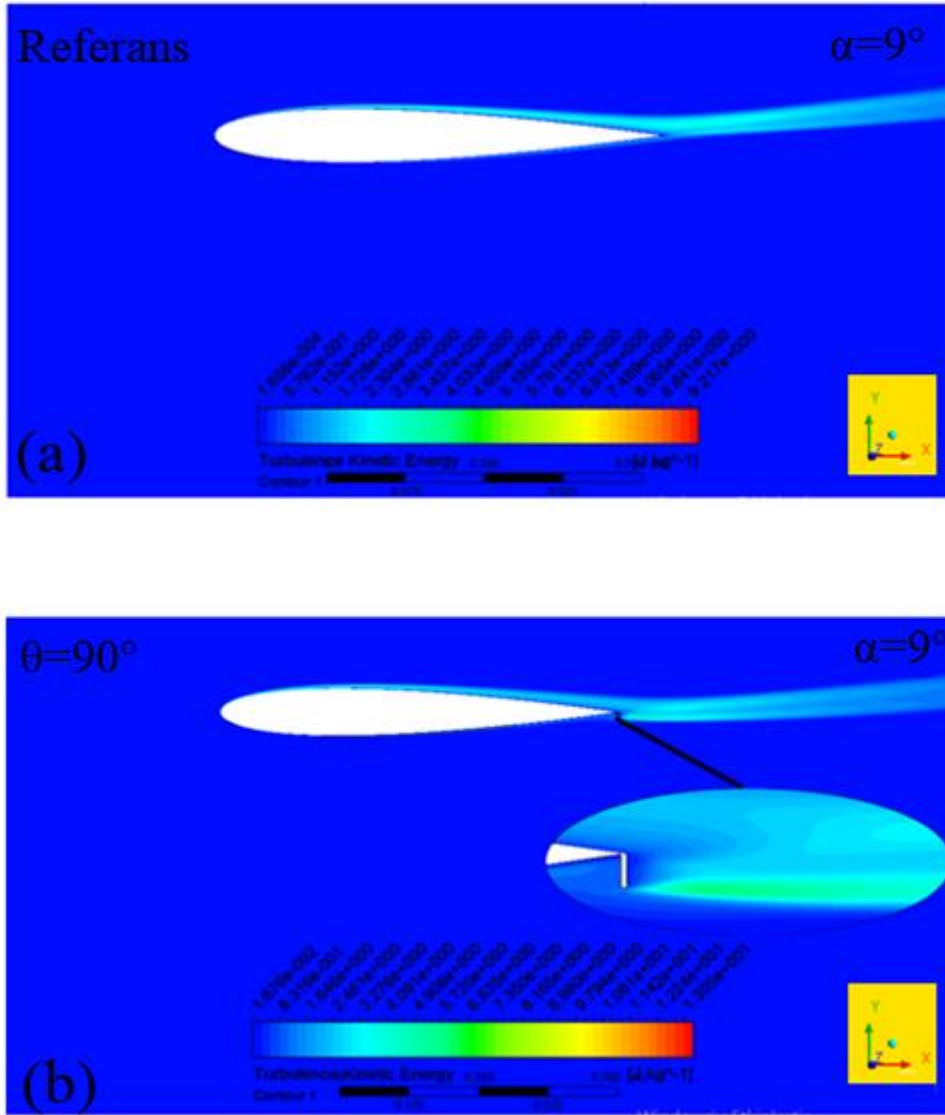
Şekil 3.35. $\alpha=3^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Referans ve $\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profiline $\alpha=3^\circ$ 'de TKE dağılımı Şekil 3.35'te gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde Gurney flap arkasında yer alan girdap çiftine ait TKE dağılımında üst girdaba ait TKE, $\alpha=0^\circ$ 'deki duruma göre azalmıştır. Fakat $\alpha=6^\circ$ 'de Gurney flap arkasında oluşan girdap çiftinden alttaki girdap TKE'sinde artış gözlemlenmiştir. $\alpha=3^\circ$ 'deki maksimum TKE, $\alpha=0^\circ$ 'deki maksimum TKE'ye göre yüksek olmuştur.



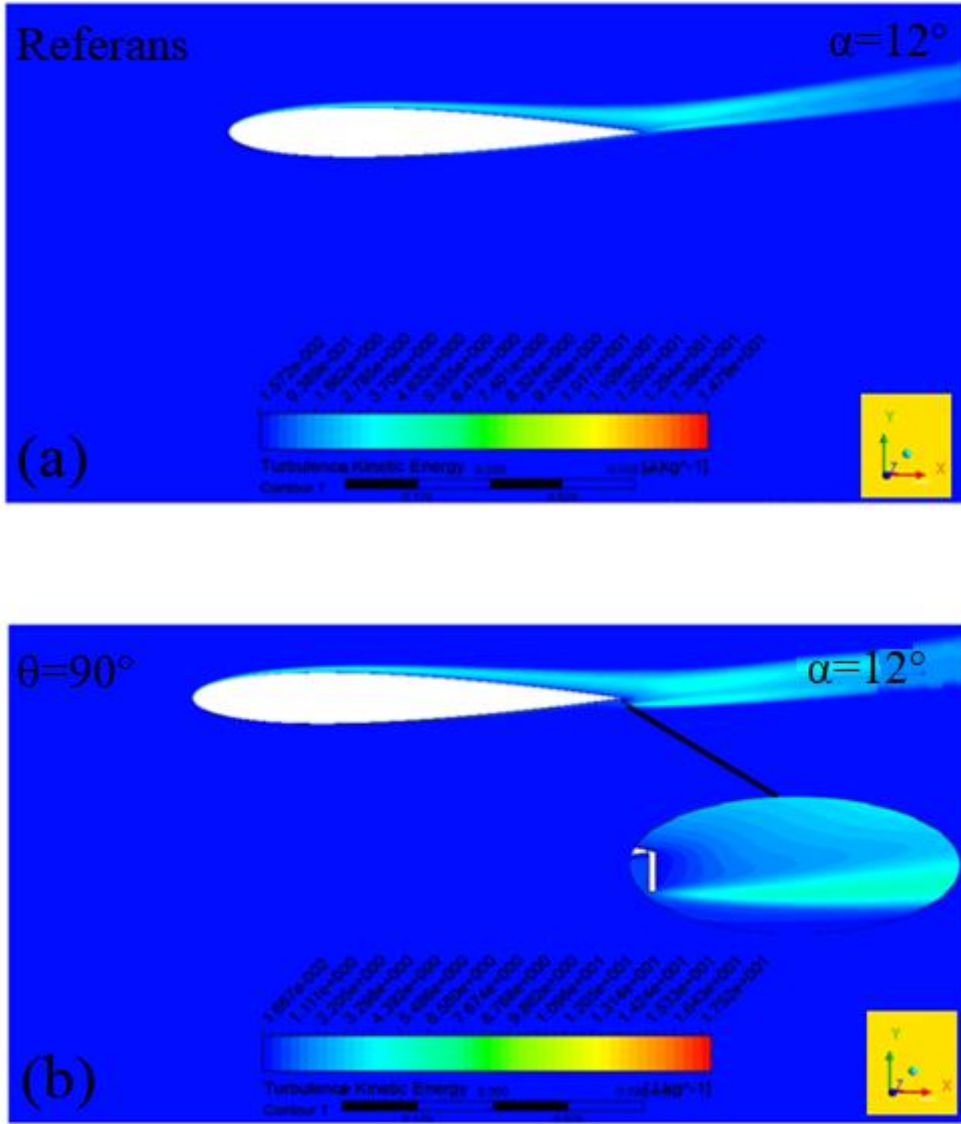
Şekil 3.36. $\alpha=6^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Hücum açısının $\alpha=6^\circ$ olduğu referans ve $\theta=90^\circ$ 'lik kanat profillerinin TKE dağılımı Şekil 3.36'da verilmiştir. Her iki kanat profilinde oluşan maksimum TKE, Gurney flap yapıları kanat profilinde daha yüksek gerçekleşmiştir. $\alpha=3^\circ$ 'deki Gurney flap yapıları kanat profilinde kanat arkasında girdap yapılarının TKE'si rahat bir şekilde görülürken, $\alpha=6^\circ$ 'de daha belirsiz olmuştur.



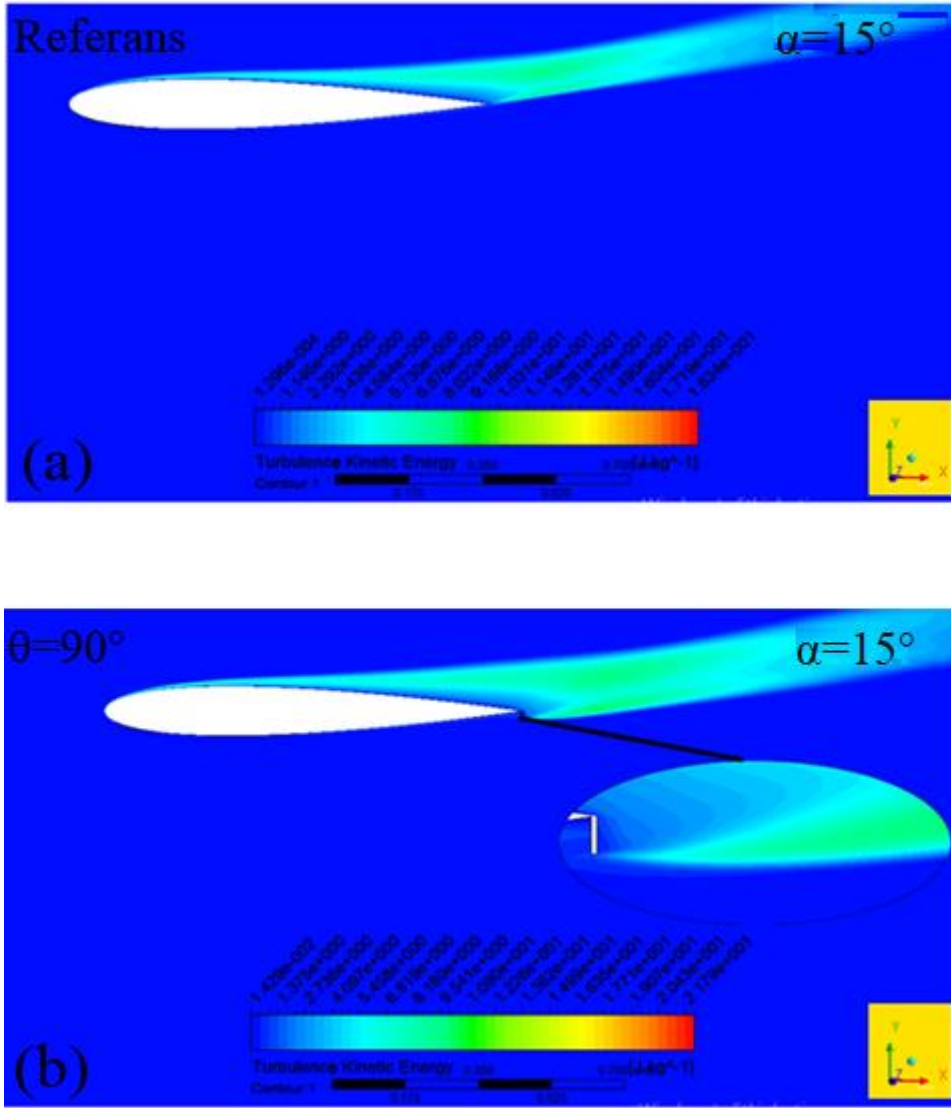
Şekil 3.37. $\alpha=9^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Hücum açısının $\alpha=9^\circ$ olduğu NACA 0012 kanat profilinin referans kanat profili ve $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip kanat profili için TKE dağılımı Şekil 3.37'de verilmiştir. Gurney flap arkasındaki girdaplara ait TKE dağılımı, girdap yapısı ile ilintili olarak görülememekte fakat Gurney flap ucundan Gurney flap aşağı akımına doğru göreceli olarak yüksek TKE şeridi görülmüştür.



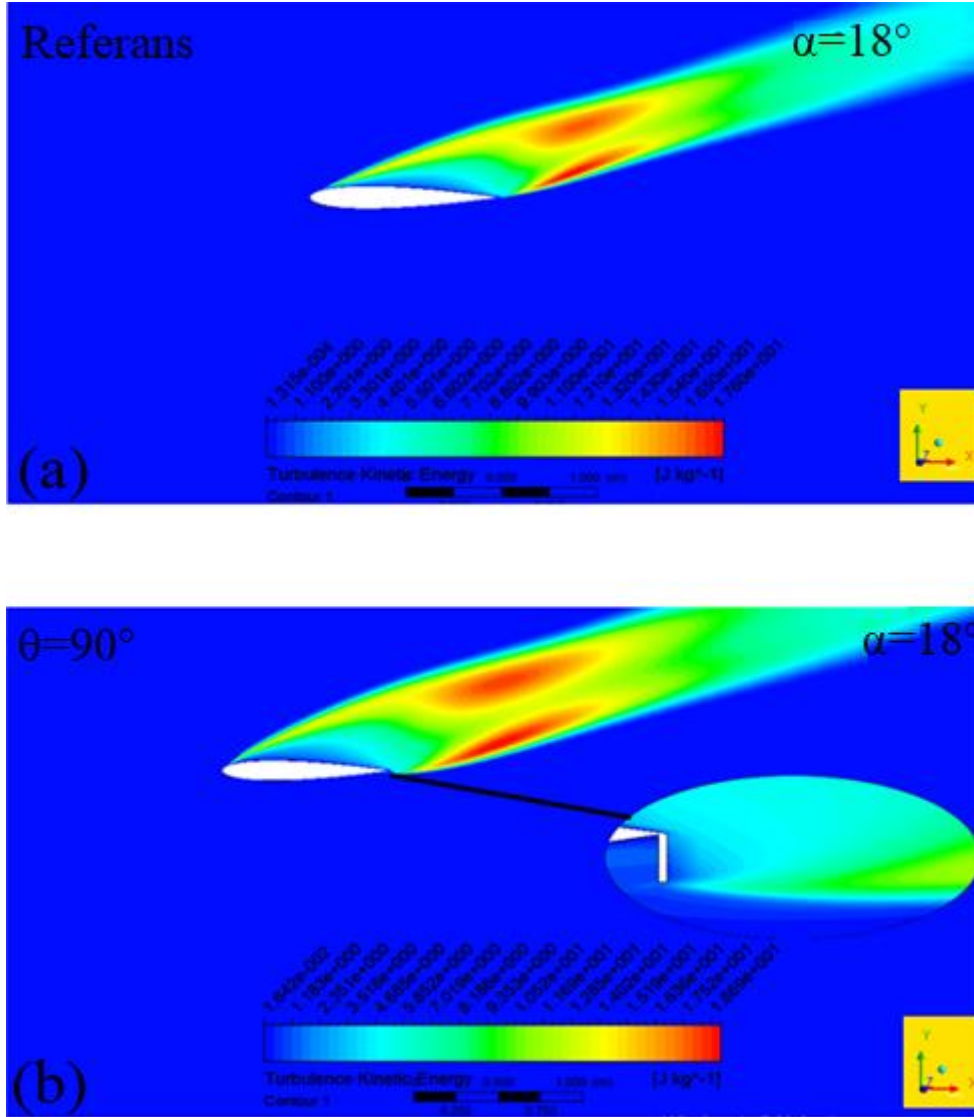
Şekil 3.38. $\alpha=12^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Hücum açısının $\alpha=12^\circ$ olduğu referans kanat profili ile $\theta=90^\circ$ 'lik kanat profillerine ait TKE dağılımı Şekil 3.38'de gösterilmiştir. Gurney flap yapısının arkasındaki TKE'ye bakıldığında $\alpha=9^\circ$ 'ye göre düşük TKE alanı genişlemiştir. Kanat üzerindeki akış ayrılmasının olduğu bölgelerde ise $\alpha=12^\circ$ 'de, $\alpha=9^\circ$ 'ye göre daha fazla TKE dağılımı söz konusu olmuştur.



Şekil 3.39. $\alpha=15^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Hücum açısının $\alpha=15^\circ$ olduğu referans ve Gurney flap yapılı kanat profillerine ait TKE dağılımı Şekil 3.39'da gösterilmektedir. Referans kanat profiline ait TKE dağılımı incelendiğinde kanat üst bölgesinde meydana gelen akış ayrılmasında gölgelerinde düşük TKE dağılımı gözlemlenmiştir. Gurney flap yapılı kanat profilinin TKE yapısı incelendiğinde ise özellikle Gurney flap yapısının kenarından başlayarak kanat üst yüzeyine doğru oluşan girdap yapısıyla ilgili olarak kanat üzerine göreceli olarak TKE dağılımında artış gözlemlenmiştir.



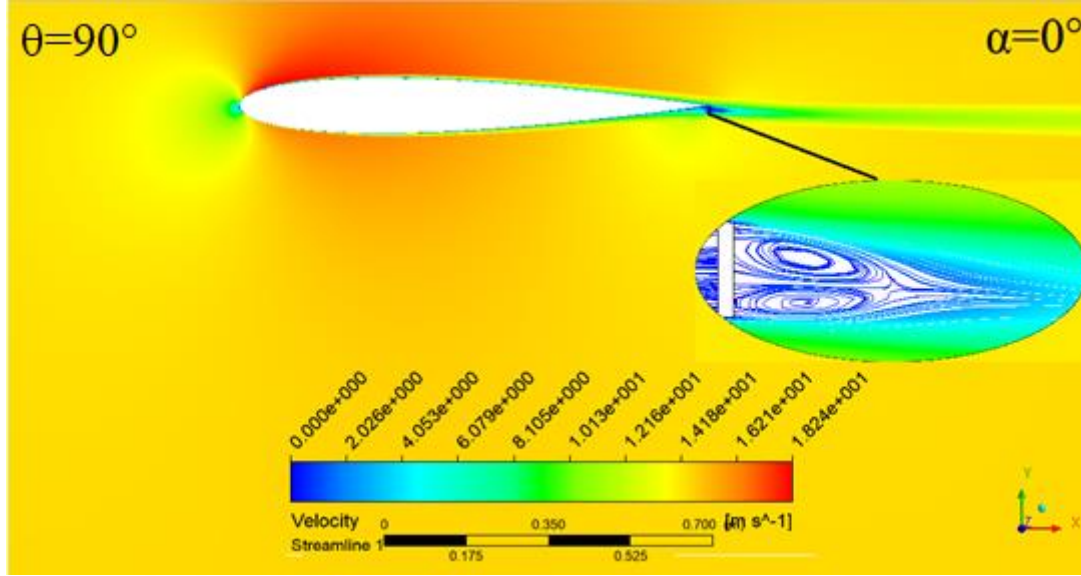
Şekil 3.40. $\alpha=18^\circ$ 'deki kanat profili üzerindeki TKE dağılımı (a) referans (b) $\theta=90^\circ$

Hücum açısının $\alpha=18^\circ$ olduğu referans ve $\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profillerine ait TKE dağılımı Şekil 3.40'da gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde Gurney flap yapılı kanat profilindeki maksimum TKE, referans kanat profilinin maksimum TKE verisinden fazla olduğu görülmektedir. Gurney flap yapılı kanat profilinde kanat üzerinde akış ayrılmasının olduğu bölgelerde daha düşük TKE dağılımı mevcutken, akış ayrılması bölgelerinde meydana gelen girdap bölgelerinde daha yüksek TKE dağılımı mevcut olmuştur.

İncelenen TKE dağılımları için, referans kanat profiline Gurney flap eklenmesiyle ve hücum açısının artmasıyla TKE'de artış gerçekleşmiştir.

3.1.4. Akım Çizgileri

NACA 0012 kanat profilinin $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına sahip olması ile kanat profili üzerinde meydana gelen akış yapısının incelemesi gerçekleştirilmiştir. Akışın akım çizgileri ile görselleştirilmesiyle birlikte klasik Gurney flap yapısına sahip kanat profili üzerinde oluşan akış daha iyi anlaşılmıştır.

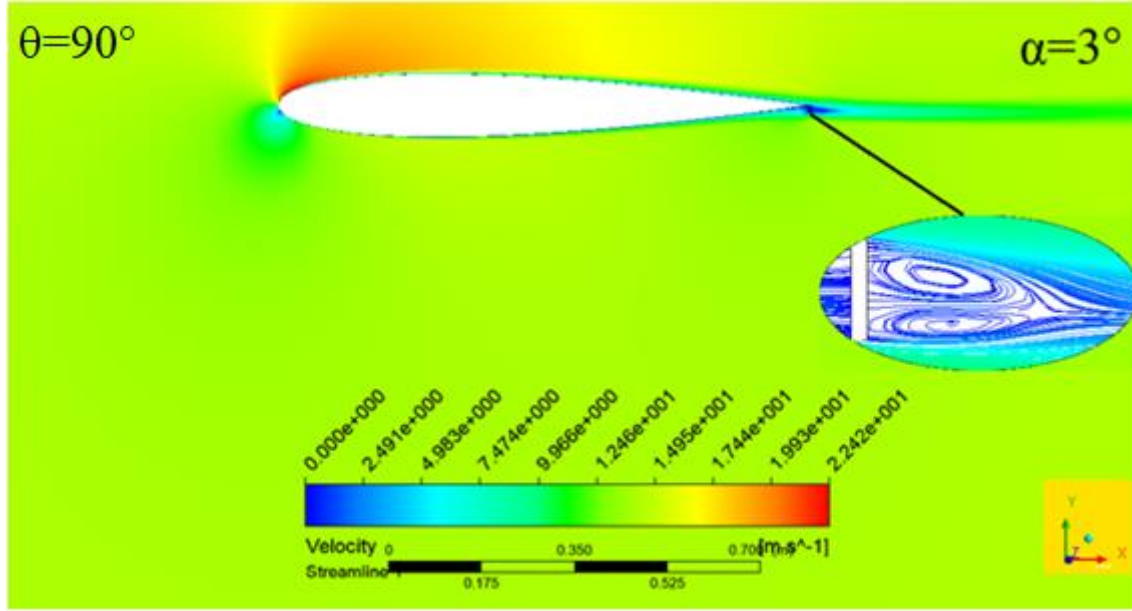


Şekil 3.41. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=0^\circ$ 'deki akım çizgisi

Fırar kenarına eklenen %1,5 veter uzunluğundaki Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 üzerindeki akış yapısı $\alpha=0^\circ$ için Şekil 3.41'de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde Gurney flap aşağı akımında ikili girdap yapısı bulunmaktadır. Bu girdaplar literatürde birbirine ters dönme hareketi yapan girdap çifti olarak yer almaktadır [49]. Gurney flap arkasında yer alan girdap çiftlerinden üste yer alan girdabın genişliği 0,025 m ve alta yer alan girdabın genişliği ise 0,025 m olarak gözlemlenmiştir. Gurney flap 0,03m aşağı akımında bir durma noktası gözlemlenmiştir. NACA 0012 kanat profilinin hücum kenarındaki akım çizgilerine bakılacak olursa, akışkanın kanat yüzeyine çarptığı noktada düşük hız alanı olmuştur. Kanadın ortasına ilerlendiğinde ise üst yüzeyde fazla olmak üzere üst ve alt yüzeyde hız artışı gözlemlenmiştir.

