T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KANAT UÇ VORTEKSLERİNİN AERODİNAMİK KUVVETLERE ETKİSİ

Yusuf İLHAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER ve KISATMALAR DİZİNİ vii
1. GİRİŞ 1
1.1. Tezin Önemi ve Amacı 1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı 1
1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler 2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 4
3. MATERYAL ve YÖNTEM 10
3.1. Materyal 10
3.1.1 Korunum denklemleri 10
3.1.2 Deneysel yöntem 12
3.1.3 Deney seti 14
3.1.4. Rüzgâr tüneli ve testler için 3D yazıcıyla üretilen kanat 14
3.1.5. Test bölümü 17
3.2 Yöntem 20
3.2.1 Nümerik metodoloji 20
3.2.2. Katı model tasarımı 22
3.2.3. Mesh yapısı 23
3.2.4. Sınır şartları 24
3.2.5. Türbülans model 25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 26
4.1. Farklı Atak Açıları ve Farklı Reynolds Sayılarında Kanat Aerodinamikliği ve Kuvvetleri Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi 26
4.2. Farklı Atak Açıları ve Farklı Reynolds Sayılarında Kanat Aerodinamikliği ve Kuvvetleri Üzerindeki Etkisinin Nümerik Olarak İncelenmesi 99
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 116
KAYNAKLAR 119
ÖZGEÇMİŞ 122

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SABİT KANATLI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KANAT UÇ VORTEKSLERİNİN AERODİNAMİK KUVVETLERE ETKİSİ

Yusuf İLHAN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf IŞIKER
Yıl : 2022, Sayfa : 122

Son yıllarda hem sivil hem de askeri alanlarda kullanımı yaygınlaşan İnsansız Hava Araçlarında(İHA) optimal tasarım parametresi uçuş süresidir. Uçuş süresindeki en önde gelen parametre aracın aerodinamik performansıdır. Sabit kanatlı İnsansız Hava Araçlarının(İHA) aerodinamik performansını belirleyen parametrelerden biride uç vortekslerdir. Bu çalışmada uç vortekslerinin kanatın basınç dağılıma etkisi hem deneysel hem de nümerik olarak araştırılmıştır. Bu amaçla kanadın biri tam ortasında (Uç vortekslerin etkisinin olmadığı bölge) diğeri kanatın serbest ucuna yakın iki eksende basınç ölçümleri alınmıştır. Referans olarak sabit kanatlı İnsansız Hava Araçlarında(İHA) yaygın olarak kullanılan NACA 2415 kanat profili seçilmiştir. Deneysel çalışmalarla eş zamanlı yürütülen nümerik analizler açık kaynak kodlu bir yazılım olan OpenFOAM ile yürütülmüştür. Deneysel çalışmalar toplamda 13 farklı atak açısı ile gerçekleştirilirken nümerik analizler 7 farklı atak açısı ve $5.6*10^3$, $1.13*10^4$ ve $2.26*10^4$'de Reynolds sayılarında gerçekleştirilmiştir. Kanat aerodinamik kuvvetleri hesaplanmış ve yapılan ölçümler sonucunda, havanın kanat alt kısmında firar kenar bölgesinden önceki bölgelerde en yüksek sapma miktarlarının meydana geldiği tespit edilmiştir. 0°-10° atak açılarında basınç katsayıları sapma miktarı artış trendinde iken 15°-30° aralıklarında azalma trendinde olduğu görülmüştür. Tüm sonuçlar göz önüne alındığında göze çarpan kısım atak açısı ile Reyndols sayılarındaki artışın beraberinde kanat üzerindeki basıncı artırdığı ve paralelinde kanat uç kısımlarında oluşan vorteks miktarında artış olduğudur.

ANAHTAR KELİMELER : NACA 2415, uç vorteksler, basınç katsayısı, İHA, aerodinamik

ABSTRACT

Msc Thesis

THE EFFECT OF TIP VORTEXS ON AERODYNAMIC FORCES IN FIXED-WING UNMANNED AERIAL VEHICLE

Yusuf İLHAN

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Yusuf IŞIKER
Year : 2022, Page : 122

The optimal design parameter for Unmanned Aerial Vehicles (UAV), which has become widespread in both civil and military fields in recent years, is flight time. The most important parameter in flight time is the aerodynamic performance of the vehicle. One of the parameters determining the aerodynamic performance of fixed-wing Unmanned Aerial Vehicles (UAV) is the tip vortexes. In this study, the effect of tip vortices on the pressure distribution of the blade was investigated both experimentally and numerically. For this purpose, pressure measurements were taken in two axes, one in the middle of the wing (the region where the tip vortices are not affected) and the other close to the free end of the wing. The NACA 2415 airfoil, which is widely used in fixed-wing Unmanned Aerial Vehicles (UAV), was chosen as a reference. Numerical analyzes carried out simultaneously with the experimental studies were carried out with OpenFOAM, an open source software. While the experimental studies were carried out with 13 different attack angles in total, numerical analyzes were performed with 7 different attack angles and Reynolds numbers at $5.6*10^3$, $1.13*10^4$ and $2.26*10^4$. The wing aerodynamic forces were calculated and as a result of the measurements, it was determined that the highest deflection amounts occurred in the lower part of the air wing before the trailing edge region. It was observed that while the pressure coefficients were in an increasing trend at 0°-10° attack angles, they were in a decreasing trend at 15°-30° intervals. Considering all the results, the striking part is that the increase in the angle of attack and the Reyndols number increases the pressure on the wing, and in parallel, there is an increase in the amount of vortex formed in the wing tips.

KEY WORDS : NACA 2415, tip vortices, pressure coefficient, UAV, aerodynamics

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi esnasında engin tecrübeleri ile desteğini her zaman yanımda hissettiğim değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yusuf IŞIKER'e, çalışmalarımın yürütülmesi süresince sağladığı her türlü destek için Dr. Öğr. Üyesi Zeynel Abidin FIRATOĞLU'na, GAPYENEV(GAP Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Merkezi) yönetim kadrosu ve çalışanlarına, çalışmam sürecinde maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirmeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Kanat üzerinde meydana gelen kuvvet ve momentlerin gösterimi 14
Şekil 3.2. Testlerde kullanılan cihazlar ve test alanı 15
Şekil 3.3. Rüzgâr tünelinin 3D çizim görünümü 16
Şekil 3.4. Rüzgâr tünelinin fotoğrafı 16
Şekil 3.5. Testlerde kullanılan rüzgâr tünelinin şematik görünümü 17
Şekil 3.6. NACA 2415 (a) kanat profili basınç delikleri ve eksenler (b) test bölmesinde 18
Şekil 3.8. Testlerde kullanılan (a) basınç tarayıcı, (b) beş delikli prob, (c) veri okuyucu 19
Şekil 3.9. Simülasyonlar için tasarlanan kanat katı modeli 22
Şekil 3.10. Mesh kalitesi 23
Şekil 3.11. Kanat mesh yapısı 23
Şekil 3.12. Nümerik analizlerde kullanılan akış alanı ve kanat yapısı 24
Şekil 4.1. 0˚ atak açısı ve 5 m/s hızında kanat basınç katsayısı(Cp) grafiği 28
Şekil 4.2. 0˚ atak açısı ve 10 m/s hızındaki kanat basınç katsayısı(Cp) grafiği 30
Şekil 4.3. 5˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(C_p) Grafiği 34
Şekil 4.4. 5˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 36
Şekil 4.5. 5˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 38
Şekil 4.6. 10˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 40
Şekil 4.7. 10˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 42
Şekil 4.8. 10˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(C_p) Grafiği 44
Şekil 4.9. 15˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 46
Şekil 4.10. 15˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 48
Şekil 4.11. 15˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 50
Şekil 4.12. 20˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 52
Şekil 4.13. 20˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 53
Şekil 4.14. 20˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 55
Şekil 4.15. 25˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 57
Şekil 4.17. 25˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 61
Şekil 4.18. 30˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 63
Şekil 4.19. 30˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 64
Şekil 4.20. 30˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 66
Şekil 4.21. -5˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 68
Şekil 4.22. -5˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 70
Şekil 4.23. -5˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 72
Şekil 4.24. -10 atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 74
Şekil 4.25. -10˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 75
Şekil 4.26. -10˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 77
Şekil 4.27. -15˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 79
Şekil 4.28. -15˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 80
Şekil 4.29. -15˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 82
Şekil 4.30. -20˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 84
Şekil 4.31. -20˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 85
Şekil 4.32. -20˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 87
Şekil 4.33. -25˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 89
Şekil 4.34. -25˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 91
Şekil 4.35. -25˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 93
Şekil 4.36. -30˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 95
Şekil 4.37. -30˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 97
Şekil 4.38. -30˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 99
Şekil 4.39. 0˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 101
Şekil 4.40. 0˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(C_p) Grafiği 102
Şekil 4.41. 0˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 103

Şekil 4.42. 10˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 105
Şekil 4.43. 20˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 106
Şekil 4.44. 30˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği 108
Şekil 4.45. -10˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 109
Şekil 4.46. -20˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 111
Şekil 4.47. -30˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği 112
Şekil 4.48. 0° atak açısı 5 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı 113
Şekil 4.49. 0° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı 113
Şekil 4.50. 0° atak açısı 20 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı 113
Şekil 4.51. 10° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı 114
Şekil 4.52. 20° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı 114
Şekil 4.53. 30° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı 114
Şekil 4.54. -10° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı 115
Şekil 4.55. -20° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı 115
Şekil 4.56. -30° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı 115

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Nümerik çalışmalarda sırayla gerçekleştirilen adımlar 22
Çizelge 5.1. Kanat x/L=1.00 noktasındaki basınç katsayıları sapma miktarı..... 117
Çizelge 5.2. Kanat x/L=0.00 noktasında üç farklı Reynolds sayısı z/H=0.5 ve x/L=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarları 117
Çizelge 5.3. Kanat x/L=0.679 noktasında üç farklı Reynolds sayısı ile z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarları 117
Çizelge 5.4. Üç farklı Reynolds sayısı 7 atak açısında sürüklenme ve kaldırma katsayıları ile kuvvetleri 118

SİMGELER ve KISATMALAR DİZİNİ

C_D	Sürükleme katsayısı
CFD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
C_P	Basınç katsayısı
C_L	Kaldırma katsayısı
C_M	Moment katsayısı
F_D	Sürükleme kuvveti
F_L	Kaldırma kuvveti
F_Y	Yanal kuvvet
HLBM	Hibrit Lattice Boltzmann Metodu
İHA	İnsansız Hava Aracı
NACA	Havacılık Ulusal Danışma Komitesi
LES	Large Eddy Simulation
RANS	Reynolds Averaged Navier Stokes
Re	Reynolds sayısı
U_∞	Serbest akış hızı (m/s)
z/H	Boyutsuz kanat ekseni
x/L	Boyutsuz kanat uzunluğu

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Önemi ve Amacı

Son yıllarda gelişen teknoloji ile beraber kullanımı yaygınlaşan İnsansız Hava Araçları(İHA) tarım, askeri, kargo, hobi vb. bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sabit kanatlı, döner kanatlı ve hibrid olarak üç kategoride sınıflandırılabilecek İnsansız Hava araçları(İHA) ile ilgili son yıllarda çok sayıda tasarım geliştirilmiştir. Tüm tasarımların performansını belirleyen ana parametre uçuş süresi açısından, en avantajlı tasarımlar sabit kanatlı İHA'lardır. Sabit kanatlı İHA'larda uçuş süresini belirleyen en önde gelen parametre ise aracın aerodinamik performansıdır. Özellikle yüksek reynolds sayılarında hava araçlarının aerodinamik performansını belirlemeye yönelik birçok çalışma olmasına rağmen(Dajani ve ark., 2017; Jones ve ark., 2018;, Jutur ve ark., 2022; Šidlof ve ark., 2016; Syam S. ve ark., 2022), düşük Reynolds sayılarında çalışmalar çok az sayıdadır(Jaroslawski ve ark., 2022; Bhat and Govardhan, 2013; Zhou and Wang, 2012; Dwivedi ve ark., 2022). Sabit kanatlı İHA'larda aerodinamik performansını belirleyen ana parametre kanat tasarımıdır. Bu doğrultuda literatürde birçok kanat profili geliştirilmiş ve kanat performanslarına etki eden aerodinamik kuvvetler hesaplanmıştır ve tablolar halinde endüstriye araştırma merkezleri tarafından sunulmuştur. Endüstriye sunulan bu verilerde kanat uç vortekslerin veya kanat gövde bağlanma şeklinin aerodinamik performans üzerine etkisi bilgisine ulaşılamamaktadır. Kanadın dolayısıyla İHA'nın aerodinamik performansı üzerinde belirleyici etkisi olan söz konusu iki parametre ile ilgili ek çalışmalara ihtiyaç vardır.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Yukarıda değinildiği üzere farklı kanat tasarımlarının aerodinamik performansı ile ilgili standartlaştırılmış tablolar literatürde olmasına rağmen sabit kanatlı İHA'nın performansını belirleyen kanat gövde bağlantısı ve kanat uç tasarımı ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışmanın amacı sabit kanatlı İHA'larda yaygın olarak kullanılan NACA 2415 kanat profilinin üç vortekslerin kanat basınç dağılımına

etkisinin deneysel ve nümerik incelenmektir. Eş zamanlı olarak yürütülen deneysel ölçüm ve nümerik hesaplamalar ile üç vortekslerin kanat basınç dağılımına etkisi farklı atak açıları ve reynolds sayılarında tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması; giriş, önceki çalışmalar, araştırma bulguları ve tartışma, sonuç ve öneriler, kaynak olmak üzere beş farklı başlıktan oluşmaktadır. İkinci başlıkta bu alanda daha önce yapılmış çalışmalar sunulmuştur. Üçüncü başlıkta, nümerik metodoloji ile deneysel metodoloji sınır tabaka ve kullanılan denklemler verilmiştir. Kanat üzerine etkiyen kuvvetler, deneysel çalışmada kullanılan deney malzemeler ve deney test alanı, kanat üzerindeki eksenler ile basınç delikleri ve mesh tasarımı ile ilgili bilgi verilmiştir.

Araştırma bulguları ve tartışma başlığı altında, yapılan deneysel çalışmada 13 farklı atak açısıyla yapılan testlerden elde edilen veriler vorteks bölgesi dışında ve vorteks bölgesindeki eksendeki noktalarda ayrı ayrı karşılaştırılmış ve grafikleri verilmiştir. 7 farklı atak açısında yürütülen nümerik çalışmaların verileri grafikler halinde sunulmuş ve basınç katsayıları dağılımlarında elde edilen görüntüleri verilmiştir. Son başlıkta yapılan nümerik ve deneysel çalışmaların literatürdeki yeri belirtilmiş ve daha sonra yürütülebilecek çalışımalar hakkında öneriler de bulunulmuştur. Ayrıca NACA 2415 kanat profilinin 7 farklı atak açısındaki C_d ve C_l katsayılarının yanı sıra F_d ve F_l kuvvetleri de hesaplanmıştır.

1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler

Gelişen teknolojinin ihtiyaçları doğrultusunda hızla artan İnsansız Hava Aracı(İHA) kullanımı bu alandaki çalışmaların artmasını tetiklemiştir. Araçların en önemli kısmı olan kanat üzerine etkiyen kuvvet ve momentler aracın havada kalma süresini etkiliyor. Kanatlarda havanın düşük basınç bölgesinden, yüksek basınç bölgesine geçişi sırasında oluşan vorteksler, en önemli parametre olan havada kalma süresine etki etmektedir.

Bu konuda birçok çalışma bulunmaktadır. Tez çalışması sırasında yürütülen çalışmalarda seçilen NACA 2415 kanat profiline etki eden kanat uç vortekslerin ile

ilgili literatürde yeterince çalışma bulunmamaktadır. Belirlenen eksenlerdeki basınç delikleri yardımıyla ölçülmüş ve kanat uç kısmı ile kanat orta kısımdaki eksenlerdeki basınç katsayıları sapmaları hesaplanarak uç vortekslerin kanat aerodinamiği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, uç vortekslerin kanat üzerindeki etkisinin azaltılması için tespitlerde bulunulmuştur. Bu sonuç, tez çalışmasının özgünlüğünü ortaya koymuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnsansız hava araçlarının son 10 yılda gerek sivil ve gerekse askeri alanlarda yaygınlaşmasıyla birlikte konu ile ilgili birçok firma faaliyete geçmiştir. İnsansız hava araçlarını klasik insanlı hava araçlarından en büyük farkı araçların sahip olduğu hızlardır. Buna bağlı düşük Reynolds sayısında aerodinamik performansı ile ilgili araştırma özellikle son on yılda büyük artış yaşanmıştır. Bunların öne çıkan çalışmaların özeti aşağıda verilmiştir.

Zhang ve ark. (2020), düşük Reynolds sayılarında E374 kanat profili üzerinde yivli yüzeyde oluşan mukavemeti azaltmaya yönelik nümerik bir çalışma yürütmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada sürüklenme kuvvetinin 45°'lik atak açısında referans alınan kanat için %9,5 civarında olduğunu, kanadın üst yüzeyindeki Reynolds gerilimlerinin azaldığını ve bu bölgedeki türbülans kinetik enerjinsin arttığını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, türbülansın düşürülmesi için en etkili bölgenin güçlü ters basınç gradyanı içeren bölgede olan $0.3 < x / c < 0.6$ olduğunu belirtmişlerdir.

Ramanan ve ark. (2021), bir sabit kanatlı İnsansız Hava Aracının kanat profilinin model tasarımını analiz ederek aerodinamik performansını araştırmışlardır. Tasarım yöntemi olarak aerodinamik bir parametre olan sürüklenme faktörü seçilmiş ve bu kanat profili için kanat karakteristikleler yaklaşık olarak hesaplamışlardır.

Di ve ark. (2018), NACA 0012 kanat profili üzerine yaptıkları bir çalışmada Hibrit Lattice Boltzmann Metodu (HLBM) yönteminin kullanılabilirliğini test etmişlerdir. Çalışmalarını Re=0-104 aralığında yürütmüşlerdir.

Göv ve ark. (2019), uçuş esnasında ayarlanabilen bir NACA 4412 kanat profilinin aerodinamik performansını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, maksimum aerodinamik verim için 0° ile 12° aralığında NACA 4412 kanat profilinin atak açısının (α), 12° ile 17° arasında kullanılmasının uygun olduğunu gözlemlemişlerdir.

Devinant ve ark. (2002), dikey eksenli rüzgar türbininde NACA 65(4)-421 kanat profilinin aerodinamik özellikleri (kaldırma, sürükleme, yunuslama momenti, basınç dağılımları) 90°'lik atak açısında araştırmışlardır. Çalışmalarında aerodinamik davranışının türbülans seviyesinden hem niteliksel hem de niceliksel olarak güçlü bir şekilde etkilenebileceğini gözlemlediler. Gözlemledikleri etki, özellikle, sınır tabakası ayırma noktası kanat profilinin rüzgâr altı yüzeyi boyunca ilerledikçe, kanat profili durmasına karşılık gelen hücum açısında kendini gösterdiğini belirlemişlerdir.

Ben ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada, serbest akış türbülansının vorteks sirkülasyonunu azalttığı ve vorteks yarıçapıyla vorteks kıvrımlı genliğini arttırdığı belirtmişlerdir. Reynolds sayısını arttırırken, özellikle daha büyük akış aşağı konumlarda, girdap yarıçapı ve tepe girdap seviyelerinde çok az değişiklik gösterdiğini, bu da serbest akış türbülansı ve sayının vorteks gelişimi üzerindeki etkilerinin neredeyse bağımsız olduğunu düşündürmüştür. Ölçülen toplam türbülanslı kinetik enerjinin çoğunlukla vorteks kıvrımından kaynaklandığı açıklamışlardır.

Gehlert ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada, NACA 0012 kanat profilini 215.000 ve 244.000 Reynolds sayılarında, 2 farklı grupta uç yüzeylerde çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada uç yüzeyde vorteks yapısı küçük vortekslerin oluşturulmasıyla daha tutarsız hale getirdiğini belirlemiş ve maksimum C_l/C_d karşılık gelen düz uç yüzeylerde %11,1'e kadar daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir.

Liang ve Xue (2014), NACA 0015 kanat profilini $\alpha=8°$ ve $\alpha = 10°$ atak açıları ve $Re=1,8*10^5$ 'te (DES) Detached eddy simülasyonu ve (RANS-SA) Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes denklemi modellerini karşılaştırmışlar. DES modelinin girdaptaki karmaşık üç boyutlu yapıları yakalayabildiğini ve akış yönünde vorteks ve çapraz akış hızının deney sonuçlarıyla oldukça iyi uyum sağladığını, ancak DES ile aynı mesh yapısına sahip RANS-SA modelinin başarısız olduğu sonucuna varmışlardır.

Fıratoğlu ve ark. (2021), NACA 2415 kanat profilinin aerodinamik performansı Fluent ve OpenFOAM yazımlarını kullanarak araştırmışlardır. İki yazılımın sonuçları ile ilgili yaptıkları karşılaştırmada kaldırma kuvvetlerindeki sapmanın %6, sürüklenme kuvvetinde ise %15,5'e kadar olduğunu vurgulamışlardır.

Ockfen ve Matveev (2009), NACA 4412 kanat profili üzerinde yaptıkları çalışmada, kanada eklenen flapların kanat aerodinamiğine etkisini incelemişlerdir. Fluent programında yaptıkları nümerik çalışmada Splart-Allmaras türbülans modelini kullanmışlardır. Sonuç olarak düşük hücum açılarındaki kanatlarda flap kullanımının kanat kirişinin %5'ine kadarki kısımlarda faydalı olduğu ve kaldırma-sürüklenme oranını arttırdığını açıklamışlardır.

Zhou ve ark. (2019), rüzgar tünellerinin test alanı duvarlarının testler üzerindeki etkisini NACA 0012 kanat profili üzerinde yaptıkları bu çalışmada ele almışlardır. Reynolds sayısı $1*10^5$ ve $3*10^5$'te yaptıkları testlerde kanat profilinin strouhal sayısı, blokaj oranı ve hücum açısının etkili olduğunu vurgulamışladır. Çalışmanın sonucunda, blokaj oranın artıkça kitlenme bölgesinin azaldığını Reynolds sayısının hem serbest akışta hem de sınırlı akışta kitlenme bölgesi üzerinde etkisinin olduğunu açıklamışlardır.

Gabor ve ark. (2016), kanat flaplarının yüzey aerodinamik özelliklerini hesaplamak için klasik vorteks kafes yöntemi yaklaşımının aksine doğrusal olmayan yeni bir formül türettiklerini açıklamışlardır. Türettikleri formül ile elde ettikleri verileri deneysel verilerle doğruladıklarını kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri ile yunuslama momentinin hesaplanmasında uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Vecchia ve ark. (2018), bir P2006T uçağının kanat ucuna yerleştirilmiş bir motorun uçak kanadı üzerindeki aerodinamik özellikleri araştırmışlardır. Kanat ucuna yerleştirilmiş motor ile kanattaki sürtünmeyi azaltmayı hedeflemişlerdir. Sonuç olarak, endüklenen sürüklenme katsayısının düşük seyir kaldırma katsayısına oranını %2-3 olduğunu göreli yüksek seyir kaldırma katsayısında ise %8-10 arasında düştüğünü açıklamışlardır.

Narayan ve John (2016), tasarladıkları üç farklı en-boy oranındaki, kanatlarda en-boy oranının kanat aerodinamik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ansys Fluent V15 programında RANS modelini kullanarak, muti-tip-4 kanadının kaldırma katsayısının arttırdığını, uçuş ve süre parametreleri göz önüne alındığında optimum kanadın multi-tip-3 olduğunu ve genel olarak kanatların düşük en-boy oranlarında daha verimli olduklarını belirtmişlerdir.

Mezarina ve ark. (2021), referans aldıkları bir kanat profilinin ucuna düz bir yüzeye sahip nesne yerleştirerek, 3 farklı çıkıntıya sahip yüzeyler yerleştirdikleri kanat uçları üzerinde yaptıkları bu çalışmada, kanadın aerodinamik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Rüzgâr tünelinde yaptıkları testlerin sonuçlarını CFD programı ile desteklemişlerdir. En büyük çıkıntılara sahip kanat ucunda sürüklenme kuvveti azalırken diğer diğer iki uçta azalmış olduğunu, büyük çıkıntılara sahip kanat yüzeyinin düşük hücum açılarında aerodinamik özelliklerinde önemli bir artış sağlandığını açıklamışlardır.

Aldheeb ve ark. (2020), NACA 653218 kanat profilini kanat uç kısmını gözenekli olacak şekilde 3B olarak üreterek kanat uç kısımlarındaki vortekslerin kanat aerodinamiğine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarını nümerik çalışmalarla destekleyerek, vortekslerde %90'a varan azalma görüldüğünü teğetsel hızın %67'e varan azalma olduğunu açıklamışladır.

Ahmadi ve ark. (2015), bir NACA 0015 kanat profinin uç kısımlarındaki vortekslerini inceledikleri bu çalışmada, testleri 0° ve 25° kanat atak açıları ve $1.6*10^5$ Reynolds sayısında gerçekleştirmişlerdir. Kanat uç vortekslerin kanat üzerindeki diğer noktalara önemli ölçüde etki etmediğini belirtmişken türbülans yoğunluğunu arttırdığını belirtmişlerdir.

Giuni ve Green (2013), NACA 0012 kanat profilinin ucuna yerleştirdikleri yuvarlak ve kare uçlar üzerindeki vortklesleri gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında duman ile görselleştirme kullanmışlardır. Vortekslerin oluşumu sırasında uç kısımdaki akıştan gelen türbülansın vorteksin merkezine sürüklenerek türbülanslı bir vorteks

oluşturduğunu belirtmişlerdir. Kanat eksenindeki akışın yönü ve yoğunluğunun jet benzeri olduğunu ve kanat uç vortekslerinin erken oluşumunda çok önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir.

Devenport ve ark. (1996), kanat uç kısımlardaki vorteksleri incelemek için NACA 0012 kanat profili üzerinde çalışmışlardır. Vorteklerin merkezine gidildikçe hız dalgalanmalarının büyük ölçünde arttığını ve bu artışın türbülanstan kaynaklanmadığını belirtmişlerdir. Vortekslerin merkezlerinde ölçülen hız tayfının, merkezdeki akışın laminer olduğunu belirtmişlerdir.

Bailey ve ark. (2012), sıcak tel anemometresi kullanarak serbest akış türbülansında kanat uç kısımlarındaki vortekslerin oluşumu ve gelişimi gözlemlemişlerdir. Çalışmanın tüm parametrelerinde, kanat uç kısımda 3 küçük vorteksin oluştuğunu, vorteks yörüngelerinin serbest akış türbülansından etkilenmediğini açıklamışlardır. Vorteks çekirdeğindeki ortalama çevresel hız dağılımları, tüm parametrelerde birbirine benzer tepkiler verdiğini ve serbest akış türbülansının kanadı terk ettiği sınır tabasındaki difüzyonun arttığını belirtmişlerdir.

Sohn ve Chang (2012), 3.2 en-boy oranındaki yarım kanat profilinin uç kısmında kare kesim, basit kaplama ve Whitcomb olmak üzere toplamda üç farklı kesit ile duman teli görselleştirme tekniği kullanarak farklı atak açılarında sonuçları görselleştirmişlerdir. Basit kaplama ve Whitcomb'u karşılaştırdıkları testlerde, vortekslerin mukavemetinin azaldığını, yakın uyanık bölgede dışa ve yukarı doğru yer değiştirdiğini gözlemlemişlerdir. Whitcomb'un kaldırma-sürüklenme oranın arttığını açıklarken sonuçları model ile ilgili literatürle eşleştiğini açıklamışlardır.

Beninati ve Marshall (2005), kurdukları düzenek yardımıyla, rüzgar tünelinde oluşturdukları vortekslerin merkezleri ile dışlarındaki türbülans gelişimini gözlemlemişlerdir. Kurdukları düzenek 4 kanattan oluştuğunu ve rüzgar tünelleri düşük hızlı bir tünel olduğunu açıklamışlardır. Çalışmalarında Jacquin, Fabre ve Geffroy' un iki uzunluk ölçeği modelini kullanmışlardır. Vortekslerin oluşumu

sırasında crow salınımlarını gözlemlediklerini ve sonrasında vorteksin kırıldığını açıklayarak, bu kırılmanın direkt türbülanstan kanlanabileceğini belirmiştelerdir.

Lee ve He (2018), $3.81*10^5$ Reynolds sayısında bir birinden farklı bir dizi kanat üzerinde yaptıkları çalışmada kanat uç vortekslerini araştırmışlardır. CFD simülasyonlarıyla destekledikleri çalışmalarında, vorkteks akış alanında hesaplanan kaldırma kuvveti kaynaklı sürüklenmenin de toplam sürüklenme kuvvetinin %17-27' si olduğunu açıklamışlardır. Vortekslerin oluşumu sırasında crow salınımlarını gözlemlediklerini ve sonrasında vorteksin kırıldığını belirtmişlerdir. Bu kırılmanın direkt olarak türbülanstan kaynaklanabileceğini belirmiştelerdir.

Lee (2016), farklı geometrilere ve yüksekliklere sahip Gurney kanat benzeri şeritler ile bir ters delta kanadının (RDW) uç vortekslerini parçacık görüntü hızı (PIV) ile araştırmıştır. Kanat uçlarına eklediği şeritlerin kaldırma ve sürüklenme katsayılarının arttığını ve ayrıca kanat ucuna şerit eklenen kanatlarda daha güçlü vortekslerin meydana geldiğini açıklamıştır. Sonuç olarak şeritlerin kanatlarda aerodinamik iyileştirmeler yapabileceğini belirtmiştir.

Zhang ve ark. (2016), bir çift delta kanat üzerindeki vortkeslerin etkileşimini parçacık görüntüleme hızını (PIV) kullanarak rüzgar tünelinde testleri gerçekleştirmişlerdir. Kanat vortekslerin gelişmeden önce çift sıralı bir vorteks yapısı görüldüğünü belirtmişlerdir. Vortekslerin birbirine yakın olduğunda korelasyonun meydana geldiğini ve faz dışı yer değiştirmelerin ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Konu ile ilgili mevcut literatür dikkate alındığında bu çalışmanın motivasyonu iki başlık altında toplanabilir. İlki literatürde uç vorteksleri kanat yüzeyindeki basınç dağılımı üzerine etkisinin detaylı açıklayan çalışma bulunmamaktadır. İkincisi uç vortekslerin aerodinamik kuvvetlere etkisiyle ilgili yeterli verinin bulunmamasıdır. Bu çalışmada sabit kanatlı İHA'larda yaygın olarak kullanılan NACA 2415 kanat profilinde uç vortekslerin kanat yüzeyindeki basınç dağılımına etkisi deneysel araştırılmıştır. Deneyler referans olarak sabit kanatlı İHA'larda yaygın olarak kullanılan NACA 2415 profili seçilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1 Korunum denklemleri

Bir akış alanı tanımlayabilmek için akış alanındaki dinamik (u, v, w, ρ, μ) ve termodinamik (T, P, h, k) gibi parametreleri bilmek, akış alanın herhangi bir noktası için bu parametrelerin bulunabileceğini göstermektedir. Bu parametrelerin akış boyunca ölçülmesi oldukça güçtür. Bu temelde kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemleri ve aralarındaki ilişki bu parametrelerin hesaplanmasında büyük kolaylıklar sağlar.

Sıkıştırılamaz akışta süreklilik denklimi kartezyen koordinat sisteminde yazıldığında;

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \tag{3.1}$$

Sonuçta, Momentum Denklemi (Bernoulli, 1742);

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right)=X_f-\frac{\partial P}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)$$

$$\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}\right)=Y_f-\frac{\partial P}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) \tag{3.2}$$

$$\rho\left(u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}\right)=Z_f-\frac{\partial P}{\partial z}+\mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)$$

Enerji Denklemi (Bernoulli, 1742);

$$u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}+w\frac{\partial T}{\partial z}=\frac{k}{\rho C_p}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)+\mu\Phi \tag{3.3}$$

$$\Phi = 2\left\{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2\right\} + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}\right)^2 \tag{3.4}$$

$$+\left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 - \frac{2}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right)^2$$ biçimindedir.

Laminer akışlar için kullanılabilen bu denklemlerdeki X_f, Y_f ve Z_f parametreleri x, y ve z yönlerindeki birim hacime düşen kuvvetler olarak belirtilirken, Denklem (3.4)' teki yayılım denklemi viskoziteden oluşan kuvvetin akışkan parçacıkları üzerindeki kalıcı iş oranını vermektedir.

Denklem (3.2) ve Denklem(3.3) Laminer akışlarda kullanılan momentum ve enerji bağıntıları akış yapısındaki karmaşıklık sebebiyle analitik çözümler için kullanışsız olduğundan integral ile yaklaşık çözüm metodu kullanılır. Sürekli akışlarda momentum ile enerji integral bağıntıları sırasıyla;

$$\frac{d\theta}{dx} + \frac{\theta}{U_\infty}\frac{dU_\infty}{dx}(H+2) = \frac{C_f}{2} \tag{3.5}$$

$$\frac{d}{dx}\int_0^{\delta_T}(T_\infty - T)u\,dy = \frac{k}{\rho C_p}\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_{y=0} \tag{3.6}$$

biçiminde yazılır(Bernoulli, 1742).

Laminer akışlar için Denklem (3.1)'den Denklem (3.6)'ya kadar verilen bağıntılar kullanılır. Türbülanslı akışların kullanımda laminer akışa göre daha çok kullanılıyor olması, laminer akış için verilen bağıntılara süreklilik, momentum ve enerji bağıntılarına düzensiz karışıklıkları simgeleyen unsurlarında ilave edilmesi gerekmektedir. Ortalama hız unsurları $\overline{u}$, $\overline{v}$ ve $\overline{w}$ şeklinde tanımlanırken bu doğrultudaki türbülans yoğunlukları $\overline{u}'$, $\overline{v}'$ ve $\overline{w}'$ biçiminde tanımlanmıştır.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}+\frac{\partial \bar{v}}{\partial y}+\frac{\partial \bar{w}}{\partial z}=0 \tag{3.7}$$

İle Momentum Bağıntılarındaki Reynolds kayma gerilmelerinin (Bernoulli, 1742);

$$F_x=-\rho\left[\frac{\partial \overline{u'^2}}{\partial x}+\frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y}+\frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z}\right]$$

$$F_y=-\rho\left[\frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial x}+\frac{\partial \overline{v'^2}}{\partial y}+\frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z}\right] \tag{3.8}$$

$$F_z=-\rho\left[\frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial x}+\frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial y}+\frac{\partial \overline{w'^2}}{\partial z}\right]$$

Enerji Bağıntılarında ortalama türbülanslı ısı akısı ($\overline{u'T'}$)

$$F=-\left[\frac{\partial\left(\overline{u'T'}\right)}{\partial x}+\frac{\partial\left(\overline{v'T'}\right)}{\partial y}+\frac{\partial\left(\overline{w'T'}\right)}{\partial z}\right] \tag{3.9}$$

parametrelerinin dahil edilmesi gerekmektedir. (Bernoulli, 1742)

3.1.2 Deneysel yöntem

Bir yüzeyi sabitlenen kanadın akış alanını tanımlayabilmek için test alanı boyunca; hız ve basınç ölçülerek testlerden veya nümerik hesaplamalardan birinci basınç katsayısıdır;

$$C_p=\frac{P-P_\infty}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2} \tag{3.10}$$

şeklindedir (Scherer, 1950).

U_∞ serbest akış hızını, P_∞ serbest akış basıncını ve P yüzey basıncını temsil etmektedir. Kanat üzerindeki basınç, kanat üzerinde açılan basınç delikleri ile ölçülürken test alanına kanadın 500mm öncesinde açılan basınç deliğiyle serbest akış basıncı ölçülmüştür. Kanat yüzeyine dik gelen basınç kuvvetleri ise;

$$F_P = (P - P_\infty) A \tag{3.11}$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır (Scherer, 1950).

Kanat üzerindeki aerodinamik kuvvetler olan sürüklenme, kaldırma ve yanal kuvvetler hesaplanmıştır. Daha sonra sürüklenme katsayısı içinse Denklem (3.12) kullanılır;

$$C_D = \int_0^{\pi} Cp \, Cos\theta d\theta \tag{3.12}$$

Kaldırma katsayısını hesaplamak içinse Denklem (3.13) kullanılmıştır (Scherer, 1950).

$$C_L = \int_0^{\pi} Cp \, Sin\theta d\theta \tag{3.13}$$

şeklindedir (Scherer, 1950).

Sürüklenme katsayısı hesaplama Denklemi (3.14)'te görülmektedir (Scherer, 1950).

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2 A} \tag{3.14}$$

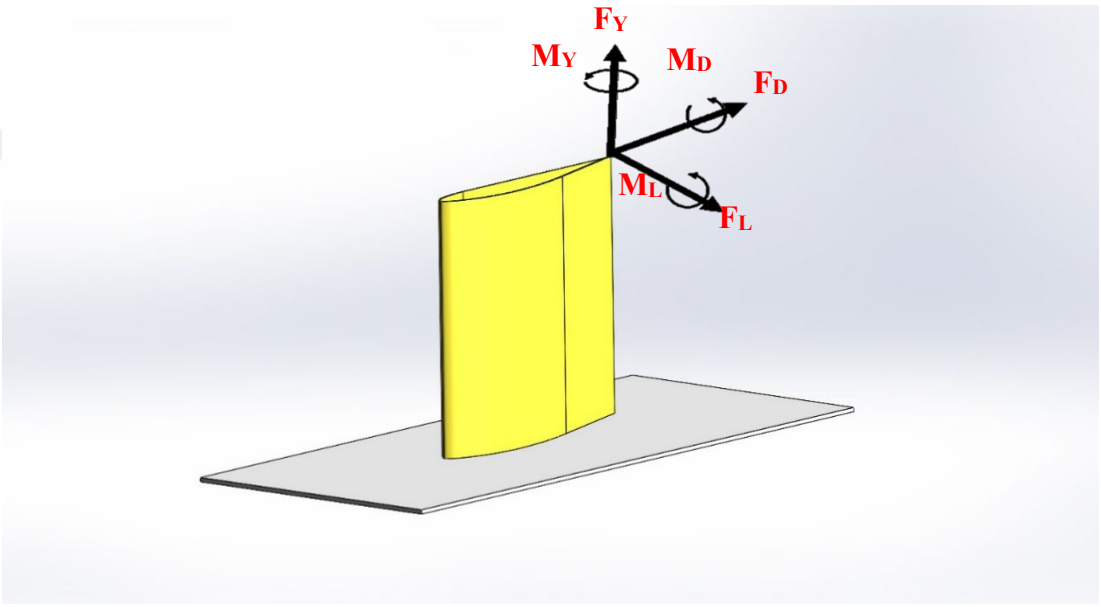
Kaldırma katsayısı Denklem (3.15)'teki denklem ile hesaplanmıştır (Scherer, 1950).

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2 A} \tag{3.15}$$

Bu tez çalışması için seçilen NACA 2145 kanat profilinin üzerindeki kuvvet ve momentler Şekil 3.1'de görülmektedir.

3.1.3 Deney seti

Deneyler subsonik bir rüzgâr tüneli olan ve 55 kW AC motor gücüne sahip bir radyal fanın kullanıldığı rüzgâr tünelinde yapılmıştır. Tünelin test alanı şeffaf pleksiden imal edilmiş ve kanat belirlenen ölçekte 3D yazılı ile üretilerek tahta bir zemin üzerine yatay olarak sabitlenmiştir.



Şekil 3.1. Kanat üzerinde meydana gelen kuvvet ve momentlerin gösterimi

3.1.4. Rüzgâr tüneli ve testler için 3D yazıcıyla üretilen kanat

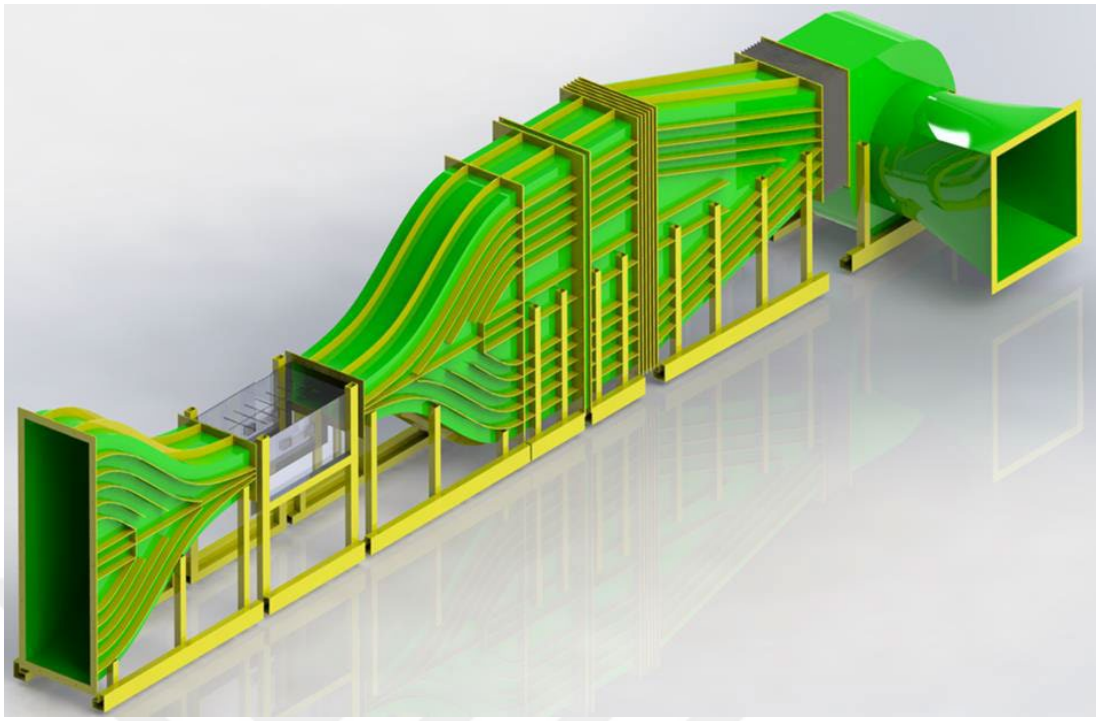
Harran Üniversitesi (GAPYENEV) GAP Yenilebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Laboratuvarındaki 55 kW gücündeki radyal fan ile üretilen hava akışı 45 m/s hıza kadar çıkabilen ve 1,5 m3/s debiye sahip, rüzgâr tüneli ölçümleri gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Yine testlerde kullanılan test alanı ve cihazlar Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Testlerde kullanılan cihazlar ve test alanı

Tünelin içine giren akışkan öncelikle koruyucu metal bir kafesin içinden geçerek girer ve akışın kontrolü bir frekans kırıcı ile sağlanmaktadır. Akış daha sonra difüzöre gelir uzunluğu 1069 mm olan difüzörü akış terk ettiği sırada akış çizgilerinin düz olması ve oluşan türbülansın düşürülmesi için bal petekleri kullanılmıştır. Akışkanın bir sonraki durağı olan kanal kısmının ise uzunluğu 950 mm olmakla beraber yine türbülans miktarını düşürmek için 4 tane elek teli kullanılmıştır.

Tünelin bir sonraki kısmı ise lüledir, uzunluğu 1000 mm lülenin devamında test alanı bulunmaktadır, test alanın boyutları 1000x450x2000 mm^3 şeklindedir. Testlerde kullanılan rüzgâr tünelinin 3D çizimi ve gerçek halinin fotoğrafı sırasıyla Şekil 3.3 ve 3.4'te görünmektedir.



