



**T. C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR AIRFOİL ÜZERİNDEKİ AKIŞ AYRILMASININ KANAT ÜZERİNE
AÇILAN BOŞLUKLA KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet ÇOBAN

(201392091020)

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Adnan ÖZTÜRK

SİVAS

OCAK 2019

Mehmet ÇOBAN'ın hazırladığı ve “**BİR AIRFOİL ÜZERİNDEKİ AKIŞ AYRILMASININ KANAT ÜZERİNE AÇILAN BOŞLUKLA KONTROLÜ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı Dr.Öğr.Üyesi Adnan ÖZTÜRK
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi Doç.Dr. Cahit GÜRLEK
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi Doç.Dr. Coşkun ÖZALP
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof.Dr. İsmail ÇELİK

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu(Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

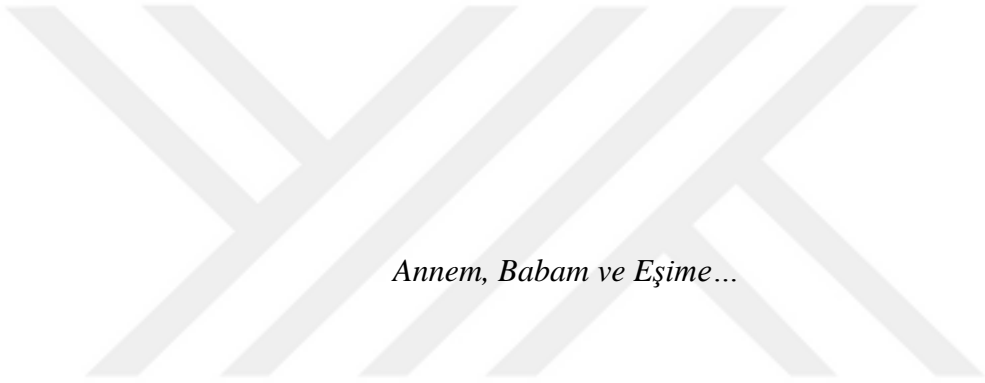




Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Mehmet ÇOBAN, 2019



Annem, Babam ve Eşime...

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu(Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

01.01.2019

Mehmet ÇOBAN

TEŞEKKÜR

İlk günden son güne kadar bilgi ve tecrübelerinden sürekli faydalandığım, tezin her aşamasında yardımını esirgemeyen değerli danışman hocam Sn.Dr.Öğr. Üyesi Adnan ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Bu tezdeki deneysel çalışmalarda deneyin yapılışından en son aşamadaki grafik düzenlemesine kadar bana bilgi ve tecrübeleri ile katkı sağlayan ve akademik öğrenimim boyunca beni destekleyen değerli hocam Doç.Dr. Cahit GÜRLEK'e teşekkür ederim.

Bu çalışmadaki tüm nümerik analizlerin gerçekleştirilmesi ile ilgili her türlü konuda desteği veren ve bilgi birikimini esirgemeyen, tavsiyeleri ile yol gösteren değerli hocam Doç.Dr.Kürşad Melih GÜLEREN'e teşekkür ederim.

Deneysel analizlerin yapılması için kapılarını açan ve misafirperverlik gösteren ve her türlü kaynağı sağlayan Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında olduğu gibi bu çalışmada da sayısız desteğini gördüğüm, arkadaştan öte kardeş bildiğim değerli dostum Arş.Gör.Mustafa CANER'e teşekkür ederim.

Haklarını nasıl ödeyeceğimi bilmediğim, dün bugün ve yarın her zaman desteklerini esirgemeyecek olan değerli babam Ekrem ÇOBAN ve annem Emine ÇOBAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Sivas'ta bulunduğum süre zarfında beni sürekli destekleyen değerli anne yarım Sevda TAŞPINAR'a ve kıymetli dayım Doğan YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Çalışmamın ilk günlerinde bilmeden adını andığım, son günlerinde ise nikah masasına oturduğum değerli hayat arkadaşım Elif ÇOBAN'a teşekkür ederim.

ÖZET

BİR AIRFOİL ÜZERİNDEKİ AKIŞ AYRILMASININ KANAT ÜZERİNE AÇILAN BOŞLUKLA KONTROLÜ

Mehmet ÇOBAN

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Adnan ÖZTÜRK

2019, 126+xxii sayfa

Rüzgar türbini, jet motorları, hava taşıtları gibi geniş kullanım alanlarına sahip olan kanatlarının geliştirilmesi, kullanıldığı yerlerdeki verimliliğin artırılması açısından önemlidir. Kanat verimliliğini arttırmaya yönelik yapılan çalışmalardan birisi kanat üstü akış araştırmalarıdır. Kanat üstü akış, özellikle kanadın farklı hız ve hücum açılarında kaldırma ve direnç karakteristiğinin belirlenmesi açısından önemlidir. Literatürde kanat üstü akışı kontrol edebilmek için yapılan çalışmalar aktif ve pasif kontrol yöntemleri olarak ikiye ayrılmıştır. Aktif akış kontrol yöntemleri akışı kontrol edebilmek için bir mekanizmanın kullanıldığı, pasif akış kontrol yöntemleri de akışın yüzey geometrisini kullanılarak uygulanan kontrol yöntemleridir.

Bu çalışmada, pasif akış kontrol yöntemi kullanılarak 165 mm kiriş uzunluğuna sahip üç farklı kanat profilinde 2 boyutta deneysel ve nümerik akış analizi yapılmıştır. Kullanılan kanatlardan ilki standart NACA 0018 kanat profilidir. İkinci tip kanat, üst yüzeyine boşluk açılmış NACA 0018 profiline sahip kanattır. Son kanat profili ise kiriş hizasından firar kenarının %66'sı kesilmiş NACA 0018 kanat profilidir.

Deneysel çalışmalarda analizi yapılan kanat profilleri alüminyumdan imal edilmiş olup, lazer ışığında parlamayı engellemek amacıyla mat siyah renkte boyanmıştır. Deneysel, kapalı çevrim çalışan açık su kanalında PIV(Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda $Re=20.000$ 'de yüksek ve düşük hücum açılarında akış alanının zaman ortalamalı hız vektörleri, akım çizgileri ve girdap eş eğrileri elde edilmiştir.

Nümerik analizler ise literatürde sık kullanılan HAD(Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) programlarından biri olan ANSYS Fluent 14.5 kullanılarak yapılmıştır. Tüm kanat profilleri $Re=20.000$ ve $Re=100.000$ sayılarında ve $\alpha=0^\circ, 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 6^\circ, 7^\circ, 8^\circ, 9^\circ, 10^\circ, 11^\circ, 12^\circ, 13^\circ, 14^\circ, 15^\circ$ hücum açılarında analiz edilmiştir. Türbülans modeli olarak Standart $k - \omega$ modeli tercih edilmiştir. Analizler sonucunda kanat profillerine ait akım çizgileri ve basınç konturları aynı Re sayısı ve farklı hücum açılarında ve aynı hücum açıları ve farklı Re sayılarında görsel olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca kanat profillerinin kendi aralarında ve farklı profiller arasındaki kaldırma katsayısı C_L , direnç katsayısı C_D , ve kaldırma katsayısının direnç katsayısına oranı C_L/C_D grafikleri ve sayısal ifadeleri de literatüre sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: PIV, HAD, Kanat Profili, NACA 0018, Pasif Akış Kontrolü

ABSTRACT

CONTROL OF FLOW SEPERATION ON AN AIRFOIL WITH CAVITY

Mehmet ÇOBAN

Master of Science Thesis

Department of Mechanical Engineering

Supervizor: Asst.Prof. Adnan ÖZTÜRK

2019, 126+xxii pages

Improvement of airfoils widely used in such as wind turbine, jet engine, air vehicle etc. is important in terms of increasing of efficient in the place of use. Investigations of flow on airfoil are one of the researches aimed for increasing of airfoil efficiency. Flow on airfoil is important for the determination of drag and lift characteristic particularly in angle of attack and different speeds. In the literature, researches about controls of flow on airfoil are divided into two category as active and pasive flow control methods. While a mechanism is used in active flow control to control the flow, passive flow control is applied by using of the own geometry of the airfoil.

In this study, three different type of airfoil having 165 mm cord length have been investigated in 2D both numerically and experimentally by using passive flow control method. First type of the airfoil is standard NACA 0018. The second one is NACA 0018 with cavity on upper surface. The last one is NACA 0018 removed %66 trailing edge to leading edge on upper surface.

The airfoils utilized in the experimental researches have been manufactured from aluminium and painted matt black in order to avoid laser luminescence. The experiments were made in open water canal working close cycle by using of PIV(Particle Image Velocimetry) method. As result, vorticity contour, time oriented speed vectors and streamline images in $Re=20.000$ and low and high angle of attacks have been obtained from the experiments.

Numerical analyzes were made by using of ANSYS Fluent 14.5 which is one of frequently used CFD(Computational Fluid Dynamic) softwares in the literature. All type of airfoils have been analyzed at $\alpha=0^\circ, 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 6^\circ, 7^\circ, 8^\circ, 9^\circ, 10^\circ, 11^\circ, 12^\circ, 13^\circ, 14^\circ, 15^\circ$ angle of attack and $Re=20.000$ ve $Re=100.000$. As turbulence model, Standart $k - \omega$ turbulence model was preffered. As result, Streamline and pressure contour imagines have been visually compared at some Re number and different angle of attack and at different Re number and sama angle of attack. Besides lift coefficient C_L , drag coefficient C_D and lift & drag coefficient ratio C_L/C_D graphics between the each other and the different airfoils are presented to the literature.

Keywords: PIV, CFD, Airfoil, NACA 0018, Passive Flow Control



İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xx
SİMGELER DİZİNİ	xxi
KISALTMALAR DİZİNİ	xxii
1.GİRİŞ	1
1.1.Çalışmanın Amacı.....	2
1.2.Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	2
2.GENEL BİLGİLER	8
2.1.Akışkan Kavramı	8
2.1.1.Akış Çeşitleri Nelerdir?	8
2.3.Bir Kanat Üzerine Etkiyen Kuvvetler	9
2.3.1.Bernoulli Prensibi	11
2.3.2.Tutunma Kaybı, C_L ve C_D	12
3.DENEYSEL ÇALIŞMA	15
3.1.Parçacık Görüntülü Hız Ölçüm Yöntemi (PIV)	15
3.2. Parçacık Görüntülü Hız Ölçüm Yöntemi (PIV)'nin Prensipleri.....	16
3.2.1.İz Yapıcı Parçacıkların Akışa Eklenmesi	18
3.2.2.Aydınlatma.....	19
3.2.3.Görüntü Yakalama.....	19
3.2.4.Korelasyon İşlemi.....	20
3.3.Elde Edilen Deney Sonuçlarının İşlenme Adımları.....	21
3.4.Deneyde Kullanılan Kanat Modelleri	22
3.5.Kullanılan Deney Düzeneği	24
3.5.1.Deneyin Yapılışı.....	25
3.6.Deney Sonuçları.....	27
3.6.1.Hız Vektörlerin Karşılaştırılması	28
3.6.2.Akım Çizgilerinin Karşılaştırılması	33
3.6.3.Girdap Konturların Karşılaştırılması	38
4.NÜMERİK ÇALIŞMA	43
4.1.Temel Denklemler	43
4.1.1.Kütlenin Korunumu	43
4.1.2.Momentum Denklemleri.....	43
4.1.3.Türbülans Modeli Seçimi.....	44
4.1.3.1. $k - w$ Türbülans Modeli ve Transport Denklemleri	44
4.2.Modellerin Oluşturulması.....	45
4.2.1.Modellerin Sayısal Ağ Yapısı	46
4.2.1.1.Sayısal Ağ Yapısının Doğrulanması	50
4.2.2.Sınır Koşulları	50
4.3.Re=20.000 İçin Modellerin Analizleri	51
4.3.1.Akım Çizgilerinin Karşılaştırılması	52

4.3.2. Basınç Konturlarının Karşılaştırılması	60
4.3.3. C_L , C_D ve C_L/C_D Sonuçları	69
4.4. $Re=100.000$ İçin Modellerin Analizleri	72
4.4.1. Akım Çizgilerinin Karşılaştırılması	73
4.4.2. Basınç Konturlarının Karşılaştırılması	81
4.4.3. C_L , C_D ve C_L/C_D Sonuçları	90
4.5. Farklı Açılı ve Re Sayılarında Aynı Modele Ait Sonuçların Karşılaştırılması	93
4.5.1. NACA 0018 Modeli Akım Çizgileri	93
4.5.1.1. C_L , C_D ve C_L/C_D Sonuçları	98
4.5.2. Boşluklu NACA 0018 Modeli Akım Çizgileri	101
4.5.2.1. C_L , C_D ve C_L/C_D Sonuçları	105
4.5.3. Basamaklı NACA 0018 Modeli Akım Çizgileri	108
4.5.3.1. C_L , C_D ve C_L/C_D Sonuçları	112
5. DENEYSEL VE NÜMERİK ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	116
5.1. Standart NACA 0018 Modeli	116
5.2. Boşluklu NACA 0018 Modeli	118
5.3. Basamaklı NACA 0018 Modeli	119
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	122
KAYNAKLAR	125
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Akış türleri.....	9
Şekil 2.2 Uçağa etkiyen kuvvetler.....	10
Şekil 2.3 Bernoulli denkleminin kanat üzerinde uygulanışı.....	12
Şekil 2.4 C_L değerinin hücum açısı ile değişimi.....	13
Şekil 2.5 C_D değerinin hücum açısı ile değişimi.....	14
Şekil 3.1 PIV tekniği temel işlem adımları.....	18
Şekil 3.2 Akış içerisindeki iz yapıcı parçacıklar.....	18
Şekil 3.3 Çapraz korelasyon işlemi temel prensibi.....	21
Şekil 3.4 Deneyde kullanılan NACA 0018 kanat modeli genel görünümü.....	22
Şekil 3.5 Deneyde kullanılan boşluklu kanat modeli genel görünümü.....	23
Şekil 3.6 Deneyde kullanılan boşluklu kanat modeli detay görünümü.....	23
Şekil 3.7 Deneyde kullanılan basamaklı kanat modeli genel görünümü.....	24
Şekil 3.8 Kapalı çevrim çalışan açık su kanalının şematik görünümü.....	25
Şekil 3.9 Boşluklu kanat modelinin su kanalına yerleştirilmiş hali.....	25
Şekil 3.10 Su kanalı, kamera, lazer kaynağı ve kanat şematik görüntüsü.....	26
Şekil 3.11 Hücum açısı $\alpha=0^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri.....	28
Şekil 3.12 Hücum açısı $\alpha=5^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri.....	29
Şekil 3.13 Hücum açısı $\alpha=10^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri.....	29
Şekil 3.14 Hücum açısı $\alpha=12^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri.....	30
Şekil 3.15 Hücum açısı $\alpha=14^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri.....	30
Şekil 3.16 Hücum açısı $\alpha=16^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri.....	31
Şekil 3.17 Hücum açısı $\alpha=18^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri.....	31
Şekil 3.18 Hücum açısı $\alpha=22^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri.....	32
Şekil 3.19 Hücum açısı $\alpha=24^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri.....	32
Şekil 3.20 Hücum açısı $\alpha=0^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	33
Şekil 3.21 Hücum açısı $\alpha=5^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	34
Şekil 3.22 Hücum açısı $\alpha=10^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	34
Şekil 3.23 Hücum açısı $\alpha=12^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	35
Şekil 3.24 Hücum açısı $\alpha=14^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	35
Şekil 3.25 Hücum açısı $\alpha=16^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	36
Şekil 3.26 Hücum açısı $\alpha=18^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	36

Şekil 3.27 Hücüm açısı $\alpha=22^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	37
Şekil 3.28 Hücüm açısı $\alpha=24^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	37
Şekil 3.29 Hücüm açısı $\alpha=0^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları.....	38
Şekil 3.30 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları.....	39
Şekil 3.31 Hücüm açısı $\alpha=10^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları.....	39
Şekil 3.32 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları.....	40
Şekil 3.33 Hücüm açısı $\alpha=14^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları.....	40
Şekil 3.34 Hücüm açısı $\alpha=16^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları.....	41
Şekil 3.35 Hücüm açısı $\alpha=18^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları.....	41
Şekil 3.36 Hücüm açısı $\alpha=22^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları.....	42
Şekil 3.37 Hücüm açısı $\alpha=24^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları.....	42
Şekil 4.1 C-H yapısı ve modelin konumlandırılması.....	46
Şekil 4.2 Genel Ağ Yapısı.....	47
Şekil 4.3 Ağ Yapısının Sıklaştığı Bölge.....	47
Şekil 4.4 Standart NACA 0018 modelinin yüzeye yakın kısmındaki sayısal ağ yapısı... 48	48
Şekil 4.5 Boşluklu NACA 0018'in boşluk ve yüzeye yakın yerdeki ağ yapısı.....	48
Şekil 4.6 Basamaklı NACA 0018'in basamak ve yüzeye yakın kısmının ağ yapısı.....	48
Şekil 4.7 Farklı hücre sayılarında $Re=100.000$ 'de C_L 'deki değişim.	49
Şekil 4.8 Farklı hücre sayılarında $Re=100.000$ 'de C_D 'deki değişim.....	49
Şekil 4.9 Model sonuçları ve Gerakopulos vd.(2010) sonuçlarının karşılaştırılması.....	50
Şekil 4.10 Hücüm açısı $\alpha=0^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri	52
Şekil 4.11 Hücüm açısı $\alpha=1^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	53
Şekil 4.12 Hücüm açısı $\alpha=2^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	53
Şekil 4.13 Hücüm açısı $\alpha=3^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	54
Şekil 4.14 Hücüm açısı $\alpha=4^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	54
Şekil 4.15 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	55
Şekil 4.16 Hücüm açısı $\alpha=6^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	55
Şekil 4.17 Hücüm açısı $\alpha=7^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	56
Şekil 4.18 Hücüm açısı $\alpha=8^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	56
Şekil 4.19 Hücüm açısı $\alpha=9^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	57
Şekil 4.20 Hücüm açısı $\alpha=10^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	57
Şekil 4.21 Hücüm açısı $\alpha=11^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	58
Şekil 4.22 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	58
Şekil 4.23 Hücüm açısı $\alpha=13^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	59

Şekil 4.24 Hücüm açısı $\alpha=14^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	59
Şekil 4.25 Hücüm açısı $\alpha=15^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	60
Şekil 4.26 Hücüm açısı $\alpha=0^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	61
Şekil 4.27 Hücüm açısı $\alpha=1^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	61
Şekil 4.28 Hücüm açısı $\alpha=2^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	62
Şekil 4.29 Hücüm açısı $\alpha=3^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	62
Şekil 4.30 Hücüm açısı $\alpha=4^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	63
Şekil 4.31 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	63
Şekil 4.32 Hücüm açısı $\alpha=6^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	64
Şekil 4.33 Hücüm açısı $\alpha=7^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	64
Şekil 4.34 Hücüm açısı $\alpha=8^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	65
Şekil 4.35 Hücüm açısı $\alpha=9^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	65
Şekil 4.36 Hücüm açısı $\alpha=10^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	66
Şekil 4.37 Hücüm açısı $\alpha=11^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	66
Şekil 4.38 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	67
Şekil 4.39 Hücüm açısı $\alpha=13^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	67
Şekil 4.40 Hücüm açısı $\alpha=14^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	68
Şekil 4.41 Hücüm açısı $\alpha=15^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları.....	68
Şekil 4.42 $Re=20.000$ için C_L değerinin hücüm açısı, α ile değişim grafiği.....	70
Şekil 4.43 $Re=20.000$ için C_D değerinin hücüm açısı, α ile değişim grafiği.....	71
Şekil 4.44 $Re=20.000$ için C_L/C_D değerinin hücüm açısı, α ile değişim grafiği.....	72
Şekil 4.45 Hücüm açısı $\alpha=0^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	73
Şekil 4.46 Hücüm açısı $\alpha=1^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	74
Şekil 4.47 Hücüm açısı $\alpha=2^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	74
Şekil 4.48 Hücüm açısı $\alpha=3^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	75
Şekil 4.49 Hücüm açısı $\alpha=4^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	75
Şekil 4.50 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	76
Şekil 4.51 Hücüm açısı $\alpha=6^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	76
Şekil 4.52 Hücüm açısı $\alpha=7^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	77
Şekil 4.53 Hücüm açısı $\alpha=8^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	77
Şekil 4.54 Hücüm açısı $\alpha=9^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	78
Şekil 4.55 Hücüm açısı $\alpha=10^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	78
Şekil 4.56 Hücüm açısı $\alpha=11^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	79
Şekil 4.57 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ de zaman ortalama akım çizgileri.....	79

Şekil 4.58 Hücüm açısı $\alpha=13^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	80
Şekil 4.59 Hücüm açısı $\alpha=14^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	80
Şekil 4.60 Hücüm açısı $\alpha=15^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri.....	81
Şekil 4.61 Hücüm açısı $\alpha=0^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	82
Şekil 4.62 Hücüm açısı $\alpha=1^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	82
Şekil 4.63 Hücüm açısı $\alpha=2^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	83
Şekil 4.64 Hücüm açısı $\alpha=3^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	83
Şekil 4.65 Hücüm açısı $\alpha=4^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	84
Şekil 4.66 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	84
Şekil 4.67 Hücüm açısı $\alpha=6^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	85
Şekil 4.68 Hücüm açısı $\alpha=7^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	85
Şekil 4.69 Hücüm açısı $\alpha=8^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	86
Şekil 4.70 Hücüm açısı $\alpha=9^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	86
Şekil 4.71 Hücüm açısı $\alpha=10^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	87
Şekil 4.72 Hücüm açısı $\alpha=11^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	87
Şekil 4.73 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	88
Şekil 4.74 Hücüm açısı $\alpha=13^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	88
Şekil 4.75 Hücüm açısı $\alpha=14^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	89
Şekil 4.76 Hücüm açısı $\alpha=15^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları.....	89
Şekil 4.77 $Re=100.000$ için C_L değerinin hücüm açısı, α ile değişim grafiği.....	91
Şekil 4.78 $Re=100.000$ için C_D değerinin hücüm açısı, α ile değişim grafiği.....	92
Şekil 4.79 $Re=100.000$ için C_L/C_D değerinin hücüm açısı, α ile değişim grafiği.....	93
Şekil 4.80 $\alpha=0^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	94
Şekil 4.81 $\alpha=1^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	94
Şekil 4.82 $\alpha=2^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	94
Şekil 4.83 $\alpha=3^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	94
Şekil 4.84 $\alpha=4^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	95
Şekil 4.85 $\alpha=5^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	95
Şekil 4.86 $\alpha=6^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	95
Şekil 4.87 $\alpha=7^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	95
Şekil 4.88 $\alpha=8^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	96
Şekil 4.89 $\alpha=9^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	96
Şekil 4.90 $\alpha=10^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	96
Şekil 4.91 $\alpha=11^\circ$ hücüm açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	96

Şekil 4.92	$\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	97
Şekil 4.93	$\alpha=13^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	97
Şekil 4.94	$\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	97
Şekil 4.95	$\alpha=15^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	97
Şekil 4.96	Standart NACA 0018 için C_L değerinin hücum açısı, α ile değişimi.....	99
Şekil 4.97	Standart NACA 0018 için C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi.....	100
Şekil 4.98	Standart NACA 0018 için C_L/C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi....	100
Şekil 4.99	$\alpha=0^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	101
Şekil 4.100	$\alpha=1^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	101
Şekil 4.101	$\alpha=2^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	101
Şekil 4.102	$\alpha=3^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	102
Şekil 4.103	$\alpha=4^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	102
Şekil 4.104	$\alpha=5^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	102
Şekil 4.105	$\alpha=6^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	102
Şekil 4.106	$\alpha=7^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	103
Şekil 4.107	$\alpha=8^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	103
Şekil 4.108	$\alpha=9^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	103
Şekil 4.109	$\alpha=10^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	103
Şekil 4.110	$\alpha=11^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	104
Şekil 4.111	$\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	104
Şekil 4.112	$\alpha=13^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	104
Şekil 4.113	$\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	104
Şekil 4.114	$\alpha=15^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	105
Şekil 4.115	Boşluklu NACA 0018 için C_L değerinin hücum açısı, α ile değişimi.....	107
Şekil 4.116	Boşluklu NACA 0018 için C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi.....	107
Şekil 4.117	Boşluklu NACA 0018 için C_L/C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi...	108
Şekil 4.118	$\alpha=0^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	108
Şekil 4.119	$\alpha=1^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	109
Şekil 4.120	$\alpha=2^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	109
Şekil 4.121	$\alpha=3^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	109
Şekil 4.122	$\alpha=4^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	109
Şekil 4.123	$\alpha=5^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	110
Şekil 4.124	$\alpha=6^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	110
Şekil 4.125	$\alpha=7^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	110

Şekil 4.126	$\alpha=8^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	110
Şekil 4.127	$\alpha=9^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	111
Şekil 4.128	$\alpha=10^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	111
Şekil 4.129	$\alpha=11^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	111
Şekil 4.130	$\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	111
Şekil 4.131	$\alpha=13^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	112
Şekil 4.132	$\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	112
Şekil 4.133	$\alpha=15^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$	112
Şekil 4.134	Basamaklı NACA 0018 için C_L değerinin hücum açısı, α ile değişimi.....	114
Şekil 4.135	Basamaklı NACA 0018 için C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi.....	115
Şekil 4.136	Basamaklı NACA 0018 için C_L/C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi.....	115
Şekil 5.1	$\alpha=0^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik.....	116
Şekil 5.2	$\alpha=5^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	116
Şekil 5.3	$\alpha=10^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	117
Şekil 5.4	$\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	117
Şekil 5.5	$\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	117
Şekil 5.6	$\alpha=0^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	118
Şekil 5.7	$\alpha=5^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	118
Şekil 5.8	$\alpha=10^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	118
Şekil 5.9	$\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	119
Şekil 5.10	$\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	119
Şekil 5.11	$\alpha=0^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	119
Şekil 5.12	$\alpha=5^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	120
Şekil 5.13	$\alpha=10^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	120
Şekil 5.14	$\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	120
Şekil 5.15	$\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik	121

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Kullanılan C-H yapısının ölçüleri.....	45
Çizelge 4.2 C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısı, α ile değişimleri.....	69
Çizelge 4.3 C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısı, α ile değişimleri.....	90
Çizelge 4.4 C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısı, α ile değişimi.....	98
Çizelge 4.5 C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısı, α ile değişimi.....	105
Çizelge 4.6 C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısı, α ile değişimi.....	113



SİMGELER DİZİNİ

C_L	Kaldırma katsayısı
C_D	Direnç katsayısı
Re	Reynold Sayısı
Ma	Mach sayısı
F	Kuvvet, N
M	Moment, Nm
P	Basınç, Pa
V	Hız, m/sn
g	Yerçekimi ivmesi, m/sn ²
x, y ve z	Kartezyen koordinat sistemi
ρ	Yoğunluk, kg/m ³
A	Alan, m ²
α	Hücum açısı, °
S_m	İkinci fazdan yayılmış olarak sürekli faza eklenen kütle
τ	Kayma gerilmesi
I	Türbülans şiddeti
μ	Dinamik viskozite
k	Türbülans kinetik enerji
ω	Özel yayılma oranı
u, v, w	x, y ve z yönlerindeki hız alanı bileşenleri
L	Kaldırma kuvveti, N
D	Direnç kuvveti, N

KISALTMALAR DİZİNİ

PIV	Particle Image Velocimetry-Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü
PTV	Particle Tracking Velocimetry-Parçacık İşaretlemeli Hız Ölçümü
LDA	Lazer Dopler Anemometresi
HAD	Hesaplama Akışkanlar Dinamiği
RANS	Reynold Avaraged Navier-stokes
DDES	Delayed Detached Eddy Simulations
LES	Large Eddy Simulation
CCD	Charge-Coupled Device-Yük Etkileşimli Cihaz
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümlerini
LSPIV	Large Scale Particle Image Velocimetry-Büyük Çaplı Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü



1.GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar farklı geometrilerin üzerinden ve içlerinden olan akışlar insanoğlunda merak uyandırmıştır. İnsanlar bu akışların geometriler üzerindeki davranışlarını öğrenerek yaptıkları tasarımlarda daha iyi performans elde etmişlerdir. Ayrıca, sadece belirli geometrik şekillerin etrafındaki akışı araştırmakla kalmamış, doğadaki hayvanların da geometrik yapılarını inceleyerek, tasarım yapılacak yerdeki şartlara daha iyi uyum sağlayacak biyobenzetimler yapmışlardır. Örneğin, bir su aracı tasarımı yapılacaksa balık geometrileri, hava aracı yapılacaksa kuş geometrileri esas alınmış ve incelenmiştir. İnsanlar, bu geometrilerin etrafındaki akışı temel alarak kendi tasarımlarını ortaya koymuşlar ve amaçlarına ulaşmışlardır.

Bu tür incelemeler zamanla bilimde akışkanlar mekaniği başlığı altında toplanmıştır. Alt başlık olarak akışkan maddenin cinsine göre aerodinamik ve hidrodinamik olarak ikiye ayrılmıştır. Bu ana ve alt başlıklar altında akış hareketleri, akışkanlar mekaniği ve termodinamik kanunları ve denklemleri kullanılarak kuvvet, sıcaklık, momentum, hız, enerji, güç gibi istenilen değerler elde edilir. Bu doğrultuda araştırma faaliyetleri yürütülür.

Özellikle son yıllarda teknolojinin gelişmesi, bu araştırmaların daha hızlı, doğru ve düşük maliyetli olmasına katkı sağlamıştır. Bu gelişmeler, beraberinde yeni fikirlerin doğmasına ve halihazırdaki tasarımlarda modernizasyon yapılmasına da olanak sağlamıştır.

Bu gelişmeler her alanda olduğu gibi akışların incelenmesinde de etkin rol almıştır. Bir akışın nasıl davrandığını göstermek için akışın da türüne bağlı olarak, gölge grafiği tekniği, şiliren tekniği, akışı boyama, yüzeyi püsküllerle kaplama, yüzeye yağ dökerek akışı görselleştirme gibi teknikler kullanılmaktadır. Bu geleneksel yöntemlerle birlikte daha hassas, doğru ve sayısal sonuç elde etmemizi sağlayan PIV(Particle Image Velocimetry-Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü), PTV(Particle Tracking Velocimetry-Parçacık İşaretleme Hız Ölçümü), LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry-Büyük Çaplı Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü), LDA(Laser Doppler Anemometresi) gibi yöntemler de mevcuttur.

Yukarıda belirtilen yöntemler deneyseldir. Fakat analizi yapılmak istenen olayın fiziksel olarak deneyinin yapılamayacağı durumlar olabilir. Bununla beraber sürekli

parametreleri değiştirerek aynı deneyin yüzlerce kez tekrarlanması gerekebilir. Bu durum deney maliyeti, zaman alması ve deneyin doğruluğunun ispatlanması açısından olumsuzluklar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumda HAD(Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) yazılımları devreye girmektedir. Bu yazılımlarla yapılan analizlerle maliyet ve zaman kaybının önüne geçilmesinin yanısıra deneysel olarak gerçekleştirilebilir durumlar da analiz edilip deney sonuçlarıyla karşılaştırılabilir.

Bu şekilde akışkanlar mekaniği çalışmalarına konu olan popüler araştırmalardan birisi de kanat üstü akış çalışmalarıdır. Özellikle havacılık gelişimine kronolojik olarak bakıldığında kanat profilindeki iyileştirmeler hava taşıtlarının ve havacılık endüstrisinin gelişiminde büyük rol oynamaktadır. Bu kanat profilleri; uçak, helikopter, uzay taşıtları, rüzgar türbinleri, buhar türbinleri, jet motorları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Kanat üzerinde oluşan akışın neden olduğu kuvvetleri kontrol ederek kaldırma kuvveti arttırılabilir, yakıt tasarrufu sağlanabilir, mukavemeti arttırılabilir. Bunun için kanat üstü akışı kontrol etmeye yönelik birçok araştırma yapılmıştır.

1.1.Çalışmanın Amacı

Kanat üstü akışlarla ilgili çalışmaların hedeflerinden birisi de akış ayrılmasını geciktirmeye yöneliktir. Akışın yüzeyden ayrıldığı nokta ne kadar firar kenarına yakın olursa akış daha düzenli olacaktır. Bu da kanatta oluşan kaldırmanın artması, direncin azalması anlamına gelir. Bu ayrılmayı geciktirmek ve firar kenarına yaklaştırmak için yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler aktif ve pasif akış kontrol yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışmada, standart NACA 0018 profiline sahip kanat geometrisi değiştirilerek iki farklı model kanat elde edilmiş ve kanat profilinde yapılan bu değişikliklerin kaldırma ve dirence olan etkileri incelenmiştir.

1.2.Konu İle İlgili Yapılmış alışmalar

Kanat üstü akış kontrol yöntemleri ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Luo vd.(2017) alışmasında, hücum kenarına yakın yerleştirilen bir mikro silindir ile tutunma kaybına uğramış bir NACA 0012 tipi kanadı $Re=6 \times 10^6$ da, 16° ile 23° hücum açısı aralığında nümerik olarak çalışmışlardır. Mikrosilindir apı, mikrosilindir ile hücum kenarı arasındaki uzaklık ve mikrosilindir konumu değiştirilerek çalışmalar tekrarlanmıştır. Hesaplamalarda RANS(Reynold Avaraged Navier-stokes) ve

DDES(Delayed Detached Eddy Simulations) eşitlikleri kullanılmıştır. Sonuç olarak mikrosilindirin, kanadın tutunma kaybı etkisine uğradıktan sonraki açı değerlerinde kanat üzerine etkiyen kuvvetler açısından önemli değişikliklere neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca mikrosilindirin ağır tutunma kaybı oluşumunu ertelediği ve uzun akış ayrılma bölgelerini azalttığı ifade edilmiştir.

Wang vd.(2017) çalışmasında, hücum kenarı dalgalı, firar kenarı tırtıklı ve yüzey çıkıntısı olan ve her kesişim noktasında NACA 0012 kanat profili ile benzeşen biyobenzetimli bir kanat profili üç boyutlu olarak çalışmıştır. Biyobenzetimli kanat ve NACA 0012 kanat profili arasında akustik ve aerodinamik performansı karşılaştırmak için 0° hücum açısında ve $Re=1 \times 10^5$ de LES(Large Eddy Simulation) ve aeroakustik benzetim kullanılarak nümerik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda C_L değerinde bir değişiklik görülmemiştir. Ayrıca girdap oluşumlarının biyobenzetimli kanatta NACA 0012'ye göre daha kısıtlandığı gözlenmiştir bunun sonucu olarak kanat etrafında 7 noktada yapılan ölçümlerde ses basınç seviyesinin düştüğü görülmüştür.

Sreejith ve Sathyabhama(2018) çalışmalarında, E216 kanat profili üzerinde bir laminar ayrılma kabartısının farklı hücum açılarındaki akış davranışı $Re=100.000$ 'de nümerik olarak incelenmiştir. Nümerik sonuçlar rüzgar tüneline yapılan deneylerle doğrulanmıştır. Çalışmalar kanat üzerinde iki farklı kabartı yerleşim yeri ve 4 farklı kabartı yüksekliği için ayrı ayrı yapılmıştır. Sonuçlar çıkıntıları geçen akışın kabartı arkasında hücum kenarına doğru döndüğünü ve kısmen yada tamamen kanadın aerodinamik performansını iyileştirdiğini göstermiştir. Sürüklenme katsayısında maksimum iyileşme %15.48, kaldırma katsayısında ise %21.62 ile $\alpha=6^\circ$ 'lik hücum açısında olduğu görülmüştür. Tüm senaryolarda performans iyileşmesi kabartı yüksekliğinin maksimum 0.5 mm'ye kadar olduğu kanat profillerinde görülmüştür.

He vd.(2016), 20 km irtifada 25 m/sn serbest hava akışı ortamında çalışan ve 5 m kord uzunluğu olan hava aracına ait SFYT15 thick tipi bir kanat profilinin firar kenarına gurney flap eklenerek $Re=7.76 \times 10^5$ de iki boyutta aerodinamik performans araştırması yapmıştır. Farklı tipte gurney flaplar kullanılmıştır. Gurney flap'ın kaldırma-sürüklenme oranında belirli açılarda iyileştirmeye neden olduğu görülmüştür. Özellikle 3° hücum açısı ve kanat kordunun %0.5'i yüksekliğindeki gurney flap modelinde kaldırma-sürüklenme oranının %2.7 arttığı ve kaldırma katsayısının %12.9 oranında arttığı

görülmüştür. Ayrıca gurney flap sayesinde kanat sürüklenmesindeki artışın gurney flapın ön ve arka tarafındaki sürüklenme basıncının artışına atfedilebileceği bulunmuştur.

Fouatih vd.(2016), üzerinde girdap üretici konulmuş bir NACA 4415 tipi kanat profilinin akış ayrılması kontrolü deneysel olarak çalışmıştır. Optimum kanat konfigürasyonunu bulmak için kalınlık, girdap üretici yüksekliği, pozisyon, üreteçler arası mesafe ve üreteçlerin akış yönüne bağlı konulma açıları parametreleri kullanılmıştır. Farklı hücum açıları ve Re sayılarında rüzgar tüneli testleri yapıp karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda sınır tabaka ayrılması kontrolünde en etkin üreticinin $\alpha=12^\circ$ açı ile üreteçler arasında 3 mm mesafe olan ve kordun ortasına yerleştirilen üçgen formdaki üreteç olduğu görülmüştür. Ayrıca mikro girdap üreteçlerinin akış kontrolünde çok etkili olduğu görülmüştür. Girdap üreteçli bir kanatta kaldırma katsayısının %21'e kadar arttığı ve akış ayrılmasının $\alpha=17^\circ$ 'ye kadar ertelendiği görülmüştür. Ancak bu girdap jeneratörleri parazitik sürüklenmeyi de artırır.

Belamadi vd.(2016), Baseline S809 tipi bir kanat profilinde sınır tabaka kontrolü yapabilmek için kanadın ortasında yarık açılarak bu yarığın kanat aerodinamiğine etkisi nümerik olarak incelemiştir. En iyi konfigürasyonu bulmak için yarık genişliği, açısı ve lokasyonu kullanılarak çeşitli iki boyutlu analizler yapılmıştır. Kaldırma ve sürüklenme katsayılarındaki ve kaldırma-sürüklenme oranlarındaki değişim incelenmiştir. Sonuçlar yarığın sadece spesifik hücum açılarında işe yaradığını göstermiştir. Ancak son konfigürasyonda kanat verimliliğinde önemli bir hata gözlenmiştir. Bu hata düşük hücum açılarındaki daha yüksek sürüklenmeden kaynaklanmaktadır. Fakat $\alpha=10^\circ$ ile $\alpha=20^\circ$ arasındaki hücum açılarında yarıklı kanat profili normal profilden daha iyi performans sergilemiştir.

Chounhry vd.(2015), düşük Re sayısı ve türbülans yoğunluğunda NACA 0021 kanat profili üzerine yerleştirilmiş bir uzun akış ayrılma çıkıntısının kanat etrafındaki akışa olan etkisi ve karakteristiğini daha iyi anlamak için bir çalışma yapmıştır. Bu değiştirilmiş kanat modeli hücum açısı, serbest akış, türbülans yoğunluğu ve Re sayısının bir fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Bu akış ayrılma çıkıntısının kanadın aerodinamik performansını düşürdüğü ve ani tutunma kaybı davranışı gösterdiği görülmüştür. Ayrıca, çıkıntının hücum açısı arttıkça akış ayrılmasını arttırdığı gösterilmiştir. Re sayısındaki yada türbülans seviyesindeki artışın çıkıntının olumsuz etkilerini düşürdüğü ve kanat

performansını iyileştirdiği ve arka firar kenarı tutunma kaybı etkisini iletmediği görülmüştür.

Hoogedoorn vd.(2009), esnek bir bıçağın aeroelastik davranışının bir rüzgar türbini uygulamasında çeşitli rüzgar koşulları altında iki boyutta nümerik analizini yapmıştır. Aeroelastik hesaplamalar ve kanat deformasyonunun hesaplanabilmesi için MATLAB PDE ve X-Foil aracılığıyla kod yazılmıştır. Yazılan kod literatürdeki nümerik sonuçlarla nitelik olarak doğrulanmıştır. Kanat esnekliğinin etkisi serbest akım hızı, kanat kalınlığı, kanat eğriliği, yunuslama açısı gibi çeşitli dizayn parametreleri ile çalışılmıştır. Statik aeroelastik etkilerin tasarım dışı rüzgar hızlarında kaldırma, kaldırma-direnç oranını geliştirmeye yönelik potansiyeli vardır. Esneklik ise büyük yunuslama açılarında tutunma kaybı etkisini düşürmektedir. Kanat kalınlığı artmasıyla deformasyonda sadece lineer olarak azalmaktadır.

Genç vd.(2008), NACA 0012 kanat profiline simetrik flap uygulanarak kanat üzerine uygulanan kuvvetler nümerik olarak analiz etmiştir. Hesaplamalarda çeşitli uzunluk ve açılarda flaplar kullanılmıştır. Sonuç olarak flapların $\alpha=15^\circ$ hücum açısına kadar kanat performansına olumlu etkide bulunduğu 15° 'den sonra sürüklenme katsayısını arttırarak L/D oranını düşürdüğü gözlenmiştir.