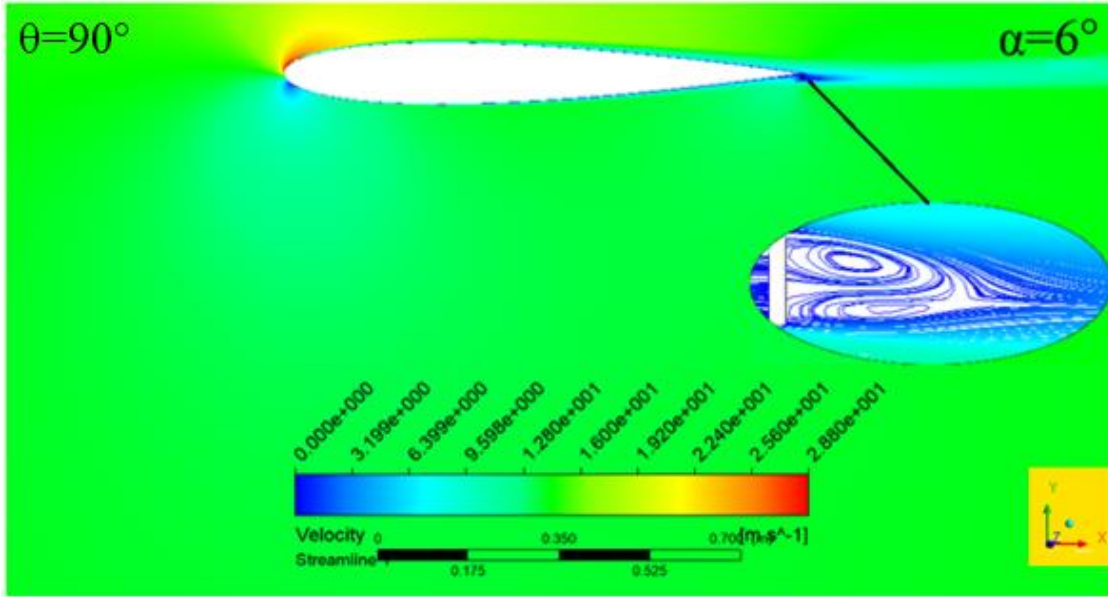
$\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profiline ait $\alpha=3^\circ$ 'deki akım çizgileri Şekil 3.42'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde artan hücum açısı ile birlikte maksimum hız değerinden $\alpha=0^\circ$ 'ye göre artış gerçekleşmiştir. Kanat üst yüzeyi ile alt yüzeyi arasındaki hız fark

değeri artmıştır. Gurney flap arkasında $\alpha=0^\circ$ 'de görülen girdap çifti mevcuttur. Girdap çiftlerinin genişliği 0,025m olarak $\alpha=0^\circ$ 'deki değerde kalkmış fakat durma noktasının Gurney flap yapısına uzaklığı yaklaşık olarak 0,028m olduğu gözlemlenmiştir.



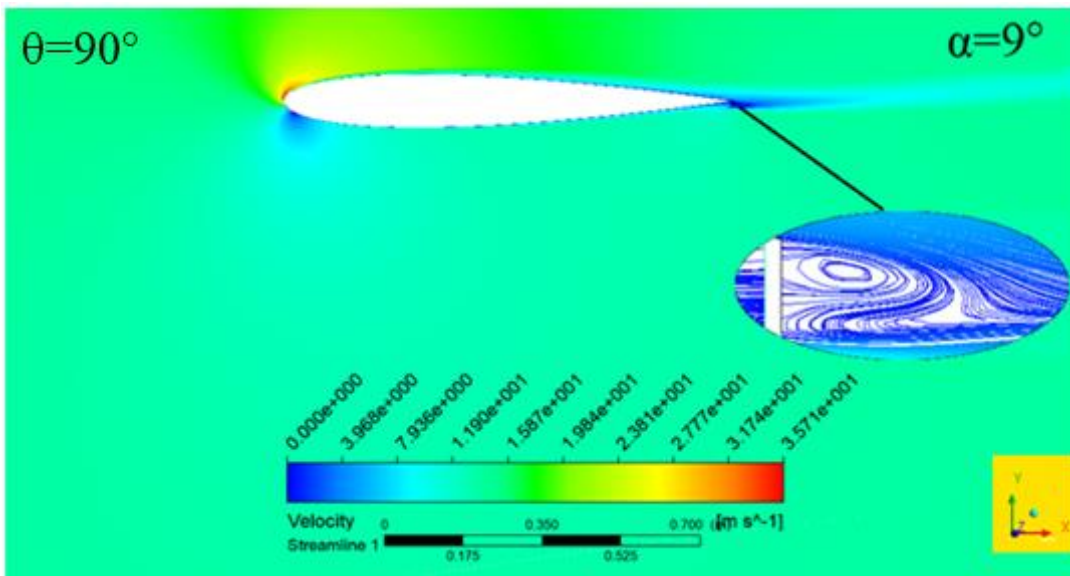
Şekil 3.42. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=3^\circ$ 'deki akım çizgisi

Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin hücum açısının $\alpha=6^\circ$ olduğu akım çizgileri Şekil 3.43'te gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde kanadın hücum kenarının alt kısmındaki düşük hız bölgesi $\alpha=3^\circ$ 'ye göre artış göstermiştir. Aynı zamanda hücum kenarında yer alan kanat üst bölgesindeki yüksek hız bölgesinde $\alpha=3^\circ$ 'ye göre azalma gerçekleşmiştir. $\alpha=6^\circ$ 'deki maksimum hız değeri, $\alpha=3^\circ$ 'deki maksimum hız değerinden göreceli olarak yüksek olmuştur. Firar kenarına yerleştirilen Gurney flap yapısının aşağı akımı incelendiğinde ise dikkat çekici nokta girdap çiftlerinden altta bulunan girdap yapısının bozulmaya başlamasıdır. Üst kısımdaki girdap yapısının genişliği $\alpha=3^\circ$ 'deki ile aynı değerde 0,025m olarak gözlemlenmiştir. Gurney flap aşağı akımında yer alan durma noktası da $\alpha=3^\circ$ 'teki değerle aynı değerde Gurney flap yapısına uzaklığı yaklaşık olarak 0,028m gözlemlenmiştir.

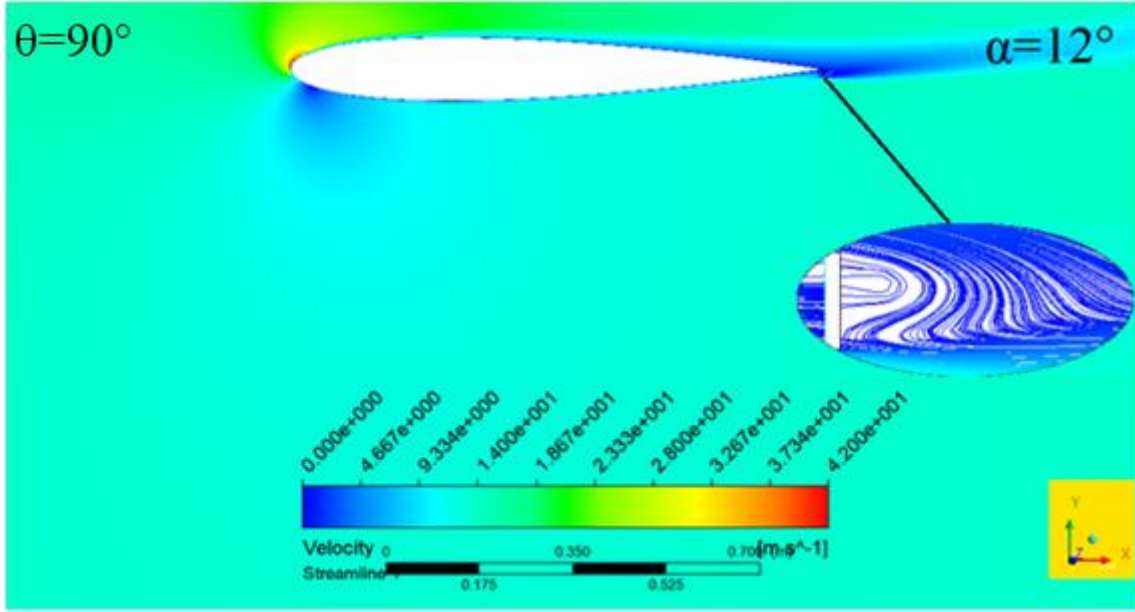


Şekil 3.43. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=6^\circ$ 'deki akım çizgisi

Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=9^\circ$ 'deki akım çizgisi Şekil 3.44'de verilmiştir. Kanat üzerindeki maksimum akış hızının değeri $\alpha=6^\circ$ 'deki maksimum akış hızına göre artış göstermiştir. Kanat üst yüzeyindeki göreceli yüksek hız alanı $\alpha=6^\circ$ 'deki yüksek hız alanına göre azalmıştır. Fırar kenarındaki Gurney flap yapısının aşağı akımındaki akım çizgileri incelenecek olursa, girdap çiftlerinden alt girdap yapısının kaybolduğunu, üst girdabın genişliğinin ise sabit kaldığı gözlemlenmiştir.

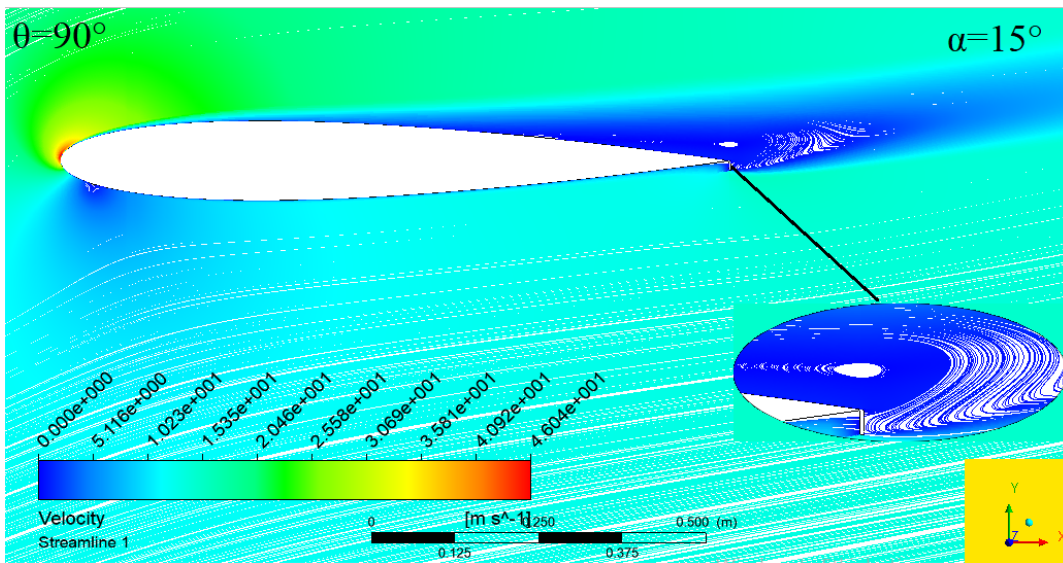


Şekil 3.44. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=9^\circ$ 'deki akım çizgisi



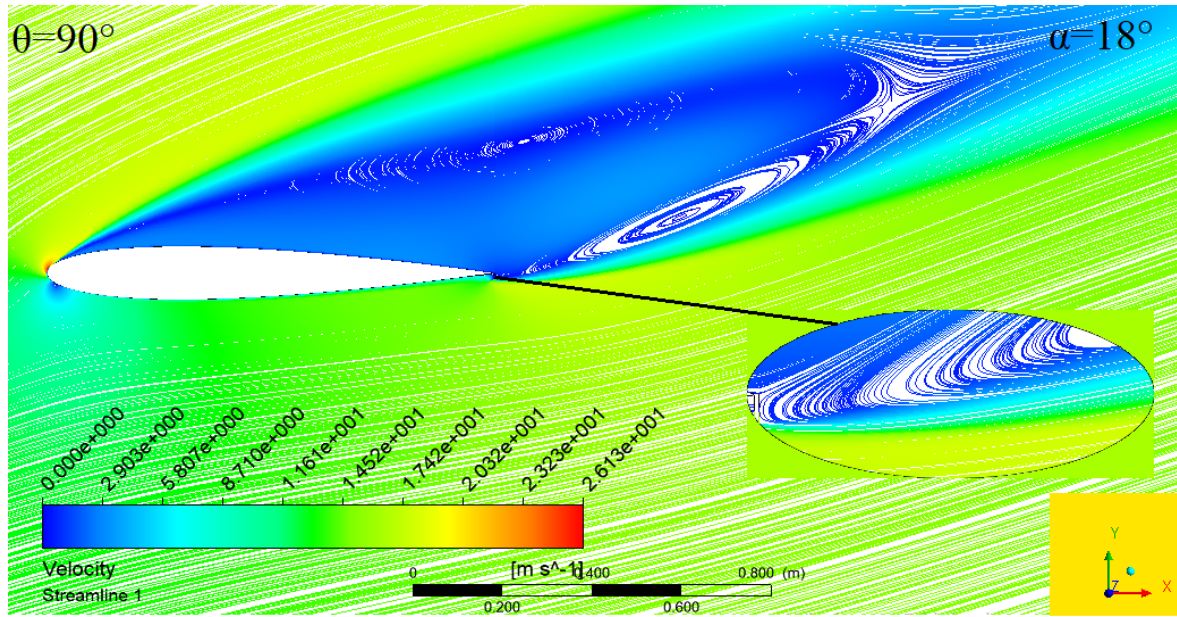
Şekil 3.45. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=12^\circ$ 'deki akım çizgisi

Klasik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=12^\circ$ 'deki akım çizgileri Şekil 3.45'de verilmiştir. Gurney flap arkasındaki akış incelendiğinde alt girdap yapısının tamamen kaybolduğu ve üst girdap yapısının genişliğinin yaklaşık 0,0125m olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu girdap yapısının uzunluğu yaklaşık olarak Gurney flap uzunluğundadır. Bu hücum açısında kanat profilinin üst yüzeyindeki akış ayrılmaları net bir şekilde görülmektedir.



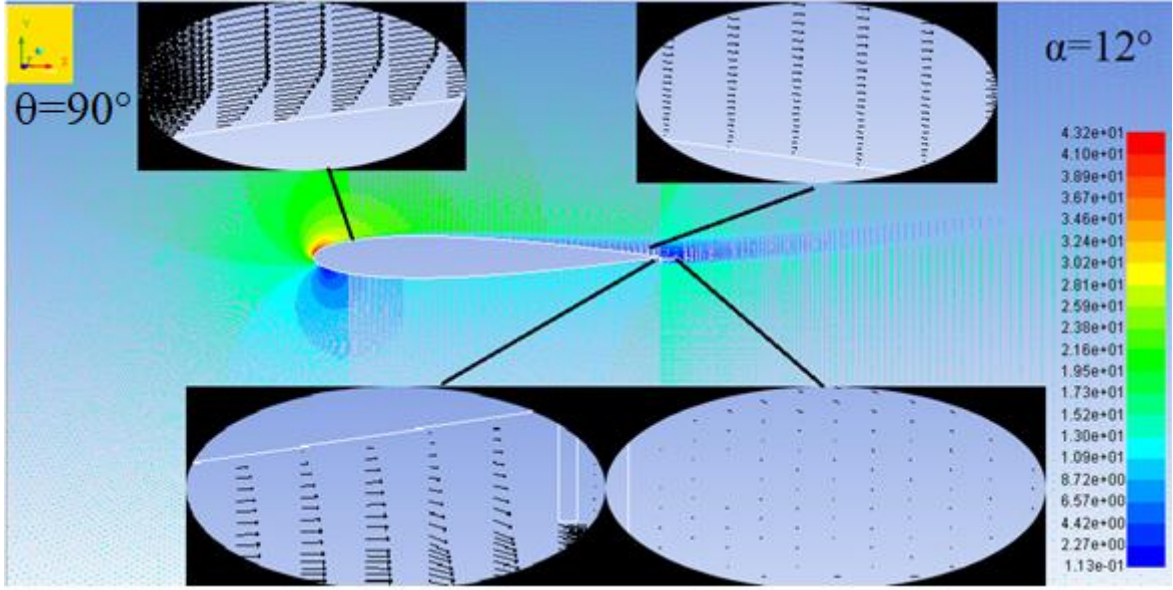
Şekil 3.46. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=15^\circ$ 'deki akım çizgisi

Hücum açısının $\alpha=15^\circ$ olduğu ve 90° 'lik Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin akım çizgileri Şekil 3.46'da verilmiştir. Şekilde kanat firar kenarında bulunan Gurney flap yapısının aşağı akımında girdap yapısı görülmemiştir. $\alpha=12^\circ$ 'de Gurney flap yapısının arkasındaki tekli girdap yapısı $\alpha=15^\circ$ 'de kanat firar kenarında ve üst yüzeyde gözlemlenmiştir. Kanat üzerinde oluşan girdap yapısının uzunluğu yaklaşık olarak 0,03m olarak gözlemlenmiştir. Çalışkan (2021) gerçekleştirdiği sayısal analizde NACA 0012 kanat profilinin $Re=2.1 \times 10^6$ akış değerindeki $\alpha=14^\circ$ 'de benzer sonuç elde etmiştir [67].



Şekil 3.47. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=18^\circ$ 'deki akım çizgisi

NACA 0012 kanat profilinin $\theta=90^\circ$ 'lik açığa ve $\alpha=18^\circ$ 'ye sahip olduğu akım çizgileri Şekil 3.47'de verilmiştir. Şekilde kanat üst yüzeyinde iki adet farklı büyüklükte girdap yapıları mevcuttur. Kanat üst yüzeyinden akış ayrılması $\alpha=15^\circ$ 'ye göre oldukça fazla olmuştur.

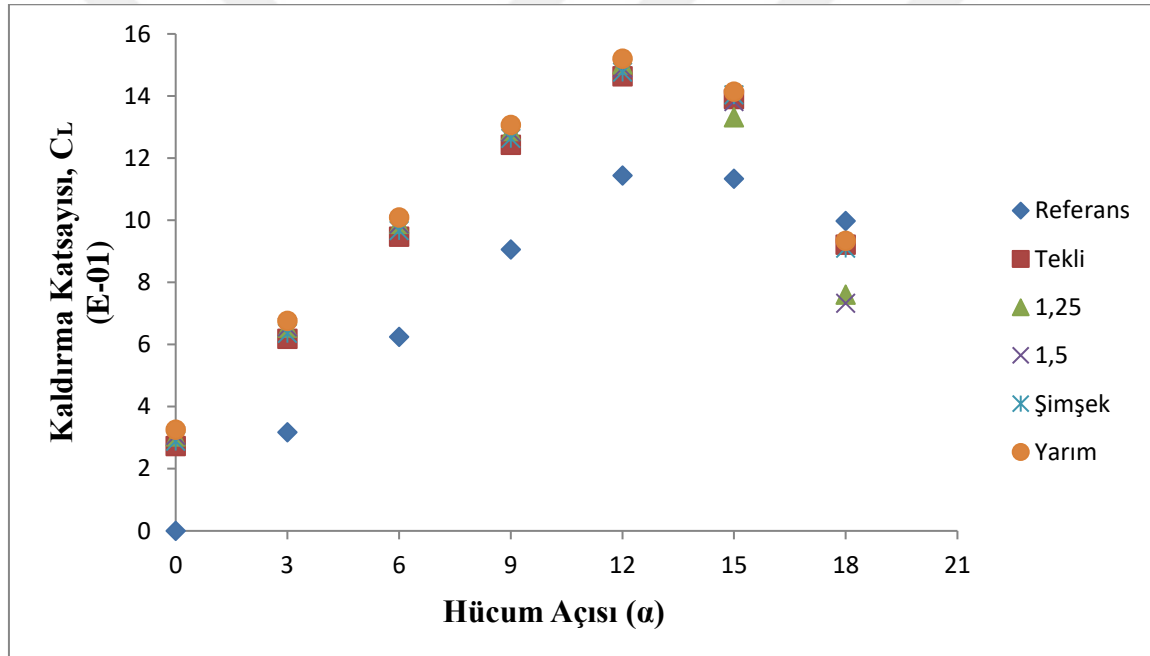


Şekil 3.48. Klasik Gurney flap yapısına ait $\alpha=12^\circ$ 'deki hız vektörleri

Maksimum kaldırma katsayısının elde edildiği $\theta=90^\circ$ 'lik kanat yapısının $\alpha=12^\circ$ 'deki hız vektörlerinin gösterimi Şekil 3.48'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde Gurney flap arkasındaki hız vektörlerinin normal akış yönünün tersi yönünde hareket ettiği görülmektedir. Kanat yüzeyindeki kaymama koşulunun etkisiyle uniform olmayan akış yapısı kanat üzerinde meydana gelmiştir.