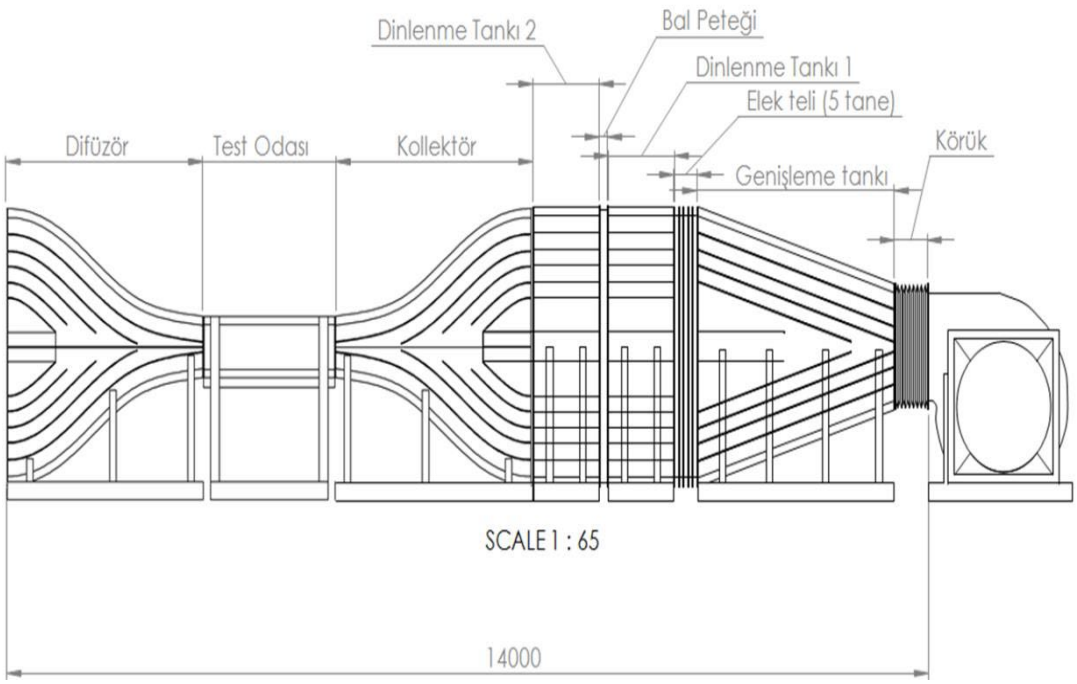
Şekil 3.3. Rüzgâr tünelinin 3D çizim görünümü (İzol, 2019)



Şekil 3.4. Rüzgâr tünelinin fotoğrafı

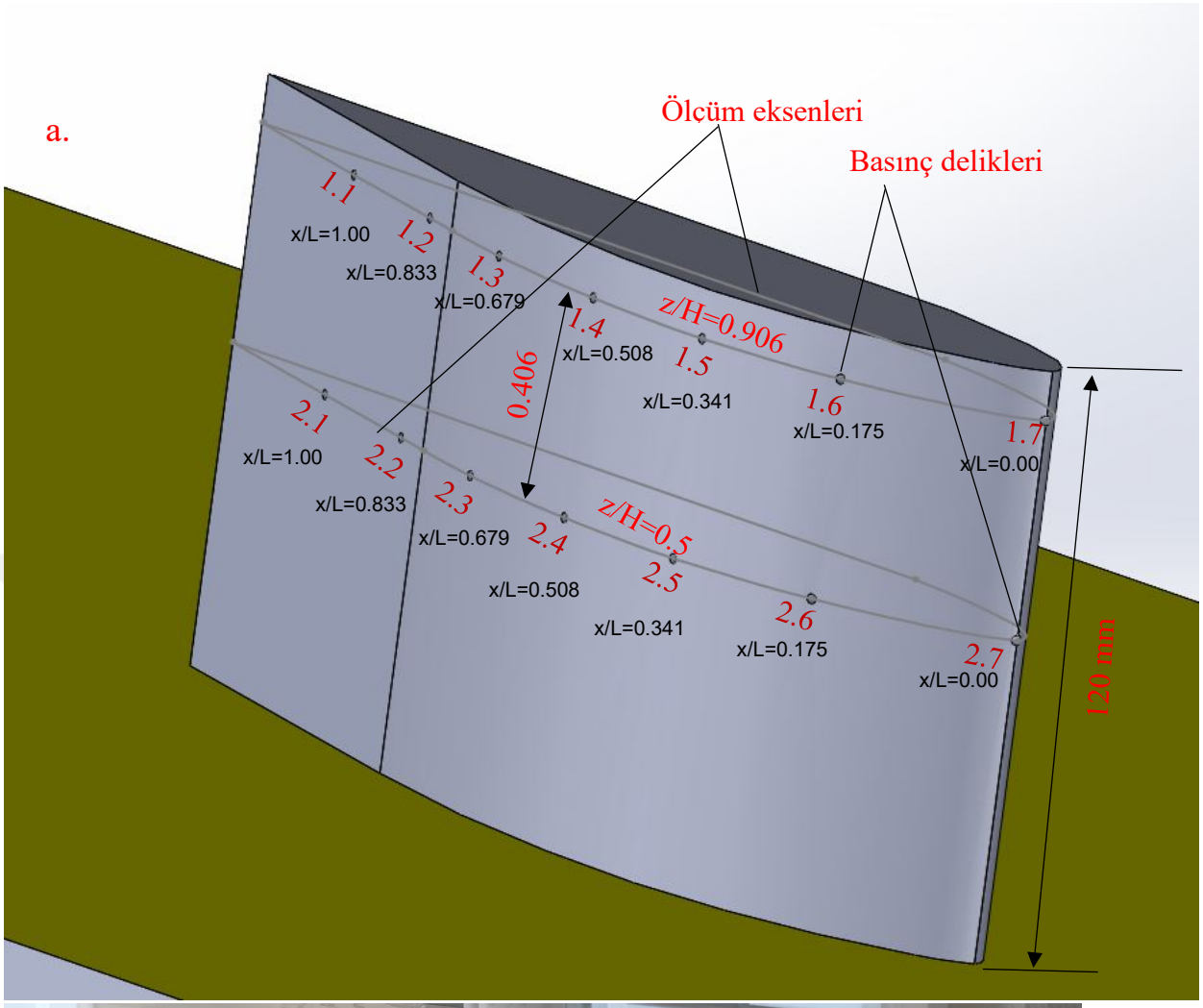
3.1.5. Test bölümü

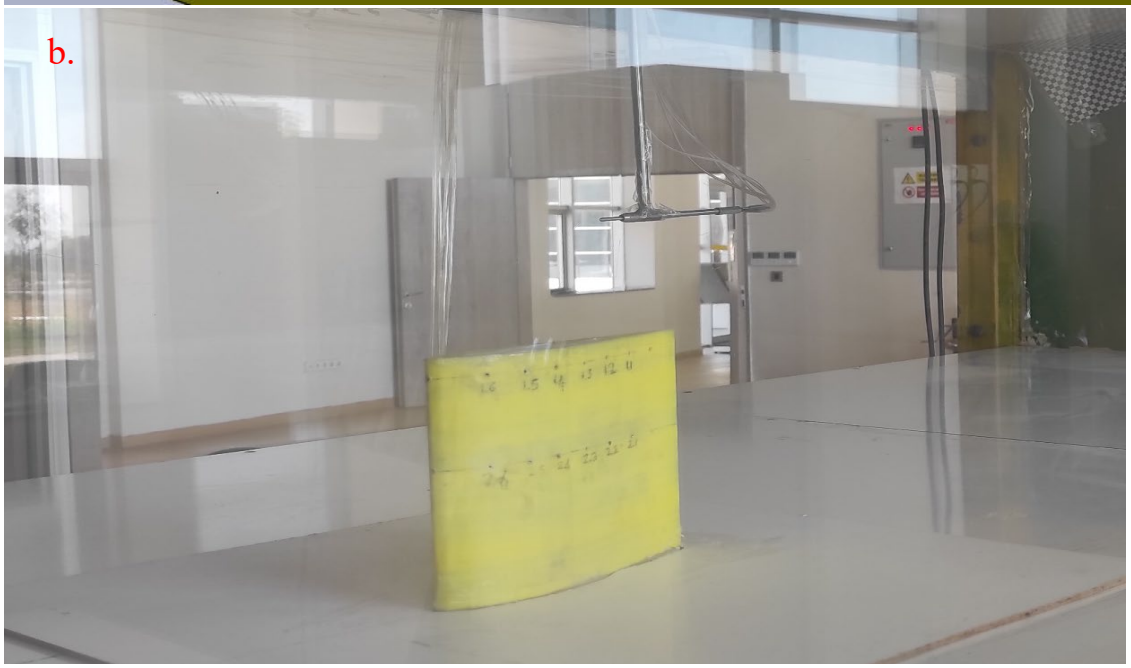
Şeffaf pleksiden imal edilen test alanın konstrüksiyona uygun olması için sanayide CNC Lazer tezgâhı ile kesilmiştir. Konstrüksiyonu profilleri Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölüm atölyesinde yapılmıştır. Test alanın bu şekilde imal edilmesindeki amaç; test bölümünün kolay bir şekilde gözlemlenebilmesi, test alanın üst kısmında oluşturulan bilgisayar destekli kontrol sistemine bağlanacak prob vb. cisimlerin kontrollerinin kolay olmasıdır. Rüzgâr tünelinin şematik görünümünde tünel ile ilgili ayrıntılar Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5. Testlerde kullanılan rüzgâr tünelinin şematik görünümü (İzol, 2019)

Bu tez çalışmasında uç vortekslerin etkisini gözlememek amacıyla referans alınan NACA kanat profili üzerinde her eksende 12 noktada olmak üzere iki eksende basınç ölçümleri alınmıştır. Ölçüm eksenleri ve noktaları Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.6'dan görüleceği üzere ilk ölçüm ekseni (z/H=0.5) kanadın dikey önde tam merkezine denk gelirken ikinci ölçüm ekseni kanat üst ucuna yakın (z/H=0.906) bir noktaya gelmektedir.





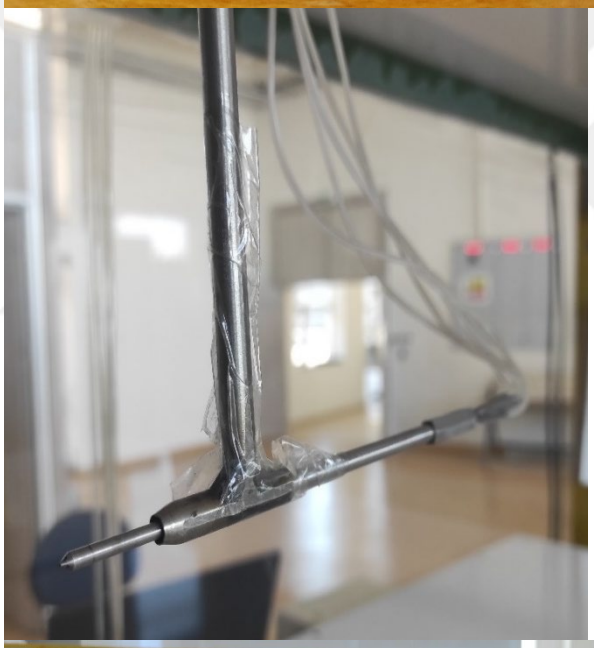
Şekil 3.6. NACA 2415 (a) kanat profili basınç delikleri ve eksenler (b) test bölmesinde

Bu tez çalışması sırasında testlerde kullanılan, basınç tarayıcı, prob ve veri okuyucu Şekil 3.8'de görünmektedir.

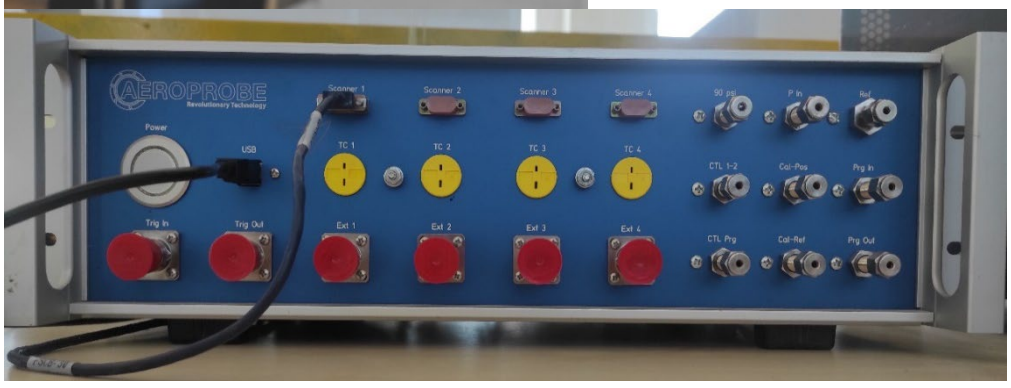
a.



b.



c.



Şekil 3.7. Testlerde kullanılan (a) basınç tarayıcı, (b) beş delikli prob, (c) veri okuyucu

3.2 Yöntem

3.2.1 Nümerik metodoloji

Günümüz teknolojisinde bilgisayarlı simülasyonları oldukça gelişmiştir. Bu çerçevede, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) sanayi ve bilimsel çalışmaların vazgeçilmezi konumundadır. Bunun en temel sebeplerinden biri cisimlerin geometrilerinin büyüklüğü ve özellikle küçük ile orta ölçekli işletmeler için bu sürecin oldukça maliyetli olabileceğidir. Bu temelde akışkanlı uygulamalarda, deneysel ölçümlerle doğruluğu kanıtlamış (CFD) yöntemleri kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bu tez çalışmasında deneysel olarak farklı atak ile farklı hızlarda yapılan testlerin yanında kanadın nümerik analizleri de yapılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile yapılan analizler için birçok ticari ve açık kaynak kodlu program üretilmiştir. Bunlar Fluent, OpenFOAM, FLACS, Siemens PLM vb. şeklinde sıralanabilir. Programların çalışma prensibi tanımlanan akışın enerji, süreklilik ve momentum eşitliklerini nümerik metotlarla çözme olarak tanımlanır. Günümüzde yapılan çalışmaların önündeki büyük engellerden olan maliyetin en aza indirgeme gayesi çalışmaların çeşitliliğini arttıracağı aşikârdır. Bu sonuçla, yapılan bu tez çalışmasında tamamen ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir CFD programı olan, güvenirliğini yapılan bilimsel çalışmalarla kanıtlamış OpenFOAM programı kullanılmıştır. Tezin bu bölümünde, yapılan nümerik çalışmalar ve bu çalışma süreci sunulacaktır. Kütlenin korunumu kanuna dayanan süreklilik denkleminin bir türbülanslı akış alanı için denklemi;

$$\left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_i} = 0\right) \tag{3.14}$$

biçimdedir (Boussinesq, 1885).

x- yönündeki momentum korunum denklemi;

$$\rho\left(\bar{u}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v}\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right) = X_f - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \mu\left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}\right) - \rho\left(\frac{\partial u'u'}{\partial x} + v\frac{\partial u'v'}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial u'w'}{\partial z}\right) \tag{3.15}$$

X_f parametresi eşitlikte, x yönünde birim hacimdeki kuvvetleri temsil etmektedir. Bu tarz nümerik analizlerde görülebilecek en önemli problem momentum eşitliğinin kısmi diferansiyel ve ikinci dereceden eşitlik olmasıdır. Tek boyutlu akışlar için genel olarak eşitlik (3.15)'teki momentum türbülanslı serbest akış hızlarını belirten reynolds terimleri için (Boussinesq, 1885);

$$-\rho u'v' = \mu_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \tag{3.16}$$

biçimindedir(Boussinesq, 1885).

Bu eşitlikten sonra kayma gerilmesi;

$$\tau = (v + v_t)\frac{\partial \bar{u}}{\partial_y} \tag{3.17}$$

biçiminde tanımlanır(Boussinesq, 1885).

Eşitliklerdeki v_t kinematik Eddy viskozitesini temsil ederken, μ_t dinamik Eddy viskozitesini temsil etmektedir. CFD çalışmalarındaki önemli zorluklardan biri de Eddy viskozitesinin akış alanın bir parametresi olmadır. Bu problemin aşılabilmesi için literatürde geliştirilmiş farklı türbülans metotları mevcuttur. CFD çalışmalarındaki en önemli aşama uygun türbülans metodunun kullanımıdır. Yapılan nümerik analizleri çalışmalarının sürecimde kullanılan türbülans metodunun ayrıntıları verilmiştir.

CFD çalışmaları akış ortamının belirtilmesi, simülasyonlar ve sonuçların değerlendirilmesi biçiminde üç temel süreçten oluşur. Bu süreçte bu temel üç süreç paket programlar şeklinde yürütülmüştür.

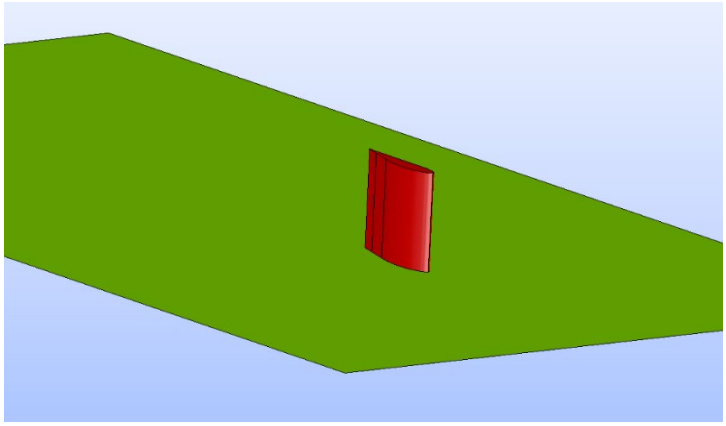
Önceki paragrafta tanımlanan üç temel süreç tablo halinde Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Tablodan görüleceği gibi simülasyonlar 10 farklı aşamada gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Nümerik çalışmalarda sırayla gerçekleştirilen adımlar

	Aşamalar	CFD adımları
Akış alanın belirtilmesi	1	Akış alanının belirtilmesi
	2	Katı model dizaynı
	3	Sınırların belirtilmesi
	4	Mesh yapısının belirtilmesi
	5	Sınır şartlarının belirtilmesi
Nümerik çalışmaları n yapılması	6	Analiz stratejisinin literatürdeki çalışmalara çerçevesinde belirtilmesi
	7	Simülasyonların yürütülmesi
Sonuçlarının yorumlanması	8	Simülasyon sonuçlarının yorumlanması
	9	Simülasyon sonuçların yapılan deneysel testler veya literatür ile karşılaştırılması
	10	Simülasyonlarda yapılan hesaplamaların başka mesh yapılarında simüle ederek meshten bağımsız sonuçların alınması

3.2.2. Katı model tasarımı

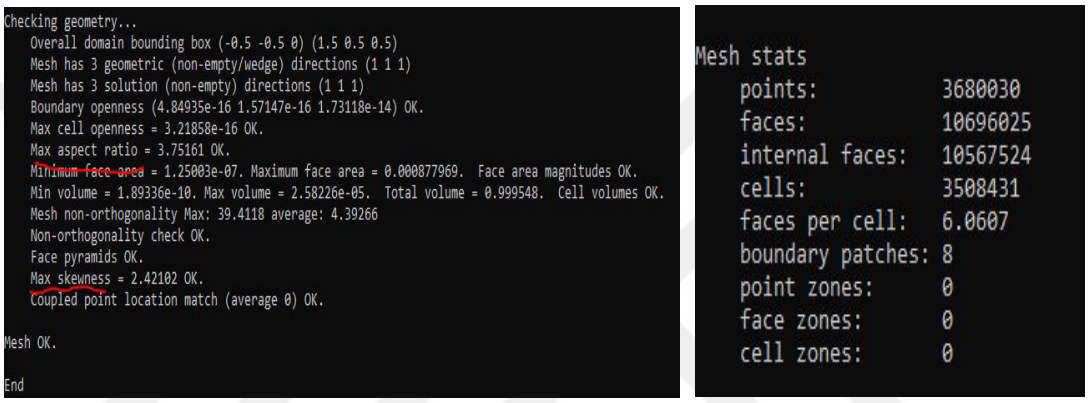
Şekil 3.9'da sıfır atak açısındaki NACA 2415 kanat profili verilmiştir. Şekilde görüleceği gibi, katı model yine açık kaynak kodlu bir yazılım olan SALOME ile tasarlanmıştır. Deneysel çalışmalardaki bir yüzeye montajlanmış ve deneysel ölçümlerde kullanılan ölçekte bir katı model kullanılarak nümerik analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8. Simülasyonlar için tasarlanan kanat katı modeli

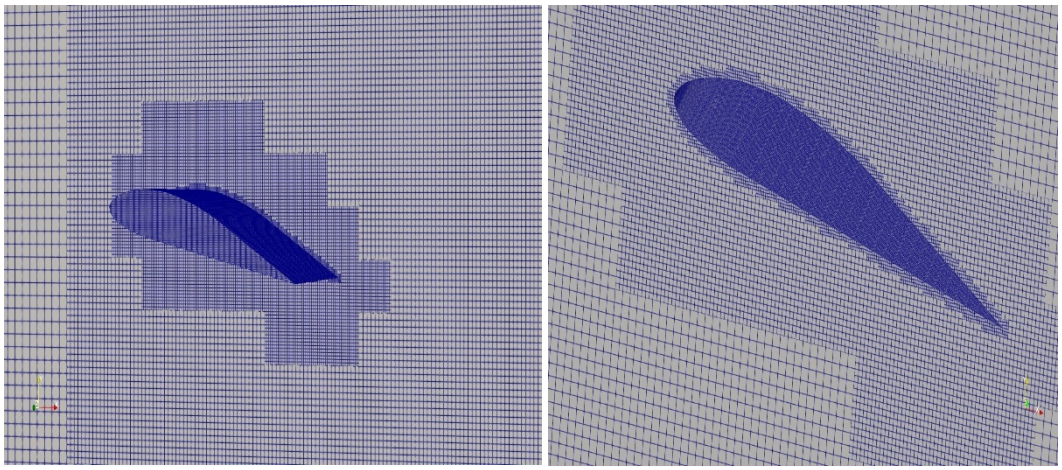
3.2.3. Mesh yapısı

Simülasyonlar 3508431 mesh sıklığında yürütülmüştür. Birden fazla atak açısında gerçekleştirilen simülasyonlar için kanat çevresi ile akış alanı olarak iki farklı parça olarak tasarlanmıştır. Simülasyonların yürütüldüğü OpenFOAM programında farklı atak açılarındaki mesh kolaylığı açısında Snappyhexmesh modülü kullanılmıştır. Maksimum aspect oranın 3.751 olduğu ve maksimum skewness oranın 2.42 olduğu Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.9. Mesh kalitesi

İki farklı parça olarak tasarlanan mesh yapısı iki farklı açıdan, şekil 3.11'de verilmiştir.



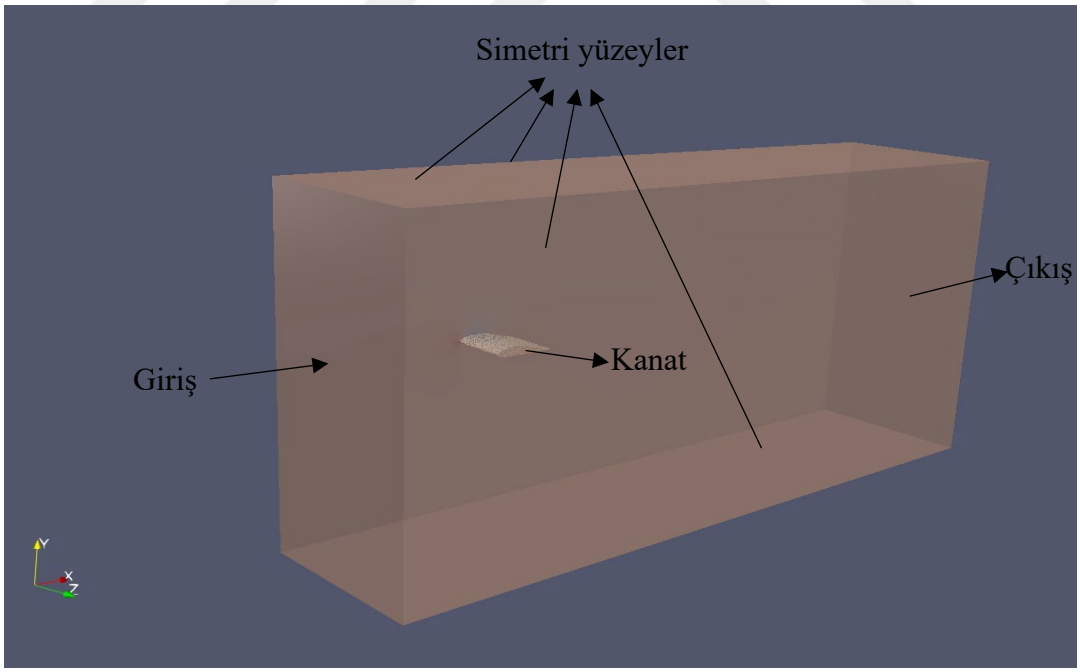
Şekil 3.10. Kanat mesh yapısı

3.2.4. Sınır şartları

Simülasyonlar için açık kaynak kodlu bir program olan Salome'de tasarlanan akış alanının boyutu 2x1x0.5 m^3 olarak deneysel çalışmalarla aynı pozisyonda çalışılmıştır. Akış alanın tasarımı Şekil 3.12'de görülmektedir. Kanatın pozisyonu girişten 0.5 m geride ve y ekseninde 0.5 m'de z eksenin ise sıfır noktasında konumlandırılmıştır.

Akış alanına havanın ilk girdiği giriş konumunda v, w hız parametreleri sıfır u parametresinin hızı ise deneysel çalışmalardaki kanat konumuna uygun olarak hesaplanan sınır tabaka oranına uyacak şekilde çalkantılı hız profil olacak biçimde alınmıştır.

Akışın alanı terk ettiği sınır şartında ise başlangıç gradyanı olarak sıfır ($\frac{\partial}{\partial x_i} = 0$) alınmıştır.



Şekil 3.11. Nümerik analizlerde kullanılan akış alanı ve kanat yapısı

Nümerik analizlerde katı yüzey olarak kanatın sınır şartı;

$$(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0) \tag{3.14}$$

olarak alındı(Boussinesq, 1885).

Akış alanında bulunan yüzeylerden yan, alt ve üst sınır şartları simetri olarak belirlenmiştir. Alt, üst ile yan yüzeylere dik tüm bileşenlerin gradyanı olmaktadır. Tüm bu şartlar göz önüne alındığında bu yüzeylerin akış alanı üzerinde hiçbir ektisi olmadığı görülmektedir.

3.2.5. Türbülans model

Sınır tabakanın ters basınç gradyanını barındırdığı akışlarda en iyi sonuçların k-ω türbülans modellerinde olur. (Wilcox, 1994; Roulund, ve ark., 2005;). Önceki çalışmalarda üç farklı k-ω modeli tanımlanmıştır; (i) ilk k-w modeli, (ii) BSL k-ω ve (iii) SST modeli. Birinci olarak Wilcox tarafından üretilen k-ω modelinden oluşturulan (ii) ve (iii) modelleri, ters basınç altındaki akışlarda yüksek performans verir (Menter, 1993;). Menter, daha önce tanımlanan (i), (ii) ve (iii) modelleri arasında çok kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, NACA 4412 üzerinde optimuma yakın atak açısında ters basınç gradyanlarının oldukça yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Yaptığı bu çalışmalar ile k-ω ve SST modellerinin en optimum değerler verdiğini açıklamıştır. Yapılan nümerik çalışmalarda, CFD simülasyonlarında k-ω ile SST modelleri kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada NACA 2415 kanat profilinin aerodimik kuvvetleri araştırılmış olup çalışmalar deneysel ve nümerik olarak yürütülmüştür. Bu tez çalışmasında hedef NACA 2415 kanat profilinin kanat uç kısımlarında basınç farkından oluşan vortekslerin kanat üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Bu temelde tez çalışmasının kapsamı;

- Farklı atak açıları ve farklı Reynolds sayılarında kanat aerodinamikliği ve kuvvetleri üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi
- Farklı atak açıları ve farklı Reynolds sayılarında kanat aerodinamikliği ve kuvvetleri üzerindeki etkisinin nümerik olarak incelenmesi
- Deneysel ölçümlerin ve nümerik ölçümlerin sonuçlarının karşılaştırılması şeklinde üç başlık altında sunulmuştur. Tezin bu kısmında öncelikle Deneysel ölçümler sunulacak daha sonra CFD simülasyon ölçüm sonuçları sunulacaktır.
- Bu tez çalışmasında yukarıda sunulan üç başlık için 13 farklı atak açısında deneysel çalışmalar yürütülmüş ve 9 adet CFD simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

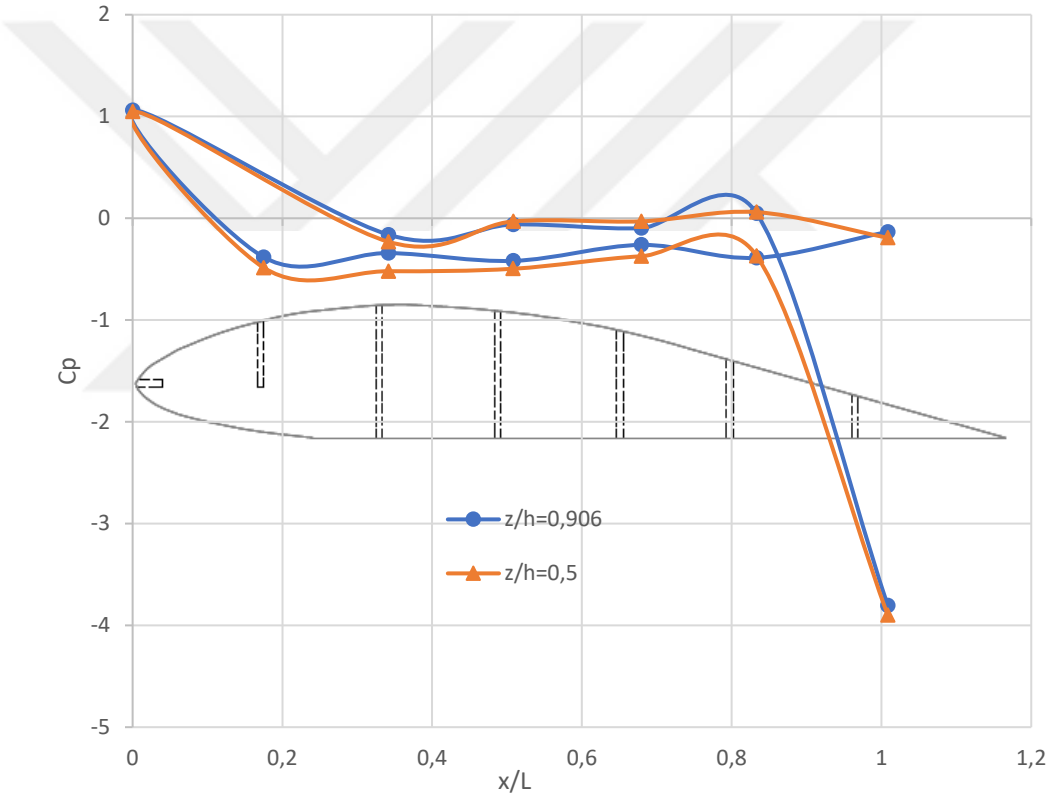
4.1. Farklı Atak Açıları ve Farklı Reynolds Sayılarında Kanat Aerodinamikliği ve Kuvvetleri Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Bu çalışmada Re=$5.6*10^3$, $1.13*10^4$ ve $2.26*10^4$'de uç vortekslerinin NACA 2415 kanat profilinin basınç dağılımında etkisi deneysel ölçümler ile araştırılmıştır. Kanat üzerindeki basınç dağılımının uç vortekslerin etkisini gözlemleyebilmek için biri yan kanatın ortasına (z/H=0.5) diğeri kanatın serbest ucuna yakın (z/H=0.906) iki eksende basınç ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler toplamda 13 farklı atak açısıyla gerçekleştirilmiş olup, iki eksen arasındaki basınç katsayılarında meydana gelen sapmalar uç vortekslerin etkisini ortaya koyacaktır.

$5.6*10^3$ Reynols sayısı serbest akış hızında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerinde basınç katsayısının kanat boyunca dağılımı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekilde görüleceği üzere durma noktasında z/H=0.5'te basınç katsayısı 1.048 iken z/H=0.906'da 1.061'dir. Bu noktada merkez eksenine göre kenardaki sapma %1.27'dir. Grafikte de görüldüğü gibi iki eksendeki grafik çizgeleri bu noktada birbirine oldukça yakındır, buradan anlaşılacak ki bu noktada sapma minimum düzeydedir. Kanat üstündeki ilk nokta olan x/L=0.175 konumundaki noktada z/H=0.5'teki basınç katsayısı -0.485 iken z/H=0.906'da ise -0.382 bu konumda kanadın merkezi ve uç kısım arasındaki sapma %21.28 olduğu görülmüştür. Kanadın üst tarafı için en yüksek konumda olan noktasındaki basınç katsayıları, z/H=0.5'deki -0.52 iken uç kısım olan z/H=0.906 ise -0.341 bu noktadaki iki eksen arasındaki sapma %34.26 olmuştur. Kanat üzerindeki dramatik eğimin başlangıcındaki noktada z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerdeki basınç katsayıları sırasıyla -0.495 ve -0.418 iken bu iki eksen arasındaki sapma ise %15.61 olmaktadır. x/L=0.679 konumundaki noktada ise z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.373 iken uç eksendeki z/H=0.906 da ise -0.261'dir, eksenler arasındaki sapmanın ise %29.9 olduğu görülmüştür. x/L=0.833 noktasındaki eksenlerde z/H=0.5'te -0.370 oluyorken z/H=0.906'da ise -0.379 olmaktadır ve bu iki eksen arasındaki sapma ise oldukça düşük olup %2.5 olduğu görülmüştür. Kanadın üst kısmında akışın kanadı terk ettiği konumda olan x/L=1.00 noktasındaki basınç katsayıları z/H=0.5'te ekseninde -3.898 iken z/H=0.906 ekseninde ise -0.133 olmaktadır. Akışın kanadı firar kenarından terk etmesiyle kanat merkezindeki eksen ile uç kısımdaki eksen arasında oluşan sapmanın %96.5 ile oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Yine kanadın alt kısmında hücum kenarından sonraki nokta olan x/L=0.341 konumundaki noktalardaki basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.230 oluyorken z/H=0.906 ekseninde ise -0.161 olmakta ve eksenler arasındaki sapmanın %30 olduğu görülmektedir. x/L=0.508'taki noktada ise basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.030 ve z/H=0.906 ekseninde ise -0.061 olmaktadır. Eksenler arasındaki fark ise %99.1 olduğu görülmüştür.

Yine kanadın alt kısmındaki x/L=0.679 konumundaki noktada z/h=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sırasıyla -0.0302, -0.096 olmaktadır. İki eksen arasındaki sapmanın ise grafikte görüldüğü gibi oldukça yüksek olduğu ve

yüzdece %219.3 olduğu tespit edilmiştir. x/L=0.833'teki z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sırasıyla 0.06 ve 0.047 olduğu görülmüş ve eksenler arasındaki sapma %21.33 olarak tespit edilmiştir. 0˚ atak açısı ve $5.6*10^3$ Reynols sayısında x/L=1.00 noktası kanadın alt kısmı için firar kenarındaki nokta olmakla beraber basınç katsayıları z/H=0.5 için -0.191 iken z/H=0.906 için ise -3.804 olmuştur. Sonuç olarak iki eksen arasındaki sapma %1885,3 değeri ile oldukça büyük olduğu gözlemlenmiştir, kanadın alt ve üst kısımlarında dikkat çeken kısım akışkanın kanadı terk ettiği firar kenarında sapma değerinin oldukça yüksek olduğudur. Anlaşılacağı üzere sınır tabaka ayrılması bu noktadan önce gerçekleşmiştir.



Şekil 4.1. 0˚ atak açısı ve 5 m/s hızında kanat basınç katsayısı(Cp) grafiği

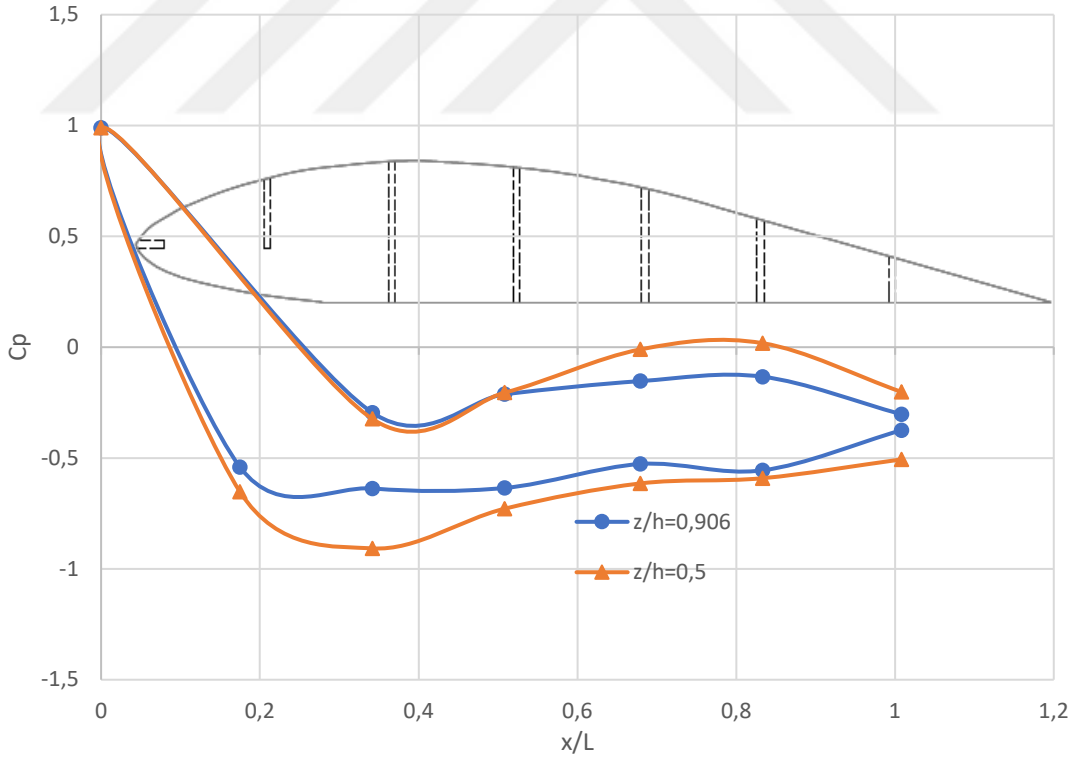
Şekil 4.2'de görüldüğü gibi 0˚ atak açısı ve $1.13*10^4$ hız için basınç katsayısı(Cp) grafiği z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri için verilmiştir. Burada kanadın akışkanı karşıladığı hücum kenarındaki x/L=0 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.9896 ve z/H=0.906 ekseni için ise 0.9895'tir ve sapma değeri %0.01'dir. Burada göze çarpan kanadın sıfır noktası olarak kabul edilen hücum kenarındaki her

iki eksenin de basınç katsayılarının birbirine çok yakın olması ve sapmanın bu hızdaki en düşük sapma miktarı olmasıdır. Kanadın kambur tarafı olan üst kısmındaki x/L=0.175 noktasının basınç katsayıları z/H=0.5 eksenindeki değeri -0.652 ve z/H=906 ekseni ise -0.541 olmakla beraber sapma değeri %17.1'dir. Kanat kamburunun en yüksek noktası olan x/L=0.341'de basınç katsayıları z/H=0.5 ve z/H=0.906 ekseninde sırasıyla -0.907 ve -0.637'dir, bu noktadaki sapma miktarı ise %29.78 olarak tespit edilmiş ve bu değer $1.13*10^4$ Reynols sayısında kambur kısmı için en yüksek sapma miktarı olmuştur. Yine kanadın üst kısmında bulunan x/L=0.508'deki noktada basınç katsayısı z/H=0.5'teki değeri -0.728 ve z/H=0.906'daki değeri ise -0.634'tür, buradaki sapma %12.85 olarak hesaplanmıştır.

Kanadın firar kenarına doğru dramatik bir eğimin başlandığı nokta olan x/L=0.679 noktası için basınç katsayısı z/H=0.5 ekseninde -0.614 olduğu ve z/H=0.906 ekseni için ise -0.526 olduğu ve buradaki sapma değerinin %14.27 olduğu tespit edilmiştir. x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri için basınç katsayısı değeri -0.590 ve -0.555 olduğu ve sapma değeri %6.01 gibi düşük bir sapma miktarı olduğu görülmüştür. 0˚ atak açısı ve 10 ms^{-1} hızı için kambur kısmının firar kenarında bulunan son noktasındaki z/H=0.5 ile z/H=0.906 eksenleri için basınç katsayıları sırasıyla -0.506 ve -0.374 olarak hesaplanmış ve buradaki sapma %26.05 bulunmuştur. Genel itibariyle 0˚ atak açısında kanadın üst kısmı olan kambur kısımda 10 ms^{-1} hızındaki sapmalar, 5 ms^{-1} hızındaki sapmalara nazaran daha düşük değerlerde olduğu dikkat çekmiştir.

Kanadın alt kısmı olarak bilinen kambur altı kısmındaki ilk nokta olan x/L=0.341 için z/H=0.5 ekseni olan merkez eksen basın katsayısı değeri -0.323 olurken uç kısımdaki z/H=0.906 ekseni için -0.295 olarak tespit edilmiştir. Buradaki sapma oranı ise %8,8 gibi düşük bir değer olarak tespit edilmiştir. Kanadın alt kısmındaki ikinci nokta olan x/L=0.508 noktasındaki z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.204, z/H=0.906 eksenindeki değer ise -0.212 olarak bulunmuş ve bu noktadaki basınç katsayılarının birbirine yakınlığı fark edilir düzeydedir. Yine basınç katsayılarındaki yakınlık aralarındaki sapma miktarının da düşük olmasını sağlamış bu değer %3.54 olmakla beraber, $1.13*10^4$ Reynolds sayısı kanat altı kısmındaki en

düşük sapma değeri olarak ölçülmüştür. Kanat altındaki kısımda bulunan x/L=0.679 noktası için orta eksen olan z/H=0.5'te basınç katsayısı -0.010 olmakla beraber z/H=0.906 ekseni içinse -0.153 olmuştur, bu noktadaki değerler arası fark oldukça yüksek olmasıyla dikkat çekmiş ve sapma %1418.0 olarak tespit edilmiştir. Bu sapma miktarı $1.13*10^4$ Reynolds sayısı için hem kambur kısımda hem de kanadın alt kısmı için en yüksek sapma değeri olarak tespit edilmiştir. Kanat altı kısım için bakıldığında firar kenarına yakın olan x/L=0.833 noktası için z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri için basınç katsayıları sırasıyla, 0.018 ile -0.133 olarak bulunmuştur. Bu noktadaki sapma miktarı ise $1.13*10^4$ Reynolds sayısı için %638.7 olmuş ve en yüksek sapma değerinden biri olarak dikkat çekmiştir. Kanat altı için firar kenarında olan x/L=1.00 noktası z/H=0.5 ekseni için basınç katsayısı -0.201 ve z/H=0.906 ekseni için ise -0.302 olarak tespit edilmiştir. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı ise $5.6*10^3$ Reynolds sayısına kıyasla $1.13*10^4$ Reynolds sayısı için oldukça düşük bir değer olmuş ve %49.9 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. 0˚ atak açısı ve 10 m/s hızındaki kanat basınç katsayısı(Cp) grafiği

Şekil 4.3'te bulanan grafikte z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri olan orta ve uç eksenleri için 0˚ atak açısı ve $2.26*10^4$ Reynolds sayısı için basınç katsayıları(Cp) hesaplanmış. Kanadın hücum kenarında akışkanı önce karşılayan x/L=0.00 noktasındaki basınç katsayıları z/H=0.5 ekseni için 1.001 ve z/H=0.906 ekseninde ise 0.990 en düşük sapma miktarı bu noktada %1.14 hesaplanmış. Yapılan çalışmalarda dikkat çeken bir nokta olarak $5.6*10^3$ ve $2.26*10^4$ Reynolds sayılarındaki en belirgin nokta x/L=0.00 noktası olmuş ve birbirine yakın basınç katsayıları hesaplanarak, sapma miktarları en düşük sapma miktarı olarak hesaplanmıştır. Kanadın kambur kısmındaki başlangıç noktası olan x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseni için -0.744 ve z/H=0.906 ekseninde ise -0.634'tür. Basınç katsayıları sapma miktarı %14.77 olarak hesaplanmış ve bu miktar $2.26*10^4$ Reynolds sayısında kanadın kambur kısmı için en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanadın kambur kısmının en yüksek noktası olan x/L=0.341 noktasındaki basınç katsayıları ise z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri için sırasıyla -1.112 ve -0.773 şeklinde olmuş ve sapma miktarı ise %30.41 olarak bulunmuştur. x/L=0.508 noktasındaki basınç katsayıları ise z/H=0.5 ekseni için -0.880 iken z/H=0.906 ekseni için ise -0.738 olmuş ve bu değerler arasındaki sapma miktarı %16.1 olarak hesaplanmıştır.

Kanat kambur eğrisinin başlangıç noktası olan x/L=0.679 için z/H=0.5 ekseninde -0.781 iken z/H=0.906 ekseni için ise -0.610 olarak hesaplanmıştır ve iki eksendeki basınç katsayılarının sapma miktarı ise %21,8 olmuştur. Kanat firar kenarına yakın yakın olan x/L=0.833 noktasındaki basınç kat sayıları kanadın ortasındaki z/H=0.5 ekseni için -0.525 olarak hesaplanmışken z/H=0.906 ekseni için ise -0.646 olarak hesaplanmış ve sapma miktarı %23.0 olarak hesaplanmıştır. Kanat üst yüzeyi firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasındaki basınç katsayısı ise z/H=0.5 ekseni için -0.03 iken z/H=0.906 ekseni için ise -0.510 olmuştur. $2.26*10^4$ Reynolds sayısında kanat üst kısmı için basınç katsayılarında ve grafikte de görüldüğü gibi bu noktadaki sapma miktarı %1417.9 olarak hesaplanmış ve bu miktar kanat üst kısım için en yüksek miktar olmuştur.

Kanat altı kısımda hücum kenarına yakın olan x/L=0.341 noktası için hesaplanan basınç katsayıları kanadın orta kısmında olan z/H=0.5 ekseni için -0.412

iken kanat uç kısmında bulunan z/H=0.906 ekseni için ise -0.364 olarak hesaplanmıştır. Basınç katsayıları sapma miktarı %11.7 ile kanat alt kısmı için en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanat alt kısmı x/L=0.508 noktasındaki basınç katsayıları z/H=0.5 ekseni için -0.267 olmuş ve z/H=0.906 ekseni için ise -0.302 olarak hesaplamış ve sapma miktarı %12.8 olarak hesaplanmış bu sapma miktarı kanat alt kısmı için düşük sapma miktarlarından olduğu gözlemlenmiştir.

Kanat altı için, kambur kısmında dramatik eğrinin başlangıç noktasına denk gelen x/L=0.679 noktasındaki basınç katsayıları z/H=0.5 ekseni için -0.002 ve z/H=0.906 ekseni için ise -0.135 olarak hesaplanmış. Sapma miktarı %6221,6 olarak bulunmuş ve bu değer hem kanat altı için hem de kanat üstü için en yüksek sapma miktarı olmuş ve totalde 0˚ atak açısı ile $2.26*10^4$ Reynods sayıs için en yüksek sapma değeri olmuştur. Kanat altı için firar kenarına yakın nokta olan x/L=0.833 noktasındaki basınç katsayısı değerleri z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri için sırasıyla 0.005, -0.200 olmaktadır. Grafikte eğrileri üzerinden de görüldüğü üzere sapma miktarı %3433.9 ile bu nokta içinde oldukça fazladır, bu değer hem $2.26*10^4$ Reynolds sayısında hem de $5.6*10^3$ ve $1.13*10^4$ Reynolds sayıları için ikinci en büyük sapma değeri olarak hesaplanmıştır. Kanat altı için firar kenarında olan x/L=1.00 noktasında kanat ortasındaki z/H=0.5 ekseni için basınç katsayısı -0.239 oluyorken z/H=0.906 ekseni için ise 0.071 olmaktadır ve sapma miktarı %70.1 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan tüm çalışma göz önüne alındığında 0˚ atak açısı ile $2.26*10^4$, $5.6*10^3$ ve $1.13*10^4$ Reynolds sayılarında yapılan testlerde en yüksek sapma değerleri kanadın alt kısımlarında olmuş ve en düşük sapma miktarları ise x/L=0.00 noktasında olmuştur. Yine sapma miktarları göz önüne alındığında kanadın alt kısmında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayılarında oluşan sapma miktarları genel olarak firar kenarından bir önceki noktalarda yüksek oranlarda gerçekleşmiştir.