Pantula(2008), NACA 0012 ve aynı kanat profilinin üst yüzeyine konulmuş bir yüzgecin kanadın aerodinamik performansına olan etkisini nümerik ve deneysel olarak incelemiştir. Farklı hücum açısı ve Re 'da yapılan çalışmalar sonucunda kanadın üstüne yerleştirilen yüzgecin belirli durumlarda kanadın aerodinamik durumunu iyileştirmesine karşın bazı durumlarda negatif etki oluşturduğu gözlenmiştir.

Zhou(2011), çalışmasının 5.bölümünde SD7003 tipi bir kanatta pasif akış kontrol yöntemi olarak kullanılan laminar ayrılma çıkıntısının kanat üzerinde oluşturduğu etkileri $Re=60.000$ 'de nümerik olarak incelemiştir. Zhou, çalışmasında çıkıntı boyutlarını ve sayısını, kanat üzerindeki konumu ve açısını değiştirerek farklı sonuçlarla karşılaştırmalar yapmıştır. Sonuç olarak daha geniş ve kısa çıkıntıların girdap bozulmalarını ve akış ayrılmasını önleyecek yada geciktirecek daha büyük bozunumlar oluşturduğu gözlenmiştir. İlâveten, çıkıntılar akışı daha çabuk türbülansa geçirmiştir. Sürtünme sürüklenmesi yavaş bir şekilde artmasına rağmen basınç sürüklenmesinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Ayrıca çıkıntı sayısının azaltılması kaldırma-yavaşça düşürmüştür. Ancak dikkatli yerleştirilen çıkıntıların tüm analiz durumlarında kaldırma-

sürüklenme oranını artırdığı görülmüştür. Çıkıntı sayılarının artması, çıkıntı yüksekliklerinin yarıya düşürülmesi şartıyla aerodinamik performansa olumlu katkıda bulunduğu görülmüştür. Ayrıca yüksek hücum açılarında çıkıntı sayısının kanat performansını olumsuz etkilediği görülmüştür.

Zhang vd.(2004), çalışmasında farklı türbülans yoğunluklarında türbin kanatlarının aerodinamik performansları üzerine yüzey pürüzlülüğünün etkilerini incelemiştir. Aynı şekil ve ölçülere sahip üç kanat profili eşit pürüzlülük ve büyüklükteki kum taneleri ile farklı şekillerde kaplanmıştır. $Ma=0.4-0.7$ sayılarında ve $Re=0.54 \times 10^6-1.2 \times 10^6$ aralığında çalışılmıştır. Sonuçlar birleştirilmiş aerodinamik kayıplar açısından önemli bilgi değeri taşırken, farklı giriş türbülans yoğunluğu seviyesi etkilerinin nispeten küçük olduğu belirtilmiştir.

Başlamışli vd.(2014), tasarımında değişiklik yapılan bir hava aracında yeni tasarıma daha iyi yanıt verebilmesi için kanatlarda gurney flap tasarımı kullanılmasını ve bu tasarımın aerodinamik performansını iki boyutta nümerik olarak incelemiştir. Tasarıma eklenen gurney flapın ihmal edilebilir bir kaldırma etkisi olmasına karşın sürüklenme direncini arttırdığı için motor ve aktarma organına ekstra yük olacağı sonucuna varılmıştır.

Osch(2008), VortexCell 2050 avrupa projesi kapsamında hazırlanan çalışmasında boşluklu bir kanadın dinamik davranışını deneysel olarak rüzgar tüneline çalışmıştır. Çalışmada NACA 0018 kanat profili sabit pozisyondayken tünelin duvarlarında bulunan iki adet hoparlörle akustik dalgalar verilmiştir. Kanadın alt ve üst yüzeyindeki basınç ölçümleri ile dinamik cevaplar elde edilmiştir. Farklı hücum açılarında, akış hızlarında, akustik genliklerinde çalışmalar yapılmıştır. Boşluğun açıkça hem salınım hem de sabit pozisyonda kanadın dinamik cevaplarını etkilediği gözlenmiştir.

Voona(2012), çalışmasında NACA 4415 kanat profilinin alt yüzeyinde oluşturulan bir basamağın akış yapısında oluşturduğu etkileri deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Kaldırma katsayısı ve kaldırma-sürüklenme oranının bazı değerlerde basamak kullanılan modelde olumlu değiştiği gözlenmiştir. Alınan en yüksek verimin $\alpha=2^\circ, 4^\circ$ ve 8° lik hücum açılarında $Re=0.6 \times 10^6-2.5 \times 10^6$ aralığında %37 oranında değişim elde edilmiştir.

Öztürk ve Çoban(2014), kord uzunluğu 165 mm olan NACA 0018 tipi kanat ve aynı modelin üst kısmında girdap tuzağı açılmış şekildeki profilinin deneysel bir yöntem olan

PIV kullanılarak analizlerini yapmıştır. Sonuç olarak girdap tuzaklı ve tuzaksız modeller vektör, akım çizgisi ve girdap eş eğrileri açısından mukayese edilmiştir.



2.GENEL BİLGİLER

2.1.Akışkan Kavramı

Maddeler doğada üç temel halde bulunur. Bunlar katı, sıvı ve gaz formlarıdır. Bu sınıflandırma, maddelerin fiziksel olaylara karşı gösterdiği tepkilerle belirlenir. Bir maddenin katı-sıvı ayrımının yapılabilmesi için o maddeye uygulanan kayma gerilmesine verdiği dirence bakılır. Eğer madde uygulanan gerilmeyle bir miktar şekil değiştiriyor yada hiç şekil değiştirmiyorsa katıdır. Fakat en ufak bir gerilme de bile şekil değişimi oluyorsa bu madde sıvıdır.

Sıvılar ve gazlar arasındaki en büyük fark ise bu maddelerin molekülleri arasındaki kohezyon kuvveti farkıdır. Sıvılarda moleküler arası bağlar sıkı ve kuvvetli iken gazlarda bu tam tersidir. Bu yüzden sıvılar bir kaba konulduklarında kabın şeklini alarak bir hacim oluşturur ve yerçekimi etkisiyle de yüzey gerilimi oluştururlar. Gazlarda ise kohezyon kuvvetinin düşük olması ve moleküller arası uzaklığın fazla olması bu duruma izin vermez. Bu yüzden gazlar bulunduğu ortama dağılarak ortamın şeklini alırlar bu nedenle de yüzey gerilimi oluşturamazlar.

Katıların aksine sıvı ve gazlardaki hızlı şekilsel değişimler akışkanlık olarak nitelendirilir. (Çengel ve Cimbala, 2008)

Maddelerin sınıflandırılması temel olarak yukarıdaki esaslara dayansa da bazı sulu karışımlar, kurşun, asfalt vb. bazı maddeler kısmi olarak belirtilen durumların hepsine uyum sağlayabilir. Bu tez içerisinde yukarıdaki esaslara tam anlamıyla uyan akışkanlar incelenecektir.

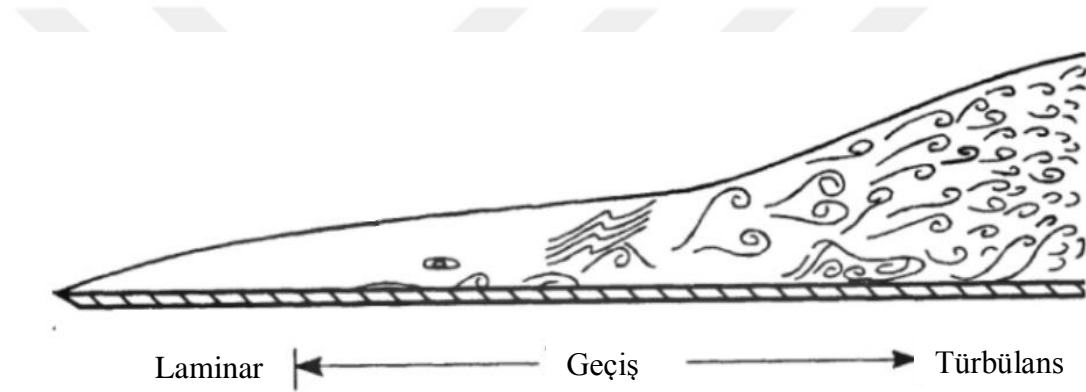
2.1.1.Akış Çeşitleri Nelerdir?

Akışkan maddelerin fiziksel hareketlerinden dolayı oluşan duruma akış denilir. Akış problemlerinde çözümleri sınıflandırabilmek ve sonuca varabilmek için farklı eşitlikler ve kurallar kullanılır. Karşılaşılan problemlerde çözüm adımlarına öncelikle akışın ne tür akış olduğu belirlenerek başlanır.

Örneğin, incelenecek akış, boru, kanal gibi sınırlandırılmış bir çevre içerisinde oluyorsa iç akış olarak; uçak kanadı, araba şasisi gibi cismin dış kısımdan ve sınırlanmadan aktığı bir çevrede oluyorsa dış akış olarak adlandırılır.

Eğer akış, bir fan veya pompa gibi yardımcı elemanlar vasıtasıyla elde ediliyorsa zorlanmış; eğer akışkanların yoğunluk farkından dolayı oluşuyorsa doğal akış olarak adlandırılır.

Ayrıca akışkan maddenin akış boyunca yoğunluğunda meydana gelen değişime göre akışın sıkıştırılabilir yada sıkıştırılmaz akış olduğu ayırt edilir. Sıvı akışları genellikle sıkıştırılmaz akış olarak ele alınır. Bununla birlikte gaz akışlarında da belirli bir ihmal edilebilirlik sınırına kadar olan değişimler varsa bu akışlarda sıkıştırılmaz akış olarak hesaplanır. Gazlardaki bu özel durum Mach sayısına bağlıdır. $Ma < 0.3$ olduğu durumlardaki gaz yoğunluğu değişimleri ihmal edilebilir seviyede olduğu için bu bölgedeki gaz akışları sıkıştırılmaz olarak kabul edilebilir.

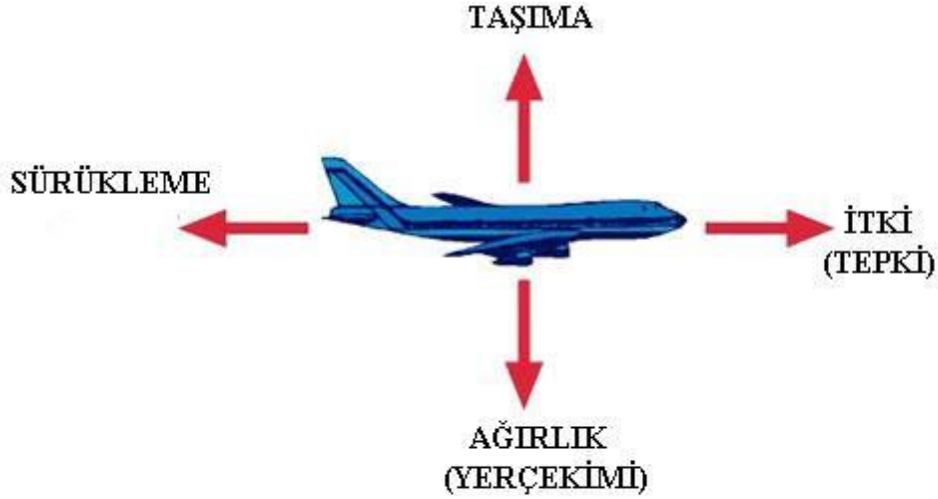


Şekil 2.1 Akış türleri(Ur1-1)

Akışkanlar aktığı yüzey boyunca oluşan akış desenine göre de laminar ve türbülanslı akış olarak ikiye ayrılır. Eğer akış pürüzsüz tek çizgiye yakın bir formda ilerliyorsa laminar, eğer çalkantılı ve girdap oluşturarak ilerliyorsa türbülanslı akıştır. Laminar akıştan türbülanslı akışa geçiş noktasında akış yer yer laminar yer yer türbülans olarak görülür. Buna da geçiş akışı denilir. Akışın iç veya dış akış olması, akış hızı, akışkan yoğunluğu gibi çeşitli parametreler akışın laminar veya türbülanslı olmasını belirler. (Çengel ve Cimbala, 2008)

2.3.Bir Kanat Üzerine Etkiyen Kuvvetler

Şekil 2.2'de de gösterildiği gibi uçmakta olan bir uçağa kaldırma (taşıma), ağırlık (yerçekimi), itki (tepki) ve sürüklenme(direnç) olmak üzere dört ana kuvvet etki eder. (Ekinci,2005)



Şekil 2.2 Uçağa etkiyen kuvvetler (Ekinci,2005)

Kaldırma (taşıma) kuvveti uçağı havada tutan kuvvettir. Kanat üzerinden havanın akmasıyla birlikte bernoulli prensibine göre kanat yüzeyleri arasında basınç farkı oluşacaktır. Bu farktan kaynaklı kanadın alt yüzeyinden üst yüzeyine doğru kaldırma kuvveti oluşacaktır. Bu kuvvet yerçekiminden büyük olduğu zaman uçak irtifa alarak yükselecektir. Kaldırma kuvveti, akış hızı, hücum açısı, yoğunluk, kanat yüzey alanı gibi faktörlerle değişebilir.

Ağırlık (yerçekimi), uçağın kütlesinin yerçekimi dolayısıyla oluşturduğu ve kaldırmaya zıt yönlü olan kuvvettir. Her cisimde olduğu gibi uçakta da bu kuvvet ağırlık merkezinden etki eder. Eğer kaldırma kuvveti ile uçağın ağırlığı eşit ise uçak bulunduğu yüksekliği korur. Bu eşitlik bozulursa hangi kuvvet büyükse uçak o yönde alçalır veya yükselir.

İtki kuvveti, doğrudan motorlar vasıtasıyla veya dolaylı olarak motor pervaneleri ile üretilen ve kanatların üzerinden akış olmasına sebep olan ileri yönlü kuvvettir.

Sürüklenme (direnç) kuvveti, itki kuvvetine zıt istikamette kanat üzerindeki basınç farklılıkları ve sürtünmeden kaynaklı oluşan kuvvettir. Yoğunluk, viskozite, akış hızı, sıcaklık, kanat profili vb. parametreler sürüklenme kuvvetini etkiler.

Hızı sabit olan bir uçakta bu ana kuvvetler tarafından oluşturulan tüm kuvvet momentler uçağın ağırlık merkezinde dengededir. Böylece

$$\sum \vec{F} = 0 \text{ ve } \sum \vec{M} = 0 \text{ olur.}$$

Newton'un birinci hareket kanununa göre; "Hareket halindeki bir cisim üzerine etki eden net kuvvet sıfır ise, sabit hızda hareket yönünde hiçbir değişiklik olmaz."

Yani uçmakta olan bir uçakta tüm kuvvetler eşitlenmişse uçak uçuşu eylemini sürdürür. Eğer kuvvet dengesi bozulursa hızlanır, yavaşlar, alçalır veya yükselir. (Cavcar, 2011 ve Doğan, 2008 ve Ekinci, 2005)

2.3.1. Bernoulli Prensibi

Bir kanadın profilinin geometrisinden kaynaklı akış içerisinde nasıl kaldırma kuvvetine maruz kaldığının en basit açıklaması basınç, hız ve yükseklik arasındaki ilişkiyi temsil eden ve yaklaşık bir denklem olan Bernoulli prensibi ile yapılabilir. Sadece 3 parametre ile hesap yapılması Bernoulli prensibinin temel denkleminin kullanımını sınırlamaktadır. Özellikle sınır tabaka ve art izlerinin oluştuğu yerlerde akışkanın viskozitesi, basınç etkileri gibi farklı parametrelerinde hesaba girmesi gerekecektir. Ayrıca Bernoulli prensibinin uygulanabilmesi için akışın daimi, sıkıştırılamaz ve net sürtünme kuvvetlerinin ihmal edilebilir olması gerekmektedir. Fakat burada sadece kanat üzerinde akıştan kaynaklı oluşan kaldırma kuvveti fiziksel olarak açıklanacağı için temel denklem üzerinden bu durumun ifade edilmesi yeterlidir.

Bernoulli denklemi aşağıdaki gibidir;

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{sabit} \quad (2.1)$$

Bernoulli prensibine uygun akış bölgesinde iki referans noktası arasında da sonuç sabit olacağı için bu eşitlik sağlanmalıdır. Öyleyse iki nokta arasında Bernoulli denklemi şu şekilde olacaktır:

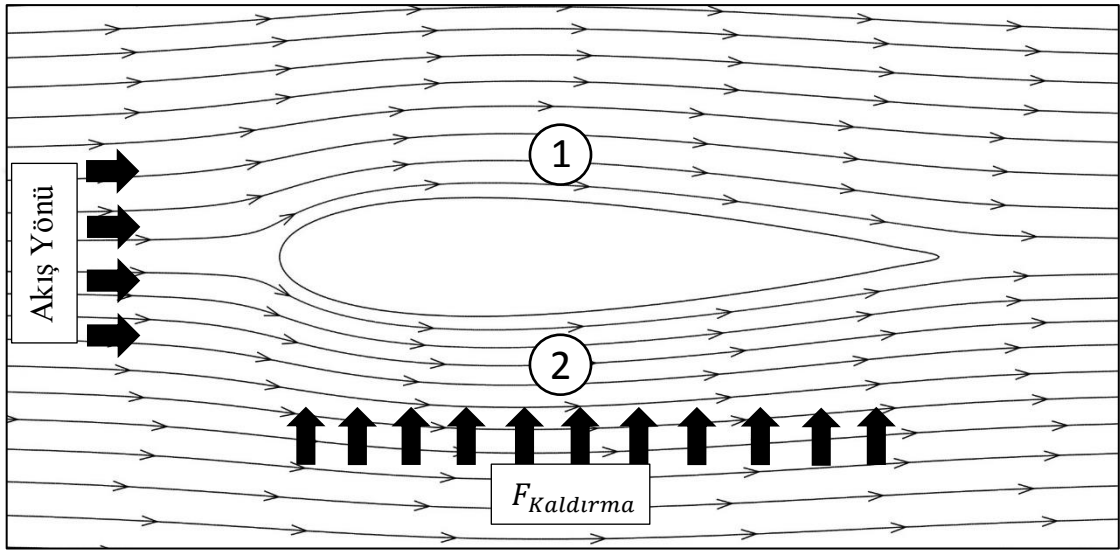
$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \quad (2.2)$$

Burada $\frac{P}{\rho}$ akış enerjisini, $\frac{V^2}{2}$ kinetik enerjiyi, gz ise potansiyel enerjiyi temsil etmektedir.

(Çengel ve Cimbala, 2008)

Bir uçak kanadında Bernoulli denklemini uygulamak gerekirse öncelikle Şekil 2.3'deki gibi kanadın üst yüzeyine 1. referans noktası alt yüzeyine de 2. referans noktası denilirse

ve yukarıdaki eşitlik bu iki nokta için yazılırsa iki referans birbirine eşit olması gerekir. Şekil 2.3'deki örnek kanat profilini ele alacak olursak, kanat profilinin yapısından dolayı kanadın üst yüzeyindeki(1) akış alt yüzeyine(2) göre daha hızlı olacaktır. $V_1 > V_2$ olduğu zaman ve $z_1 - z_2$ 'nin ihmal edilebilir olduğu varsayılarak Bernoulli prensibinin sağlanabilmesi için $P_2 > P_1$ olması gerekecektir. $P_2 > P_1$ olduğu zaman kanadın 2 noktasından 1 noktasına doğru kaldırma kuvveti oluşacak ve kanat yukarı yönlü hareket edecektir. Uçak kanatlarında, rüzgar türbinlerinde ve kanatların kullanıldığı diğer yerlerdeki en basit çalışma mekanizması da bu şekilde açıklanabilir.



Şekil 2.3 Bernoulli denkleminin kanat üzerinde uygulanışı

2.3.2. Tutunma Kaybı, C_L ve C_D

Bir kanadın sürüklenme ve kaldırma açısından hangi hücum açısı ve Re sayısında nasıl davrandığını öğrenmek için her seferinde cebirsel işlem yapmak zordur. Bu nedenle kanat profillerine etki eden kuvvetlerle ilgili boyutsuzlaştırılmış ifadeler mevcuttur. Bu başlık altında sadece kaldırma katsayısı C_L ve direnç katsayısı C_D boyutsuz ifadelerine değinilecektir. C_L İngilizce lift coefficient, C_D ise drag coefficient ifadelerinin kısaltmalarıdır.

C_L ve C_D eşitliği aşağıdaki gibidir;

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad , \quad C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.3)$$

Burada A cismin ön bakış alanıdır. Yani akış yönünde cisme bakıldığında akışkana dik olarak karşılık gelen alanı ifade etmektedir. Fakat kanat profili gibi ince olan yapılarda bu alan cismin üstten bakıldığında görünen alanı olarak hesaba katılır. Örneğin, 0.25 m çapında 4 m uzunluğundaki bir silindirik cisim eğer akışa yatayda yerleştirildiyse;

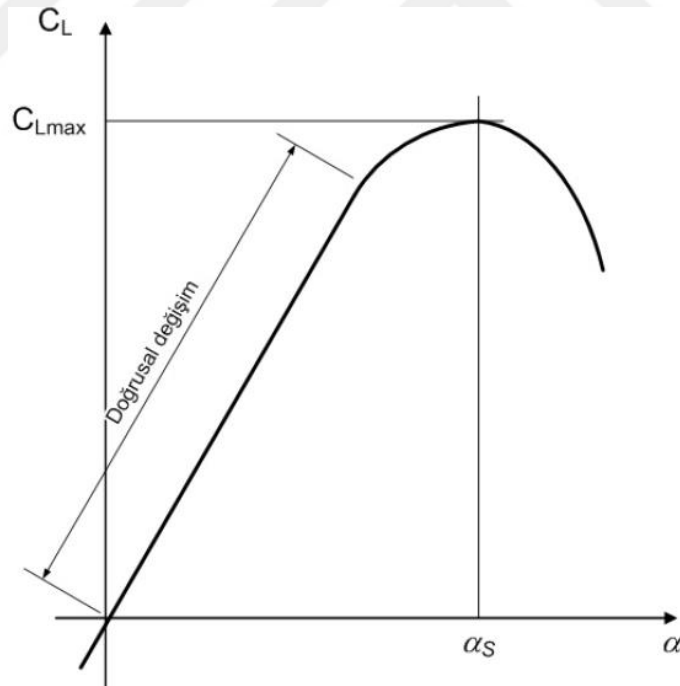
$$A = 0.25 \times 4 = 1 \text{ m}^2$$

iken 1 m kiriş uzunluğu ve 2 m genişliğe sahip bir kanat profili yatayda yerleştirilirse;

$$A = 2 \times 1 = 2 \text{ m}^2$$

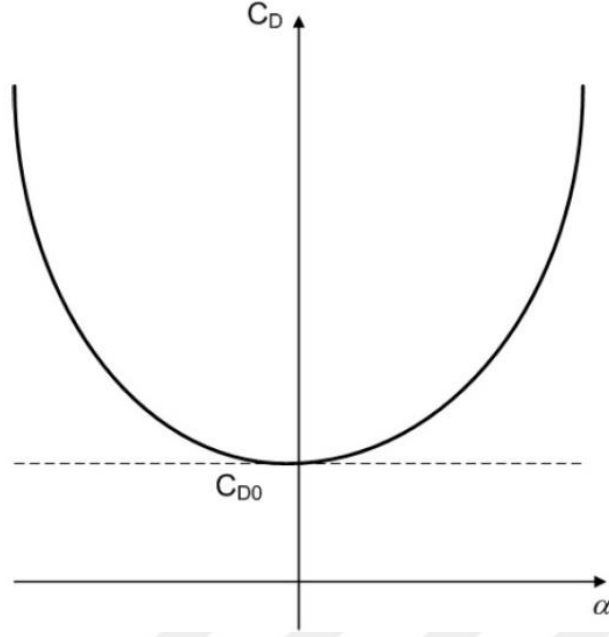
olarak hesaplanır.

Şekil 2.4'te C_L ve şekil 2.5'de C_D değerlerinin hücum açısı(α) ile değişimleri gösterilmiştir(Cavcar,2011).



Şekil 2.4 C_L değerinin hücum açısı ile değişimi (Cavcar,2011)

Şekil 2.4'de görüldüğü gibi C_L değeri belirli bir hücum açısı değerine kadar doğrusal olarak artmaktadır. α_s ile gösterilen hücum açısı noktasında ise ani düşüş olmaktadır. İşte bu duruma "tutunma kaybı (stall)" denir. Tutunma kaybı fiziksel olarak kanat üzerindeki akış ayrılması noktasının hücum kenarına kadar gelmiş olmasıdır.



Şekil 2.5 C_D değerinin hücum açısı ile değişimi (Cavcar,2011)

C_L grafiğinden farklı olarak Şekil 2.5'deki C_D eğrisinin parabolik olması dikkat çekmektedir. Pozitif açı değeri arttıkça sürüklenme kanadın alt yüzeyinden kaynaklı artarken, negatif açı değeri arttıkça kanadın üst yüzeyinden kaynaklı sürüklenmeden dolayı C_D artmaktadır. (Cavcar,2011 ve Çengel ve Cımbala, 2008)

3.DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1.Parçacık Görüntülü Hız Ölçüm Yöntemi (PIV)

Hız alanı ölçümü, hem akış alanı içerisindeki modelin veya sistemin aerodinamik performansı saptamak, hem de akış alanının doğrulanması açısından aerodinamik çalışmalarda kritik öneme sahiptir. Daha önceleri aerodinamik çalışmalarda sayısal akış alanı ölçümleri, düşük frekans veya zaman ortalamalı ölçümler için akışta tek bir noktadaki akış alanı özelliklerini elde etmekte kullanılan statik pitot propları vasıtasıyla yapılırdı. Sıcak tel anemometresinin yüksek frekans cevaplı hız ölçümlerinin sonucunu verebilmesi, pitot proplarına göre önemli bir ilerleme sağlamıştır. Ayrıca daha fazla tel eklenmesi, çok bileşenli akış ölçümlerine olanak sağlamıştır. Sıcak tel anemometreleri pitot proplarına benzer şekilde, çalışılan akış bölgesinde bozucu ve rahatsız edici etkilere sahipti. İlk bozucu olmayan nokta hız ölçüm tekniği, akış içerisinde hareket eden parçacıkların hızını ölçmek için çapraz lazer ışını demeti kullanan Lazer Dopler Hız Ölçümü (LDV)'dür. Yüksek frekans yanıtları ve yüksek ölçüm hassasiyeti Lazer Dopler Hız Ölçümü'nün diğer avantajlarıdır. (Gürlek,2008)

Düzlemsel hız ölçüm yöntemleri, LDV gibi noktasal hız ölçüm yöntemleri üzerinde önemli bir gelişme idi. Yüksek doğruluğuna rağmen, nokta bazlı hız ölçümleri prop hacmini akış alanında ölçüm yapılması istenilen yere taşımak için karmaşık bir aktarma sistemi gereksinimi duyardı. Akış hacimleri veya düzlemlerinin haritalanması işlemi, maliyeti oldukça arttıran pek çok işletme saatine gerek duyardı. Düzlemsel hız ölçüm yöntemlerinin sunduğu avantaj, nokta bazlı teknikler kullanılarak mümkün olmayan düzensiz akış yapılarının düzlemsel kesit alanlarını ani yakalama kabiliyetidir. Parçacık görüntülü hız ölçüm yöntemi (PIV), akışı kesin bir şekilde takip eden yeteri küçüklükte iz yapan partiküller ile beslenen bir akışın iki yada üç bileşenli hız alanını düzlemde ölçen bir tekniktir. (Mercer,2003)

LDV, sıcak tel anemometresi ya da pitot statik tüpü gibi hız ölçüm tekniklerinin çoğu, bir zamandaki pozisyon veya bir noktadaki değerleri derleme konusunda dezavantajlara sahiptir. Böylece bir akış alanının tamamının türbülans karakteristiği ve hızın belirlenmesi çok zaman alıcı bir işe dönüşür. PIV tekniği bu eksikliğin üstesinden gelmektedir. (Hucho,1998)

Hız ve girdap gibi tüm akış alanı özelliklerinin ölçümü en can alıcı problemlerden biridir. Kayma akımı ya da zayıf akışlardaki birbirini tutan yapılar oldukça düzensizdir. Bu yüzden, bu tür akışlarda, akış alanının tamamının geçici ve konumsal bilgilerine, akış alanlarını ani olarak yakalamak için ihtiyaç duyulur ve böylece diğer deneysel tekniklerle mümkün olmayan nicel olarak düzensiz akıştaki konumsal yapıların belirlenmesine izin verir. Bu tür akış ölçümleri için PIV tekniği oldukça uygundur. Bu teknik, daha büyük gözlem alanları ve deneysel data hacimleri, daha yüksek konumsal ve geçici kararlılık ve daha yüksek doğruluğu elde edecek beceriye sahiptir(Raffel vd.,1998).

PIV, akışkanlar mekaniğinin modern tarihinde en önemli akış tanı teknolojisi başarılarından biri olarak düşünülebilir. Çoğu araştırmacı PIV ile ilgilenmiştir. Çünkü PIV türbülanslı akış yapısı çalışmasında yeni ve oldukça ümit verici bir araç sunmuştur. Bu amaç yöntem geliştirmesinde yapılan seçimleri güçlü bir şekilde etkilemiştir. PIV tekniğinin kökeni geleneksel nitel parçacık akış görselleştirmeye dayanmaktadır. PIV tekniğinin teorisi 1980'lerin sonlarında ilk deneysel uygulamalarla tanıtılmıştır. Bu ilk aşamalarda donanımsal kısıtlılık nedeniyle, tek bir fotoğraf çerçevesi çoklu olarak kullanılmış ve oto korelasyon tekniği kullanılarak analizler yapılmıştır. Ancak kısa süre sonra gelişen fotoğraf kayıt hızı, çapraz korelasyonla ayrılmış kareler üzerinden görüntülerin alınmasına olanak sağlamıştır. PIV tekniğindeki en önemli değişikliklerden birisi, tekniğin fotoğraftan video kaydına taşınmasıdır. Bu değişim, tekniğin kullanılabilirliğini, ve dolayısıyla popülaritesini, derinden etkilemiştir. Dijital kamera teknolojisinin PIV'ye girişi, direkt parçacık görüntülerinin kaydına olanak sağlamıştır. Bu da çözümlerde masrafın azalmasına ve dijital PIV'nin gelişmesine neden olmuştur. Bu donanımsal avantajların yanısıra, son on yılda PIV analiz hızını ve doğruluğunu arttıran pek çok yeni algoritma geliştirilmiştir. (Gürlek,2008)

3.2. Parçacık Görüntülü Hız Ölçüm Yöntemi (PIV)'nin Prensipleri

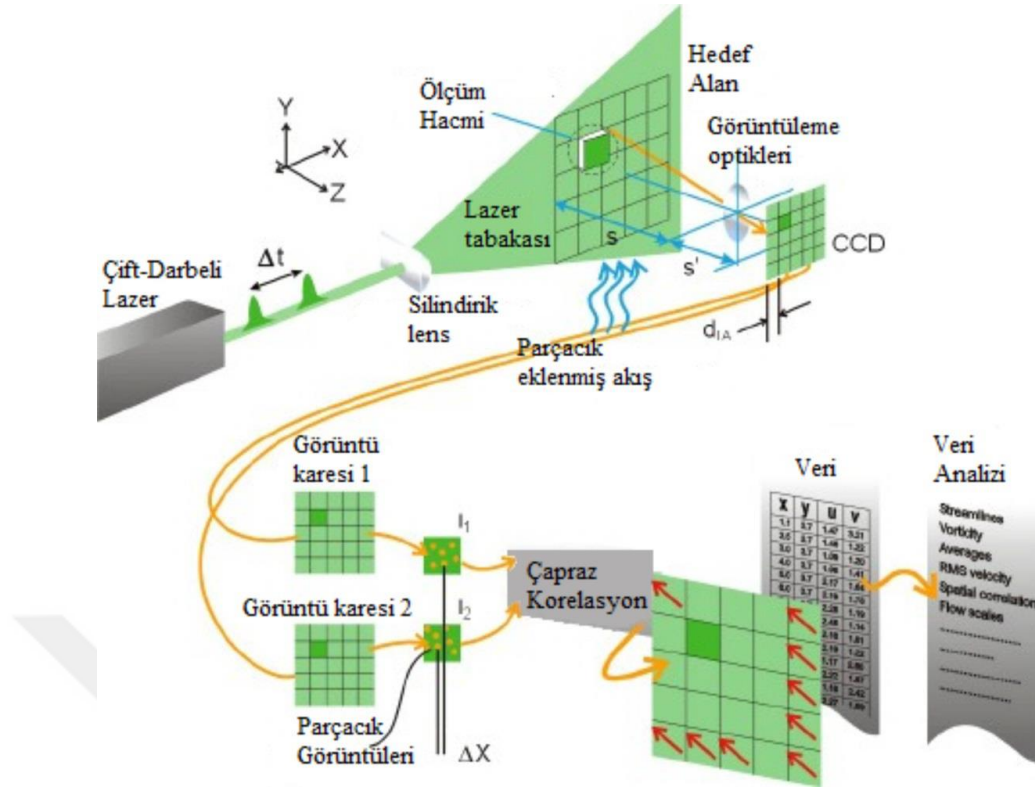
PIV güçlü bir nicel akış görselleştirme yöntemidir ve düzensiz ayrılmış akış araştırmaları için seçilen bir yöntem olmuştur. PIV, bir anlık zamanda bir düzlemin tamamı için dahi yüksek düzlemsel çözüm ve doğruluğu sunmaktadır. PIV'nin teorik tanımı akışkanlar mekaniği, optik, görüntü işleme ve sinyal analizi gibi pek çok farklı disiplini gerektirir. Bu alt adımların her biri gözlemlenen görüntüye ilişkin akış hareketinin sunumu üzerinde etkiye sahiptir.

Bir sistemin deneysel kurulumu tipik olarak çeşitli alt sistemlerden meydana gelir. Çoğu uygulamada, iz yapıcı parçacıklar akışa eklenmek zorundadır. Bu parçacıklar kısa bir zaman aralığında en az iki kez bir akış düzleminde aydınlatılmalıdır. Parçacıklar tarafından saçılan ışık hem tek kare üzerinden hem de ardarda gelen kareler üzerinden kaydedilmelidir. Işık darbeleri arasında parçacık görüntülerinin yer değişimi PIV kayıtlarının ölçümleri aracılığıyla belirlenir. PIV tekniğini kullanarak biriktirilen çok miktarda datayı işleyebilmek için karmaşık bir veri işleme silsilesi gereklidir. Şekil 3.1’de örnek bir PIV kayıt sistemi düzeneği temel olarak gösterilmiştir. (Url-3) Küçük iz yapıcı parçacıklar akışa eklenir. Akışın içindeki bir düzlem, lazer kaynağı aracılığıyla peşpeşe iki kez (ışık darbeleri arasındaki zaman gecikmesi, akışa hız veren araca ve görüntülemenin büyüklüğüne bağlı olacak şekilde) aydınlatılır. İz yapıcı parçacıkların 2 aydınlatma arasında yerel akış hızı ile hareket ettiği varsayılır. İz yapıcı parçacıklar tarafından saçılan ışık özel bir CCD (Charge-Coupled Device-Yük Etkileşimli Cihaz) çapraz korelasyon sensörü üzerinden kaydedilir. CCD sensör çıktıları direkt olarak eşzamanlı şekilde bilgisayar hafızasında depolanır. PIV kayıtlarının düzenlenmesi için “sorgu alanı” olarak adlandırılan küçük alt alanlara ayrılır. Yerel akış hızının ışık düzlemine doğru izdüşüm vektörü, görüntüleme büyüklüğü ve iki ışıklandırma arasındaki zaman gecikmesi gözönüne alınarak hesaplanır. Bu sorgu işlemleri PIV kayıtlarının tüm sorgu alanları için tekrarlanır. (Gürlek,2008’e göre Raffel vd.,1998)

PIV tekniği detayları aşağıda sunulmuş ve açıklanmıştır.

PIV işlem adımı temel olarak 5’e ayrılır;

1. İz yapıcı parçacıkların akışa eklenmesi
2. Aydınlatma
3. Görüntü alınması
4. Görüntü işlenmesi
5. Korelasyon



Şekil 3.1 PIV tekniği temel işlem adımları (Url-3)

Aslında PIV’de ölçülen hız akışın hızı değildir, akışla birlikte hareket eden parçacıkların hızıdır. Bu açıdan bu iz yapıcı parçacıklar fiili hız propları olarak düşünülebilir ve bu yüzden PIV tekniğinde önem arz eder. Şekil 3.2’de akış içerisindeki iz yapıcı parçacıkların kendilerine gelen ışığı yansıtma görülmektedir.



Şekil 3.2 Akış içerisindeki iz yapıcı parçacıklar

3.2.1. İz Yapıcı Parçacıkların Akışa Eklenmesi

Rüzgar tünellerinde zeytinyağı yada alkol damlaları kullanılırken; PIV’de su içerisinde akışı beslemek için ışığı yansıtabilen, polistren, gümüş kaplı parçacıklar yada yüksek yansıtma kabiliyetine sahip malzeme kullanılmak zorundadır. İz yapıcı parçacık seçimi

incelenecek parametre sayısına bağlıdır. Öncelikle parçacığın ölçülebilir ve aydınlatma sistemine uygun olanın seçilmesi gerekmektedir. Akış yapısına bağlı olarak, PIV ölçümlerinde genel olarak kullanılan parçacıkların çapı 0,1 – 0,5 µm aralığında değişmektedir. Genel kullanımda ışığı daha fazla yansıtabilmesi için olabildiğince büyük çaplar seçilmelidir. Fakat bununla birlikte parçacık büyüklüğü, akışa düzgün bir şekilde ayak uydurabilmesi için sınırlı değerler arasındadır. Genellikle akış hızı, türbülans ve hız gradyanları arttıkça azami izin verilebilir parçacık boyutu düşer. (Gürlek,2008)

3.2.2.Aydınlatma

PIV tekniğinde akış alanında hareket halindeki parçacıkların yansıttığı ışık, kamera üzerinde kaydedildiğinde bir sinyal oluşturur. Parçacıkların hem başlangıç hem de son pozisyonu kamera aracılığıyla yakalanmalıdır. Böylece her iki pozisyon arasındaki yer değişimi ölçülebilir. Bu nedenle PIV aydınlatma yöntemi aşağıda belirtilen bazı şartları sağlamalıdır;

- Kamera ile görüntünün kayıt edilebilmesi için, sistemin optik gürültü seviyesinin üzerinde ve parçacıkların yeterli yoğunluktaki ışığı yansıtabilecek yeterlilikte ışık sağlanabilmelidir.
- İki ışık darbesi arasında parçacığın önemli bir yer değişikliği olmaması için ışık darbe süre aralığı iyi ayarlanmalıdır.
- Işık darbesi sanki o an akış donmuşçasına kısa ve parçacığın sanki duruyormuş gibi olacak şekilde ayarlanmalıdır. Uzun süre aydınlatma görüntüde bulanıklığa neden olabilir.
- Ölçüm düzlemi ve bölgesi iyi belirlenmelidir. (Temel,2013)

3.2.3.Görüntü Yakalama

PIV tekniğinde data işlemeyi gerçekleştirebilmek için pozlanmış bir çift görüntü karesi gereklidir. Kameranın amacı, akış alanı içerisindeki iz yapıcı parçacıkların başlangıç ve son pozisyonlarını yakalamak ve bu parçacık pozisyonlarından yer değiştirme vektörü türetebilmektir. PIV sisteminde CCD kameralar iz yapıcı parçacık pozisyonlarının görüntü haritasının ani bir dijital sinyali alabilmek için kullanılır. Ayrıca tarihsel olarak bu iş için fotoğraf filmi de kullanılmıştır.

İngilizce kısaltması CCD olan Charge-Coupled Device, Türkçe'de yük etkileşimli cihaz anlamına gelmektedir. Bir CCD kamera piksel olarak bilinen sıralı bir detektör içermektedir. Her piksel, fotodiyotdaki gibi ışık fotonlarının elektronlara dönüştürüp

depolayan bir kondansatördür. Hücreler silikon çipin katkısıyla üretilen potansiyel kuyuları aracılığıyla birbirinden ayrılır ve şeffaf metalik elektrodların ızgaralarına voltaj uygulanarak CCD yüzeyi üzerinde depolanır. Böylece bir piksel üzerine ışık düşmesi elektronik bir yüklemeye dönüştürülür. Bağımsız pikseller üstüne düşen bu yükleme, CCD çipinin arka dışı boyunca bir voltaja dönüştürülür ve bu voltaj, PIV görüntü haritası üzerinde gri bir ölçek dağılımı olarak görünür. İdeal olarak, görüntüler yüksek yüklemelere sahip olmalı yani beyaz görünüm ve CCD çipinin arka plan gürültü sesi siyah görünür olmalı.