3.2. Gurney Flap Geometrisinin ve α Açılarının Değişken Parametre Olarak Kabul Edilmesi

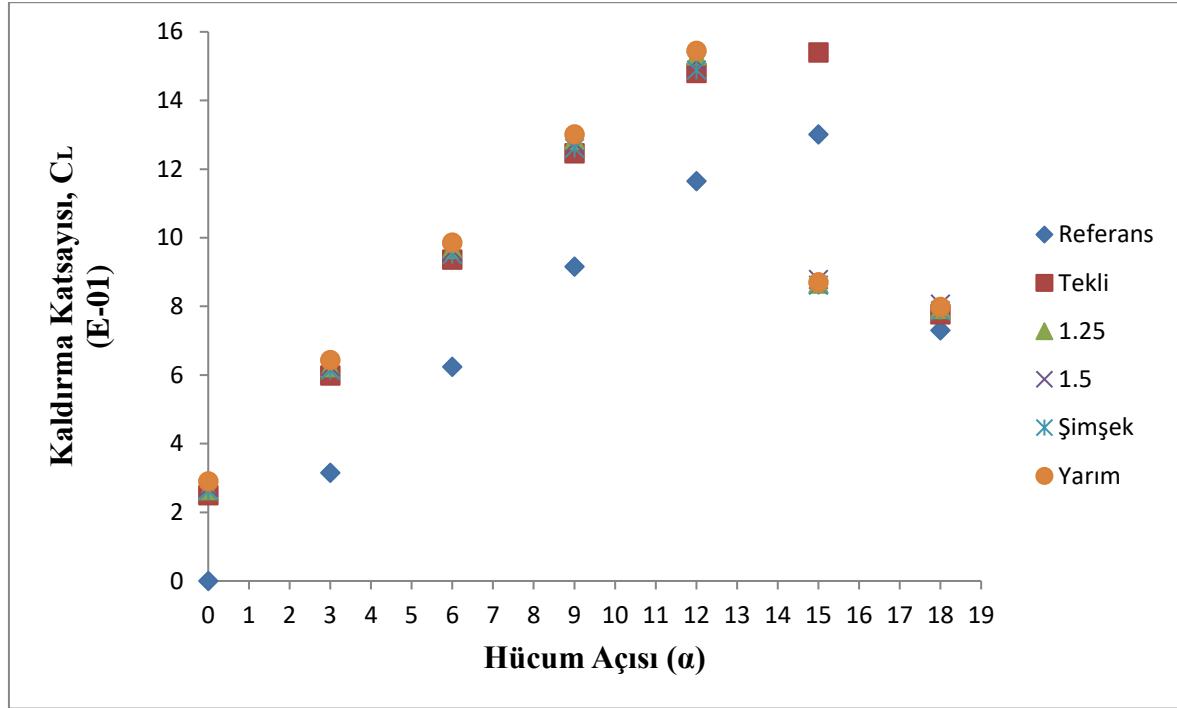
Gurney flap yapısı hakkındaki önceki çalışmalar incelendiğinde, Gurney flap yapısının dikdörtgen yapıda kabul edip genellikle kanat üzerindeki pozisyonu ve kanat hücum açısı gibi parametrelere odaklanıldığı görülmektedir. Tez çalışmasının bu bölümünde sabit Reynolds sayısı $Re=1 \times 10^6$ olarak kabul edilip, %1,5c uzunluktaki Gurney flap yapısının geometrisindeki değişikliklerin kanat aerodinamik karakteristiğine etkisi incelenmiştir. İnceleme yapılırken, bir önceki bölümde araştırılan optimum θ açısı olarak belirlenen $\theta=90^\circ$ sabit parametre olarak, α açısı ise değişken parametre olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.49. S-A türbülans modelinde C_L katsayısının α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması

S-A türbülans modelinin farklı Gurney flap geometrisinin C_L katsayısına etkisi Şekil 3.49'da incelenmiştir. Şekil incelendiğinde referans kanat profilinin maksimum C_L katsayısını elde etmesi $\alpha=12^\circ$ 'de gerçekleşmiştir. Maksimum C_L katsayısı yarım Gurney flap yapısı tarafından $\alpha=12^\circ$ 'de yaklaşık olarak 1,5 değerinde elde edilmiştir. $\alpha=18^\circ$ 'de en yüksek C_L katsayısı değeri yaklaşık olarak 0,9 değerinde referans kanat profiline ait olduğu gözlemlenmiştir. S-A türbülans modeli için, referans kanat modeli hariç diğer tüm Gurney flap yapıları kanat profillerinin kaldırma katsayılarının $\alpha=12^\circ$ 'ye kadar uyumlu olduğu söylenebilir. Bu açıdan sonra birtakım farklılaşma gözlemlense de tekli olarak

isimlendirilen klasik Gurney flap yapısı, şimşek tarzındaki Gurney flap yapısı ve yarım Gurney flap yapısı $\alpha=18^\circ$ 'de aynı C_L katsayısı değerini verdiği gözlemlenmiştir. Diğer Gurney flap yapılarının sahip oldukları C_L katsayılarından daha düşük değerlere sahip olsalar da 1,25 ve 1,5 Gurney flap yapılı kanat modelleri aynı C_L katsayılarına sahip olmuşlardır.

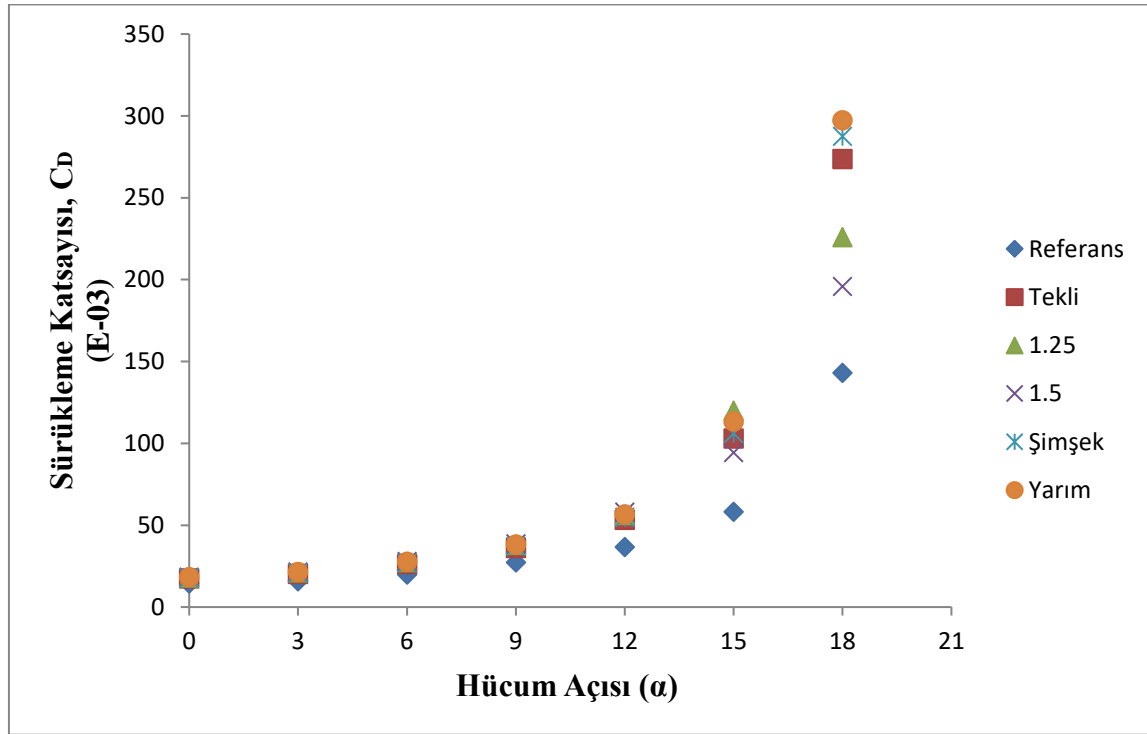


Şekil 3.50. SST k- ω türbülans modelinde C_L katsayısının α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması

Gurney flap yapısının geometrisinde yapılan değişikliklerin kanatta meydana gelen C_L katsayısına etkisinin SST k- ω türbülans modeli ile incelenmesi Şekil 3.50'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde Referans olarak adlandırılan Gurney flap yapısız kanat profili ile, literatürde klasik Gurney flap yapısı olarak geçen Gurney flap yapısının C_L katsayısı eğrisinin benzer davranışlar gösterdiği gözlemlenmiştir. Her iki kanat profili için de maksimum C_L katsayısı değeri $\alpha=15^\circ$ 'de yaklaşık 1,5 değerinde gerçekleşmiştir. Referans kanat profiline eklenen Gurney flap yapısının C_L katsayısını artırdığı $\alpha=0^\circ$ 'de Gurney flap yapılı kanat profillerinin kaldırma katsayılarının yaklaşık 0,3 değerinde olduğu durumundan çıkarılmaktadır.

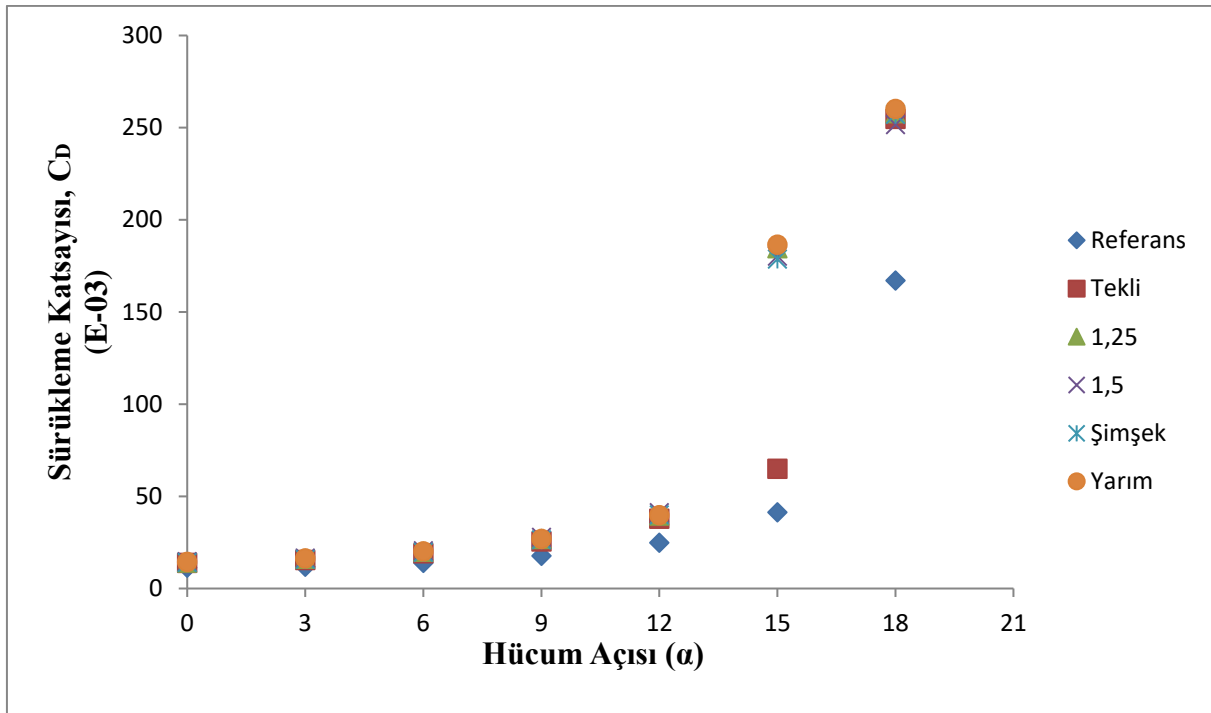
İncelenen 1,25;1,5;şimşek tarzı ve yarım Gurney flap yapılarının C_L katsayılarının incelenmesiyle dört Gurney flap yapısının da $\alpha=9^\circ$ 'ye kadar yaklaşık olarak aynı sonuçları

verdiği, $\alpha=12^\circ$ 'de ise küçük farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. $\alpha=15^\circ$ ve $\alpha=18^\circ$ 'lerde tekrar benzer sonuçlar vermiştir. SST k- ω türbülans modeline göre maksimum C_L katsayısı yaklaşık 1,5 değerinde yarım Gurney flap yapısının $\alpha=12^\circ$ 'de aldığı değerde klasik Gurney flap yapısı için $\alpha=15^\circ$ 'de meydana gelmiştir. Diğer Gurney flap yapısı çeşitlerinde ise maksimum C_L katsayısını yarım Gurney flap yapısı $\alpha=12^\circ$ 'de elde etmiştir. Tüm kanat profilleri $\alpha=18^\circ$ 'de yaklaşık aynı C_L katsayısı değerine sahip olmuştur.



Şekil 3.51. S-A türbülans modelinde C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması

Farklı geometrilere sahip Gurney flap yapıları kanat profillerinin S-A türbülans model kullanılarak elde edilen C_D katsayısı değerlerinin karşılaştırılması, Şekil 3.51'de gösterilmiştir. Düşük α açılarında, referans kanat profili hariç diğer tüm Gurney flap yapılarının C_D katsayısı değerlerinin birbirine yakın oldukları görülmektedir. Şekilde dikkat çekici bir nokta ise referans kanat profil C_D katsayısının, kanat profiline eklenen Gurney flap yapısına bağlı olarak özellikle yüksek α açılarında değişime uğramasıdır. En fazla C_D katsayısı değeri $\alpha=18^\circ$ 'de diyagonal olarak kesilmiş klasik Gurney flap yapısı olan yarım Gurney flap yapısında $\alpha=18^\circ$ 'de yaklaşık olarak 0,3 değerinde elde edilmiştir. Daha sonra ise şimşek tarzı Gurney flap ve klasik Gurney flap yapıları sırasıyla yaklaşık olarak 0,28 ve 0,27 değerleri ile en yüksek C_D katsayısı değerleri elde etmiştir.

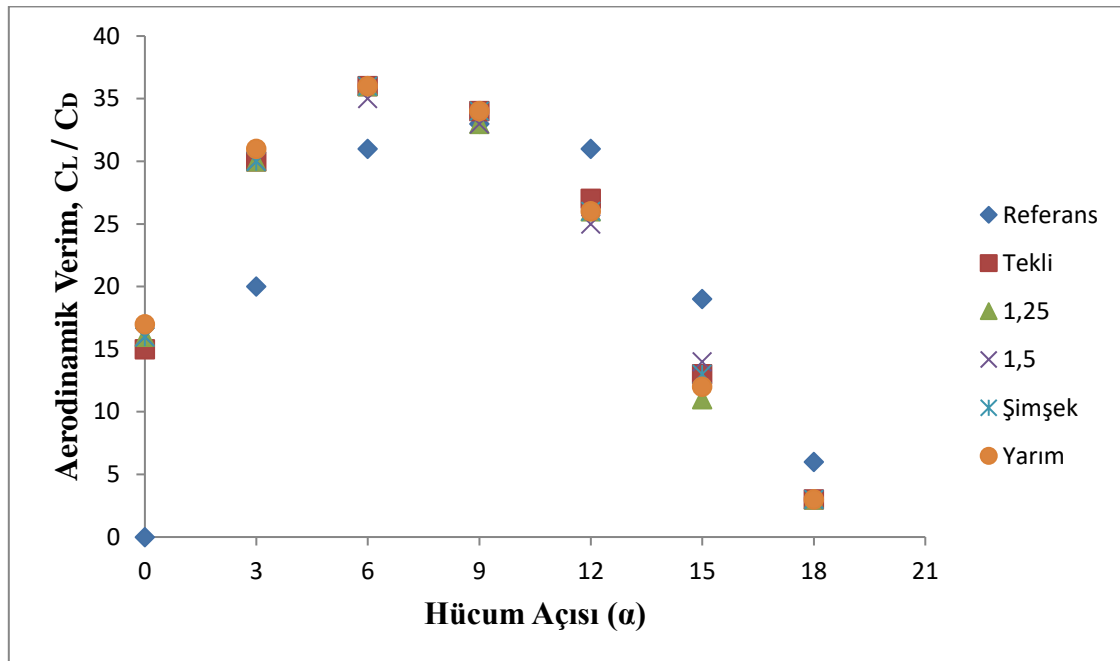


Şekil 3.52. SST türbülans modelinde C_D katsayısının α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması

SST $k-\omega$ türbülans modelinin, farklı Gurney flap geometrilerine sahip kanat profillerine ait C_D katsayısı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.52’de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde $\alpha=0^\circ$ ve $\alpha=3^\circ$ açılarında referans kanat profili de dahil olmak üzere tüm kanat profillerinin C_D katsayısı değerlerinin benzer olduğu anlaşılmaktadır. $\alpha=3^\circ$ ’den itibaren referans kanat profiline ait C_D katsayısı ile diğer kanat profillerinin C_D katsayısı değerlerinden farklılık göstermeye başlamıştır. Maksimum C_D katsayısı değeri yarım Gurney flap yapısına sahip kanat profilinde $\alpha=18^\circ$ ’de yaklaşık 0,27 değerinde elde edilmiştir. Bu durum S-A türbülans modelinde de gerçekleşmiştir. Şekilde dikkat çekici unsur olarak, referans kanat profiline ait C_D katsayısı değerinin hızlı artışı $\alpha=18^\circ$ ’de gerçekleşirken, klasik Gurney flap yapısının ise $\alpha=12^\circ$ ’de artış yaşamaya başlamış ve $\alpha=18^\circ$ ’de hızlı artışı yaşamış olmasıdır. Diğer Gurney flap yapıları içinse $\alpha=12^\circ$ ’de hızlı artışın başlamış ve bu durumun $\alpha=18^\circ$ ’ye kadar farklı miktarlarda artış yaşanmış olması gözlemlenmiştir.

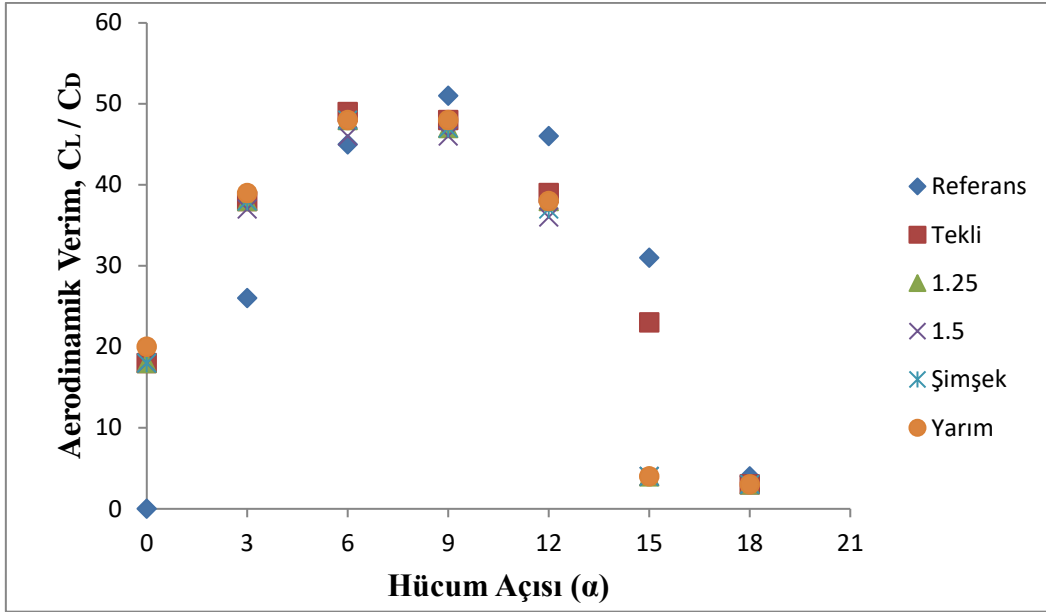
Aerodinamik verimin S-A türbülans modeline göre incelenmesi Şekil 3.53’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde maksimum verim $\alpha=6^\circ$ ’de klasik Gurney flap yapısı ve yarım Gurney flap yapılarında yaklaşık 37 değerinde gerçekleşmiştir. $\alpha=0^\circ$ ve $\alpha=3^\circ$ ’de sırasıyla 17 ve 30 değeri ile aerodinamik verimin en fazla olduğu kanat profili yarım Gurney flap yapısına ait kanat profili olmuştur. Fakat $\alpha=6^\circ$ ’deki elde edilen yaklaşık 35 aerodinamik verim değeri

ile klasik Gurney flap yapısı ile yarım Gurney flap yapısındaki eşitliğinden itibaren $\alpha=18^\circ$ 'e kadar klasik Gurney flap yapısına ait aerodinamik verim maksimum değere sahip olmuştur. $\alpha=18^\circ$ 'de ise referans kanat profili hariç diğer tüm farklı Gurney flap yapısına sahip kanat profilleri yaklaşık olarak 3 değerinde aynı aerodinamik verime sahip olmuştur. Referans kanat profili ise maksimum aerodinamik verim değerine $\alpha=9^\circ$ 'de sahip olmuş ve $\alpha=18^\circ$ 'de karşılaştırılması yapılan tüm kanat profilleri içerisinde yaklaşık 4 değeri ile maksimum aerodinamik verime sahip olmuştur.



Şekil 3.53. S-A türbülans modelinde aerodinamik verim değerlerinin α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması

Farklı kanat profillerine ait aerodinamik verim değerinin SST k- ω türbülans modeli ile karşılaştırılması Şekil 3.54'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde maksimum aerodinamik verim değerinin $\alpha=9^\circ$ 'de referans kanat profilinde 50 değerinde gerçekleşmiş olduğu gözlemlenmiştir. Klasik Gurney flap yapısı ile yarım Gurney flap yapısı $\alpha=9^\circ$ 'ye kadar benzer aerodinamik verim değerine sahip olmuş fakat yarım Gurney flap yapısı, 1,25 ve 1,5 Gurney flap yapılarıyla birlikte $\alpha=12^\circ$ 'den itibaren hızlı bir düşüşe sahip olmuştur. $\alpha=18^\circ$ 'de tüm kanat profilleri, yaklaşık olarak 4 değeri ile aynı aerodinamik verimine sahip olmuştur.