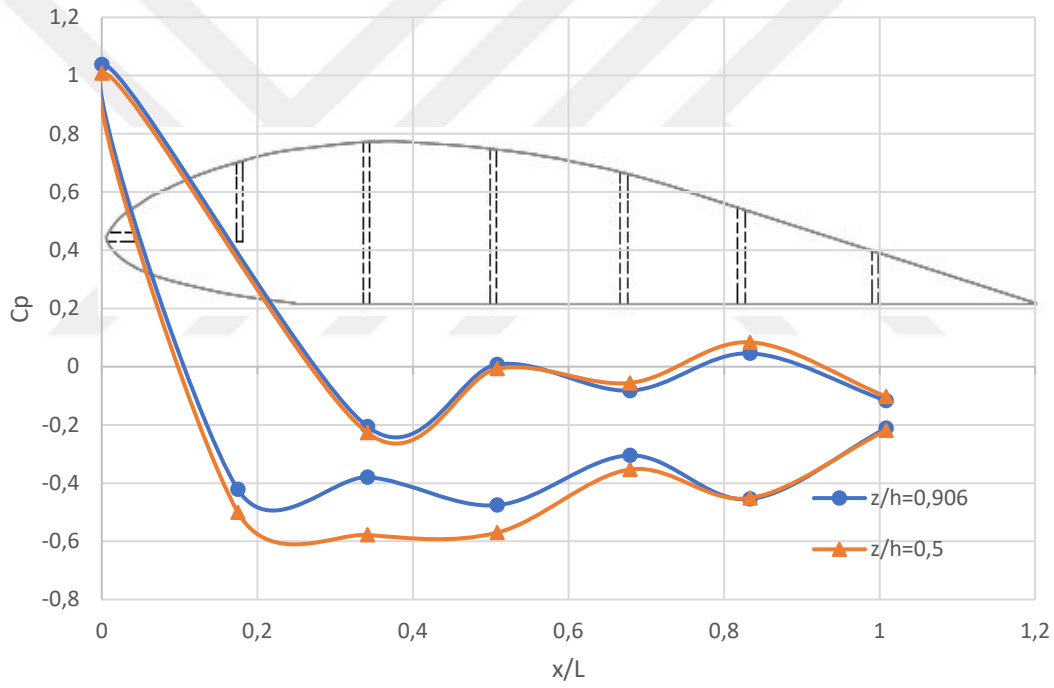
NACA 2415 kanat profili $Re=5.6*10^3$'te 5˚ atak açısında yapılan testlerde kanadın orta kısmında olan z/H=0.5 ekseninde hücum açısında bulunan x/L=0 noktasındaki basınç katsayısı(C_p) 1.007 iken kanadın uç kısmında yer alan z/H=0.906 ekseninde 1.038 olmakla beraber bu iki eksen arasındaki sapma %3.02 olmaktadır.

Kanat üst kısmı için, hücum açısından sonraki x/L=0.175 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.500 oluyorken uç kısımdaki z/H=0.906 ekseninde aynı nokta için -0.421 olmuş ve iki eksen arasındaki sapma miktarı %15.73'tir. Kanat üst kısmı için kamburun en yüksek olduğu x/L=0.341 noktasında orta eksen olan z/H=0.5'te basınç katsayısı -0.578 olmakta ve z/H=0.906 ekseninde -0.380 olmakla beraber bu eksenler arasındaki sapma miktarı %34.26 ile kanadın üst kısmı için en yüksek sapma miktarı olarak tespit edilmiştir. Kanat kambur kısmında dramatik eğimin başladığı nokta olan x/L=0.508'de z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.570 iken z/H=0.906 ekseninde ise -0.475 olarak tespit edilmiş ve eksenler arası sapma ise %16.55 olmuştur. x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayıları sırasıyla -0.352, -0.304 olmuş ve bu noktadaki iki eksen arasındaki sapma %13.65 olarak tespit edilmiştir. Kanat firar kenarından önceki nokta olan x/L=0.833 için z/H=0.5 eksenindeki basınç kat sayısı -0.451 ve z/H=0.906 ekseninde ise -0.454 olarak tespit edilmiştir. Bu noktadaki z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları arasında oluşan sapmanın miktarı %0.77 olmuş ve bu sapma miktarı kanat üst kısmı ve kanat alt kısmı için en düşük sapma miktarı olduğu görülmüştür. Kanat üst kısmı için firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.218 olurken z/H=0.906 ekseninde ise -0.211 olduğu ve bu noktadaki sapmanın %3.18 ile düşük bir miktar olduğu tespit edilmiştir.

Kanat alt kısmı için x/L=0.341 noktası z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.227 iken z/H=0.906 ekseni için ise -0.205 olmuş ve iki eksen arasındaki sapma miktarı %9.43 olduğu tespit edilmiştir. x/L=0.508'de z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.007 ve kanat uç kısmındaki z/H=0.906 ekseninde 0.007 bu iki eksen arasındaki sapma ise %3.53 olarak tespit edilmiş ve bu miktar 5˚ atak açısı ile 5 m/s hızında kanat altı kısmı için en düşük sapma miktarı olmuştur. Yine x/L=0.679 noktasında kanat orta kısmında bulunan z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.055 olurken kanadın uç kısmında yer alan z/H=0.906 ekseni için -0.082 olmuştur. Bu noktada eksenler arasındaki basınç katsayıları arasındaki sapma ise %47.17 olduğu görülmüş ve bu değer 5˚ atak açısı ve 5 m/s hızında hem kanat üstü hem de kanat altı için en yüksek sapma miktarı olmuştur. x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri için basınç katsayıları sırasıyla 0.083 ve 0.045 olarak hesaplanmış ve bu

noktadaki eksenler arasında sapma miktarı %45.67 ile 5˚ atak açısı, 5 m/s hızı için yüksek bir sapma miktarı olmuştur. Kanat firar kenarında olan x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ekseni için basınç katsayısı -0.102 olurken z/H=0.906 ekseni içinse -0.116 olduğu ve eksenler arasındaki sapma miktarının %13.55 olduğu görülmüştür.

5° kanat atak açısı ve 5 m/s hızında yapılan testlerde basınç katsayılarında en yüksek sapma miktarı %47.17 ile kanat alt kısmında x/L=0.679 noktasında iken en düşük sapma miktarı ise %0.77 ile kanat üst kısmı firar kenarına yakın noktada x/L=0.833'te olmuştur. Dikkat çeken kısım ise kanat altı kısımdaki sapma miktarının kanat üst kısmından daha yüksek olmalarıdır.



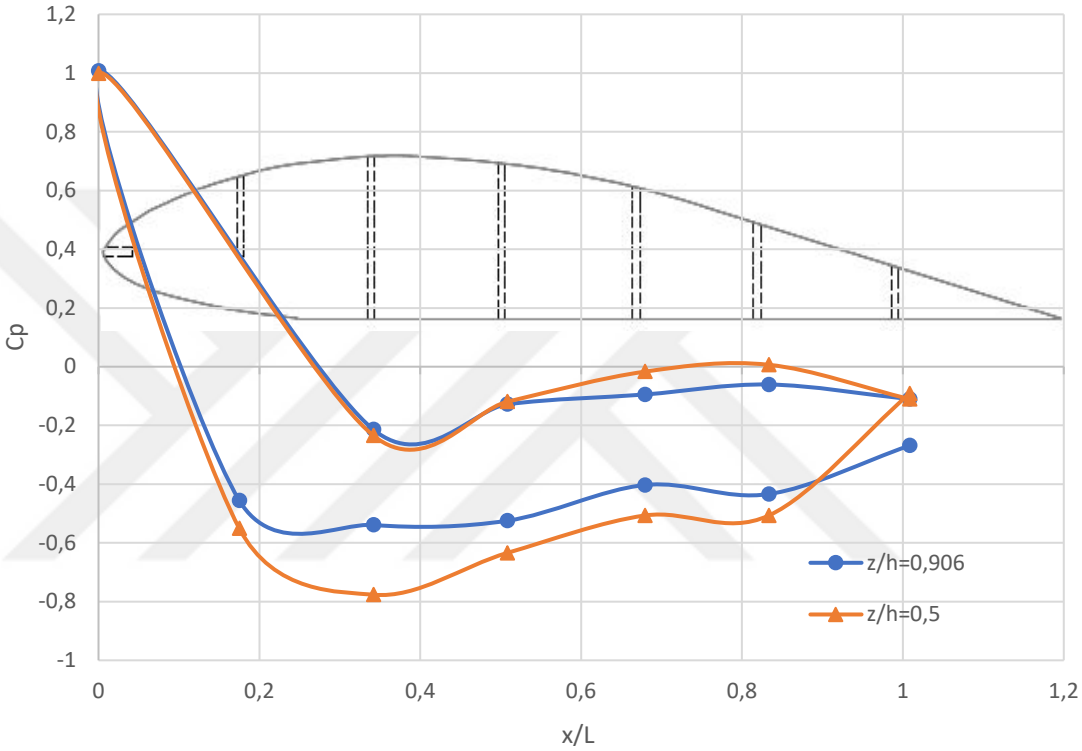
Şekil 4.3. 5˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(C_p) Grafiği

Şekil 4.4'te görülen Cp grafiğinde testler Re=1.13*10^4 'te 5° atak açısında gerçekleşmiş olup kanadın akışkanla ilk olarak buluştuğu x/L=0.00 noktasında kanadın ortasında bulunan z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.998 iken kanadın uç kısmında yer alan z/H=0.906 ekseninde 1.007 olarak hesaplanmıştır. Bu noktada z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerinde basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %0.87 olarak hesaplanmıştır. Kanat üst kısmı için kanadı öncelikle karşılayan x/L=0.175

noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sırasıyla -0.550 ve -0.455 olarak ölçülmüş ve bu noktadaki basınç katsayıları arasındaki sapma %17.29'tir. Kambur kısmında kanadın en tepe noktası olan x/L=0.341'de basınç katsayıları z/H=0.5 ekseni için -0.776 olurken z/H=0.906 ekseninde -0.539'dur. x/L=0.341 noktasında iki eksende basınç katsayıları arasındaki sapma %30.58 miktarında olmuştur. x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları kanadın orta kısmında bulunan z/H=0.5 ekseni için -0.634 iken kanadın uç kısmındaki z/H=0.906 ekseninde -0.524 olmuştur. Eksenlerdeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %17.28 olarak hesaplanmıştır. Kanat kambur eğrisinin dramatik başlangıcı olan x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.506 olurken z/H=0.906 ekseninde -0.402 olmakta ve bu noktada eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %20.49 olduğu görülmüştür. Kanat firar kenarına yakın olan x/L=0.833 noktasında kanat ortasındaki eksendeki basınç katsayısı -0.506 olurken kanat uç kısmındaki eksende -0.433 olmakta ve basınç katsayıları arasındaki sapma %14.41 miktarında oluşmakta. Kanat üst kısmı için firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktası z/H=0.5 ekseni için basınç katsayısı -0.091 ve z/H=0.906 ekseninde ise -0.268 olarak hesaplanmıştır. Bu noktada eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %192.8 olmakta, 5° atak açısı ve Reynols sayısı $1.13*10^4$ için kanat üst kısmındaki en yüksek sapma değeri olmuştur.

Kanat altı kısımda hücum açısından sonraki ilk nokta olan x/L=0.341 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerinde basınç katsayıları sırasıyla -0.234 ile -0.214'tür. Bu noktadaki eksenler arasındaki basınç katsayısı sapma miktarı ise %8.69'dur. x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları orta eksen için -0.119 ve uç eksende -0.128 ve bu eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %7.31 olarak tespit edilmiştir. x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.016 iken z/H=0.906 ekseninde -0.094'tür. İki eksendeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı ise %460.9 gibi yüksek miktarda olduğu gözlemlenmiştir. Kanat altı kısımda x/L=0.833 noktasında kanat ortasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.006 ve kanat uç kısmında z/H=0.906 ekseninde -0.060 olmaktadır. x/L=0.833 noktasında iki eksende basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %837.3 olarak tespit edilmiş burada dikkat çeken kısım, 5° atak açısı ve 10 m/s hızında hem kanat

üstü hem de kanat altı için en yüksek değer olmuştur. Kanat firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasındaki z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sırasıyla -0.110 ile -0.110 olmuştur. Kanat altı için akışın kanadı terk ettiği firar kenarında bulunan bu noktada z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerinde basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %0.07 olarak hesaplanmış ve bu miktar 5° kanat hücum açısı ile 10 m/s hızında hem kanat üstü hem de kanat altı için düşük sapma miktarı olmuştur.



Şekil 4.4. 5˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

5° atak açısı ve $2.26*10^4$ Reynolds sayısında kanat basınç katsayıları grafiği Şekil 4.5'te görülmektedir. Kanadın akışı karşıladığı x/L=0.00 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı 0.998 iken z/H=0.906 ekseninde 0.979 olarak tespit edilmiş olup iki eksen arasındaki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %1.87 olarak tespit edilmiştir. Kanat üst kısmının akışla ilk temas ettiği nokta olan x/L=0.175'te basınç katsayısı z/H=0.5 ekseninde -0.792 iken z/H=0.906 ekseninde ise -0.626'tür. Bu noktada orta eksen ve uç eksendeki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %20.98 olmaktadır. Kanat kambur kısmının tepe noktasında x/L=0.341'de z/H=0.5 kanat orta ekseninde basınç katsayısı -1.156 iken kanat uç ekseni

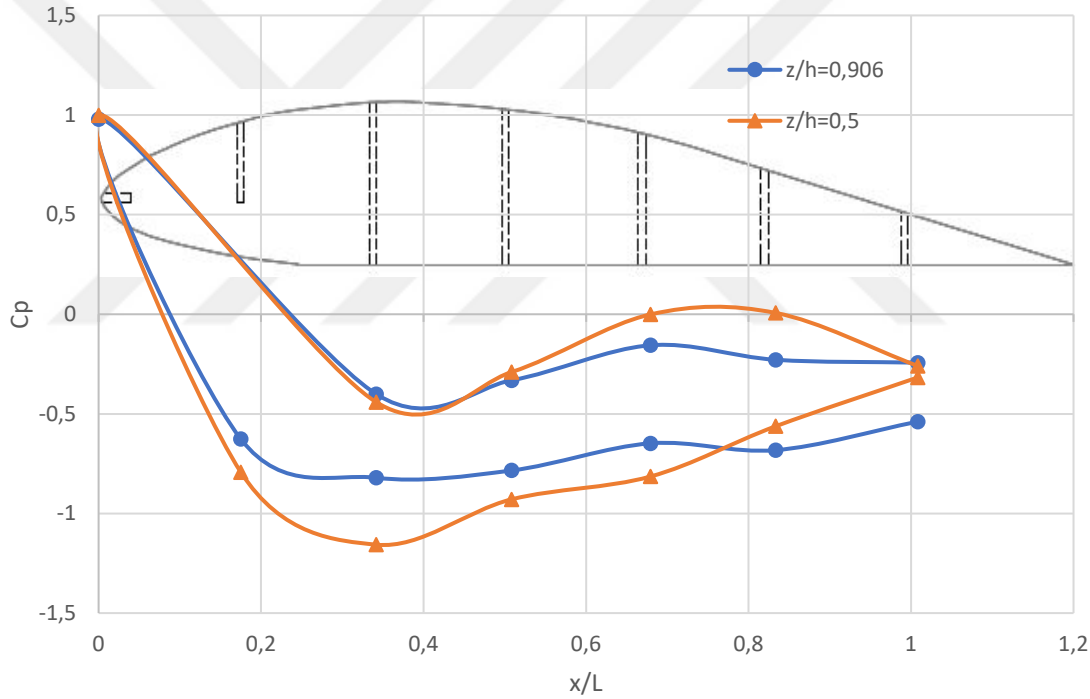
z/H=0.906'da -0.820'dir. x/L=0.341 ekseninde orta ve uç eksenlerdeki basınç katsayılarındaki sapma miktarı %29.05 olmaktadır. Kanat üst kısmında dramatik kambur eğrisinin başladığı nokta x/L=0.508'de z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.928 ve z/H=0.906 ekseninde ise -0.784 olarak hesaplanmış ve eksenlerdeki basınç katsayıları arasında oluşan sapma miktarı %15.58 ile kanat üst kısmı için en düşük sapma miktarı olmuştur. Dramatik eğrinin devamında x/L=0.679 noktasında basınç katsayısı z/H=0.5 ekseninde -0.814 ve z/H=0.906 ekseninde -0.647 olmaktadır.

Burada eksenler arasında basınç katsayılarındaki sapma miktarı ise %20.47'dir. x/L=0.833 noktasında kanat orta kısmındaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.562 ve z/H=0.906 ekseninde -0.681 olarak hesaplanmıştır. x/L=0.833 noktasında orta ve uç eksenler arasında basınç katsayılarındaki sapma miktarı %21.27 olmuştur. Kanat firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerinde oluşan basınç katsayıları sırasıyla -0.317 ve -0.538 olarak tespit edilmiş. Bu noktada basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %69.95 ile kanat üst kısmı için en yüksek miktar olmuştur.

Kanat alt kısmında akışı karşılayan ilk nokta x/L=0.341'de basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.440 iken z/H=0.906'da -0.400 olmuş ve eksenlerdeki basınç katsayıları arasında oluşan sapma miktarı %9.16 olmuştur. x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.289 ve z/H=0.906 ekseninde ise -0.331 olmuş ve eksenler arasındaki basınç katsayıları arasında oluşan sapma %14.23 miktarında olmuştur. x/L=0.679 noktasında orta kısımdaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.000 olarak hesaplanmışken uç kısmındaki z/H=0.906 ekseninde -0.155 olmaktadır. Bu noktada z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %17643.85 ile 5° atak açısı ve 20 m/s hızında yapılan testlerde hem kanat üstü hem de kanat altındaki noktalarda basınç katsayıları arasında en yüksek sapma miktarı olmuştur. Kanat firar kenarına yakın noktadaki x/L=0.833'te z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sırasıyla 0.006 ve -0.228'dir. Bu noktada basınç katsayılarında meydana gelen sapma ise %3253.73 olmuştur. Kanat alt kısmı için firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında basınç katsayısı z/H=0.5 ekseninde -0.259 iken z/H=0.906 ekseninde -0.242 olmuştur. x/L=1.00 noktasında eksenler arasındaki

basınç katsayısı sapma miktarı ise %6.38 olmuş, bu miktar kanat üst kısmı ve alt kısmı için hücum kenarından sonraki en düşük sapma miktarı olmuştur.

5° atak açsında Re=5.6*10^3, 1.13*10^4 ve 2.26*10^4'de yapılan testlerde dikkat çeken kısım kanat orta kısmı ile uç kısmında yer alan eksenlerdeki basınç katsayılarında en düşük sapma miktarının 5 m/s hızında yapılan testlerde kanat üst kısmı x/L=0.833 noktasında olmasıdır. 5° atak açısındaki sapma miktarlarından en büyüğü ise %17643.85 ile 20 m/s hızında meydana gelmiştir. 3 farklı hızda yapılan testlerde sapma miktarları göz önüne alındığında en yüksek sapmanın kanat altı kısımlarda ve firar kenarından önceki noktalarda olduğu görülmüştür.



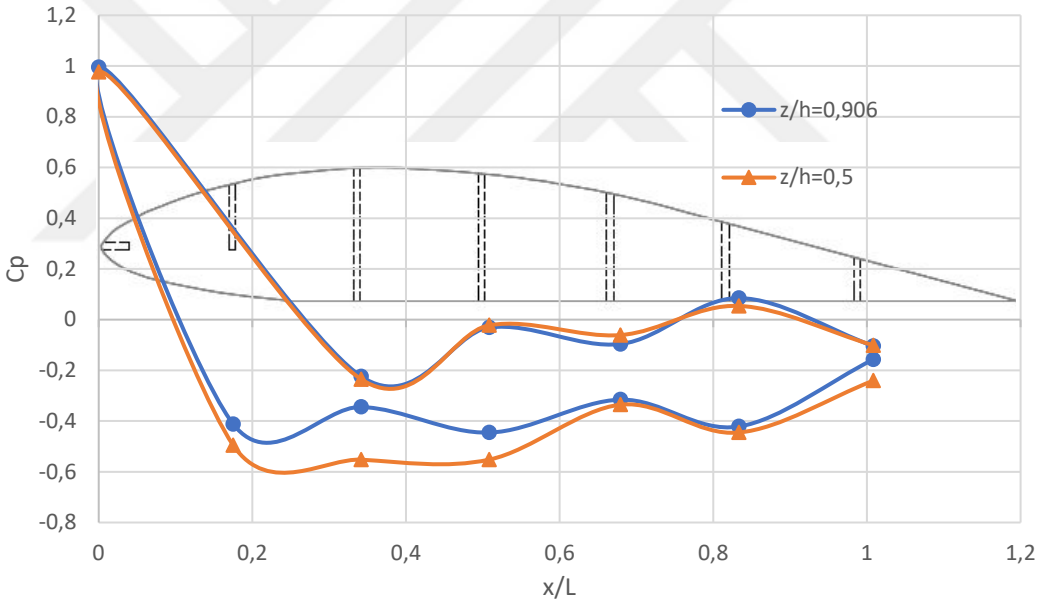
Şekil 4.5. 5˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

Yine 10° atak açısı ile Re=5.6*10^3, 1.13*10^4 ve 2.26*10^4'te yapılan testlerden elde edilen sonuçların grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 4.6'daki grafikte 10° atak açısı ile 5 m/s hızında yapılan testlerle elde edilen sonuçları görülmektedir. Kanat üzerine gelen akışı karşılayan ilk nokta x/L=0.00'da kanat ortasındaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.976 ve kanat uç kısmındaki z/H=0.906 ekseninde ise 0.995

olmuştur. Bu noktada eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma %1.96 ile 10° atak açısı ve 5 m/s hızındaki en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanat firar kenarındaki x/L=0.175 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç noktası -0.495 iken z/H=0.906 ekseninde -0.411'dir. x/L=0.175 noktasında eksenler arasındaki basınç katsayısı sapma miktarı %16.88'dir. kanat kamburunun en tepe kısmındaki x/L=0.341 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.552 ve z/H=0.906 ekseninde ise -0.344 olduğu görülmüştür. Eksenler arasındaki basınç katsayısı sapma miktarı bu nokta için %37.62 olarak kanat üst kısmı için en yüksek miktar olmuştur. Kanat kambur eğrisinin dramatik şekilde başladığı x/L=0.508 noktasında orta eksen z/H=0.5'de basınç katsayısı -0.552 iken uç eksen z/H=0.906'da -0.445 olarak tespit edilmiştir. z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları arasında oluşan sapmanın miktarı %19.32'dir. x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.335, z/H=0.906 ekseninde -0.315 olmuş ve eksenler arasındaki basınç katsayısı sapma miktarı %5.88'dir. x/L=0.833 noktasında kanat orta kısmında bulunan z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.445 ve kanat uç kısmında bulunan z/H=0.906 ekseninde -0.421 olarak bulunmuştur. Kanat firar kenarına yakın olan x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları arasında sapma %5.31 miktarındadır. Akışın kanadı tek ettiği firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında basınç katsayısı z/H=0.5 ekseninde -0.240 iken z/H=0.906 ekseninde -0.156 olmuştur. x/L=1.00 noktasındaki z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları arasında oluşan sapma %34.79 ile kanat üst kısmı için en yüksek sapma miktarı olmuştur.

Kanat altı kısımda akışı ilk olarak karşılayan x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.235 ve z/H=0.906 ekseninde -0.223 olmuş ve eksenler arasındaki basınç katsayıları sapması %4.74 ile düşük miktarda olmuştur. x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 ekseni ve z/H=0.906 ekseninde basınç katsayıları sırasıyla -0.02 ve -0.030 olarak tespit edilmiştir. Bu noktada kanadın orta kısmında yer alan z/H=0.5 ekseni ve kanat uç kısmında bulunan z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayıları arasında oluşan sapma miktarı %38.15'dir. x/L=0.679 noktasında kanat orta kısmında bulunan z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.060 iken kanat uç kısmında bulunan z/H=0.906 ekseninde -0.096 olarak hesaplanmıştır. x/L=0.679

noktasında dikkat çeken kısım z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayılarının sapması %57.79 miktarında olması ve bu miktarın 10° atak açısı ile 5 m/s hızında yapılan testlerde hem kanat üst kısmı hem de kanat alt kısmı için en yüksek sapma miktarı olmasıdır. Kanat firar kenarından önceki noktada bulunan x/L=0.833'te basınç katsayıları z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri için sırasıyla 0.054 ve 0.084 olarak tespit edilmiş ve eksenler arasındaki basınç katsayılarının sapma miktarı bir önceki noktanın miktarına yakın olarak %56.74 olduğu görülmüştür. Kanat alt kısmı için firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.101 olarak tespit edilmiş ve z/H=0.906 ekseninde ise -0.103 olduğu görülmüştür. Akışın kanadı terk ettiği x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayılarının sapma miktarı %2.68 ile kanat alt kısmı için en düşük miktar olmuştur.



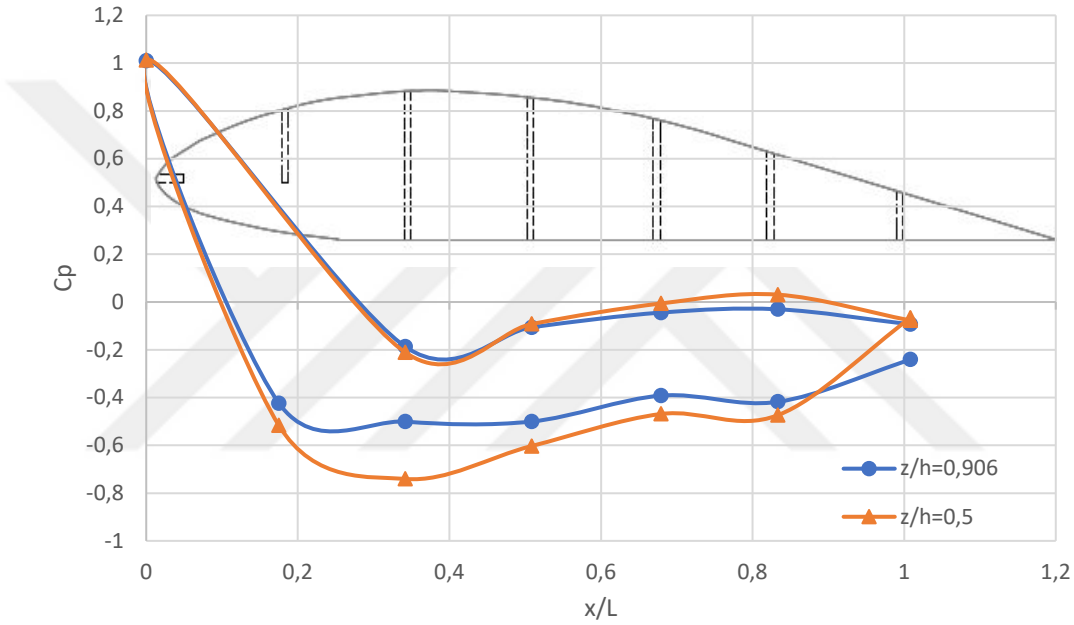
Şekil 4.6. 10˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

Re=1.13*10^4'te 10° atak açısında yapılan testlerle z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerinde bulunan basınç katsayıları tespit edilmiş ve Şekil 4.7'deki grafik oluşturulmuştur. Kanat üzerinde akışı karşılayan x/L=0.000 noktasında kanat orta kısmında bulunan z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 1.012 ve z/H=0.906 ekseninde 1.00 olmuştur. Eksenler arasındaki basınç katsayısı sapması %0.32 ile 10° atak açısı 10 m/s hızı için en düşük miktar olmuştur. Kanat üst kısmının akışı ilk olarak

karşıladığı x/L=0.175 noktasında orta kısımdaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.516 iken uç kısımdaki z/H=0.906 ekseninde -0.423 olarak tespit edilmiş ve bu noktada eksenler arasındaki sapma miktarı %18.05 olmuştur. Kanat kamburunun üst kısmında bulunan x/L=0.341 noktası z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerinde basınç katsayıları sırasıyla -0.740 ve -0.500 olmuştur. Eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı ise %32.38'dir. Kanat kambur eğrisinin başlangıç kısmı x/L=0.508'de orta kısımdaki eksen z/H=0.5'de basınç katsayısı -0.603 ve uç kısımdaki eksen z/H=0.906'da -0.500 olarak tespit edilmiş ve basınç katsayılarında sapma miktarı %17.02 olduğu görüşmüştür. Kanat üst kısmında kambur dramatik eğrisinin devamında x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.468 iken z/H=0.906 ekseninde -0.391'dir. x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 ile z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarının %16.40 olduğu görülmüştür. Kanat firar kenarına yakın x/L=0.833 noktası z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.473 iken z/H=0.906 ekseninde -0.417 olmakta ve eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma %11.80 ile kanat üst noktasında en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanat üst kısmı için firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktası z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.066 olurken z/H=0.906 ekseninde -0.241 olduğu görülmüştür. Bu noktada eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %263.88 olmuş ve bu miktar 10° atak açısı 10 m/s hızında kanat üst kısmı için en yüksek miktar olmuştur.

Kanat alt kısmında akışkanı ilk karşılayan x/L=0.341 noktasında basınç katsayısı z/H=0.5 ekseninde -0.210 iken z/H=0.906 ekseninde -0.186 olmaktadır. Eksenler arasındaki basınç katsayısı sapma miktarı %11.4'tür. Kanat alt kısmı için kanadın orta kısmında bulunan x/L=0.508 noktasında basınç katsayısı kanat orta ekseni olan z/H=0.5'te -0.092 iken kanat uç ekseninde -0.105 olarak tespit edilmiştir. Kanat üzerindeki z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayılarının birbirinden sapma miktarı ise %14.59'dur. x/L=0.679 noktasında orta eksen için basınç katsayısı -0.006 ve uç eksende -0.044'tür. Bu noktada dikkat çeken husus basınç katsayıları arasındaki sapmanın %633.30 gibi yüksek miktarda olmasıdır, bu değer 10° kanat atak açısı 10 m/s hızı için hem kanat altı hem de kanat üstü için en yüksek sapma miktarıdır. Kanat alt kısmı için firar kenarına yakın olan x/L=0.833

noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.030 ve z/H=0.906 ekseninde -0.030'dur. x/L=0.833 noktasında eksenler arasındaki basınç katsayısı farkı %0.79 ile kanadın akışı ilk olarak karşıladığı x/L=0.000 noktasındaki sapma miktarından sonra hem kanat üstü kısım hem de kanat altı kısmı için en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanat alt kısmında firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında kanat orta kısmında bulunan z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.077 iken z/H=0.906 ekseninde -0.093 olduğu tespit edilmiş ve bu noktada eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %20.94'tür.



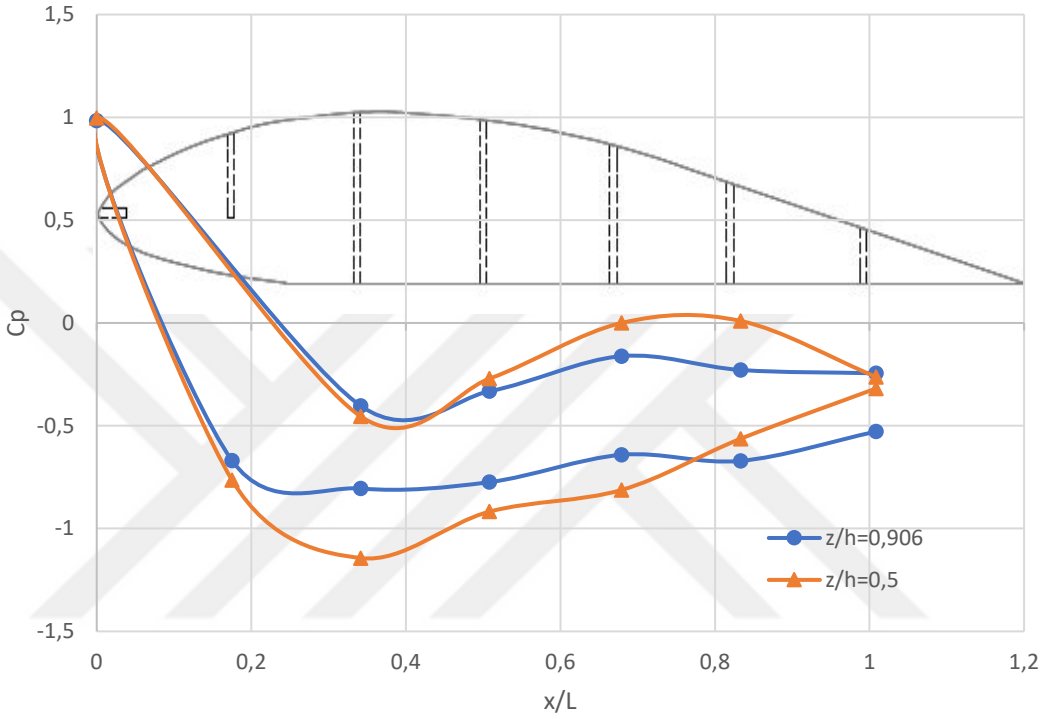
Şekil 4.7. 10˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

Re=2.26*10^4'te ve 10° atak açısında gerçekleştirilen testlerle z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları grafiği Şekil 4.8'de görülmektedir. Eksenler arasındaki basınç katsayıları sapma miktarı hesaplanmıştır. Kanadın akışkanla ilk temas ettiği x/L=0.000 noktasında kanat orta ekseni z/H=0.5'te basınç katsayısı 0.998 iken kanat uç ekseni z/H=0.906'da 0.979 olmuştur. x/L=0.000 noktasında eksenlerde basınç katsayılarındaki sapma %1.87 ile 20 m/s hızında 10° atak açısında en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanat üst kısmının akışkanı ilk karşıladığı x/L=0.175 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.792 olurken z/H=0.906 ekseninde -0.626 olmaktadır. Bu noktada eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma %20.98 miktarındadır. Kanat kambur kısmının en tepe noktasında basınç

katsayısı z/H=0.5 ekseninde -1.156 ve z/H=0.906 ekseninde -0.820 olmaktadır. x/L=0.341 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerinde basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %29.05'dir. x/L=0.508 noktasında eksenlerdeki basınç katsayıları z/H=0.5 için -0.928 iken z/H=0.906 ekseni için -0.781 olarak tespit edilmiş ve bu iki eksende basınç katsayıları arasındaki sapma %15.58 ile kanat üst kısmı için en düşük sapma miktarı olduğu görülmüştür. Kanat eğrisinin dramatik şekilde devam ettiği x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.562 iken z/H=0.906 ekseninde -0.681 olmakta ve eksenlerde basınç katsayılarındaki sapma %21.27 olmaktadır. Kanat üst kısmı için firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında kanat orta ekseninde olan z/H=0.5'te basınç katsayısı -0.317 iken kanat uç ekseni z/H=0.906'da -0.538 olmaktadır. z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerinde basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %69.95 olarak tespit edilmiş ve bu miktar 20 m/s hızı 10° atak açısı kanat üst kısmı için en yüksek miktar olmuştur.

Kanat alt kısmı için akışın temas ettiği ilk nokta olan x/L=0.341'de kanat orta ekseni z/H=0.5 ve kanat uç ekseni z/H=0.906'da basınç katsayıları sırasıyla -0.440 ve -0.400'dür. Bu noktada eksenler arasında oluşan basınç katsayısı sapma miktarı %9.16'dır. x/L=0.508 noktası kanat alt kısmı için orta kısımda ve z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.289 iken z/H=0.906'da -0.331'dir. Burada z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 eksenlerinde basınç katsayılarındaki sapma miktarı %14.23 olmaktadır. x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.000 olurken z/H=0.906 ekseninde -0.155 olmaktadır. x/L=0.679 noktasında dikkat çeken kısım basınç katsayıları arasında oluşan sapmanın %138646.95 miktarında olduğu ve 10° atak açısı ile 20 m/s hızı için kanat üst ve alt kısmındaki en yüksek sapma miktarı olduğudur. Kanat firar kenarına yakın olan x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.006 ve z/H=0.906'da -0.228 olmuştur. Bu noktada basınç katsayılarındaki sapma miktarı %3253.73'tür. Kanat alt kısmı için firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları kanat orta kısmındaki eksen için -0.259 iken kanat uç kısmındaki eksen için -0.242'dir. Bu noktada eksenler arasındaki basınç katsayısı sapma miktarı %6.38 ile kanat alt kısmı için en düşük sapma miktarı olmuştur.

Üç farklı Reynolds sayısında yapılan testlerde 10° kanat atak açısı için, en yüksek sapma değeri %138646.95 ile 20 m/s hızında olmuşken en düşük sapma değeri %0.07 ile 10 m/s hızında görülmüştür. Bu atak açısında dikkat çeken, üç hız için de kısım kanat alt kısmında bulunan x/L=0.679 noktasında en yüksek sapma miktarı olmuşken, en düşük sapma miktarının noktası ise değişkenlik göstermiştir.

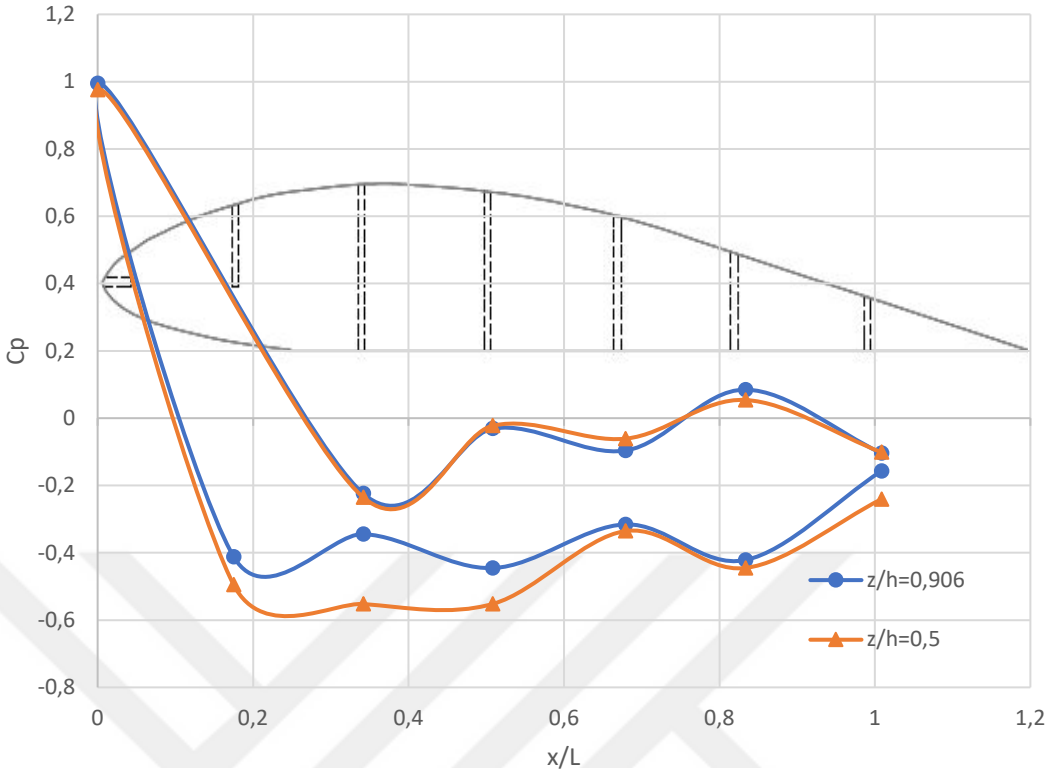


Şekil 4.8. 10˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(C_p) Grafiği

15° kanat atak açısında ile Re=5.6*10^3, 1.13*10^4 ve 2.26*10^4'teki grafik halinde verilmiştir. Şekil 4.9'da görüldüğü üzere 5 m/s hızında 15° atak açısında kanadın akışı karşıladığı ilk nokta olan x/L=0.00'da z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.976 ve z/H=0.906'da 1.014 olarak tespit edilmiştir. Kanat orta ekseni ve uç ekseninde basınç katsayıları arasındaki sapma miktarının %3.89 olduğu görülmüştür. Kanat üst kısmı için kamburun başlangıcı konumunda olan x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5'te -0.495, z/H=0.906 ekseninde -0.400 olmakta ve eksenlerdeki basınç katsayıları arasında sapmanın %19.21 ile kanat üst kısmı için en düşük sapma miktarı olmaktadır. Kanat kamburunun tepe noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.552, z/H=0.906 ekseninde -0.337'dir. Bu noktada kanat orta ekseni ve kanat uç eksenindeki basınç katsayılarındaki sapma miktarı

%38.88'dir. Kanat kambur eğrisinin başlangıç noktası x/L=0.508'de basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.552 ve z/H=0.906 ekseninde -0.395 olmaktadır. x/L=0.508 noktasında eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %28.44 olmaktadır. Kambur eğrisinin dramatik şekilde devam ettiği x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.445 iken z/H=0.906 ekseninde -0.332 olmakta ve basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %25.37 olmaktadır. Kanat üst kısmı için kanat kuyruğuna yakın x/L=0.833 noktasında kanadın ortasındaki eksende basınç katsayısı -0.445 olurken kanat uç kısmında ise -0.332'dir. Bu noktada z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayılarında sapma miktarı %25.37'dir. Kanat üst kısmı için firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları, sırasıyla -0.240 ve -0.111 olmaktadır. Kanat firar kenarı için eksenler arasındaki basınç katsayısı sapma miktarı %53.69 ile kanat üst kısmı için en yüksek sapma miktarı olmuştur.

Kanat alt kısmı için, ön tarafa olan x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.235 ve z/H=0.906 ekseni için -0.238'dir. Bu noktada dikkat çeken kısım, basınç katsayıları arasındaki sapma miktarının %1.33 ile 15° atak açısı ve 5 m/s hızı için en düşük miktar olduğudur. Kanat altı kısmında x/L=0.508 noktası basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.022 ve z/H=0.906 ekseninde -0.086'dır. x/L=0.508 noktasında eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma %288.24 ile 5 m/s hızı için hem kanat üstü hem de kanat altı için eksenler arasındaki en yüksek sapma miktarıdır. Kanat altı kısımda kanadın ortasına denk gelen x/L=0.679 noktasında basınç katsayısı kanat orta ekseni z/H=0.5'te -0.060, uç kısmındaki z/H=0.906 ekseninde -0.124'tür. Bu noktadaki basınç katsayılarının sapma miktarı %104.55 ile yüksek miktarda olmuştur. Kanat altı için firar kenarına yakın olan x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ekseni için basınç katsayısı 0.054 ve z/H=0.906 ekseninde -0.014 olmaktadır. z/H=0.5 ile z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %72.63'tür. Firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları kanat orta ekseninde -0.101 iken kanadın uç kısmındaki eksende -0.169 ve bu eksenler arasındaki basınç katsayısı sapma miktarı %67.66 olmaktadır.

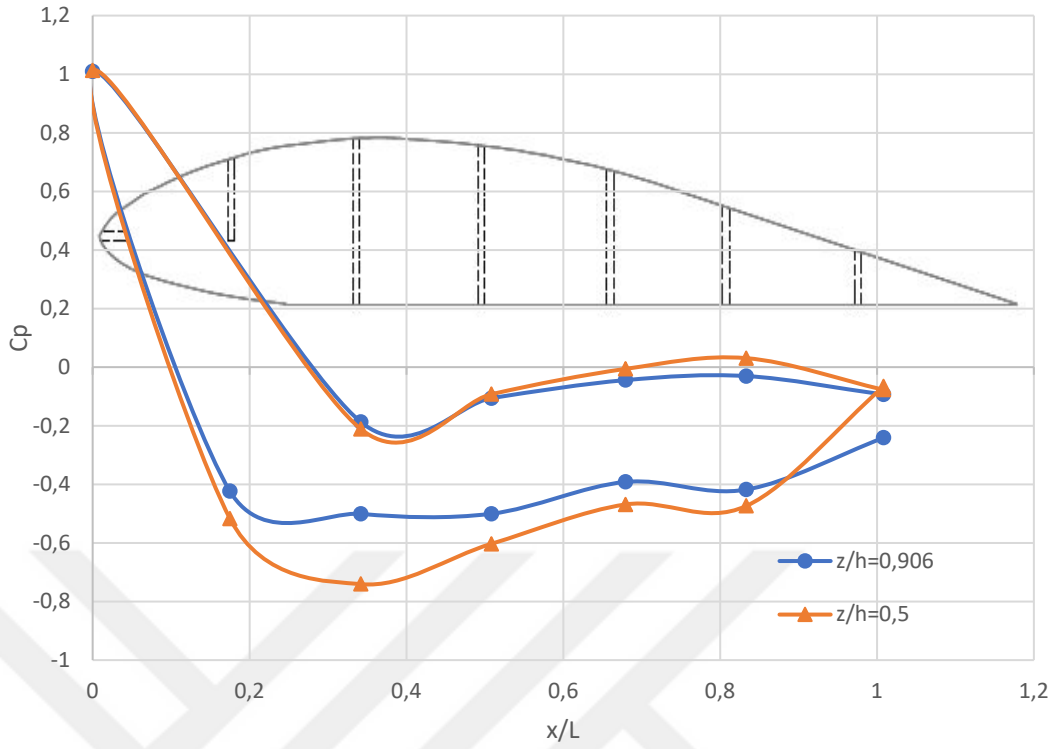


Şekil 4.9. 15˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

1.13*10^4 Reynolds sayısında 15° kanat atak açısında yapılan testlerde, kanadın akışla ilk temas ettiği nokta x/L=0.00'da Şekil 4.10'daki grafikte de görüleceği üzere z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 1.004 iken z/H=0.906 ekseninde 0.990 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayısı sapma miktarı %1.42 ile oldukça düşük sapma miktarındadır. Kanat kambur kısmında x/L=0.175 noktasında kanat orta ekseni z/H=0.5'te basınç katsayısı -0.445 ve kanat uç noktası ekseni z/H=0.906'da -0.397 iken eksenler arasındaki basınç katsayılarında sapma miktarı %10.85 olmaktadır. Kanat kamburunun en yüksek olduğu x/L=0.341 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.729 iken z/H=0.906 ekseninde -0.496 olmaktadır. Bu noktada eksenler arasındaki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %31.99'dur. x/L=0.508 noktasında kanat orta ekseninde basınç katsayısı -0.588 iken kanat uç kısmındaki eksende -0.498 ve basınç katsayılarındaki sapma miktarı %15.18 olmaktadır. Kanat eğrisinin dramatik şekilde devam ettiği x/L=0.679 noktasında basınç katsayısı z/H=0.5 ekseninde -0.457 ve z/H=0.906 ekseninde -0.396'dır. Bu noktada z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %13.53'tür. Kambur eğrisinin devamında kanat üst kısmı için x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 eksenindeki

basınç katsayısı -0.451 ve z/H=0.906 ekseninde -0.404 olmaktadır. x/L=0.833 noktasında eksenler arasındaki sapma miktarı %10.53 ile kanat üst kısmı için en düşük sapma miktarıdır. Kanat üst kısmı için son nokta x/L=1.00'da z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.075 ve z/H=0.906'da -0.218 olmaktadır. Bu noktada dikkat çeken kısım kanat üst kısmı için %188.56 ile en yüksek sapma miktarının olmasıdır.