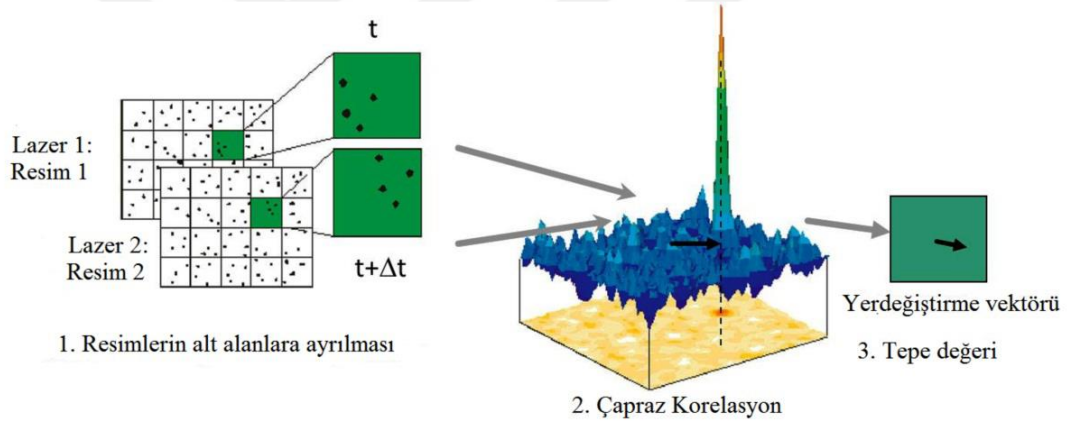
Farklı CCD dizilimi tasarımına sahip çeşitli CCD kameralar vardır. Basit olarak, CCD diziliminin mimarisi, oto korelasyon yada çapraz korelasyon yöntemlerinden hangisi için görüntü alınacağını etkiler. Tarihsel olarak başlangıçta oto korelasyon, fotoğraf filmi bir görüntü yakalama aracı olarak kullanıldığı için PIV tekniğinde en yaygın kullanılan görüntü yakalama yöntemi idi. Şimdilerde çapraz korelasyon görüntü yakalamayı mümkün hale getiren, iki görüntü karesi arasında çok az bir zaman farkı ile çekim yapan kameralar mevcuttur. Çapraz korelasyonda, iz yapıcı parçacık beslemesinin akış alanı içindeki ilk pozisyon görüntüsü kameranın ilk karesine kaydedilir, kamera karesi geliştirilmiştir, son pozisyon da kameranın ikinci karesine kaydedilir. Bu iki görüntü, akış alanı görüntüsünün bir hız vektörü haritasını elde etmek için çapraz korelasyon algoritması kullanılarak işlenir. Hangi karenin birinci hangi karenin ikinci olduğu bilindiği için yönsel hız bilgisi açık bir şekilde elde edilir. (Gürlek,2008)

3.2.4.Korelasyon İşlemi

PIV işlemi temel olarak, dijital PIV'deki lazer darbeleri yada fotografik tabanlı iki lazer aydınlanması arasındaki zamanda hareket eden parçacıkların uzaklıklarının belirlenmesidir. PIV görüntü dataları genel olarak, parçacık izleme, oto korelasyon ve çapraz korelasyon olmak üzere 3 tip teknikle işlenirler. İşleme tekniğinin seçimi öncelikle, parçacık görüntü datasına ve iz yapıcı parçacık konsantrasyonuna uygun kullanılmış ekipmana bağlıdır. Korelasyon tabanlı işleme teknikleri düzlemsel ortalama hız tahminler üretirler. Kaydedilen görüntü kareleri, herbiri parçacık görüntüsü içeren daha alt bölgelere ayrılır. Küçük alt bölgelerin düzgün bir ızgara üzerindeki görüntüyü işleme yoluyla bir hız vektörü haritası üretilir. Hem oto korelasyon hemde çapraz korelasyon, korelasyonun direkt nümerik hesaplanmasından daha etkili olduğu için FFT (Hızlı Fourier Dönüşümlerini) kullanarak bu işlemlerde uygulanır. (Gürlek,2008)

Oto korelasyon işlemi PIV işleme tekniklerinin en eskisidir. Oto korelasyon tekniğinde tek bir görüntü karesi birkaç kez pozlanır ve küçük alt bölgelerin düzgün birer ızgarası üzerinde işlenir.

Çapraz korelasyon PIV’de iki poz görüntü karesi kaydedilmek zorundadır. Çapraz korelasyon tekniği görüntü karesinin alt bölgelere bölünmesi açısından oto korelasyona benzemektedir. Ancak çapraz korelasyonda birinci lazer darbesinden elde edilen görüntünün alt bölgesi, ikinci lazer darbesinden elde edilen görüntünün alt bölgesi ile çapraz korele edilir. Korelasyon düzlemi üzerindeki çıkış sonuçları, tepenin iki lazer darbesi arasında alt bölge karşısında parçacık ortalama yerdeğişimini gösteren bir tek-tepe fonksiyonudur. Yerdeğişiminin yönü, birinci ve ikinci görüntü ayrı şekilde kaydedildiği için açıkça belirlenir. Şekil 3.3’de PIV tekniğindeki çapraz korelasyon işlemi prensibi gösterilmektedir. (Temel, 2013)



Şekil 3.3 Çapraz korelasyon işlemi temel prensibi(Temel, 2013)

3.3.Elde Edilen Deney Sonuçlarının İşlenme Adımları

Ham hız alanlarının son işlemde geçmesi için vektörlerin doğrulanması, sahte vektörlerin kaldırılması, kaldırılan vektörlerin yerine yenisinin konması, verilerin filtrelenmesi ve düzgünleştirilmesi gerekmektedir.

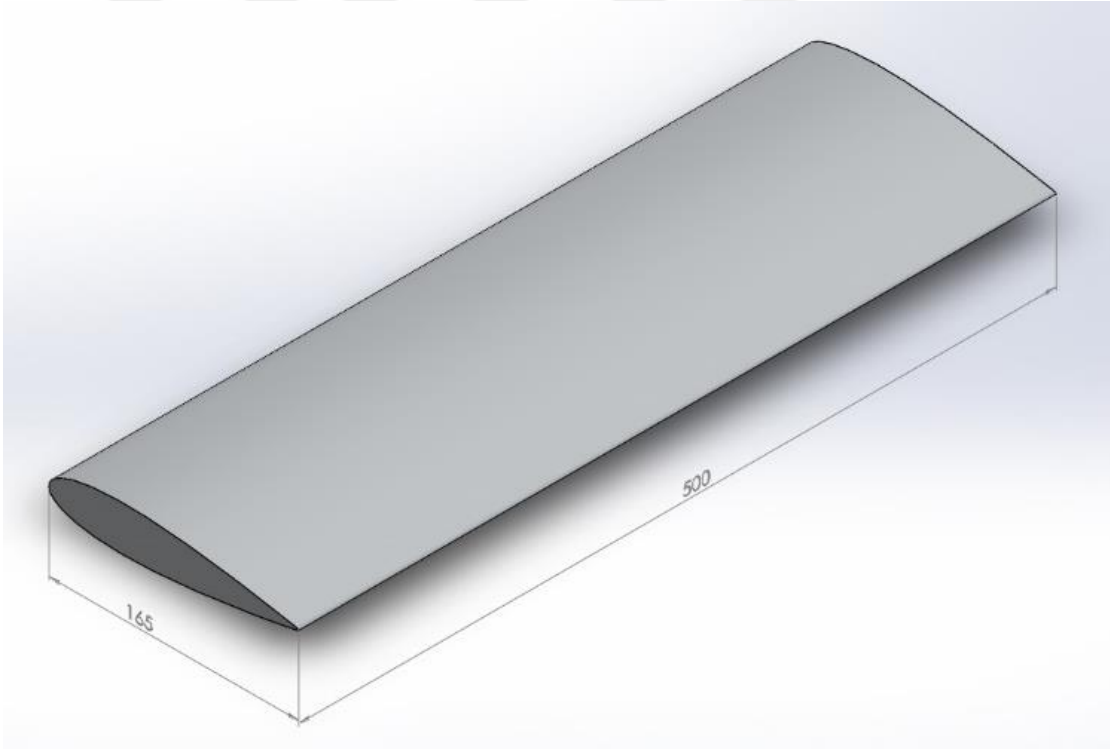
PIV tekniğinde parçacık görüntüleri, vektör yerdeğişimlerini elde etmekle ilişkilidir. Parçacık görüntülerinin kendileri gelişigüzel fonksiyonlar olduğu için, korelasyon fonksiyonu sonuçları veriseti kullanılmadan önce kaldırılması gereken hatalı ölçümlere sahip olan sonlu bir olasılık yaratan gelişigüzel bileşenlere sahiptir. Hız alanı hesaplandıktan sonra, CleanVec(CleanVec, İllinois Üniversitesi Teorik ve Uygulamalı Mekanik Bölümünde Ron Adrian’ın ekibi tarafından yazılmış bir PIV vektör doğrulama

programıdır.) kullanılarak vektörler doğrulanır. Hatalı vektörlerin kaldırılmasını takip eden işlem, eksik vektör bölgelerini doldurmada kullanılan bir doğrusal olmayan en küçük kare tekniği, görüntü alanını gerçek akış alanına ölçeklemek ve girdap dağılımlarını hesaplamaktır.

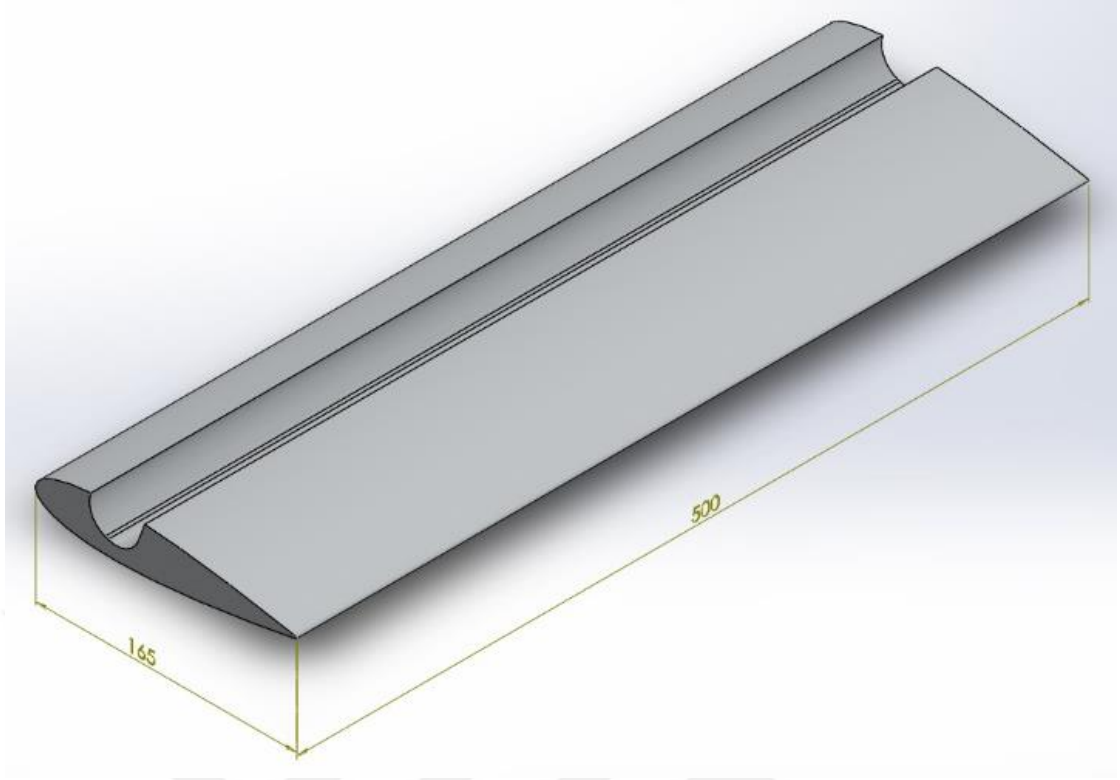
3.4. Deneyde Kullanılan Kanat Modelleri

Bu çalışmada, 165 mm genişliğine sahip üç farklı kanat modeli kullanılmıştır. Bu modeller aşağıdaki gibidir;

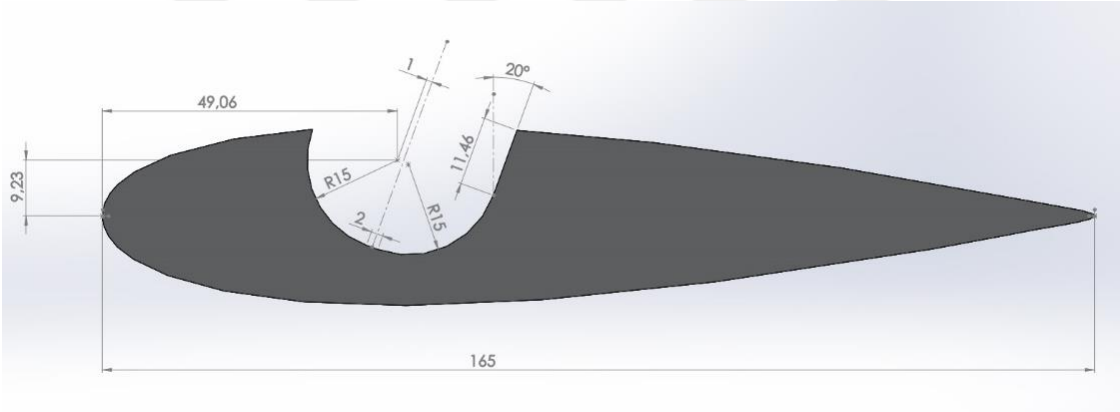
1. Simetrik bir yapıya sahip olan NACA 0018 kanat modeli (Şekil 3.4)
2. NACA 0018 kanat modeli üzerinde dairesel boşluklu bir geometriye sahip olan kanat modeli (Şekil 3.5)
3. NACA 0018 kanat modelinin firar kenarından %66'lık kısmının kesildiği basamaklı kanat modeli (Şekil 3.7)



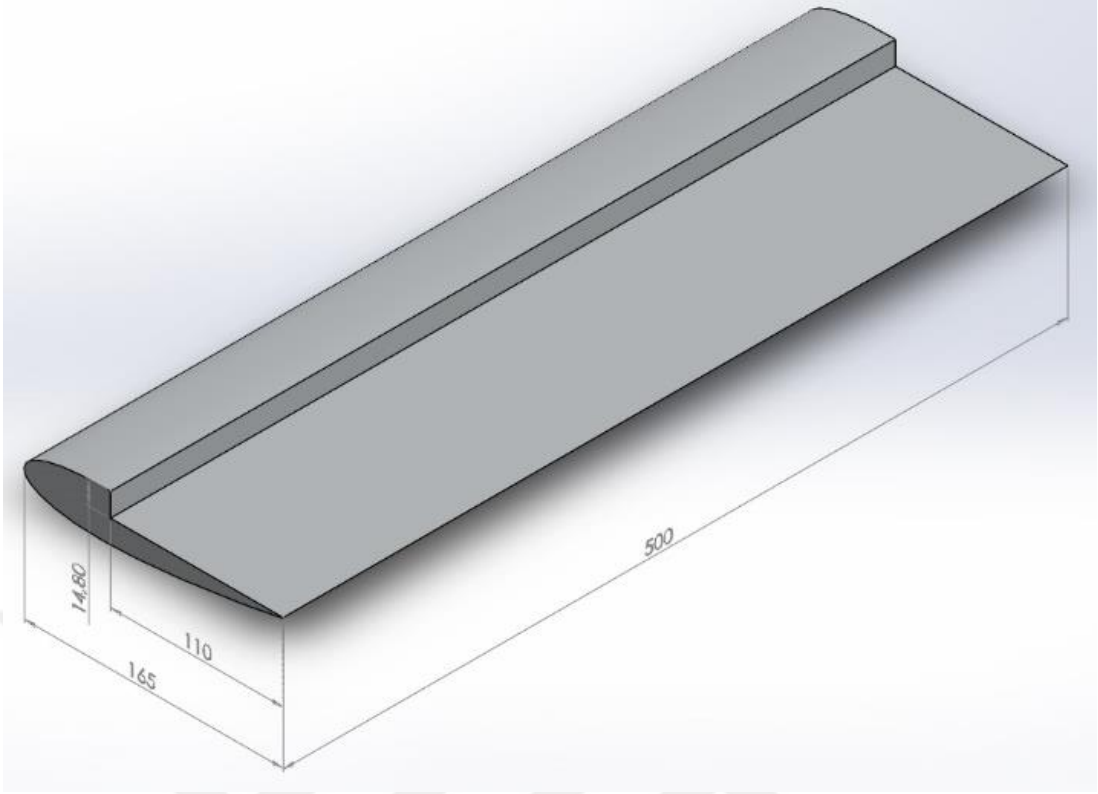
Şekil 3.4 Deneyde kullanılan NACA 0018 kanat modeli genel görünümü



Şekil 3.5 Deneyde kullanılan boşluklu kanat modelinin genel görünümü



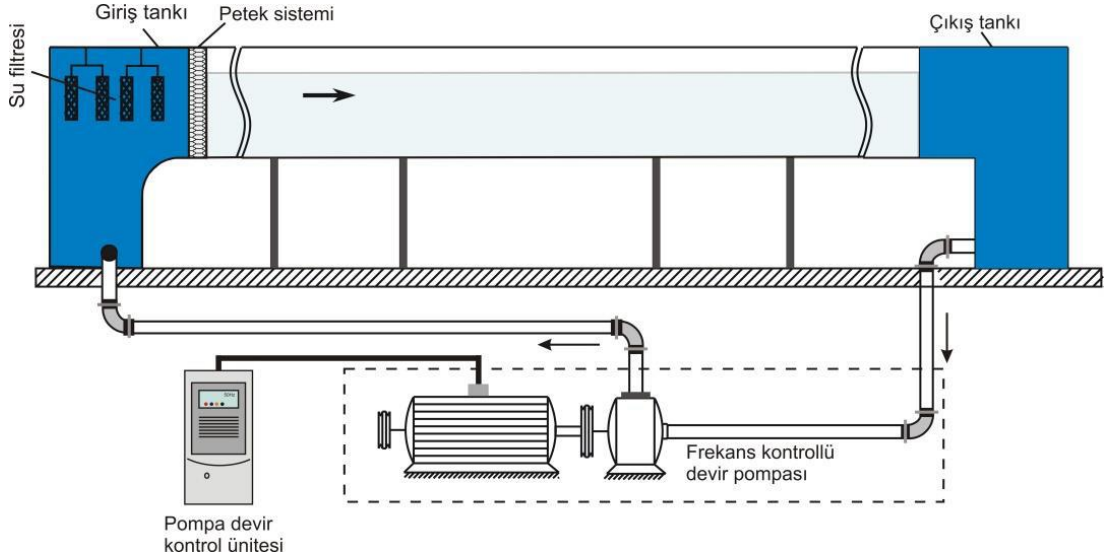
Şekil 3.6 Deneyde kullanılan boşluklu kanat modelinin detay görünümü



Şekil 3.7 Deneyde kullanılan basamaklı kanat modelinin genel görünümü

3.5.Kullanılan Deney Düzeneği

PIV deneyleri, Şekil 3.8’de görülen Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında kurulu olan kapalı devre açık yüzey su kanalında gerçekleştirilmiştir. (Öztürk ve Çoban,2013) Su kanalı iki adet su deposu ve bu iki depo arasında bulunan akrilik malzemeden imal edilmiş, 750 mm x 1000 mm x 8000 mm (yükseklik x en x boy) boyutlarında saydam ölçüm alanından oluşmaktadır. Kanal içerisindeki akış hızı, hız kontrol ünitesi yardımıyla değişik devirlerde çalışabilen bir pompa ile ayarlanmaktadır. Model kanatlar iki adet 500 mm x 500 mm boyutlarındaki, akrilik plakadan yapılan aparatlara, iki uçtan bağlanarak kanal içerisine yerleştirilmiştir. Hücum açıları akrilik malzeme üzerine işaretlenmiş açılara göre ayarlamak suretiyle, modeller istenilen hücum açısına getirilerek cıvatayla sabitlenmiştir. Kanaldaki serbest akım hızı Reynolds sayısı $Re=20.000$ olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.8 Kapalı çevrim çalışan açık su kanalının şematik görünümü (Gürlek, 2008)

Şekil3.9’da boşluklu kanat modelinin kanal içerisine yerleşimi görülmektedir.

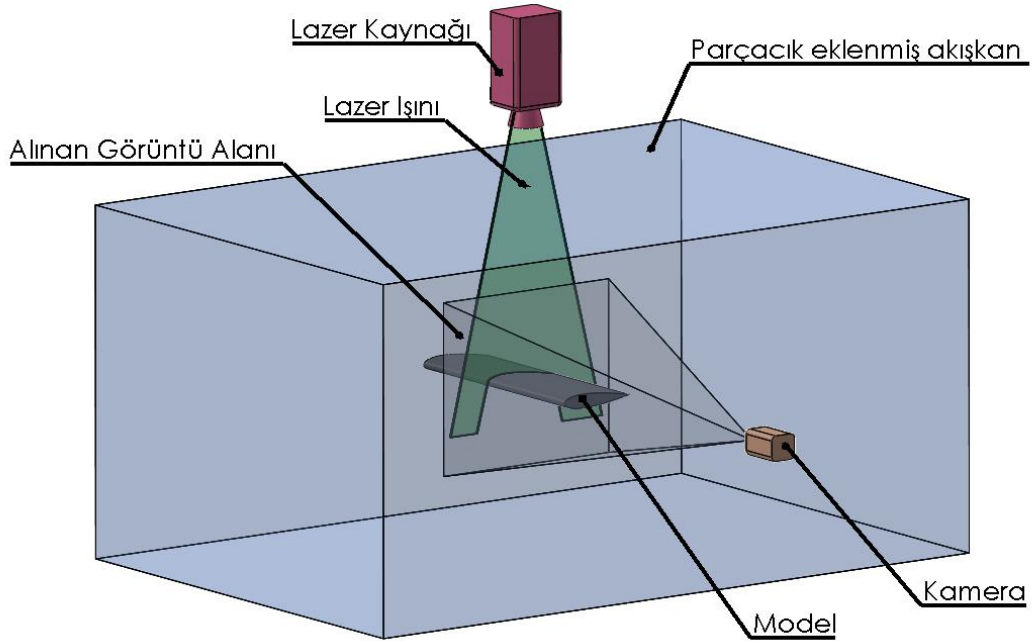


Şekil 3.9 Boşluklu kanat modelinin su kanalına yerleştirilmiş hali

3.5.1. Deneyin Yapılışı

Deney kurulumunun şematik görünümü Şekil 3.10’da verilmiştir. Bu çalışmadaki PIV deneylerinde 1200 x 1600 piksellik alanda ölçümler yapılmıştır. Kamera bakış açısı ile lazer ışını arasında $\alpha=90^\circ$ ’lik fark vardır. Lazer ışını gönderen bölüm kanalın üst kısmına yerleştirilmiştir ve kamera kanala yandan bakmaktadır. Deneyde modellerin öncelikle lazer ışığını geçirebilen akrilik malzemeden yapılması düşünülmüş, ancak tasarlanan modele uygun kalınlıkta akrilik malzeme bulunmaması ve ürün imalatı ile ilgili

fabrikasyon imkansızlıklardan dolayı modeller alüminyum malzemeden imal edilmiştir. Deneyde kullanılan modellerin alüminyumdan yapılması ve lazer ışınının alüminyumda geçememesinden dolayı, lazer ışını modelin alt kısmında kalan bölgeyi aydınlatamamaktadır. Bu nedenle modeller yerleştirilirken, boşluklu ve basamaklı modellerde lazer ışınının boşluk bölgesini aydınlatabilmesi için boşluk kısımları lazere bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu nedenle modelin alt kısmında kalan bölge karanlık olarak görülmektedir. Boşluğun akış yapısı üzerine etkisi incelendiğinden bu bölgenin karanlık kalmasının deneysel açıdan herhangi bir sakıncası yoktur. Ancak veriler işlenirken bu bölgede oluşan verilerin temizlenmesi ve ham veriler için bir ön hazırlık gerektirmektedir. Lazer ışını kanalın üst kısmından 500 mm uzunluğundaki modelin orta kısmına gelecek şekilde gönderilmiştir. Deneyde kullanılan modellerin bağlandığı plakaların akışı etkilememesi ve kanal içerisinde sürüklenmeden kalabilmesi için ağırlık oluşturması amacıyla model, dolu alüminyum malzemeden 500 mm boyunda imal edilmiştir. Deneyde modeller kanal içerisine, kanala girişten itibaren 2.20 m uzaklıkta bağlantı aparatı kanal ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.10 Su kanalı, kamera, lazer kaynağı ve kanat şematik görüntüsü

Keskin köşelerden oluşabilecek akış düzensizliklerini önlemek amacıyla akrilik bağlantı plakalarının uç kısımları yuvarlatılmıştır. Deneyde kullanılan modeller iki boyutta akış incelemesi için tasarlanmış olup, kurgulanan deneyin doğası gereği üçüncü boyutta değişimler olmadığı, olan küçük değişimlerin de akışı etkilemeyeceği varsayılmıştır. Kanalın türbülans yoğunluğu %0.5 civarındadır. (Öztürk ve Çoban, 2013)

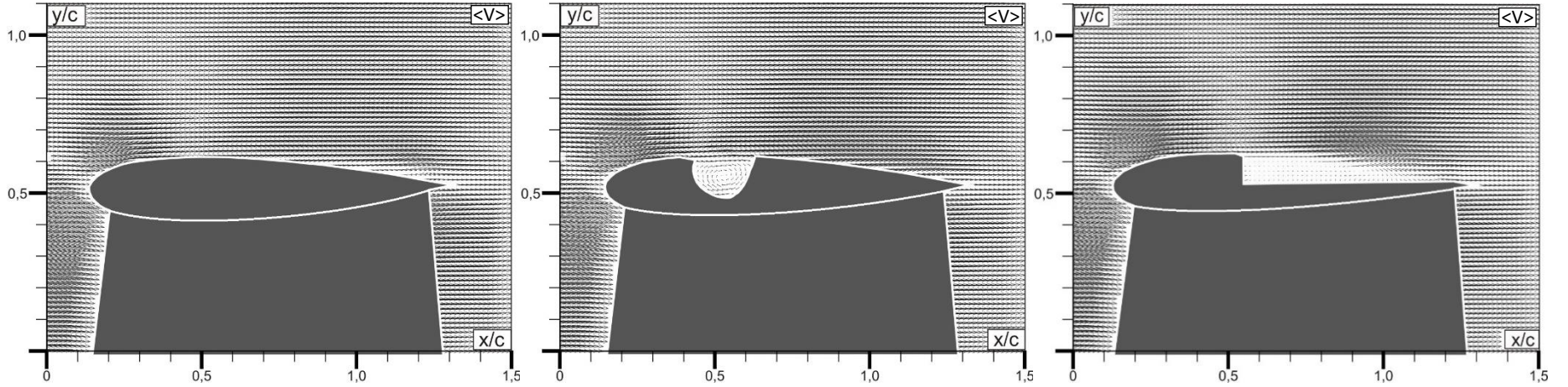
3.6.Deney Sonuçları

Bu alışmada, PIV yöntemi kullanılarak c farklı geometriye sahip kanat modellerinin akış alanlarına ait zaman ortalama hız vektörleri, girdap konturları ve akım çizgileri elde edilmiştir. Deneyler, hücum açısı değerleri, $\alpha=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ, 16^\circ, 18^\circ, 22^\circ, 24^\circ$ ve $Re=20.000$ için gerçekleştirilmiştir.

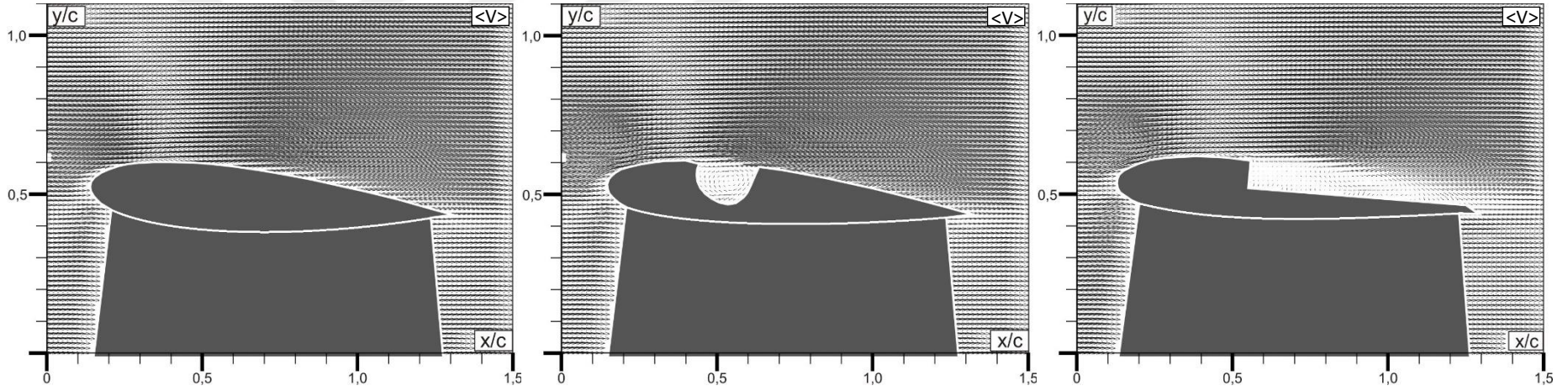


3.6.1.Hız Vektörlerin Karşılaştırılması

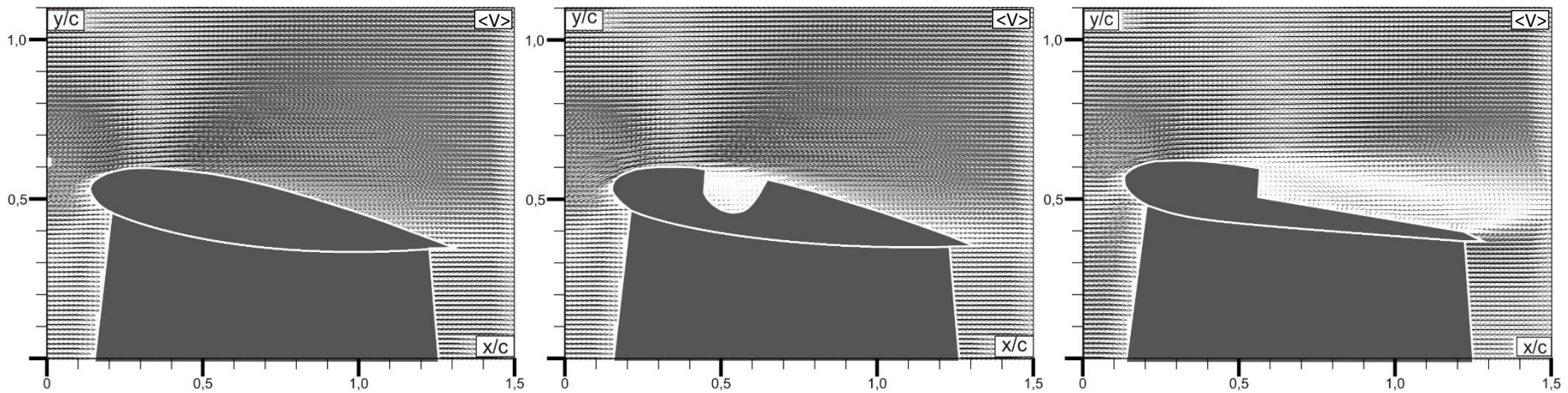
Şekil 3.11-3.19’da ilgili hücum açılara ait hız vektörleri sunulmuştur. Şekiller incelendiğinde akış ayrılma noktasından itibaren girdap oluşumlarının en dış tarafında vektörlerin yoğunlaştığı, girdap oluşan bölgelerde ise vektörlerinin büyüklüklerinin azaldığı ve seyrekleştiği görülmektedir.



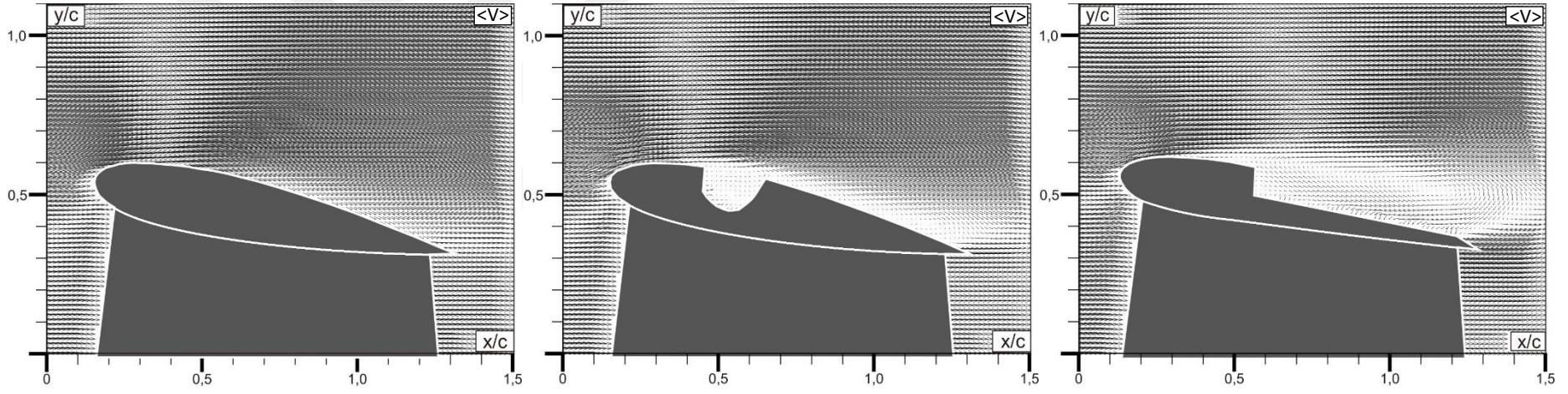
Şekil 3.11 Hücum açısı $\alpha=0^\circ$ ’de zaman ortalama hız vektörleri



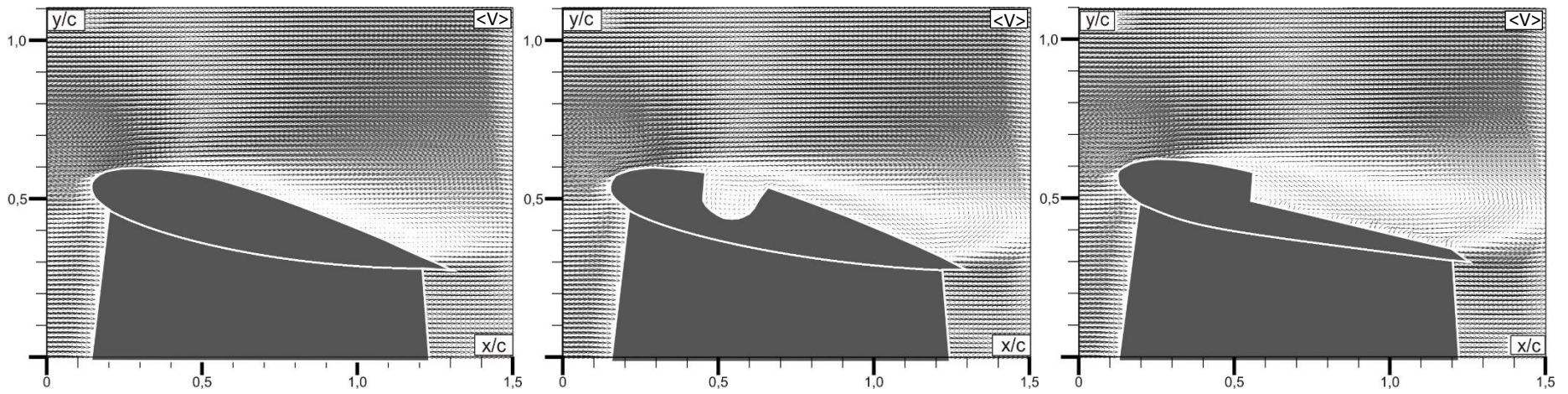
Şekil 3.12 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ 'de zaman ortalama hız vektörleri



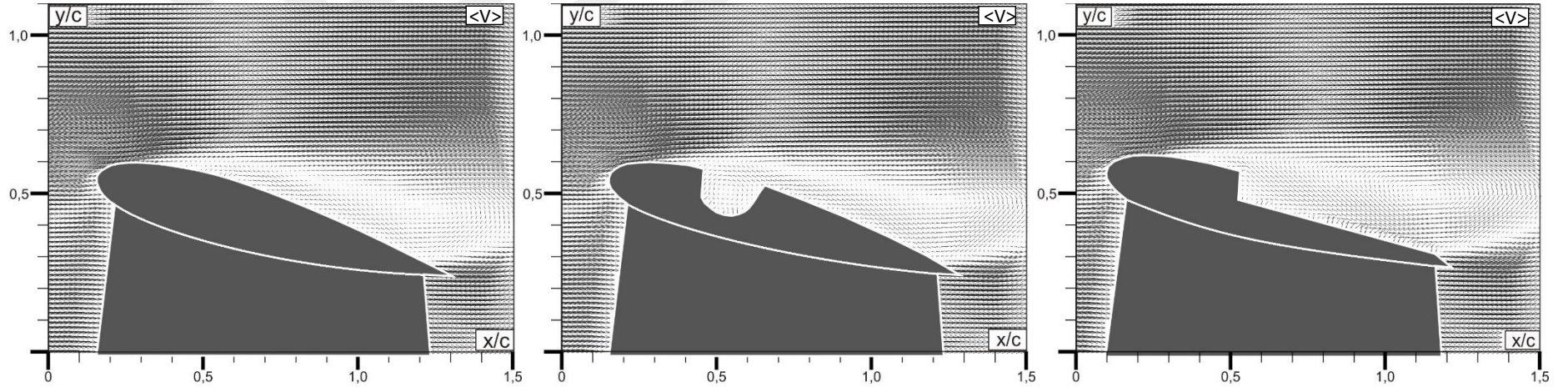
Şekil 3.13 Hücüm açısı $\alpha=10^\circ$ 'de zaman ortalama hız vektörleri



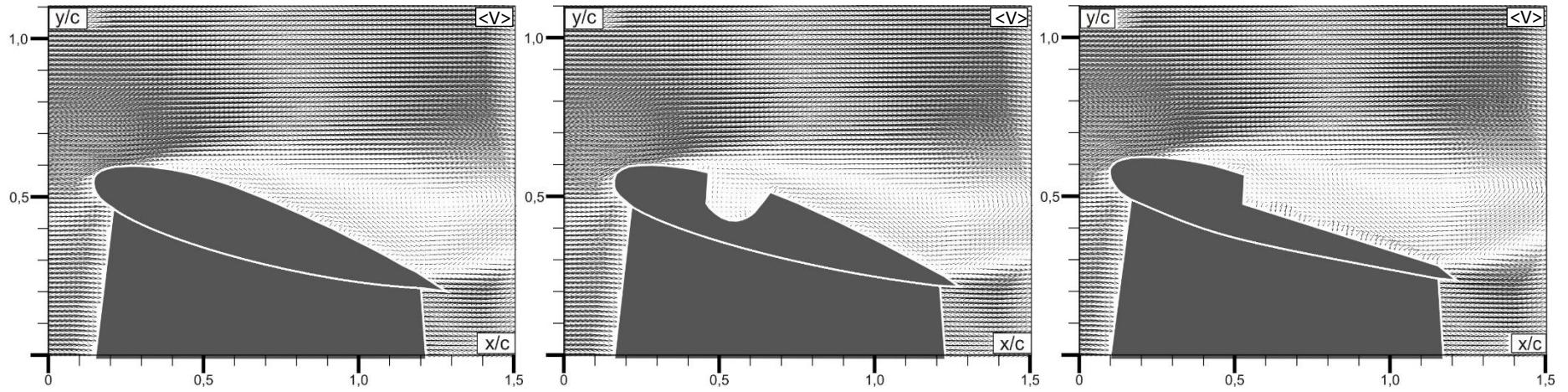
Şekil 3.14 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri



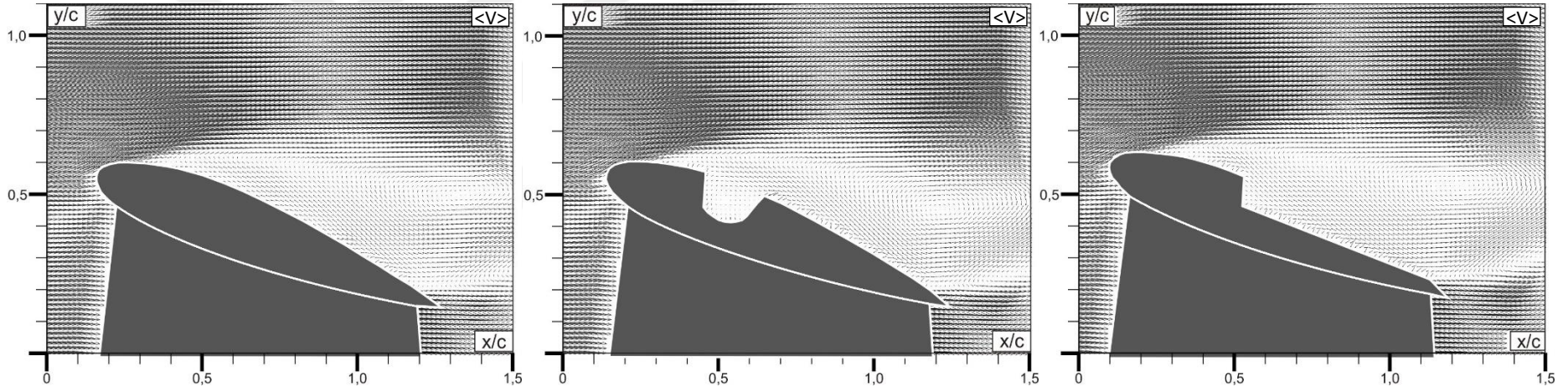
Şekil 3.15 Hücüm açısı $\alpha=14^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri