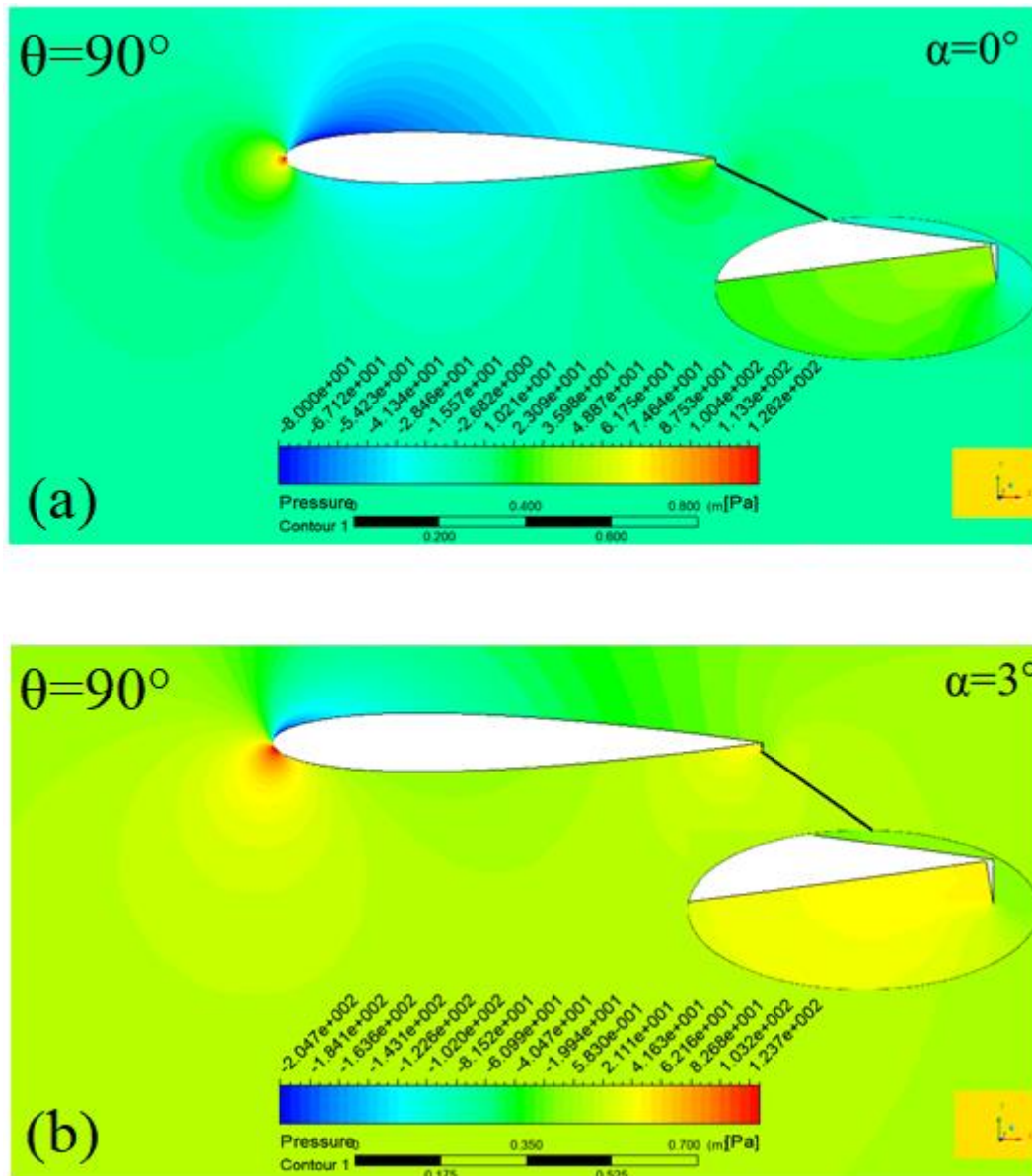


Şekil 3.54. SST türbülans modelinde aerodinamik verim değerlerinin α açısıyla değişiminin farklı Gurney flap geometrilerinde karşılaştırılması

Yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profilinin aerodinamik özellikleri ile tekli Gurney flap yapılı kanat profili ve referans kanat profli aerodinamik özellikleri incelendiğinde, yarım Gurneyflap yapılı kanat profilinin özellikle düşük hücum açılarında daha yüksek kaldırma katsayısına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Referans kanat profilinin firar kenarına eklenen yarı Gurney flap yapısı ile kaldırma katsayısındaki artış $\alpha=3^\circ$ 'de %104,149 olarak gerçekleşmiştir. $\alpha=6^\circ$ 'de %58,035 olarak meydana gelen kaldırma katsayısındaki artış $\alpha=9^\circ$ 'de %42,092 olarak gerçekleşmiştir. $\alpha=12^\circ$ 'de %32,638'lik bir artış, $\alpha=18^\circ$ 'de ise %9,41'lik bir artış gözlemlenmiştir. Referans kanat profiline göre, yarım Gurney flap yapısı için $\alpha=15^\circ$ 'de diğer hücum açılarının aksine kaldırma katsayısında azalış meydana gelmiştir. Bu hücum açısında yarım Gurney flap yapısına sahip kanat profilinde, referans kanat profiline göre %33,093 azalış gerçekleşmiştir. Yarım Gurney flap yapısı ile klasik Gurney flap yapısı arasındaki kaldırma katsayısı incelendiğinde yarım Gurney flap yapısının kullanımı ile birlikte özellikle düşük hücum açılarında artış meydana gelmiştir. Hücum açısının $\alpha=0^\circ$ değerinde %15,92'lik ve $\alpha=3^\circ$ değerinde ise %7,38'lik bir artış meydana gelmiştir. Hücum açısının $\alpha=6^\circ$ 'ye eşit olduğunda %5,33'lük, $\alpha=9^\circ$ 'ye eşit olduğunda % 4,44'lük artış, $\alpha=12^\circ$ değerinde %4,39'lük ve $\alpha=18^\circ$ değerinde ise %2,83'lük bir artış meydana gelmiştir. Kanat hücum açısının $\alpha=15^\circ$ 'ye eşit olduğu durumda %42,8'lik azalış meydana gelmiştir.

3.2.1. Basınç Dağılımı

$\theta = 90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profili üzerindeki basınç dağılımının α açısıyla değişiminin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede kanat üzerinde gerçekleşen aerodinamik etki ve akış yapısı daha iyi gözlemlenmiştir.



Şekil 3.55. $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait basınç dağılımı (a) $\alpha=0^\circ$ (b) $\alpha=3^\circ$

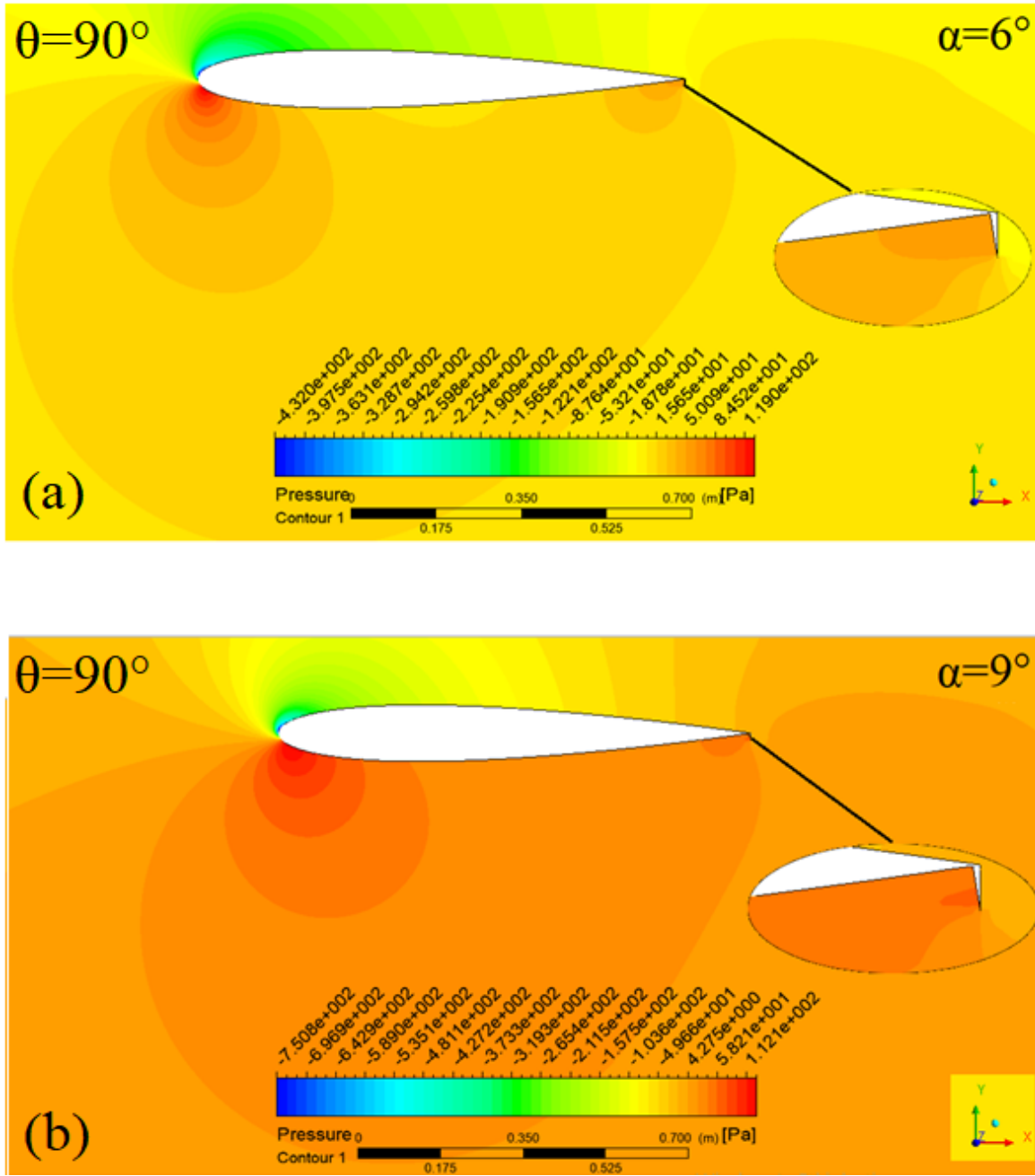
$\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapısına ait $\alpha=0^\circ$ 'deki basınç dağılımı Şekil 3.55a'da gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde akışkanın kanat yüzeyine çarptığı bölgede maksimum

basınç değeri oluşmuştur. Kanat üzerinde düşük basınç alanı oluşmuştur. Gurney flap yukarı akımında, aşağı akımına göreceli olarak yüksek basınç alanı oluşmuştur.

Hücum açısının $\alpha=3^\circ$ olduğu ve $\theta=90^\circ$ olduğu yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline ait basınç dağılımı Şekil 3.55b'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde kanat üst yüzeyinde $\alpha=0^\circ$ 'deki kanat üst yüzeyine göre düşük basınç alanı daha az gerçekleşmiştir. $\alpha=3^\circ$ 'de firar kenarında bulunan yarım Gurney flap aşağı akımında, yukarı akımına göreceli olarak daha düşük basınç değerleri meydana gelmiştir. Yarım Gurney flap yapıları kanat profiline oluşan maksimum basınç değeri $\alpha=0^\circ$ 'de meydana gelen maksimum basınç değerinden düşük değerde elde edilmiştir. $\alpha=3^\circ$ 'de meydana gelen minimum basınç değeri, $\alpha=0^\circ$ 'de gerçekleşen minimum basınç değerinden daha düşük gerçekleşmiştir.

$\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline hücum açısının $\alpha=6^\circ$ değerindeki basınç dağılımı Şekil 6.56a'da gösterilmiştir. Gurney flap arkasındaki basınç dağılımı, Gurney flap yukarı akımındaki basınç dağılımından daha düşük değerlerde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Basınç dağılımı incelendiğinde hücum kenarında kanat üzerinde meydana gelen düşük basınç bölgesi $\alpha=3^\circ$ 'de aynı bölgede meydana gelen düşük basınç bölgesinden daha azdır. Kanat üzerinde meydana gelen maksimum basınç değeri $\alpha=3^\circ$ 'de meydana gelen maksimum basınç değerinden düşük değerde oluşmuştur. $\alpha=3^\circ$ ve $\alpha=6^\circ$ Gurney flap yapıları kanat profillerinde meydana gelen minimum basınç değeri incelendiğinde $\alpha=6^\circ$ 'de daha düşük değer olduğu görülmektedir.

Hücum açısının $\alpha=9^\circ$ olduğu $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline ait basınç dağılımı Şekil 6.56b'de verilmiştir. Gurney flap aşağı akımında, yukarı akımına göre daha düşük basınç bölgeleri oluşmuştur. Kanat hücum kenarında meydana gelen düşük basınç alanı, $\alpha=6^\circ$ 'de kanat hücum kenarında meydana gelen düşük basınç bölgesinden daha küçük oluşmuştur. Hücum açısının 9° olduğu değere sahip olan kanat profiline ait maksimum basınç değeri $\alpha=6^\circ$ 'deki maksimum basınç değerinden daha az değerde gerçekleşmiştir. Minimum basınç değeri, $\alpha=9^\circ$ 'de, $\alpha=6^\circ$ 'ye kıyasla daha düşük değerde olmuştur.



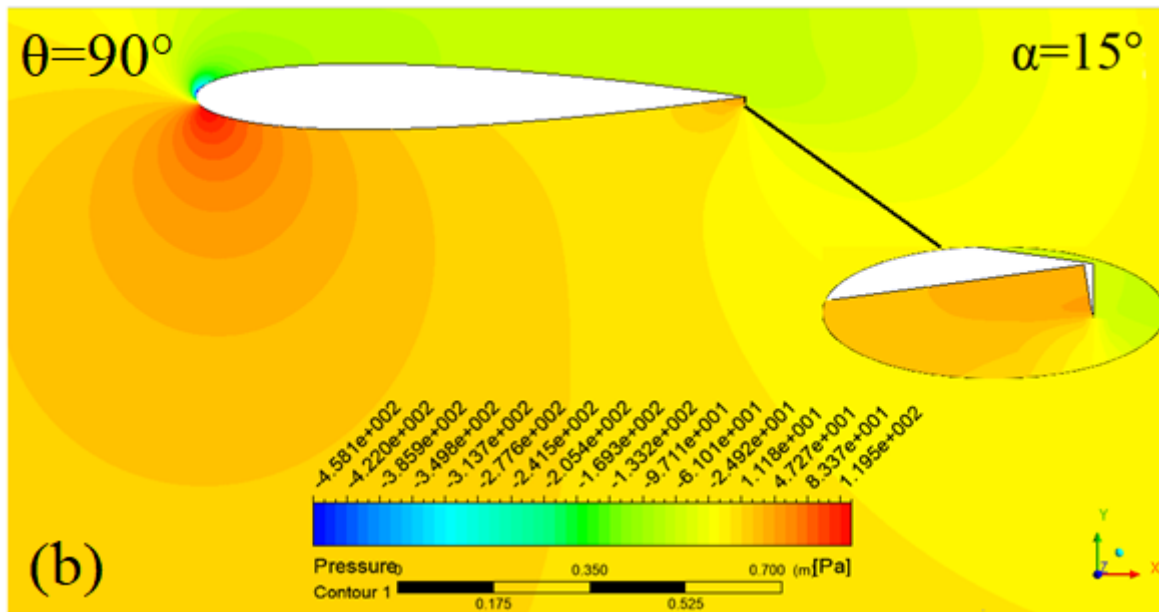
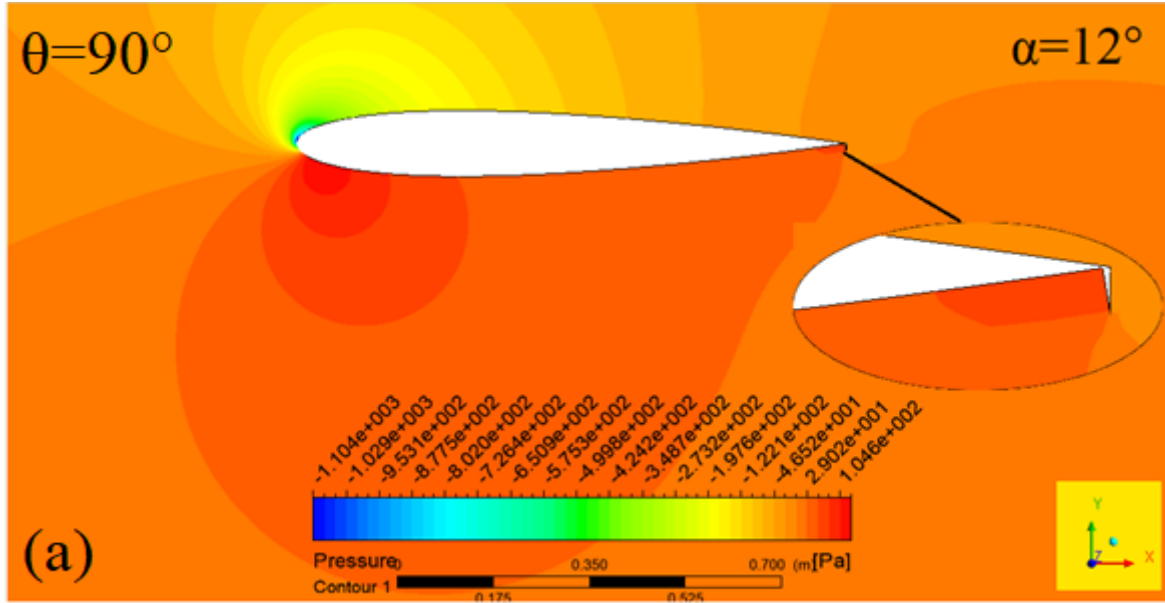
Şekil 3.56. $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait basınç dağılımı (a) $\alpha=6^\circ$ (b) $\alpha=9^\circ$

Hücum açısının $\alpha=12^\circ$ 'de olduğu $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin basınç dağılımı Şekil 3.57a'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde Gurney flap yukarı akımında meydana gelen basınç dağılımı aşağı akımında meydana gelen basınç dağılımından daha yüksek değerde gerçekleşmiştir. Kanat alt yüzeyinde kanat firar kenarındaki Gurney flap yapısından hücum açısına doğru ilerledikçe basınç değeri artarken, kanat üst yüzeyinde firar kenarından hücum kenarına ilerledikçe basınç değeri azalmıştır. $\alpha=12^\circ$ 'de meydana gelen maksimum basınç değeri, $\alpha=9^\circ$ 'de meydana

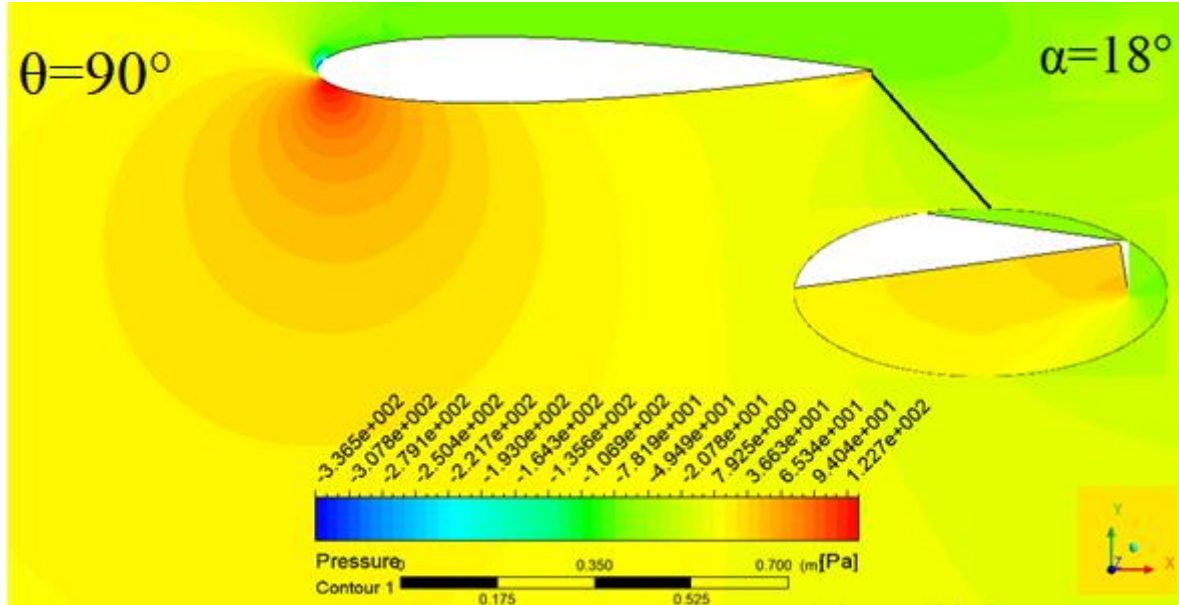
gelen maksimum basınç değerinden daha düşük değer almıştır. Minimum basınç değeri her iki hücum açısı kıyaslandığında $\alpha=12^\circ$ 'de daha düşük değer almıştır.

$\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=15^\circ$ 'deki basınç dağılımı Şekil 3.57b'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde maksimum basınç değerinin $\alpha=12^\circ$ 'ye göre artış göstermiştir. Minimum basınç değerinde de $\alpha=12^\circ$ 'ye göreceli olarak artış gerçekleşmiştir. NACA 0012 kanat profili üzerindeki basınç dağılımı incelendiğinde, kanat üst yüzeyindeki basınç bölgesinin $\alpha=12^\circ$ 'ye göre azalma gözlemlenmiştir. Kanat üst yüzeyinde gerçekleşen basınç dağılımı, $\alpha=12^\circ$ 'de gerçekleşen basınç dağılımına göre daha homojen yapıda olmuştur. Kanat alt yüzeyinde ise veter boyunca $\alpha=12^\circ$ 'ye göre artış yaşanmıştır. Gurney flap yakınlarındaki basınç dağılımı incelendiğinde, kanat orta bölgesine kıyasla yarım Gurney flap yapısı yukarı akımında basınç artışı gerçekleşmiştir. Yarım Gurney flap boyunca gerçekleşen basınç dağılımında ise Gurney flap sivri kenarına yakın bölgede, Gurney flap yapısının NACA 0012 kanat profiline eklendiği bölgeye kıyasla daha yüksek basınç değeri elde edilmiştir.

Hücum açısı değerinin $\alpha=18^\circ$ 'ye eşit olduğu $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin basınç dağılımı Şekil 3.58'da gerçekleşmiştir. Şekilden elde edile maksimum basınç değerinin $\alpha=15^\circ$ 'ye göre daha yüksek değere eşit olduğu anlaşılmıştır. Kanat üst yüzeyin hücum kenarından firar kenarına ve yarım Gurney flap arkasına uzanan negatif basınç bölgesi gözlemlenmiştir. Kanat alt yüzeyinde, hücum kenarında gerçekleşen maksimum basınç değeri firar kenarına ilerledikçe azalmış ve yarım Gurney flap yapısının yukarı akım bölgesine yakın bölgede negatif değer almıştır. Bu bölgeden kanat firar kenarında bulunan yarım Gurney flap yapısına ilerledikçe basınç değerinde artış gözlemlenmiştir. Yarım Gurney flap boyunca olan basınç dağılımı incelendiğinde $\alpha=15^\circ$ 'de gerçekleştiği gibi yarım Gurney flap yapısının sivri kenarına yakın bölgedeki basınç değeri kanada yakın bölgedeki basınç değerinden daha yüksek olmuştur.