Kanat alt kısmındaki birinci noktada z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.272 ve z/H=0.906 ekseninde -0.252 olmaktadır. Bu noktada eksenlerdeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %7.45 ile kanat üst kısmı ve kanat alt kısmı için en düşük sapma miktarı olmuştur. x/L=0.508 noktasında kanat orta ekseninde basınç katsayısı -0.190 iken kanat uç ekseninde -0.122 olmaktadır. Eksenler arasındaki basınç katsayısı sapma miktarı %35.84'tür. x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.003 ve z/H=0.906 ekseninde -0.077 olmaktadır. Kanat orta ekseni ve uç eksenindeki basınç katsayıları arasındaki sapma %2468.71 ile 15° kanat atak açısı, 10 m/s hızı için hem kanat üst kısmı hem de kanat altı için en yüksek sapma miktarı olmuştur. Kanat alt kısmı için firar kenarına yakın olan x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ekseni basınç katsayısı 0.030 ve z/H=0.906 ekseni için -0.051'dir. Kanat orta ekseni ve uç eksenindeki basınç katsayıları arasındaki sapma %65.04 olmaktadır. Kanat firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.057 iken z/H=0.906 ekseninde -0.096 olmaktadır. Kanat altı kısımda x/L=1.00 noktasında eksenlerde basınç katsayılarındaki sapma miktarı %68.21 olmaktadır.



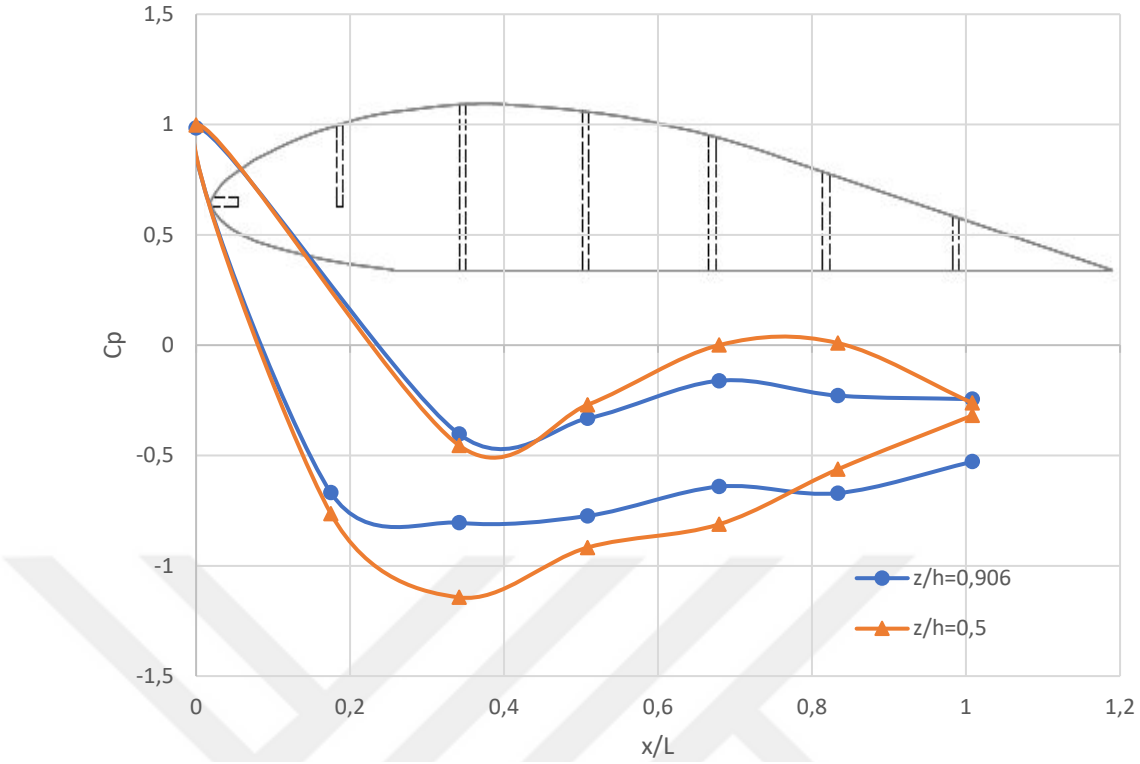
Şekil 4.10. 15˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

Şekil 4.11'de 15° kanat atak açısı ve $2.26*10^4$ Reynolds sayısında yapılan testlerde elde edilen basınç katsayılarının grafiği görülmektedir. Kanat x/L=0.00 noktasındaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.992 iken z/H=0.906 ekseninde 0.981 olmaktadır. Akışkanın kanatla ilk temas ettiği bu noktada kanat orta ekseni ve uç eksenindeki basınç katsayılarında sapma miktarı %1.03 ile 15° atak açısı ve 20 m/s hızında yapılan testlerde en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanat üst kısmında yukarı trendde devam eden kambur eğrisindeki ilk nokta x/L=0.175'te basınç katsayılarındaki sapma z/H=0.5 ekseninde -0.685 iken z/H=0.906 ekseninde -0.616 olmaktadır. Bu noktada eksenler arasındaki basınç katsayısı sapma miktarı %29.84'tür. Kambur eğrisinin en tepe noktası x/L=0.341'de basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -1.089 iken z/H=0.906 ekseninde -0.764 ve basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %29.84'tür. Kambur eğrisinin dramatik başlangıcındaki x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.877 iken z/H=0.906 ekseninde -0.764 olmaktadır. x/L=0.508 noktasında eksenlerdeki basınç katsayılarında sapma miktarı %16.20'dir. x/L=0.679 noktasında kanat ucundaki eksende basınç katsayısı -0.777 ve kanat uç ekseninde -0.606'dır. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %21.88

olmaktadır. Kanat üst kısmında x/L=0.833'te basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.546 iken z/H=0.906 ekseninde -0.607 olmakta ve sapma miktarı %11.21 ile düşük miktarda olmuştur. Kanat firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.299, z/H=0.906 ekseninde ise -0.458 olmaktadır. Kanat üst kısmındaki x/L=1.00 noktasında kanat orta ekseninde ve kanat uç eksenindeki basınç katsayıları arasındaki sapma %53.15 ile 15° atak açısı 20 m/s hızı için en yüksek miktardır.

Kanat alt kısmında akış ile ilk temas eden x/L=0.341 noktasında basınç katsayısı z/H=0.5 ekseninde -0.500 ve z/H=0.906 ekseninde -0.407 olmakta ve eksenlerdeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %23.11 olmaktadır. x/L=0.508 noktasında kanat orta ekseninde basınç katsayısı -0.265 iken uç eksende -0.326 olmakta ve sapma miktarı da %23.11'dir. Kanat altı kısımdaki x/L=0.679 noktası z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.002 ve z/H=0.906 ekseninde -0.172 olmaktadır. Bu noktada eksenlerde basınç katsayıları için sapma miktarı %6243.77 ile 15° kanat atak açısı ve 20 m/s hızında kanat üst kısmı ve kanat alt kısmı için en yüksek sapma miktarıdır. x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları orta eksen z/H=0.5'te 0.003 ve uç eksen z/H=0.906'da -0.226 olmakta, her iki eksendeki basınç katsayıları sapma miktarı %5679.17'dir. Kanat alt kısmı firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5'te -0.273 ve z/H=0.906'da 0.-241 olmaktadır. Bu noktada eksenlerdeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %11.65 ile kanat alt kısmındaki en düşük sapma miktarıdır.

Üç farklı Reynolds sayısı ve 15° kanat atak açısı ile yapılan testlerde, basınç katsayılarındaki sapmalarda en düşük miktar %1.03 ile $2.26*10^4$ Reynolds sayısında x/L=0.00'da kanadın akışı karşıladığı ilk noktada iken en yüksek sapma miktarı ise kanat alt kısmı x/L=0.679 noktasında %6243.77 olmuştur. Yapılan testlerde dikkat çeken kısım ise kanat üst kısımlarındaki sapma miktarlarının düşük olması ve kanat alt kısımlarının oldukça yüksek olmasıdır.

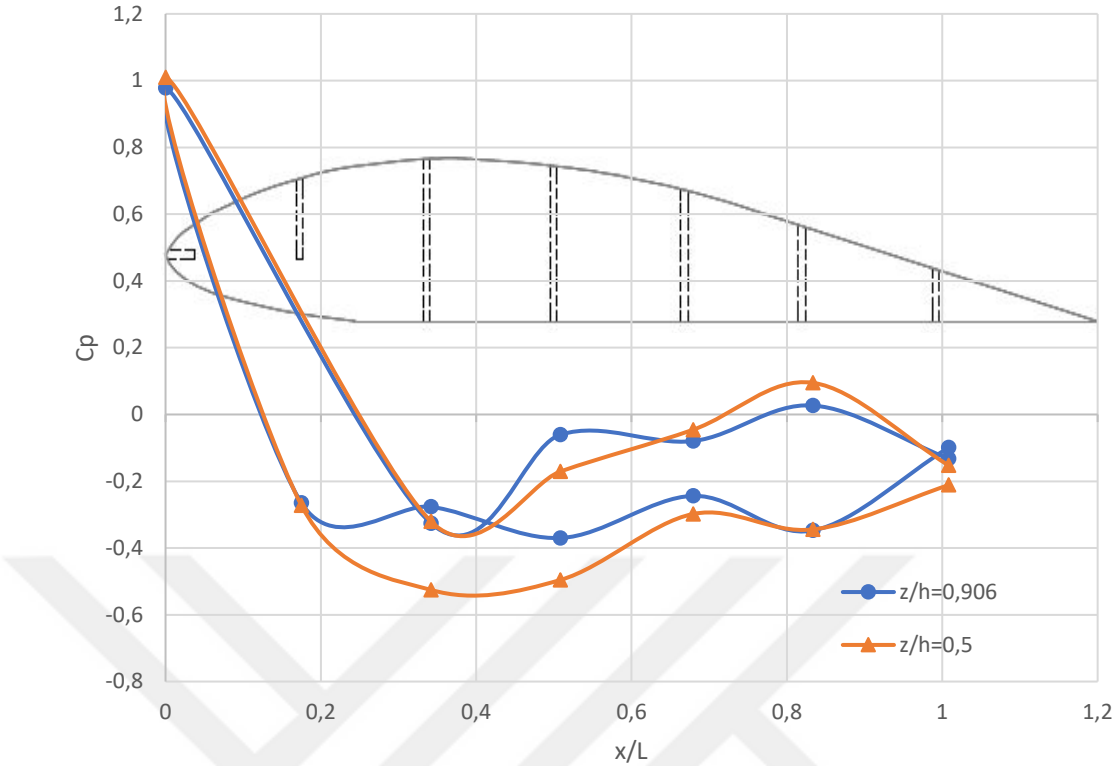


Şekil 4.11. 15˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

20° atak açısında $5.6*10^3$, $1.13*10^4$ ve $2.26*10^4$'te Reynolds sayılarında yapılan testlerle tespit edilen basınç katsayıları(C_P) Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'deki grafikleri görülmektedir. $5.6*10^3$ Reynolds sayısında yapılan testlerde kanadın uç noktasındaki x/L=0.00'da basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 1.009 ve z/H=0.906 ekseninde 0.977 olarak tespit edilmiştir. Bu noktada kanat basınç katsayılarının eksenlerdeki sapmaları %3.13 ile düşük miktarda olmuştur. Kanat üst noktasında akışı ilk karşılayan x/L=0.175 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.272 oluyorken z/H=0.906 ekseninde -0.265 olmaktadır. Eksenler arasındaki basınç katsayıları sapma miktarı %2.71'dir. Kanat kamburunun en yüksek olduğu x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.525 iken z/H=0.906 ekseninde -0.276'dır. Basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %47.37'dir. Kanat eğrisinin aşağı doğru trendindeki x/L=0.508 noktasında kanat orta kısmında bulunan z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.495 iken uç kısmındaki eksen z/H=0.906'da -0.369 olmakta ve eksenlerdeki katsayılar arasında sapma %25.37 miktarındadır. Kanat üst kısmı için x/L=0.679 noktasında z/H=0.5'te basınç katsayısı -0.298 ve z/H=0.906 ekseninde -0.243'tür. Kanat üst kısmındaki x/L=0.679

noktasındaki basınç katsayıları arasında sapma %18.22'dir. x/L=0.833'te fark edilen nokta z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 ekseni arasında basınç katsayıları sapma miktarının kanat alt ve üst kısımlarında 20° kanat atak açısı, 5 m/s hızındaki en düşük miktar olarak %0.94 olmasıdır. Bu noktada basınç katsayıları z/H=0.5'te -0.344 ve z/H=0.906'da -0.347 olmaktadır. Kanat üst kısmı akış firar kenarında olan x/L=1.00 noktasında basınç katsayısı z/H=0.5 ekseninde -.021 ve z/H=0.906 ekseninde -0.099 olmaktadır. Bu noktada orta ve uç eksenlerdeki basınç katsayılarında %53.18 ile kanat üst kısmındaki en yüksek sapma miktarı oluşmaktadır.

Kanat alt kısımda %1.72 ile en düşük basınç katsayısı sapma miktarında olan x/L= 0.341 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.320 ve z/H=0.906 eksenindeki basınç katsıyı -0.325'tir. x/L=0.508'de kanat altı için z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.170 ve z/H=0.906'da -0.060 iken eksenler arasındaki basınç katsayısı sapma miktarı %64.51'dir. Kanat alt kısımdaki x/L=0.679'da kanat orta kısımdaki eksende basınç katsayısı -0.045 iken kanat uç kısımdaki eksende -0.079 olmaktadır. x/L=0.679 noktasında sapma miktarı %74.41 ile 20° atak açısı ve 5 m/s hızı için en yüksek sapma miktarı olmuştur. Kanat firar kenarına yakın x/L=0.833 noktasında eksenler arasındaki sapma miktarı %74.69 iken z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.094 ve z/H=0.906'da 0.026 olmaktadır. Kanat alt kısmında firar kenarı noktası olan x/L=1.00'da kanat orta ekseninde basınç katsayısı -0.152 ve kanat uç ekseninde -0.132 olmaktadır. Bu noktada basınç katsayıları sapma miktarı %13.02 ile düşük miktardadır.

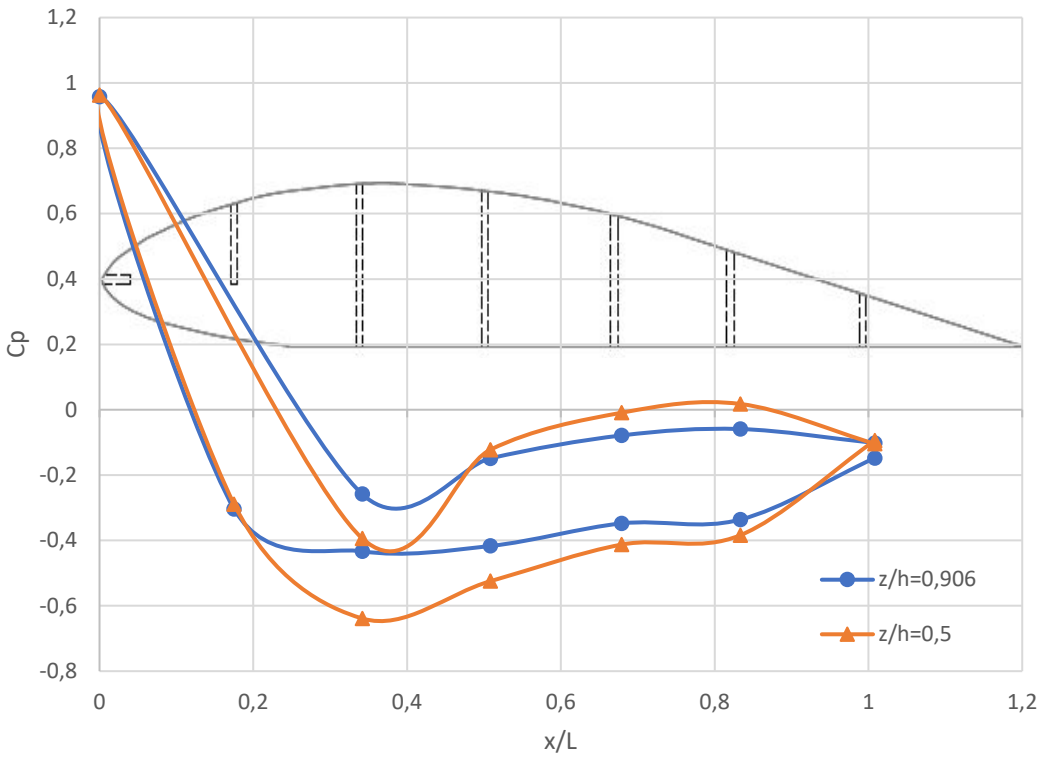


Şekil 4.12. 20˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

Kanadın akışı karşıladığı noktada Re=1.13*10^4 ile 20° atak açısındaki en düşük sapma %0.52 miktarında ve bu noktada z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.962 iken z/H=0.906 ekseninde 0.957 olmaktadır. Kanat üst kısmındaki ilk nokta x/L=0.175'te orta eksendeki basınç katsayısı -0.289 ve uç eksende -0.303 olmaktadır. Bu noktada basınç katsayıları arasındaki sapma %34.42 miktarındadır. Şekil 4.13'te de görüldüğü üzere x/L=0.341'de sapma %32.20 ile 10 m/s hızı için yüksek miktardadır. Bu noktada z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.638 ve z/H=0.906 ekseninde -0.433 olmaktadır. Kanat üst kısmındaki dramatik eğrinin başlangıcındaki x/L=0.508 noktasındaki basınç katsayıları z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri için sırasıyla -0.524 ve -0.416 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları arasındaki sapma %20.54 miktarındadır. Eğrinin devamındaki x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.415 iken z/H=0.906 ekseninde -0.347 ve eksenlerdeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %15.71'dir. Kanat üst kısmında firar kenarındaki x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.384 iken z/H=0.906 ekseninde -0.336'dır. Bu noktada basınç katsayıları arasındaki sapma %12.46'dır. Üst kısım için

firar kenarında olan x/L=1.00 noktasında dikkat çeken sapma miktarı %59.89 ile kanat üst kısmındaki en yüksek sapma miktarı olmaktadır.

Kanat alt kısmındaki birinci nokta olan x/L=0.341'de orta eksendeki basınç katsayısı -0.393 ve uç kısımdaki eksende -0.336'dır. Bu noktada eksenlerdeki sapma miktarı %34.42 miktarındadır. x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.122 iken z/H=0.906 ekseninde -0.148 olmakta ve z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 ekseni arasındaki basınç katsayıları sapma miktarı %21.63'tür. Hem kanat üstü hem de kanat altı kısımları için %765.96 ile 20° kanat atak açısı, 10 m/s hızındaki en yüksek sapma miktarının olduğu x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.009 ve z/H=0.906 ekseninde -0.078 olmaktadır. Bir sonraki x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı 0.017, z/H=0.906 ekseninde ise -0.059 olarak tespit edilmiştir. x/L=0.833 noktasındaki eksenlerde basınç katsayısı sapma miktarı %235.29 ile kanat altı kısımda oldukça yüksektir. Firar kenarındaki x/L=1.00 noktası z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.104 ve z/H=0.906 ekseninde -0.101 olmakta ve bu eksenler arasındaki sapma %2.40 ile oldukça düşük miktardadır.



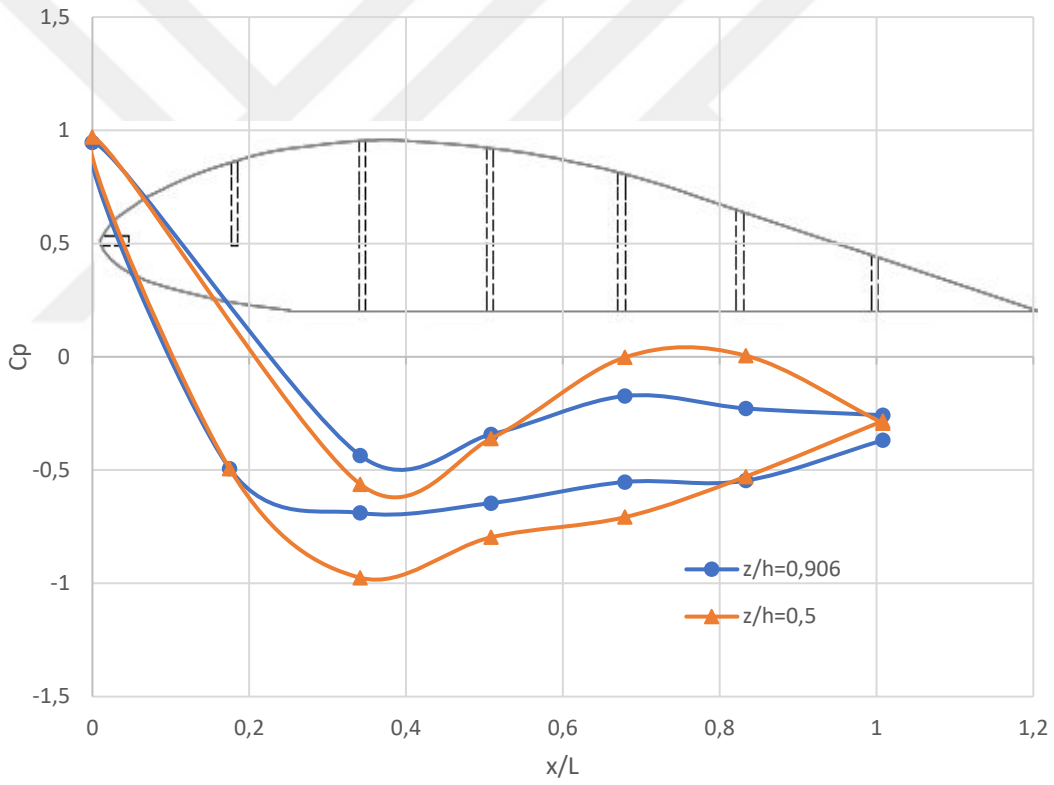
Şekil 4.13. 20˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

20° kanat atak açısındaki testlerde son test hızı olan $2.26*10^4$ Reynols sayısında basınç katsayılarının grafiği Şekil 4.14'te verilmiştir. Kanat x/L=0.00 noktasındaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.970 iken z/H=0.906'da 0.946 olmaktadır. Kanat sıfır noktasında %2.45 sapma ile 20 m/s hızındaki en düşük sapma miktarlarındandır. Kanat üst kısmında yukarı trenddeki eğride x/L=0.175 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.494 ve z/H=0.906'da -0.493'tür. Bu noktadaki sapma miktarı %0.18 ile 20° kanat atak açısı 20 m/s hızında hem kanat altı kısım hem de kanat üstü kısımdaki en düşük miktar olmuştur. Kambur kısımdaki en yüksek nokta x/L=0.341'de basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %29.32 olmuş ve orta eksendeki basınç katsayısı -0.975 iken z/H=0.906 ekseninde -0.689'dur. x/L=0.508 noktasında basınç katsayılar orta eksen olan x/L=0.5'te -0.796 ve uç eksen olan z/H=0.906'da -0.645 olmakta, bu noktadaki eksenler arasında basınç katsayısı sapma miktarı %18.95'tir. Kanat eğrisinin dramatik şekilde aşağı trenddeki ilk noktası x/L=0.679'da z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.707 iken z/H=0.906'da -0.552 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları sapması %21.94 miktarındadır. Kanat üst kısmı için x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.528 iken z/H=0.906'da -0.546'dır. Bu noktadaki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %3.39 ile düşük miktardadır. Kanat firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında Şekil 12'de de görüldüğü gibi sapma miktarı kanat üst kısmı için en yüksek miktar olarak %30.18'dir.

Kanat alt kısmında x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.562 ve z/H=0.906 ekseninde -0.435'tir. Bu noktadaki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %22.54 olmaktadır. x/L=0.508 noktasındaki eksenlerde kanat orta kısmı için basınç katsayısı -0.360 ve uç kısmı için -0.342 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarında dikkat çeken kısım kanat alt kısmı için en düşük miktarla %5.17 olmasıdır. 20° kanat atak açısı, 20 m/s hızında kanat alt ve üst kısmı için en yüksek sapma miktarının %7390.22 ile olduğu x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.002 iken z/H=0.906'da -0.172 olmaktadır. Kanat alt kısmındaki x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ekseni basınç katsayısı 0.005 ve z/H=0.906 ekseninde -0.227'dir. Bu noktadaki basınç katsayısı 20 m/s hızındaki testlerde en yüksek ikinci sapma miktarı %4326.50 olduğu tespit edilmiştir. Kanat firar

kenarındaki x/L=1.00 noktası kanat alt kısmı z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.293 ve z/H=0.906 ekseninde -0.257 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %12.05'tir.

20° kanat atak açısı ve üç farklı Reynolds sayısında yapılan testlerde fark edilen kısım %7390.22 sapma miktarı ile en yüksek sapma miktarı $2.26*10^4$ Reynolds sayısı ile x/L=0.679 noktası kanat altında gerçekleşmiştir. Yine dikkat çeken hususlardan biri de yüksek miktardaki sapmaların genellikle kanat alt kısımdaki x/L=0.679 ile x/L=0.833 noktalarında gerçekleştiğidir. Bu atak açısındaki en düşük sapma miktarı ise %0.18 ile 20 m/s hızında kanat üstü kısım x/L=0.175 noktasındadır.

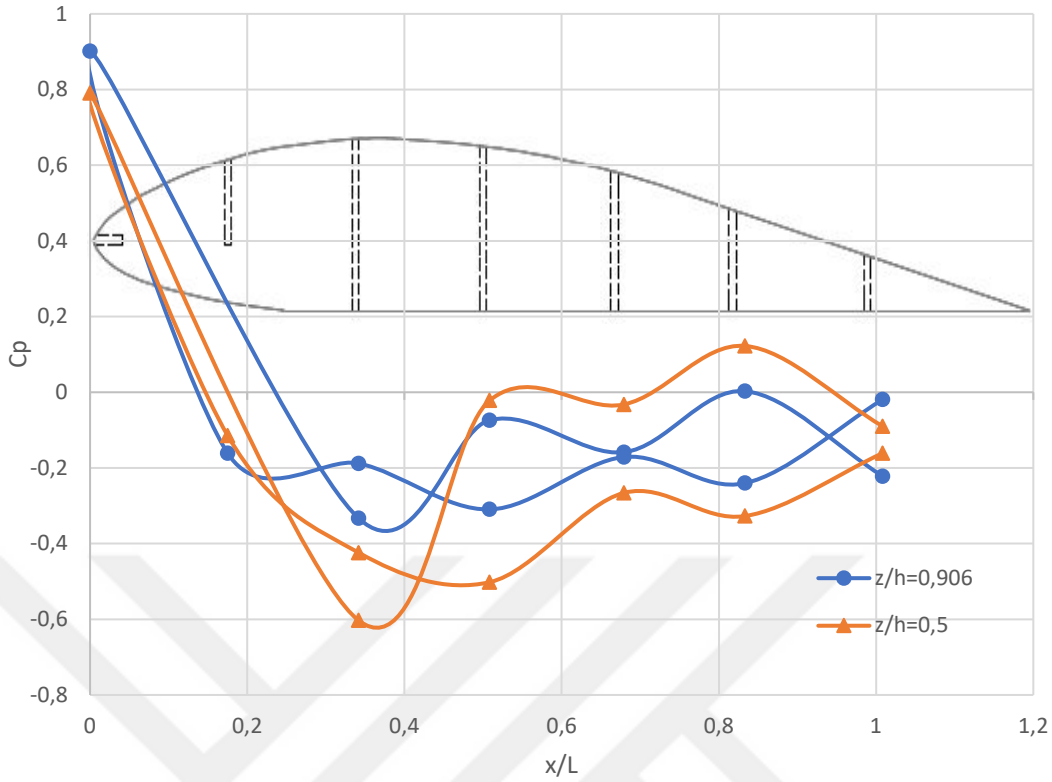


Şekil 4.14. 20˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

NACA 2415 kanat profili üzerinde yapılan testler, 25° kanat atak açısı ve $5.6*10^3$ Reynolds sayısında yapılarak tespit edilen basınç katsayıları Şekil 4.15'te grafik olarak sunulmuştur. Kanat ile akışkanın ilk karşılaştığı nokta x/L=0.00'da basınç katsayılar z/H=0.5 ekseninde 0.704 olurken z/H=0.906 ekseninde 0.901 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %14.04 ile kanat

üst ve alt kısımdaki en düşük sapma miktarı olmuştur. Kambur eğrisinin yukarı yöndeki x/L=0.175 noktasında kanat orta eksenindeki basınç katsayısı -0.114 ve kanat uç ekseninde -0.160 olmaktadır. Bu noktada eksenlerde basınç katsayıları arasındaki sapma %40.74 miktarındadır. Kanadın en tepesi olan kambur kısmında x/L=341 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları arasında sapma %55.66 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları z/H=0.5 için -0.423 ve z/H=0.906'da -0.187 olmaktadır. Kanat eğrisinin aşağı trendde olduğu x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 için -0.501 ve z/H=0.906 için -0.309 olurken eksenlerdeki sapma %38.32'dir. Kanat üst kısmındaki eğrinin dramatik şekilde aşağı doğru seyrettiği x/L=0.679 noktasında kanat orta eksenindeki basınç katsayısı -0.265, kanat uç ekseninde ise -0.171 olmaktadır. Akışın kanadı terk etmeye yakın x/L=0.833 noktasındaki basınç katsayıları sapma miktarı %26.59 ile kanat üst kısmı için en düşük miktardır. Bu noktadaki basınç katsayıları z/H=0.5'te -0.327 ve z/H=0.906 ekseninde -0.240'tır. Kanadın akışla temasının kesilmeye başladığı x/L=1.00 noktasında dikkat çeken kısım %88.10 ile kanat üst kısmı 25° atak açısı ve 5 m/s hızındaki en yüksek sapma miktarıdır. Bu noktadaki basınç katsayıları z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri için sırasıyla -0.161 ve -0.019'dur.

Kanat alt kısımdaki ilk noktada basınç katsayıları z/H=0.5 ekseni için -0.603 z/H=0.906 ekseni için -0.331'dir. Bu noktada oluşan sapma miktarı %44.78 ile kanat alt kısımdaki en düşük miktardır. x/L=0.508 noktasında eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %239.28 ile oldukça yüksek miktardadır. Burada eksenlerdeki basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.021 olurken z/H=0.906 ekseninde -0.073'tür. Kanat üst kısmı ve alt kısmı için 25° kanat açısı ve 5 m/s hızı için en yüksek sapma miktarının %391.60 ile görüldüğü bu noktada z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.032 ve z/H=0.906 ekseninde ise -0.158 olmaktadır. x/L=0.833 noktasında orta eksendeki basınç katsayısı 0.122 ve kanat uç kısmındaki eksende 0.002'dir. Bu noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı %97.7'dir. Akışın kanadı alt kısmından terk etmeye başladığı x/L=1.00 noktasında eksenlerdeki sapma miktarı %146.56 ve z/H=0.5 ekseninde -0.089, z/H=0.906 ekseninde -0.221 olmaktadır.

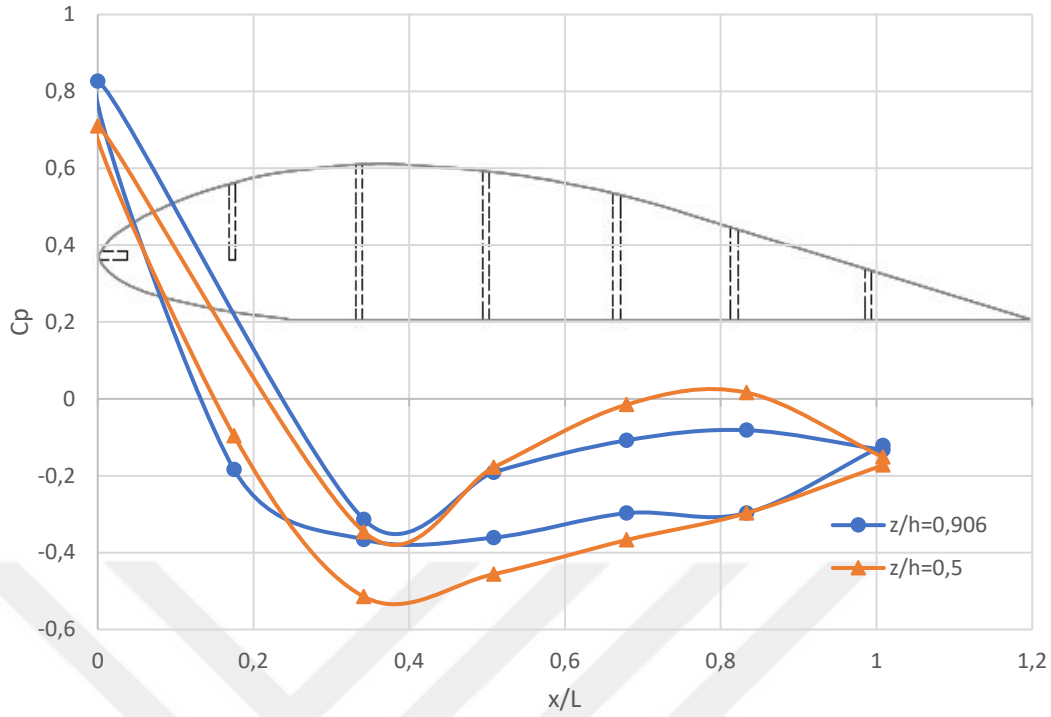


Şekil 4.15. 25˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

25° kanat atak açısı, $1.13*10^4$ Reynolds sayısında devam edilen testlerde elde edilen basınç katsayıları Şekil 4.16'da grafik halinde verilmiştir. Akışın kanat ile ilk temas ettiği x/L=0.00 noktasında basınç katsayısı z/H=0.5 ekseninde 0.710 ve z/H=0.906 ekseninde ise 0.826 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma %16.38 miktarındadır. Kanat üst kısmındaki ilk noktada kanat orta ve uç kısımda eksenlerde basınç katsayıları arasındaki sapma %91.40 ile 10 m/s hızı kanat üstü için en yüksek sapma miktarıdır. Bu noktadaki basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.096 ve z/H=0.906 ekseninde -0.183 olmaktadır. Kambur kısmının tepe noktasındaki x/L=0.341'de basınç katsayıları x/L=0.5'te -0.514 ve z/H=0.906 ekseninde -0.365 iken bu noktadaki basınç katsayılarının sapma miktarı %28.93'tür. x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.455 ve z/H=0.906 ekseninde -0.360'tır. Bu noktadaki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %20.86'dır. Eksenlerde basınç katsayıları arasındaki sapma miktarının %19.01 olduğu x/L=0.679'da, z//H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.367 ve z/H=0.906 ekseninde -0.279'dir. Kanat alt ve üst kısmındaki en düşük sapma miktarının %0.10 ile olduğu

x/L=0.833 noktasında kanat orta ekseninde basınç katsayısı -0.296 ve uç ekseninde -0.296 olmaktadır. Kanat üst kısımda kenar firarındaki x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.172 ve z/H=0.906 ekseninde -0.121 olmaktadır. Firar kenarındaki basınç katsayıları sapma miktarı %29.76'dır.

Kanat alt kısmındaki ilk noktada basınç katsayıları z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri için sırasıyla -0.345 ve -0.313 olmaktadır. Eksenler arasındaki sapma miktarı %9.35 ile düşük miktardadır. Kan at alt kısmındaki en düşük sapma miktarının %7.29 ile olduğu x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.178 olurken z/H=0.906 ekseninde -0.191 olmaktadır. Kanat alt kısımdaki x/L=0.679 noktasında kanat ortasındaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.014 ve kanat uç kısmındaki z/H=0.906 ekseninde -0.107'dir. Bu noktada eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı, 25° kanat atak açısı 10 m/s hızı için Şekil 14'teki grafik eğrilerinden de görüldüğü üzere %622.34 ile kanat üst ve alt kısımları için en yüksek miktar olmuştur. x/L=0.833 noktasında basınç katsayılarındaki sapma miktar %400.08 ile 10 m/s hızı için yüksek miktardır. Bu noktada z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.016 ve z/H=0906 ekseninde -0.081 olmaktadır. Akışın kanadı terk ettiği x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.151 ve z/H=0.906 ekseninde -0.132 olmakta, eksenlerdeki basınç katsayısı sapma miktarı %12.36 ile düşük miktardadır.

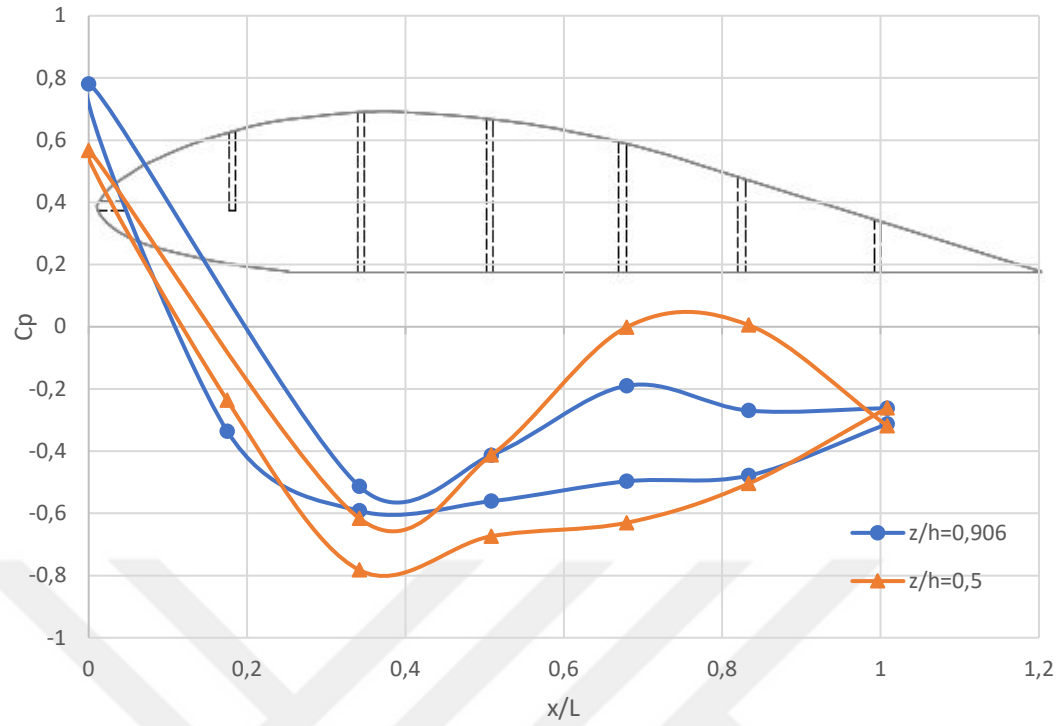


Şekil 4.16. 25˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

Şekil 4.17'de 25° kanat atak açısı ve $2.26*10^4$ Reynolds sayısında yapılan testlerde elde edilen basınç katsayılarının z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki grafiği görülmektedir. Kanat ile akışın ilk karşılaştığı kanadın sıfır noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.566 iken z/H=0.906 ekseninde 0.780 olmakta ve eksenlerde basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %37.71 olarak tespit edilmiştir. Kanadın üst kısmında x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseni için -0.236 z/H=0.906 ekseninde ise -0.335 olarak hesaplanmıştır. Bu noktadaki sapma miktarı ise %41.78 ile 20 m/s hızında kanat üst kısmı için en yüksek miktar olmuştur. Kanat kamburunun en tepe noktasındaki x/L=0.341'de z/H=0.5 ekseni ve z/H=0.906 eksenleri arasındaki basınç katsayıları sapma miktarı %24.31 olmakta ve orta kısımdaki eksende basınç katsayısı -0.782 iken uç kısımdaki eksende -0.591 olmaktadır. Kanat üst kısımdaki dramatik eğrinin aşağı trenddeki x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenleri için sırasıyla -0.673 ile -0.497 olmaktadır. Bu noktadaki sapma miktarı %21.14 olarak tespit edilmiştir. Kambur eğrisinin devamında x/L=0.833'te kanat üst kısmı için en düşük sapma miktarı %5.11 olmuş ve z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.504 iken z/H=0.906 ekseninde -0.478'dir. Kanat üst kısmında firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında

basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.261 iken z/H=0.906 ekseninde -0.312 olmaktadır. Firar kenarındaki basınç katsayıları sapma miktarı %19.77'dir.

Kanat alt kısımda akışla ilk buluşan x/L=0.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.615 ve z/H=0.906 ekseninde -0.512 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı %16.71 olmaktadır. Sapma miktarı %0.07 ile 25° kanat atak açısı 20 m/s hızında yapılan testlerde, hem kanat üstü hem de kanat altı kısımlar için en düşük sapma miktarındadır. x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 ekseni basınç katsayısı değeri -0.412 iken z/H=0.906 ekseninde -0.412 olmaktadır. Kanat altındaki x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları kanadın orta kısmındaki z/H=0.5 ekseninde -0.001 ve uç kısımdaki z/H=0.906 ekseninde -0.189 olmaktadır. $2.26*10^4$ Reynolds sayısı 25° kanat atak açısında yapılan testlerde kanat altı ve üstü için en yüksek sapma miktarı %11474.03 ile bu noktada meydana gelmiştir. İkinci en yüksek sapma miktarının %4837.31 ile x/L=0.833 noktasında gerçekleşmiş ve z/H=0.5'teki basınç katsayısı 0.005 iken z/H=0.906 ekseninde -0.269 olmaktadır. Kanat alt kısmındaki firar kenarı x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sırasıyla -0.318, -0.261'dir ve bu noktadaki sapma miktarı %17.74 ile düşük miktardadır.



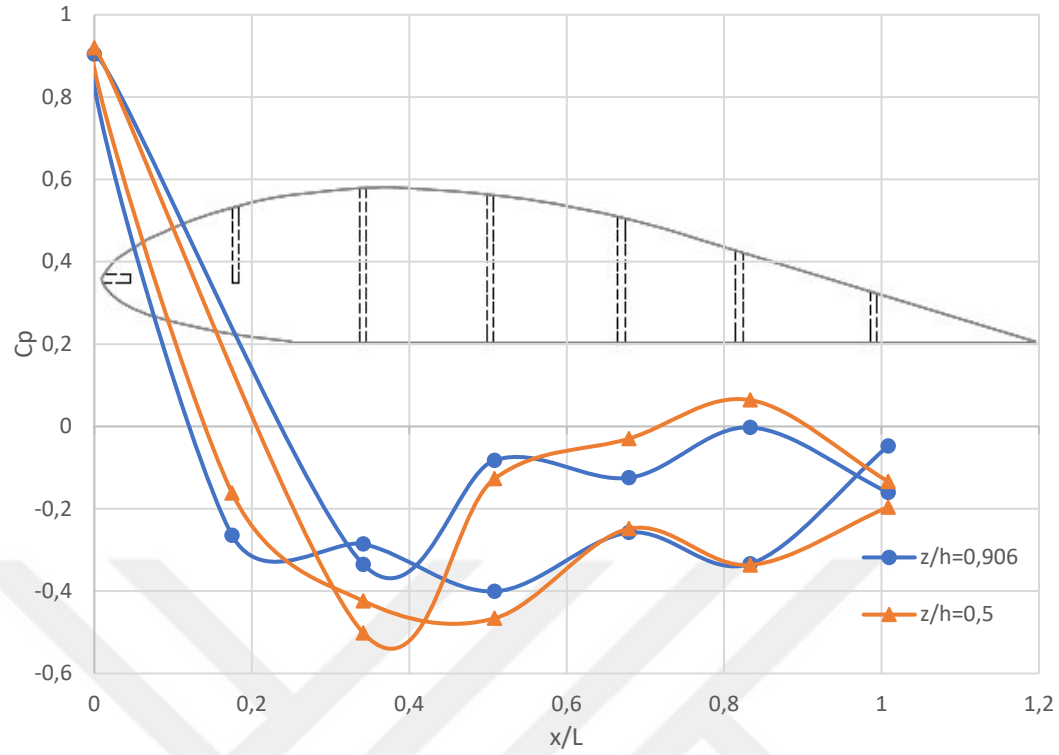
Şekil 4.17. 25˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

Yine üç farklı Reynolds sayısında 25° kanat atak açısında yapılan testlerde öne çıkan kısım $2.26*10^4$ Reynolds sayında kanat alt kısımdaki x/L=0.679'da en yüksek sapma değeri %11474.03 miktarındadır. Bu atak açısında yapılan testlerde en düşük sapma miktarı ise $1.13*10^4$ Reynolds sayısında kanat üst kısmındaki x/L=0.833 noktasında %0.10 olarak tespit edilmiştir. En yüksek sapma miktarlarının kanat alt kısımlarında meydana gelmesi dikkat çeken bir diğer nokta olmuştur.

30° kanat atak açısı ve üç farklı Reynolds sayısında yapılan testlerde elde edilen basınç katsayılarının grafikleri Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20'de görülmektedir. Kanadın sıfır noktasında $5.6*10^3$ Reynolds sayısında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı 0.919 iken z/H=0.906 ekseninde 0.903 olmaktadır. x/L=0.00 noktasında kanat orta ekseni ve uç eksenindeki basınç katsayıları arasında gerçekleşen sapma miktarı %1.72'dir. Kanat üst kısmındaki ilk noktasında eksenler arasındaki sapma miktarı %63.51 olmakta ve z/H=0.906'da basınç katsayısı -0.161 iken z/H=0.906'da -0.264 olmaktadır. Kanat kamburunun en tepe noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.423 ve z/H=0.906 ekseninde -0.264 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %32.59'dur. Kanat eğrisinin aşağı eğiliminde x/L=0.508

noktasında kanat orta ekseni ve uç ekseni arasındaki sapma miktarı %14.06'dır. Bu noktada z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.466 iken z/H=0.906 ekseninde -0.400'dür. Kanat üst noktasında x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.248 iken z/H=0.906 ekseninde -0.257 olurken bu noktada eksenler arasındaki sapma miktarı %3.82 ile düşük miktardadır. Kanat firar kenarına yakın x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.336 ve z/H=0.906'da -0.333 olmaktadır. Bu noktada basınç katsayıları sapma miktarı %0.87 ile 30° kanat atak açısı ve 5 m/s hızında hem kanat altı hem de kanat üstü kısımlar için en düşük miktardır. Kanat üst kısmında akışın kanadı terk ettiği firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.195 olurken z/H=0.906 ekseninde -0.047'dir. Bu noktada dikkat çeken kısım kanat üst kısmı için %75.68 ile en yüksek sapma miktarının oluşmasıdır.