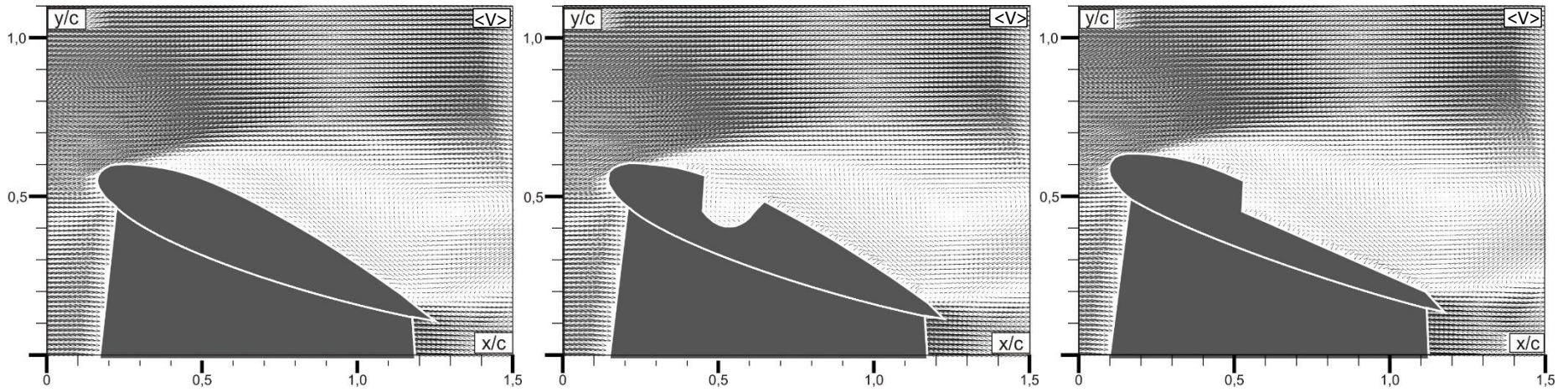
Şekil 3.16 Hücum açısı $\alpha=16^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri



Şekil 3.17 Hücum açısı $\alpha=18^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri



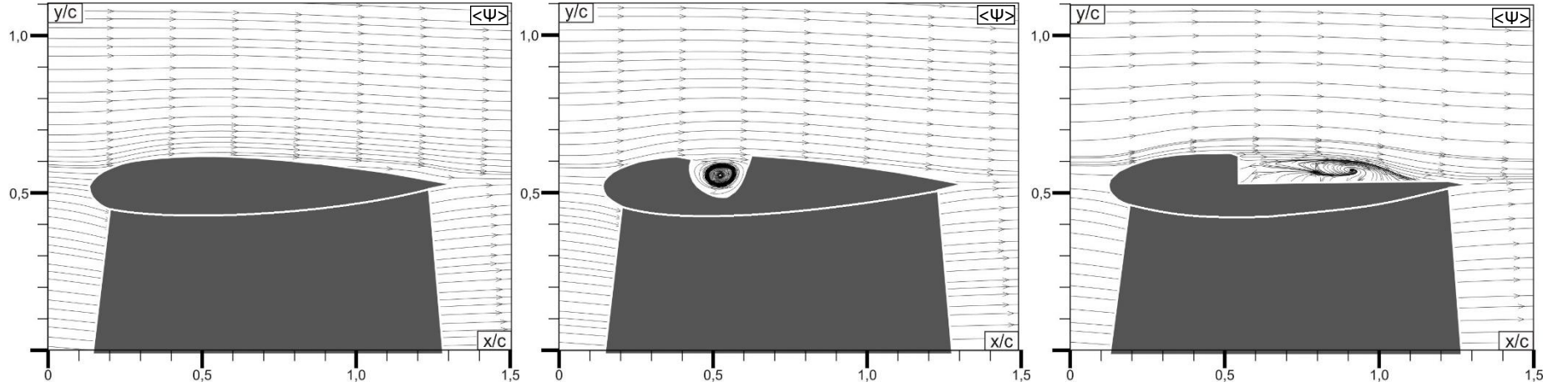
Şekil 3.18 Hücüm açısı $\alpha=22^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri



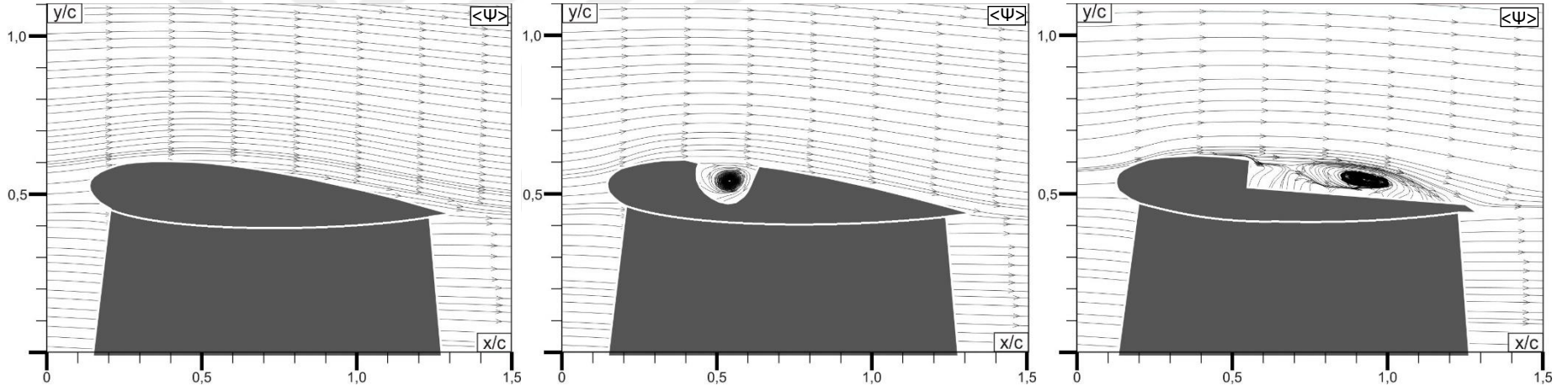
Şekil 3.19 Hücüm açısı $\alpha=24^\circ$ de zaman ortalama hız vektörleri

3.6.2. Akım Çizgilerinin Karşılaştırılması

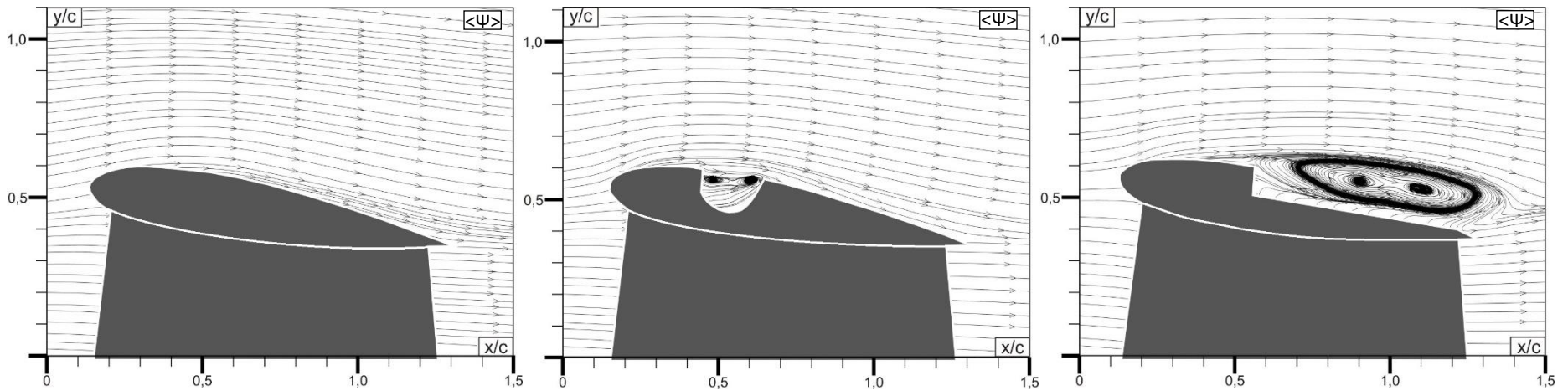
Şekil 3.20-3.28’de ilgili hücum açılara ait akım çizgileri sunulmuştur. Akım çizgilerine bakıldığında akış ayrılmasının standart NACA 0018 modelinde $\alpha=12^\circ$, boşluklu modelde $\alpha=10^\circ$, basamaklı modelde ise $\alpha=5^\circ$ ’den sonraki hücum açılarında meydana geldiği görülmüştür. Akış ayrılma noktası ve oluşan girdap şekli her model ve hücum açısında farklılık göstermektedir. Boşluklu ve basamaklı modelde kanat üzerinde oluşan girdapların yanı sıra oyuk ve basamakta da girdaplar oluştuğu, bazı hücum açılarında birden fazla girdap oluştuğu görülmüştür.



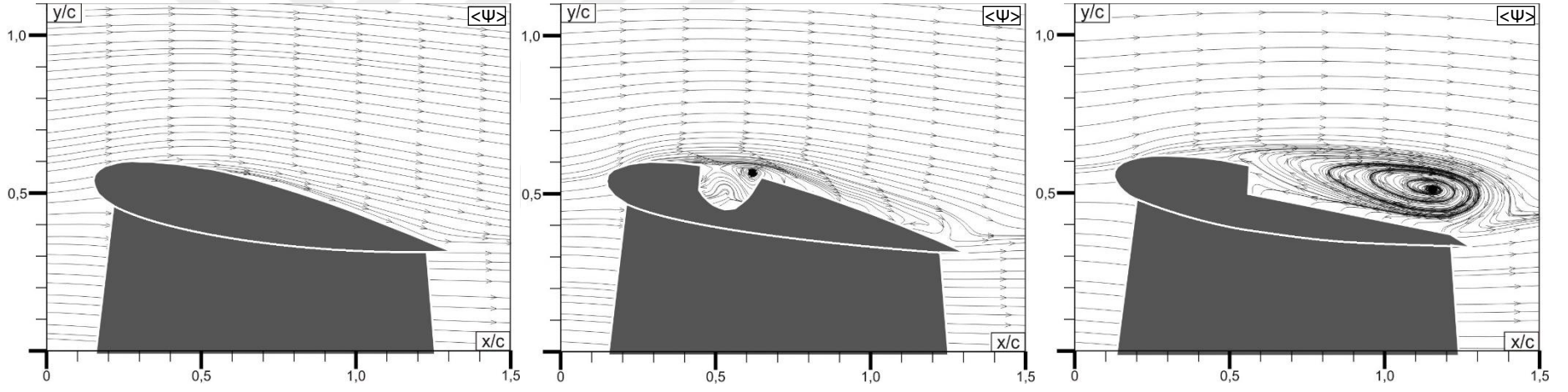
Şekil 3.20 Hücum açısı $\alpha=0^\circ$ ’de zaman ortalama akım çizgileri



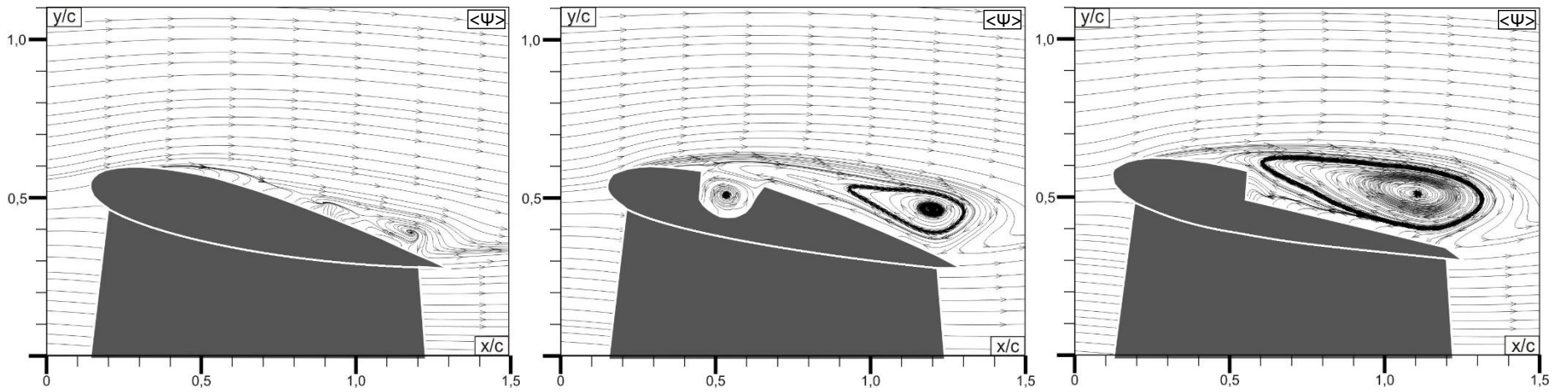
Şekil 3.21 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



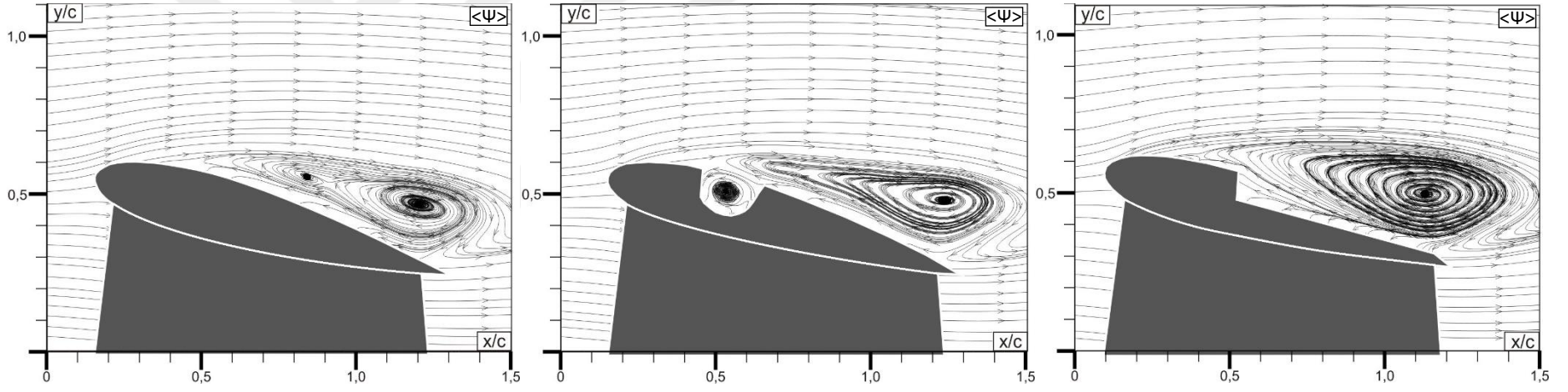
Şekil 3.22 Hücüm açısı $\alpha=10^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



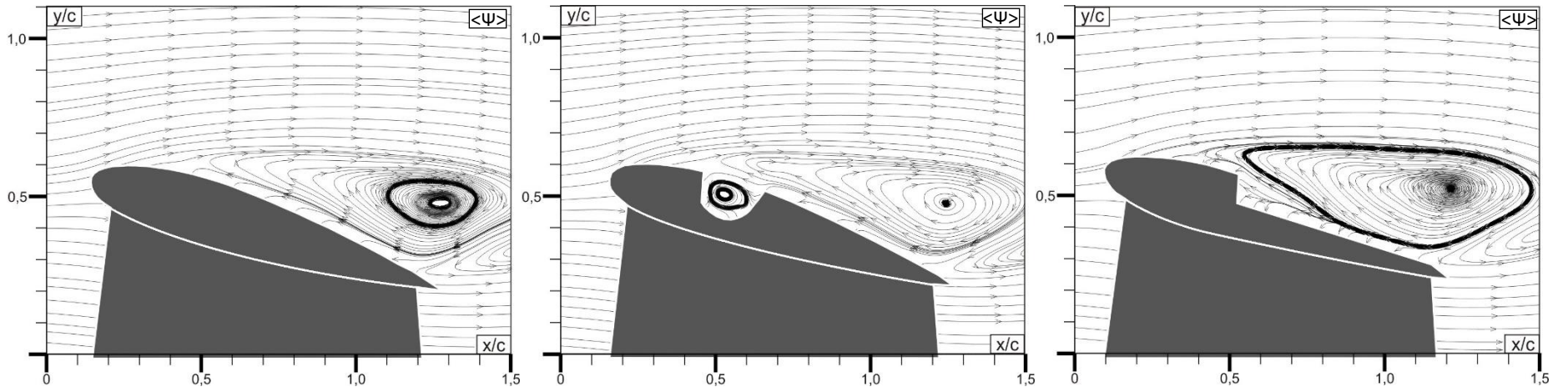
Şekil 3.23 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



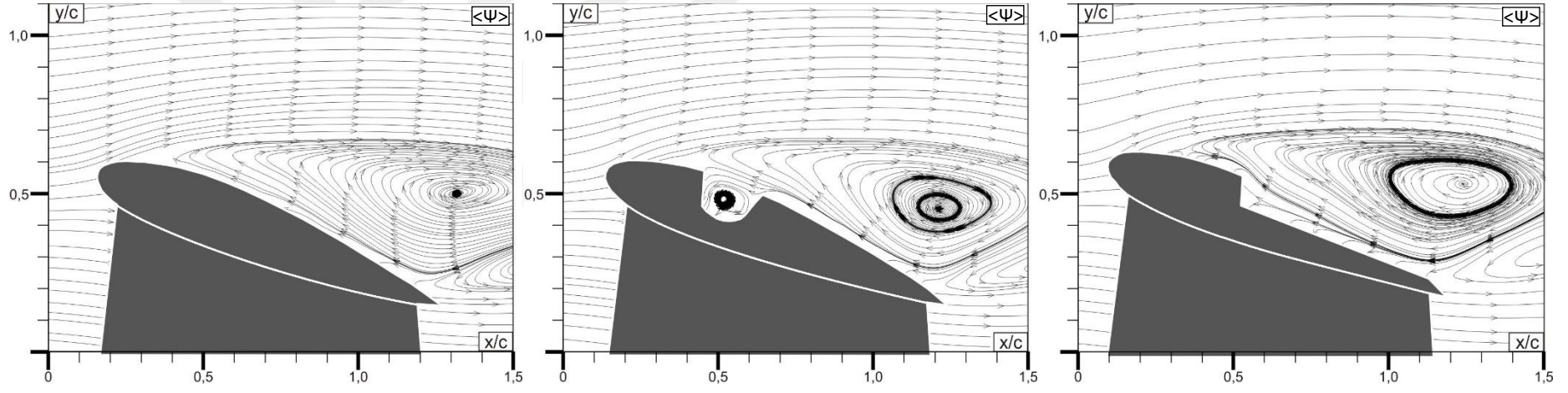
Şekil 3.24 Hücüm açısı $\alpha=14^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



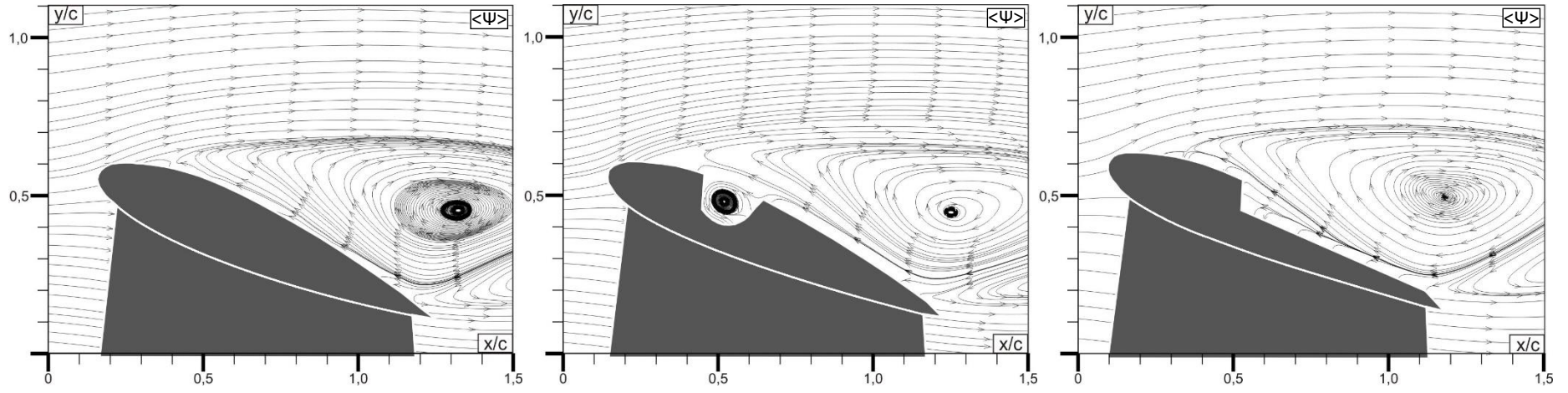
Şekil 3.25 Hücüm açısı $\alpha=16^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



Şekil 3.26 Hücüm açısı $\alpha=18^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



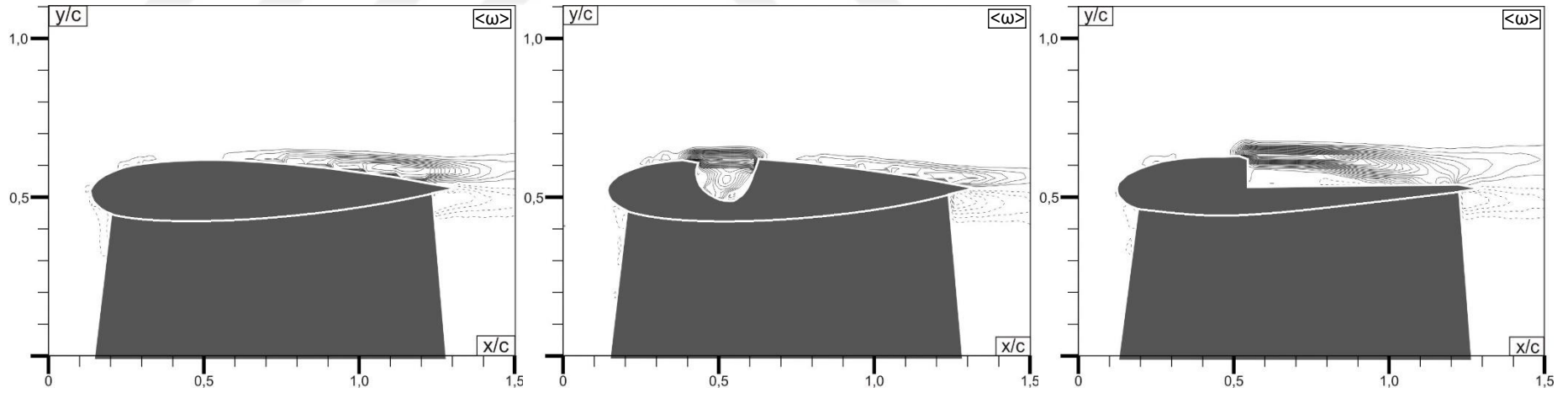
Şekil 3.27 Hücüm açısı $\alpha=22^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



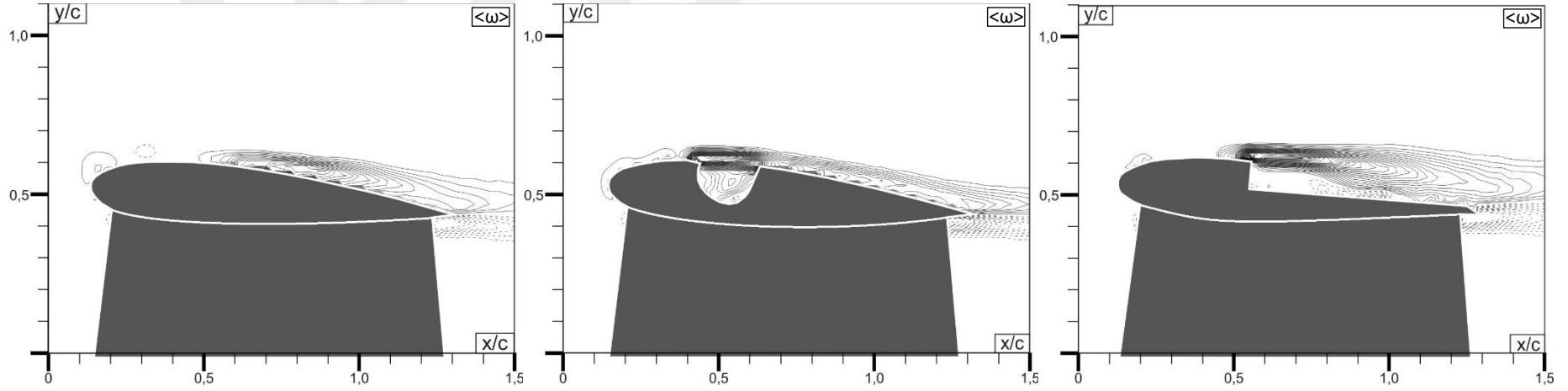
Şekil 3.28 Hücüm açısı $\alpha=24^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri

3.6.3. Girdap Konturların Karşılaştırılması

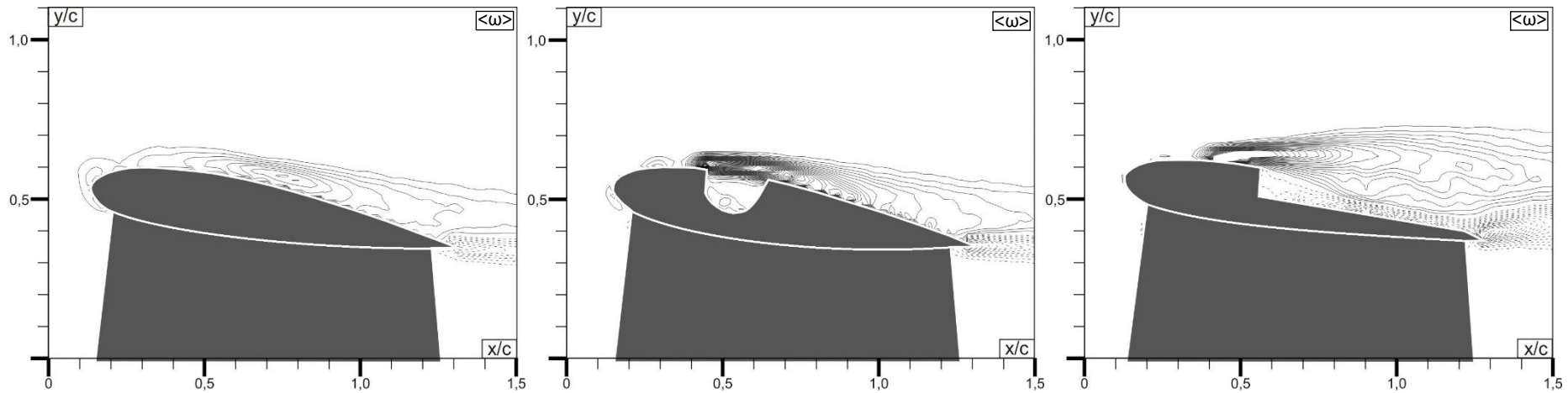
Şekil 3.29-3.37’de ilgili hücum açılarına ait girdap konturları sunulmuştur. Düşük hücum açılarında boşluklu ve basamaklı modelde boşluk ve basamağın hemen üstünde konturların yoğunlaştığı görülmektedir. Yüksek hücum açılarında ise tüm modellerde akış ayrılma noktasında girdap konturları yoğunlaşmaktadır.



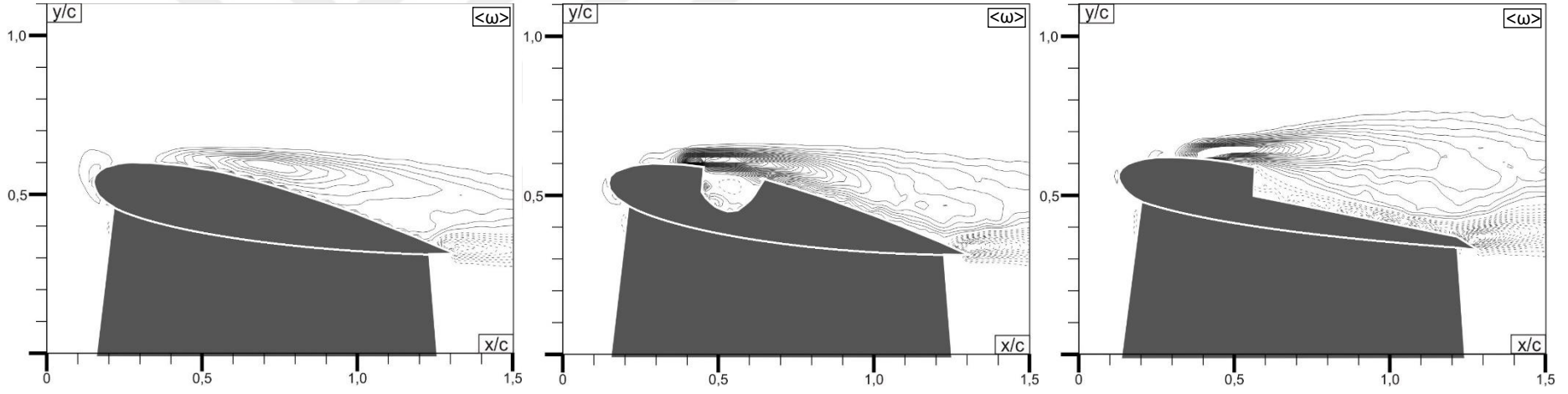
Şekil 3.29 Hücum açısı $\alpha=0^\circ$ ’de zaman ortalama girdap konturları



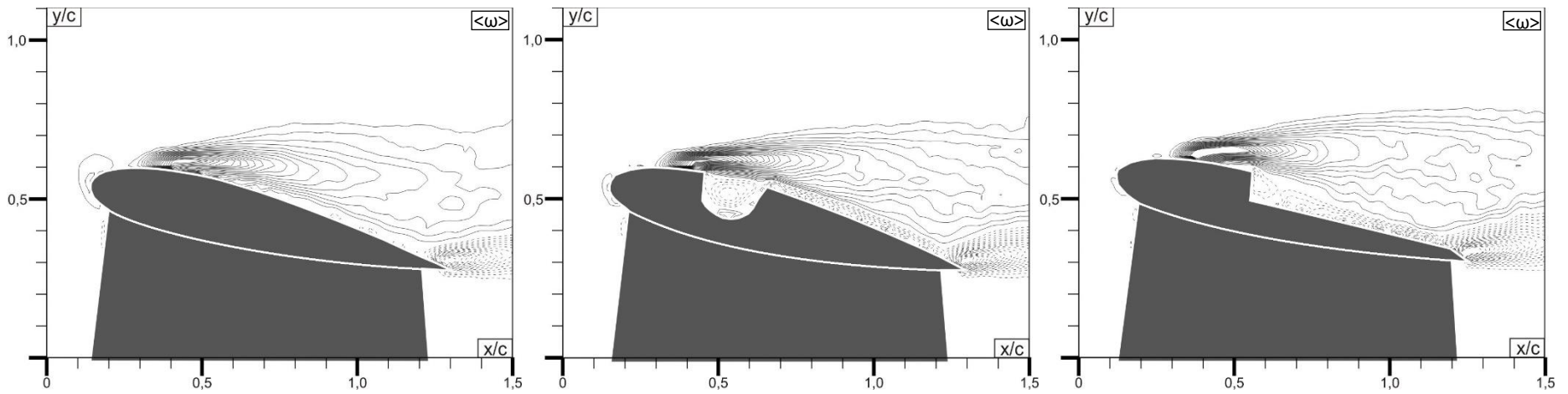
Şekil 3.30 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları



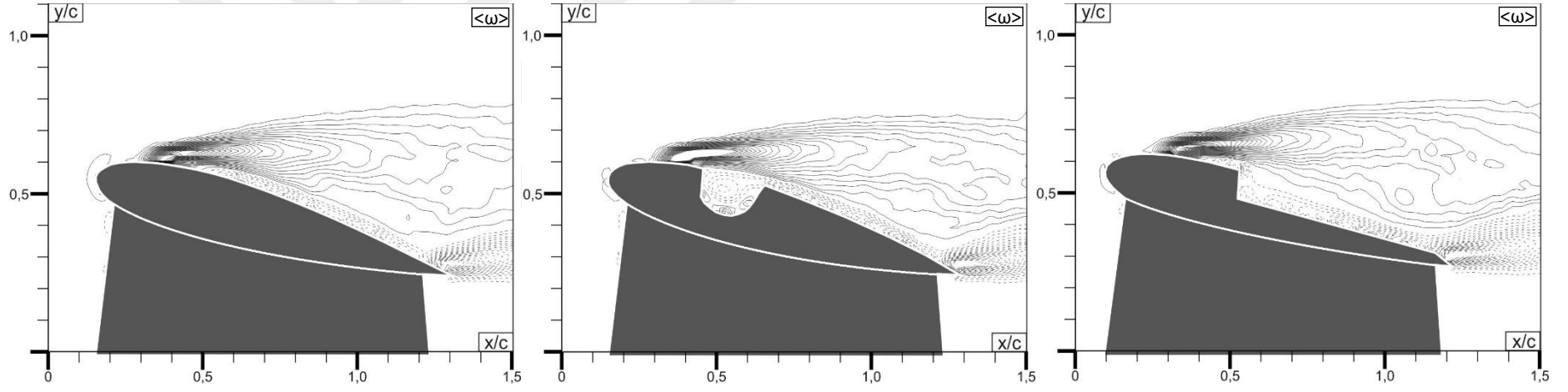
Şekil 3.31 Hücüm açısı $\alpha=10^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları



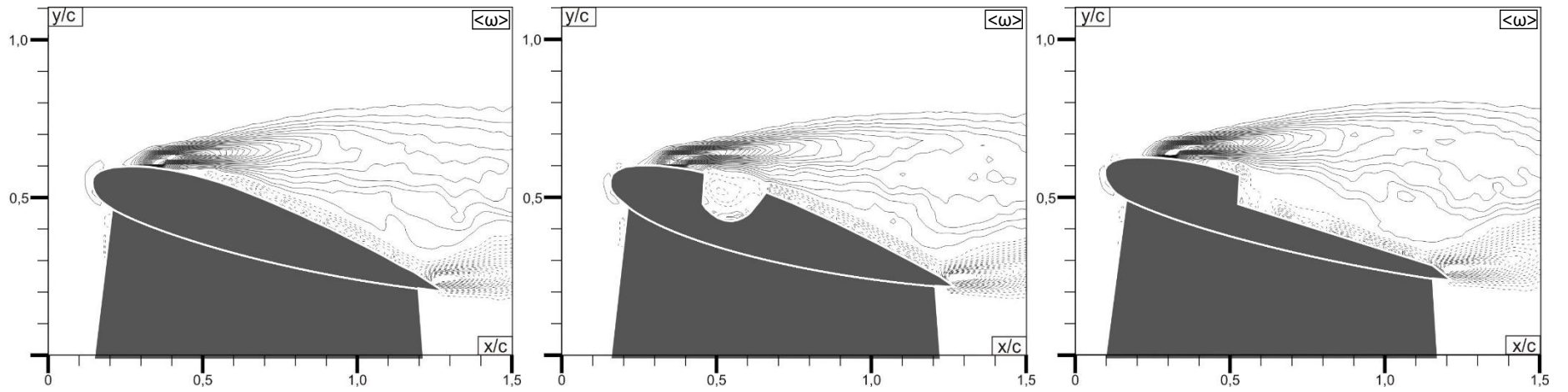
Şekil 3.32 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları



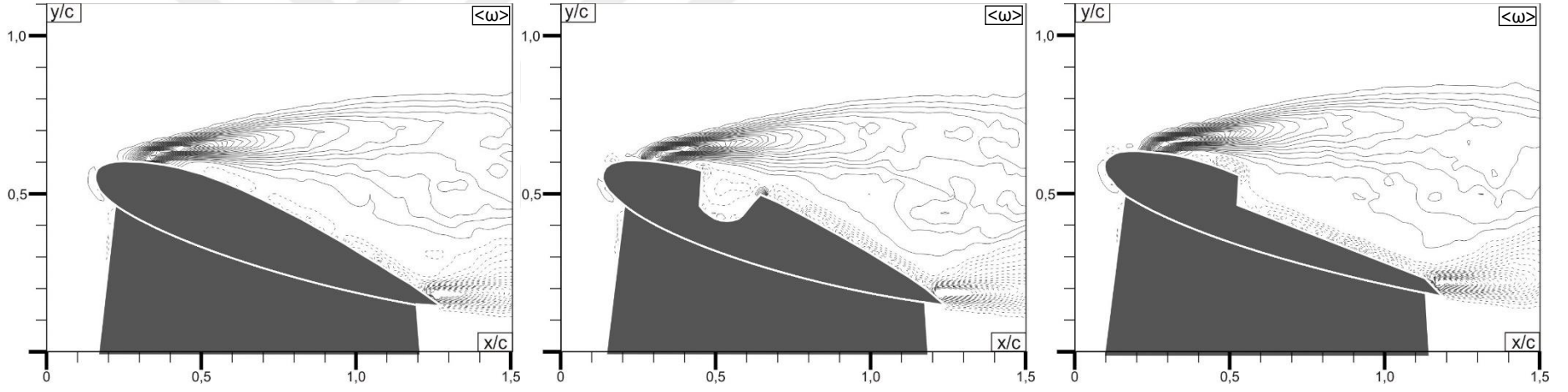
Şekil 3.33 Hücüm açısı $\alpha=14^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları



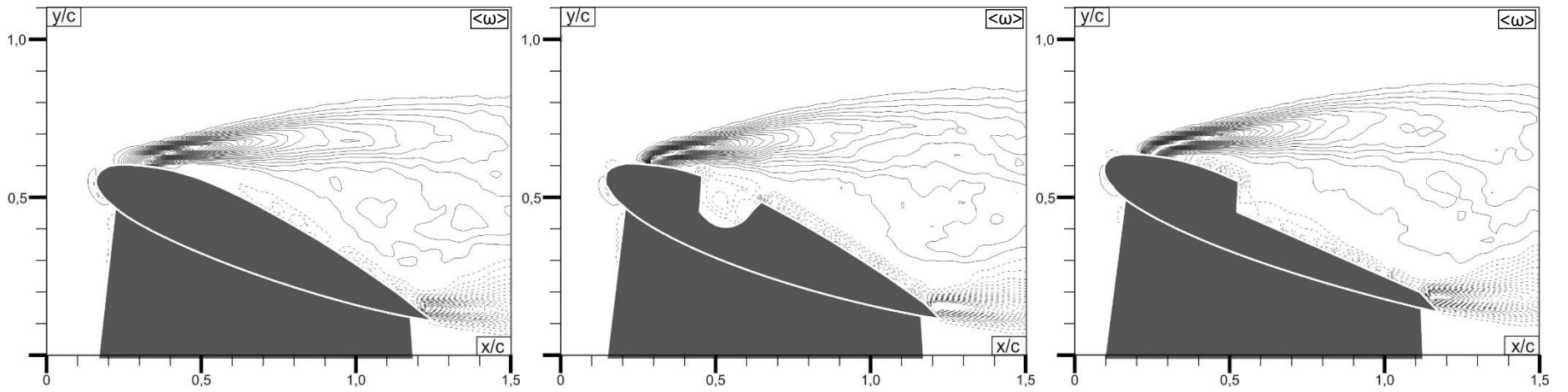
Şekil 3.34 Hücüm açısı $\alpha=16^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları



Şekil 3.35 Hücüm açısı $\alpha=18^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları



Şekil 3.36 Hücüm açısı $\alpha=22^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları



Şekil 3.37 Hücüm açısı $\alpha=24^\circ$ 'de zaman ortalama girdap konturları

4.NÜMERİK ÇALIŞMA

Akışkanlar mekaniği problemlerini çözmek amacıyla birçok paket program geliştirilmiştir. Bu çalışmada yapılan nümerik analizler için ise sık kullanılan programlardan biri olan ve sonlu hacimler esasına dayalı çözümleme yapan ANSYS Fluent 14.5 programı kullanılmıştır.

Bu bölümde, çalışmada kullanılan nümerik analiz yöntemi açıklanacak, daha sonra analiz adımları ve sonuçları belirtilecektir. Öncelikle analizlerde kullanılan denklemler verilecek, ardından nümerik analiz ayarları ve analiz prosedürü açıklanacaktır.