Şekil 3.57. $\theta=90^\circ$ 'lik yarımlı Gurney flap yapıları NACA 0012 kanat profiline ait basınç dağılımı (a) $\alpha=12^\circ$ (b) $\alpha=15^\circ$



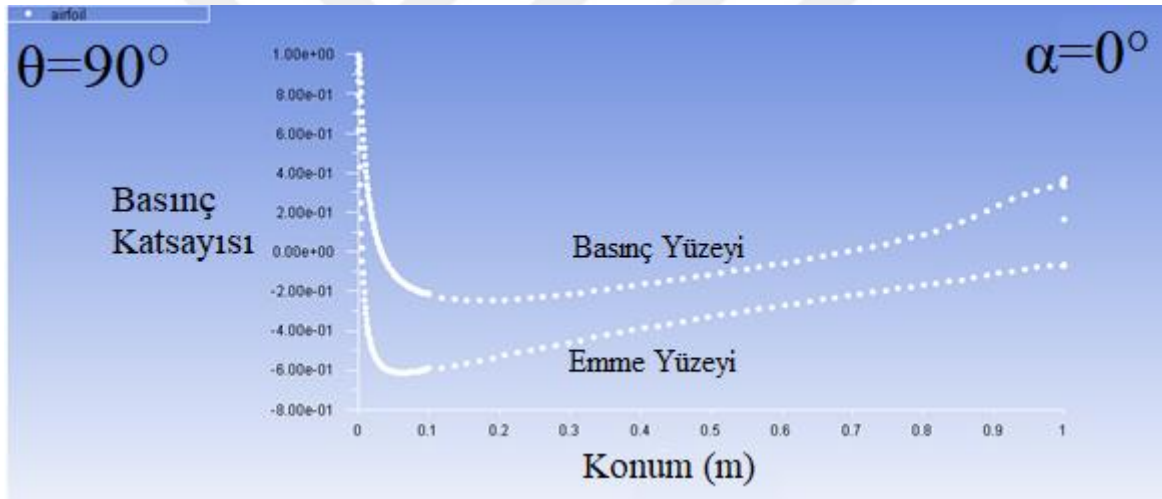
Şekil 3.58. $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait $\alpha=18^\circ$ 'deki basınç dağılımı

Genel olarak $\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profili üzerinde gerçekleşen basınç dağılımı için $\alpha=0^\circ$ ile $\alpha=15^\circ$ değerleri arasında α açısının artması ile birlikte, kanat üst yüzeyinde meydana gelen minimum basınç bölgesi küçülmektedir. Bu açılar arasında ayrıca α açısının artması ile kanat üst yüzeyinde meydana gelen basınç dağılımı için hücum kenarından firar kenarına doğru basınç değerinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Neredeyse tüm α açılarında yarım Gurney flap yapısının sivri kenarına doğru basınç artışı gözlemlenmiştir.

3.2.2. Basınç Katsayısı

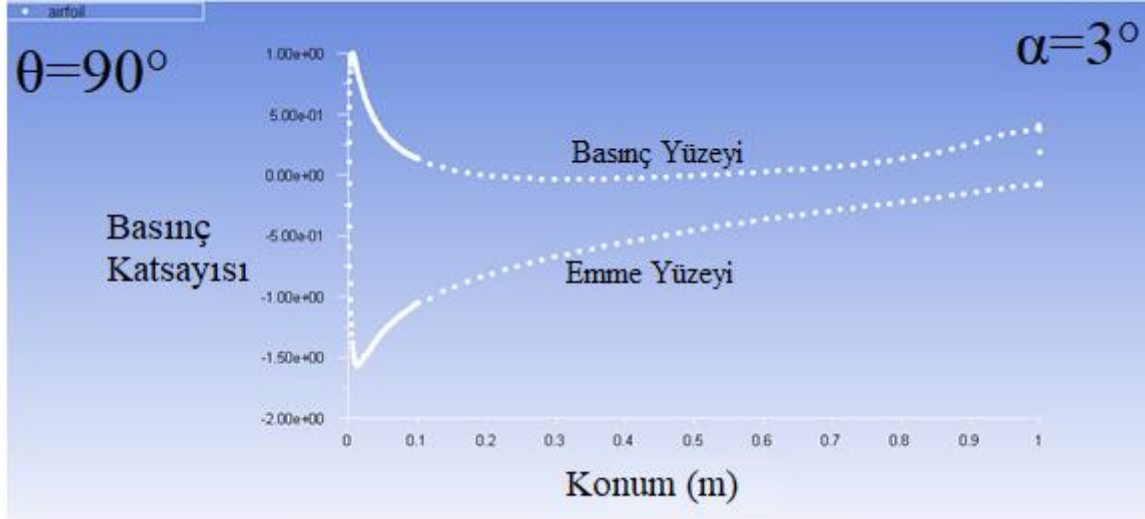
Klasik Gurney flap olarak adlandırılan flap yapısının diyagonal olarak kesilmiş halinin NACA 0012 kanat profilinin firar kenarına eklenmesi ile kanat profilinde gerçekleşen basınç dağılım katsayısının incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Hücum açısının $\alpha=0^\circ$ 'ye eşit olduğu yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin basınç katsayısı Şekil 3.59'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde akışın kanat üzerine çarptığı bölgede maksimum basınç katsayısı elde edilmiştir. Veter boyunca 0 m ile 0,1m arasında her iki yüzeyde de basınç katsayısında farklı oranlarda logaritmik düşüş yaşanmıştır. Kanat hücum kenarından 0,1m'den sonraki uzunluklarda her iki kanat yüzeyinde de basınç katsayılarında farklı oranlarda artış gözlemlenmiştir.



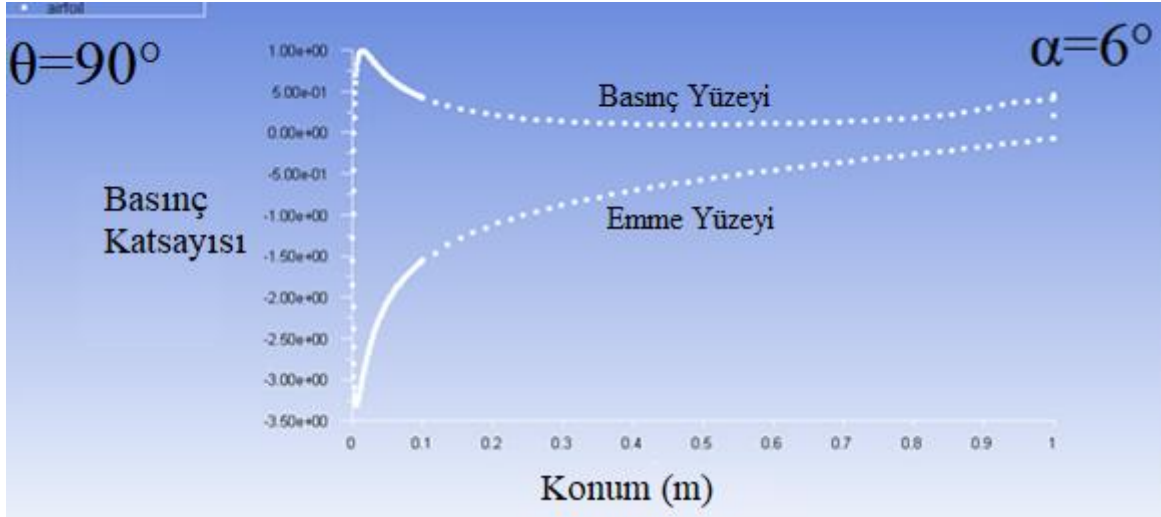
Şekil 3.59. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=0^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Hücum açısının $\alpha=3^\circ$ 'ye eşit olduğu yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin veter boyunca basınç katsayısında meydana gelen değişiklik Şekil 3.60'ta verilmiştir. Şekil incelendiğinde maksimum basınç katsayısının veterde 0m'den farklı bir pozisyonda meydana geldiği ve daha sonra 0,1m'ye kadar logaritmik azalış göstermiştir. Minimum basınç katsayısı 0,1 m'ye kadar logaritmik artış göstermiştir. Özellikle 0,1m'den itibaren kanat alt ve üst yüzeylerinde gerçekleşen basınç katsayı değerlerinin firar kenarına yaklaştıkça birbirine yakın değerler vermiştir. Kanat üst yüzeyinde gerçekleşen minimum negatif basınç katsayısı $\alpha=0^\circ$ 'deki minimum negatif basınç katsayı değerinden daha düşük gerçekleşmiştir.



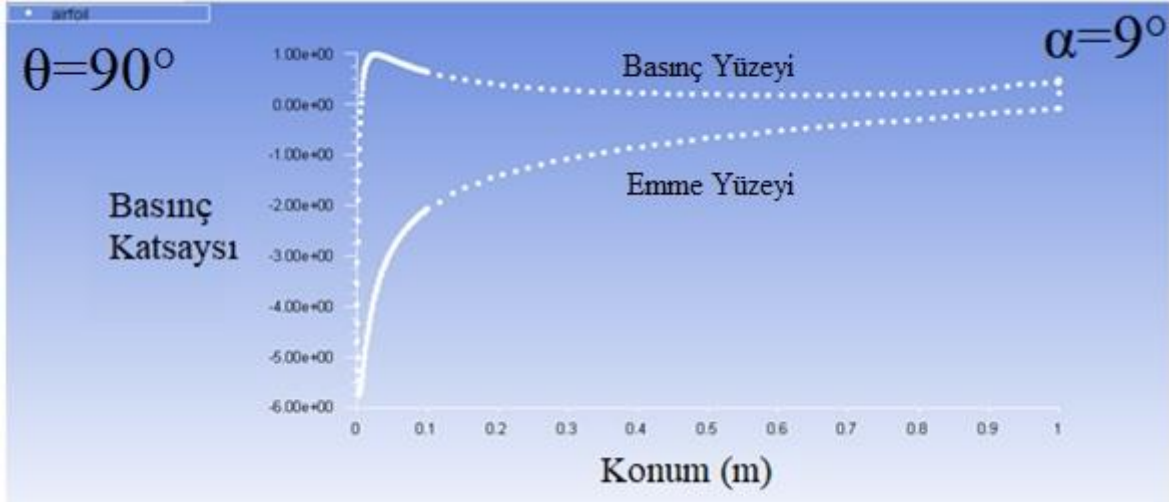
Şekil 3.60. Yarı Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=3^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Yarı Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=6^\circ$ 'deki veter boyunca gerçekleşen basınç katsayısı dağılımı Şekil 3.61'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde maksimum pozitif basınç katsayısı veterde 0m'den farklı bir pozisyonda gerçekleşmiştir. Elde edilen maksimum pozitif basınç katsayısı elde edilen değerden 0,1m'ye kadar logaritmik azalış gözlemlenmiştir. Bu değerden itibaren 0,8m'ye kadar bir miktar azalış göstermiş ve 0,8m'den itibaren tekrar artış göstermiştir. Kanat üst yüzeyinde meydana gelen minimum negatif basınç katsayısının elde edildiği pozisyondan itibaren 0,1m'ye kadar logaritmik artış göstermiştir. Bu pozisyondan itibaren kanat üst yüzeyindeki basınç katsayısı artış hızı azalmıştır. Bu hücum açısında elde edilen minimum basınç katsayısı değeri $\alpha=3^\circ$ 'de elde edilen minimum basınç katsayısı değerinden daha düşük gerçekleşmiştir. 0,1m'den itibaren kanat alt ve üst yüzeyinde elde edilen basınç katsayısı değerleri, $\alpha=3^\circ$ 'de kanat üst ve alt yüzeyinde elde edilen basınç katsayısı değerlerine göre daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.



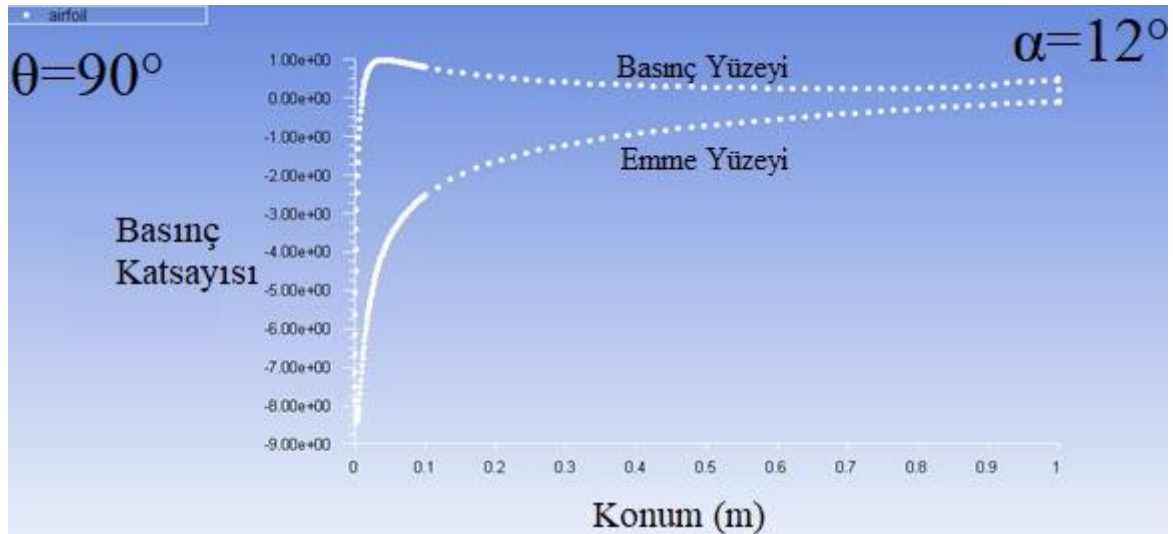
Şekil 3.61. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=6^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Hücum açısının $\alpha=9^\circ$ 'ye eşit olduğu yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline ait veter boyunca basınç katsayısı değerlerinin dağılımı Şekil 3.62'de gerçekleşmiştir. Şekil incelendiğinde kanat alt yüzeyinde maksimum pozitif basınç katsayısı değerinden sonra 0,1m'ye kadar gerçekleşen basınç katsayısındaki azalış $\alpha=6^\circ$ 'den daha düşük gerçekleşmiştir. Bu basınç düşüşü $\alpha=6^\circ$ 'de gerçekleştiği gibi logaritmik gerçekleşmiştir. Gerçekleşen logaritmik azalışın ardından, yaklaşık 0,8m'ye kadar daha düşük oranda azalış gerçekleşmiştir. Kanat üst yüzeyinde meydana gelen minimum negatif basınç katsayısı değerinden itibaren 0,1m'ye kadar logaritmik bir artış yaşanmıştır. Bu pozisyondan itibaren kanat firar kenarına kadar basınç katsayısında artış oluşmuştur. Kanat alt ve üst yüzeyinde özellikle 0,1m'den itibaren firar kenarına doğru basınç katsayıları değerleri birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Meydana gelen bu durum $\alpha=6^\circ$ 'de gerçeklen duruma kıyasla, basınç katsayısı değerlerinin $\alpha=9^\circ$ 'de daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. $\alpha=9^\circ$ 'de gerçekleşen minimum negatif basınç katsayısı değeri, $\alpha=6^\circ$ 'de meydana gelen minimum negatif basınç katsayısı değerinden daha düşük olmuştur.



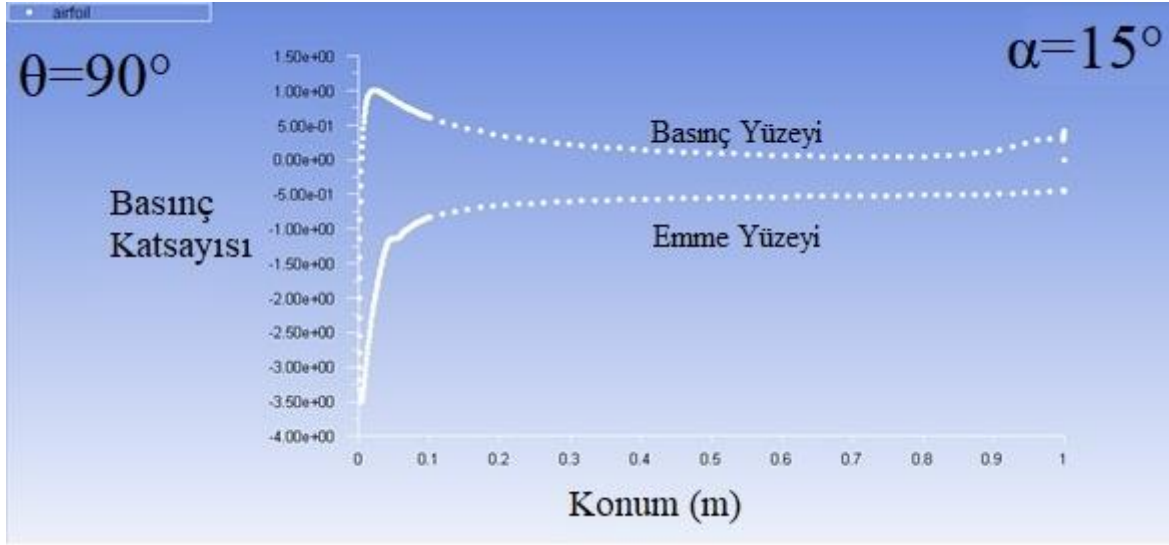
Şekil 3.62. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=9^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=12^\circ$ 'de veter boyunca meydana gelen basınç katsayısı değeri Şekil 3.63'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde maksimum pozitif basınç katsayısı değerindeki 0,1m'ye kadarki düşüş, $\alpha=9^\circ$ 'de meydana gelen maksimum pozitif basınç katsayısı değerindeki düşüşten daha az gerçekleşmiştir. Maksimum pozitif basınç katsayısında meydana gelen 0,1m'den başlayan düşüş yaklaşık olarak 0,8m'ye kadar devam etmiştir. Minimum negatif basınç katsayısında 0,1m'ye kadar logaritmik artış gerçekleşmiştir. Bu veter pozisyonundan kanat firar kenarına kadar gerçekleşen artış oranı, 0m ile 0,1m arasında gerçekleşen artıştan daha düşük gerçekleşmiştir. 0,1m'den sonra kanat üst yüzeyinde ve alt yüzeyinde gerçekleşen basınç katsayılarındaki değişim, $\alpha=9^\circ$ 'de gerçekleşen değişim ile kıyaslandığında $\alpha=12^\circ$ 'de kanat alt ve üst yüzeylerdeki basınç dağılımının birbirine daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. $\alpha=12^\circ$ 'de meydana gelen minimum negatif basınç katsayısı değeri, $\alpha=9^\circ$ 'de kanat üzerinde oluşan minimum basınç katsayısı değerinden daha düşük değerde elde edilmiştir.



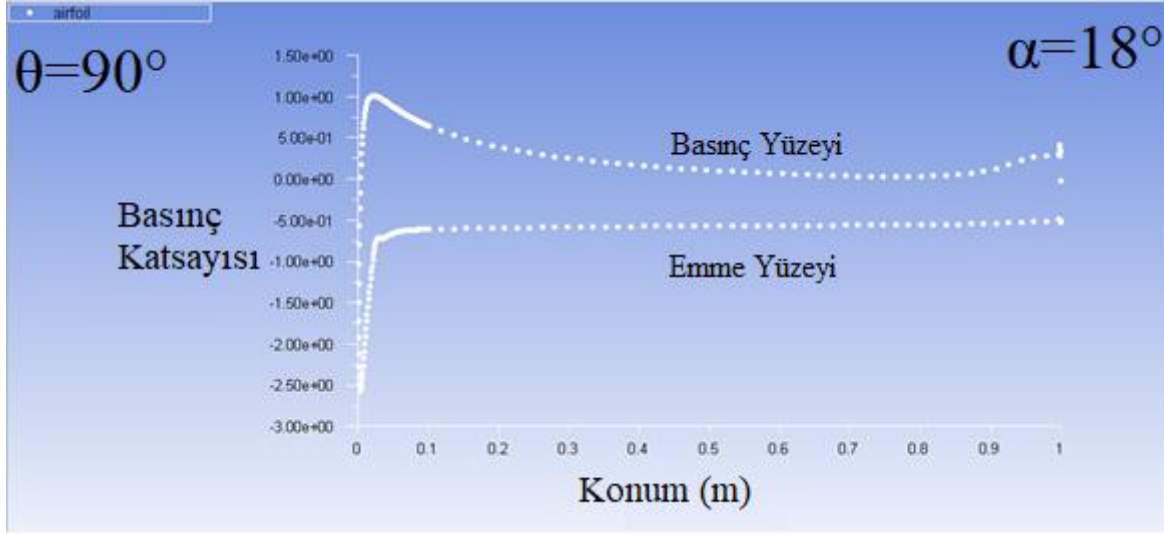
Şekil 3.63. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=12^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Hücum açısının $\alpha=15^\circ$ 'ye eşit olduğu yarı Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin veteri boyunca gerçekleşen basınç katsayısı dağılımı Şekil 3.64'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde minimum negatif basınç katsayısı değerinin 0,1m'ye kadar logaritmik artış gösterdiği, 0,1m'den kanat firar kenarına kadar oldukça düşük düzeyde artış gerçekleşmiştir. Maksimum pozitif basınç katsayısında meydana gelen ve 0,1m'ye kadar logaritmik olarak gerçekleşen düşüş, $\alpha=12^\circ$ 'de gerçekleşen maksimum pozitif basınç katsayısındaki düşüşten daha yüksek oranda gerçekleşmiştir. $\alpha=15^\circ$ 'de kanat alt yüzeyinde yaklaşık olarak 0,8m'ye kadar düşüş gerçekleşmiş, 0,8m'den itibaren kanat firar kenarına kadar basınç artışı görülmüştür.