Kanat alt kısmındaki birinci noktada basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.501 iken z/H=0.906 ekseninde -0.335 olmakta ve eksenlerdeki basınç katsayıları sapması miktarı %33.18 olmaktadır. x/L=0.341 noktasında z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarı %35.32 olurken, orta eksende -0.127 ve uç eksende -0.082 olarak tespit edilmiştir. 30° kanat atak açısında ve 5 m/s hızındaki en yüksek basınç katsayıları sapmasının %321.34 ile gerçekleştiği x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı değeri -0.029 iken z/H=0.906 ekseninde -0.124'tür. Kanat altı kısımda x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ile z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sırasıyla 0.064 ve -0.002 iken bu katsayılar arasındaki sapma miktarı %96.16'dur. Kanat altı kısımda firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %19.91 ile kanat alt kısmı için en düşük miktardır. Bu noktada z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı değeri -0.133 iken z/H=0.906'da -0.160'tır.

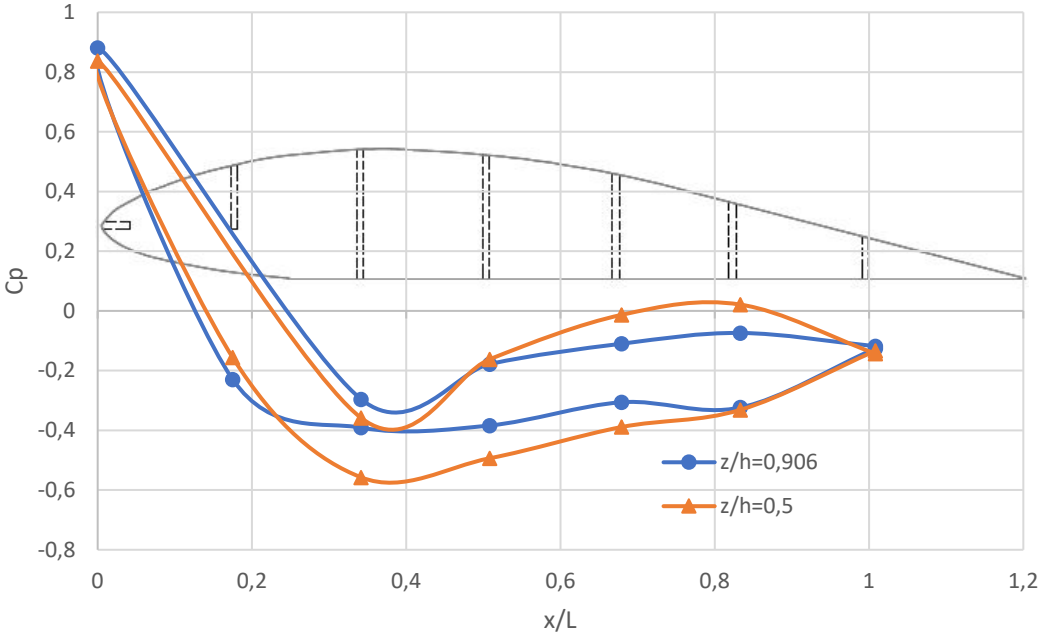


Şekil 4.18. 30˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

Yine 30° kanat atak açısı ve $1.13*10^4$ Reynolds sayısında yapılan testlerden elde edilen basınç katsayılarının grafiği Şekil 4.19'da görünmektedir. Kanat eksenin sıfır noktası olan x/L=0.00'da basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.836 iken z/H=0.906 ekseninde 0.880 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları arasındaki sapma ise %5.22'dir. Basınç katsayılarının z/H=0.5 ekseninde -0.156 ve z/H=0.906 ekseninde -0.229 olarak tespit edilen x/L=0.175 noktasında sapma miktarı %46.97 ile kanat üst kısmındaki en yüksek miktardır. Kamburun en tepe kısmındaki x/L=0.341 noktasında kanat ortasındaki eksende basınç katsayısı -0.557 iken kanat uç kısmında -0.391 olmakta ve eksenler arasındaki basınç katsayısı sapması %29.86 miktarındadır. Kanat üstü kısımdaki x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki sapma miktarı %22.34 olurken z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.493 ve z/H=0.906 ekseninde -0.383 olmaktadır. Kanat kambur eğrisinin aşağı eğilimindeki x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 için -0.388 iken z/H=0.906'da -0.305'tir. x/L=0.833 noktasında dikkat çeken husus %2.32 ile 30° kanat atak açısı ve 10 m/s hızında hem kanat altı hem de kanat üstü için en düşük sapma miktarı olmasıdır. En düşük sapmanın oluştuğu bu noktada basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.331 iken

z/H=0.906'da -0.323 olmaktadır. Kanat üst kısımdaki firar noktası x/L=1.00'da basınç katsayıları kanat orta kısımdaki eksende -0.133 ve kanat uç kısımdaki eksende -0.323 olmaktadır.

Kanat altı kısımda akışkanla ilk temas eden x/L=0.341 noktasında z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayılarının sapması %17.48 olmaktadır. Orta eksende katsayı -0.358 olurken uç eksende -0.296 olmaktadır. z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı değeri -0.161 ve z/H=0.906 ekseninde -0.177 olduğu x/L=0.508 noktasında eksenlerdeki katsayıların sapma miktarı %9.93 ile kanat altı kısımdaki en düşük sapma miktarıdır. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %731.60 ile 30° atak açısı 10 m/s hızında kanat üstü ve altı kısımlarında en yüksek sapma miktarıdır. Kanat altı kısımdaki x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı 0.021 ve z/H=0.906 eksenindeki değeri -0.073'tür. Bu noktadaki katsayıların sapma miktarı %249.83 ile yüksek miktardadır. Kanat altı kısımda akışın kanadı terk ettiği x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.143 ve z/H=0.906 ekseninde -0.118 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı %17.42 ile düşük miktardadır.

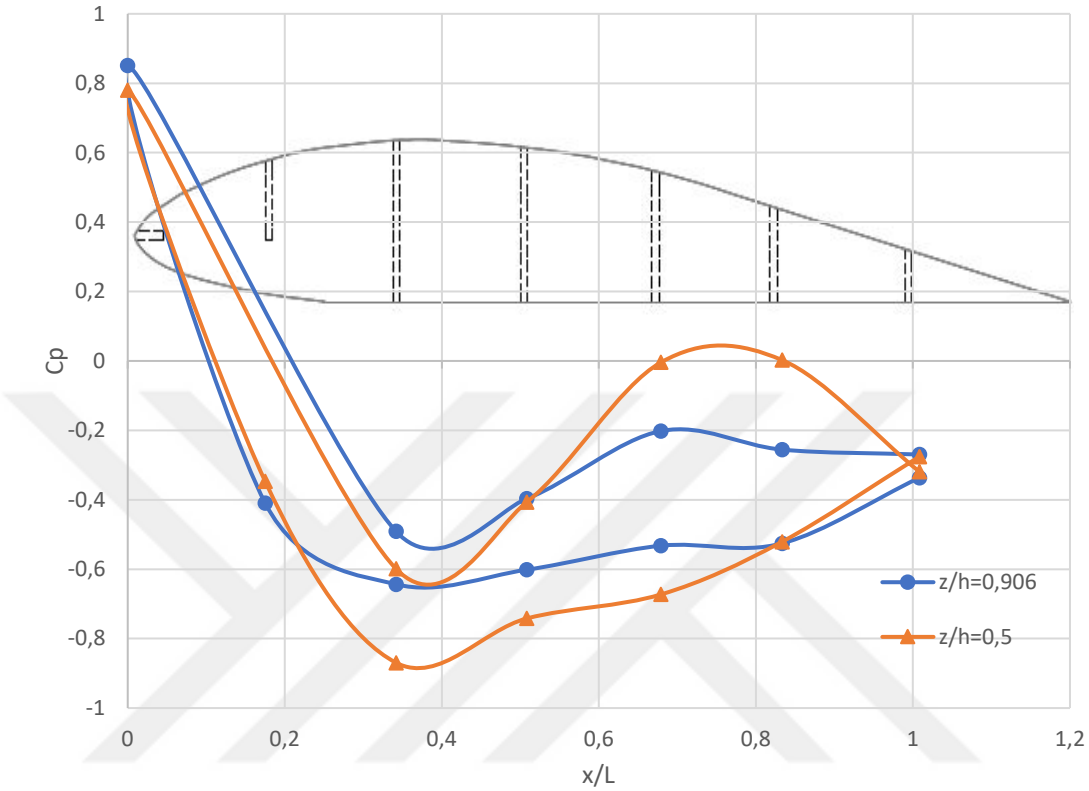


Şekil 4.19. 30˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

$2.26*10^4$ Reynolds sayısı 30° kanat atak açısında yapılan testlerden elde edilen basınç katsayıları grafiği Şekil 4.20'de görülmektedir. Akışkan ile kanadın ilk temas noktası x/L=0.00'da basınç katsayıları z/H=0.5'te 0.780 ve z/H=0.906 ekseninde 0.851 olmaktadır. Bu eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %9.06'dır. Kanat üst kısımdaki ilk noktada basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.346 ve z/H=0.906 ekseninde -0.409'dur. Bu noktada basınç katsayılarındaki sapma miktarı %18.09'dur. Yukarı eğilimdeki eğrinin tepe noktası x/L=0.341'te dikkat çeken kısım 30° atak açısında 20 m/s hızında kanat üstü kısımda en yüksek sapma miktarının %26.01 ile olmasıdır. Bu noktadaki orta eksende basınç katsayısı -0.869 ve kanat uç kısımdaki eksende de -0.643 olmaktadır. x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.741 ve z/H=0.906 ekseninde -0.601 olmakta, sapma miktarları ise %18.92'dir. Basınç katsayılarının sapma miktarı %20.87 olduğu x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 ekseninde -0.672 ve z/H=0.906 ekseninde -0.532 olmaktadır. Kanat firar kenarına yakın x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5'te -0.520 olurken z/H=0.906'da -0.525'tir. 30° atak açısı 20 m/s hızında yapılan testlerde %0.89 ile kanat alt ve üst kısımdaki en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanat ile akışın ilişiğinin kesildiği x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 kanat orta ekseninde -0.275 ve uç eksen z/H=0.906'da -0.275 olmaktadır. Bu noktadaki katsayı sapmaları %22.11 ile kanat üst kısmı için yüksek olmuştur.

Kanat alt kısmında yapılan testlerde akış ile temastaki ilk noktada katsayılar z/H=0.5 ekseni ve z/H=0.906 ekseni için sırasıyla -0.598 ve -0.490 olmuştur. Buradaki sapma miktarı ise %18.0'dır. 20 m/s hızında kanat altı kısımdaki en düşük sapmanın %2.45 ile meydana geldiği x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.406, z/H=0.906 ekseninde -0.396'dır. Kanat altı kısımdaki x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.003 ve z/H=0.906 ekseninde -0.201 olmaktadır. Bu noktadaki sapma miktarı %4964.95 ile oldukça yüksek miktardadır. 30° kanat atak açısı ve 20 m/s hızında %10181.61 ile hem kanat altı hem de kanat üstü için en yüksek sapma miktarının olduğu x/L=0.833 noktasında z/H=0.5'teki basınç katsayısı 0.002 ve z/H=0.906 ekseninde -0.255 olmaktadır. Kanat ile akışın alt kısımda temasının kesildiği x/L=1.00 noktasında kanat orta ekseninde basınç katsayısı -0.319 ve kanat uç

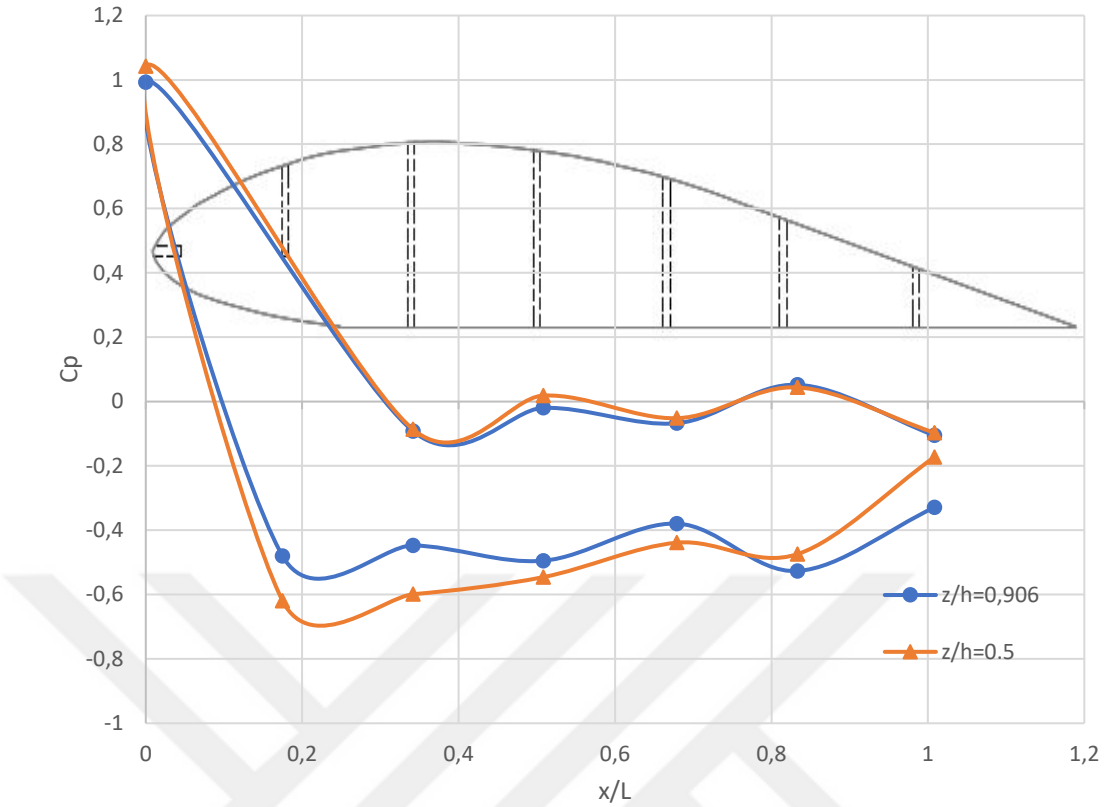
ekseninde -0.269 olmaktadır. Bu noktadaki eksenlerde basınç katsayıları arasında sapma miktarı %15.61'dir.



Şekil 4.20. 30˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

30° kanat atak açısı ve $5.6*10^3$, $1.13*10^4$ ve $2.26*10^4$ Reynolds sayılarında yapılan testlerde dikkat çeken kısım %10181.61 ile 20 m/s hızında yapılan testlerde en yüksek sapma miktarı olmasıdır. En düşük sapma miktarı ise 5 m/s hızında yapılan testlerde x/L=0.833 noktasındaki basınç katsayıları arasında %0.87 ile olmuştur. Genel itibariyle 30° atak açısında yapılan testlerde kanat alt kısımlarındaki sapma miktarları kanat üst kısımlardaki sapma miktarlarından daha yüksektir.

NACA 2415 kanat profilindeki basınç katsayıları araştırılmasında seçilen atak açıları aynı koordinat üzerinde birbirlerinin tersi yöndedir. Bu doğrultuda -5° kanat atak açsında $5.6*10^3$, $1.13*10^4$ ve $2.26*10^4$ Reynolds sayılarında yapılan testlerden elde edilen veriler grafik halinde sunulmuştur. Şekil 4.21'de -5° kanat atak açısında 5 m/s hızında yapılan testler sonucunda elde edilen basınç katsayıları grafiği görülmektedir. Kanadın sıfır noktasında basınç katsayıları değeri z/H=0.5 ekseninde 1.042 ve z/H=0.906 ekseninde 0.992 olmaktadır. Bu noktadaki eksenlerde basınç katsayıları sapma miktarı %4.73 ile bu parametrelerdeki sapmalara oranla düşük miktardadır. Kanat üst kısımdaki birinci noktada basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.619 ve z/H=0.906'da -0.480'dır. Şekil 4.21'deki grafikte de görüldüğü üzere bu noktadaki sapma miktarı %22.46 miktarındadır. Kambur kısmının en tepesinde bulunan x/L=0.341 noktasında kanat orta eksenindeki basınç katsayısı -0.598 ve kanat uç ekseninde -0.480 olmaktadır. Bu noktadaki sapma miktarı %25.32'dir. x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %9.33 ile bu test parametrelerinde kanat üst kısmı için en düşük miktar olmaktadır. Kanat üst kısmında x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %13.50 olmaktadır. Bu noktadaki eksenlerden z/H=0.5'te basınç katsayısı -0.435 iken z/H=0.906'da -0.379 olmaktadır. Kanat firar kenarına yakın x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları kanadın orta kısımdaki eksende -0.474 iken uç kısımdaki eksende -0.526 olmaktadır. Eksenler arasındaki basınç katsayıları sapma miktarı ise %11.06'dır. Kanadın akışla temasının bittiği x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ekseni ve z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayıları sapma miktarı %90.89 ile -5° kanat atak açısı ve 5 m/s hızındaki kanat alt ve üst kısımları için en yüksek sapma miktarı olmuştur.



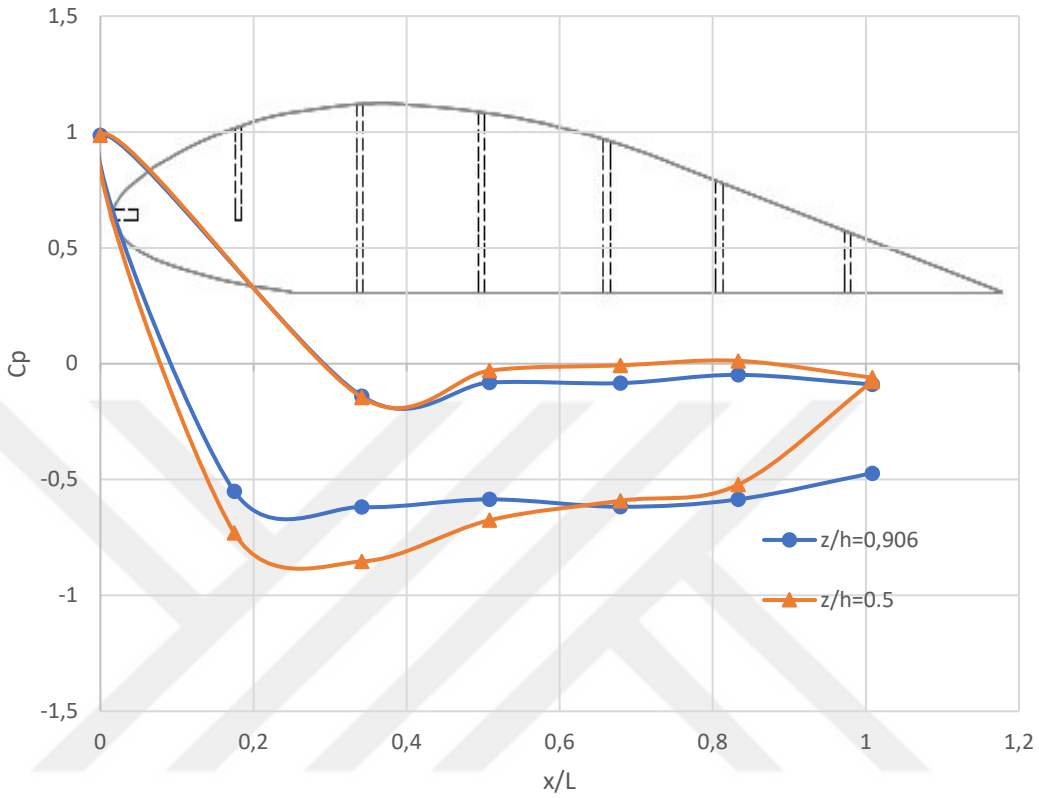
Şekil 4.21. -5° atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

Kanat altındaki ilk nokta olan x/L=0.341'de basınç katsayıları z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 eksenlerinde sırasıyla -0.086 ve -0.091 biçimindedir. Bu noktada eksenler arasındaki basınç katsayılarında sapma miktarı %6.51'dir. x/L=0.508 kanat altı noktasında z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarı %4.63 ile -5° atak açısı 5 m/s hızında hem kanat üstü hem de kanat altı için en düşük sapma miktarıdır. Bu noktadaki katsayılar z/H=0.5 ekseni için 0.018 iken z/H=0.906 ekseninde -0.019 olmaktadır. -5° kanat atak açısı ve 5 m/s hızında yapılan testlerde kanat altı kısmı için en yüksek sapma miktarının %30.30 ile meydana geldiği x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 eksenindeki katsayı -0.051 iken z/H=0.906 ekseninde -0.067 olmaktadır. Kanat altı kısımda x/L=0.833 noktasında %18.67 sapma miktarındaki basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.043 iken z/H=0.906'da 0.052 olmaktadır. Kanat alt kısmında firar kenarındaki x/L=1.00 noktasındaki basınç katsayıları kanat orta ekseninde -0.096 iken kanat uç kısımdaki eksende -0.104 olmakta ve sapma miktarı %8.39'dur.

$1.13*10^4$ Reynolds sayındaki testlerden elde edilen basınç katsayıları grafiği Şekil 4.22'de görülmektedir. x/L=0.00'daki noktada basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.985 iken z/H=0.906 ekseninde 0.986 olmaktadır. Basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %0.04 ile -5° kanat atak açısı ile 10 m/s hızı için hem kanat altı hem de kanat üstü için en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanat üst kısmında yukarı trenddeki kambur grafiğinde bulunana x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları kanat orta kısmı z/H=0.5 ekseninde -0.730 iken kanat uç kısmındaki z/H=0.906 ekseninde -0.551 olmakta ve sapma miktarı ise %24.60'dır. x/L=0.341'de kamburun en tepe kısmında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.853 iken z/H=0.906 ekseninde -0.618 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %27.49 olarak tespit edilmiştir. %13.33 basınç katsayıları sapma miktarı bulunan x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 ekseninde -0.675 ve z/H=0.906'da -0.585'tir. Kanat üst kısmında en düşük sapma miktarının %4.39 ile oluştuğu x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5'te -0.591 olmakta ve z/H=0.906'da -0.617'dir. Kanat kambur eğrisinin dramatik şekilde aşağı doğru olan x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.522 ve z/H=0.906 ekseninde -0.585'tir. Basınç katsayıları sapma miktarı ise %12.16'dır. Kanat üst kısmı en yüksek sapma miktarının %513.36 ile meydana geldiği firar kenarındaki x/L=1.00'da z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.076 iken z/H=0.906 ekseninde -0.472 olarak tespit edilmiştir.

Kanat alt kısmında akışla ilk buluşan x/L=0.341 noktasında kanat alt kısmı için en düşük basınç katsayısı %3.42 miktarında gerçekleşmiştir. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.145 iken z/H=0.906 ekseninde -0.140 olmaktadır. x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları kanat orta kısmındaki z/H=0.5 ekseninde -0.029 iken z/H=0.906 ekseninde ise -0.081 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarı eksenlerde %171.76 miktarındadır. Kanat alt kısmı ve üst kısmında -5° kanat atak açısında 10 m/s hızındaki en yüksek sapma miktarı %1026.78 ile x/L=0.679 noktasında gerçekleşmektedir. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı değeri -0.007 iken z/H=0.906 ekseninde -0.084 olmaktadır. Kanat firar kenarına yakın x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.012 iken z/H=0.906 ekseninde -0.048 olmakta ve basınç katsayıları sapma miktarı %294.93 miktarındadır. Kanat ile akışın ayrıldığı x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.060 iken

z/H=0.906 ekseninde -0.089 olmaktadır. Kanat altındaki noktada basınç katsayıları sapma miktarı %48.71 ile kanat altı kısım için düşük miktardadır.

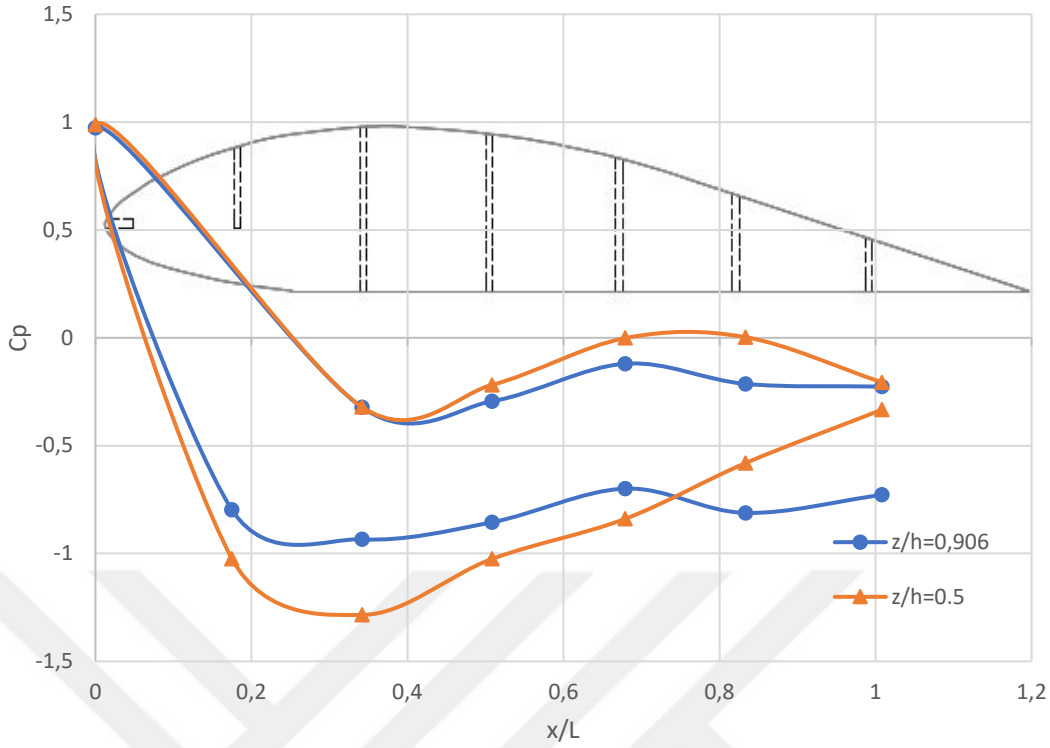


Şekil 4.22. -5˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

-5° kanat açısı $2.26*10^4$ Reynolds sayısında tespit edilen basınç katsayılarının grafiği Şekil 4.23'te görülmektedir. $2.26*10^4$ Reynolds sayısındaki akışla kanat üzerinde ilk karşılayan x/L=0.00'da basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.988 ve z/H=0.906 ekseninde 0.973 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarlarından dikkat çeken kısım, %1.54 ile -5° atak açısında 20 m/s hızındaki düşük sapma miktarlarından olmasıdır. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -1.024 ve z/H=0.906 ekseninde -0.797 olan x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları sapma miktarının %22.17 olduğu tespit edilmiştir. Kambur tepe kısmındaki noktada basınç katsayıları orta eksen z/H=0.5'te -1.284 iken z/H=0.906'da -0.934 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %27.27 olarak tespit edilmiştir. x/L=0.508 noktasında kanat üst kısmı için en düşük sapma değeri %16.57 olarak tespit edilmiştir. z/H=0.5'te basınç katsayısı -1.025 iken z/H=0.906'da -0.855 olmaktadır. Kanat kambur eğrisinin aşağı trendine devam ettiği x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları kanadın orta

ekseninde -0.839 ve uç ekseninde -0.699 olmaktadır. Kanat basınç katsayıları sapma miktarı bir önceki noktadaki sapma miktarına yakın olarak %16ç68'dir. x/L=0.833 eksenindeki basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.580 iken z/H=0.906 ekseninde -0.811 olmaktadır. Bu noktada eksenlerde basınç katsayıları sapma miktarı %39.76'dır. Kanat üst kısmında firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.333 ve z/H=0.906 ekseninde -0.725 olmaktadır. Katsayılardaki sapma miktarı %118.54 ile kanat üst kısmı için en yüksek miktardır.

Kanat alt kısımda ilk noktada basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.320 iken z/H=0.906 ekseninde -0.322'dir. x/L=0.341 noktasında dikkat çeken husus sapma miktarının %0.60 -5° atak açısı ve 20 m/s hızı için hem kanat üstü hem de kanat altında en düşük miktar olmasıdır. Kanat altında x/L=0.508 noktasında eksenlerdeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %34.77 olurken z/H=0.5'teki basınç katsayısı -0.218 ve z/H=0.906 ekseninde -0.293'tür. z/H=0.5 ekseni ve z/H=0.906'daki basınç katsayılarının sapma miktarı %9867.68 ile -5° kanat atak açısı 20 m/s hızındaki kanat alt kısım ve üst kısmı için en yüksek miktardadır. x/L=0.679 noktasında kanat orta eksenindeki basınç katsayısı -0.001 ve uç ekseninde ise -0.120 olmaktadır. Kanat altı kısımda firar kenarına yakın x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı 0.002 iken z/H=0.906 ekseninde -0.213'tür. Kanadın akışı terk ettiği, alt kısımdaki x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %9.61 ile düşük miktarda iken z/H=0.5 ekseni ve z/H=0.906'daki basınç katsayıları sırasıyla -0.206 ve -0.226'dır.



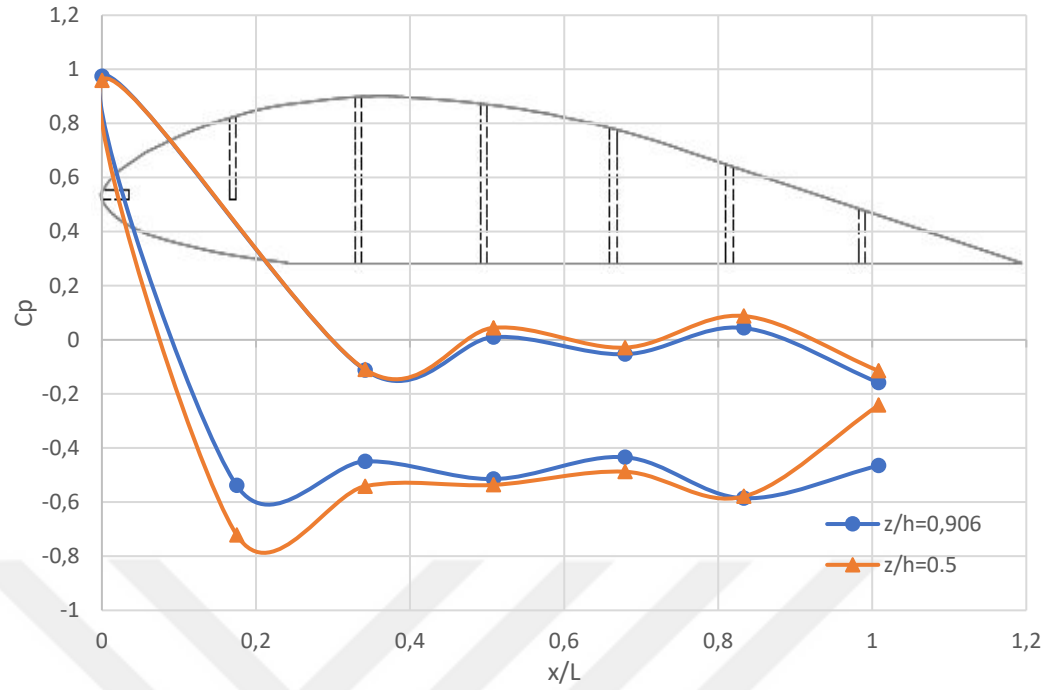
Şekil 4.23. -5˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

-5° kanat atak açısı ve üç farklı Reynolds sayısında yapılan testlerde en yüksek sapma miktarı %9867.67 ile kanat altı kısımda x/L=0.679 noktasında $2.26*10^4$ Reynolds sayısında meydana gelmiştir. En düşük sapma miktarı ise $1.13*10^4$ Reynolds sayısında kanadın akışı karşıladığı x/L=0.00 noktasındadır. Basınç katsayıları sapma miktarlarında dikkat çeken husus kanat üst kısımlarında düşük miktarlarda iken alt kısımda yüksek miktarlarda olmasıdır.

-10° kanat atak açısı ve $5.6*10^3$ Reynolds sayısında yapılan testlerden elde edilen basınç katsayıları grafiği Şekil 4.24'te görülmektedir. Kanadın akışı karşıladığı x/L=0.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.959 iken z/H=0.906'da 0.974 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı %1.61 ile düşük miktardadır. Kanat üst kısımdaki ilk noktada basınç katsayıları sapma miktarı %25.32 iken z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.721 ve z/H=0.906 ekseninde -0.538'dir. Kanat kamburunun en tepe kısmındaki x/L=0.341 noktasındaki basınç katsayıları değerleri kanat orta kısmındaki eksende -0.541 ve kanat uç kısımdaki eksende -0.449 iken katsayılar arasındaki sapma miktarı %25.32'dir.

Kanat üst kısmı x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.536 iken z/H=0.906 ekseninde -0.514 olmaktadır. Bu noktada eksenlerdeki basınç katsayıları sapma %4.02 miktarındadır. Kanat üst kısımdaki kambur eğrisinin aşağı doğru eğimindeki x/L=0.679 noktasında eksenler arasındaki sapma miktarı %10.99 iken orta eksende -0.487 ve uç eksende -0.433 olmaktadır. -10° kanat atak açısı 10 m/s hızında, kanadın hem alt hem de üst kısmı için en düşük sapma miktarının %1.15 ile olduğu x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı değeri -0.578 iken z/H=0.906 ekseninde -0.585 olmaktadır. Kanat ile akışın temasının kesildiği x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.241 iken z/H=0.906 ekseninde -0.464 olmaktadır. Kanat eksenlerindeki en yüksek sapma %92.49 ile Şekil 4.24'te de görüldüğü üzere bu noktada gerçekleşmiştir.

Kanat alt kısımda basınç katsayıları sapma miktarının %2.30 ile en düşük olduğu x/L=0.341 noktasında, z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı değeri -0.109 iken z/H=0.906 ekseninde -0.111 olmaktadır. x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.044 iken z/H=0.906 ekseninde 0.010 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayılarının sapma miktarı %77.09 olmaktadır. -10° kanat atak açısı ve 10 m/s hızında kanat altı kısımdaki basınç katsayıları arasında en yüksek miktar %85.33 miktarındadır. x/L=0.833 noktasında eksenlerdeki basınç katsayısı orta eksen için 0.088 iken uç kısımda 0.043'tür. Basınç katsayıları sapma miktarı %50.31 miktarındadır. Kanat firar kenarında sapma miktarının %37.93 olduğu x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ekseni için basınç katsayısı -0.114 iken z/H=0.906 ekseni için -0.158'dir.

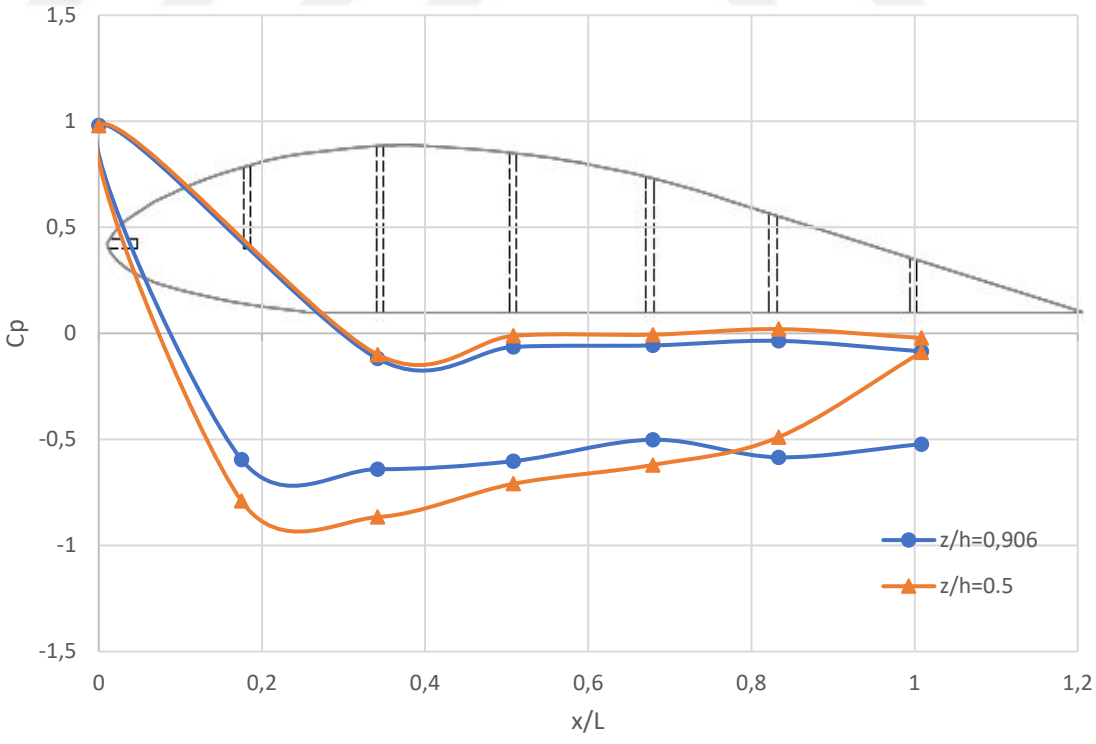


Şekil 4.24. -10 atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

$1.13*10^4$ Reynolds sayısında devam eden testlerdeki basınç katsayıları Şekil 4.25'te görülmektedir. -10° kanat atak açısında x/L=0.00 noktası basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.099 iken z/H=0.906 ekseninde 0.981 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarı %0.29 ile -10° atak açısı $1.13*10^4$ Reynolds sayısındaki en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanat üst kısmındaki ilk noktada basınç katsayıları orta eksende -0.790 iken uç eksende -0.594 olmaktadır. x/L=0.175 noktası kanat üst kısmında eksenlerdeki sapma miktarı %24.76'dır. Kanadın en tepe kısımda x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.866 iken z/H=0.906 ekseninde -0.640 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı %26.09 miktarındadır. Kanat profil eğrisinin dramatik biçimde aşağı trenddeki x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %15.08 ile kanat üst kısımdaki en düşük miktar iken z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.790 iken z/H=0.906 ekseninde -0.602'dir. Kanat üst kısmında x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları kanat orta ekseni z/H=0.5'te -0.620 iken uç kısımdaki eksen z/H=0.906'da -0.501 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı %19.17'dir. Kanat firar kenarına yakın kısımdaki x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %19.40 ve z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.489 ve z/H=0.906 ekseninde -0.584'dır. Kanat üst

kısmında akışın kanadı terk ettiği x/L=1.00 noktasında dikkat çeken kısım basınç katsayıları sapma miktarının %487.63 ile kanat üst kısmı için en yüksek miktar olmasıdır. z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.088 ve z/H=0.906 ekseninde -0.522'dir.

Kanat alt kısımdaki birinci noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı %19.16 ile kanat altı kısımda en düşük sapma miktarıdır. z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.099 iken z/H=0.906'da -0.118'dir. x/L=0.508 noktasında basınç katsayısı -0.011 iken z/H=0.906 ekseninde -0.063 olmaktadır. -10° atak açısı 10 m/s hızında, kanat üst kısmı ve alt kısımdaki en yüksek sapma miktarı %820.73 ile x/L=0.679 noktasındadır. Kanat orta kısımdaki eksende basınç katsayısı -0.006 iken uç kısımdaki eksende -0.056 olmaktadır. Kanat alt kısımda x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5'te 0.020 iken z/H=0.906'da -0.035'tir. Bu noktada basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %76.09'dur. Kanat alt kısmı için firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında eksenlerde sapma miktarı %290.69'dur. z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.021 iken z/H=0.906'da -0.084 olmaktadır.

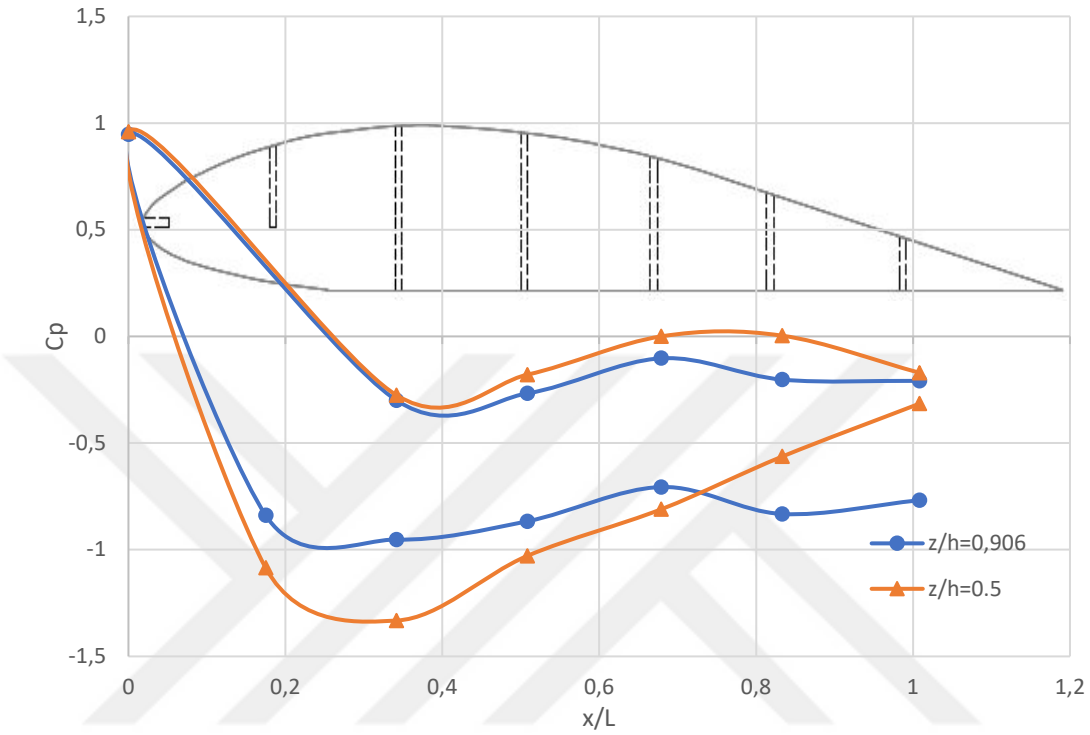


Şekil 4.25. -10° atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

$2.26*10^4$ Reynolds sayısı -10° kanat atak açısında yapılan testlerde basınç katsayılarının grafiği Şekil 4.26'da görülmektedir. $2.26*10^4$ Reynolds sayısındaki akışla ilk temas eden x/L=0.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.959 iken z/H=0.906 ekseninde 0.947 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayılarının sapma miktarı %1.25 ile -10° kanat atak açısı $2.26*10^4$ Reynolds sayısında hem kanat altı hem de kanat üstü kısımlarda düşük miktardır. Kanat üstü kısımdaki ilk noktada z/H=0.5'teki basınç katsayısı -1.085 iken z/H=0.906 ekseninde -0.838 olmakta ve eksenlerdeki sapma miktarı %22.71'dir. %28.50 basınç katsayısı sapma miktarındaki x/L=0.341 noktasında kanat orta kısımdaki eksende basınç katsayısı -1.331 iken kanat uç kısımdaki eksende -0.952 olmaktadır. Kanat üstü kısımdaki x/L=0.508'de z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -1.028 iken z/H=0.906 ekseninde -0.866 olmaktadır. Basınç katsayılarının birbirinden sapma miktarı %15.76'dır. %12.85 sapma miktarı ile kanat üst kısımdaki en düşük sapma miktarındaki x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 ekseni basınç katsayısı -0.810 iken z/H=0.906 ekseninde -0.706 olmaktadır. Kanat eğrisinin dramatik şekilde aşağı seyrettiği x/L=0.833 noktasında katsayılar sapma miktarı %47.83 iken kanat orta kısmındaki eksen z/H=0.5'te -0.563 ve kanat uç kısımdaki z/H=0.906 ekseninde -0.832 olmaktadır. Kanat üst kısımda firar kenarındaki basınç katsayıları sapma miktarı %143.63 ile kanat üst kısımdaki en yüksek sapma miktarıdır. z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.315 iken z/H=0.906 ekseninde -0.767 olmaktadır.

Kanat alt kısımda akışla ilk buluşan x/L=0.341 noktasındaki sapma miktarı %8.79 ile kanat alt kısımdaki en düşük sapma miktarıdır. Eksenlerdeki basınç katsayıları z/H=0.5 için -0.275 iken z/H=0.906 için -0.299'dur. x/L=0.508 noktası kanat alt kısımda z/H=0.5'te basınç katsayısı -0.179 ve z/H=0.906 ekseninde -0.266 olmaktadır. Basınç katsayılarının eksenlerdeki sapma miktarı %48.83'tür. $2.26*10^4$ Reynolds sayısı -10° kanat atak açısında kanat üst ve alt kısımlarında en yüksek sapmanın %48104.50 ile meydana geldiği x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı 0.0002 iken z/H=0.906 ekseninde -0.1026'dır. Kanat alt kısımdaki x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.003 iken z/H=0.906 ekseninde -0.202'dir. Kanat orta kısımda eksen ile kanat uç kısımdaki eksenlerdeki basınç katsayıları arasında sapma miktarı %6031.33 miktarındadır. Kanat altı kısımda

firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.170 ve z/H=0.906 ekseninde -0.208 iken basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %22.16'dır.