4.1.Temel Denklemler

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde bir formdan başka forma geçiş için akış dinamiğindeki korunum denklemleri kullanılır. Analizlerdeki matematiksel modeller; kütle, momentum, enerji ve skaler değişimler için taşınım denklemlerinin sayısal çözümlerine dayanmaktadır. (Başkan,2009)

4.1.1.Kütlenin Korunumu

Kütlenin korunumu denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (4.1)$$

Denklem (4.1), kütle korunumu denkleminin temel formudur ve hem sıkıştırılabilir hem de sıkıştırılmaz akışlar için geçerlidir. (Başkan,2009)

4.1.2.Momentum Denklemleri

Momentum denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla \rho + \nabla \cdot (\tau) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)'de bulunan τ , gerilme tensörüdür ve aşağıdaki gibidir:

$$\tau = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (4.3)$$

Denklem (4.3)'de, μ moleküler viskoziteyi, I birim tensörü ve sol tarafında bulunan ikinci terim ise hacim genleşme etkisidir. (Başkan,2009)

4.1.3.Türbülans Modeli Seçimi

Her akış problemi kendine özgü farklılık gösterir. Bu nedenle her problemin çözümünde kullanılacak tek bir türbülans modeli bulunmaz. Türbülans modeli, akışın fiziksel durumu, özel tip bir problem için ortaya konulan uygulama, istenilen doğruluk hassasiyeti seviyesi, ulaşılabilir hesaplama kaynakları ve analiz için harcanabilecek zaman miktarı gibi parametreleri hesaba katılarak seçilir. Analizler için en uygun türbülans modelinin seçilebilmesi için, çeşitli seçeneklerin kısıtlamaları ve kapasitelerinin iyi bilinmesi gerekir.

4.1.3.1.k – ω Türbülans Modeli ve Transport Denklemleri

Bu çalışmadaki tüm nümerik analizler için literatürdeki çalışmalarda da sık tercih edilen modellerden biri olan standart $k - \omega$ türbülans modeli kullanılmıştır. ANSYS Fluent'te bulunan standart $k - \omega$ türbülans modeli, kayma akımı dağılımı, sıkıştırılabilirlik ve düşük Re sayısı için değişiklikleri de kapsayan Wilcox $k - \omega$ modelini baz almaktadır. Wilcox modeli, uzak girdaplar, karışan katman ve düzlemler, yuvarlak ve radyal jetler için ölçümlerle yakın ilişki içinde bulunan serbest kayma akımı dağılım oranlarını öngörmektedir ve bu nedenle duvar-sınırlı akıslarda ve serbest kayma akıslarında uygulanabilmektedir. (ANSYS Fluent Theory Guide, 2009)

Standart $k - \omega$ modeli, türbülans kinetik enerji(k) ve özel bir yayılma oranı(ω) için model transport denklemlerine dayanan ampirik bir modeldir.

$k - \omega$ türbülans modeli yıllar boyunca değiştirildikçe, öngörülen serbest kayma akışı için modelin doğruluğunu geliştirecek şekilde k ve ω denklemlerine yeni terimler eklenmiştir.

Türbülans kinetik enerjisi “ k ” ve özel yayılma oranı “ ω ” aşağıda verilen transport denklemlerinden elde edilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_w \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_w - Y_w + S_w \quad (4.5)$$

Yukarıdaki eşitliklerde G_k , ortalamalı hız gradyanları dolayısıyla türbülans kinetik enerji oluşumunu, G_w ise ω 'nın oluşumunu, Γ_k ve Γ_w ise göreceli şekilde k ve ω 'nın etkili yayılma gücünü, Y_w ve Y_k ise türbülansın dolaylı k ve ω 'nın yayılmasını göstermektedir. S_k ve S_w ise kullanıcı tanımlı kaynak terimlerini ifade etmektedir. (ANSYS Fluent Theory Guide,2009)

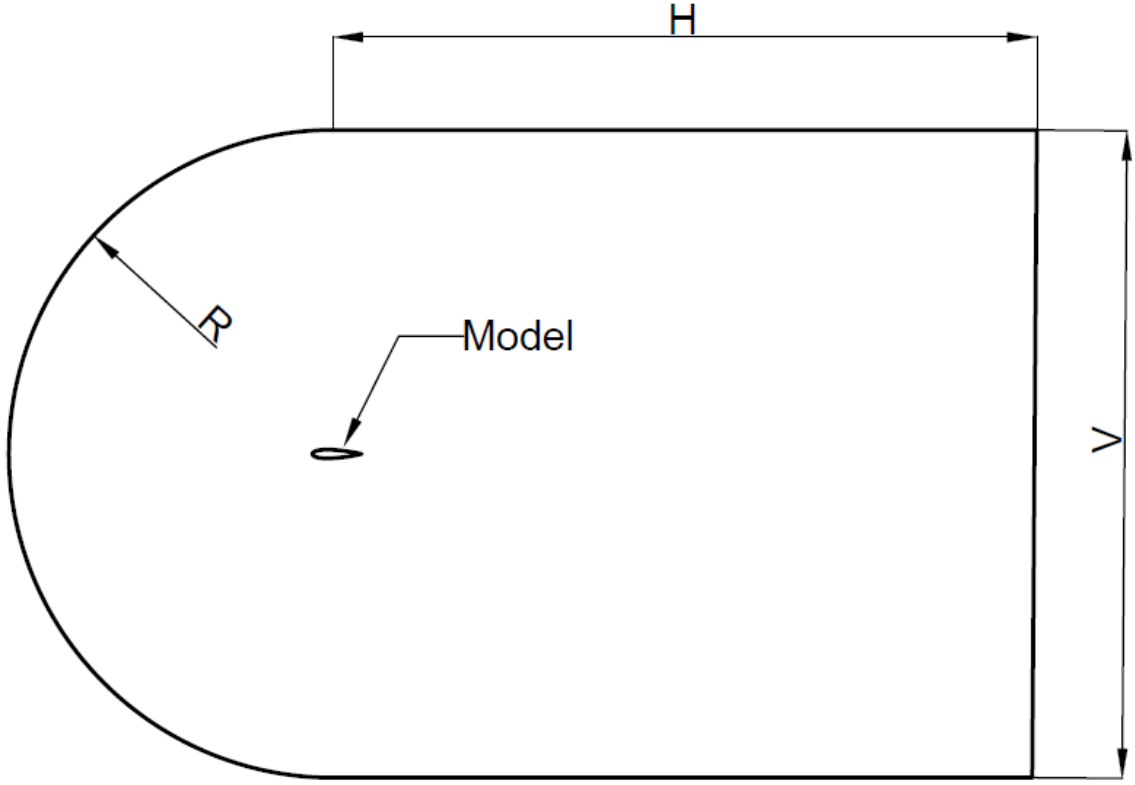
4.2.Modellerin Oluşturulması

Deneysel çalışmadaki modellere benzer şekilde nümerik çalışmalarda da NACA 0018, boşluklu NACA 0018 ve basamaklı NACA 0018 olmak üzere 3 farklı tip kanat profili aynı şartlarda çalışılmıştır. Nümerik çalışmalar (kanat açıklığı ile profilin değişmediği varsayılarak) 2 boyutta yapılmıştır. “İllinois Üniversitesi Uygulamalı Aerodinamik Grubu (UIUC Applied Aerodynamic Group)” tarafından oluşturulan ve url-2 adresinde yayınlanan veritabanından NACA 0018’e ait koordinatlar alınmış ardından koordinatlar giriş uzunluğu 165 mm olacak şekilde ölçeklenmiştir. Ölçeklenen yeni koordinatlar SOLIDWORKS programı kullanılarak yüzey oluşturulmuş daha sonra solid binary formatında kaydedilmiştir. Modifikasyona uğratılmış modellerde aynı yol izlenerek kaydedilmiştir. Daha sonra ANSYS 14.5 programının içerisinde bulunan Fluent paketi içerisine bu profil yüzeyleri eklenerek sonraki analiz prosedürü yalnızca Fluent içerisinden yapılmıştır.

Nümerik analiz ortamı oluştururken sınır tabakadan yeterince uzaklıkta olması ve literatürde sık kullanılması açısından C-H tipi ağ alanı kullanılmıştır. Şekil 4.1’de kullanılan C-H yapısı ve modellerin yerleşim noktası, Çizelge 4.1’de de C-H yapısının ölçüleri sunulmuştur. Modeller C şeklindeki yarım dairenin merkezinde olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Çizelge 4.1 Kullanılan C-H yapısının ölçüleri

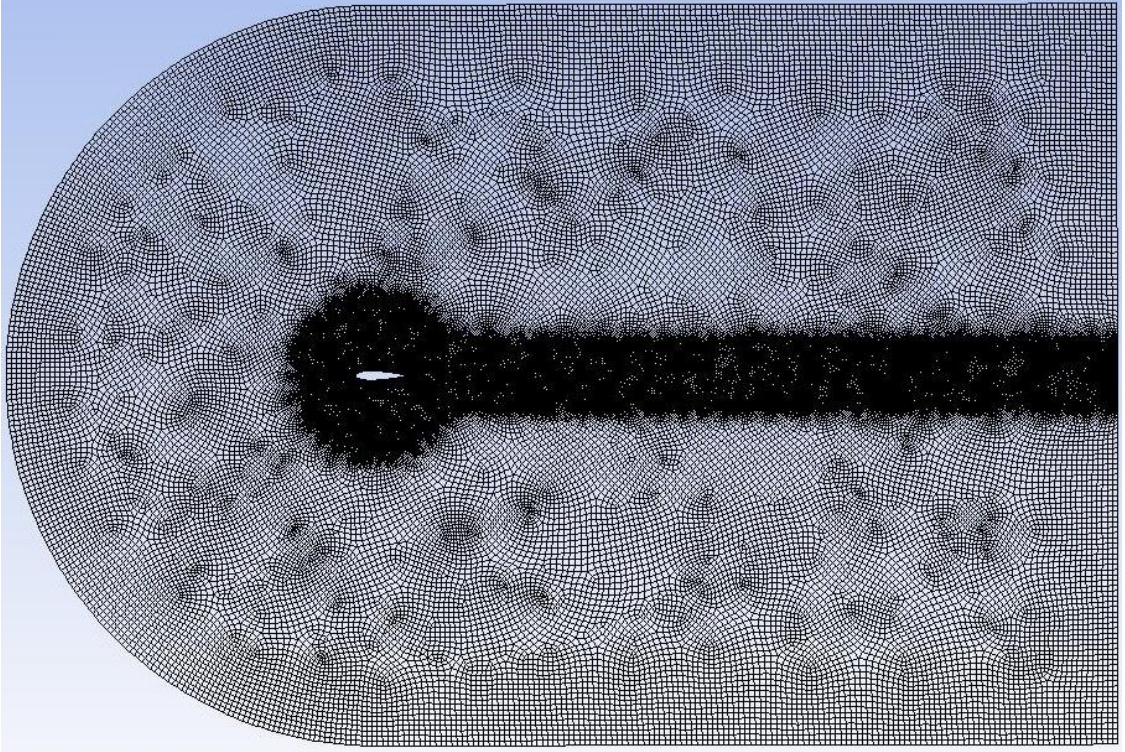
Konum	Uzunluk(mm)
Kanat Kirişi	165
R	1090
H	2365
V	2180



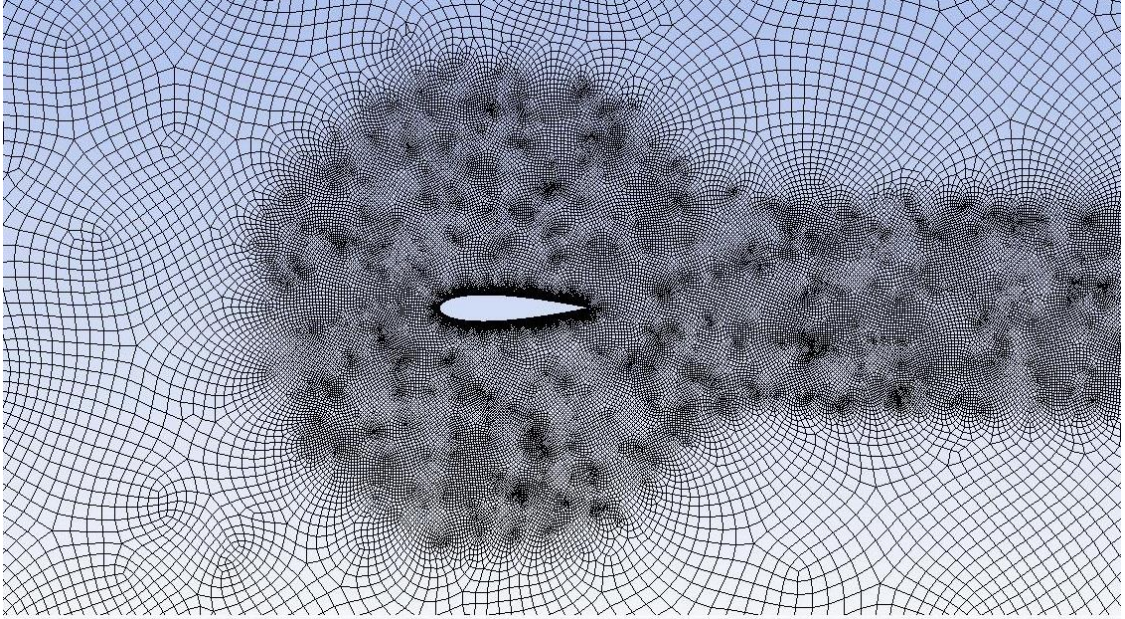
Şekil 4.1 C-H yapısı ve modelin konumlandırılması

4.2.1. Modellerin Sayısal Ağ Yapısı

Sayısal ağ olarak, kanat profili yüzeyine yakın olan yerlerde dikdörtgen form, yüzeyden belirli bir uzaklıktan sonrasında ise yapısal olmayan geometrilerde hücreler oluşturulmuştur. Şekil 4.2’de genel ağ yapısı ve Şekil 4.3’te ağ yapısının sıklaşmaya başladığı bölge yakından görülmektedir. Özellikle yüzeyden belirli bir uzaklığa kadar, oluşan girdaplar ve farklı akış şekillerinin daha iyi anlaşılabilmesi için ağ yapısı sık oluşturulmuştur. Aynı şekilde oluşabilecek art izlerinin ve akışın kanat profilinden sonraki kısmının da daha iyi anlaşılabilmesi için kanadın firar kenarından sonraki alan da da ağ yapısı nispeten daha sık oluşturulmuştur.

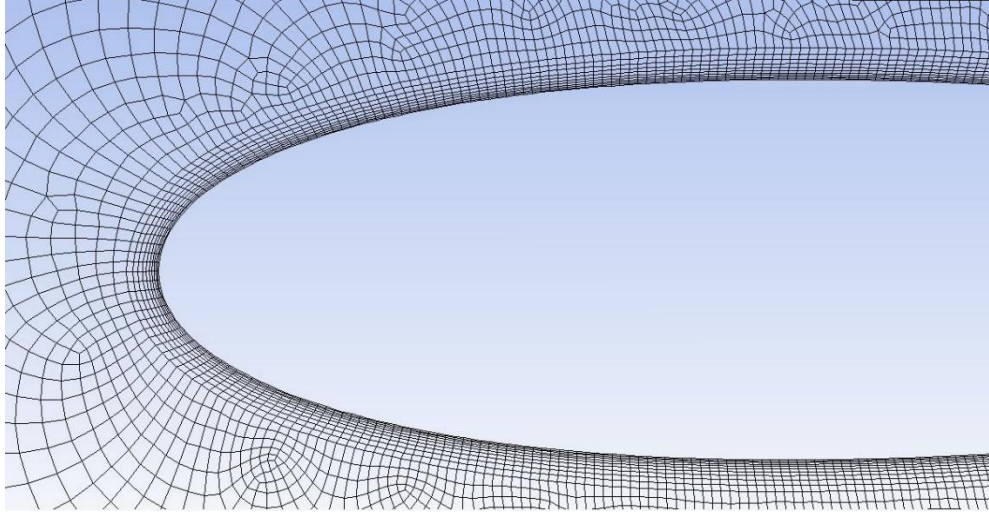


Şekil 4.2 Genel Ağ Yapısı

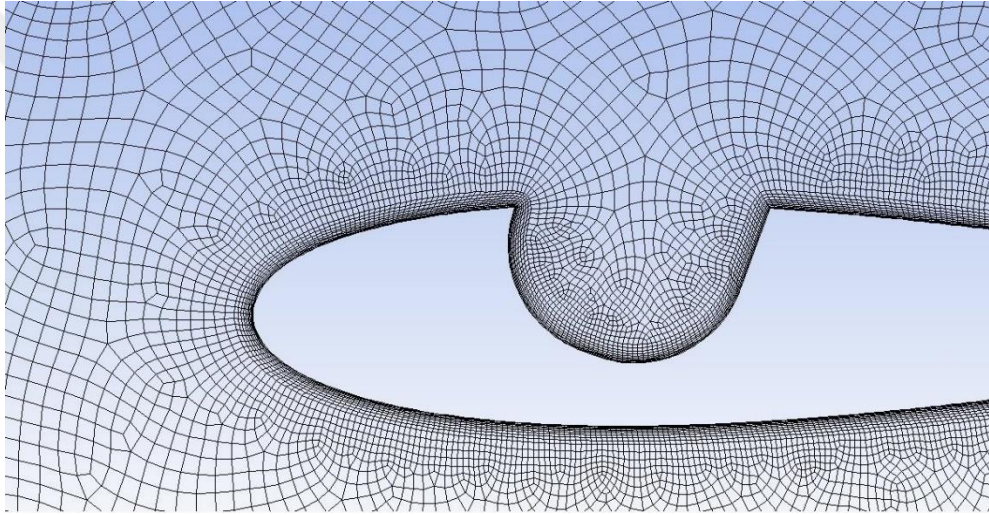


Şekil 4.3 Ağ Yapısının Sıklaştığı Bölge

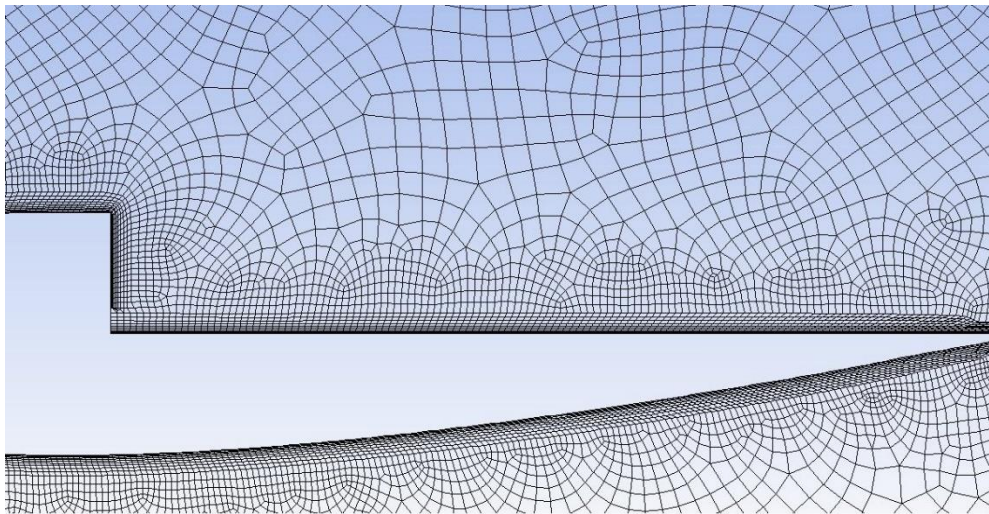
Şekil 4.4'de NACA 0018 modelinin yüzeye yakın kısmındaki sayısal ağ yapısı, Şekil 4.5'te boşluklu NACA 0018'in boşluk kısmı ve yüzeyine yakın yerdeki ağ yapısı, Şekil 4.6'da de basamaklı NACA 0018'in basamak kısmı ve yüzeye yakın kısmının sayısal ağ yapısı görünmektedir.



Şekil 4.4 Standart NACA 0018 modelinin yüzeye yakın kısmındaki sayısal ağ yapısı

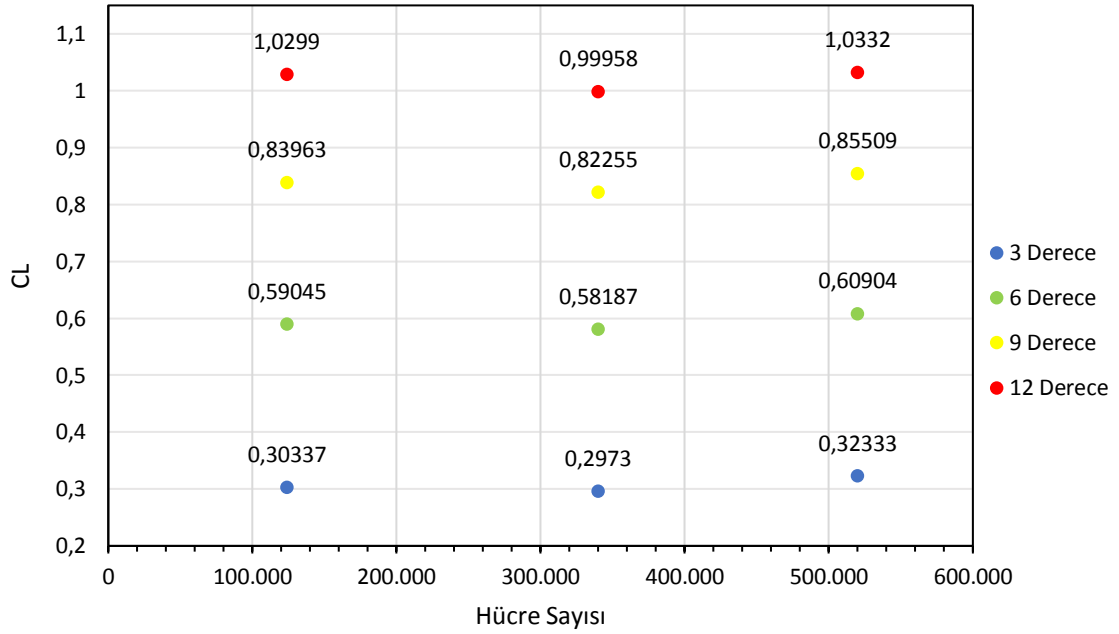


Şekil 4.5 Boşluklu NACA 0018'in boşluk ve yüzeye yakın yerdeki ağ yapısı

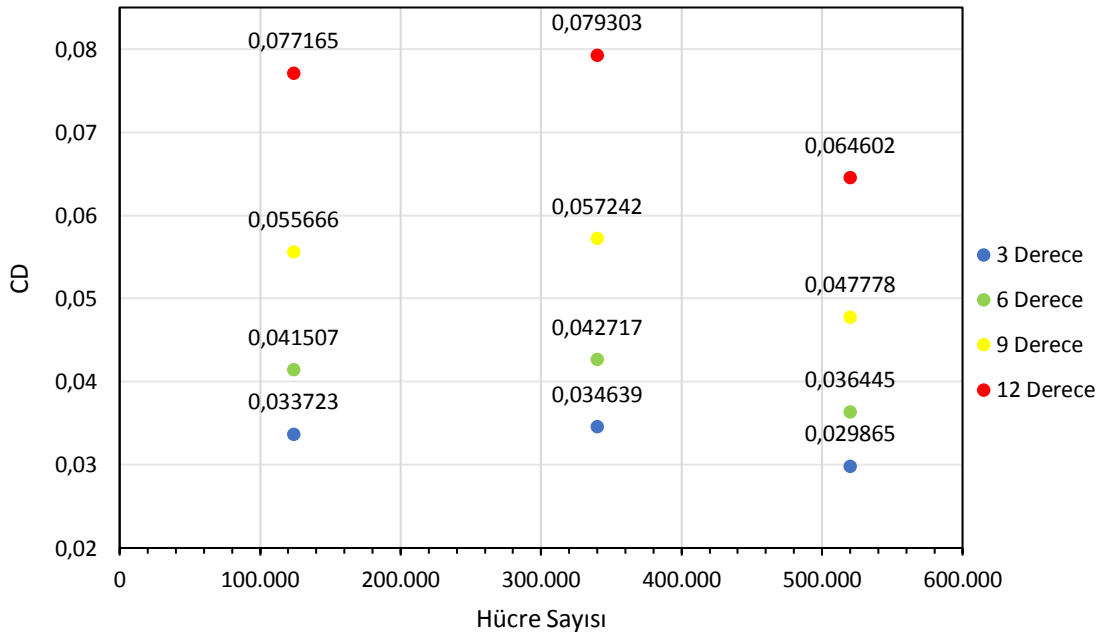


Şekil 4.6 Basamaklı NACA 0018'in basamak ve yüzeye yakın kısmının ağ yapısı

Farklı sayılarda hücreler oluşturularak aynı şartlardaki analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Yaklaşık 124.000 hücreli nihai yapıdan sonrasında, hücre sayısındaki artışın sonuçlarda kayda değer bir değişiklik oluşturmadığı, sadece işlemsel yük oluşturduğu görülmüştür. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de farklı hücre sayılarında C_L ve C_D değişimleri sunulmuştur.



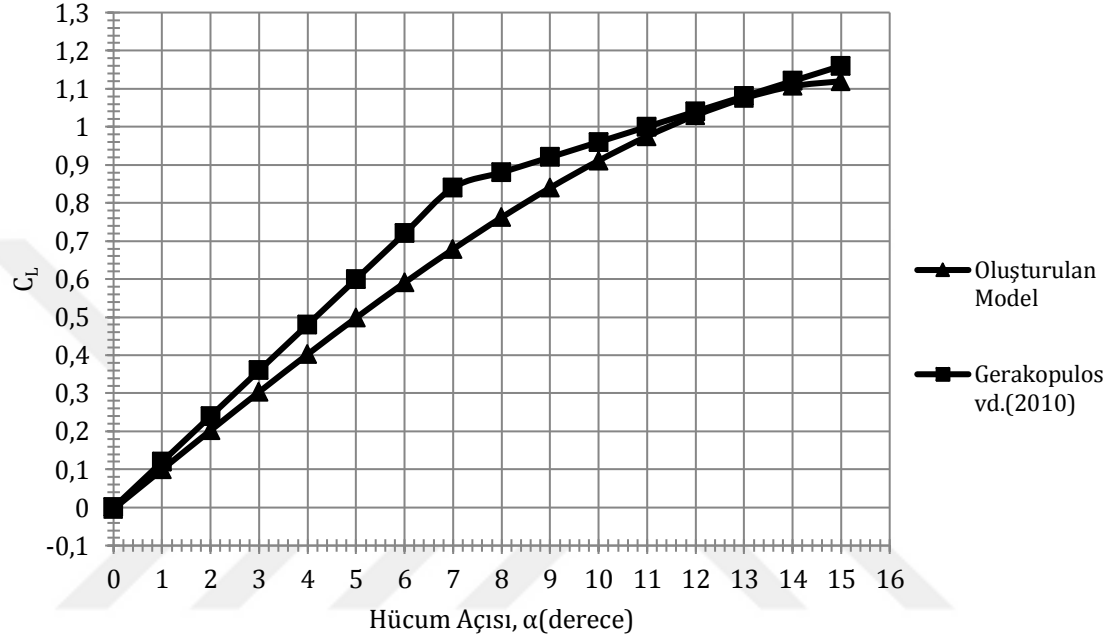
Şekil 4.7 Farklı hücre sayılarında $Re=100.000$ 'de C_L 'deki değişim



Şekil 4.8 Farklı hücre sayılarında $Re=100.000$ 'de C_D 'deki değişim

4.2.1.1.Sayısal Ağ Yapısının Doğrulanması

Gerakopulos vd.(2010)'nin düşük Re sayılarında NACA 0018'in aerodinamik karakteristiği ile ilgili deneysel çalışmasıyla, aynı şartlarda nümerik analizlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9'da Gerakopulos vd.(2010)'un C_L sonuçları ile oluşturulan 124.000 hücreli sayısal ağ yapısından elde edilen C_L sonuçları farklı hücum açılarında karşılaştırılmış ve modelin doğruluğu gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Model sonuçları ve Gerakopulos vd.(2010) sonuçlarının karşılaştırılması

4.2.2.Sınır Koşulları

Bir önceki bölümde oluşturulan modeller nümerik analizlerde hücum açısı, $\alpha=0^\circ-15^\circ$ aralığında 1° arttırılarak yapılmıştır. Akışkan olarak $1,225 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğu ve $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ viskoziteye sahip hava kullanılmıştır. Kanat profilinin her derece için açıldırılması yerine literatürde de sıkça kullanılan şekilde kanat üstüne gönderilen hava açılı olarak gönderilmiştir. Diğer parametreler aynı kalmak koşuluyla $Re=20.000$ ve $Re=100.000$ olmak üzere iki farklı durum analiz edilmiştir. Analizlerde sıkıştırılamaz akış için daha doğru sonuçlar veren basınca bağlı çözüm kullanılmıştır. Analizlerde standart $k - \omega$ türbülans modeli tercih edilmiştir. Türbülans yoğunluğu, önceki bölümde yapılan PIV deneyleri de göz önüne alınarak oldukça düşük(%0.001) seçilmiştir. Bu nedenle kanat yüzeyine gelen akışkan hız profili düzgündür. Denklemler “Simple” çözüm algoritması ile çözdürülmüş ve “green gauss node based” ve “second order upwind” çözümlenmeleri seçilmiştir. Analizi yapılan her iki Re sayısında da akışın sıkıştırılamaz

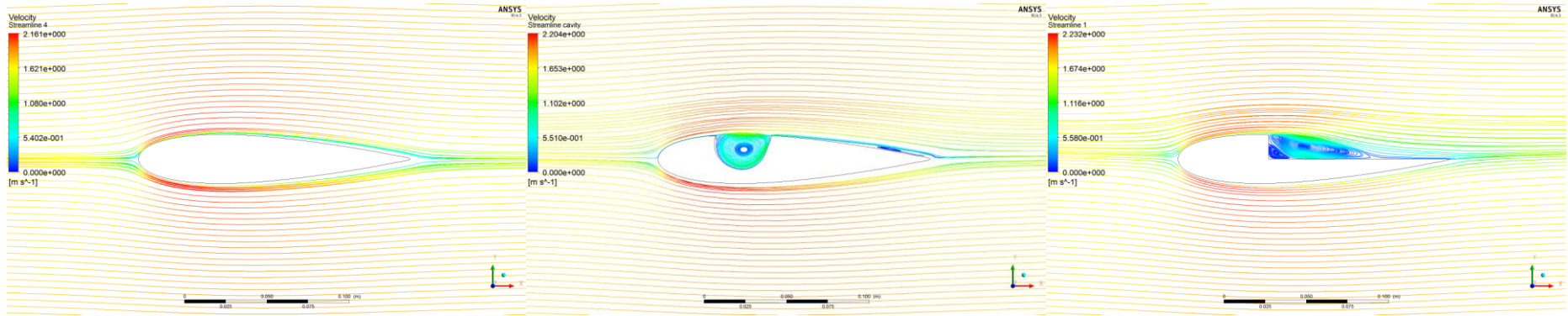
kabul edildiği için, enerji denklemi analiz sonuçlarına etki etmeyeceğinden hesaba katılmamıştır. Yakınsama için parametre kalıntılarının belirli bir değere ulaşmasına bakılmaksızın, yakınsama grafiğinin yatayda paralele ulaştığı değerler takip edilerek sonuçlar elde edilmiştir.

4.3.Re=20.000 İçin Modellerin Analizleri

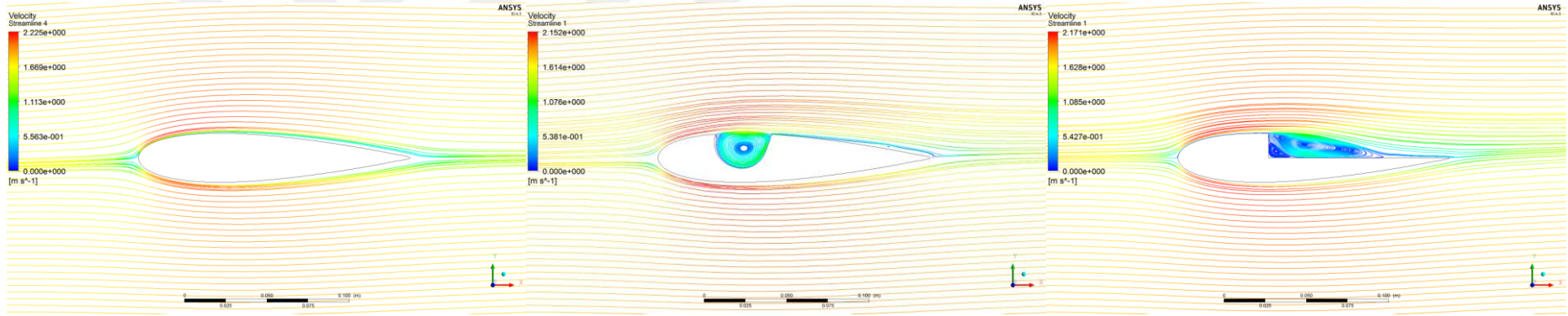
Gerekli model doğrulamaları yapıldıktan ve nümerik analiz için yazılımsal ayarlamalar tamamlandıktan sonra her üç modelin ayrı ayrı analizi yapılmıştır. Hem deneysel sonuçlarla karşılaştırılabilmek, hem de fiziksel olarak modellerin doğrulamasının yapılabilmesi için öncelikle $Re=20.000$ 'de analizler yapılmıştır. Bu başlık altında elde edilen sonuçlardan sadece $\alpha=0^\circ, 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 6^\circ, 7^\circ, 8^\circ, 9^\circ, 10^\circ, 11^\circ, 12^\circ, 13^\circ, 14^\circ, 15^\circ$ hücum açılarındaki akım çizgileri ve basınç konturlarının nümerik sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen diğer veriler sonraki başlıklarda sunulacaktır.

4.3.1. Akım Çizgilerinin Karşılaştırılması

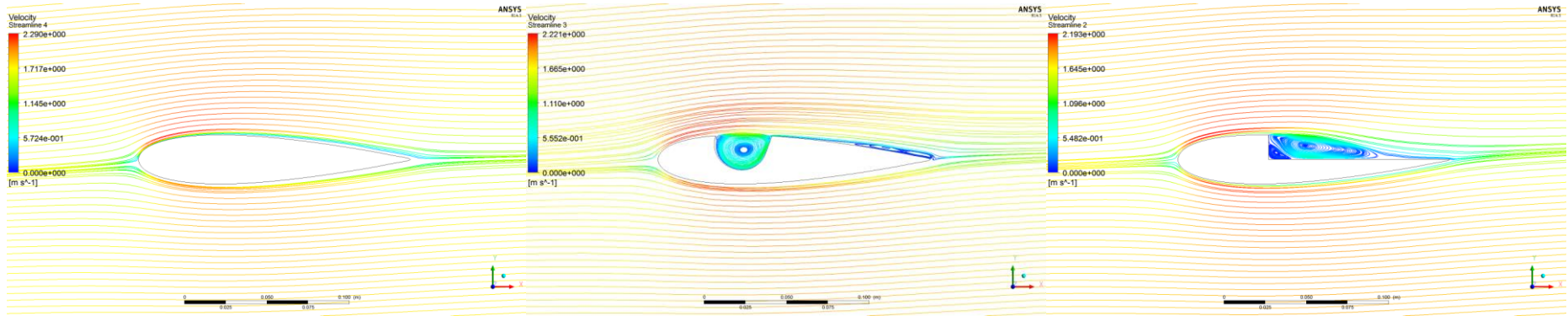
Şekil 4.10-4.25’de ilgili hücum açılarında ait akım çizgileri sunulmuştur. Akış ayrılmasının standart NACA 0018 modelinde $\alpha=8^\circ$ ’lik hücum açısından sonra başladığı görülmektedir. Boşluklu ve basamaklı modelde özellikle düşük hücum açılarında geometriden kaynaklı oluşan girdapların akış ayrılmasını etkilemediği görülmüştür. Buna göre boşluklu modelde akış ayrılmasının $\alpha=5^\circ$, basamaklı modelde ise $\alpha=6^\circ$ ’lik hücum açısından sonra başladığı görülmüştür. Standart NACA 0018 modelinde tek girdap oluşumu varken, boşluklu ve basamaklı modelde farklı noktalarda irili ufaklı birden fazla girdabın oluştuğu görülmüştür. Standart ve boşluklu NACA 0018 üzerinde akış ayrılması nedeniyle oluşan girdapların boyunun benzer, basamaklı NACA 0018 modelinde ise daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.