Şekil 3.64. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=15^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=18^\circ$ 'de veter üzerindeki basınç katsayısı değeri Şekil 3.65'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde minimum negatif basınç katsayısında meydana gelen artış 0,1m'den daha düşük, 0m'ye daha yakın bir pozisyona lineer biçimde artış göstermiştir. Maksimum değeri aldığı anda basınç katsayısı kanat firar kenarına kadar sabit kalmıştır. $\alpha=18^\circ$ 'de elde edilen minimum negatif basınç değeri $\alpha=15^\circ$ 'de elde edilen minimum negatif basınç değerinden daha yüksek değerde gerçekleşmiştir. Maksimum pozitif basınç katsayı değerinde 0,1m'ye kadar logaritmik düşüş gerçekleşmiştir. Basınç katsayısındaki düşüş hızının azalmaya başladığı 0,1m'den itibaren 0,8m'ye kadar azalış devam etmiştir. Kanat veterinin 0,8m'den itibaren kanat üst yüzeyi için basınç katsayısında artış gözlemlenmiştir. $\alpha=15^\circ$ 'de kanat orta kısımlarında gerçekleşen kanat üst yüzeyi ile alt yüzeyi arasındaki basınç katsayısı değerleri arasındaki fark ile $\alpha=18^\circ$ 'deki yüzeyler arasındaki basınç katsayısı değerleri arasındaki fark karşılaştırıldığında, $\alpha=18^\circ$ 'deki farkın göreceli olarak daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

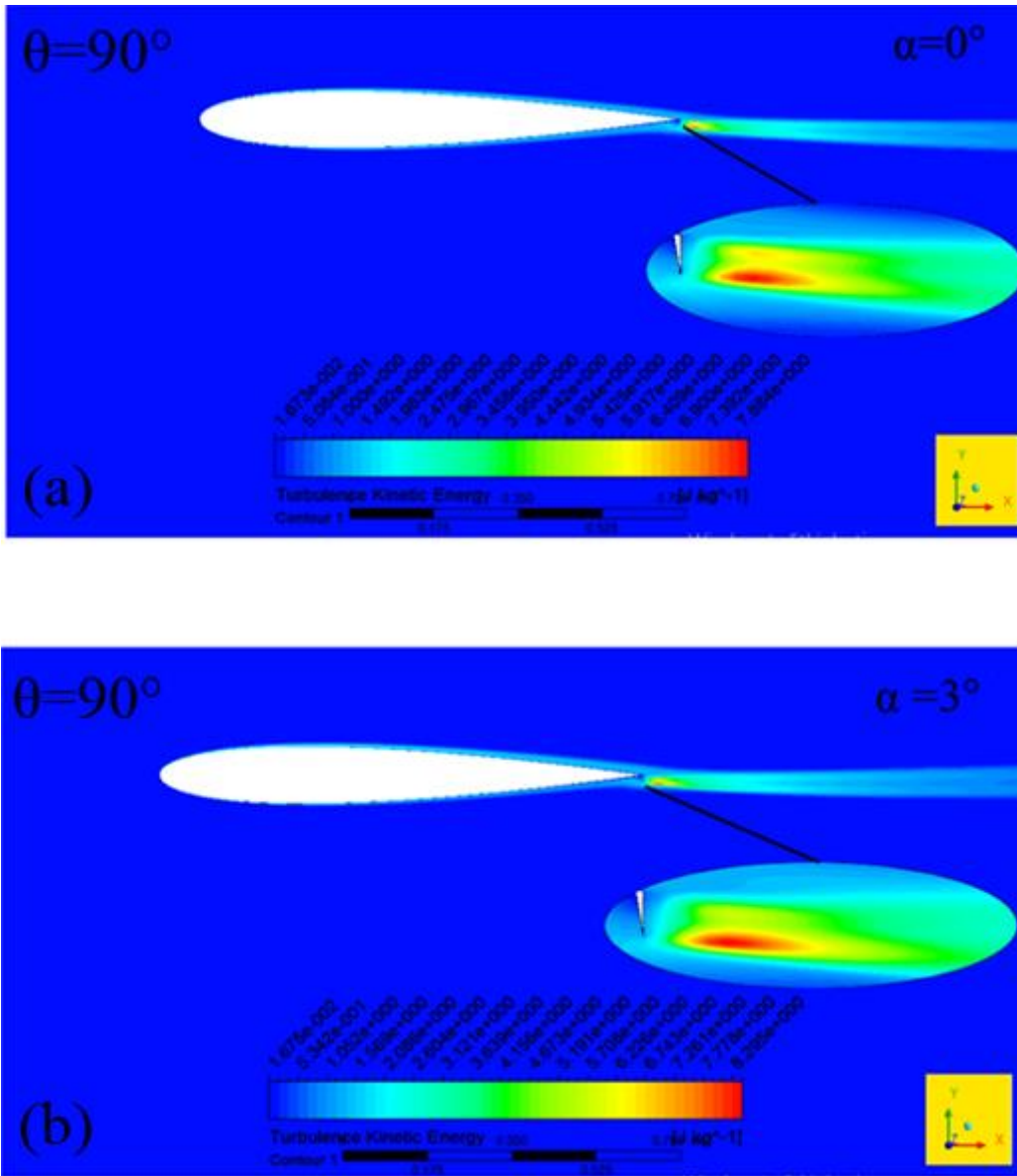


Şekil 3.65. Yarı Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=18^\circ$ 'deki basınç katsayısı

Yarı Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin veteri boyunca α açısının değişimi ile basınç katsayısı dağılımında meydana gelen değişim incelendiğinde, $\alpha=0^\circ$ 'de kanat alt yüzeyindeki maksimum pozitif basınç katsayısı değerindeki ve minimum negatif basınç değerindeki düşüşün logaritmik bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Bu hücum açısında 0,1m'den sonra kanat firar kenarına kadar her iki yüzeyde farklı oranlarda olmak üzere artışın meydana geldiği anlaşılmıştır. $\alpha=3^\circ$ ile $\alpha=15^\circ$ arasındaki açılarda maksimum pozitif basınç katsayısı değerinden sonra logaritmik düşüş, minimum negatif basınç katsayısı değerinden sonra ise logaritmik artış gözlemlenmiştir. $\alpha=18^\circ$ 'de ise maksimum basınç katsayısı değerinden sonra gerçekleşen logaritmik düşüş, $\alpha=15^\circ$ 'de gerçekleşen logaritmik düşüşten daha fazla gerçekleşmiştir. Minimum negatif basınç katsayısından sonra lineer artış gözlemlenmiştir. Artışın pik yaptığı pozisyondan itibaren firar kenarına kadar neredeyse sabit basınç katsayısı elde edilmiştir.

3.2.3. Türbülans Kinetik Enerjisi (TKE) Dağılımı

Fırar kenarında yarım Gurney flap yapısının bulunduğu NACA 0012 kanat profiline ait TKE dağılımının α açısı ile değişimi incelenmiştir. Bu sayede hücum açısının değişimi ile kanat üzerindeki akışta meydana gelen TKE değişimleri net bir şekilde gözlemlenmiştir.



Şekil 3.66. $\theta=90^\circ$ 'lik Yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait TKE dağılımı (a) $\alpha=0^\circ$ (b) $\alpha=3^\circ$

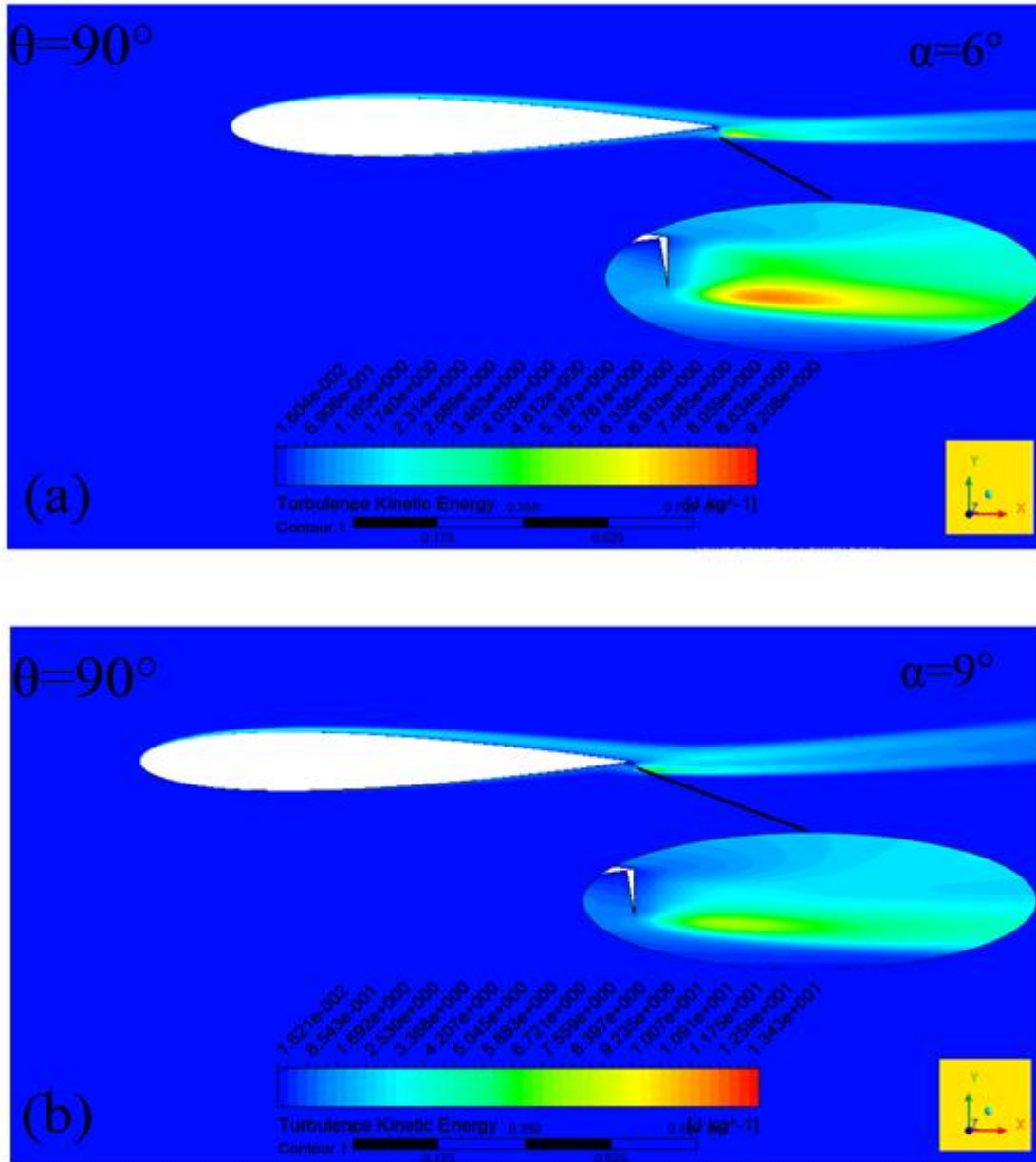
$\theta=90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline ait TKE dağılımı incelenmiştir. Şekil 3.66a'da $\alpha=0^\circ$ 'ye ait TKE dağılımı incelendiğinde yarım Gurney flap yapısının arkasında maksimum TKE bölgesi bulunmaktadır. Yarım Gurney flap yapısının

akış yapısı incelendiğinde maksimum TKE bölgesinin olduğu bölgede girdap çiftinin bulunduğu gözlemlenmiştir. Yarım Gurney flap yapısının aşağı akımında meydana gelen TKE yapısı incelendiğinde, flap arkasındaki girdap yapılarından aşağıda yer alan girdap yapısının daha fazla TKE'ye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Girdap yapılarının çevresinde ise girdap yapılarına kıyasla daha düşük TKE alanı oluşmuştur.

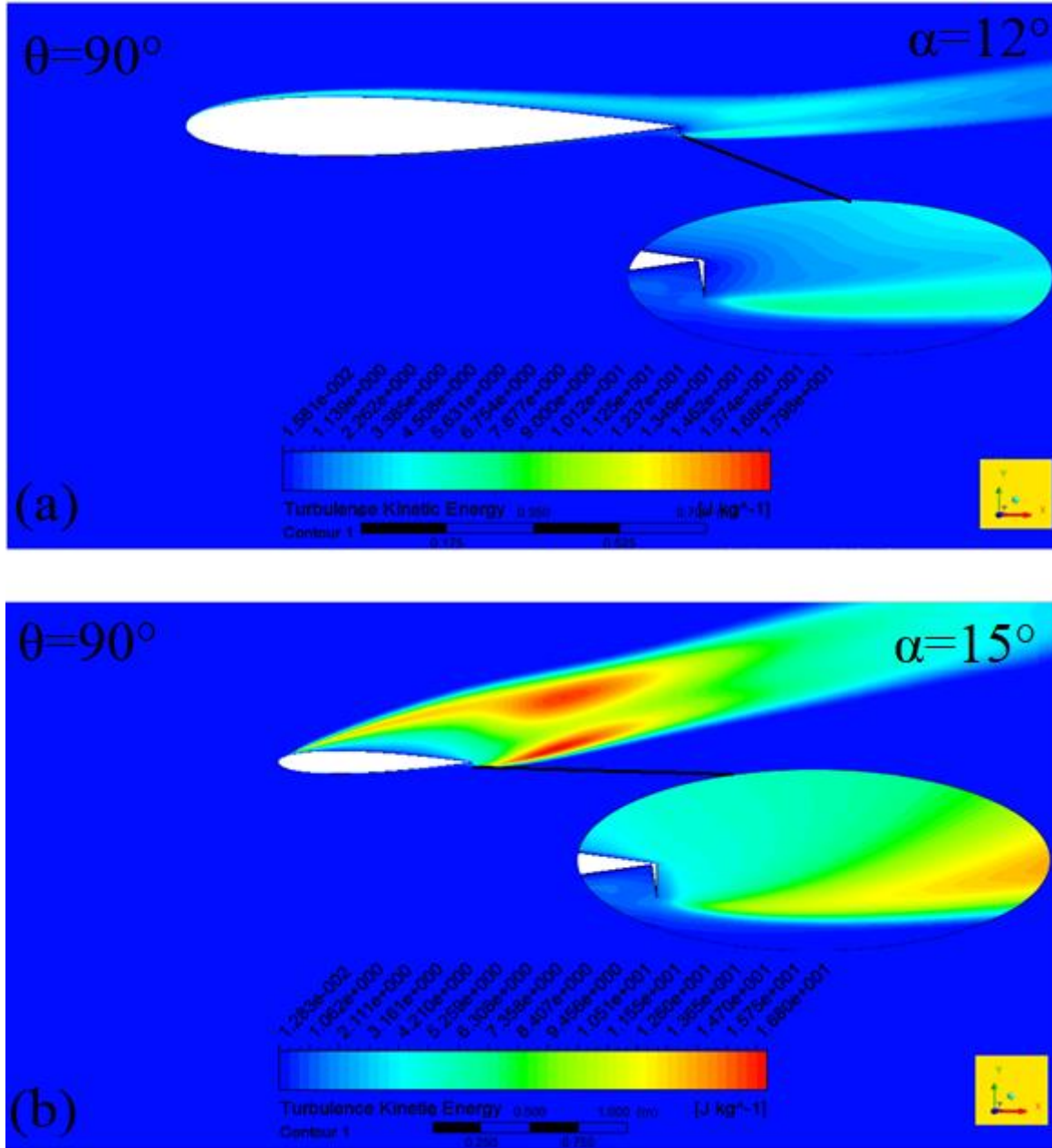
Hücum açısının $\alpha=3^\circ$ olduğu $\theta=90^\circ$ 'lik NACA 0012 kanat profiline ait TKE dağılımı Şekil 3.66b'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, maksimum TKE değerinin $\alpha=3^\circ$ 'den daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Flap arkasındaki TKE dağılımı incelendiğinde, $\alpha=0^\circ$ 'de yer alan flap arkasındaki maksimum TKE yapısına sahip küçük bölge $\alpha=3^\circ$ 'de kaybolmuştur. Flap arkasındaki altta yer alan maksimum TKE dağılımının olduğu bölge $\alpha=3^\circ$ 'de genişlemiştir. Yarım Gurney flap arkasında yer alan düşük TKE değerine sahip bölge $\alpha=0^\circ$ 'de flap arkasında yer alan düşük TKE değerine sahip bölgeden daha geniş olduğu gözlemlenmiştir.

Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=6^\circ$ 'ye ait TKE dağılımı Şekil 3.67a'da gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde flap arkasında yer alan girdap yapılarından üstteki girdap yapısına ait TKE yapısının tamamen kaybolduğu, altta yer alan girdap yapısında ise maksimum TKE değerinde azalma gözlenmiştir. Yarım Gurney flap arkasında yer alan düşük TKE alanı, $\alpha=3^\circ$ 'deki flap arkasında gerçekleşen düşük TKE alanından daha geniş olmuştur. $\alpha=6^\circ$ 'de meydana gelen maksimum TKE değeri $\alpha=3^\circ$ 'de meydana gelen maksimum TKE değerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Hücum açısının $\alpha=9^\circ$ 'ye eşit olduğu yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profili üzerinde gerçekleşen TKE dağılımı Şekil 6.67b'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde $\alpha=6^\circ$ 'de gözlemlenen flap arkasındaki yüksek TKE dağılımına sahip bölge $\alpha=9^\circ$ 'de tamamen kaybolduğu gözlemlenmiştir. Flap arkasında yer alan düşük basınç alanına sahip bölge, $\alpha=6^\circ$ 'de flap arkasındaki düşük basınç bölgesinden daha geniş olduğu gözlemlenmiştir.



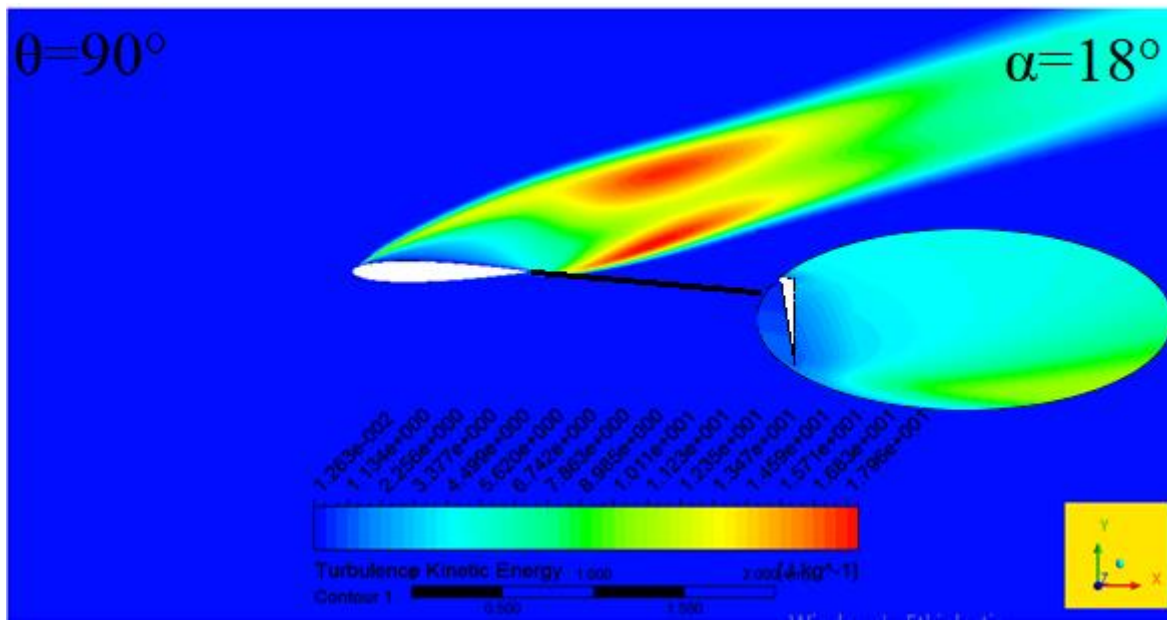
Şekil 3.67. Yarı Gurney flap yapıları NACA 0012 kanat profiline ait TKE dağılımı (a) $\alpha=6^\circ$ (b) $\alpha=9^\circ$



Şekil 3.68. Yarı Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait TKE dağılımı (a) $\alpha=12^\circ$ (b) $\alpha=15^\circ$

Klasik Gurney flap yapısının diyagonal olarak kesilmiş hali olan ve yarı Gurney flap olarak isimlendirildiği flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=12^\circ$ 'deki TKE dağılımı Şekil 3.68a'da gösterilmiştir. Şekilde flap aşağı akımında yer alan girdap yapısına benzer TKE dağılımı görüntüsü tamamen kaybolduğu görülmüştür. Yarı Gurney flap arkasında yer alan düşük TKE dağılımına sahip bölge $\alpha=9^\circ$ 'ye göre artış göstermiştir. $\alpha=12^\circ$ 'de elde edilen maksimum TKE değeri $\alpha=9^\circ$ 'de elde edilen TKE değerinden daha yüksek gerçekleşmiştir.

Hücum açısının $\alpha=15^\circ$ 'ye eşit olduğu yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin TKE dağılımı Şekil 3.68b'de gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, $\alpha<15^\circ$ durumlarında gözlemlenmeyen kanat üzerinde ve Gurney flap aşağı akımında TKE dağılımı söz konusu olmuştur. Kanat profili hücum kenarından başlayıp kanat üst kısmında daha göreceli olarak artan bir TKE alanı mevcuttur. Bir diğer yüksek TKE değerine sahip bölge, yarım Gurney flap ucundan başlayıp oluşan diğer yüksek TKE alanına doğru ilerlemiştir. $\alpha=15^\circ$ 'de elde edilen maksimum TKE değeri $\alpha=12^\circ$ 'de elde edilen maksimum TKE değerinden daha yüksek değere sahip olmuştur.

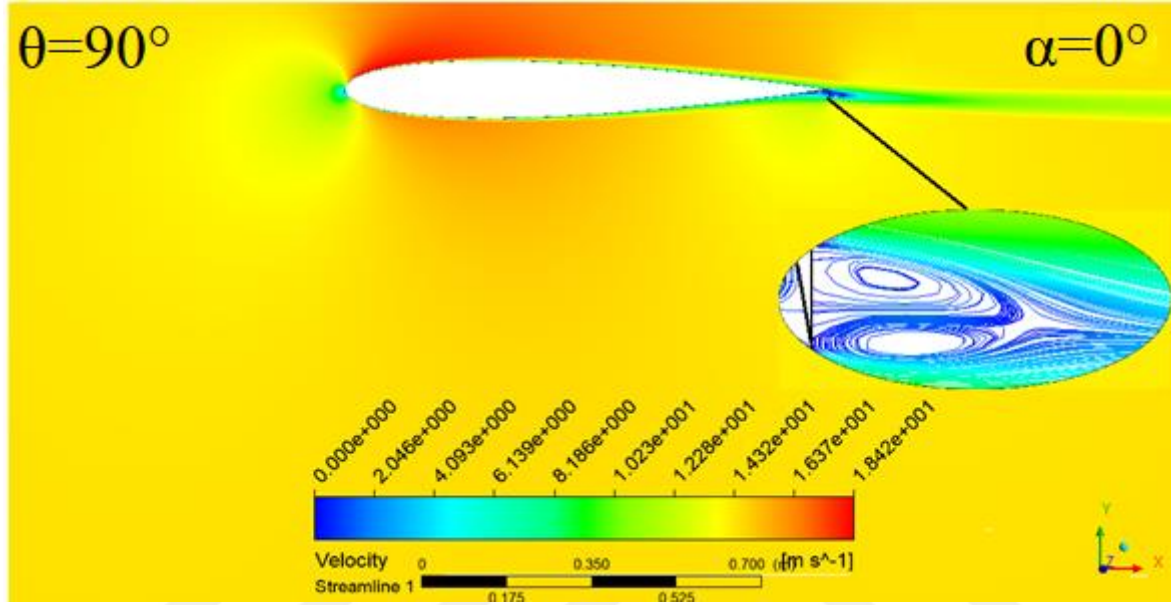


Şekil 3.69. Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=18^\circ$ 'deki TKE dağılımı

Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline ait $\alpha=18^\circ$ 'de gerçekleşen TKE dağılımı Şekil 3.69'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde kanat üzerinde hücum açısının kenarından başlayan yüksek TKE alanı ve yarım Gurney flap kenarından başlayan yüksek TKE alanında büyüme gerçekleşmiştir. Kenar üst bölgesinde yer alan düşük TKE bölgesi, $\alpha=15^\circ$ 'ye göre genişlemiştir. $\alpha=18^\circ$ 'de gerçekleşen maksimum TKE değeri, $\alpha=15^\circ$ 'de gerçekleşen maksimum TKE değerinden yüksek değerde olmuştur.