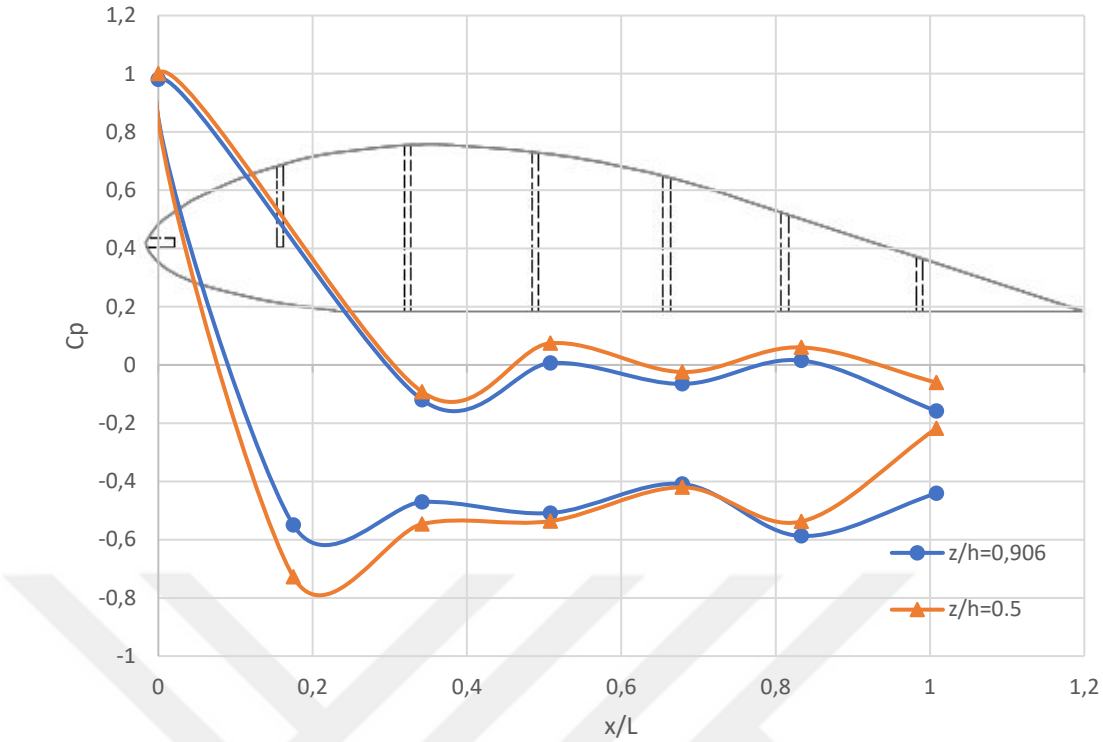
Şekil 4.26. -10˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

-10° kanat atak açısı ve $5.6*10^3$, $1.13*10^4$ ve $2.26*10^4$ Reynolds sayılarında yapılan testlerde öne çıkan husus basınç katsayılarındaki sapma miktarının en çok 20 m/s hızındaki testlerde kanat altı kısım x/L=0.679 noktasında görüldüğüdür. Testlerdeki en düşük basınç katsayısı sapma miktarı ise kanadın sıfır noktasında 10 m/s hızındaki testlerde %0.29 miktarındadır. -10° kanat atak açsındaki testlerde genel itibariyle basınç katsayılarındaki sapma miktarları en düşük kanat üst kısımda seyrederken en yüksek miktarda ise kanat alt kısımlarında meydana gelmiştir.

-15° kanat atak açısı $5.6*10^3$ Reynolds sayısındaki testlerden elde edilen basınç katsayıları grafiği Şekil 4.27'de verilmiştir. Basınç katsayısı sapma miktarının kanat altı ve üstünde en düşük miktar %1.98 ile olduğu kanat sıfır noktasında kanat orta eksende basınç katsayısı 0.999 iken kanat uç eksende 0.980 olmaktadır. Kanat üstündeki birinci nokta x/L=0.175'te basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.728 iken

z/H=0.906'da -0.550 olmakta ve sapma miktarları %24.46 şeklindedir. Kanat kamburunda tepe noktasındaki x/L=0.341'de basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.546 ve z/H=0.906 ekseninde -0.470 olmaktadır. Basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %24.46'dır. Kanat üst kısımda x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarı %13.86 iken z/H=0.5'da basınç katsayısı -0.536 ve z/H=0.906'da -0.508'dir. Kanat eğrisinin aşağı yöndeki kısmında x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.536 iken z/H=0.906 ekseninde -0.409 olmakta ve basınç katsayıları sapma miktarı %2.67 ile kanat üst kısmındaki en düşük miktardır. Kanat üst kısmında firar kenarına yakın x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.537 ve z/H=0.906 ekseninde -0.587 olmaktadır. Bu noktada basınç katsayılarında sapma miktarı %9.27'dir. Akışın kanadı üst kısımdan terk ettiği x/L=1.00 noktasında basınç katasıları z/H=0.5 ekseninde -0.217 ve z/H=0.906 ekseninde -0.440 olmaktadır. -15° kanat atak açısında 5 m/s hızında yapılan testlerde kanat üst kısmı için en düşük sapma miktarı %102.58 ile bu noktada gerçekleşmiştir.

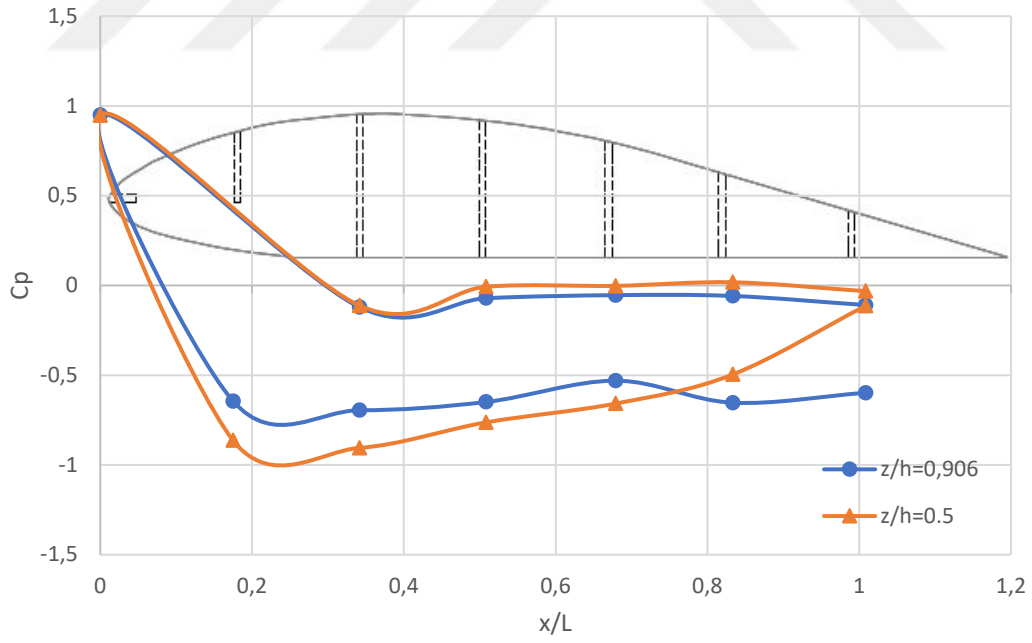
Kanat altı kısımda akışın temas ettiği ilk nokta x/L=0.341'de dikkat çeken sapma miktarı %29.81 ile kanat altı kısımdaki en düşük miktardır. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.092 ve z/H=0.906 ekseninde -0.119 olmaktadır. Kanat altında x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları kanat orta ekseninde 0.074 iken kanat uç kısımdaki eksende 0.006 olmakta ve basınç katsayıları sapma miktarı %91.34'tür. -15° kanat atak açısı 5 m/s hızında hem kanat üst kısmı hem de kanat altı kısımda en yüksek sapma miktarı %167.41 ile x/L=0.679 noktasındadır. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.024 ve z/H=0.906 ekseninde -0.065'tir. x/L=0.833 noktasındaki eksenlerde basınç katsayıları sapma miktarı %74.70 iken z/H=0.5 ekseninde 0.060 ve z/H=0.906 ekseninde 0.015 olmaktadır. Kanat altı kısımda akışın kanat ile temasını kestiği x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.060 ve z/H=0.906 ekseninde -0.158'dir.



Şekil 4.27. -15˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

$1.13*10^4$ Reynolds sayısı -15° kanat atak açısında yapılan testlerde elde edilen basınç katsayıları grafiği Şekil 4.28'de verilmiştir. Kanadın akışla ilk temas ettiği noktada basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.948 iken z/H=0.906'da 0.949 olmaktadır. Basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı, testlerdeki en düşük miktar ile %0.15 olmuştur. Kanat üst kısımdaki basınç katsayıları x/L=01.75 noktasında z/H=0.5'te -0.863 iken z/H=0.906'da 0.949 olmaktadır. Bu noktada eksenler arasındaki basınç katsayısı sapmaları %25.34 miktarındadır. Kanat kambur yüzeyindeki x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları kanat orta ekseninde -0.904 iken kanat uç ekseninde ise -0.695'tir. Kanat üst yüzeyinde eksenler arasındaki basınç katsayıları sapma miktarı %14.89 ile kanat üst kısmında en yüksek sapma miktarıdır. Kanat üst yüzeyinde eğrinin dramatik biçimde aşağı trendde devam ettiği x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.657 iken z/H=0.906 ekseninde -0.530 olmaktadır. Kanat eksenleri arasındaki basınç katsayıları sapma miktarı %19.37'dir. Kanat firar kenarına yakın x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.495 iken z/H=0.906 ekseninde -0.653 olmakta ve eksenlerde sapma miktarı %31.68 olmaktadır. -15° kanat atak açısı 10 m/s hızındaki testlerde kanat üst kısmı için en yüksek basınç katsayıları sapmasının %427.35 ile meydana geldiği firar

kenarında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.113 ve z/H=906 ekseninde -0.597 olmaktadır. Kanat alt yüzeyindeki birinci nokta x/L=0.341'de eksenlerdeki basınç katsayıları sapması %7.86 ile kanat altı yüzey için en düşük miktardadır. z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.112 iken z/H=0.906 ekseninde -0.121 olmaktadır. x/L=0.508 noktasındaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.007 iken z/H=0.906 ekseninde -0.071 olmaktadır. Kanatlardaki basınç katsayıları sapma miktarı %896.03 olmaktadır. 10 m/s hızında hem kanat altı hem de kanat üstü yüzeylerdeki en yüksek basınç katsayısı sapma miktarının %2372.73 ile meydana geldiği x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.002 iken z/H=0.906 ekseninde -0.054 olmaktadır. Kanat altı yüzeyde x/L=0.833 noktasında kanat basınç katsayılarının eksenlerdeki sapma miktarı %232.94 iken kanat orta eksenindeki basınç katsayısı 0.017 olmakta ve kanat uç kısımdaki eksende -0.058 olmaktadır. Kanat altı yüzeyde firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.031 iken z/H=0.906 ekseninde -0.109 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarı %242.62'dir.



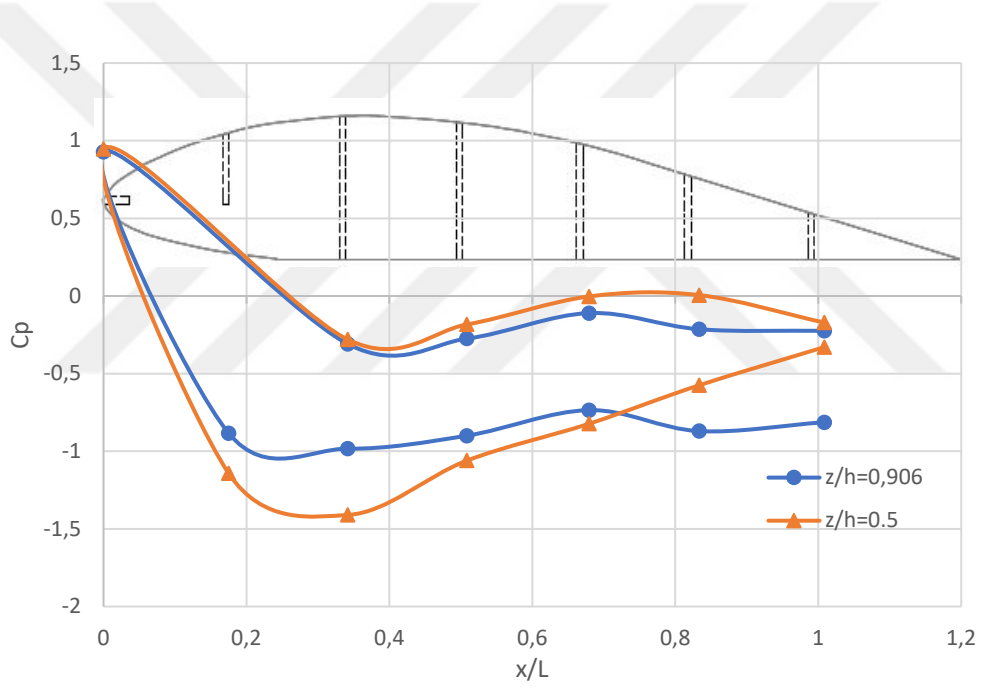
Şekil 4.28. -15˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

Şekil 4.29'da görülen grafik -15° kanat atak açısı ve $2.26*10^4$ Reynolds sayısında yapılan testlerden elde edilen basınç katsayıları ile oluşturulmuştur. Kanat sıfır noktasındaki eksenlerde z/H=0.5'te basınç katsayısı 0.947 iken z/H=0.906 ekseninde 0.929 olmaktadır. Hem kanat üstü hem de kanat altı kısımlardaki en düşük sapma miktarı %1.90 ile bu noktada meydana gelmektedir. Kanat üst yüzeyinde x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -1.41 iken z/H=0.906 ekseninde -0.883 olmakta ve katsayıların birbirinden sapma miktarı %22.64 olmaktadır. Kamburun en tepesindeki noktada basınç katsayıları sapma miktarı %30.27 iken z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -1.409 iken z/H=0.906 ekseninde -0.883 olmaktadır. Kanat eğrisi dramatik düşünün ilk noktasında basınç katsayıları kanat orta kısmındaki eksende -1.060 iken kanat uç kısımda -0.899 olmaktadır. Basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı ise %15.13 olmaktadır. Kanat üst kısmında -15° atak açısı 20 m/s hızındaki en düşük sapmanın %10.68 ile meydana geldiği x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseni ve z/H=0.906 ekseninde sırasıyla -0.822 ve -0.735 olmaktadır. Kana üst yüzeyde x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseni için -0.574 iken z/H=0.906'da -0.870 olmaktadır. Katsayılar basınç farkları ise %51.35 olmaktadır.

Kanat üst yüzeyinde -15° atak açısı 20 m/s hızındaki en yüksek basınç katsayısı sapması %146.90 ile firar kenarında meydana gelmiştir. z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.329 olmakta iken z/H=0.906 ekseninde -0.812 olmaktadır. Kanat alt yüzeyindeki ilk nokta x/L=0.341'de basınç katsayıları sapma miktarı kanat alt kısmı için %10.20 ile en düşük miktardadır. Kanat orta kısımdaki eksende basınç katsayısı -0.280 iken uç kısımdaki eksende -0.308 olmaktadır. x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.183 iken z/H=0.906 ekseninde -0.274 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarı ise %49.65'tir. -15° atak açısı ve 20 m/s hızındaki basınç katsayılarındaki en yüksek sapma miktarının %3691.75 ile meydan geldiği x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı değeri -0.002 iken z/H=0.906 ekseninde -0.109 olmaktadır. Kanat altı kısımdaki x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı 0.005 iken z/H=0.906 ekseninde -0.214 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarı %3639.51 ile yüksek miktardadır. Kanat

alt yüzeyi firar kenarında basınç katsayıları kanat orta ekseninde -0.170 iken kanat uç ekseninde -0.224 olmakta ve basınç katsayıları sapma miktarı %31.16 olmaktadır.

Üç ayrı Reynolds sayısı ve -15° kanat atak açısında yapılan testlerde kanat orta ekseni z/H=0.5 ve kanat uç ekseni z/H=0.906'daki basınç katsayılarında en yüksek sapma değeri %3691.75 ile 20 m/s hızında x/L=0.679 noktasında meydana gelmiştir. Genel itibariyle en yüksek sapma miktarlarının kanat alt yüzeylerinde meydana geldiği dikkat çeken kısım olmuştur. -15° kanat atak açısında basınç katsayıları sapma miktarının en düşüğü %0.15 ile 10 m/s hızında yapılan testlerde x/L=0.00 noktasında tespit edilmiştir.

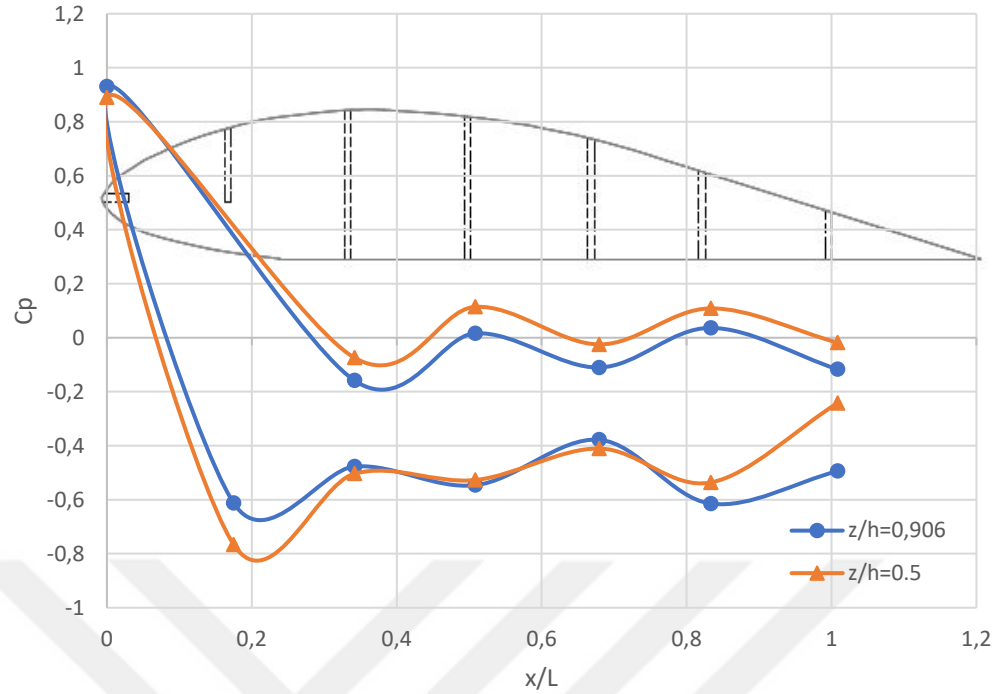


Şekil 4.29. -15˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

Üç farklı Reynolds sayısı -20° kanat atak açısında yapılan testlerde elde edilen basınç katsayıları ile oluşturulan grafikler sırasıyla Şekil 4.30, 4.31 ve 4.32'de görülmektedir. Şekil 4.30'daki grafikte de görüldüğü üzere, akışı ilk karşılayan kanat x/L=0.00 noktasında kanat orta kısmındaki eksen z/H=0.5'te basınç katsayısı 0.889 iken kanat uç kısmındaki z/H=0.906 ekseninde 0.929 olmaktadır. Kanat sıfır noktasında basınç katsayıları arasındaki sapma miktarı %4.53'tür. Kanta üst kısmında akışla temasında oluşan basınç katsayısı z/H=0.5 ekseninde -0.766 ve z/H=0.906

ekseninde -0.612 olmaktadır. x/L=0.175 noktasında eksenlerdeki basınç katsayısı sapma miktarı %20.05 olmaktadır. Kanat kamburunun en tepe kısmı x/L=0.341 noktasında eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %5.30 olmaktadır. z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.766 iken z/H=0.906 ekseninde -0.612 olmaktadır. Kanat üzerindeki eksenlerde en düşük basınç katsayısı sapmasının %3.62 ile meydana geldiği x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları kanat orta ekseninde -0.527 ve kanat uç ekseninde -0.546 olmaktadır. Kanat eğrisinin dramatik biçimde aşağı yönelimde olduğu x/L=0.679 noktasında eksenlerdeki basınç katsayısı z/H=0.5'te -0.410 ve z/H=0.906 ekseninde -0.377 olmaktadır. Kanat üst yüzeyindeki noktada basınç katsayıları sapma miktarı ise %7.90'dur. Kanat üst kısmında firar kenarına yakın x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.536 ve z/H=0.906 ekseninde -0.614 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı ise %14.60'tır. Akışın kanadı üst yüzeyden terk ettiği x/L=1.00 noktasında basınç katsayılarındaki sapma miktarı %104.34 ile kanat üst yüzeyindeki en yüksek miktar olurken z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.241 ve z/H=0.906 ekseninde -0.494 olmaktadır.

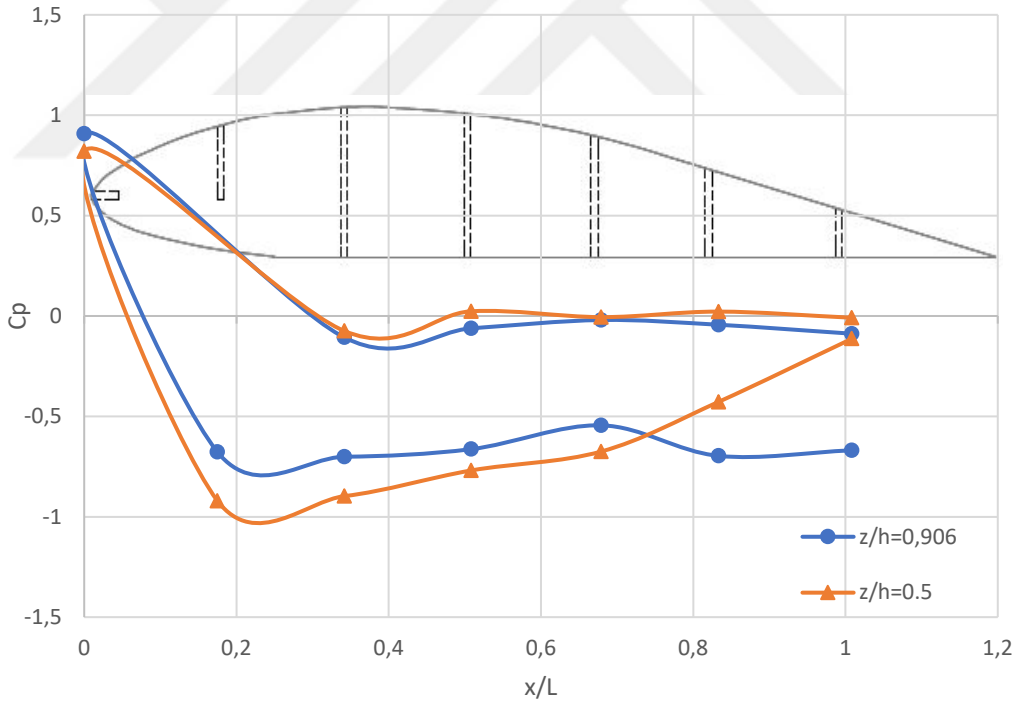
-20° kanat atak açısı ile 5 m/s hızında yapılan testlerde kanat alt yüzeyindeki birinci noktada z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.074 iken z/H=0.906 ekseninde z/H=0.906 ekseninde -0.158 olmaktadır. x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %113.75 olmaktadır. x/L=0.508 noktasında kanat orta ekseni basınç katsayısı 0.114 iken z/H=0.906 ekseninde 0.016 olmakta ve basınç katsayıları sapma miktarı %85.70'tir. Basınç katsayılar sapma miktarının %343.54 olarak tespit edilen x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 eksenindeki katsayı z/H=0.5'te -0.024 olmakta iken z/H=0.906 ekseninde -0.110 olmaktadır. Kanat alt kısımda kanat kuyruk kısmına yakın x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.108 iken z/H=0.906 ekseninde 0.0365 olmaktadır. Kanat alt yüzeyi akış firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında -20° atak açısı ile 5 m/s hızındaki basınç katsayılarında kanat alt yüzey ve üst yüzeylerindeki en yüksek sapma miktarı %545.42 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.30. -20˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

Şekil 4.31'de görüldüğü üzere kanadın akışı karşıladığı x/L=0.00 noktasında eksenlerdeki basınç katsayısının sapma miktarı %10.71 ile -20° kanat atak açısı $1.13*10^4$ Reynolds sayısındaki hem kanat altı hem de kanat üstündeki en düşük miktar olmuştur. z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.820 iken z/H=0.906 ekseninde 0.908 olmaktadır. Kanat üst kısmındaki akışla temas eden ilk noktada z/H=0.5 ekseni basınç katsayısı -0.920 iken z/H=0.906 ekseninde -0.677 olmaktadır. x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %26.42'dir. Kanat üst yüzeyinin en tepe noktasında basınç katsayıları kanadın orta kısmındaki eksen z/H=0.5'te -0.897 iken kanat uç kısmında bulunan z/H=0.906 ekseninde -0.700 ve basınç katsayılarının birbirinden sapma miktarı %21.87'dir. Kanat üst yüzeyinde en düşük sapma miktarının %13.78 olduğu x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 ekseni basınç katsayısı -0.769 iken z/H=0.906'da -0.663 olmaktadır. Kanat eğrisinin dramatik şekilde aşağı yöndeki trendde z/H=0.5 ekseni basınç katsayısı -0.674 ve z/H=0.906 ekseninde -0.544 iken eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %19.31 olmaktadır. Kanat üst yüzeyinde firar kenarına yakın olan x/L=0.833 noktasında kanat orta kısmındaki eksen ile kanat uç kısımdaki eksende basınç katsayıları sapma miktarı %62.96 ve z/H=0.5 ekseninde -0.427 iken z/H=0.906'da -0.696 olmaktadır.

-20° kanat atak açısı ile $1.13*10^4$ Reynolds sayısında kanat altı kısımdaki en düşük sapma miktarının %43.06 ile meydana geldiği x/L=0.341 noktasında kanat orta kısmındaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.074 ve -0.106 olmaktadır. Kanat alt yüzeyindeki x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.023 iken z/H=0.906 ekseninde -0.061 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayılarının sapması %161.03 miktarındadır. x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.005 iken z/H=0.906 ekseninde -0.020 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayısı sapma miktarının %99.55 olduğu x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.021 iken z/H=0.906 ekseninde -0.043 olmaktadır. Kanat altı yüzeyi firar kenarında kanat orta ekseni z/H=0.5 ile kanat uç ekseni z/H=0.906'teki basınç katsayıları sapma miktarı %918 ile -20° kanat atak açısı $1.13*10^4$ Reynolds sayısındaki en yüksek miktardır. z/H=0.5'teki basınç katsayısı -0.008 iken z/H=0.906 ekseninde -0.088 olmaktadır.

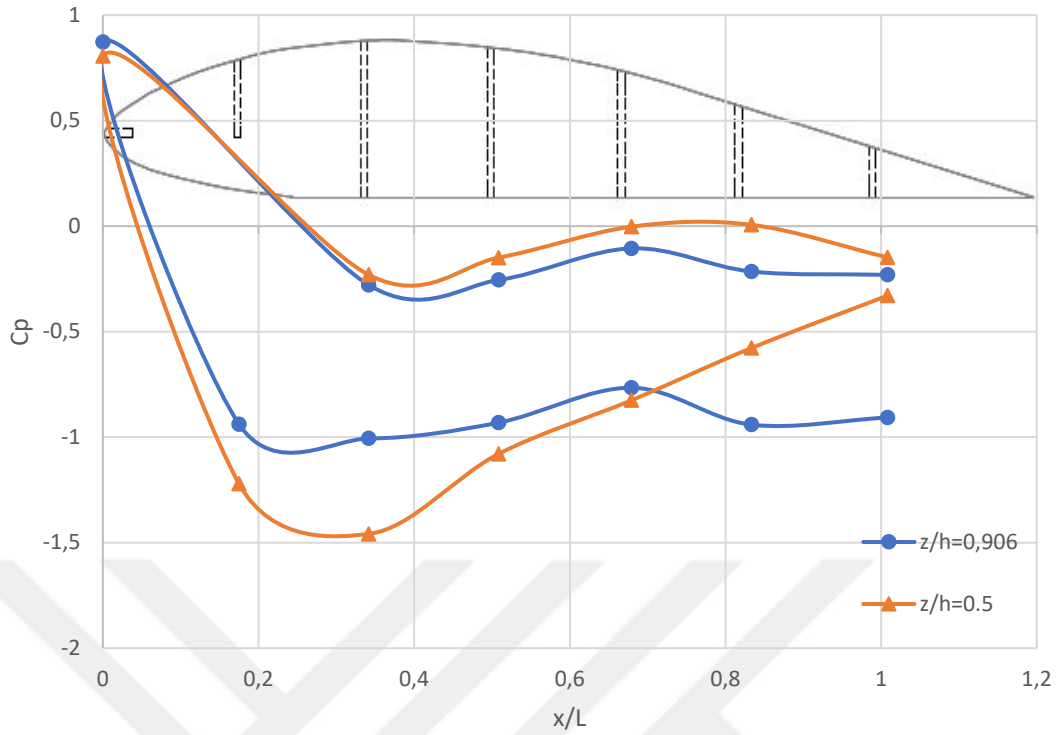


Şekil 4.31. -20˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

Şekil 4.32'de görüldüğü üzere $2.26*10^4$ Reynolds sayısı -20° kanat atak açısındaki testlerde kanat x/L=0.00 noktasındaki basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.805 iken z/H=0.906 ekseninde 0.872 olmaktadır. Basınç katsayıları arasındaki

sapma miktarı %8.36 ile düşük miktardadır. Kanat üst yüzeyinde yukarı trenddeki eğride x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %23.15'dir. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -1.221 iken z/H=0.906 ekseninde -0.938 olmaktadır. Kanat kamburundaki x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı Şekil 30'da da görüldüğü üzere %31.01'dir. Basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -1.458 iken z/H=0.906 ekseninde -1.006 olmaktadır. x/L=0.508 noktasında kanat orta kısmındaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -1.079 iken z/H=0.906 ekseninde -0.931 olmakta ve sapma miktarları %13.73 şeklindedir. $2.26*10^4$ Reynolds sayısı -20° kanat atak açısı hem kanat altı hem de kanat üstü için en düşük sapma miktarı %7.22'dir. x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ile z/H=0.906 eksenlerinde sırasıyla -0.825 ve -0.765 olmaktadır. Kanat üst kısmında firar kenarına yakın x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.577 iken z/H=0.906 ekseninde -0.940 olmaktadır. Kanat eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarı %62.90'dır. Akış ile kanadın temasının bittiği x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları kanat orta ekseni z/H=0.5'te -0.328 iken z/H=0.906 ekseninde -0.906 olmaktadır. Kanat üst yüzeyindeki en yüksek basınç sapması %175.67 ile x/L=1.00'da meydana gelmektedir.

Kanat altı yüzeyde basınç katsayıları en düşük sapmasının %20.82 ile meydana geldiği x/L=0.341 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı değeri -0.230 iken z/H=0.906 ekseninde -0.278 olmaktadır. x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları kanat orta ekseninde -0.149 iken z/H=0.906 ekseninde -0.255 olmaktadır. Kanat üzerindeki eksenlerde basınç katsayıları sapma miktarı %70.96 olmaktadır. $2.26*10^4$ Reynolds sayısı -20° kanat atak açısında kanat üst yüzeyi ile kanat alt yüzende eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %4033.88 ile en yüksek miktarda olmuştur. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.002 iken z/H=0.906 ekseninde -0.105 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayısı sapma miktarının %3315.43 ile oldukça yüksek olduğu x/L=0.833 noktasında kanat orta kısımdaki eksende basınç katsayısı değeri 0.006 iken kanat uç kısımdaki eksende -0.214 olmaktadır. Kanat alt yüzeyi firar kenarındaki nokta x/L=1.00'da z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.148 iken z/H=0.906 ekseninde -0.230 olmakta ve sapma miktarı %55.68'dır.



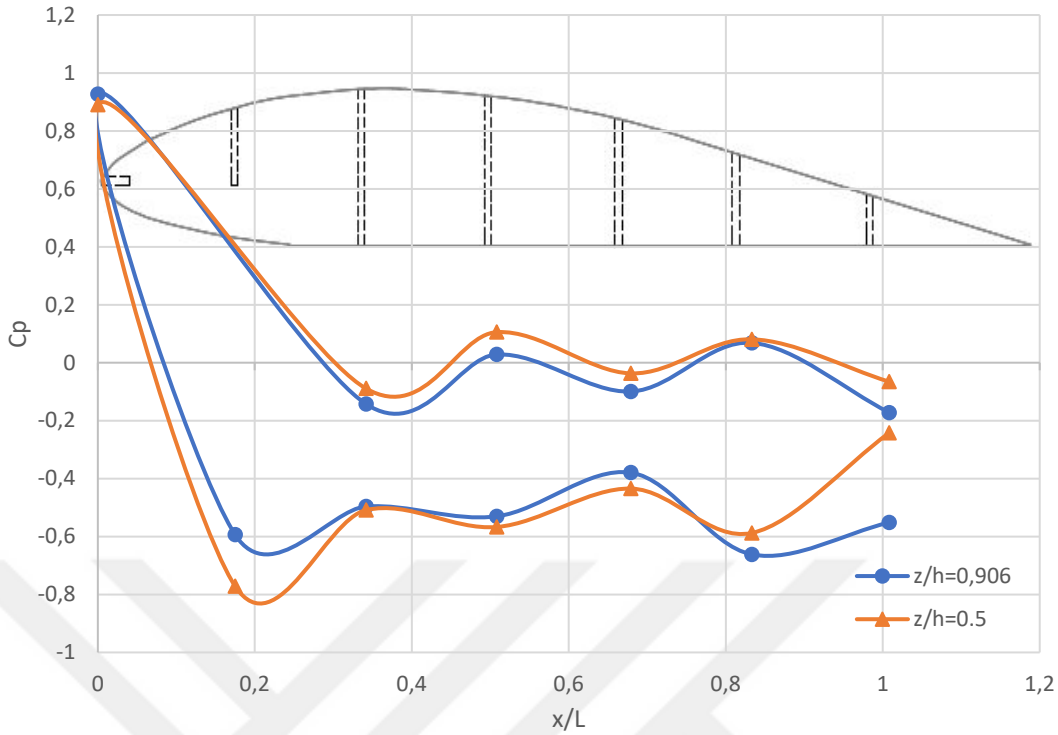
Şekil 4.32. -20˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

-20° kanat atak açısı ile $5.6*10^3$, $1.13*10^4$ ve $2.26*10^4$ Reynolds sayılarında yapılan testlerde dikkat çeken kısım basınç katsayıları sapma miktarının, %3.62 ile kanat üst yüzeyi x/L=0.508 noktası $5.6*10^3$ Reynolds sayısında en düşük miktar olmasıdır. Kanat üzerindeki testlerde basınç katsayılarındaki en yüksek sapma miktarı ise %4033.88 ile kanat alt kısımdaki x/L=0.679 noktasında $2.26*10^4$ Reynolds sayısında meydana gelmiştir. Genel itibariyle basınç katsayıları sapma miktarları göz önüne alındığında en yüksek sapma miktarları kanat alt yüzeylerinde meydana gelmişken en düşük sapma miktarları kanat üst yüzeylerde meydana gelmiştir.

NACA 2415 kanat profili -25° kanat atak açısı ile $5.6*10^3$, $1.13*10^4$ ve $2.26*10^4$ Reynolds sayılarındaki testlerde elde edilen basınç katsayıları Şekil 4.33, 4.34 ve 4.35'te görülmektedir. -25° atak açısı $5.6*10^3$ Reynolds sayısındaki testlerde kanadın akışla ilk buluştuğu nokta x/L=0.00'da kanat basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.890 iken z/H=0.906 ekseninde 0.926 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarı %4.10'dur. Kanat üst kısmı ilk noktasında basınç katsayıları kanat orta eksenindeki z/H=0.5'te -0.771 iken z/H=0.906'da -0.594 olmakta ve kanat eksenleri

basınç katsayısı sapma miktarı %23.03'tür. Kanat üzerinde yapılan testlerde, -25° atak açısı ile $5.6*10^3$ Reynolds sayısında hem kanat altı hem de kanat üstü için en düşük basınç katsayısı sapma miktarı %2.43'tür. x/L=0.175 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı değeri -0.508 iken z/H=0.906 ekseninde -0.594 olmaktadır. Kanat kambur eğrisinin dramatik biçimde aşağı seyrettiği x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları değerleri z/H=0.5'te -0.567 iken z/H=0.906'da -0.496 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı ise %6.48'dir. Kanat üst yüzeyi x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı kanat ortasındaki z/H=0.5 ekseninde -0.434 iken uç kısımdaki eksen z/H=0.906'da -0.379 olmaktadır. x/L=0.679 noktasındaki sapma miktarı %12.65'tir. x/L=0.833 noktasındaki basınç katsayıları sapma miktarı %12.62 iken z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.587 ve z/H=0.906 ekseninde -0.661 olmaktadır. Kanat üst yüzeyi firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.241 iken z/H=0.906 ekseninde -0.551 olmaktadır. Kanat üst yüzeyi için en yüksek sapma miktarı %128.01 ile firar kenarında gerçekleşmiştir.

Kanat altı kısımdaki akışkana ilk temasta bulunan x/L=0.341 noktasında z/H=0.5 ekseni basınç katsayısı -0.089 iken z/H=0.906 ekseninde -0.142 ve basınç katsayıları sapma miktarı %59.84'tür. x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 ile z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarı %73.17 iken orta eksende 0.105 ve uç eksende 0.028'dir. -25° kanat atak açısı $5.6*10^3$ Reynolds sayısındaki hem kanat alt kısmı hem de kanat üst kısmındaki en yüksek sapma %169.18 miktarı ile kanat alt yüzeyi x/L=0.679 noktasında gerçekleşmiştir. Basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.036 iken z/H=0.906 ekseninde -0.099 olmaktadır. Kanat alt yüzeyindeki en düşük sapma miktarının %15.23 ile gerçekleştiği x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı 0.080 ve z/H=0.906 ekseninde 0.068 olmaktadır. Akışın kanadı alt yüzden terk ettiği x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.065 iken z/H=0.906 ekseninde -0.172 olmaktadır. Basınç katsayıları sapması %161.69 ile yüksek miktardadır.

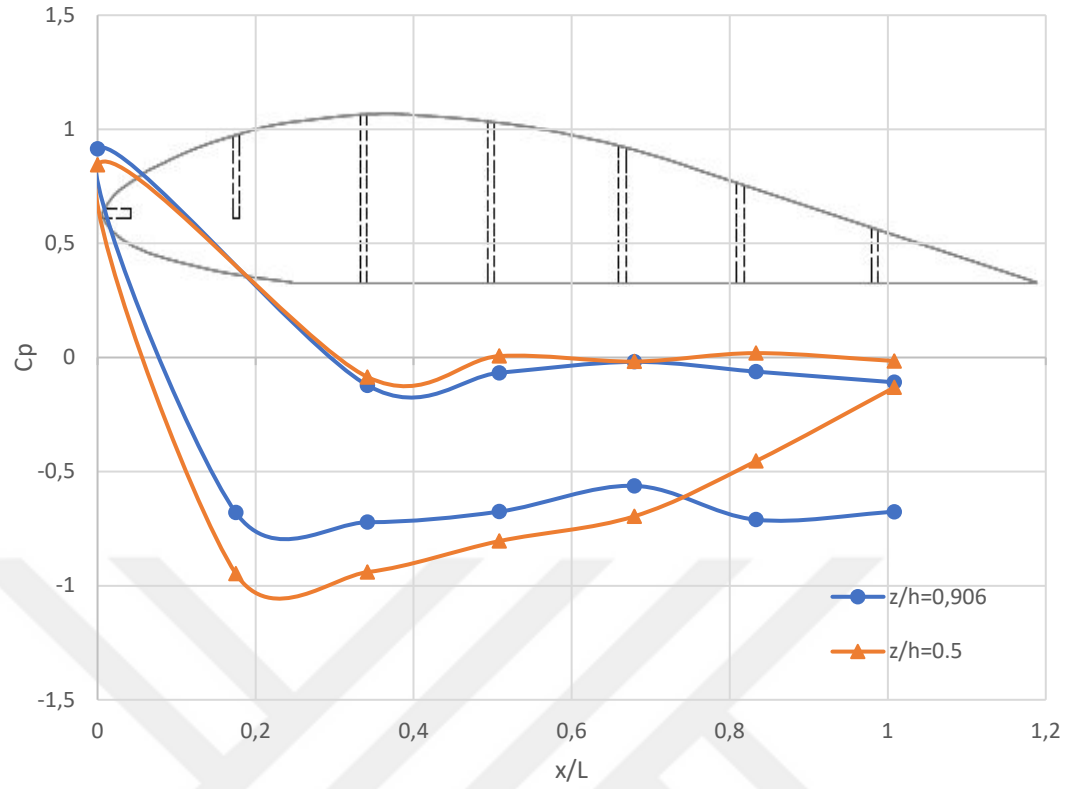


Şekil 4.33. -25˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

$1.3*10^4$ Reynolds sayısı -25° kanat atak açısında yapılan testlerden elde edilen basınç katsayıları grafiği Şekil 4.34'te görülmektedir. Kanadın akışı karşıladığı kanat sıfır noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.843 iken z/H=0.906 ekseninde 0.914 olmaktadır. Kanattaki eksenlerde basınç katsayıları sapma miktarı %8.34 ile -25° atak açısı 10 m/s hızında hem kanat altı yüzey hem de kanat üstü yüzeyde en düşük miktar olmuştur. Kanat üst yüzeyindeki birinci noktada basınç katsayıları sapma miktarı %28.25 olmuşken z/H=0.5 ekseni z/H=0.906 ekseninde sırasıyla -0.947 ve -0.679 olmaktadır. Kanat kamburundaki en tepe noktada basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.940 iken z/H=0.906 ekseninde -0.721 olmaktadır. Eksenlerdeki sapma miktarı %23.24 miktarındadır. Kanat üst yüzeyinde basınç katsayıları sapma miktarı %16.06 ile kanat üst kısmındaki testlerde en düşük sapma miktarı olmuştur. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.804 ve z/H=0.906 ekseninde -0.675 olmaktadır. Kanat eğrisinin dramatik biçimde aşağı doğrultudaki x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.696 ve z/H=0.906 ekseninde -0.562 olmaktadır. Kanat orta eksen ile uç eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %19.21'dir. Kanat üst yüzeyi x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.454 iken

z/H=0.906 ekseninde -0.710 olmakta ve basınç katsayıları sapma miktarı %56.55'tir. Akışın kanadı üst yüzeyden terk ettiği x/L=1.00 noktasında 10 m/s hızında -25° kanat atak açısındaki testlerde kanat üst kısmı için en yüksek sapma %415.77 ile bu noktada olmuştur. Kanat orta kısımdaki eksende basınç katsayısı -0.131 iken kanat uç kısımdaki eksende -0.676 olmaktadır.

Kanat altı yüzeyde eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarının %42.90 olduğu x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.085 ve z/H=0.906 ekseninde -0.122 olmaktadır. $1.13*10^4$ Reynolds sayısı -25° kanat atak açısında yapılan testlerde hem kanat üstü hem de kanat altı yüzeylerdeki en yüksek sapma miktarının %985.80 ile meydana geldiği x/L=0.508 noktası, z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı 0.006 ve z/H=0.906 ekseninde -0.067'dir. Kanat altı yüzeyde x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.017 ve z/H=0.906 ekseninde -0.019 olmaktadır. Kanat altı yüzeydeki en düşük sapma miktarı %9.03 ile bu noktada meydana gelmiştir. x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %223.28 olmuş ve z/H=0.5 ekseninde 0.019 iken z/H=0.906 ekseninde -0.0618 olmaktadır. Kanat ile akışın teması kestiği x/L=1.00 noktası z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.015 iken z/H=0.906 ekseninde -0.108'dir. Basınç katsayıları sapma miktarı Şekil 4.34'teki grafikte de görüldüğü gibi %605.84 ile yüksek miktardadır.

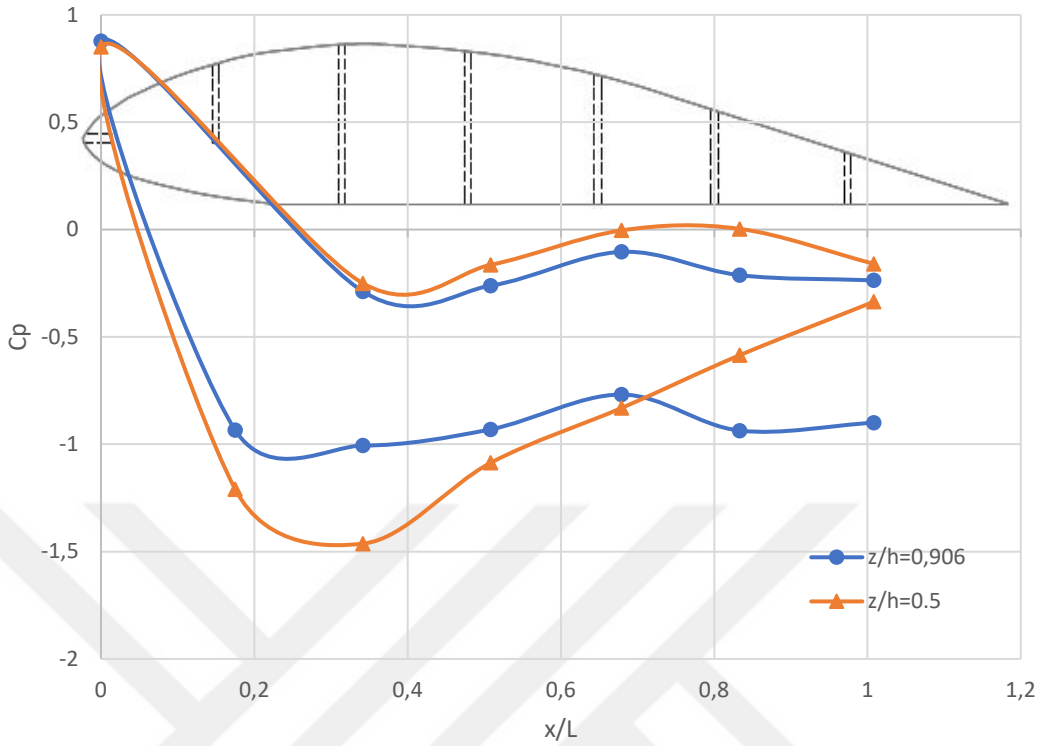


Şekil 4.34. -25˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

$2.26*10^4$ Reynolds sayısı -25° kanat atak açısındaki testlerdeki basınç katsayıları grafiği Şekil 4.35'te görülmektedir. Kanadın akışı ilk karşıladığı x/L=0.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.850 iken z/H=0.906 ekseninde 0.878 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapması %3.26 ile bu parametrede hem kanat altı hem de kanat üstü yüzeylerde en düşük miktar olmuştur. Kanat üst yüzeyde x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -1.209 oluyorken z/H=0.906 ekseninde -0.933 olmakta ve basınç katsayıları sapma miktarı %22.79 miktarındadır. Kamburun en tepe noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %31.23 iken kanat orta kısımdaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -1.463 olmakta ve kanat uç kısmındaki z/H=0.906 ekseninde -0.933'tür. Kanat eğrisinin dramatik biçimde aşağı trendde olduğu x/L=0.508 noktası z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -1.086 iken z/H=0.906 ekseninde -0.930 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarı %14.34'tür. x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı kanat üst yüzeyindeki %7.53 ile en düşük sapma miktarıdır. Kanat orta ekseninde basınç katsayısı -0.831 iken kanat uç ekseninde -0.768 olmaktadır. Kanat firar kenarına yakın

x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseni için -0.585 iken z/H=0.906 ekseninde -0.936 ve basınç katsayıları sapma miktarı %60.04'tür. Kanat üst yüzeyinde akışın kanadı terk ettiği firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %167.50 ile kanat üst yüzeyindeki en yüksek miktar olmuştur. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.336 iken z/H=0.906 ekseninde -0.899 olmaktadır.