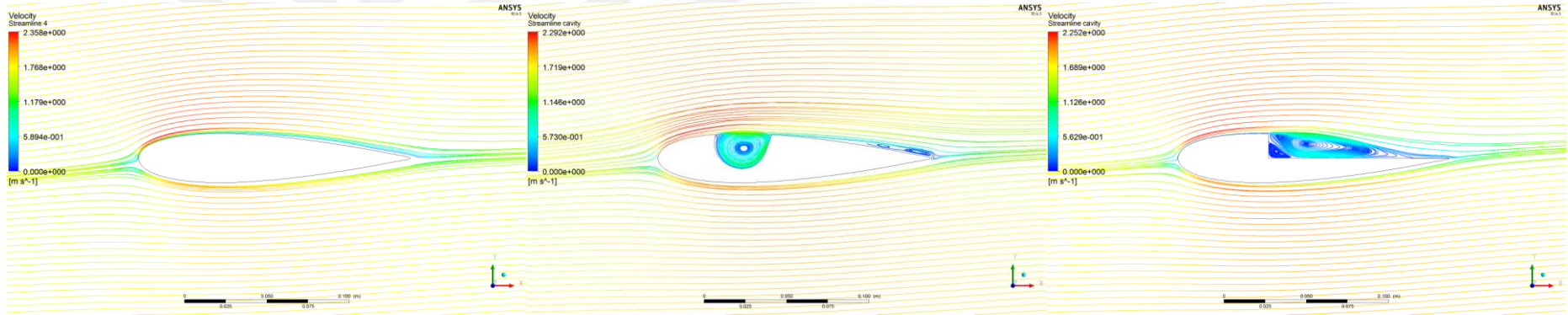
Şekil 4.10 Hücum açısı $\alpha=0^\circ$ ’de zaman ortalama akım çizgileri



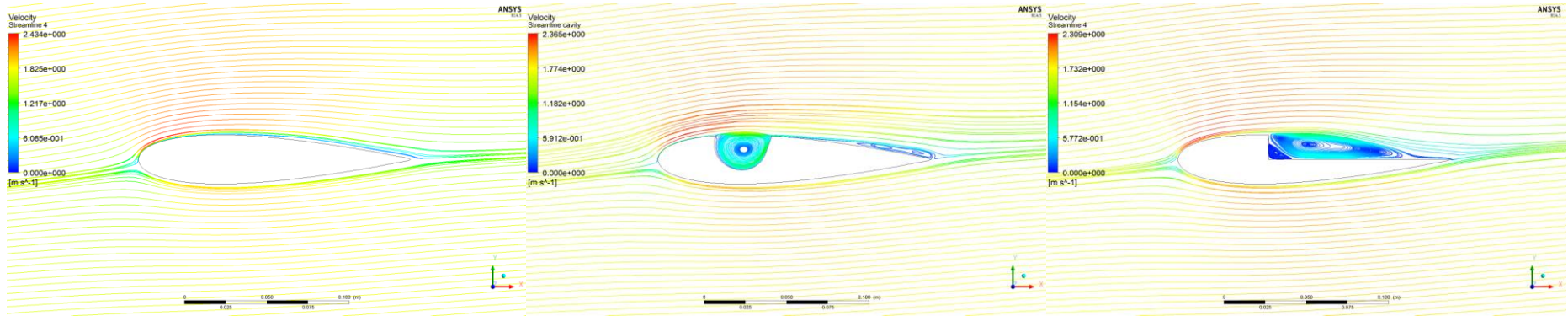
Şekil 4.11 Hücüm açısı $\alpha=1^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



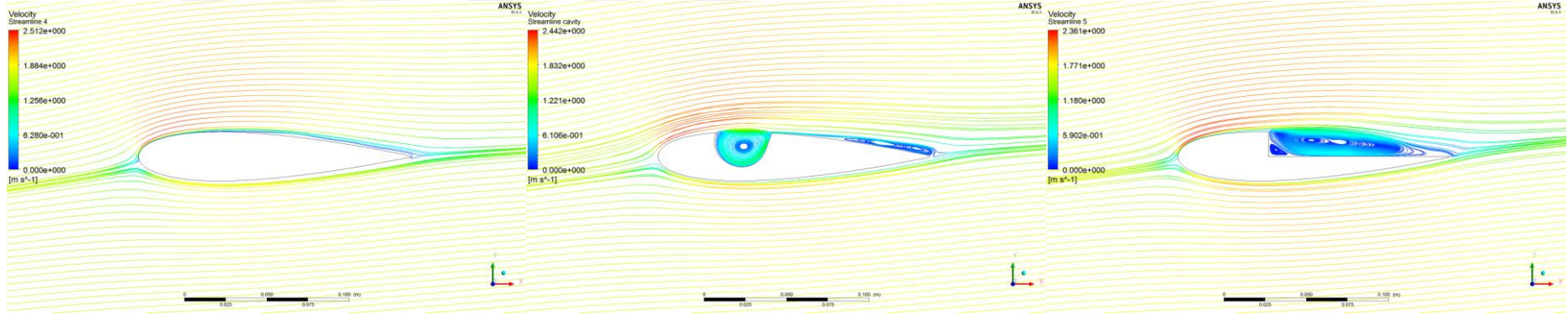
Şekil 4.12 Hücüm açısı $\alpha=2^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



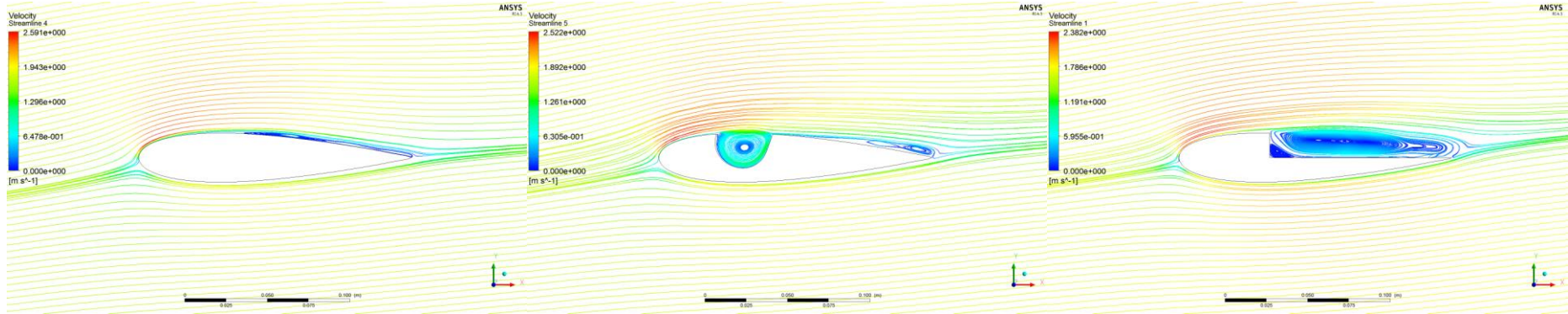
Şekil 4.13 Hücüm açısı $\alpha=3^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



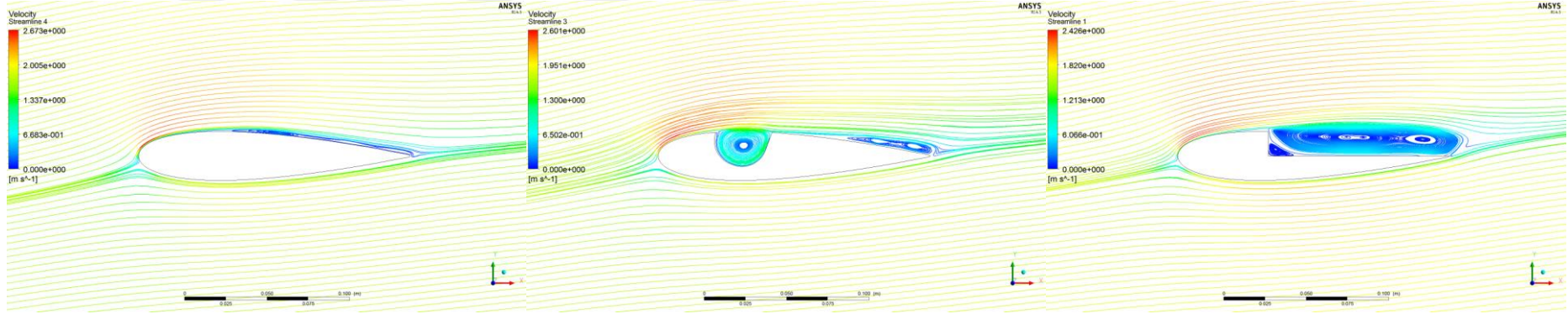
Şekil 4.14 Hücüm açısı $\alpha=4^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



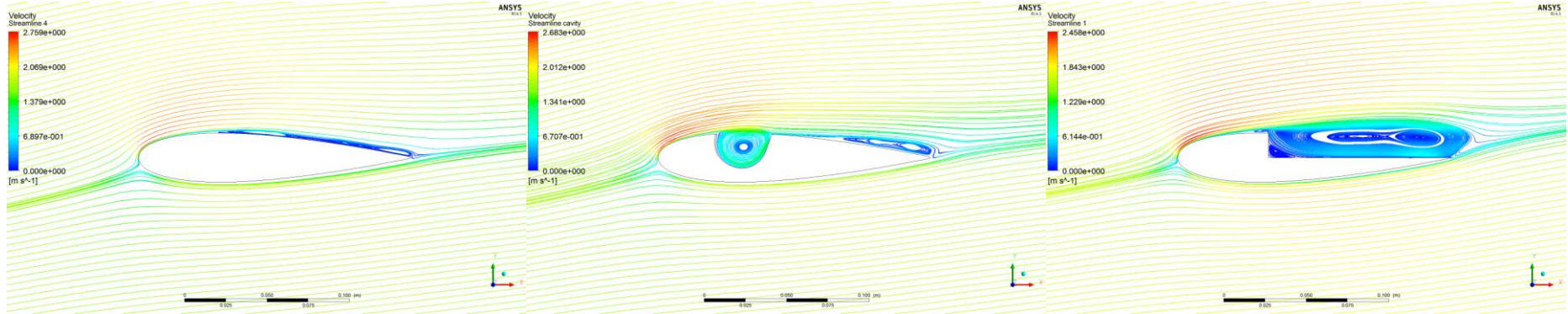
Şekil 4.15 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



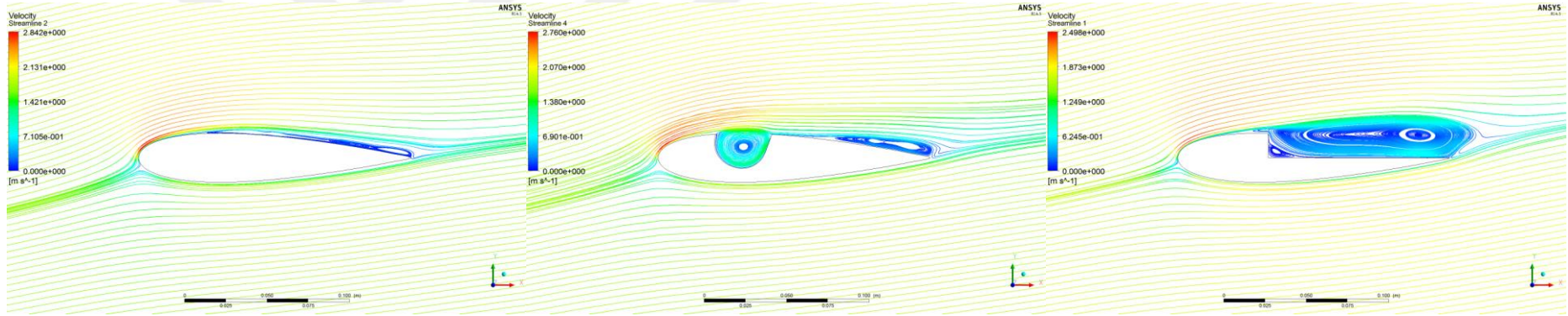
Şekil 4.16 Hücüm açısı $\alpha=6^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



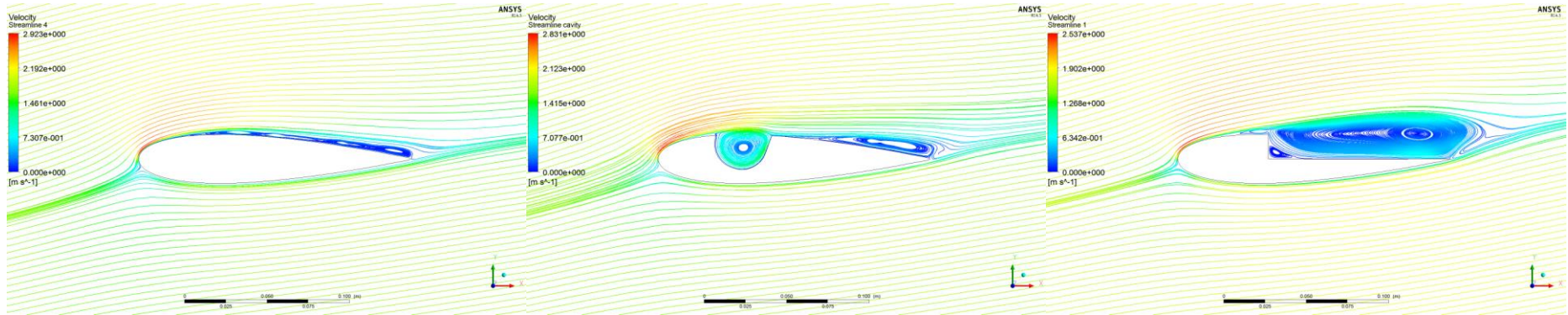
Şekil 4.17 Hücüm açısı $\alpha=7^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



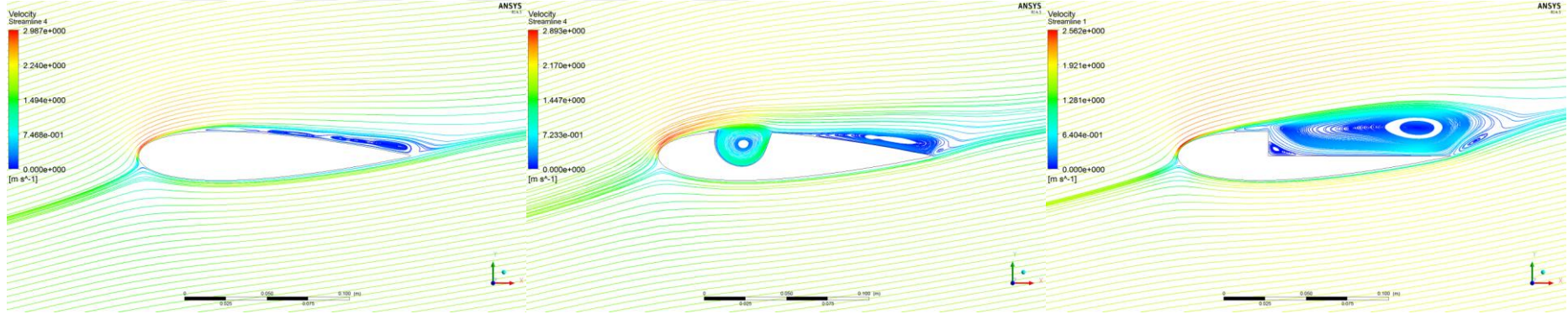
Şekil 4.18 Hücüm açısı $\alpha=8^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



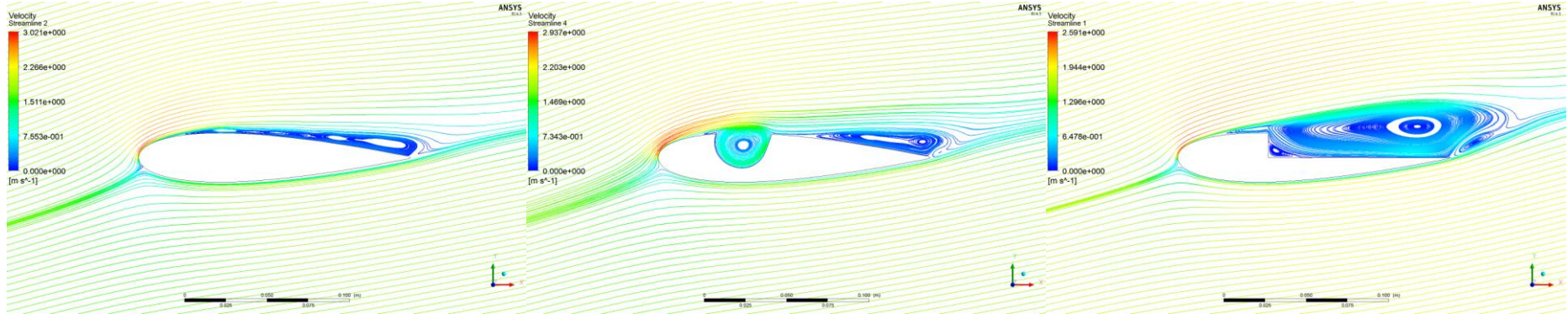
Şekil 4.19 Hücüm açısı $\alpha=9^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



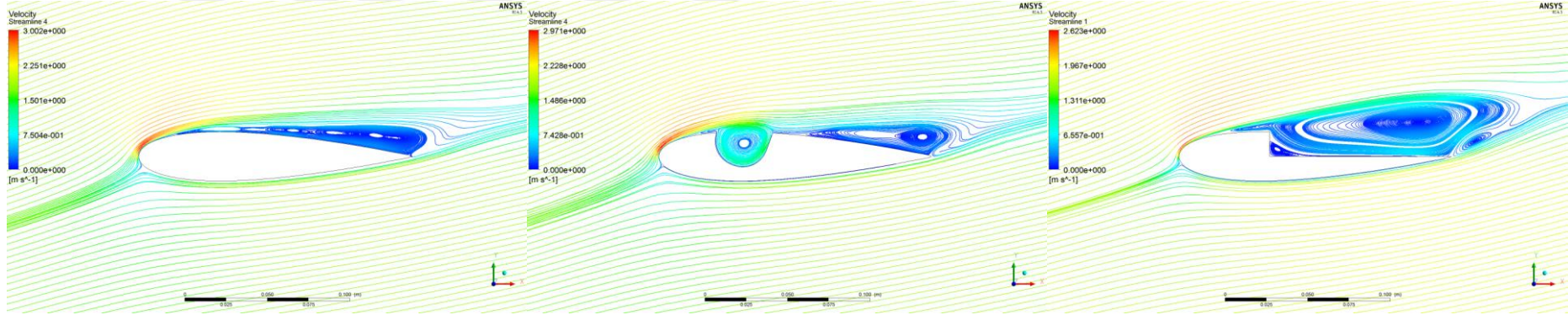
Şekil 4.20 Hücüm açısı $\alpha=10^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



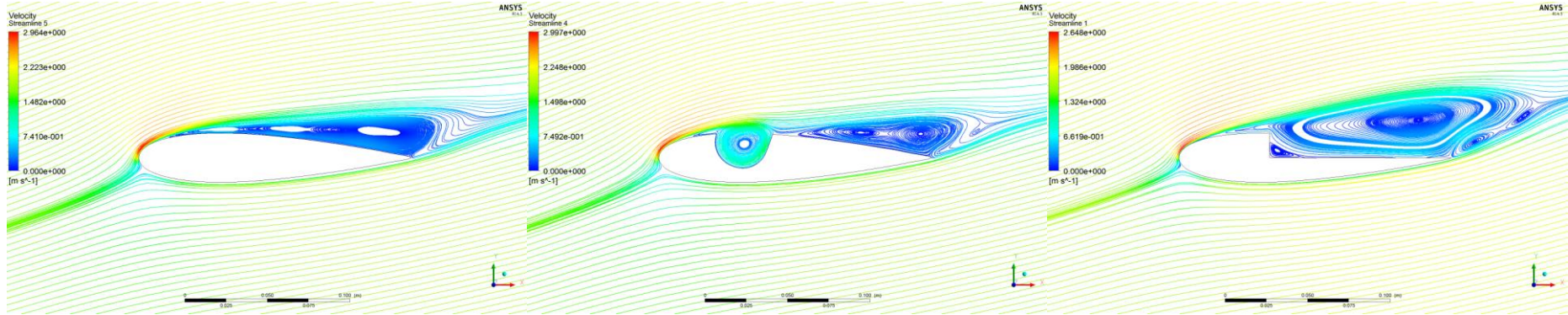
Şekil 4.21 Hücüm açısı $\alpha=11^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



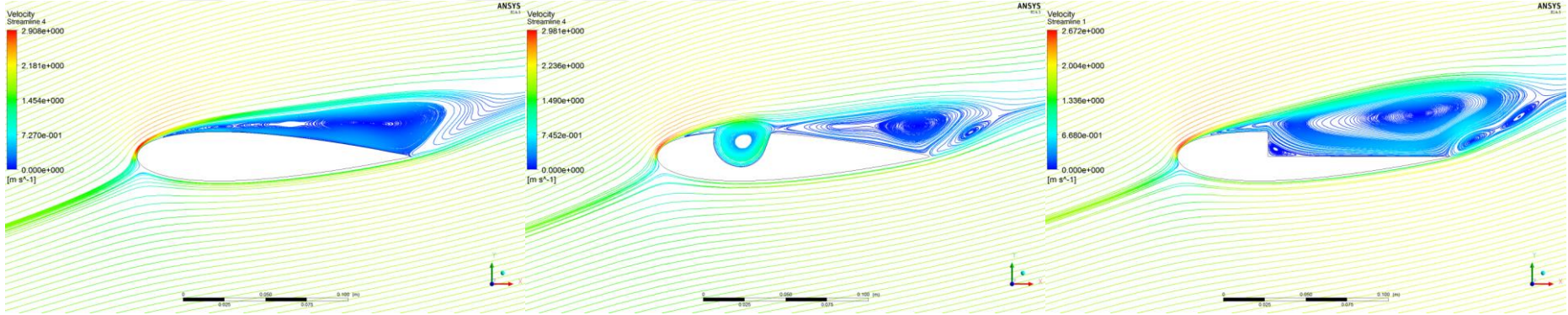
Şekil 4.22 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



Şekil 4.23 Hücüm açısı $\alpha=13^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



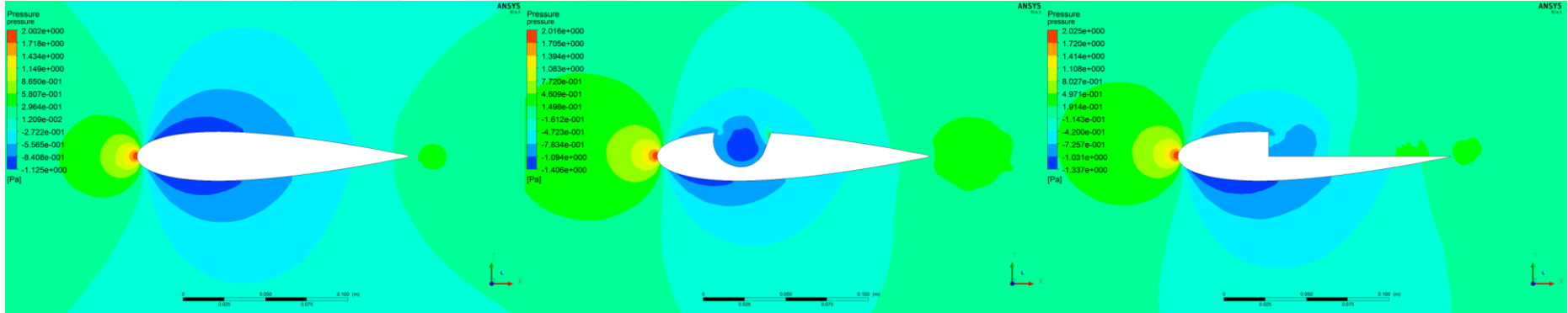
Şekil 4.24 Hücüm açısı $\alpha=14^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



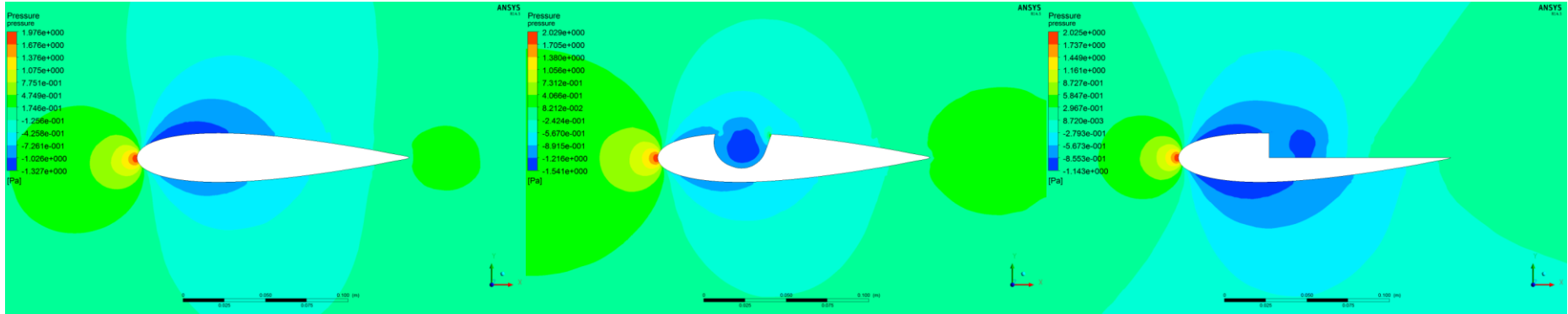
Şekil 4.25 Hücüm açısı $\alpha=15^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri

4.3.2. Basınç Konturlarının Karşılaştırılması

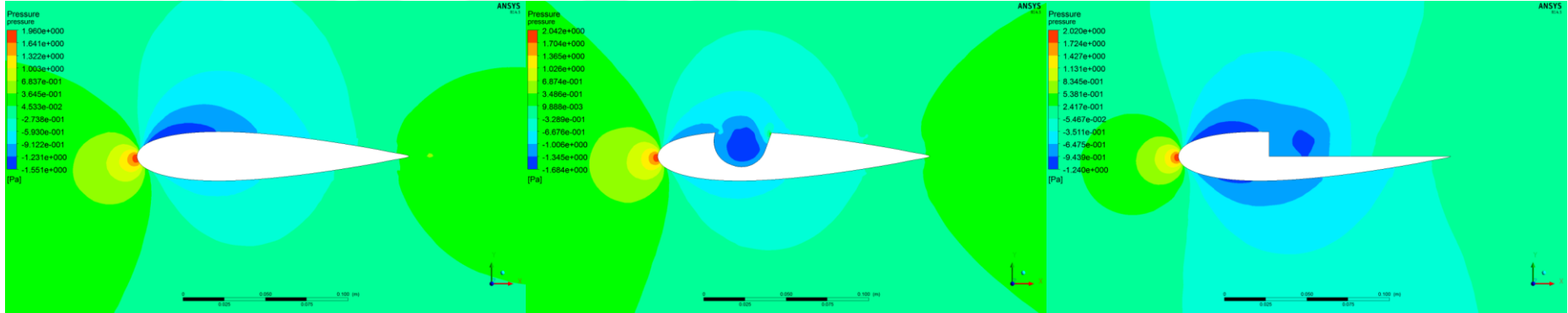
Şekil 4.26-4.41'de ilgili hücüm açılara ait basınç konturları sunulmuştur. Basamaklı NACA 0018 kanat profilinin zaman ortalama basınç konturlarına bakıldığında başlangıçta diğer kanat profillerinden farklı olarak alt yüzeydeki basıncın üst yüzeyden daha düşük olduğu ve bu basınç farkının $\alpha=2^\circ$ 'lik hücüm açısından sonra tersine döndüğü görülmektedir. Bu durum basamaklı NACA 0018 modeline ait C_L -Hücüm Açısı grafiğinde ve çizelgelerdeki sayısal ifadelerde açıkça görülmektedir. $\alpha=2^\circ$ 'lik hücüm açısına kadar C_L değeri negatif, daha yüksek hücüm açılarında ise pozitifdir. Tüm modellerin hücüm açısı değişimine bağlı zaman ortalama basınç konturları incelendiğinde, kanat profilinin alt yüzey ile üst yüzey arasındaki en fazla basınç farkının tüm hücüm açılarında sırasıyla standart, boşluklu ve daha sonra basamaklı NACA 0018 modelinde olduğu görülmektedir.



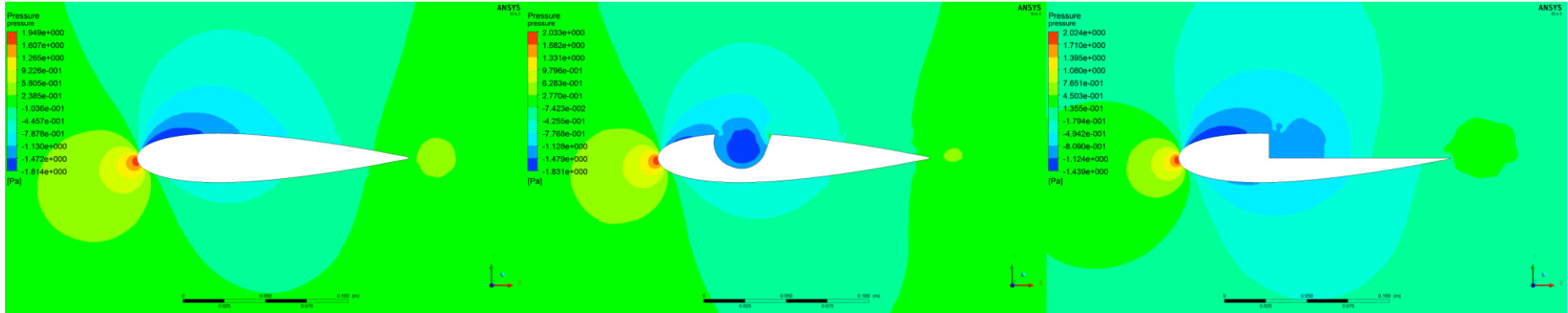
Şekil 4.26 Hücüm açısı $\alpha=0^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



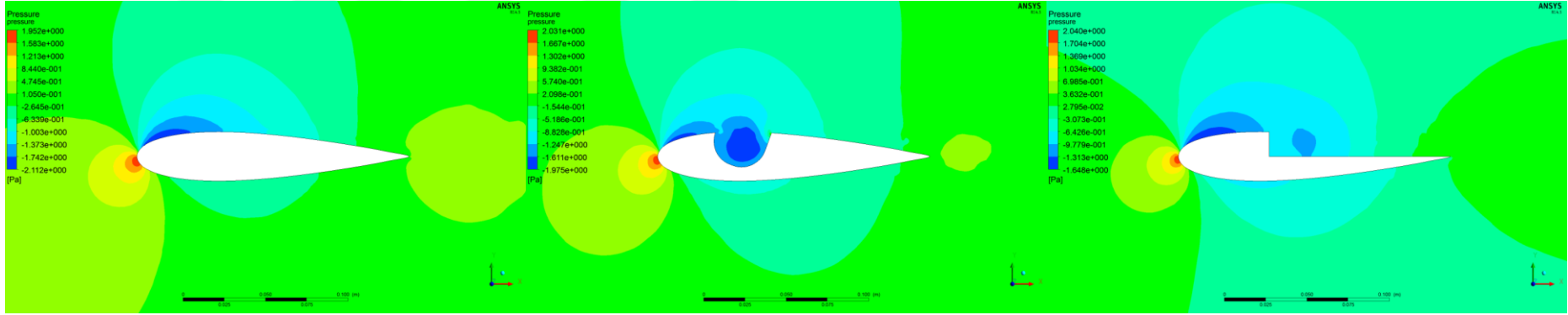
Şekil 4.27 Hücüm açısı $\alpha=1^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



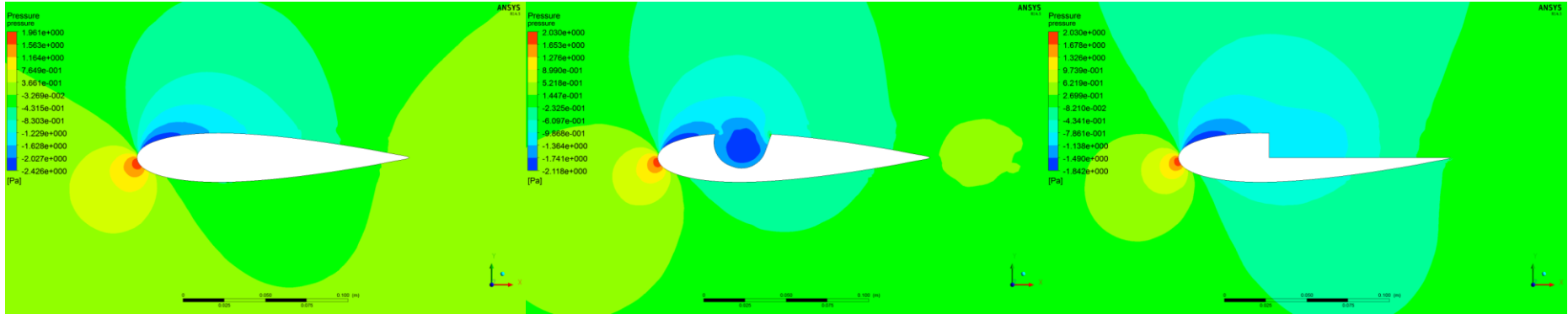
Şekil 4.28 Hücüm açısı $\alpha=2^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



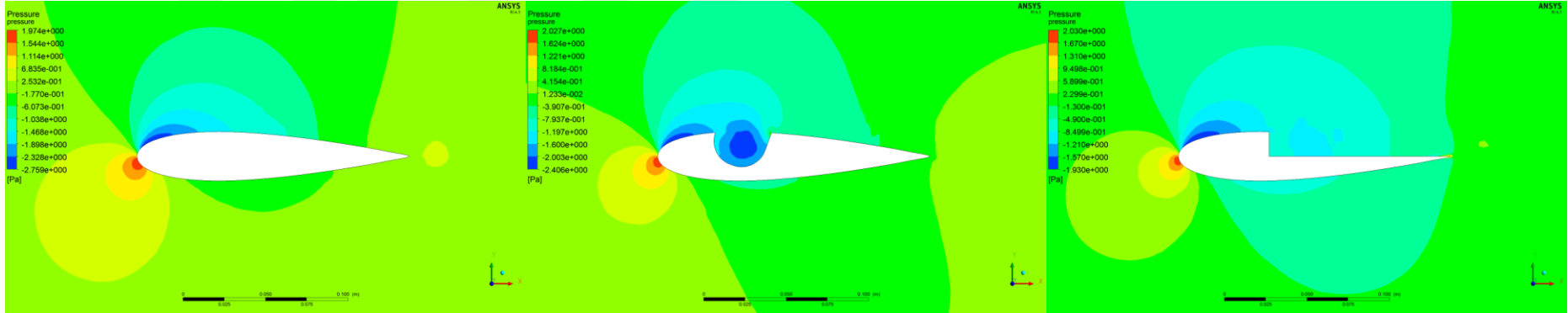
Şekil 4.29 Hücüm açısı $\alpha=3^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



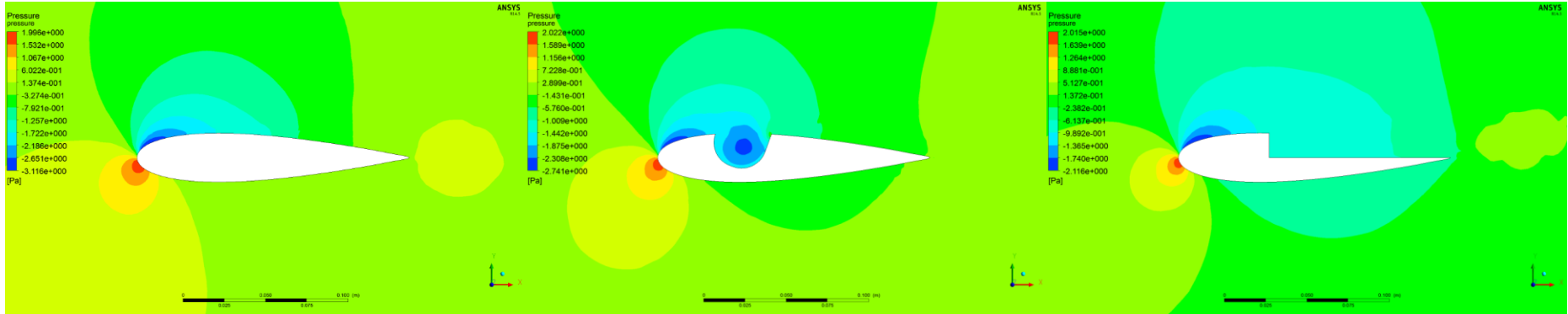
Şekil 4.30 Hücüm açısı $\alpha=4^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



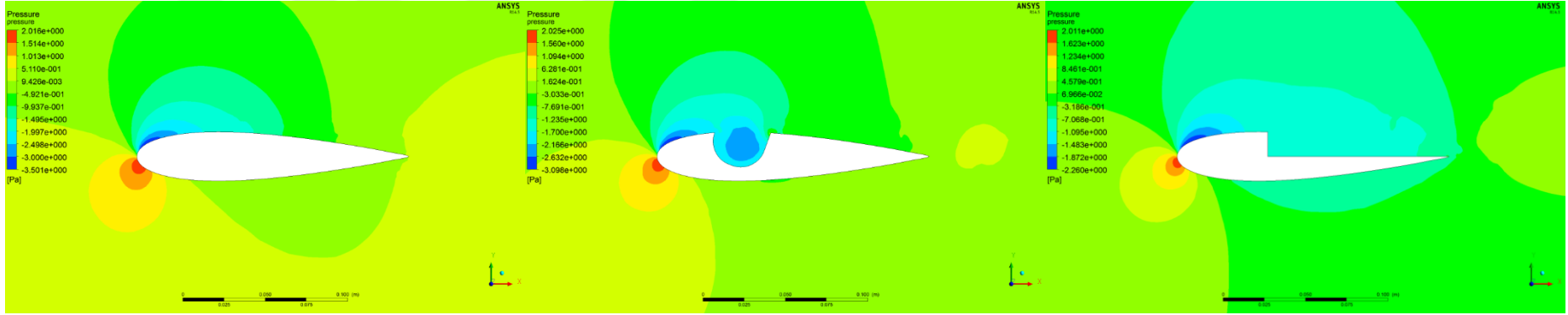
Şekil 4.31 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



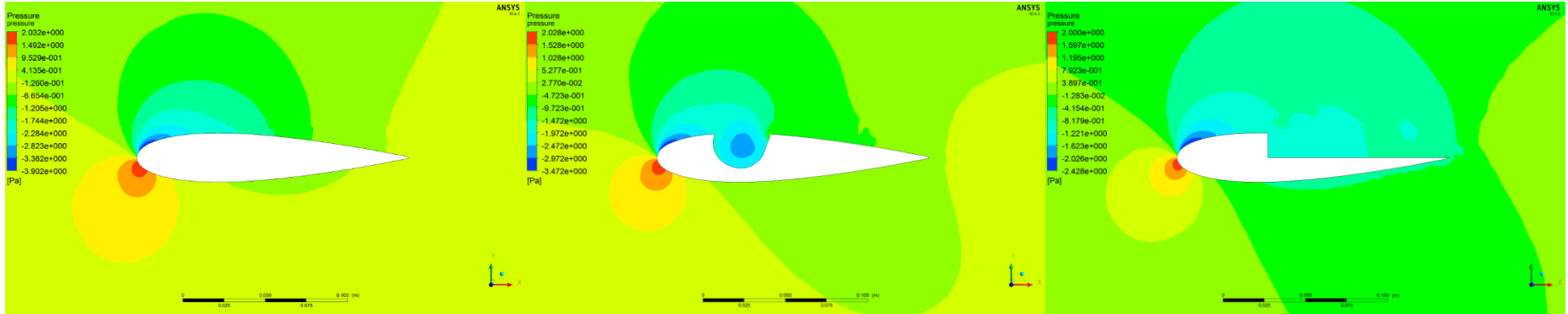
Şekil 4.32 Hücüm açısı $\alpha = 6^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



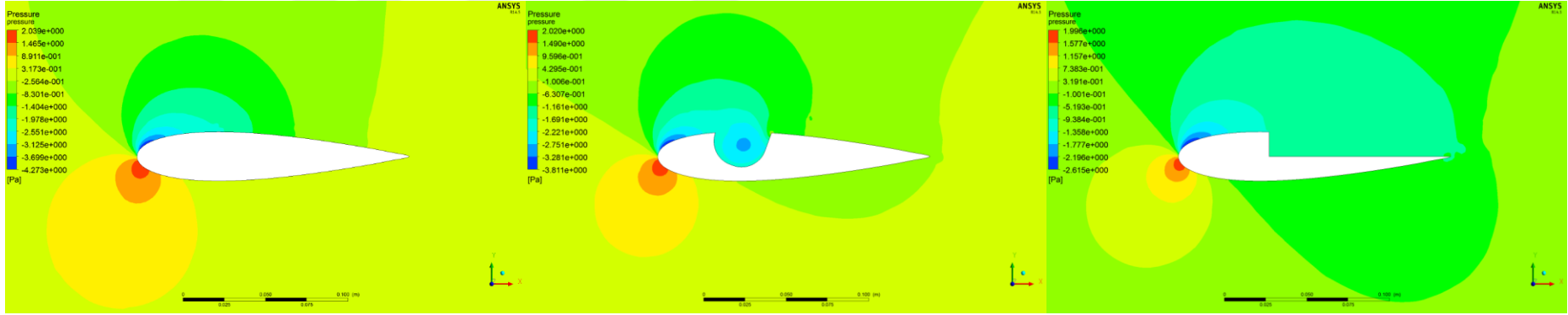
Şekil 4.33 Hücüm açısı $\alpha = 7^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



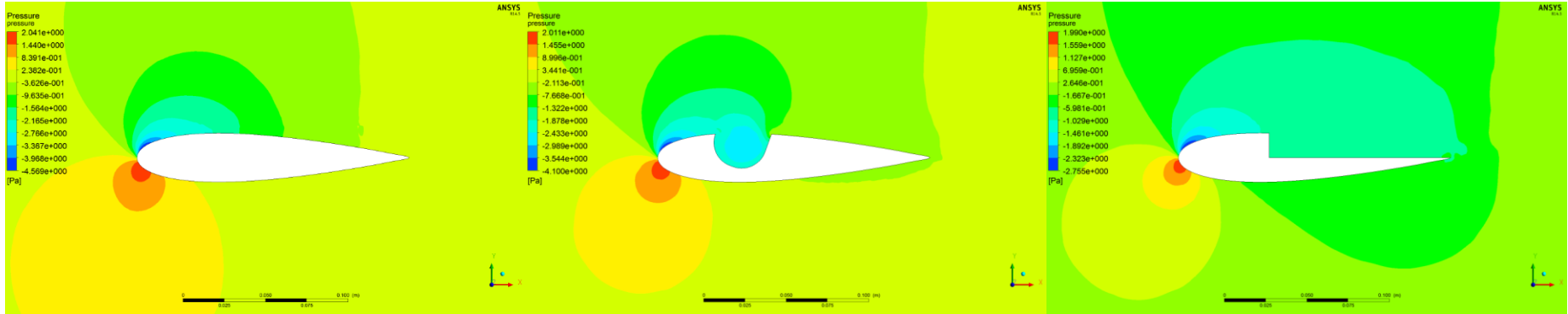
Şekil 4.34 Hücüm açısı $\alpha = 8^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



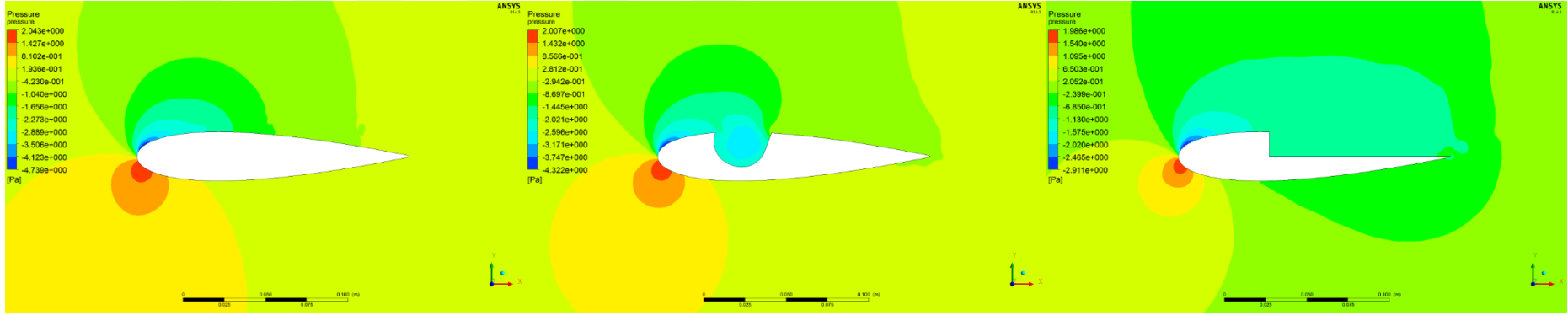
Şekil 4.35 Hücüm açısı $\alpha = 9^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