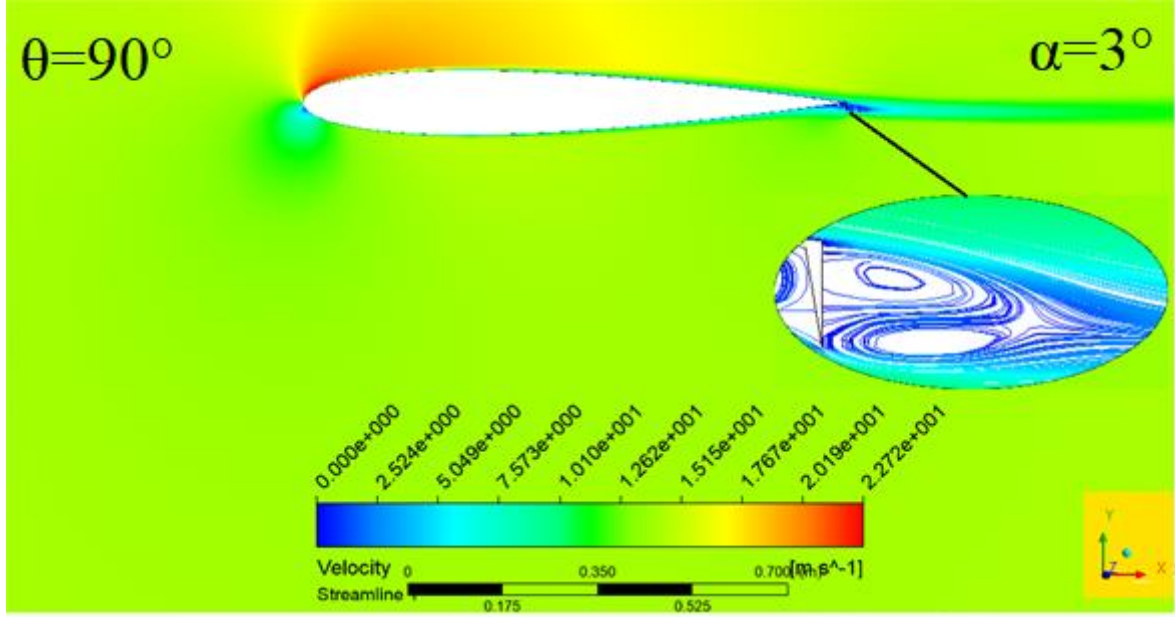
3.2.4. Akım Çizgileri

Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanatprofiline ait akım çizgilerinin α açısı ile değişimi çalışmanın bu bölümünde incelenmiştir. Akım çizgileri kullanılarak, akışın HAD programında görselleştirilmesi, uygulamalarda oldukça yararlıdır.



Şekil 3.70. $\theta = 90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapısına $\alpha = 0^\circ$ ait akım çizgisi

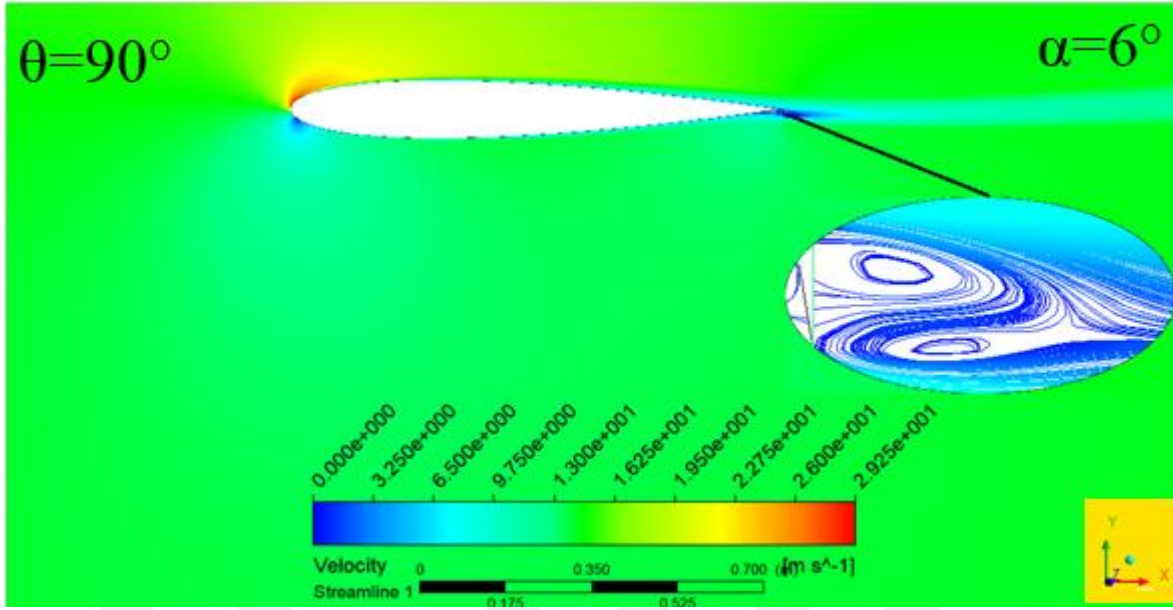
$\theta = 90^\circ$ 'lik yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha = 0^\circ$ 'deki akım çizgileri Şekil 3.70'te gösterilmektedir. Kanat profilinin üst yüzeyinde hız değerinin, kanat alt yüzeyindeki hız değerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Akışkan olarak seçilen havanın kanat yüzeyine çarptığı bölgede düşük hız bölgesi mevcuttur. Kanat firar kenarına yerleştirilmiş olan yarım Gurney flap arkasında meydana gelen akış yapısına bakılacak olursa, klasik Gurney flap yapısına sahip kanat modelinin $\alpha = 0^\circ$ 'deki akış yapısına benzer şekilde girdap çifti mevcuttur. Yarım Gurney flap yapıları kanat profilinde de Gurney flap aşağı akımında oluşan girdap çiftlerinin genişlikleri yaklaşık olarak 0,025m olarak ölçülmüştür. Durma noktasının Gurney flap yapısına olan uzaklığı ise yaklaşık olarak 0,03m olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.71. Yarı Gurney flap yapısına $\alpha=3^\circ$ ait akım çizgisi

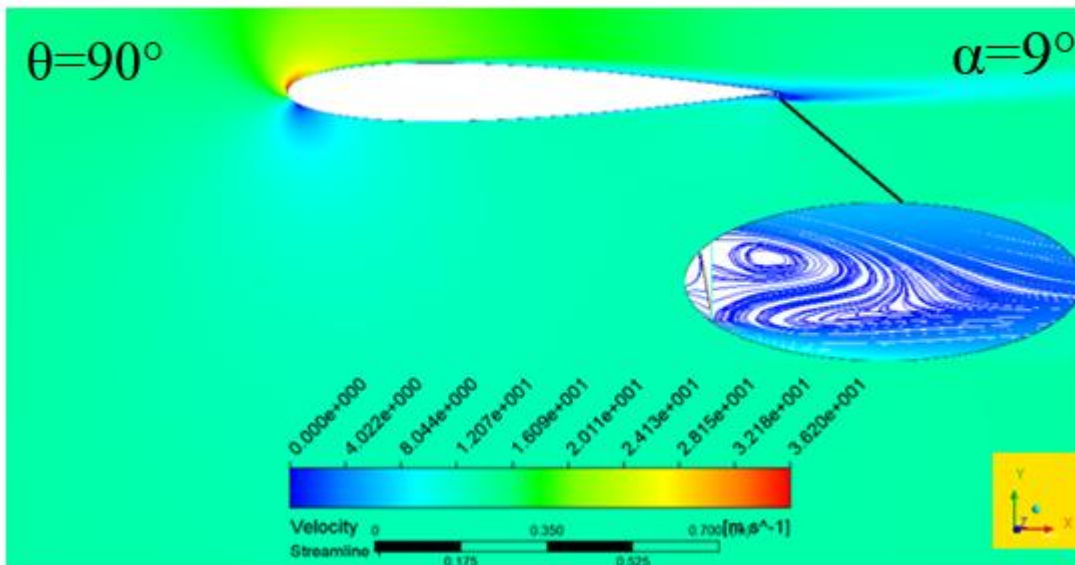
Hücum açısının $\alpha=3^\circ$ olduğu yarı Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline ait akım çizgileri Şekil 3.71’de verilmiştir. Bu hücum açısında Gurney flap aşağı akımında meydana gelen girdap çiftinin genişlikleri yaklaşık olarak 0,025m olarak gözlemlenmiştir. Durma noktasının Gurney flap yapısına olan uzaklığı yaklaşık 0,028m olarak ölçülmüştür.

Hücum açısının $\alpha=6^\circ$ olduğu yarı Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline ait akım çizgileri Şekil 3.72’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde Gurney flap arkasında bulunan girdap çiftlerinden aşağıda olan girdap yapısının bozulmaya başladığı görülmüştür. Üstte yer alan girdap yapısının genişliğinin 0,025m olarak kaldığı gözlemlenmiştir. $\alpha=6^\circ$ ’de elde edilen maksimum hız değeri, $\alpha=3^\circ$ ’de aynı koşullarda elde edilen maksimum hız değerinden büyük olmuştur.



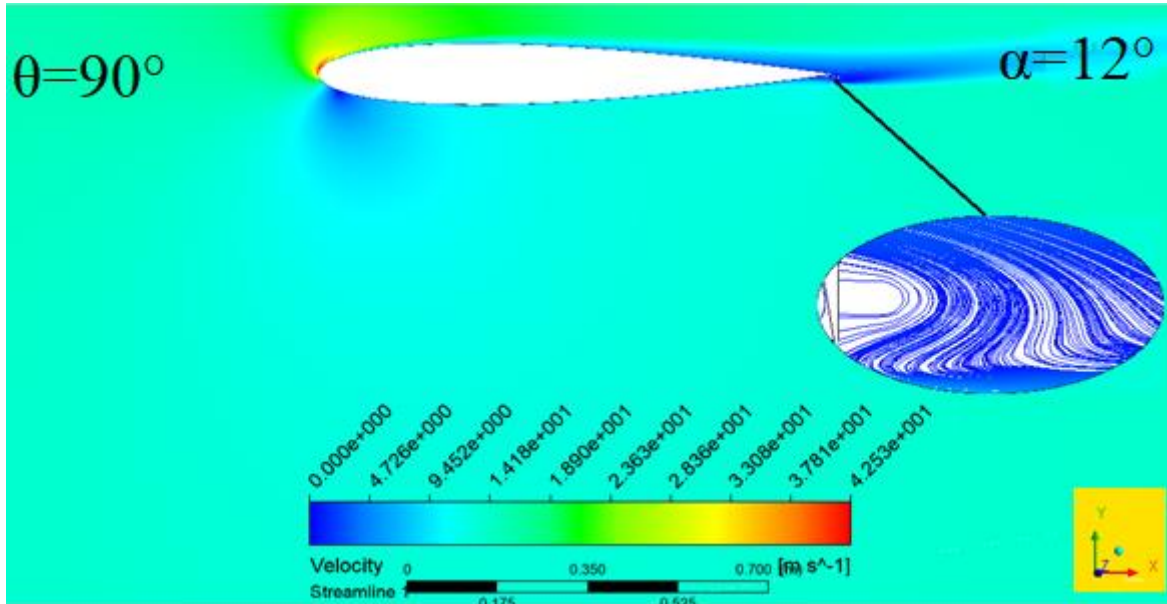
Şekil 3.72.Yarım Gurney flap yapısına $\alpha=6^\circ$ ait akım çizgisi

Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profilinin $\alpha=9^\circ$ 'deki akım çizgileri Şekil 3.73'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde Gurney flap aşağı akımında, önceki hücum açılarında var olan girdap çiftinin altta yer alan girdap yapısının tamamen bozulduğu gözlemlenmiştir. Girdap genişliği yaklaşık olarak 0,028 m gözlemlenmiştir. $\alpha=9^\circ$ 'de meydana gelen maksimum hız değeri $\alpha=6^\circ$ 'de aynı koşullarda meydana gelen maksimum hız değerinden daha yüksek değere sahip olmuştur.



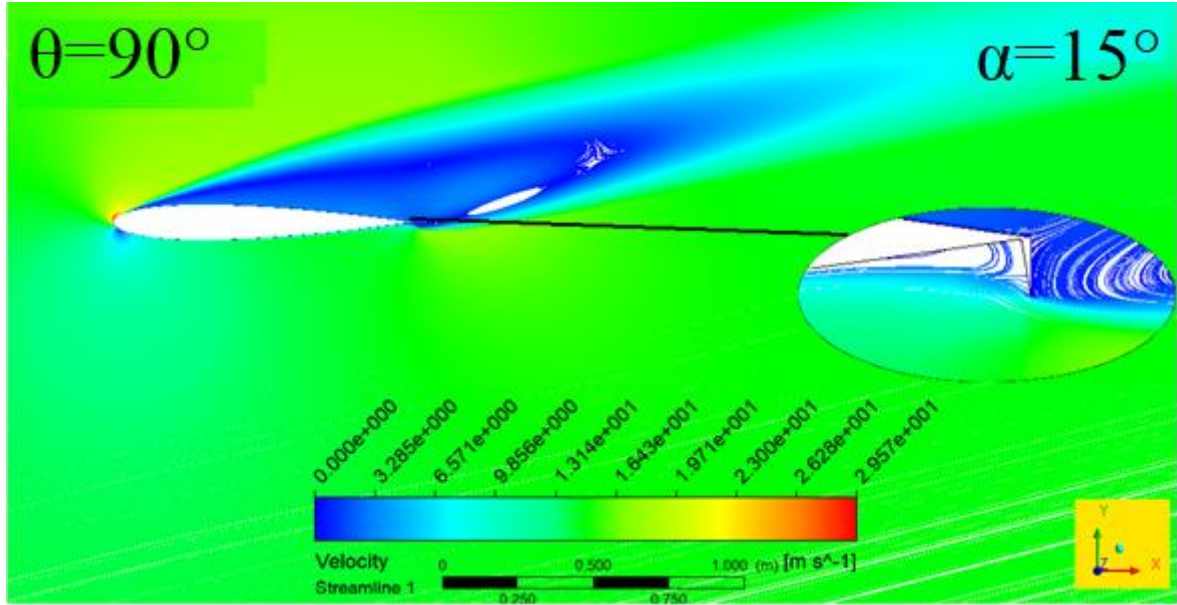
Şekil 3.73.Yarım Gurney flap yapısına $\alpha=9^\circ$ ait akım çizgisi

Hücum açısı değerinin $\alpha=12^\circ$ olduğu yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline ait akım çizgileri Şekil 3.74'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde Gurney flap arkasında yer alan girdap yapısının tamamen değiştiği ve önceki hücum açılarında, açının artmasıyla bozulmaya başlayan girdap çifti yapısı tamamen değişmiş, flap arkasında sadece bir girdap yapısının bulunduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca $\alpha=9^\circ$ 'de bulunan girdap merkezi, $\alpha=12^\circ$ 'de Gurney flap yapısına bitişik halde olduğu gözlemlenmiştir. Girdap genişliği yaklaşık olarak 0,014m olarak gözlemlenmiştir. $\alpha=12^\circ$ 'de meydana gelen maksimum hız değeri, aynı koşullardaki $\alpha=9^\circ$ 'de meydana gelen maksimum hız değerinden daha yüksek olmuştur.



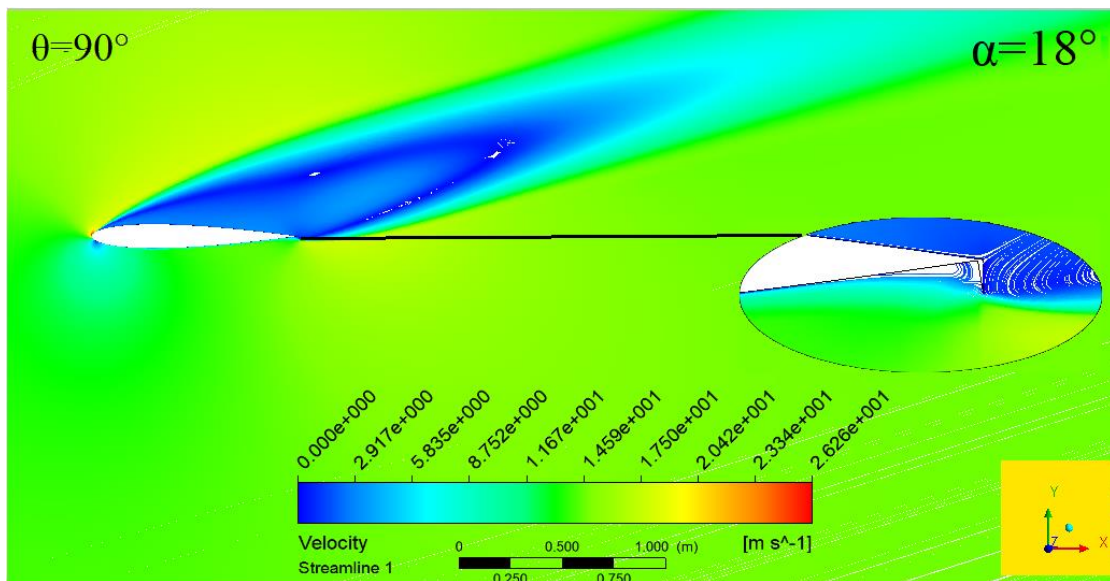
Şekil 3.74. Yarım Gurney flap yapısına $\alpha=12^\circ$ ait akım çizgisi

Yarım Gurney flap yapısına sahip NACA 0012 kanat profiline ait 15° 'lik hücum açısındaki kanat profiline ait akım çizgileri Şekil 3.75'te verilmiştir. Gurney flap arkasında girdap yapısının bulunmadığı fakat kanat profili üzerindeki akış ayrılmasında meydana gelen ter akışların etkisiyle birlikte iki adet girdap yapısının olduğu gözlemlenmiştir. Kanat üzerinde yer alan girdap çiftinden sol tarafta oldan girdap yapısı, hücum kenarından ayrılan akış yapısı ile başladığı görülmektedir. Kanat üzerinde yer alan ve göreceli olarak daha küçük çaptaki girdap yapısı ise kanat firar kenarında bulunan yarım Gurney flap yapısından başladığı gözlemlenmiştir. Hücum açısı değerinin $\alpha=15^\circ$ olduğu değerde meydana gelen maksimum hız değeri, aynı koşullar altındaki $\alpha=12^\circ$ 'deki hız değerinden düşük değerde olmuştur.



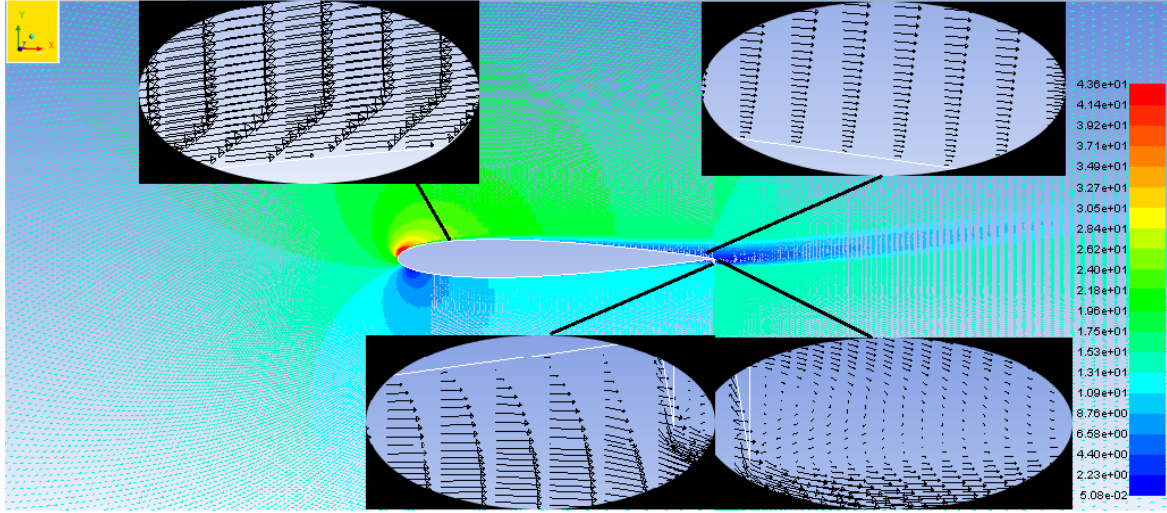
Şekil 3.75. Yarım Gurney flap yapısına $\alpha = 15^\circ$ ait akım çizgisi

Hücum açısının 18° 'ye eşit olduğu yarım Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profiline ait akım çizgileri Şekil 3.76'da verilmiştir. $\alpha = 15^\circ$ 'de kanat üzerinde yer alan girdap yapıları bu hücum açısında da mevcuttur. Girdap yapıları $\alpha = 15^\circ$ 'ye göre daha büyük yapıda oldukları gözlemlenmiştir. Hücum açısının $\alpha = 18^\circ$ 'ye eşit olduğu akım çizgileri incelendiğinde maksimum hız değerinin, aynı koşullar altındaki $\alpha = 15^\circ$ 'de meydana gelen maksimum hız değerinden daha düşük gerçekleşmiştir.



Şekil 3.76. Yarım Gurney flap yapısına $\alpha = 18^\circ$ ait akım çizgisi

Maksimum kaldırma katsayısının elde edildiği $\alpha=12^\circ$ 'deki yarım Gurney flap yapıları kanat profili üzerindeki hız vektörleri Şekil 3.77'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde Gurney flap yapısı arkasında normal akış yönünün tersi yönünde akış meydana geldiği görülmektedir. Kanat profili boyunca sınırda kaymama koşulunun etkisiyle uniform olamayan hız profili oluşmuştur.