Kanat altı kısımdaki en düşük sapma miktarı %15.22 ile akışın alt yüzeyde kanada ilk temas ettiği x/L=0.341 noktasında meydana gelmişken z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.250 olmakta ve z/H=0.906 ekseninde -0.288 olmaktadır. x/L=0.508 noktası z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.164 iken z/H=0.906 ekseninde -0.261 olmaktadır. Basınç katsayısı sapma mikarı x/L=0.679 noktasında %2536.07 miktarında meydana gelmiştir. Basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.003 iken z/H=0.906 ekseninde -0.103 olmaktadır. $2.26*10^4$ Reynolds sayısı -25° kanat atak açısında yapılan testlerde hem kanat üst yüzeyi hem de kanat alt yüzündeki en yüksek %6677.53 miktarında x/L=0.833 noktasında iken kanat orta kısmı ekseninde basınç katsayısı 0.003 ve kanat uç kısmı ekseninde -0.212 olmaktadır. Kanat alt yüzeyi firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasına basınç katsayıları z/H=0.5'te -0.159 ve z/H=0.906'da -0.236 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı ise %48.31'dir.



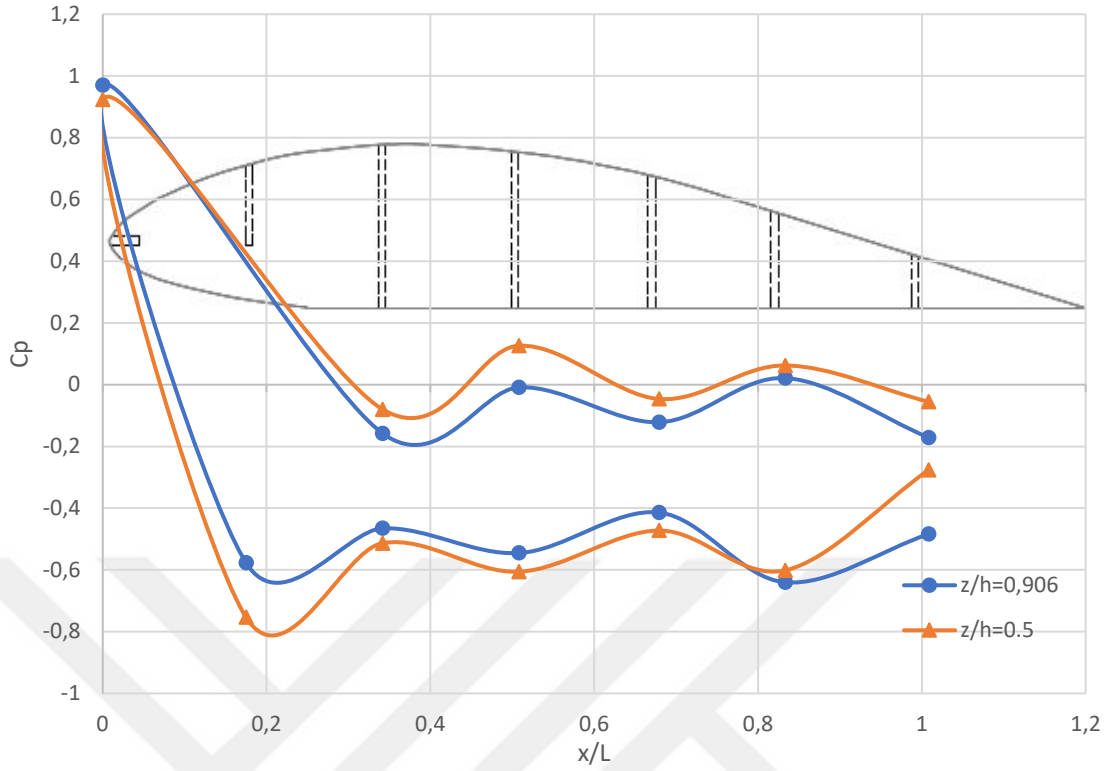
Şekil 4.35. -25˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

NACA 2415 kanat profili üzerinde üç farklı Reynolds sayısı -25° kanat atak açısında yapılan testlerde basınç katsayıları hesaplanmıştır. -25° kanat atak açısındaki testlerde dikkat çeken nokta basınç katsayılarındaki en düşük sapma miktarının %2.43 ile $5.6*10^3$ Reynolds sayısında kanat üst yüzeyi ve x/L=0.341 noktasında olmuştur. Kanat basınç katsayıları sapma miktarının en yüksek olduğu kanat alt yüzeyi x/L=0.833 noktası, $2.26*10^4$ Reynolds sayısında %6677.53 miktarıdır. -25° kanat atak açısı ile yapılan testlerde genel olarak basınç katsayıları sapma miktarı alt yüzeylerde oldukça yüksek miktarda iken kanat üst yüzerinde düşük miktarlarda meydana gelmiştir.

NACA 2415 kanat profili üzerinde $5.6*10^3$ Reynolds sayısı -30° kanat atak açısındaki testlerde elde edilen basınç katsayıları grafiği Şekil 4.36'da verilmiştir. Akışı kanat üzerinde ilk olarak karşılayan kanat sıfır noktası x/L=0.00'da $5.6*10^3$ Reynolds sayısında yapılan testlerde basınç katsayıları sapma miktarı hem kanat üst yüzeyi hem de kanat alt yüzeyinde en düşük miktar olmuştur. Kanat üst yüzündeki

x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.753 iken z/H=0.906 ekseninde -0.577 olmaktadır. Kanat orta ekseni ile uç ekseni arasındaki basınç katsayıları sapmaları %23.40 miktarındadır. Kanatın kambur kısmının en tepesindeki x/L=0.341 noktasında kanat orta ekseni basınç katsayısı -0.513 ve kanat uç eksenindeki basınç katsayı -0.465'tir. z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 ekseni arasındaki basınç katsayıları sapma miktarı %9.35'dir. Kanat üst yüzeyi x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %9.99 iken z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.605 ve z/H=0.906 ekseninde -0.545 olmaktadır. Kanat eğrisinin aşağı yönelimde olduğu x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.472 iken z/H=0.906 ekseninde -0.414 olmakta ve basınç katsayıları sapması %12.34 miktarındadır. $5.6*10^3$ Reynolds sayısındaki testlerde kanat üst yüzeyinde basınç katsayıları sapma miktarının %6.46 ile en düşük miktarda olduğu x/L=0.833 noktasında z/H=0.5'te basınç katsayısı -0.601 ve z/H=0.906'da -0.640 olmaktadır. Üst yüzeydeki firar kenarında basınç katsayıları kanat orta ekseninde -0.276 iken kanat uç ekseninde -0.483 olmaktadır. Basınç katsayıları sapması $5.6*10^3$ Reynolds sayısındaki testlerde kanat üst yüzeyi için %75.27 ile en yüksek miktardadır.

Alt yüzeyde kanat ile akışın ilk temas ettiği noktada basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.079 ve z/H=0.906 ekseninde -0.157 olmaktadır. Basınç katsayıları arasındaki sapma %97.25 miktarındadır. x/L=0.508'de alt yüzeydeki eksenlerde basınç katsayıları sapma miktarı %93.21'dir. z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.126 iken z/H=0.906 ekseninde -0.008 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayısı sapmasının %162.37 ile $5.6*10^3$ Reynolds sayısındaki testlerde yüksek miktarda olan x/L=0.679 noktasında kanat ortasındaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.046 ve kanat uç eksenindeki z/H=0.906'da -0.121'dir. Kanat alt yüzeyinde basınç katsayıları sapma miktarında en düşük miktar %65.82 ile x/L=0.833 noktasında meydana gelmiştir. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı 0.062 ve z/H=0.906 ekseninde 0.021 olmaktadır. Kanat alt yüzeyinde firar kenarında olan x/L=1.00 noktasında $5.6*10^3$ Reynols sayısı -30° kanat atak açısındaki en yüksek sapma miktarı %208.69 miktarında meydana gelmiştir. Kanat orta ekseninde basınç katsayısı -0.055 ve kanat uç kısmındaki eksende -0.171 olmaktadır.

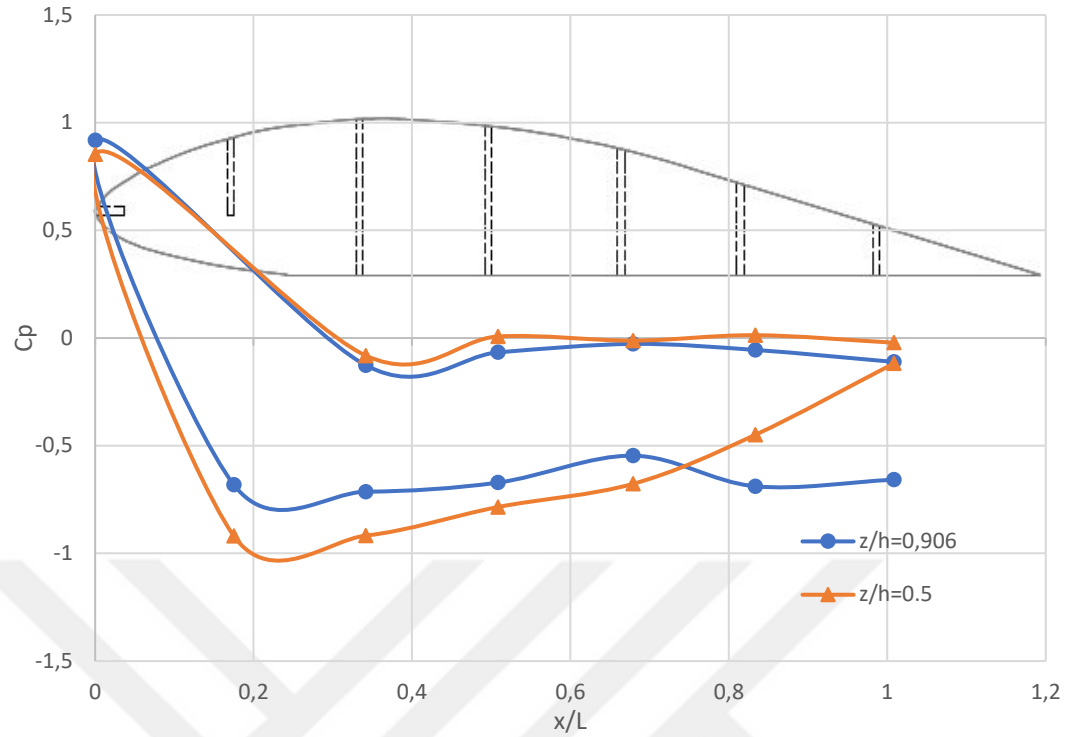


Şekil 4.36. -30˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

Şekil 4.37'de $1.13*10^4$ Reynolds sayısı -30° kanat atak açısındaki basınç katsayıları grafiği görülmektedir. Kanat yüzeyinde akışla ilk temas eden x/L=0.00 noktasında z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarı %7.60 ile $1.13*10^4$ Reynolds sayısında hem kanat alt yüzeyi hem de kanat üst yüzeyindeki en düşük miktardır. Kanat ortasındaki eksende basınç katsayısı 0.853 iken kanat uç kısmındaki eksende basınç katsayısı 0.918 olmaktadır. Kanat eğrisinin yukarı trenddeki x/L=0.175 noktasında z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı -0.918 ve z/H=0.906 ekseninde -0.681 olmakta, basınç katsayıları sapma miktarı %25.87'dir. Kanat kamburunun en tepe kısmındaki noktada basınç katsayıları z/H=0.5'te -0.918 ve z/H=0.906'da -0.681 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %22.22'dir. Kanat üst kısmında -30° atak açısında $1.13*10^4$ Reynolds sayısında basınç katsayılarındaki en düşük sapma miktarının %14.45 ile meydana geldiği x/L=0.508 noktasında kanat ortasındaki eksende basınç katsayısı -0.784 iken kanat ucundaki eksende -0.671 olmaktadır. Kanat üst eğrisinin dramatik biçimde aşığı seyrettiği x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.678 ve z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı -0.546 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarı

%19.29 olmaktadır. Kanat firar kenarına yakın x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.449 ve z/H=0.906 ekseninde -0.688 iken basınç katsayıları sapma miktarı %53.21 olmaktadır. Şekil 35'teki grafikte de görüldüğü üzere $1.13*10^4$ Reynolds sayısında kanat üst kısmındaki en yüksek basınç katsayısı sapması %458.61 miktarında ve z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.117, z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı -0.657 olmaktadır.

Kanat alt yüzeyindeki ilk noktada basınç katsayıları sapma miktarı $1.13*10^4$ Reynolds sayısı -30° atak açısı için %54.98 ile kanat altı kısımdaki en düşük sapma miktarıdır. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.081 ve z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı -0.126 olmaktadır. $1.13*10^4$ Reynolds sayısı -30° atak açında kanat alt yüzeyi ve kanat üst yüzeyindeki basınç katsayıları sapma miktarının %816.39 ile en yüksek olduğu x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ile z/H=0.906 eksenleri için sırasıyla 0.007 ve -0.066'dır. Kanat altı kısımda x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.012 iken z/H=0.906 ekseninde -0.027 olmaktadır. Basınç katsayıları sapması %126.14 miktarındadır. z/H=0.5 ile z/H=0.906 eksenlerindeki sapma miktarının %321.04 olduğu x/L=0.833 noktasında kanat orta ekseni için basınç katsayısı 0.013 iken kanat uç ekseninde -0.055 olmaktadır. Akışın kanadı alt yüzeyden terk ettiği firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.021 iken z/H=0.906 ekseninde -0.110 olmaktadır. Basınç katsayıları sapması %414.26 ile yüksek miktardadır.

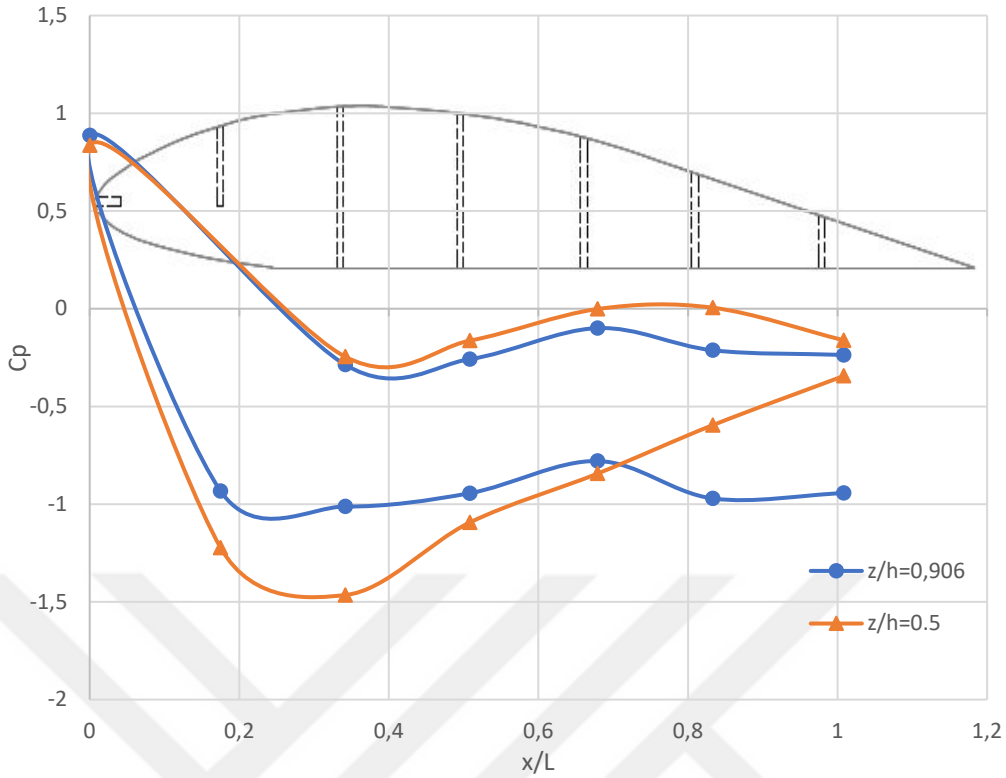


Şekil 4.37. -30˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

$2.26*10^4$ Reynolds sayısı -30° kanat atak açısında yapılan testlerdeki basınç katsayıları grafiği Şekil 4.38'de görülmektedir. %6.22 ile eksenlerdeki basınç katsayısının $2.26*10^4$ Reynolds sayısı -30° atak açısındaki testlerde en düşük sapma miktarı x/L=0.00 noktasında meydana gelmiştir. z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı 0.835 iken z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı 0.887 olmaktadır. Kanat üst kısmında kanat eğrisinin yukarı doğrultusundaki x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -1.222 iken z/H=0.906 ekseninde -0.933 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarı %23.69'dur. Kanadın en tepe kısmında x/L=0.341 noktası kanat orta ekseninde basınç katsayısı -1.465 iken z/H=0.906 ekseninde -1.012'dir. Kanat eğrisinin dramatik şekilde aşağı trendde olduğu x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %13.69 iken kanat ortasındaki eksende basınç katsayısı -1.093 ve kanat uç kısmındaki eksende -0.943 olmaktadır. Kanat üst yüzeyinde %7.60 ile en düşük basınç katsayısı sapma miktarının meydana geldiği x/L=0.679 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.843 ve z/H=0.906 ekseninde -0.779 olmaktadır. Eğrinin dramatik şekilde devam ettiği x/L=0.833 noktasında z/H=0.5 ekseni ile z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayıları sapma miktarı

%63.09 miktarındadır. Kanat orta kısmındaki basınç katsayısı -0.595 iken kanat uç kısımdaki ekseninde -0.971 olmaktadır. Kanat üst yüzeyi firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.344, z/H=0.906 ekseninde -0.943'tür. $2.26*10^4$ Reynolds sayısındaki basınç katsayıları sapma miktarı Şekil 4.38'de de görüldüğü üzere %174.10 ile kanat üst yüzeyi için en yüksek miktar olmuştur.

Kanat alt yüzeyde %16.73 basınç katsayısı sapma miktarı ile $2.26*10^4$ Reynolds sayısındaki en düşük sapma miktarı x/L=0.341 noktasındadır. Basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde -0.245 ve z/H=0.906 ekseninde -0.286 olmaktadır. x/L=0.508 noktasında z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı -0.163 iken z/H=0.906 ekseninde -0.257 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarları %57.95 miktarındadır. $2.26*10^4$ Reynolds sayısı -30° kanat atak açısında kanat alt yüzeyi ve üst yüzeyi için en yüksek basınç katsayısı sapması %5887.31 miktarıyla kanat alt yüzeyi x/L=0.679 noktasında meydana gelmiştir. Kanat ortasındaki eksende basınç katsayısı -0.001, kanat uç eksenindeki basınç katsayısı ise -0.099 olmaktadır. Alt yüzeydeki x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5 ekseninde 0.004 iken z/H=0.906 ekseninde -0.212 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarı %4179.14 ile yüksek miktardadır. Akışın kanadı alt yüzeyden terk ettiği x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.5'te -0.161 ve z/H=0.906'da -0.236 olmaktadır. Kanat orta ekseni ile uç eksenindeki basınç katsayıları sapma miktarı %46.48 ile düşük miktardadır.



Şekil 4.38. -30˚ atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

$5.6*10^3$, $1.13*10^4$ ve $2.26*10^4$ Reynolds sayıları -30° kanat atak açısında yapılan testlerde elde edilen basınç katsayıları Şekil 4.36, 4.37 ve 4.38'de grafikleri görülmektedir. -30° atak açısındaki basınç katsayıları sapma miktarlarında dikkat çeken kısım, en yüksek basınç katsayısının kanat alt yüzeyi x/L=0.679'da $2.26*10^4$ Reynolds sayısındaki testlerde %5887.31 miktarında olmasıdır. Testlerdeki basınç katsayıları sapma miktarının en düşük olduğu nokta akışın kanat üzerinde ilk karşıladığı x/L=0.00'da %5.03 miktarı ile $5.6*10^3$ Reynolds sayısında meydana gelmiştir. Yapılan testlerde basınç katsayıları sapma miktarları kanat üst kısımlarında düşük miktarlarında iken kanat alt kısımlarda yüksek miktarlarda olmuştur.

4.2. Farklı Atak Açıları ve Farklı Reynolds Sayılarında Kanat Aerodinamikliği ve Kuvvetleri Üzerindeki Etkisinin Nümerik Olarak İncelenmesi

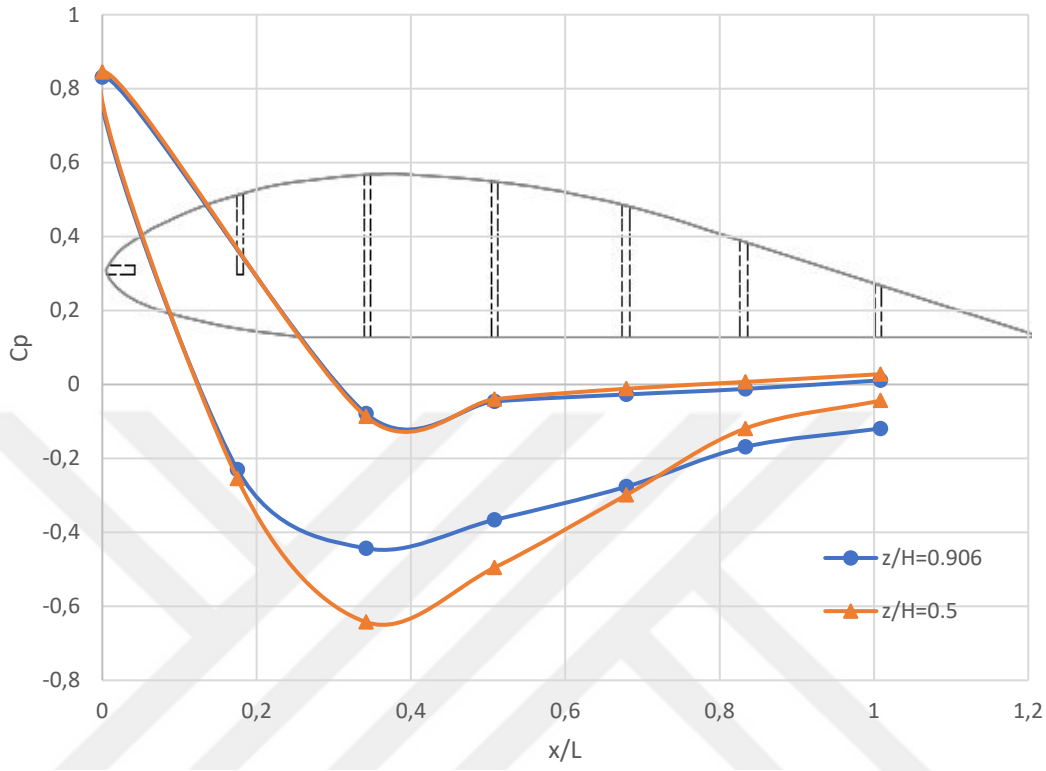
Bu bölümde yapılan deneysel ölçümler ile eş zamanlı olarak yürütülen CFD simülasyonların sonuçları sunulacaktır. Bu tez çalışması için toplamda 3 farklı Reynolds sayısında 9 farklı atak açısında nümerik analiz yürütülmüştür.

NACA 2415 kanat profili üzerinde açık kaynak kodlu OpenFOAM analiz programı ile yürütülen simülasyon verileri Şekil 4.39'daki grafikteki gibi görselleştirilmiştir. Simülasyonlar $5.6*10^3$, $1.13*10^4$ ve $2.26*10^4$ Reynolds sayılarında ve farklı atak açılarında(0°, 10°, 20°, 30°, -10°, -20°, -30°) kanat serbest ucuna yakın z/H=0.906 ekseni ile kanat orta kısımdaki z/H=0.5 eksenlerindeki ilgili noktalardaki basınç katsayıları karşılaştırılmıştır.

$5.6*10^3$ Reynolds sayısı ve 0° atak açısında kanadın akış ile ilk temas ettiği x/L=0.00 noktasında kanat uç kısımdaki z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı 0.831 ve z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayısı değeri ise 0.845'tir. Kanadın en uç noktasında z/H=0.906 ekseni ile z/H=0.5'taki basınç katsayıları sapma miktarı %1.62'tir ve bu sapma miktarı hem kanat altı kısım hem de kanat üstü kısımdaki en düşük sapma miktarıdır. Kanat üstü kısmının akışla ilk temas yüzeyindeki x/L=0.175 noktasında z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı -0.229 iken z/H=0.5 ekseninde -0.025 olmaktadır. Kanat uç kısmı ile kanat orta kısımdaki eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %9.60 olarak tespit edilmiştir. Kanat üst kısımdaki x/L=0.341 noktasında kanat kamburunun en tepe kısmı, z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı -0.442 iken z/H=0.5 ekseninde -0.642 olmaktadır. x/L=0.341 noktasındaki eksenlerde basınç katsayıları sapması %31.0 miktarındadır. x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde -0.027 iken z/H=0.5 ekseninde -0.298 olmaktadır. Bu noktada basınç katsayıları sapma miktarı %7.46 ile kanat üst kısımdaki en düşük sapma miktarı olmuştur. Akışın kanadı üst kısımdan terk ettiği noktada z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı 0.011 iken z/H=0.5 ekseninde -0.043 olmakta ve sapma miktarı ise 172.8 ile hem kanat altı kısımda hem de kanat üstü kısımdaki en yüksek sapma miktarı olmuştur.

Kanat alt kısımda x/L=0.341'de z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı -0.07 iken z/H=0.5 ekseninde 0.049 olmakta ve sapma miktarları %9.14 ile kanat alt kısımdaki en düşük miktar olmuştur. x/L=0.679 noktasında z/H=0.906 ile z/H=0.5 eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarı %135.3 ile kanat alt kısımdaki en yüksek miktar olmuştur. Kanat alt kısımdaki firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında

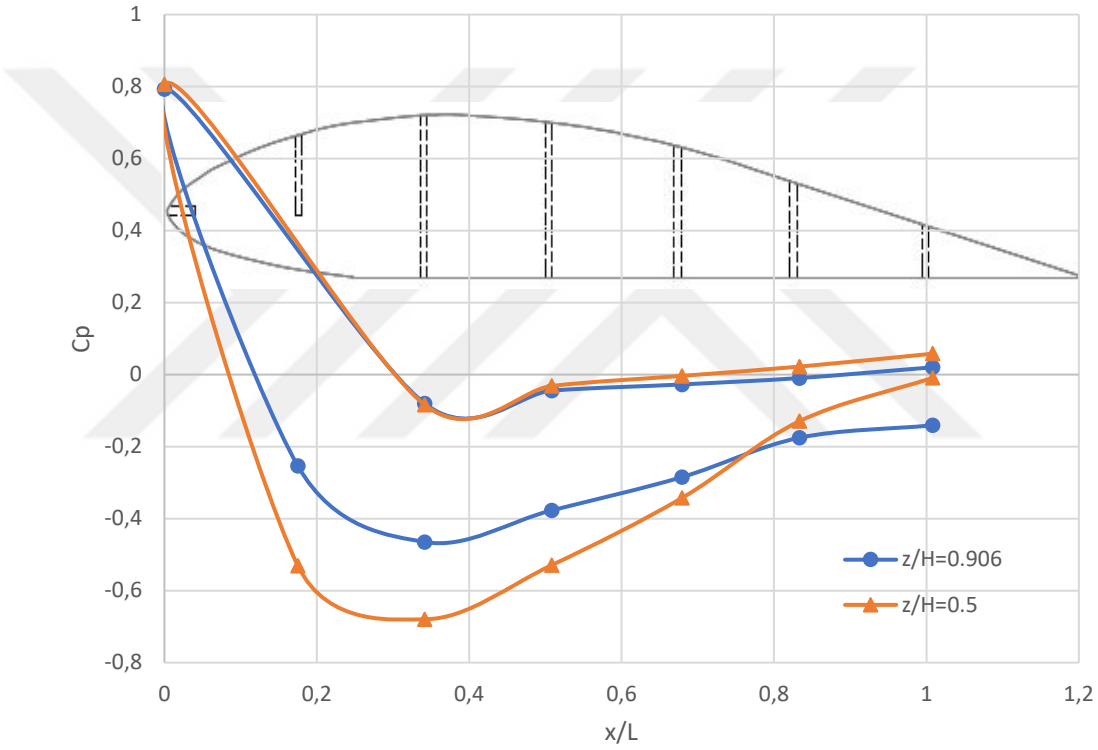
z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı -0.011 iken z/H=0.5 ekseninde -0.142 olmaktadır. x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları sapma miktarı %59.6'dır.



Şekil 4.39. 0˚ atak açısı ve 5 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

Şekil 4.40'taki grafikte de görüldüğü üzere 0° kanat atak açısı ve $1.13*10^4$ Reynols sayısında yürütülen simülasyonlarda kanat uç kısımda bulunan z/H=0.906 ekseninde x/L=0.00 noktasındaki basınç katsayısı 0.792 ve kanat uç vorteks bölgesinin dışındaki z/H=0.5 ekseninde 0.805 olmaktadır. z/H=0.906 ile z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarı %1.66 ile 0° kanat atak açısı ve Re=$1.13*10^4$'teki en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanat üst kısımdaki en yüksek basınç katsayısı sapma miktarın %109.3 ile meydana geldiği x/L=0.175 noktasında z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı -0.253 ve z/H=0.5'te -0.530'tir. x/L=0.679 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906'da -0.284 ve z/H=0.906'da -0.129'tir. Kanat üst kısımdaki en düşük basınç katsayısı miktarı %20.36 ile x/L=0.679 noktasındadır. Kanat firar kenarında x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları miktarı %93.75 ike z/H=0.906 ile z/H=0.5 eksenlerindeki basınç katsayıları sırasıyla -0.140 ve -0.008 olmuştur.

Kanat altı kısımdaki ilk nokta x/L=0.341'de basınç katsayıları z/H=0.906'da -0.080 iken z/H=0.906'da -0.084 olmuştur. Basınç katsayıları sapma miktarı ise %4.59 ile kanat altı kısımdaki en düşük sapma miktarıdır. Akışın kanadı alt kısımdan terk ettiği firar kenarında bulunan x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları kanat vorteks bölgesindeki z/H=0.906 ekseninde 0.020 ve z/H=0.5'te 0.022 olmuştur. Re=1.13*10^4 ve 0° kanat atak açısındaki en yüksek sapma miktarı ise x/L=1.00 noktasında %186.3 miktarında olmuştur.

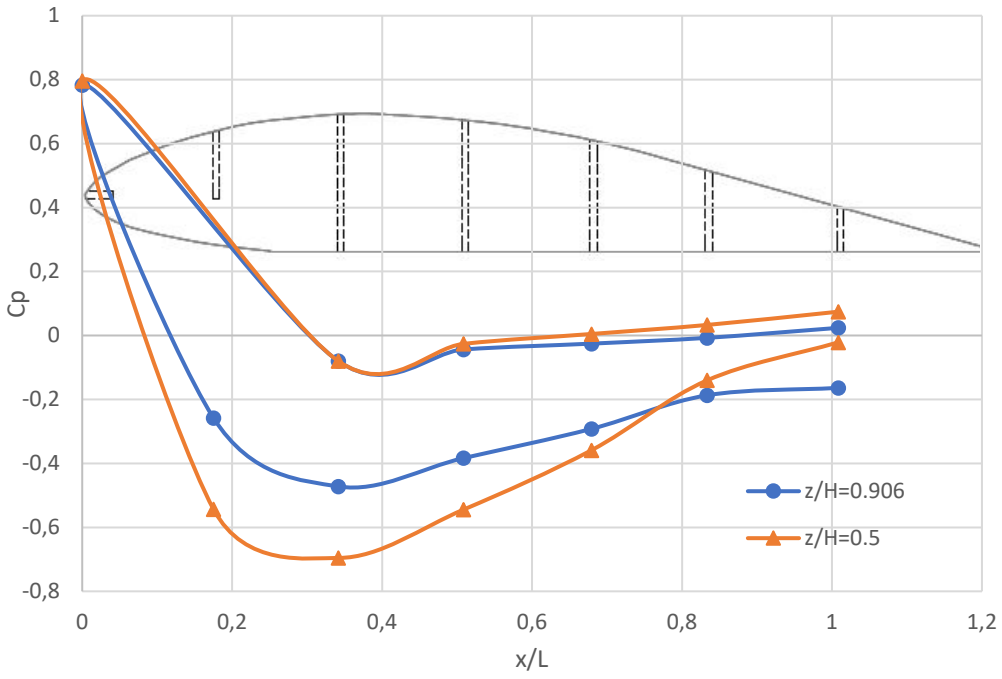


Şekil 4.40. 0˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(C_p) Grafiği

0° kanat atak açısı 2.26*10^4 Reynolds sayısında yürütülen simülasyonlarda elde edilen C_p değerleri Şekil 4.41'de görülmektedir. Kanat x/L=0.00 noktasındaki z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı 0.783 ve z/H=0.5'te ise 0.796 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayılarının sapma miktarı %1.64 miktarındadır. Akışın kanada üst kısımdan ilk temas ettiği x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde 0.025 ve z/H=0.5'te -0.543 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı kanat üst kısmı için %110.8 ile en yüksek miktarda olmuştur. Kanat kamburunun en tepe kısmındaki x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları vorteks

bölgesi olan kanat uç kısım ekseninde -0.471 iken kanat orta kısımdaki eksende -0.695'tir. z/H=0.906 ekseni ile z/H=0.5'teki basınç katsayıları sapma miktarı %47.36'dır. Kanat üst kısmındaki basınç katsayıları sapma miktarı %22.89 ile en düşük miktarda x/L=0.679 noktasında oluşmuş ve z/H=0.906 ekseninde -0.291 ve z/H=0.5'te de -0.140 olmaktadır. Akışın kanadı terk ettiği kısımda x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde -0.163 iken z/H=0.5 ekseninde -0.021 olmaktadır. Bu noktada basınç katsayıları sapma miktarı %86.93 miktarındadır. $2.26*10^4$ Reynolds sayısı ve 0° kanat atak açısındaki en düşük sapma miktarının kanat altı kısımda %0.10 ile meydana geldiği x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde -0.080 iken z/H=0.5'te -0.080 olmaktadır.

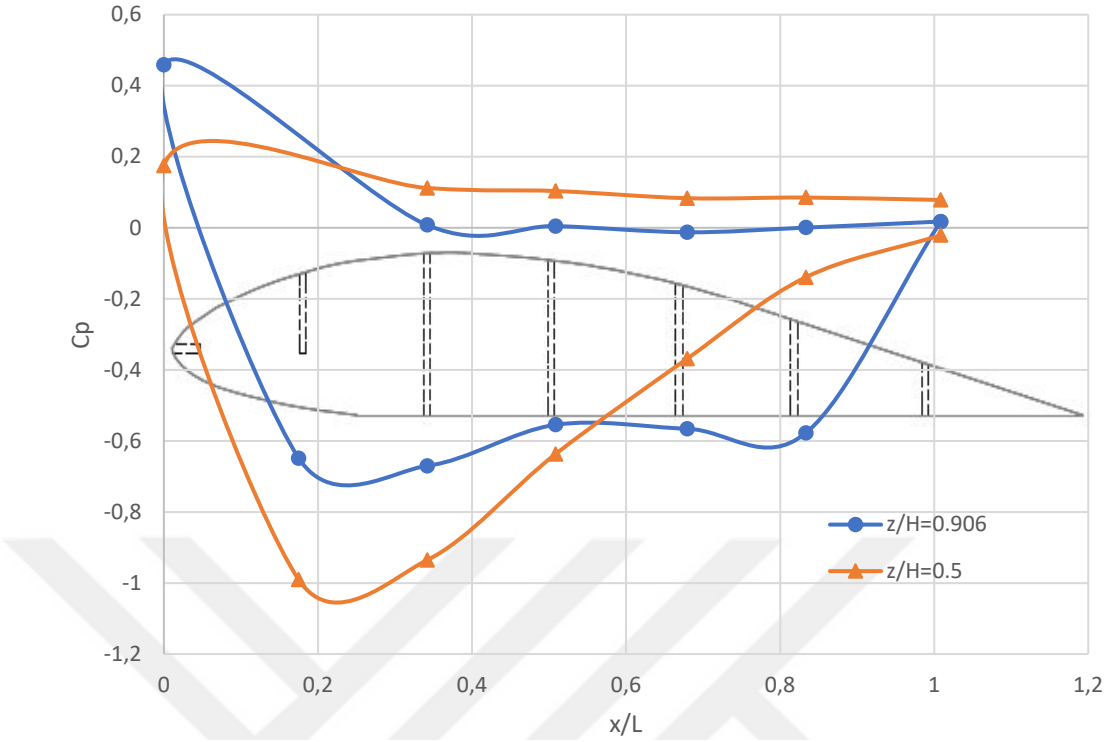
Kanat altı kısımda x/L=0.679 noktasında z/H=0.906 ile z/H=0.5 eksenleri basınç katsayıları sırasıyla -0.025 ve -0.004 olmakta ve %81.30 sapma miktarı bu noktada meydana gelmiştir. Kanat altı ve üst kısmı için en yüksek sapma miktarı %345.1 ile x/L=0.833 noktasında meydana gelmiştir. Firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı 0.02 iken z/H=0.5 ekseninde 0.07 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı ise %211.2 miktarındadır.



Şekil 4.41. 0° atak açısı ve 20 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

10° kanat atak açısında Re=1.13*10^4'te yürütülen simülasyonlardan elde edilen basınç katsayıları(C_p) grafiği Şekil 4.42'de görülmektedir. Kanat ön kısmındaki x/L=0.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde 0.458 ve z/H=0.5 ekseninde 0.174 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı %61.96'dır. Kanat kambur kısmı x/L=0.341 noktasında kanat ucundaki vorteks bölgesi z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı -0.670 ve vorteks bölgesinin dışındaki z/H=0.5 ekseninde -0.935 iken eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %39.60 olmaktadır. Kanat dramatik eğrisinin başladığı x/L=0.508 noktasında 10° atak açısı Re=1.13*10^4'teki en düşük basınç katsayısı sapma miktarı %14.89 ile meydana gelirken z/H=0.906 ekseninde -0.554 ve z/H=0.5 ekseninde -0.637 olmaktadır. Kanat üst kısımda akışın kanadı terk ettiği x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları kanat uç ekseninde 0.01 ve kanat orta ekseninde -0.021 iken basınç katsayıları sapma miktarı %20.26 miktarındadır.

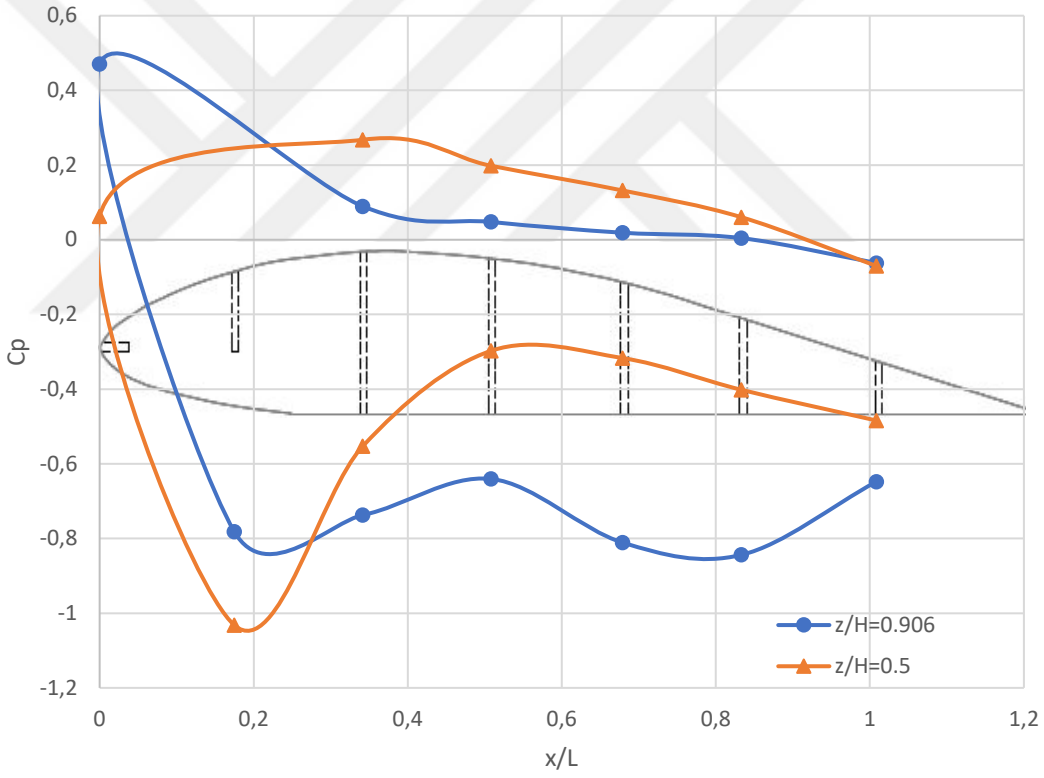
Kanat alt kısımda x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde 0.007 iken z/H=0.5 ekseninde 0.111 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı ise %1326.0 miktarındadır. Kanat alt ve üst kısımlarda noktalardaki eksenlerde basınç katsayıları sapma miktarının %17909.30 ile en yüksek olduğu kanat alt kısmı x/L=0.833 noktasında z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı 0.00 ve z/H=0.5 ekseninde 0.085 olarak tespit edilmiştir. Firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı 0.017 iken z/H=0.5 ekseninde 0.078 ve sapma miktarları ise %345.76 ile kanat altı kısımdaki en düşük sapma miktarı olmuştur.



Şekil 4.42. 10˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

$1.13*10^4$ Reynolds sayısı ile 20° kanat atak açısında yürütülen simülasyonlardan elde edilen verilerin grafiği Şekil 4.43'te görülmektedir. Kanadın akışla ilk temas ettiği x/L=0.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde 0.470 ve z/H=0.5'te 0.062'dir. Eksenlerdeki basınç katsayısı sapma miktarı ise %86.6'dır. Kanat üst kısımda eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %25.02 ile x/L=0.341 noktasında meydana gelmiştir. z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı -0.737 ve z/H=0.5 ekseninde -0.552 olmaktadır. Kanat dramatik eğrisindeki x/L=0.679 noktasında z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı -0.811 iken z/H=0.5 ekseninde -0.316 olmaktadır. x/L=0.679'da, kanat üst kısmı z/H=0.906 ile z/H=0.5 eksenleri için en yüksek sapma miktarı %60.92 miktarındadır. Kanat uç kısmındaki eksen ile kanat orta kısmındaki eksenlerde basınç katsayısı sapma miktarı %25.29 ile kanat firarındaki x/L=1.00 noktasında meydana gelmiştir. z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı -0.647 iken z/H=0.5 ekseninde -0.484'tür.

Kanat alt kısmında x/L=0.341 noktasında vorteks bölgesindeki eksende basınç katsayısı 0.089 iken vorteks bölgesinin dışındaki z/H=0.5 ekseninde basınç katsayısı 0.267 ve basınç katsayıları sapma miktarı ise %199.09'dur. $1.13*10^4$ Reynolds sayısı 20° kanat hücum açısındaki en yüksek basınç katsayısı sapma miktarının %1301.58 ile meydana geldiği x/L=0.833 noktasında z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı 0.004 ve z/H=0.5 ekseninde 0.060 olarak tespit edilmiştir. Hem kanat altı hem de kanat üstü kısımdaki en düşük basınç katsayısı miktarının meydana geldiği kanat firar bölgesi kanat altı kısımda x/L=1.00 noktasındaki basınç katsayısı sapma miktarı %12.74 iken z/H=0.906 ekseni ile z/H=0.5 eksenlerinde basınç katsayısı sırasıyla -0.062 ve -0.070 olmaktadır.