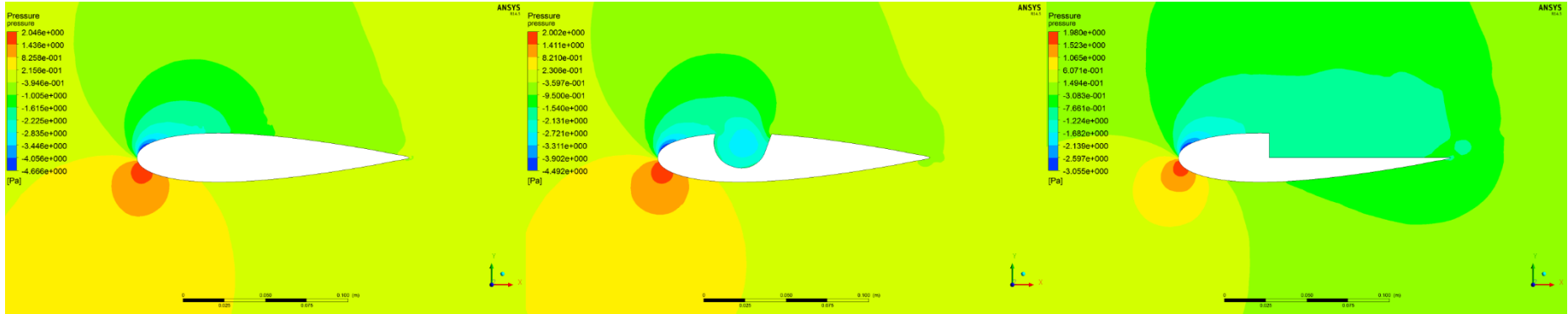
Şekil 4.36 Hücüm açısı $\alpha=10^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



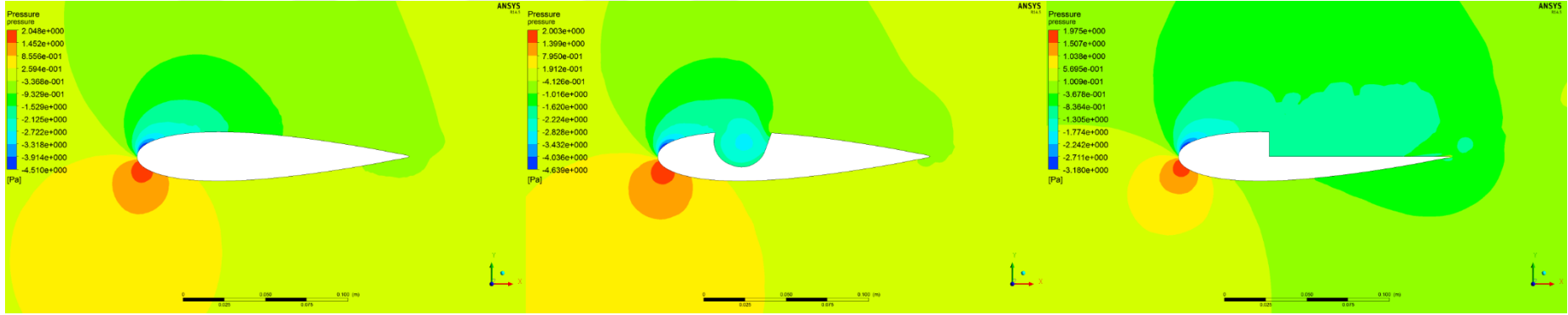
Şekil 4.37 Hücüm açısı $\alpha=11^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



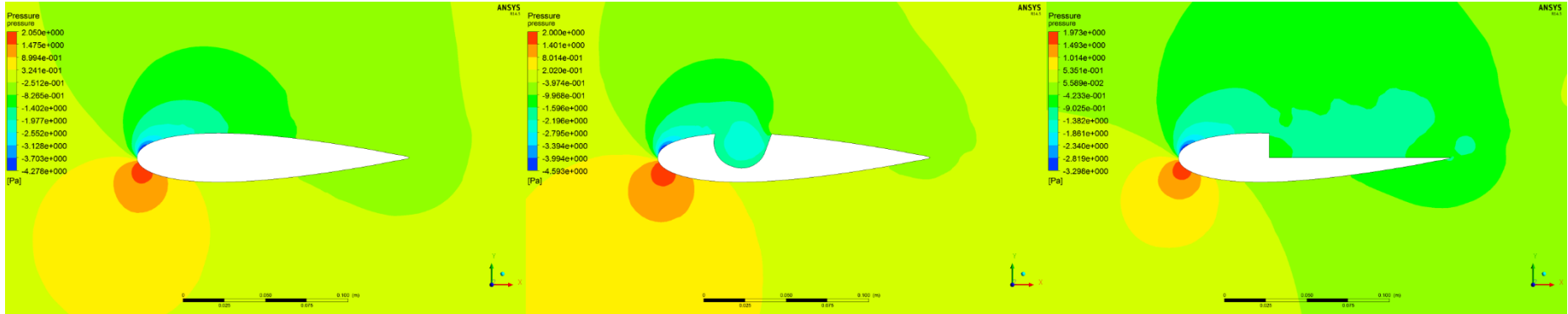
Şekil 4.38 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



Şekil 4.39 Hücüm açısı $\alpha=13^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



Şekil 4.40 Hücüm açısı $\alpha=14^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



Şekil 4.41 Hücüm açısı $\alpha=15^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları

4.3.3. C_L , C_D ve C_L/C_D Sonuçları

Re=20.000 için elde edilen C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısına bağlı olarak değişimleri sırasıyla Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’de sunulmuştur. Ayrıca Çizelge 4.2’de ilgili değerler sayısal olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.2 C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısı, α ile değişimleri

Hücum Açısı(°)	NACA 0018		Boşluklu NACA 0018		Basamaklı NACA 0018	
	C_L	C_D	C_L	C_D	C_L	C_D
0	0.0047	0.046738	-0.09034	0.060654	-0.20396	0.068644
1	0.10528	0.046961	-0.0029	0.061613	-0.1014	0.06974
2	0.20541	0.047989	0.09	0.063315	0	0.071645
3	0.30499	0.049897	0.1837	0.065746	0.09821	0.074553
4	0.39797	0.052668	0.27248	0.068916	0.18862	0.078495
5	0.47996	0.056272	0.35593	0.072836	0.26368	0.083432
6	0.55492	0.06083	0.43893	0.077571	0.27	0.088
7	0.62384	0.066429	0.51275	0.083099	0.356	0.097
8	0.68436	0.073157	0.57841	0.089323	0.38988	0.10536
9	0.73667	0.080856	0.63243	0.096151	0.42353	0.11393
10	0.77757	0.089606	0.67332	0.10363	0.45248	0.1227
11	0.79976	0.10003	0.69991	0.11172	0.46969	0.1324
12	0.80016	0.11223	0.71677	0.12096	0.48914	0.14201
13	0.76829	0.1285	0.73114	0.13196	0.506	0.152
14	0.73327	0.14688	0.74114	0.14338	0.51	0.161
15	0.69634	0.16585	0.73059	0.15638	0.5397	0.17475
	C_L/C_D		C_L/C_D		C_L/C_D	
0	0.100561		-1.48946		-2.97127	
1	2.24186		-0.04707		-1.45397	
2	4.280356		1.421464		0	
3	6.112392		2.794086		1.317318	
4	7.556201		3.953799		2.402956	
5	8.529286		4.886732		3.160418	
6	9.122472		5.658429		3.068182	
7	9.391079		6.170351		3.670103	

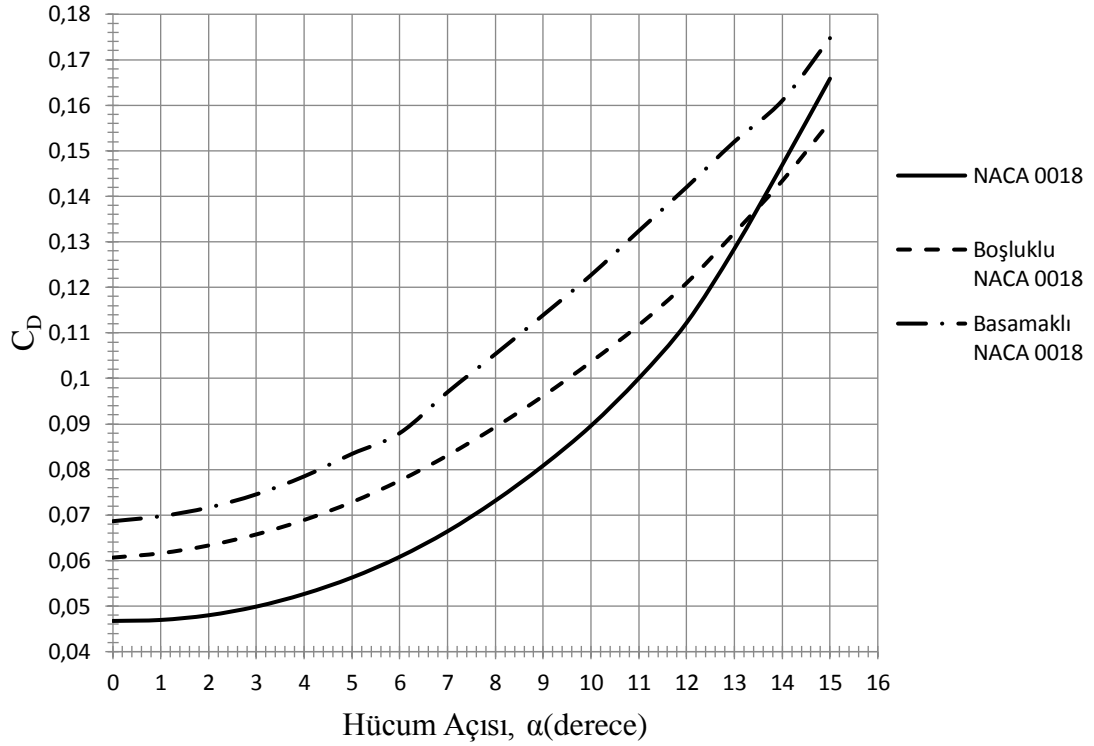
8	9.354676	6.475488	3.700456
9	9.110888	6.577467	3.717458
10	8.677656	6.497346	3.687694
11	7.995201	6.264859	3.547508
12	7.129644	5.925678	3.444405
13	5.978911	5.540618	3.328947
14	4.992307	5.169061	3.167702
15	4.198613	4.671889	3.088412

Şekil 4.42'deki C_L -Hücum Açısı grafiklerine bakıldığında aynı hücum açılarında standart NACA 0018 modelinin en yüksek, Basamaklı modelin en düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür. Fakat standart NACA 0018 modeli $\alpha=11,5^\circ$ 'lik hücum açısından sonra tutunma kaybı yaşarken boşluklu modelin $\alpha=14^\circ$ 'den sonra tutunma kaybı başlamıştır. $\alpha=0^\circ-5^\circ$ hücum açısı aralığında tüm modellerin C_L eğrilerinin aynı eğime sahip olduğu fakat basamaklı modelin C_L dağılımının $\alpha=5^\circ-7^\circ$ ve $\alpha=14^\circ-15^\circ$ hücum aralığında farklı bir yol izlediği görülmüştür.



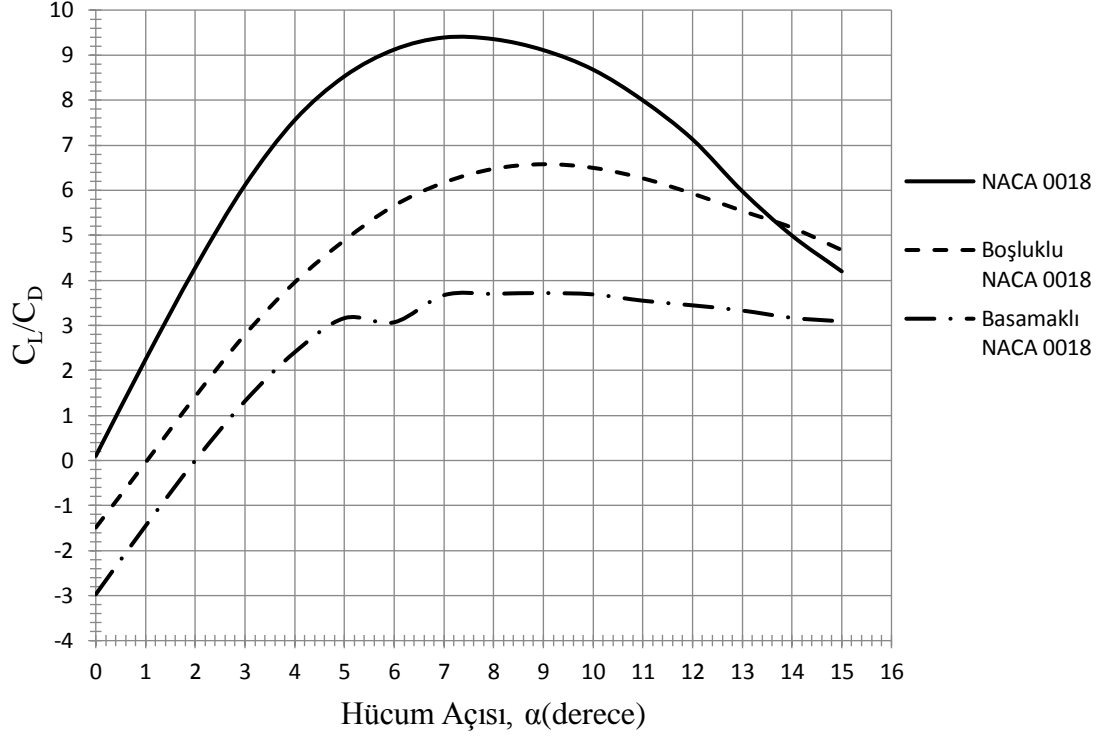
Şekil 4.42 $Re=20.000$ için C_L değerinin hücum açısı, α ile değişim grafiği

Şekil 4.43'deki C_D -Hücum Açısı grafiklerine bakıldığında tüm modellerin $\alpha=0^\circ-12^\circ$ hücum açısı aralığında şekilsel olarak aynı davrandığı, en yüksek değerlerin basamaklı NACA 0018, en küçük değerlerinde standart NACA 0018 modelinde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte standart NACA 0018 modeli $\alpha=0^\circ-13,5^\circ$ hücum açısı aralığında en düşük değerlere sahipken $\alpha=13,5^\circ-15^\circ$ hücum açısı aralığında boşluklu modelin en düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.43 $Re=20.000$ için C_D değerinin hücum açısı, α ile değişim grafiği

Şekil 4.44'deki C_L/C_D -Hücum Açısı grafiklerine bakıldığında en yüksek değerlerin $\alpha=0^\circ-13,5^\circ$ hücum açısı aralığında standart NACA 0018, en düşük değerlerin ise basamaklı NACA 0018'e ait olduğu görülmüştür. $\alpha=13,5^\circ-15^\circ$ hücum açısı aralığında ise boşluklu model, standart NACA 0018'den daha yüksek değere sahiptir.



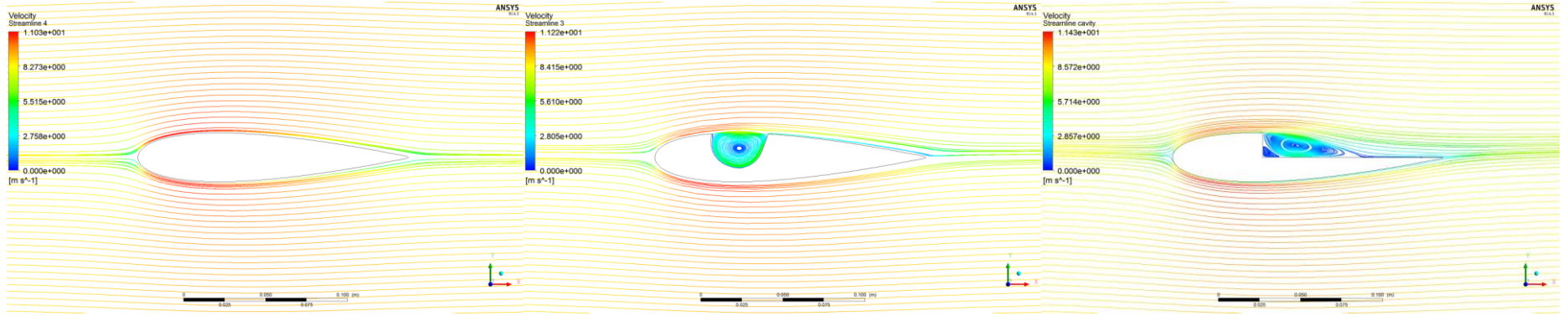
Şekil 4.44 $Re=20.000$ için C_L/C_D değerinin hücum açısı, α ile değişim grafiği

4.4.Re=100.000 İçin Modellerin Analizleri

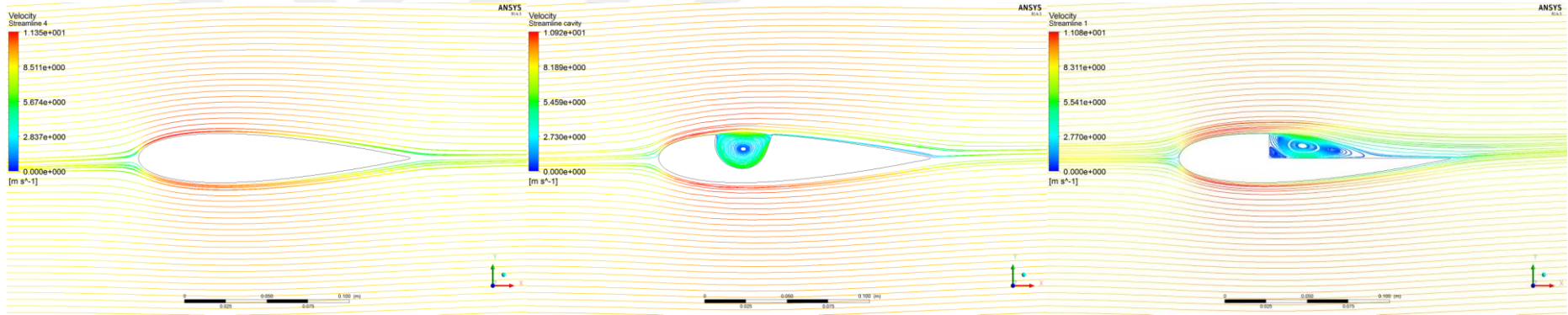
$Re=20.000$ 'de nümerik analizler yapıldıktan sonra daha yüksek Re sayısında akış yapısındaki değişikliklerin hem üç modelin kendi aralarındaki değişimleri hem de her modelin aynı açıda farklı Re sayısında oluşan değişimleri görmek amacıyla tüm şartlar aynı kalmak koşuluyla $Re=100.000$ 'de de aynı nümerik analizler tekrarlanmıştır. Bu başlık altında $Re=100.000$ 'de farklı hücum açılarında akım çizgileri ve basınç konturları karşılaştırılacaktır. Elde edilen bazı farklı sonuçlar da ilerleyen bölümlerde sunulacaktır.

4.4.1. Akım Çizgilerinin Karşılaştırılması

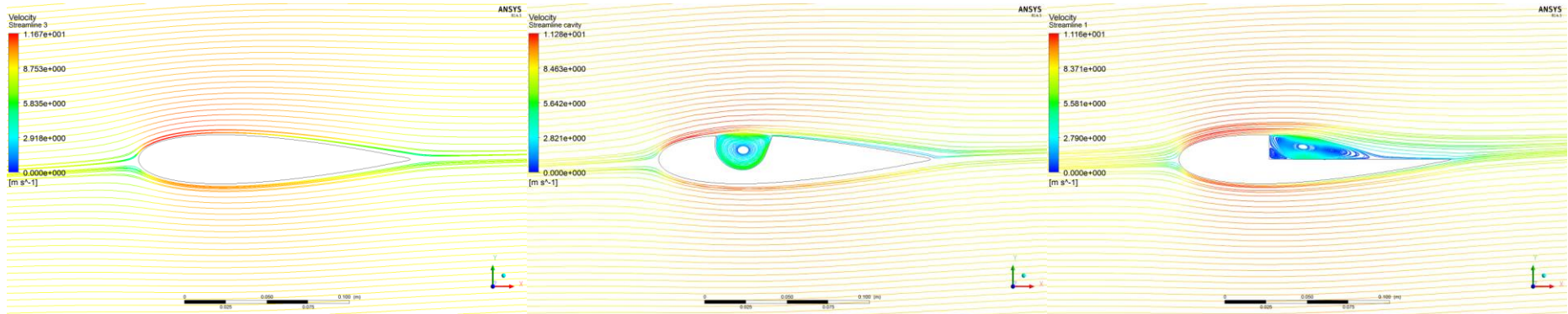
Şekil 4.45-4.60'da ilgili hücum açlarına ait akım çizgileri sunulmuştur. Akış ayrılması standart NACA 0018 modelinde $\alpha=13^\circ$ 'lik hücum açısında başlarken, boşluklu ve basamaklı NACA 0018 modelinde $\alpha=9^\circ$ 'lik hücum açısından sonra başlamaktadır. Akış ayrılmasından dolayı oluşan girdap uzunlukları karşılaştırıldığında aynı hücum açısı değerinde standart NACA 0018 ile basamaklı NACA 0018 modeli arasında önemli bir fark olduğu görülmektedir.



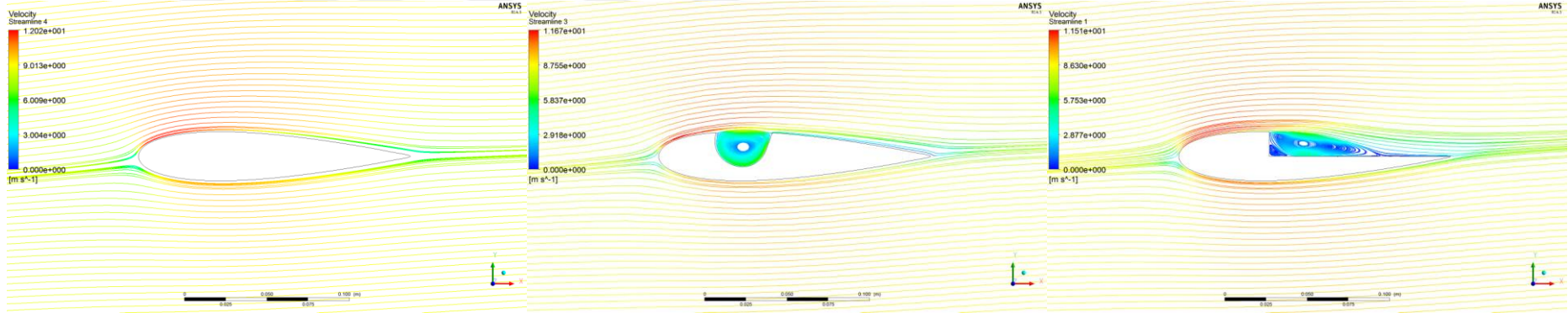
Şekil 4.45 Hücum açısı $\alpha=0^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



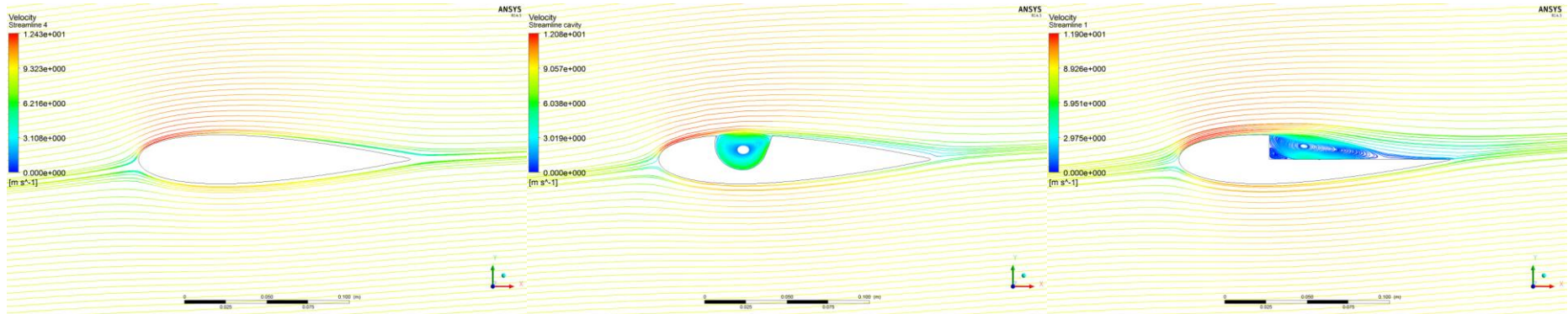
Şekil 4.46 Hücüm açısı $\alpha=1^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



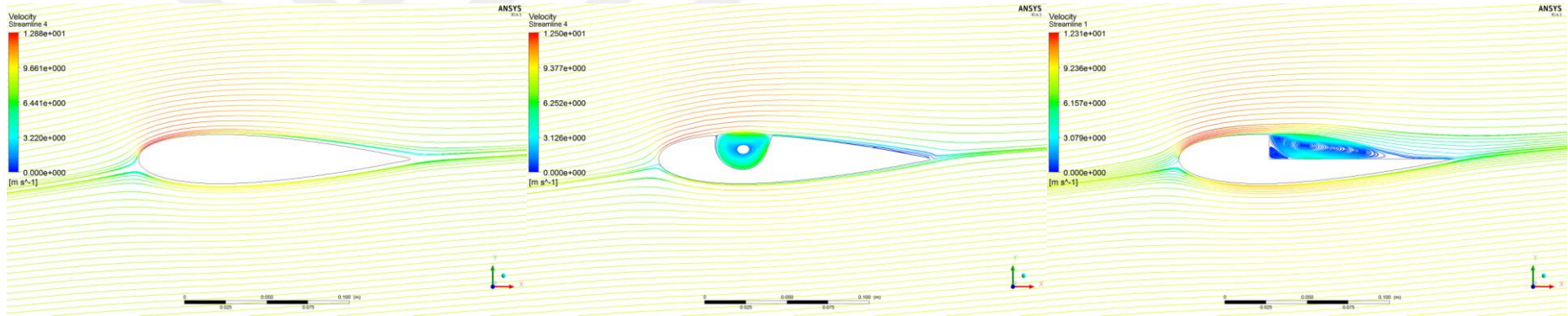
Şekil 4.47 Hücüm açısı $\alpha=2^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



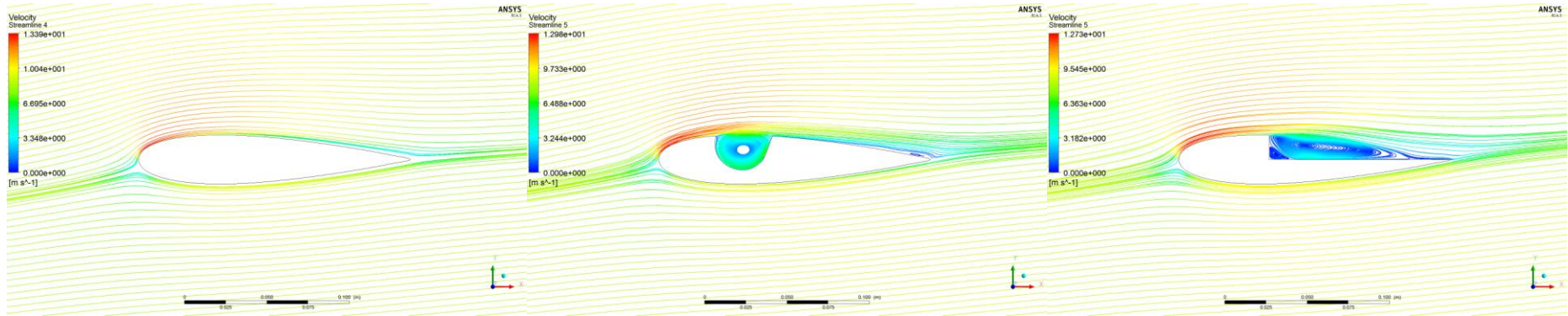
Şekil 4.48 Hücüm açısı $\alpha=3^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



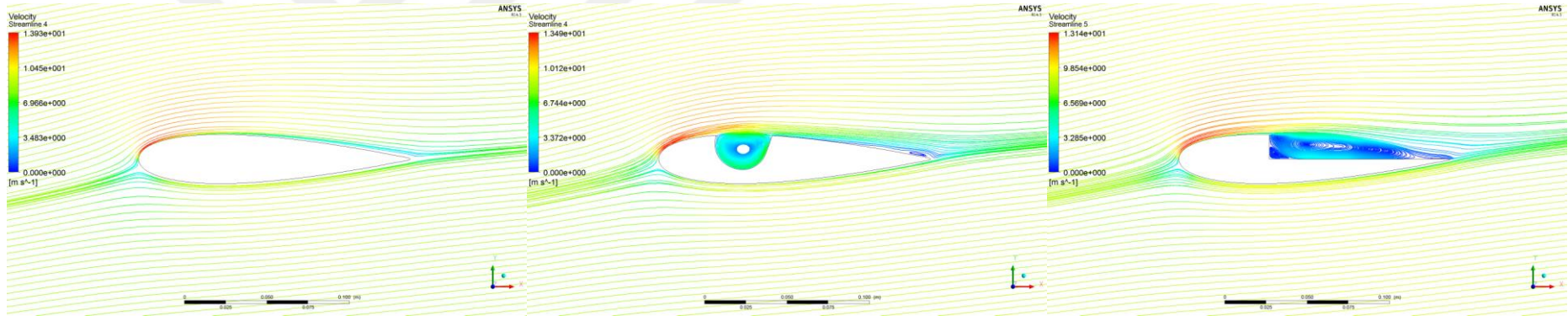
Şekil 4.49 Hücüm açısı $\alpha=4^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



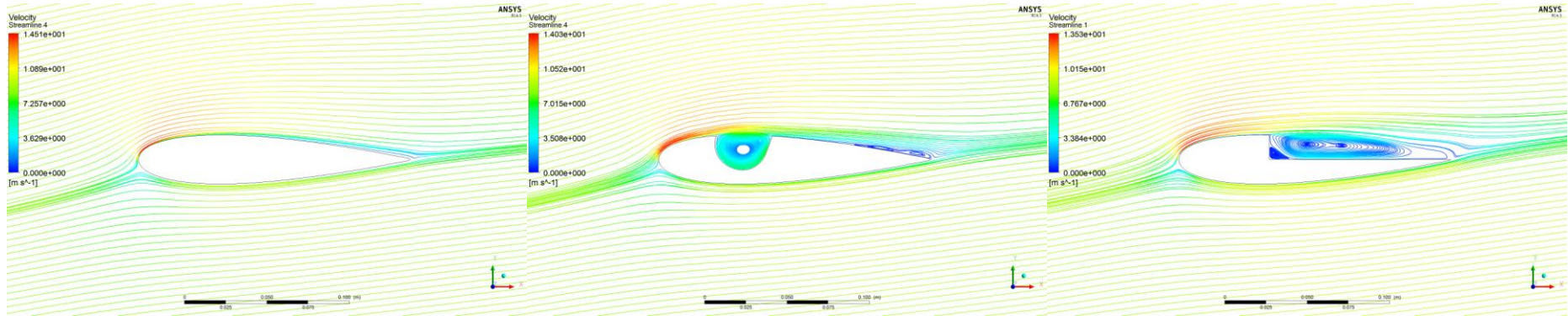
Şekil 4.50 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



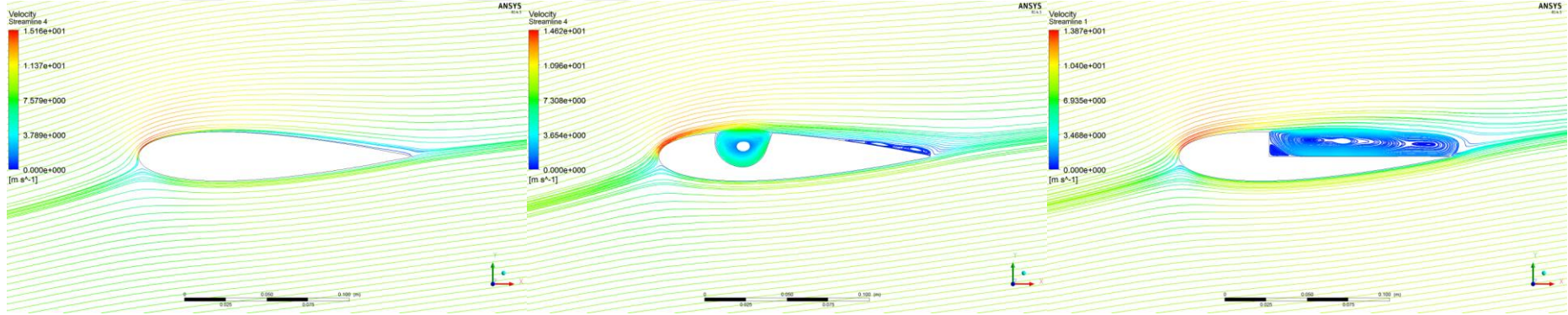
Şekil 4.51 Hücüm açısı $\alpha=6^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



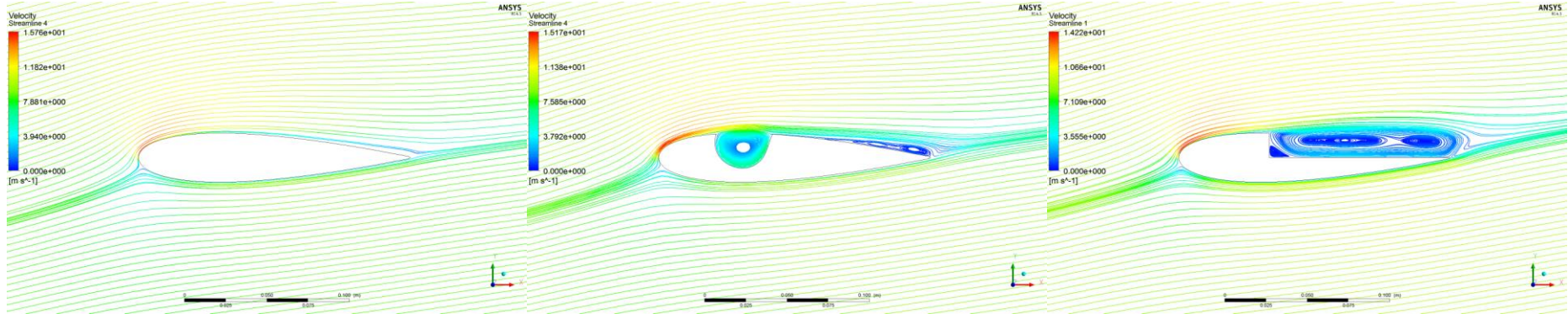
Şekil 4.52 Hücüm açısı $\alpha=7^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



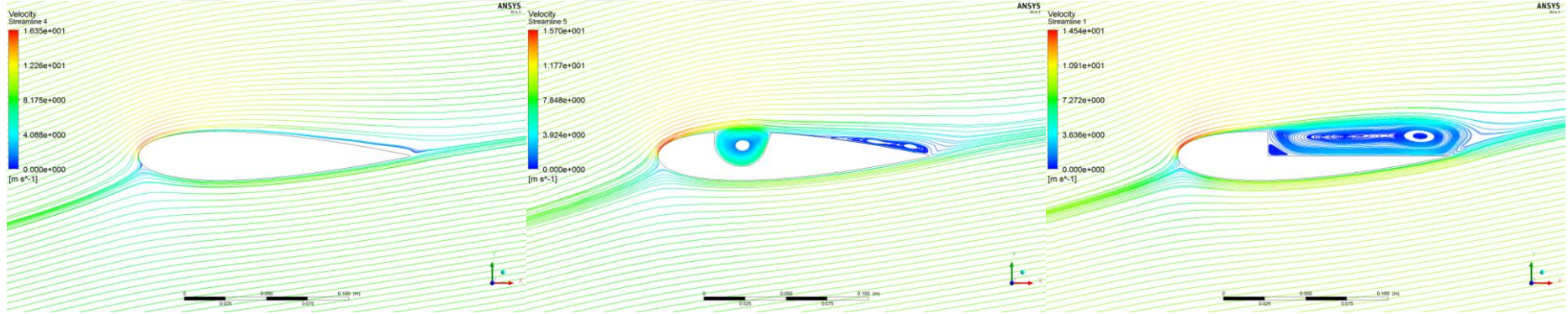
Şekil 4.53 Hücüm açısı $\alpha=8^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



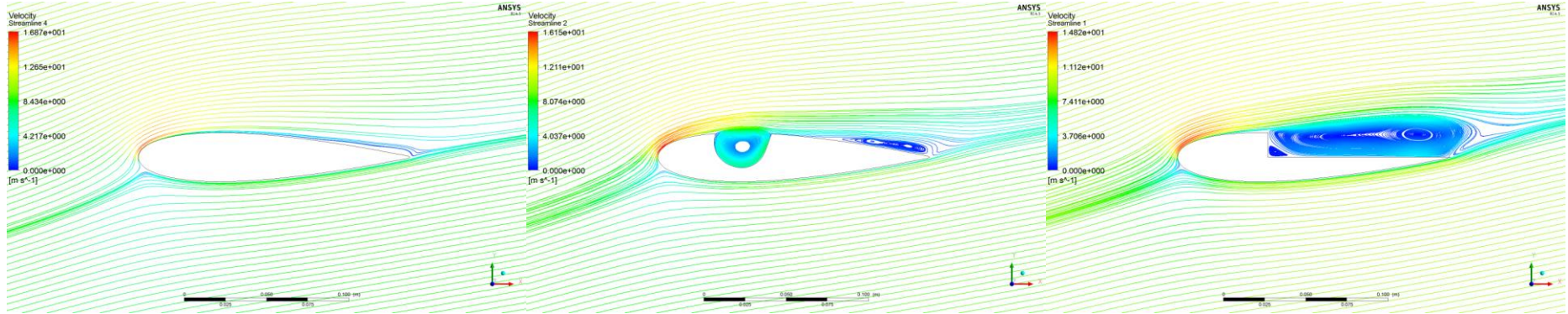
Şekil 4.54 Hücüm açısı $\alpha=9^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



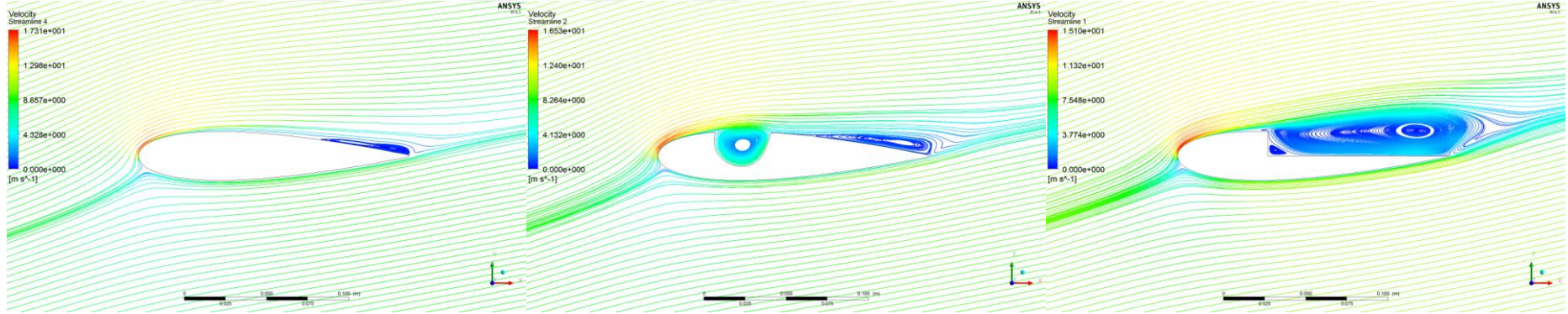
Şekil 4.55 Hücüm açısı $\alpha=10^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



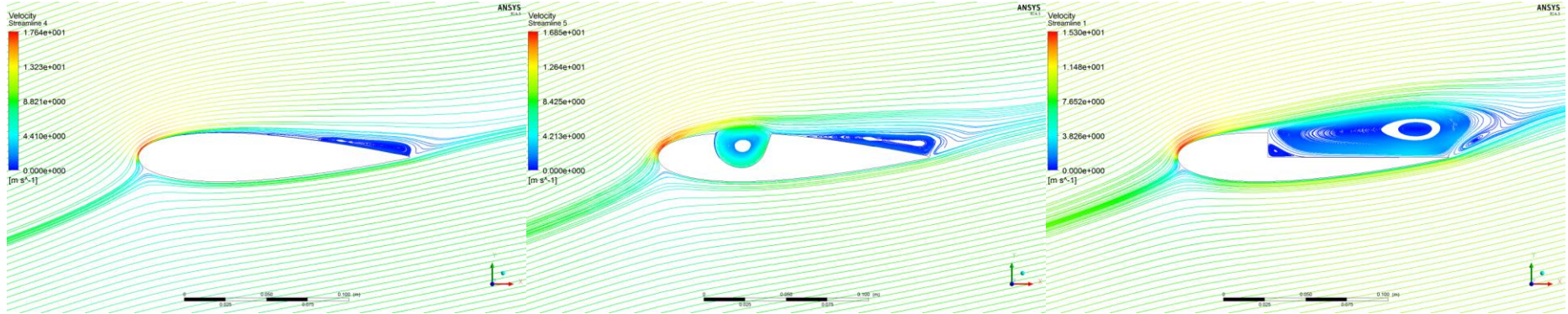
Şekil 4.56 Hücüm açısı $\alpha=11^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