Şekil 3.77. Yarım Gurney flap yapısına $\alpha=12^\circ$ ait hız vektörleri

Genel olarak diyagonal olarak kesilmiş $\theta=90^\circ$ 'lik Gurney flap yapısına ait akım çizgileri incelendiğinde maksimum hız değerleri $\alpha=12^\circ$ 'ye kadar artış göstermiş, $\alpha=12^\circ$ 'de maksimum değerini almış ve bu açıdan sonra düşüş yaşanmış olduğu gözlemlenmiştir. Yarım Gurney flap arkasındaki oluşan girdap çiftinin $\alpha=0^\circ$ ve $\alpha=3^\circ$ 'de net görüldüğü, $\alpha=6^\circ$ 'de girdap çiftinde altta yer alan girdabın bozulmaya başladığı, $\alpha=9^\circ$ 'de tamamen yok olduğu ve üstte yer alan girdabın Gurney flap arkasında tek bir girdap yapısı halinde bulunduğu gözlemlenmiştir. $\alpha=12^\circ$ 'de flap arkasında tek bulunan girdap yapısının merkezinin Gurney flap yapısına bitişik olduğu gözlemlenmiştir. $\alpha=15^\circ$ 'de kanat üst yüzeyinde iki adet farklı boyutlarda girdap yapısının olduğu ve $\alpha=18^\circ$ 'de bu girdap yapılarının boyutlarının arttığı gözlemlenmiştir. Yarım Gurney flap yapısı özellikle düşük α açılarında klasik Gurney flap yapısına göre daha fazla kaldırma katsayısına sahip olmuştur. $\alpha=0^\circ$ 'de yarım Gurney flap yapısının klasik Gurney flap yapısına göre %15,92 daha fazla kaldırma katsayısına sahip olduğu gözlemlenmiştir. $\alpha=15^\circ$ 'de klasik Gurney flap yapısında meydana gelen yüksek kaldırma katsayısı sebebiyle yarım Gurney flap bu açıda, klasik Gurney flap yapısına kıyasla %-42,8 daha düşük kaldırma katsayısına sahip olmuştur.

4. SONUÇ

Kanat profilinin firar kenarına eklenen Gurney flap yapısının kanat aerodinamik karakteristiğine etkisinin incelenmesi amacıyla, veter uzunluğu $c = 1\text{m}$ olan Gurney flap yapılı NACA 0012 kanat profili kullanılmıştır. Sayısal çözümlerinin ANSYS Fluent yazılımı aracılığı ile yapıldığı çalışmada veter uzunluğuna bağlı Reynolds sayısı $Re=1 \times 10^6$ değerinde sabit parametre olarak kabul edilmiştir. Değişken parametre olarak literatürde üzerinde çok fazla çalışılmayan, Gurney flap açısı, hücum açısı, Gurney flap şekli ve türbülans modeli terimleri seçilmiştir. Çalışmanın sonunda literatür verileri ile daha iyi sonuç veren türbülans modelinin SST $k-\omega$ türbülans modeli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Gurney flap açısının optimum değerinin $\theta=90^\circ$ olduğu gözlemlenmiştir. Gurney flap geometrisinin kanat aerodinamik karakteristiğine etkisinin incelenmesinde, yarım Gurney flap yapısı olarak adlandırılan ve klasik Gurney flap yapısının diyagonal olarak bölünmüş Gurney flap yapısının, klasik Gurney flap yapısının sahip olduğu aerodinamik karakterine benzer sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Referans kanat profiline eklenen $1,5c$ uzunluğundaki Gurney flap yapısıyla birlikte kaldırma katsayılarında sırasıyla hücum açısının $\alpha=3^\circ, 6^\circ, 9^\circ, 12^\circ, 15^\circ, 18^\circ$ değerlerinde sırasıyla %90; %50,27; %36,03; %27,04; %18,36; %6,39 değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Tekli Gurney flap yapısının kanat profiline eklenmesiyle birlikte aerodinamik verimde meydana gelen değişiklik hücum açısının $\alpha=3^\circ$ ve $\alpha=6^\circ$ değerlerinde sırasıyla %46,15; %8,88'lik artış gözlemlenirken hücum açısının $\alpha=9^\circ, 12^\circ, 15^\circ, 18^\circ$ değerlerinde sırasıyla %5,88; %15,21; %25,8; %25 değerlerinde azalış gerçekleşmiştir. Gerçekleşen bu azalışın sebebi olarak, bu açılarda meydana gelen yüksek sürüklenme katsayısı olduğu sonucuna varılmıştır. Tekli Gurney flap yapısı ile yarım Gurney flap yapısının karşılaştırılmasında, yarım Gurney flap yapısının $\alpha=15^\circ$ haricindeki diğer açılarda ortalama %6,715 artırdığı, aerodinamik verimi ise %1,523 artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Tekli Gurney flap yapısı olarak adlandırılan klasik Gurney flap yapısının referans kanat profilinin firar kenarına eklenmesiyle birlikte, kanat aşağı akımındaki akışın TKE'sinde artış gözlemlenmiştir. Hücum açısının değişmesiyle birlikte tekli Gurney flap yapısının içerisinde bulunduğu akışın TKE'si de artış yaşanmıştır. Aynı hücum açısı değerlerinde yarım Gurney flap yapısına sahip olan kanat profili, tekli Gurney flap yapısına sahip olan kanat profilinin TKE'leri karşılaştırıldığında yarım Gurney flap yapısına sahip kanat profilinin daha yüksek TKE değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Veter boyunca gerçekleşen basınç katsayısı

dağılımının grafikleri incelendiğinde, referans kanat profilinin hücum açısının $\alpha=0^\circ$ 'de tek bir eğriye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum ise $\alpha=0^\circ$ 'de referans kanat profilinin alt ve üst yüzeylerinde simetrik dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. Tekli Gurney flap yapısının referans kanat profiline eklenmesiyle birlikte alt ve üst yüzeyler arasındaki basıncın farklılaştığı, alt yüzde pozitif basınç alanı oluşurken, üst yüzeyde negatif basınç alanı olduğu gözlemlenmiştir. Hücum açısının değerinin $\alpha=15^\circ$ 'ye kadar olan değerlerinde gerçekleşen artış ile birlikte kanat firar kenarı yakınlarında alt ve üst yüzeylerde meydana gelen basınç farkı azalış göstermiştir. $\alpha=18^\circ$ 'de ise üst yüzeyde kanat hücum kenarının 0,1m'den sonra firar kenarına kadar sabit basınç katsayısı olduğu gözlemlenmiştir. Yarım Gurney flap yapısına ait veter boyunca meydana gelen basınç katsayısı dağılımı, tekli Gurney flap yapısına benzer davranışlar göstermiştir. Yarım Gurney flap yapısının kanat profillerinde kullanılmasının, klasik Gurney flap yapısının kullanılmasına oranla avantajlı olacağı durum kanat üzerine Yarım Gurney flap yapısının klasik Gurney flap yapısına göreceli olarak daha düşük ağırlık yüklemesi olacaktır.

Yapılan bu çalışma ile Gurney flap yapısının optimum açısı, en iyi sonuç veren türbülans modeli ve karşılaştırılan geometrilerde optimum geometrinin bulunması ile ileride yapılacak olan çalışmalara temel oluşturulmak amaçlanmıştır. İleride yapılacak deneysel çalışmalar ile bu sayısal çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir. Çoklu Gurney flap yapısının kanat firar kenarına eklenmesiyle, Gurney flap yapılarının aralarındaki mesafenin kanat aerodinamik karakteristiğine etkisi hem deneysel hem de sayısal incelenebilir. Klasik Gurney flap yapısının geçirgenliği üzerine deneysel ve sayısal çalışmalar yapılabilir. Çoklu Gurney flap yapısının farklı geçirgenlik özelliklerine sahip olmasıyla birlikte kanat aerodinamik karakteristiğine etkisi ileride yapılacak olan çalışmalara konu olabilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Liu R. (2019). Flow Around with Corner Modification Cross-Sections, BE, Power Engineering of Aircraft, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China
- [2] Olson DW. Wolf SF. Hook JM. (2015). The Tacoma Narrows Bridge Collapse, Phys. Today,68. doi: 10.1063/PT.3.2991
- [3] Yalçın O. (2016). Havacılık, Hava Gücünün Doğuşu ve Birinci Dünya Savaşına Etkisi, Ankara Üniversitesi Türk İnkılap Tarihi Enstitüsü Atatürk Yolu Dergisi, 59, 181-236. doi: 10.1501/Tite_0000000455
- [4] Rubel RI. Uddin K. Islam Z. Rokunuzzaman M. D. (2016). Numerical and Experimental Investigation of Aerodynamics Characteristics of NACA 0015 Aerofoil, International Journal of Engineering Technologies, 2(4).<http://dx.doi.org/10.19072/ijet.280499>
- [5] Kandwal S. Singh SD. (2012). Computational Fluid Dynamics Study of Fluid Flow and Aerodynamic Forces on an Airfoil, International Journal of Engineering and Technology 1 (7),1-8.ID: IJERTV1IS7043
- [6] Sullivan A. (2010). Aerodynamic Forces Acting on an Airfoil. Physics Department, The College of Wooster, Ohio, USA
- [7] Cesar LM. (2020), Active Control Methods for Aerodynamics and Aeroacustics, Department of Mechanical Engineering, University of Bristol, England
- [8] Kral LD. Active flow control technology, St. Louis, Missouri, Washington University, ASME Fluids Engineering Division Technical Brief
- [9] Mossi K. Mane P. Bryant R. (2005). Velocity Profile of Synthetic Jet Using Piezoelectric Circular Actuators, AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference.doi: 10.2514/6.2005-2341
- [10] Krishnan A. Roy S. (2022) Aerodynamic Profile Modification of NACA 0012 Aerofoil for Enhanced Lift-Drag Characteristics at Low Reynolds Number, U.Porto Journal of Engineering, 8(2), 156-168. doi: 10.24840/2183-6493_008.002_0012
- [11] <https://skybrary.aero>. (2022). Erişim tarihi:20.05.2022
- [12] Liebeck RH.(1989). Subsonic Airfoil Design, Douglas Aircraft Company, McDonnell Douglas Corporation, Long Beach, California. doi: 10.2514/4.865985
- [13] Troolin DR. Longmire EK. Lai WT. (2006). Time Resolved PIV Analysis of Flow Over a NACA 0015 Airfoil with Gurney Flap, Experiments in Fluids, 41, 241-245. doi:10.1007/s00348-006-0143-8
- [14] Li YC. Wang JJ. Hua J. (2006). Experimental Investigations on the Effects of Divergent Trailing Edge and Gurney Flaps on a Supercritical Airfoil, Aerospace Science and Technology.doi:10.1016/j.ast.2006.01.006

- [15] Lee T. Ko LS. (2009). PIV Investigation of Flow Field Behind Perforated Gurney-Type Flap, *Exp Fluid*, 46(1005).doi:10.1007/s00348-008-0606-1
- [16] Lee T. Su YY. (2011). Lift Enhancement and Flow Structure of Airfoil with Joint Trailing- Edge Flap and Gurney Flap, *Exp Fluid*. doi:10.1007/s00348-010-1024-8
- [17] Greenbalt D.(2011). Application of Large Gurney Flaps on Low Reynolds Number Fan Blades, *Journal of Fluid Engineering*, 133.doi:10.1115/1.4003301
- [18] Uddin MA. Hasan ABMT. (2011) A CFD Analysis on the Effect of Geometry of Gurney Flap on Aerodynamics of NACA 0012 Airfoil, *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering*
- [19] Mohammedi M. Doostlab A. Doostlab M. (2012). The Effect of Various Gurney Flap Shapes on the Performance of Wind Turbine Airfoils, *ASME Early Career Technical Conference*,11.doi:10.13140/RG.2.1.3460.6800
- [20] Takakura Y. Kobayashi T. Takagi M. (2012). Visualization of Flow Fields About an Airfoil with a Gurney Flap, *15th International Symposium of Flow Visualization*
- [21] Li-shu H. Chao G. Wen-ping S. Ke S.(2013). Airfoil Flow Control Using Vortex Generators and a Gurney Flap, *Proceedings of Institution of Mechanical Engineerings*, *Journal of Mechanical Engineering Science*, 227(12),2701-2706
- [22] Kheir-aldeen M. Hamid A. (2014). Experimental Study to the Effect of Gurney Flap on the Clark Y-14 Wing Model, *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 9(1), 120-132. ISSN 2351-8014
- [23] Jain S. Sitaram N. Krishnaswamy S. (2015) Computatioal Investigation on the Effects of Gurney Flap on Airfoil Aerodynamics, *Hindawi*, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/402358>
- [24] Patel HS. (2015). A Study on a CFD Analysis of Pressure Difference on NACA 0012 Airfoil by Changing Gurney Flap Height and Angle of Attack, *Indian Journal of Applied Research*, 5(4). doi:10.36106/IJAR
- [25] Feng L. Choi K. Wang J. (2015). Flow Control Over an Airfoil Using Virtual Gurney Flaps, *J. Fluid Mech. Cambridge University Press*, 767, 595-626
- [26] Singh MK. Dhanalakshmi K. Chakrabartty SK. (2015) Navier-Stokes Analysis of Airfoils with Gurney Flap, *Journal of Aircraft*
- [27] Traub LW. Chandrashekar S. M. (2016). Experimental Study on the Effects of Wing Sweep on Gurney flap Performance, *Aerospace Science and Technology*,55,57-63, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ast.2016.05.015>
- [28] He X. Wang J. Yang M. Ma D. Yan C. Liu P. (2016). Numerical Simulation of Gurney Flap on SFYT 15 Thick Airfoil, *Theoretical & Applied Mechanics Letters*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.taml.2016.09.002>

- [29] Patil M. Jatadhara Mr. Ramesh V. (2017). Gurney Flap Studies on Lift and Drag of an Aerofoil NACA0012, International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering (IJERMCE), 2(5). ISSN 2456-1290
- [30] Meena MG. Taira K. (2017) Low Reynolds Number Wake Modification Using a Gurney Flap, AIAA ScieTech Forum, 55th AIAA Aerospace Sciences Meeting
- [31] Chen L. Xie H. Xu J. Dai R. Chen J. (2018). Experimental and Numerical Study on the Performance of an Axial Fan with a Gurney Flap, Advances in Mechanical Engineering, 10(10),1-17. doi:10.1177/1687814018803804
- [32] Sieradzki A. (2018). Gurney Flap and T-Strip Alternatives in Application to Typical Aircraft Steer Surface, Journal of KONES Powertrain and Transport, 25(1). doi:10.5604/01.3001.0012.2491
- [33] Amini Y. Liravi M. Izadpanah. (2018). The Effects of Gurney Flap on the Aerodynamic Performance of NACA 0012 Airfoil in the Rarefied Gas Flow, Computers and Fluids. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2018.05.003>
- [34] Chen L. Xie H. Dai J. Chen J. (2018). Experimental and Numerical Study on the Performance of an Axial Fan with a Gurney Flap, Advances in the Research and Development of Rotary Motion Driven Machine Elements, 10(10), 1-17. doi: 10.1177/1687814018803804
- [35] Ganesan K. Gowtham S. (2019). Study of Effect of Gurney Flap on Inverted NACA 23012 Rear Wing, International Journal of Engineering Research & Technology, 8(5), ID:IJERTV8IS050195
- [36] Yan Y. Avital E. Williams J. Korakianitis T. (2019). CFD Analysis for the Performance of Gurney Flap on Aerofoil and Vertical Axis Turbine, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 8(3). doi:10.18178/ijmerr.8.3.385-392
- [37] Hao LS. Gao YW. (2019). Effect of Gurney Flap Geometry on a S809 Airfoil, Hindawi, <https://doi.org/10.1155/2019/9875968>
- [38] Mashari M. Mousavi M. Mojtaba T. (2020). Dynamic Stall of an Airfoil with Different Mounting Angle of Gurney Flap, Aircraft Engineering and Aerospace Technology. doi:10.1108/AET-03-2019-0042
- [39] Chandra S. Tyagi R. (2020). Study of Eppler 423 Airfoil with Gurney Flap and Vortex Generators, Advances in Aerospace Science and Technology, 5, 1-19. ISSN Online: 2473-6724
- [40] Mohamed W. Abdelrahman MA. Shahin I. Al-Dosoky MW. Higazy MG. (2020). Investigating the Effect of a Single Gurney Flap Heights on Airfoil, Engineering Research Journal, 1(45), 43-48. <http://erj.bu.edu.eg>
- [41] Yang J. Yang H. Li W. Yuan Y. (2020). Experimental Study on Aerodynamic Characteristics of a Gurney Flap on a Wind Turbine Airfoil Under High Turbulent Flow Condition, MSPI- Applied Science, 10. doi:10.3390/app10207258

- [42] Abdelrahman MA.Mohamed W. Shahin I. Al-Dosoky MW. Higazy MG. (2020). Aerodynamics Performance of Multi Gurney Flaps Configurations on Airfoil, *Engineering Research Journal*,1(45), 34-42. <http://erj.bu.edu.eg>
- [43] Chakroun Y. Bangga G. (2021). Aerodynamic Characteristics of Airfoil and Vertical Turbine Employed with Gurney Flap, *MDPI-Sustainability*, 13(4284).<https://doi.org/10.3390/su13084284>
- [44] Basso M. Cravero C. Marsano D. (2021). Aerodynamic Effect of the Gurney Flap on the Front Wing of a F1 Car and Flow Interactions with Car Components, *MDPI-Energies*, 14(2059).<https://doi.org/10.3390/en14082059>
- [45] Ooda IJ. (2022). Numerical Investigation of Aerodynamic Characteristics of Supercritical RAE2822 Airfoil with Gurney Flap, *Journal of Engineering*, 28(6).<https://doi.org/10.31026/j.eng.2022.06.01>
- [46] Chen H. Chen B. (2022). Lift Enhancement of Tiltrotor Wing Using a Gurney Flap, *Hindawi*. <https://doi.org/10.1155/2022/1245484>
- [47] Suresh M. Sitaram N. (2022). Effect of Gurney Flap Height and Mounting Position on the Performance of a Centrifugal Fan, *Journal of Applied Fluid Mechanics*,15 (1),225-269. <https://doi.org/10.47176/jafm.15.01.32788>
- [48] Syawitri TP. Yao Y. Yao J. Chandra B. (2022) Geometry Optimisation of Vertical Axis Wind Turbine with Gurney Flap for Performance Enhancement at Low, Medium and High Ranges of Tip Speed Ratios, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*.<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101779>
- [49] Yang J. Yang H. Wang X. Li N. (2022). Experimental Study of a Gurney Flap on a Pitching Wind Turbine Airfoil Under Turbulent Flow Conditions, *Journal of Marine Science and Engineering*, <https://doi.org/10.3390/jmse10030371>
- [50] Kılıç C. Karakuş C. Aslan S. (2022). Evaluation Effects of Gurney Flap Structure on Airfoil Aerodynamics Characteristics, *International Congress of Engineering and Natural Sciences*, 89-112. ISBN: 978-605-71156-5-2
- [51] Eleni DC. Athanasios TI. Dionissios MP. (2012). Evaluation of Turbulence Models for Simulation of the Flow Over a National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) Airfoil, *Journal of Mechanical Engineering Research*, 4(3), 100-111.[doi:10.5897/JMER11.074](https://doi.org/10.5897/JMER11.074)
- [52] Jain S. Sitaram N. Krishnaswamy S. (2014). Computational Investigations on the Effects of Gurney Flap on Airfoil Aerodynamics, *Hindawi Publishing Corporation International Scholarly Research Notices*,2015.<https://doi.org/10.1155/2015/402358>
- [53] Shahariar GMH. Hasan MR. Mashud M. (2014). Numerical Analysis and Comparison on Aerodynamics Characteristics of NACA 0012 & NACA 4412, *International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering*
- [54] Lissaman PBS. (1983). Low Reynolds Number Airfoils, *Annu. Rev. Fluid Mech.* [doi:10.1146/annurev.fl.15.010183.001255](https://doi.org/10.1146/annurev.fl.15.010183.001255)

- [55] Göv I. Doğru MH. (2020). Aerodynamic Optimization of NACA 0012 Airfoil, *International Journal of Energy & Engineering Sciences*, 5(2), 146-155. ISBN: 978-605-71156-5-2
- [56] Nilavarasan T. Joshi GN. Chandel S. (2018). Aerodynamic Performance Characteristics of NACA 0010 Cascade with Gurney Flap, *International Journal of Turbo and Jet Engines*. <https://doi.org/10.1515/tjj-2018-0012>
- [57] Çengel Y. Cimbala JM. (2020). *Akışkanlar Mekaniği*, 612, Koza Matbaacılık: Palme Yayınevi
- [58] White FM. (2016). *Fluid Mechanics Eight Edition*, 39-40, McGraw-Hill Education
- [59] CalPoly Pomona University, *Online Fluid Mechanics Lectures Note*. (2022). <https://www.cpp.edu/meonline/fluid-mechanics.shtml>
- [60] Zinakov O. (2010). *Essential Computational Fluid Dynamics*, 16, John Wiley & Sons
- [61] Sadreghighi I. *Turbulence Modeling, CFD Open Series*. (2022)
- [62] Splarat P. Allmaras S. (1994). A One Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows, *La Recherche Aeronautique*, 1, 5-21. doi:10.2514/6.1992-439
- [63] Rumsey C. (2021). The Wilcox $k-\omega$ Turbulence Model, *Turbulence Modeling Resource*. NASA Langley Research Center
- [64] Rumsey C. (2021). The Menter Shear Stress Transport Turbulence Model. *Turbulence Modeling Resource*. NASA Langley Research Center
- [65] ANSYS User Guide 12.0. (2009). *Solver Theory*
- [66] ANSYS User Guide 12.0 (2009). *Evaluation of Gradients*
- [67] Wang JJ. Li YC. Choi KS. (2008). Gurney Flap-Lift Enhancement. *Mechanisms and Application Progress in Aerospace Sciences*, 44(1), 22-47. doi:10.1016/j.paerosci.2007.10.001
- [68] Çalışkan M. (2021). *Analysing the Aerodynamic Performance of a Gurney Flap on a Multi-Element Aerofoil*, School of Mechanical and Design Engineering, University of Portsmouth, England
- [69] Li Y. Wang J. Zhang P. (2002). Effects of Gurney Flaps on a NACA 0012 Airfoil, *Flow, Turbulence and Combustion*, 68, 27-39
- [70] Li Y. Wang J. Zhang P. (2003). Influences of Mounting Angles and Locations on the Effects of Gurney Flaps, *Journal of Aircraft*, 40(3), 494-498

DİZİN

<hr/>			
A		Kamber	3
Aerodinamik	1	Kanat	3
Akım	36	Karıştırma Fonksiyonu	49
Akışkan	15	Kinetik	35
Algoritma	50	Kontrol Hacmi	38
<hr/>			
B		Kord	3
Basınç	1	<hr/>	
<hr/>		M	
C		Model	16
Coanda	5	Momentum	41
<hr/>			
D		P	
Duvar	49	Profil	3
<hr/>			
F		R	
Firar	4	Referans	27
Flap	3	<hr/>	
<hr/>		S	
G		Sistem	37
Girdap	2	Sürükleme	5
Gurney	3	<hr/>	
<hr/>		T	
H		Türbülans	5
Hacimsel Debi	38	<hr/>	
HAD	11	V	
Hücum	3	Verim	21
<hr/>		Veter	11
<hr/>		Y	
K		Yoğunluk	35
Kaldırma	4		



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