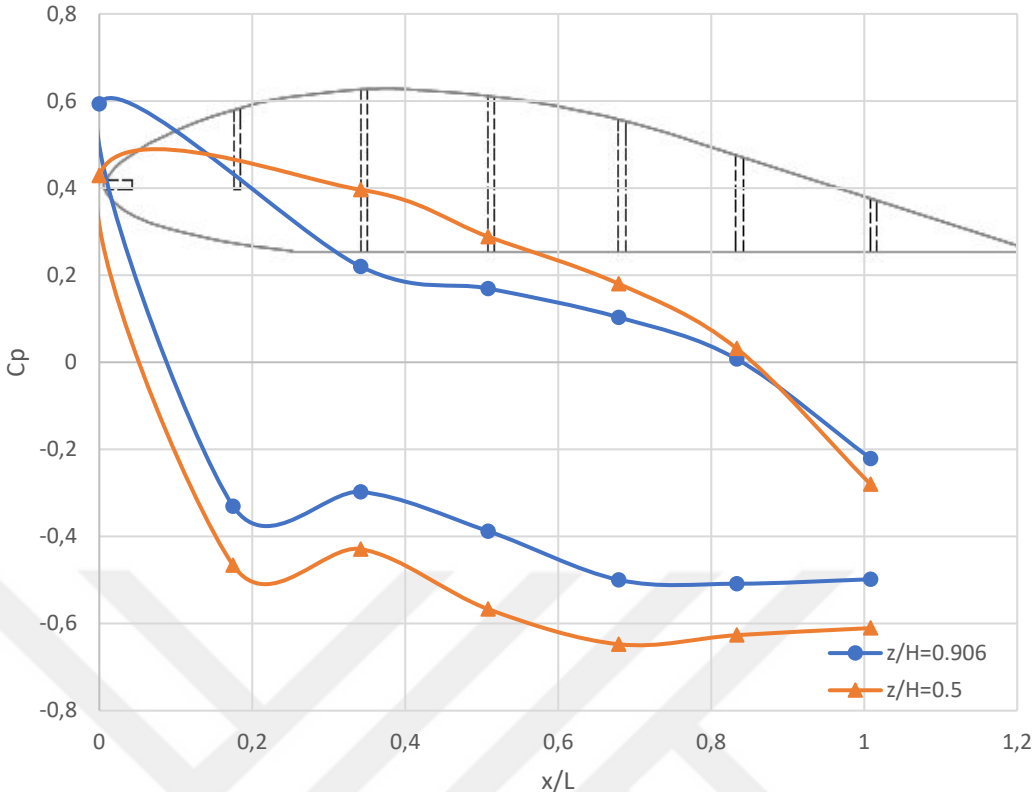
Şekil 4.43. 20˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

30° kanat hücum açısı ile $1.13*10^4$ Reynolds sayısında yürütülen simülasyon sonucu hesaplana C_p değerleri Şekil 4.44'teki grafikte görülmektedir. Kanat merkezindeki x/L=0.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde 0.593 ve

z/H=0.5 ekseninde 0.42'dir. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı ise %27.74'tür.

Kanat üst kısmında akışla ilk temas eden x/L=0.175 noktasında basınç katsayıları vorteks bölgesindeki kanat uç kısmında bulunan z/H=0.906 ekseninde -0.330 ve z/H=0.5 ekseninde -0.466 olarak hesaplanmıştır. x/L=0.175 noktasındaki eksenlerde basınç katsayıları sapma miktarı %41.04 olarak tespit edilmiştir. Kanat kambur eğrisinin dramatik başlangıcındaki x/L=0.508 noktasında basınç katsayıları kanat uç kısmındaki z/H=0.906 ekseninde -0.387 iken kanat orta kısmındaki z/H=0.5 ekseninde -0.566 olarak tespit edilmiştir. z/H=0.906 ekseni ile z/H=0.5 eksenindeki basınç katsayıları sapma miktarı ise %46.14 ile kanat üst kısımdaki en yüksek sapma miktarıdır. Kanat firar kenarı bölgesinde bulunan x/L=1.00 noktasında z/H=0.906 ekseni ve z/H=0.5'teki basınç katsayıları sapma miktarı kanat üst kısmı için en düşük miktar %22.48 olarak tespit edilmiştir. z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı -0.498 iken z/H=0.5 ekseninde -0.610'dur.

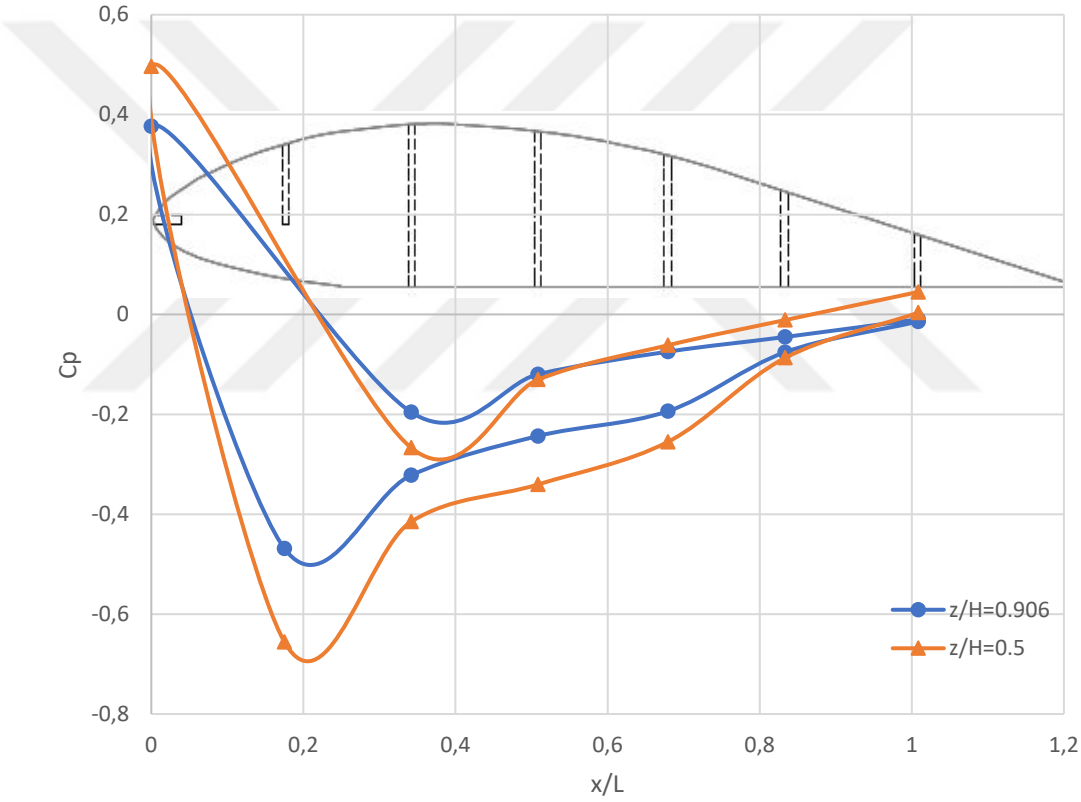
Kanat alt kısımdaki kanat dramatik kanat eğrisinin son kısmındaki x/L=0.341 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseni için 0.219 ve z/H=0.5'te 0.396'dır. Bu noktadaki basınç katsayıları sapması %80.34 miktarındadır. 30° kanat saldırı açısında hem kanat altı hem de kanat üstü bölgeleri için en yüksek basınç katsayısı sapma miktarının %340.35 ile x/L=0.833 noktasında meydana gelmiştir. x/L=0.833 noktasında z/H=0.906 basınç katsayısı 0.007 iken z/H=0.5 ekseninde 0.031 olmaktadır. Kanadın akışa alt kısımdan temasının kesildiği x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde -0.221 ve z/H=0.5 ekseninde -0.280'dir. Basınç katsayıları sapma miktarı %26.85 ile kanat altı kısımdaki en düşük sapma miktarı x/L=1.00 noktasında meydana gelmiştir.



Şekil 4.44. 30˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) grafiği

-10° atak açısında $1.13*10^4$ Reynolds sayısında yürütülen simülasyonda elde edilen basınç katsayısı değerleri grafiği Şekil 4.45'te görülmektedir. Kanat x/L=0.00 noktasındaki basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde 0.376 iken z/H=0.5 ekseninde 0.496 olmaktadır. x/L=0.00 noktasındaki kanat uç ekseni ve kanat orta eksenindeki basınç katsayıları sapma miktarı %31.86'dır. Kanat üst kısımdaki ilk nokta x/L=0.175'te eksenlerdeki basınç katsayısı sapma miktarları %93.07 ile kanat üst kısmı için en yüksek miktardır. z/H=0.906 ve z/H=0.5 eksenlerindeki basınç katsayıları sırasıyla -0.468 ve -0.655'tir. Kanat üst kısımda x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde -0.075 iken z/H=0.5 ekseninde -0.087 olmaktadır. Eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %15.06 ile -10° atak açısı ve $1.13*10^4$ Reynolds sayısı için en düşük sapma miktarı olmuştur. Kanat firar kenarı x/L=1.00 noktasında vorteks bölgesindeki z/H=0.906'te basınç katsayısı -0.014 ve vorteks bölgesinin dışındaki z/H=0.5'te 0.003 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları sap miktarı %77.05'tir.

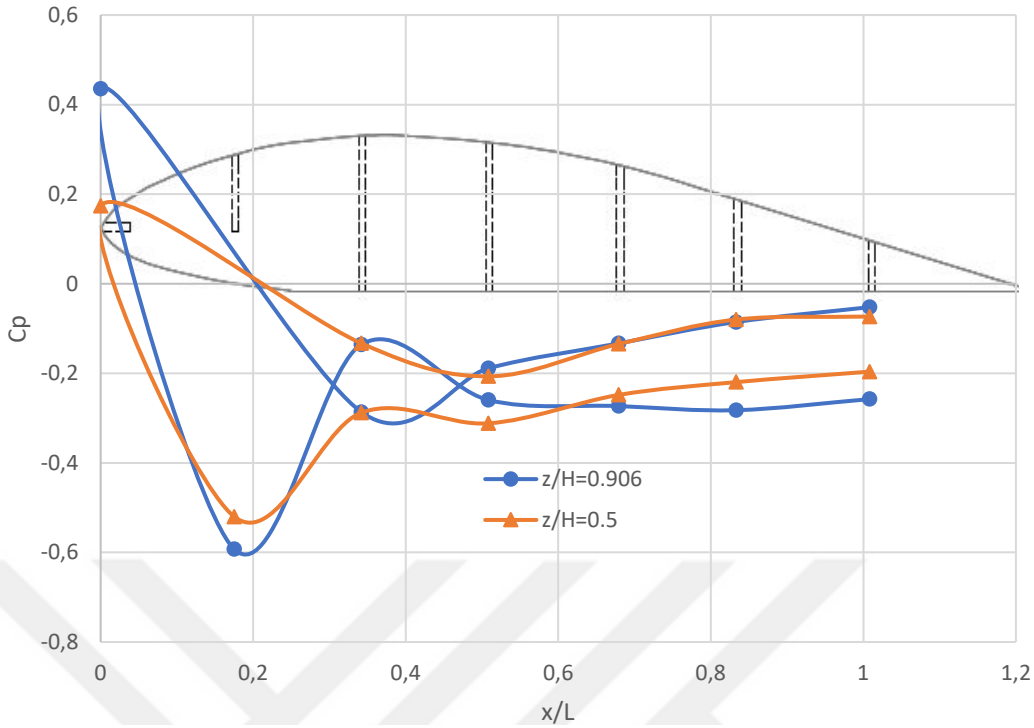
Kanat alt kısımlarındaki basınç katsayıları x/L=0.341 noktasında z/H=0.906 ekseninde -0.195 ve z/H=0.5'te -0.266 olmaktadır. Basınç katsayıları sapma miktarı %36.41 olarak hesaplanmıştır. Kanat altı kısım ile kanat üstü kısım eksenlerdeki basınç katsayıları sapma miktarı %8.98 ile en düşük olarak tespit edilmiştir. z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı -0.119 ve z/H=0.5 ekseninde ise -0.130 olarak tespit edilmiştir. x/L=1.00 kanat altı kısımdaki noktada basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde -0.009 ve z/H=0.5 ekseninde 0.044 olmaktadır. Bu noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı ise %355.21'dir. Bu sapma miktarı -10° atak açısı ile $1.13*10^4$ Reynolds sayısındaki en yüksek basınç katsayıları sapma miktarı olmuştur.



Şekil 4.45. -10˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

Re=$1.13*10^4$ sayısı ile -20° kanat atak açısında yürütülen simülasyonlar sonucunda tespit edilen basınç katsayıları grafiği Şekil 4.46'da görülmektedir. Kanat x/L=0.00 noktasında basınç katsayıları değerleri z/H=0.906 ekseninde 0.435 iken z/H=0.5 ekseninde 0.173 olarak tespit edilmiştir. Kanat uç kısmı ile kanat orta kısımlardaki eksenlerde basınç katsayıları sapma miktarları %60.08'dir.

Maksimum kanat kalınlığındaki x/L=0.341 noktasında vorteks bölgesindeki z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı -0.135 ve z/H=0.5 ekseninde -0.287 olmaktadır. Hem kanat üst kısmı hem de kanat alt kısmındaki en yüksek basınç katsayısı sapma miktarı %112.10 ile x/L=0.341'de meydana gelmiştir. Kanat üst kısmı için tespit edilen en düşük sapma miktarı %9.12 ile x/L=0.679 noktasındadır. x/L=0.679 noktasında z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı -0.273 ve z/H=0.5'te -0.248 olduğu tespit edilmiştir. Akışın kanadı üst kısımdan terk ettiği x/L=1.00 noktasında z/H=0.906 ekseni ile z/H=0.5'teki basınç katsayıları sırasıyla -0.257 ve -0.196'dır. Bu noktada eksenlerdeki basınç katsayısı sapma miktarı %23.83'tür. Kanat alt kısımdaki en yüksek basınç katsayıları sapma miktarı kanadın alt kısım dramatik eğrisinin bittiği x/L=0.341 noktasında %53.57 olarak tespit edilmiştir. Bu miktar kanat alt kısmı için en yüksek miktardır. z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı -0.286 ve z/H=0.5'te -0.132'dir. x/L=0.679 noktasındaki eksenlerde basınç katsayısı z/H=0.906'da -0.133 ve z/H=0.5'te -0.134'tür. Kanat alt ve üst kısımları için -20° atak açısındaki en düşük sapma miktarı %1.02 olarak x/L=0.679 noktasında olduğu görülmüştür. Firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında z/H=0.906'daki basınç katsayısı -0.052 ve z/H=0.5'te -0.073 olmuştur. Bu noktadaki basınç katsayıları sapma miktarı ise %40.08'dir.

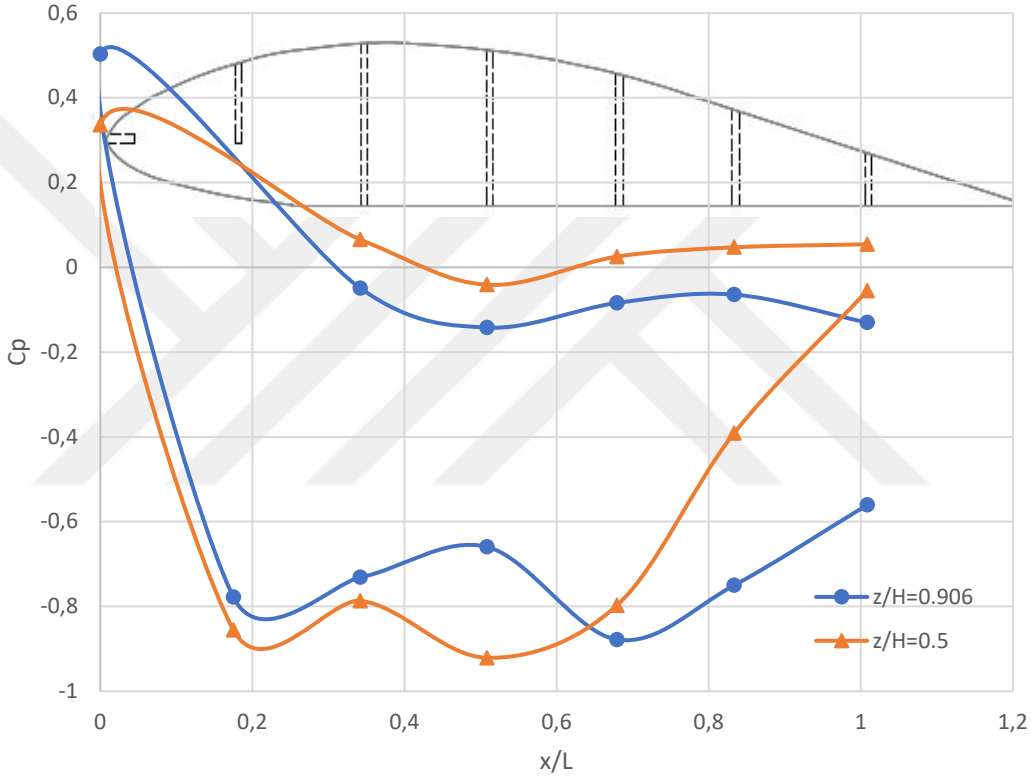


Şekil 4.46. -20˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği

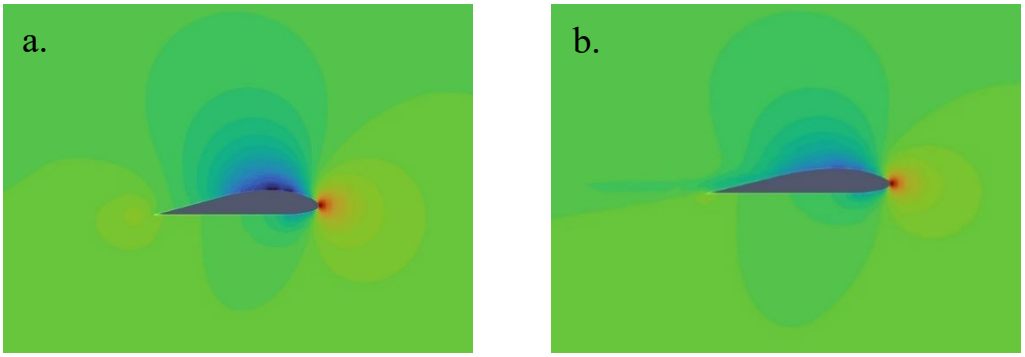
Şekil 4.47'de verilen grafikte görüldüğü gibi -30° kanat atak açısı ile $1.13*10^4$ Reynolds sayısındaki basınç katsayıları tespit edilmiştir. Kanat sıfır noktasında z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı 0.502 iken z/H=0.5 ekseninde 0.335'tir. x/L=0.00 noktasındaki basınç katsayıları sapma miktarı %33.16 miktarındadır. Kanat kambur eğrisinin yukarı trenddeki eğrisinde z/H=0.906 eksenindeki basınç katsayısı -0.777 ve z/H=0.5'te -0.855'tir. x/L=0.175 noktasında kanat ucundaki eksende ile orta kısımdaki eksendeki basınç katsayıları sapma miktarı %9.98 olarak bulunmuştur. $1.13*10^4$ Reynolds sayısı ile -30° kanat atak açısındaki en düşük basınç katsayısı sapma miktarı %7.57 olarak x/L=0.341 noktasındadır. Basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde -0.731 iken z/H=0.5'te -0.786 şeklindedir. Akışın kanadı üst kısımdan terk ettiği firar kenarındaki x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde -0.560 ve z/H=0.5 ekseninde -0.055 olarak bulunmuştur. -30° kanat hücum açısındaki en yüksek basınç katsayısı sapma miktarı %90.13 ile bu noktada tespit edilmiştir.

Kanat alt kısımdaki x/L=0.341 noktasında kanat uç kısımdaki vorteks bölgesinde bulunan z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı -0.048 ve z/H=0.5'te 0.065

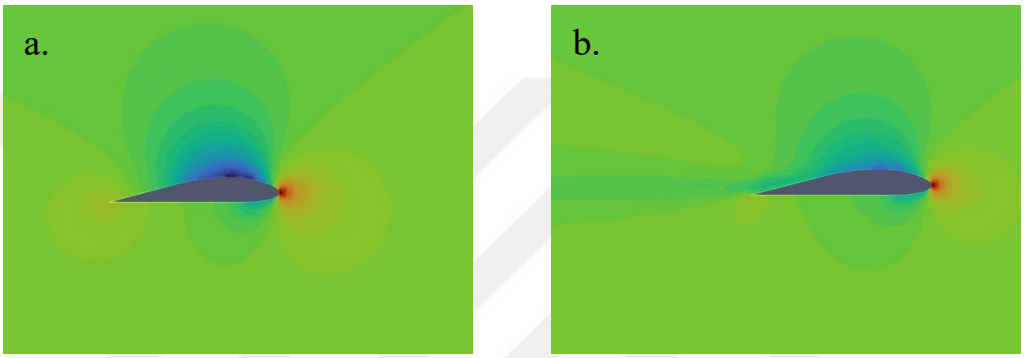
olarak tespit edilmiştir. x/L=0.341 noktasındaki eksenlerde basınç katsayısı sapma miktarı %34.33'tür. %71.10 ile kanat alt kısmında maksimum sapma miktarının kanat alt kısmı x/L=0.508 noktasında z/H=0.906 ekseninde basınç katsayısı -0.141 ve z/H=0.5 ekseninde ise -0.041 şeklindedir. x/L=0.833 noktasında basınç katsayıları z/H=0.906 ekseninde -0.064 ve z/H=0.5 ekseninde 0.047'dir. Kanat alt kısmındaki en düşük basınç katsayısı sapma miktarı %26.62 ile x/L=0.833 noktasında tespit edilmiştir.



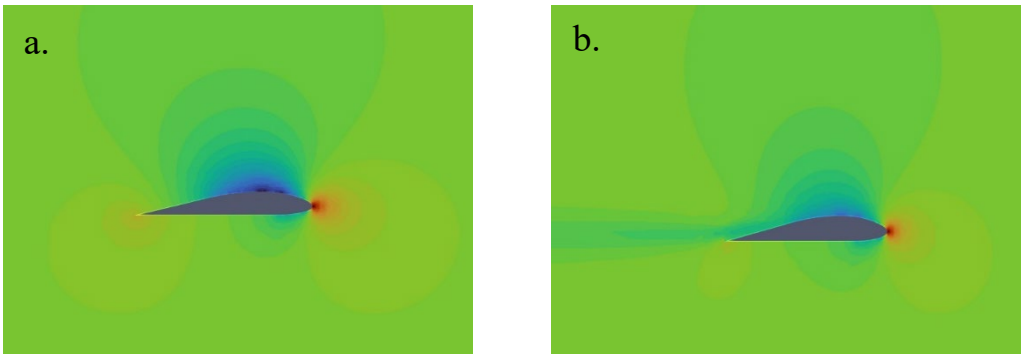
Şekil 4.47. -30˚ atak açısı ve 10 m/s hızında basınç katsayısı(Cp) Grafiği



Şekil 4.48. 0° atak açısı 5 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı



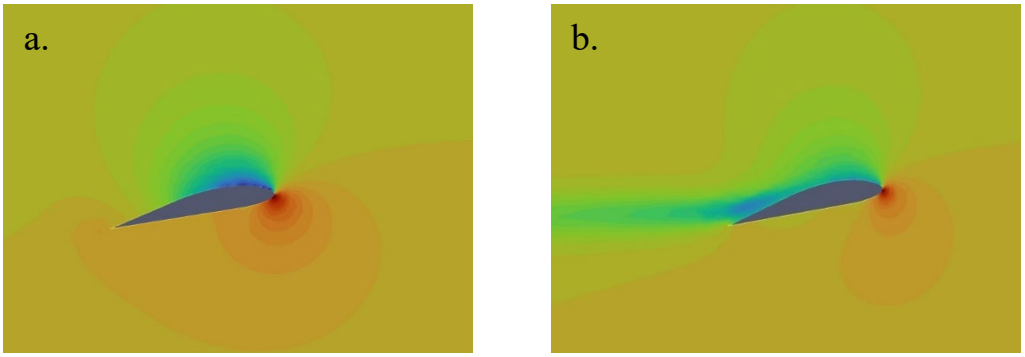
Şekil 4.49. 0° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı



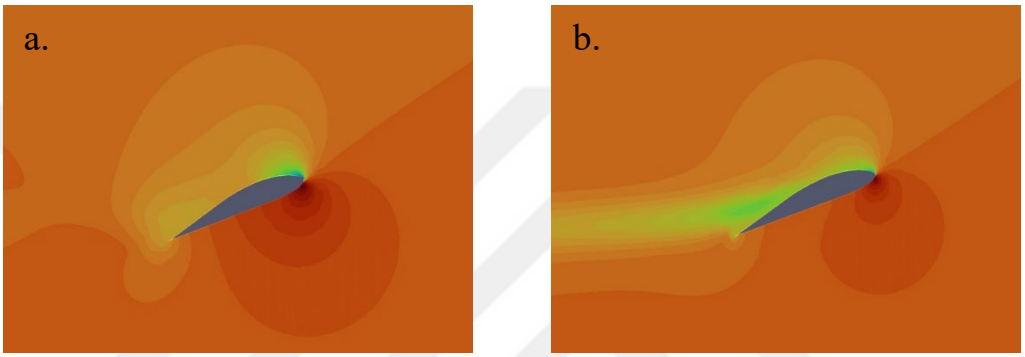
Şekil 4.50. 0° atak açısı 20 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı



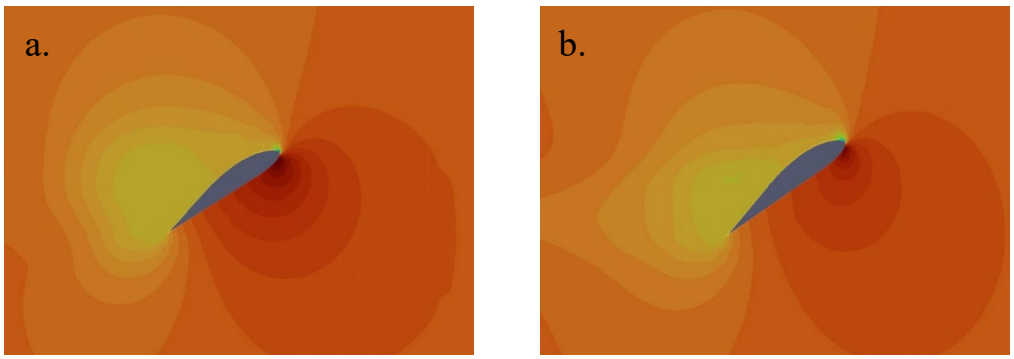
NACA 2415 kanat profili üzerinde yürütülen simülasyonlarda Şekil 4.48, 4.49 ve 4.50'de z/H=0.5 (a) ile z/H=0.906 (b) eksenleri xy düzleminde basınç katsayıları dağılımları verilmiştir.



Şekil 4.51. 10° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı



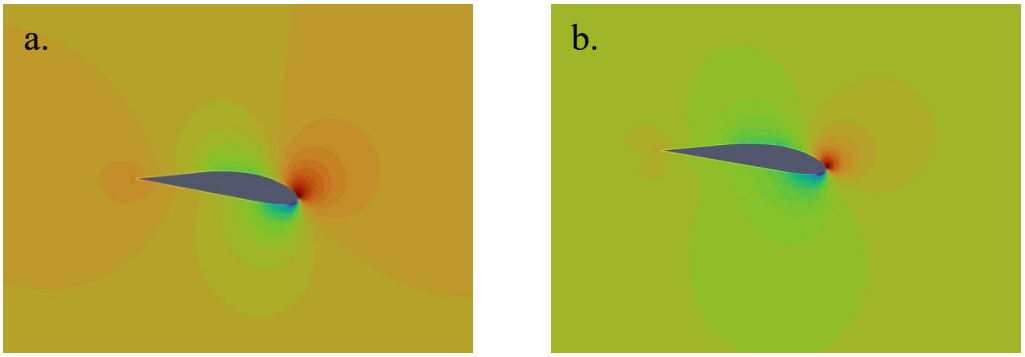
Şekil 4.52. 20° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı



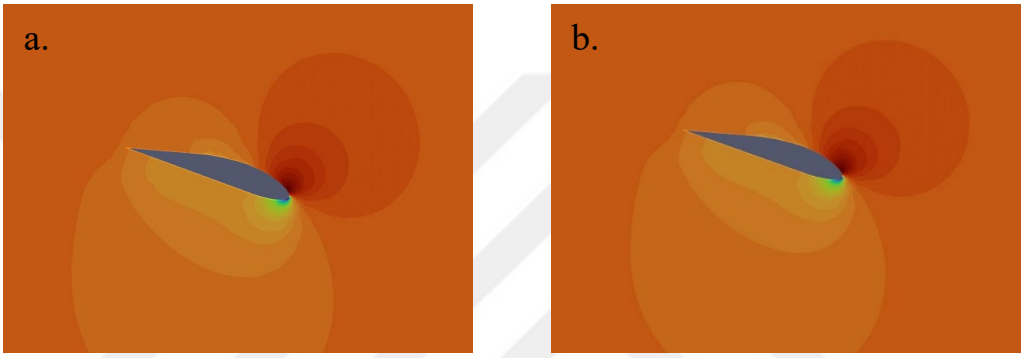
Şekil 4.53. 30° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı



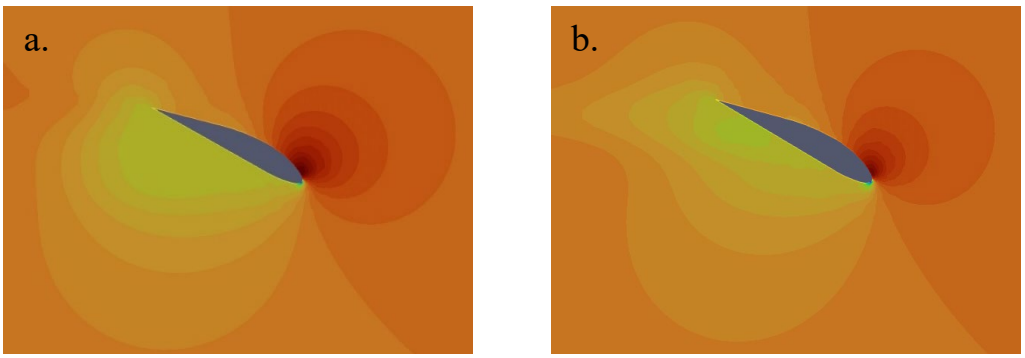
Şekil 4.51, 4.52 ile 4.53'te görüldüğü üzere 10°, 20°, 30° atak açıları $1.13*10^4$ Reynolds sayısında gerçekleştirilen simülasyonlarda z/H=0.5 (a) ile z/H=0.906 (b) eksenleri xy düzleminde basınç katsayıları dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.54. -10° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı



Şekil 4.55. -20° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı



Şekil 4.56. -30° atak açısı 10 m/s hızı (a) z/H=0.5 ve (b) z/H=0.906 eksenlerinde xy düzleminde basınç katsayısı dağılımı



Reynolds sayısı $1.13*10^4$ ile -10°, -20°, -30° kanat atak açılarındaki basınç grafikleri simülasyon sonuçları xy düzleminde (a)z/H=0.5 ve (b)z/H=0.906 eksenleri Şekil 4.54, 4.55, 5.56'da görülmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tezde, deneysel çalışmalarda 13 farklı atak açısı, nümerik analizlerde 7 farklı atak açısı ve $Re=5.6*10^3$, $1.13*10^4$ ve $2.26*10^4$ sayılarında kanat uç vortekslerinin NACA 2415 kanat profilinin basınç dağılımında etkisi deneysel ve nümerik ölçümler ile araştırılmıştır. Bu amaçla, kanadın biri tam ortasında (Kanat uç vortekslerinin dışındaki bölge) diğeri kanatın serbest ucuna yakın iki eksende basınç ölçümleri alınmıştır.

Şekil 4.8'deki grafikte anlaşılacağı gibi bütün çalışma boyunca en yüksek sapma miktarı %138646.95 ile yüksek basınç bölgesinde $Re=2.26*10^4$ sayısı ve x/L=0.679 noktasında meydana gelmiştir. Çalışmanın bütününde basınç katsayıları sapma miktarları kanat alt kısımda, x/L=0.679 ve x/L=0.833 noktalarında en yüksek miktarda olduğu görülmüştür.

En düşük sapma miktarı %0.01 ile 0° atak açısı $Re=1.13*10^4$ sayısında kanat sıfır noktası x/L=0.00'da meydana gelmiştir. x/L=0.00 noktasındaki basınç katsayıları sapma miktarı en düşük sapma miktarı olmakla beraber $Re=5.6*10^3$, $2.26*10^4$' te görece yüksek miktarlarda iken $1.13*10^4$ Reynolds sayısında düşük miktardadır.

Çizelge 5.1'de görüldüğü üzere, serbest akış hızı ile atak açısı arttıkça kanat alt kısımlarda basınç katsayıları sapma miktarı artış gösterirken, akışın kanadı alt ve üst kısımdan terk ettiği x/L=1.00 noktasında basınç katsayıları miktarı düşerek kanat üst kısmındaki aynı basınç noktasına yakın değerlerde olmaktadır.

0° aralığı 10° ve 0° aralığındaki -10° atak açılarında basınç katsayıları sapma miktarı artış trendinde iken 15° aralığı 30° ile -15° ve -30° aralıklarında azalma trendindedir.

Kanat atak yönü yukarı (pozitif) yöndeyken kanat alt kısmında oluşan basınç katsayıları sapma miktarı yüksek miktardayken, kanat yönü aşağı(negatif) yönde ise

kanat üst kısımlarında oluşan sapma miktarları yüksek miktarda olduğu Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.1. Kanat x/L=1.00 noktasındaki basınç katsayıları sapma miktarı

	0°	5°	10°	20°	30°	-5°	-10°	-20°	-30°
Kanat Alt Kısmı	%49.93	%13.55	%34.79	%30.18	%17.42	%8.39	%92.49	%55.68	%414.26
Kanat Üst Kısmı	%26.05	%3.18	%2.68	%12.05	%5.96	%90.89	%37.93	%175.67	%458.61

Kanat sıfır noktasında basınç katsayıları sapma miktarı $5.56*10^3$ ve $2.26*10^4$ Reynolds sayılarında yüksek miktarda iken $1.13*10^4$ Reynolds sayılarında düşük miktarda olduğu Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.2. Kanat x/L=0.00 noktasında üç farklı Reynolds sayısı z/H=0.5 ve x/L=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarları

Re	0°	5°	10°	20°	30°	-5°	-10°	-20°	-30°
$5.56*10^3$	%1.27	%3.02	%1.96	%3.13	%1.72	%4.73	%1.61	%4.53	%5.03
$1.13*10^4$	%0.01	%0.87	%0.32	%0.52	%5.22	%0.04	%0.29	%10.71	%7.60
$2.26*10^4$	%1.14	%1.87	%1.26	%2.45	%9.06	%1.54	%1.25	%8.36	%6.22

Şekil 4.48, 4.49 ve 4.50'de de görüldüğü gibi 0° atak açısındaki kanat üzerinde serbest akış hızı artıyorken, eksenlerdeki basınç katsayısı farkı artmaktadır. Yine Şekil 4.51, 4.52 ve 4.53'te Reynolds sayısı ile atak açısı arttıkça basınç arttığı Çizelge 5.3'teki sapma miktarından da görülmektedir.

Çizelge 5.3. Kanat x/L=0.679 noktasında üç farklı Reynolds sayısı ile z/H=0.5 ve z/H=0.906 eksenlerindeki basınç katsayıları sapma miktarları

Re	0°	10°	20°	30°	-10°	-20°	-30°
$5.56*10^3$	%219.6	%57.79	%74.41	%321.3	%85.33	%343.54	%162.37
$1.13*10^4$	%1418.08	%633.30	%765.96	%731.60	%820.73	%251.86	%126.14
$2.26*10^4$	%6221.64	%138646.95	%7390.22	%4964.95	%48104.50	%4033.88	%5887.31

Şekil 4.54, 4.55, 4.56 ve Şekil 4.51, 4.52 ve 4.53 görüleceği üzere atak yönü yukarı (pozitif) iken kanat üzerinde oluşan basınç değeri, kanatın aşağı yöndeyken ki (negatif) değerlerinde daha yüksektir.

Çizelge 5.4. Üç farklı Reynolds sayısı 7 atak açısında sürüklenme ve kaldırma katsayıları ile kuvvetleri

	F_D	F_L	C_D	C_L
Re=5.56*10^3 0° Atak Açısı	0,0070389	0,089027	2,6969E-05	0,000220201
Re=1.13*10^4 0° Atak Açısı	0,0294204	0,404764	2,8181E-05	5,50501E-05
Re=2.26*10^4 0° Atak Açısı	0,12104	1,74007	2,8985E-05	1,37625E-05
Re=2.26*10^4 10° Atak Açısı	0,0885974	1,01363	8,5089E-05	5,53417E-05
Re=2.26*10^4 20° Atak Açısı	0,157191	1,17608	0,00014998	5,46203E-05
Re=2.26*10^4 30° Atak Açısı	0,139869	1,11984	0,00013433	5,53394E-05
Re=2.26*10^4 -10° Atak Açısı	0,0380836	-0,19332	3,6575E-05	5,53407E-05
Re=2.26*10^4 -20° Atak Açısı	0,0892387	-0,5775	8,5675E-05	5,53033E-05
Re=2.26*10^4 -30° Atak Açısı	0,129052	-0,63753	0,00012394	5,53427E-05

Çizelge 5.4'te 5.56*10^3, 1.13*10^4 ve 2.26*10^4 Reynolds sayılarında 7 farklı atak açısında yürütülen simülasyonlar sonucunda elde edilen kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri ile kaldırma ve sürüklenme katsayıları grafiği görülmektedir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere Reynolds sayılarındaki artışla paralelinde kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerinde de artış olmaktadır. Tanımlanan koordinat sisteminde pozitif yöndeki kaldırma kuvvetlerinde pozitif değerde iken eksi yönde kalan atak açılarında kaldırma kuvvetinin eksi değerde olduğu göze çarpmaktadır.

Verilen tüm sonuçlarda çarpıcı şekilde görülmektedir ki atak açısı ile serbest akış hızı artmasıyla beraber kanat üzerindeki basınç artmakta ve paralel olarak kanat uç kısımlarında oluşan vorteks miktarında artış olmaktadır.

Farklı kanat uçları tasarımlarıyla yüksek basınç bölgesinden düşük basınç bölgesine geçişler dengelenerek, kanat uçlarında oluşan vorteks sayısı düşürebilir.

İnsansız Hava Araçlarının en önemli parçası kanatlar üzerindeki çalışmalar arttırılmalı, literatür genişletilmelidir.

KAYNAKLAR

AHMADI-BALOUTAKI, M., CARRIVEAU, R. and TING, D. S. K., 2015. An experimental study on the interaction between free-stream turbulence and a wing-tip vortex in the near-field. Aerospace Science and Technology, 43: 395–405. Elsevier Masson.

ALDHEEB, M., ASRAR, W., OMAR, A., ALTAF, A. and SULAEMAN, E., 2020. Effect of a directionally porous wing tip on tip vortex. Journal of Applied Fluid Mechanics, 13: 651–665. Isfahan University of Technology.

BAILEY, S. C. C., TAVOULARIS, S. and LEE, B. H. K., 2012. Effects of Free-Stream Turbulence on Wing-Tip Vortex Formation and Near Field., 43: 1282–1291. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc.

BOUSSINESQ, M., J., 1885, "Application des potentiels a l'etude de l'equilibre et du mouvement des solides elastiques, principalement au calcul des deformations et des pressions que produisent, dans ces solides, des efforts quelconques exerces sur une petite partie de leur surface ou de leur interieur: Memoire suivi de notes etendues sur divers points de physique mathematique et d'analyse," GauthierVillars, Paris, pp. 722.

BENINATI, M. L. and MARSHALL, J. S., 2005. An experimental study of the effect of free-stream turbulence on a trailing vortex. Experiments in Fluids, 38: 244–257.

BERNOULLI, J. 1742. 'Hydraulica nunc primum detecta ac demonstrata directe ex fundamentis pure mechanicis. Anno 1732', in his Opera omnia, vol. 4, Lausanne et Genève: Bousquet, 387–488. [Repr. Hildesheim: Olms, 1968.]

BEN MILOUD, K., DGHIM, M., FELLOUAH, H. and FERCHICHI, M., 2020. Free-stream turbulence interaction with a wing-tip vortex. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 206: 104211. Elsevier.

BHAT, S. S. and GOVARDHAN, R. N., 2013. Stall flutter of NACA 0012 airfoil at low Reynolds numbers. Journal of Fluids and Structures, 41: 166–174. Academic Press.

DAJANI, S., SHEHADEH, M., SAQR, K. M., ELBATRAN, A. H., HART, N., SOLIMAN, A. and CHESHIRE, D., 2017. Numerical Study for a Marine Current Turbine Blade Performance under Varying Angle of Attack. Energy Procedia, 119: 898–909. Elsevier.

DEVENPORT, W. J., RIFE, M. C., LIAPIS, S. I. and FOLLIN, G. J., 1996. The structure and development of a wing-tip vortex. Journal of Fluid Mechanics, 312: 67–106. Cambridge University Press.

DEVINANT, P., LAVERNE, T. and HUREAU, J., 2002. Experimental study of wind-turbine airfoil aerodynamics in high turbulence. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90: 689–707.

DWIVEDI, Y. D., WAHAB, A., PALLAY, A. D. and SHESHAM, A., 2022. Effect of surface roughness on aerodynamic performance of the wing with NACA 4412 airfoil at Reynolds number 1.7 × 105. Materials Today: Proceedings, 56: 468–476. Elsevier.

DI ILIO, G., CHIAPPINI, D., UBERTINI, S., BELLA, G. and SUCCI, S., 2018. Fluid flow around NACA 0012 airfoil at low-Reynolds numbers with hybrid lattice Boltzmann method. Computers & Fluids, 166: 200–208. Pergamon.

FIRATOĞLU, Z. A., İLHAN, Y., KESKİN and H., IŞIKER, Y., 2021. Investigation of Flow Field Around a NACA Airfoil with OpenFoam and Fluent CFD Software. Journal of Aeronautics and Space Technologies, 14 (1): 9-18.

FLORES-MEZARINA, J. A., BRAVO-MOSQUERA, P. D., RIBEIRO, D. G. and CERÓN-MUÑOZ, H. D., 2021. Performance effects of winglets with leading edge protuberances on a rectangular wing. AIAA Scitech 2021 Forum, 1–11. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, AIAA.

GEHLERT, P., CHERFANE, Z., CAFIERO, G. and VASSILICOS, J. C., 2021. Effect of Multiscale Endplates on Wing-Tip Vortex. https://doi.org/10.2514/1.J059878, 59:. American Institute of Aeronautics and Astronautics.

GIUNI, M. and GREEN, R. B., 2013. Vortex formation on squared and rounded tip. Aerospace Science and Technology, 29: 191–199. Elsevier Masson.

GÖV, I., DOĞRU, M. H. ve KORKMAZ, Ü., 2019. Uçuş esnasında değiştirilebilir kanat profili kullanarak NACA 4412'nin aerodinamik performansının artırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34: 1109–1126. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık.

İZOL, S., 2019. Güneş panelleri üzerine gelen rüzgâr yüklerinin deneysel ve nümerik araştırılması. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 21-21s.

JAROSLAWSKI, T., FORTE, M., MOSCHETTA, J. M., DELATTRE, G. and GOWREE, E. R., 2022. Characterisation of boundary layer transition over a low Reynolds number rotor. Experimental Thermal and Fluid Science, 130: 110485. Elsevier.

JONES, G., SANTER, M. and PAPADAKIS, G., 2018. Control of low Reynolds number flow around an airfoil using periodic surface morphing: A numerical study. Journal of Fluids and Structures, 76: 95–115. Academic Press.

JUTUR, P., BARMAN, D. and GOVARDHAN, R. N., 2022. Low Reynolds number stall flutter of a linear cascade with large amplitudes at low reduced frequencies: Unsteady loads and flow features. Journal of Fluids and Structures, 109: 103490. Academic Press.

LEE, T., 2016. Impact of Gurney Flaplike Strips on the Aerodynamic and Vortex Flow Characteristic of a Reverse Delta Wing. Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME, 138:. American Society of Mechanical Engineers (ASME).

LEE, T. and HE, S. M., 2018. The trailing vortices generated by a reverse delta wing with different wing configurations. Aerospace Science and Technology, 82–83: 378–393. Elsevier Masson.

LIANG, Z. C. and XUE, L. P., 2014. Detached-eddy simulation of wing-tip vortex in the near field of NACA 0015 airfoil. Journal of Hydrodynamics, Ser. B, 26: 199–206. No longer published by Elsevier.

NARAYAN, G. and JOHN, B., 2016. Effect of winglets induced tip vortex structure on the performance of subsonic wings. Aerospace Science and Technology, 58: 328–340. Elsevier Masson.

OCKFEN, A. E. and MATVEEV, K. I., 2009. Aerodynamic characteristics of NACA 4412 airfoil section with flap in extreme ground effect. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 1: 1–12. Elsevier.

RAMANAN, G., RADHA KRISHNAN, P. and RANJAN, H. M., 2021. An aerodynamic performance study and analysis of SD7037 fixed wing UAV airfoil. Materials Today: Proceedings, 47: 2547–2552. Elsevier.

ŠIDLOF, P., VLČEK, V. and ŠTĚPÁN, M., 2016. Experimental investigation of flow-induced vibration of a pitch–plunge NACA 0015 airfoil under deep dynamic stall. Journal of Fluids and Structures, 67: 48–59. Academic Press.

SOHN, M. H. and CHANG, J. W., 2012. Visualization and PIV study of wing-tip vortices for three different tip configurations. Aerospace Science and Technology, 16: 40–46. Elsevier Masson.

ŞUGAR GABOR, O., KOREANSCHI, A. and BOTEZ, R. M., 2016. A new non-linear vortex lattice method: Applications to wing aerodynamic optimizations. Chinese Journal of Aeronautics, 29: 1178–1195. Elsevier.

SYAM NARAYANAN, S., AHMED, R. A., VARSHINI, M. E., RAO, V. B. and KYATHISWAR, S., 2022. One-way fluid-material interaction study on a plunging UAV wing. Materials Today: Proceedings, 55: 316–320. Elsevier.

VECCHIA, P. Della, MALGIERI, D., NICOLOSI, F. and DE MARCO, A., 2018. Numerical analysis of propeller effects on wing aerodynamic: tip mounted and distributed propulsion. Transportation Research Procedia, 29: 106–115. Elsevier.

ZHANG, X., WANG, Z. and GURSUL, I., 2016. Interaction of multiple vortices over a double delta wing. Aerospace Science and Technology, 48: 291–307. Elsevier Masson SAS.

ZHANG, Y., YAN, C., CHEN, H. and YIN, Y., 2020. Study of riblet drag reduction for an infinite span wing with different sweep angles. Chinese Journal of Aeronautics, 33: 3125–3137. Elsevier.

ZHOU, T., DOWELL, E. and FENG, S., Shan, 2019. Computational investigation of wind tunnel wall effects on buffeting flow and lock-in for an airfoil at high angle of attack. Aerospace Science and Technology, 95: 105492. Elsevier Masson.

ZHOU, Y. and WANG, Z. J., 2012. Effects of surface roughness on separated and transitional flows over a wing. AIAA Journal, 50: 593–609.