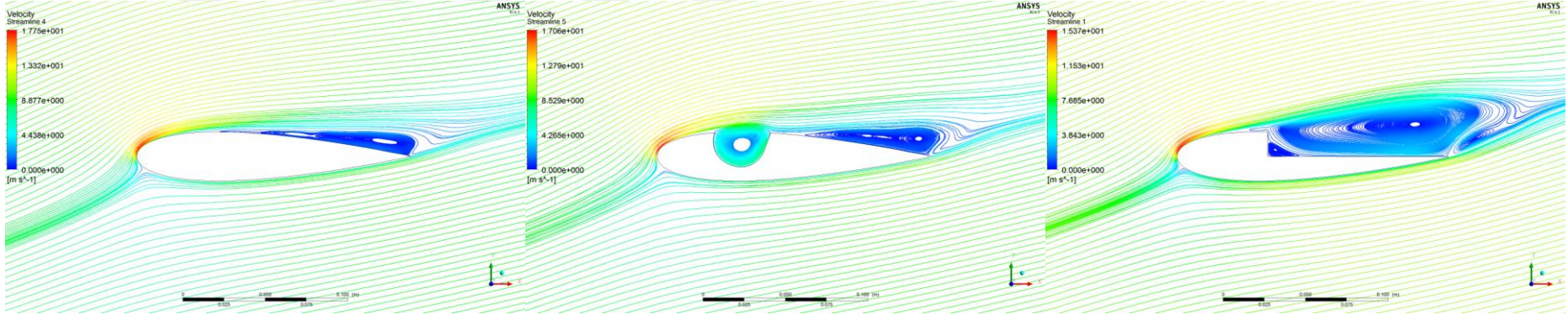
Şekil 4.57 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



Şekil 4.58 Hücüm açısı $\alpha=13^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



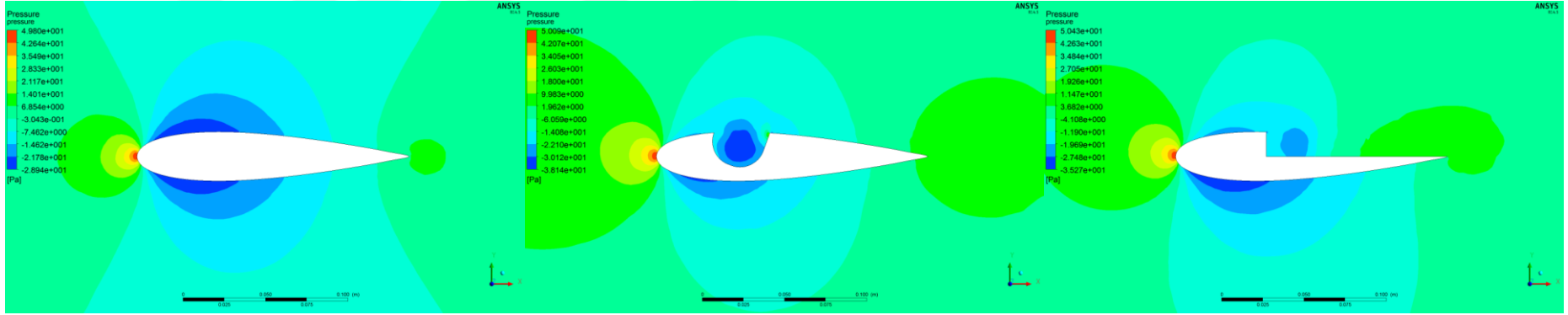
Şekil 4.59 Hücüm açısı $\alpha=14^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri



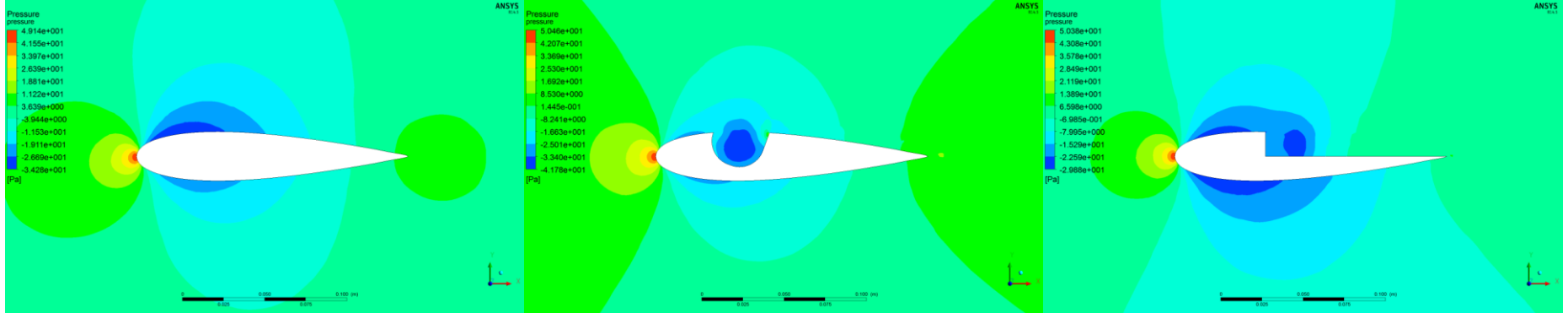
Şekil 4.60 Hücüm açısı $\alpha=15^\circ$ 'de zaman ortalama akım çizgileri

4.4.2. Basınç Konturlarının Karşılaştırılması

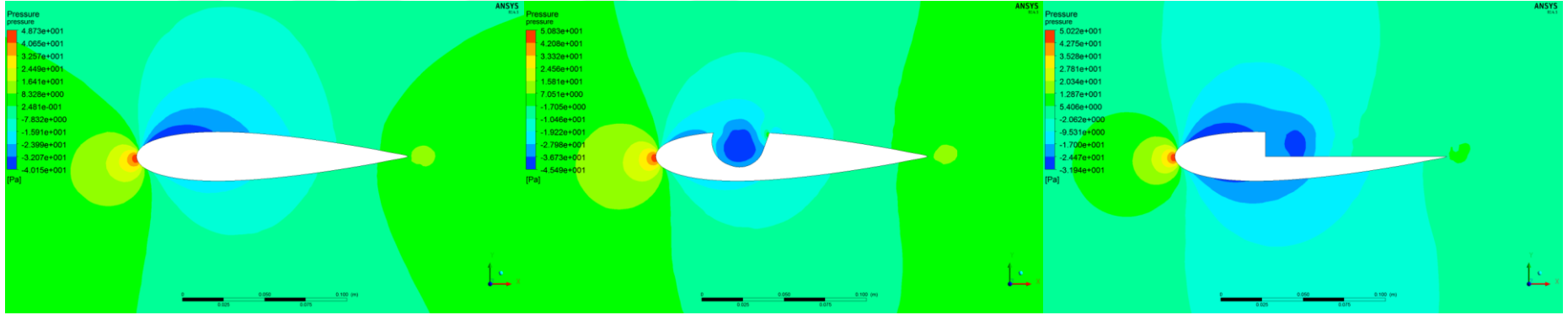
Şekil 4.61-4.76'da ilgili hücüm açılara ait basınç konturları sunulmuştur. Basamaklı modelin basınç konturu görüntüleri incelendiğinde $Re=20.000$ 'deki duruma benzer şekilde $\alpha=2^\circ$ 'lik hücüm açısından sonra alt yüzeydeki basınç farkının üst yüzeyden fazla olmaya başladığı görülmüştür. Alt ve üst yüzey arasındaki basınç farkı sıralaması $Re=100.000$ 'de de değişmemiş ve $Re=20.000$ 'deki duruma benzer şekilde olduğu görülmüştür.



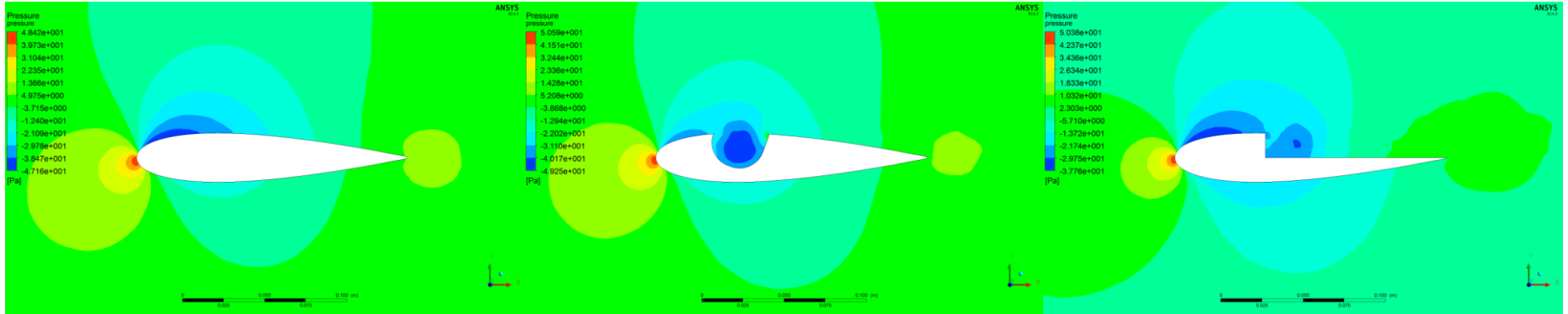
Şekil 4.61 Hücüm açısı $\alpha=0^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



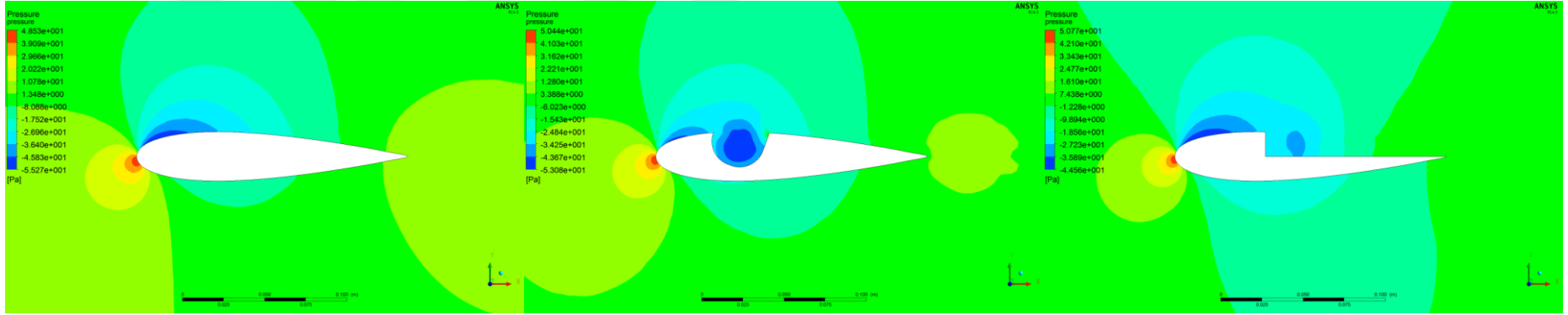
Şekil 4.62 Hücüm açısı $\alpha=1^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



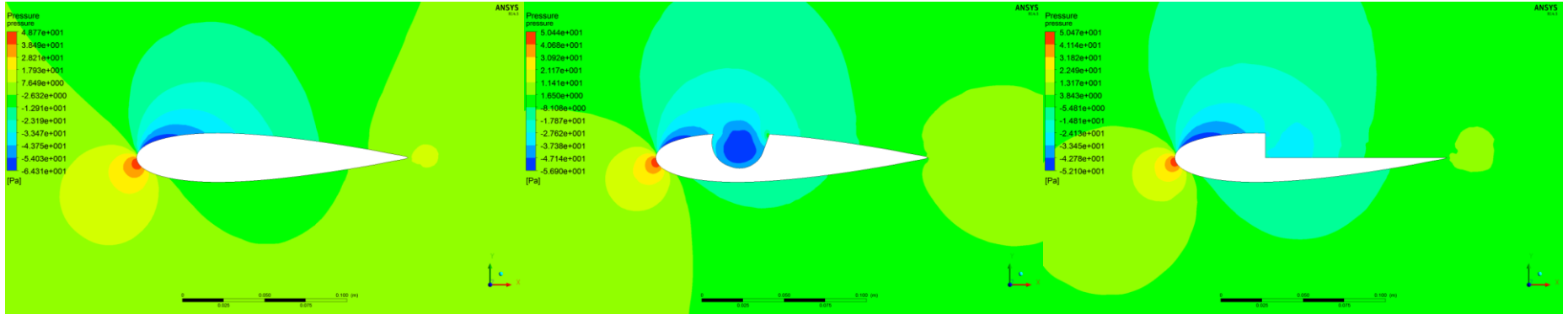
Şekil 4.63 Hücüm açısı $\alpha=2^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



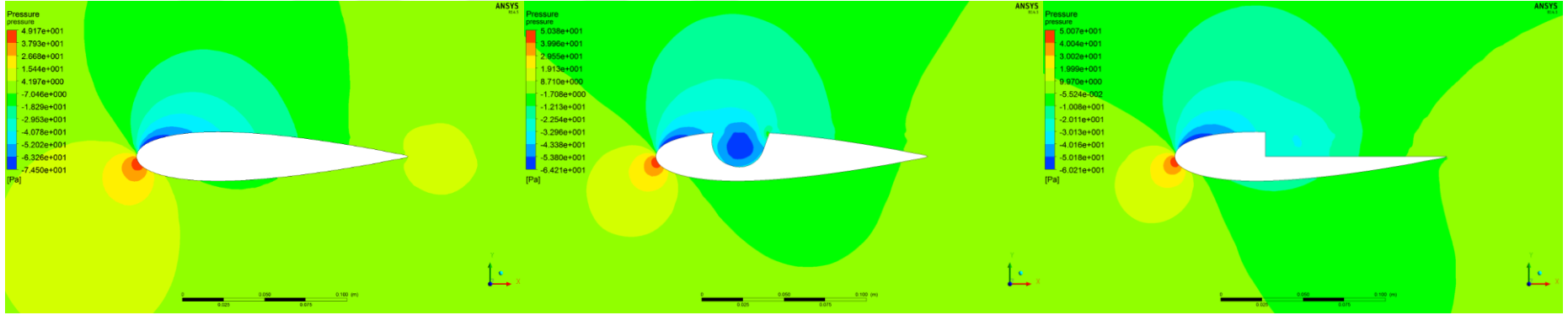
Şekil 4.64 Hücüm açısı $\alpha=3^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



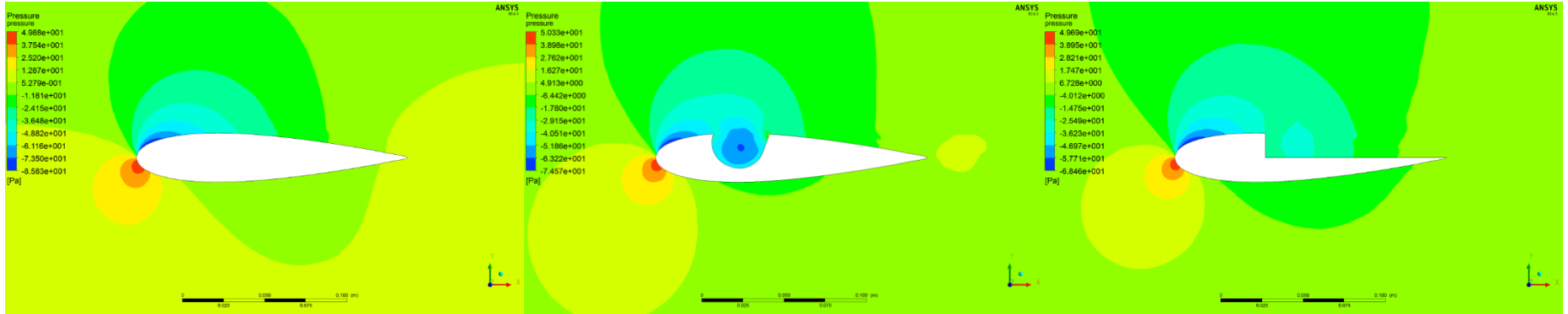
Şekil 4.65 Hücüm açısı $\alpha=4^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



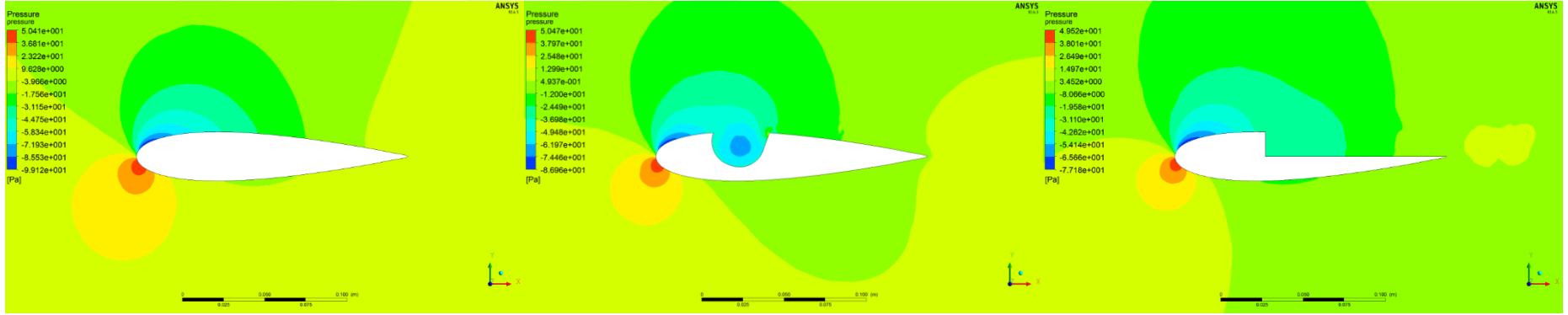
Şekil 4.66 Hücüm açısı $\alpha=5^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



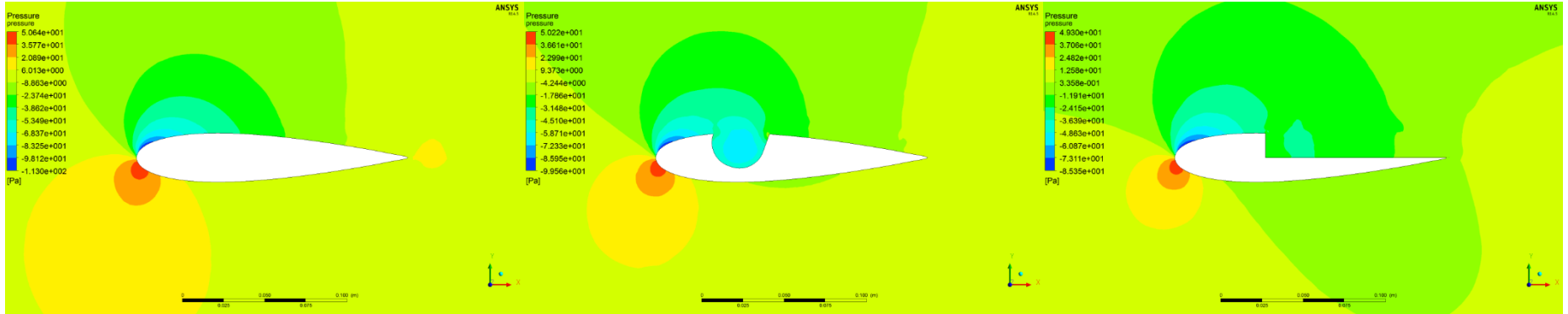
Şekil 4.67 Hücüm açısı $\alpha = 6^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



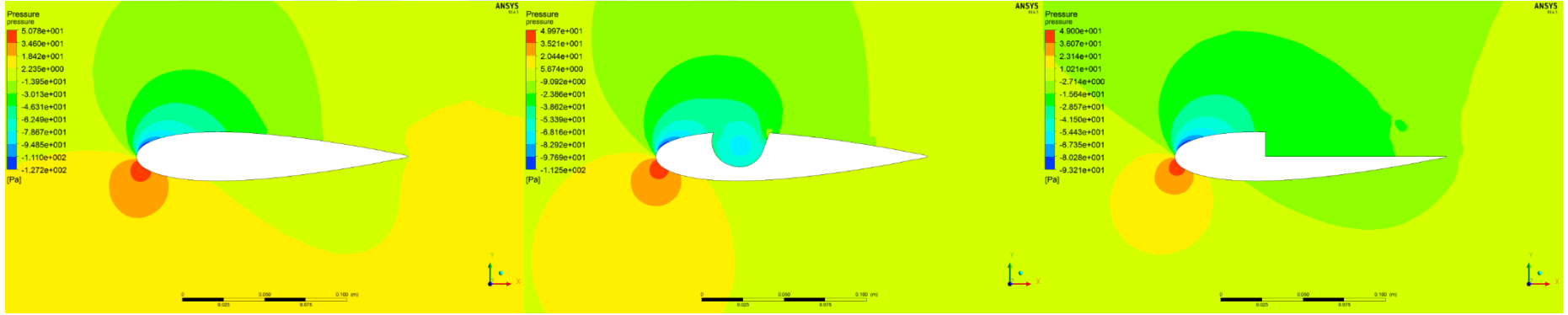
Şekil 4.68 Hücüm açısı $\alpha = 7^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



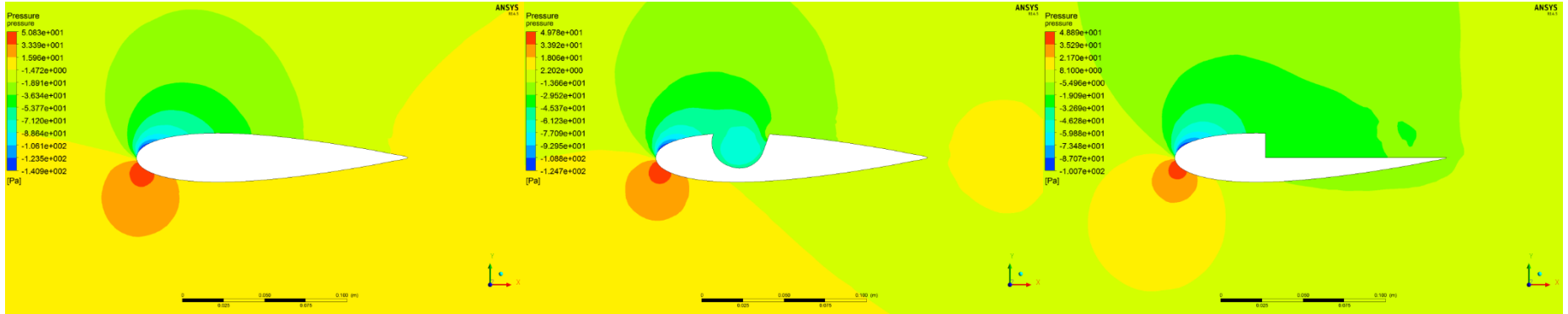
Şekil 4.69 Hücüm açısı $\alpha = 8^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



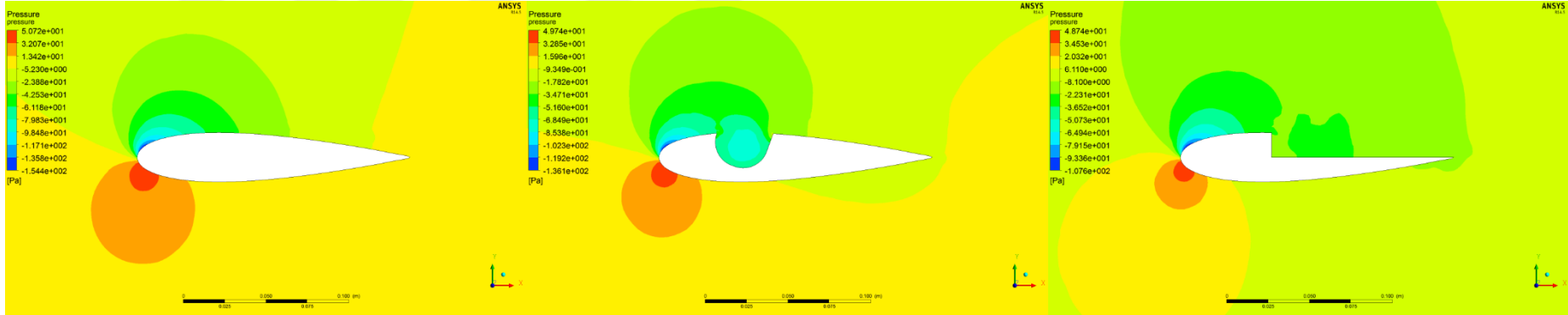
Şekil 4.70 Hücüm açısı $\alpha = 9^\circ$ de zaman ortalama basınç konturları



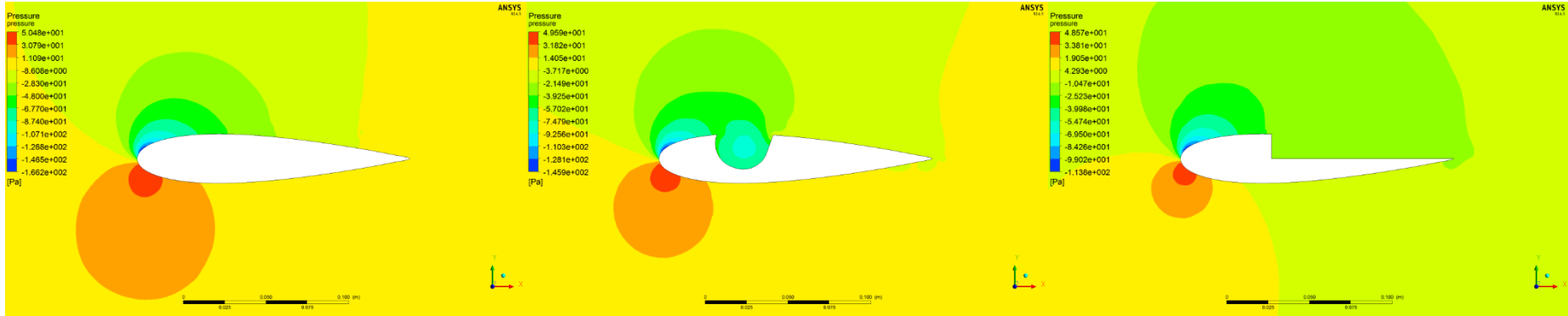
Şekil 4.71 Hücum açısı $\alpha=10^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



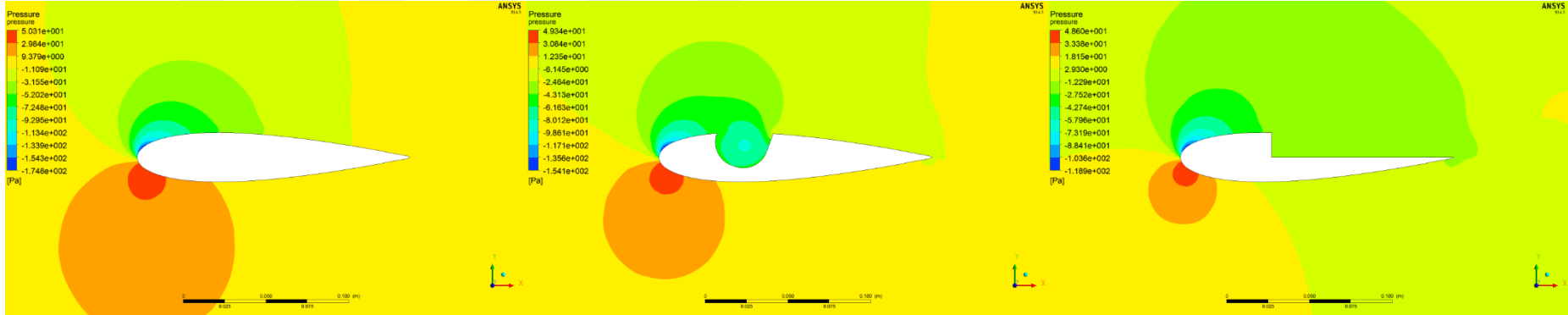
Şekil 4.72 Hücum açısı $\alpha=11^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



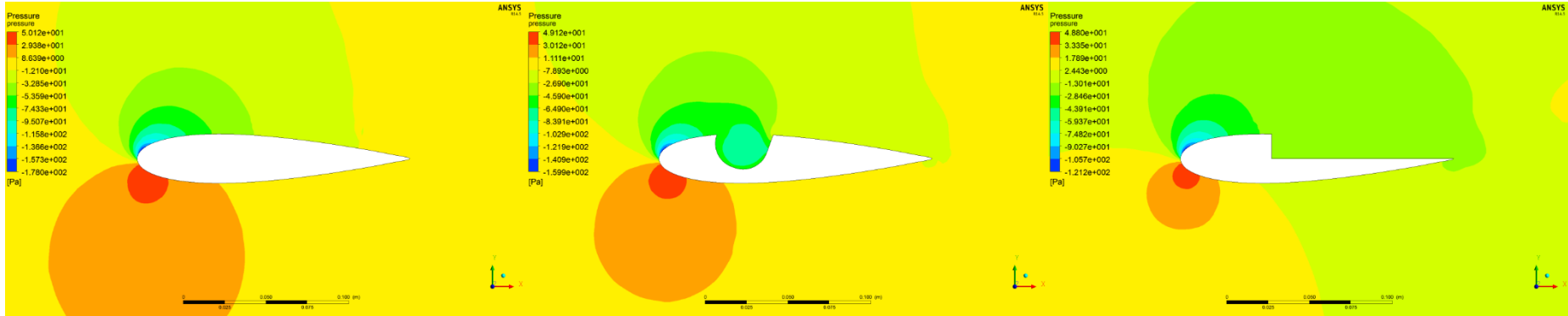
Şekil 4.73 Hücüm açısı $\alpha=12^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



Şekil 4.74 Hücüm açısı $\alpha=13^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



Şekil 4.75 Hücum açısı $\alpha=14^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları



Şekil 4.76 Hücum açısı $\alpha=15^\circ$ 'de zaman ortalama basınç konturları

4.4.3. C_L , C_D ve C_L/C_D Sonuçları

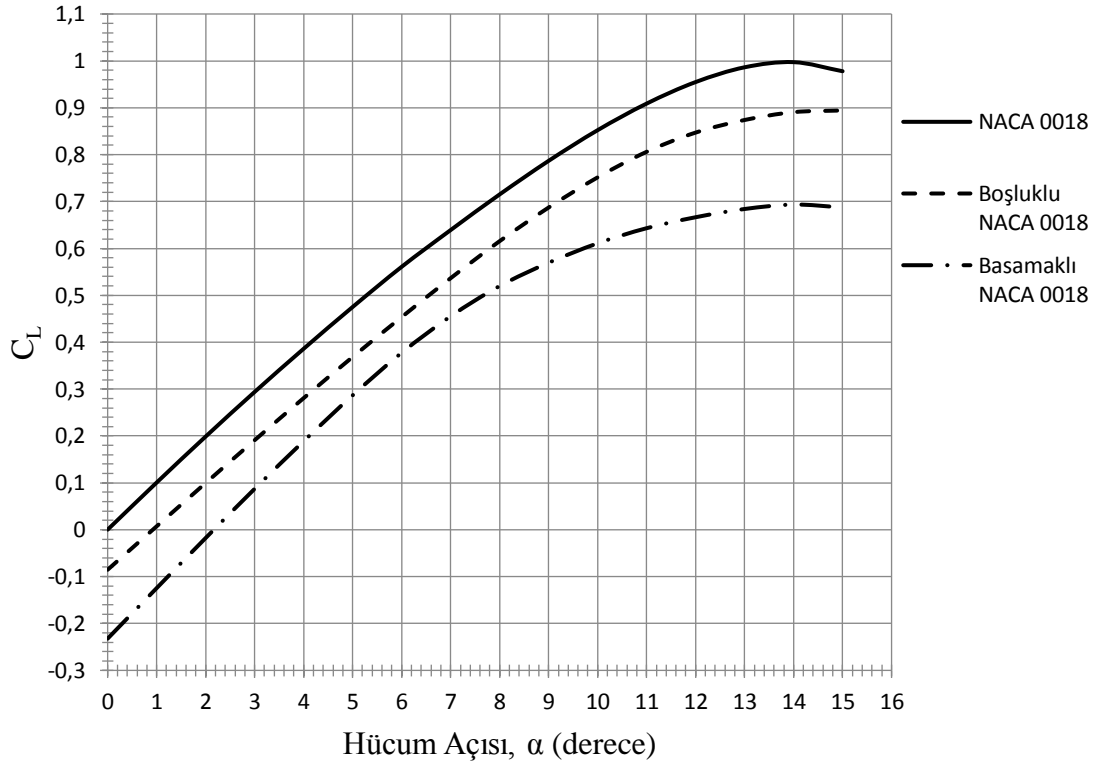
Re=100.000 için elde edilen C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısına bağlı olarak değişimleri sırasıyla Şekil 4.77, Şekil 4.78 ve Şekil 4.79’da sunulmuştur. Ayrıca Çizelge 4.3’de ilgili değerler sayısal olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.3 C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısı, α ile değişimleri

Hücum Açısı(°)	NACA 0018		Boşluklu NACA 0018		Basamaklı NACA 0018	
	C_L	C_D	C_L	C_D	C_L	C_D
0	0.0002	0.030937	-0.08529	0.047207	-0.23222	0.05672
1	0.10062	0.031151	0.00731	0.048249	-0.1245	0.057807
2	0.19873	0.031977	0.099615	0.049831	-0.017637	0.059555
3	0.29396	0.033443	0.19101	0.051947	0.087254	0.061976
4	0.38596	0.035592	0.28074	0.054626	0.18884	0.065054
5	0.47509	0.038433	0.36846	0.057935	0.2866	0.068773
6	0.56076	0.041996	0.45354	0.061926	0.37742	0.073244
7	0.63913	0.047039	0.53646	0.066501	0.4552	0.078623
8	0.71516	0.052288	0.61546	0.07195	0.51973	0.084592
9	0.78677	0.058262	0.68719	0.078157	0.56947	0.091863
10	0.85217	0.065111	0.75154	0.085189	0.61085	0.099968
11	0.90891	0.072954	0.80601	0.092935	0.64314	0.10883
12	0.95484	0.081952	0.84703	0.10141	0.66651	0.11827
13	0.98631	0.092313	0.87388	0.11066	0.68407	0.12834
14	0.9973	0.10444	0.89066	0.12068	0.69352	0.13872
15	0.97789	0.11916	0.89426	0.13182	0.68747	0.15047
	C_L/C_D		C_L/C_D		C_L/C_D	
0	0.006465		-1.80681		-4.094147	
1	3.230073		0.151506		-2.153718	
2	6.214779		1.999057		-0.296146	
3	8.789881		3.677017		1.4078676	
4	10.84401		5.139311		2.9028192	
5	12.36151		6.359886		4.1673331	
6	13.3527		7.323903		5.1529135	
7	13.58724		8.066946		5.7896544	

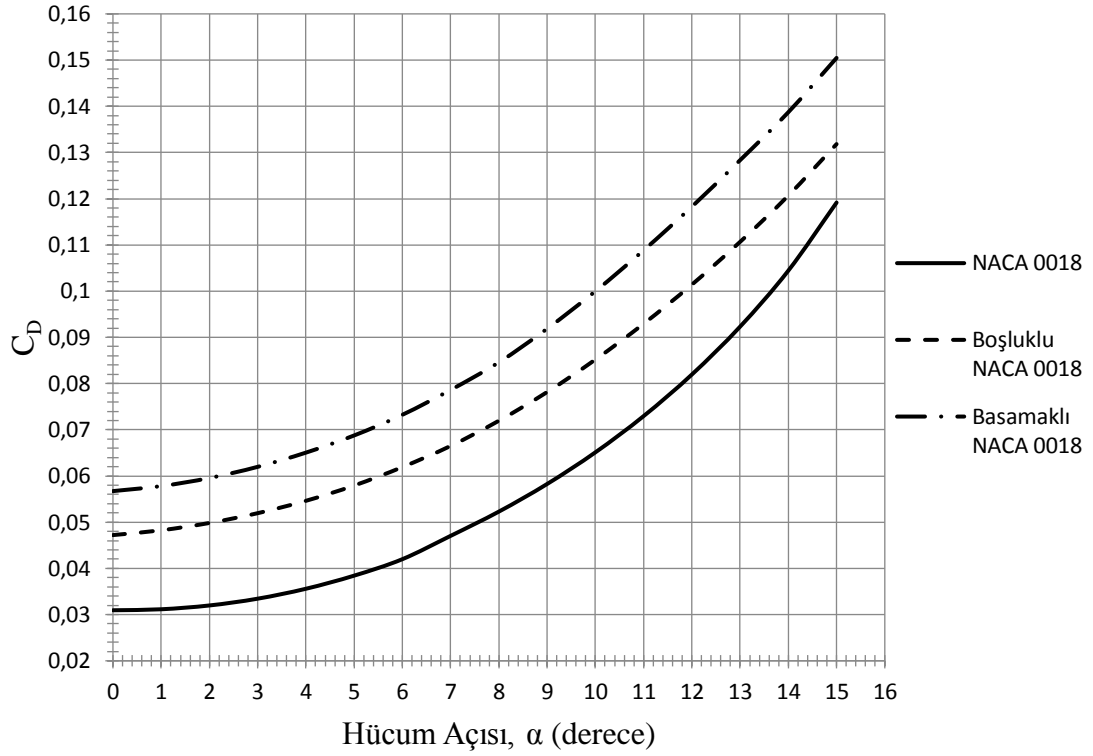
8	13.67733	8.553996	6.1439616
9	13.504	8.792431	6.1991226
10	13.08796	8.822031	6.1104553
11	12.45867	8.672836	5.9095838
12	11.65121	8.352529	5.6354951
13	10.68441	7.896982	5.3301387
14	9.549023	7.380345	4.9994233
15	8.206529	6.783948	4.5688177

Şekil 4.77'deki C_L -Hücum Açısı grafiğine bakıldığında tüm modellerin yaklaşık olarak aynı eğri şekline sahip olduğu, en yüksek değerlerin standart NACA 0018, en düşük değerlerin basamaklı NACA 0018'e ait olduğu ve tutunma kaybının standart ve basamaklı NACA 0018 modelinde $\alpha=14^\circ$, boşluklu NACA 0018 modelinde ise $\alpha=15^\circ$ hücum açısında oluştuğu gözlenmiştir.



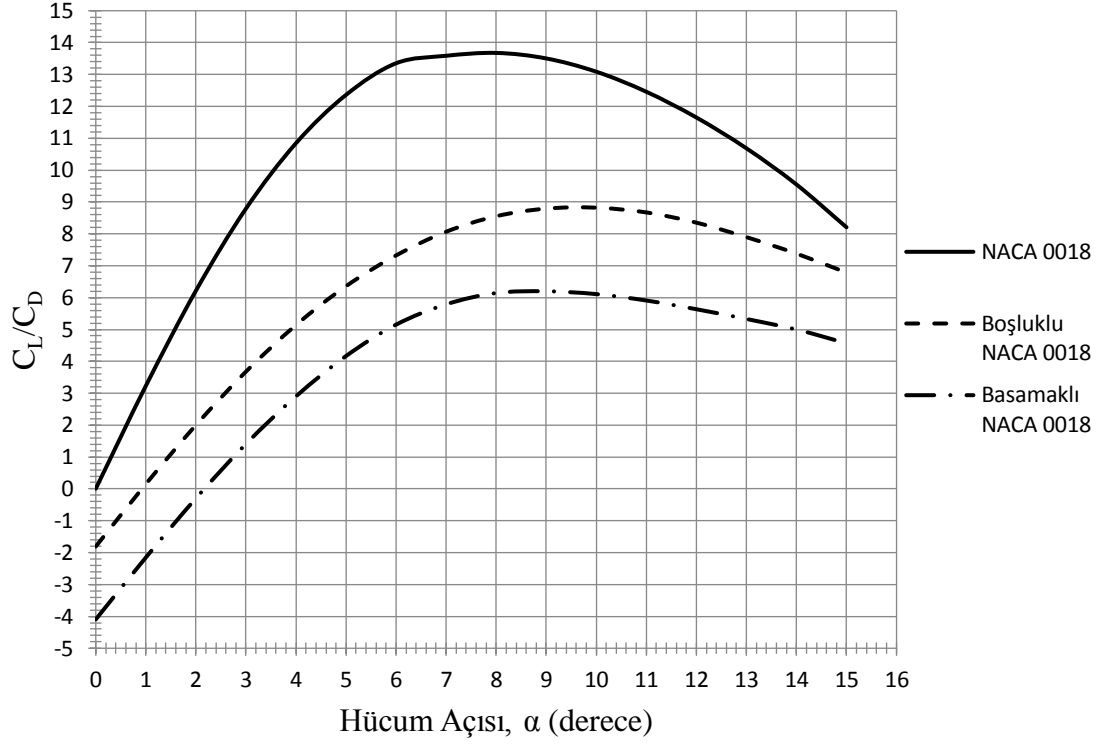
Şekil 4.77 $Re=100.000$ için C_L değerinin hücum açısı, α ile değişimi

Şekil 4.78'deki C_D -Hücum Açısı grafiğine bakıldığında C_L -Hücum Açısı grafiklerine benzer olarak tüm modellerin yaklaşık olarak aynı eğri şekline sahip olduğu en yüksek değerlerin basamaklı, en düşük değerlerin standart NACA 0018'e ait olduğu görülmüştür.



Şekil 4.78 $Re=100.000$ için C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi

Şekil 4.79'daki C_L/C_D -Hücum Açısı grafiğine bakıldığında tüm modellerin benzer eğrilere sahip olduğu gözlemlenmekle birlikte sayısal değerler arasında iki kata varan farklılıklar görülmektedir.



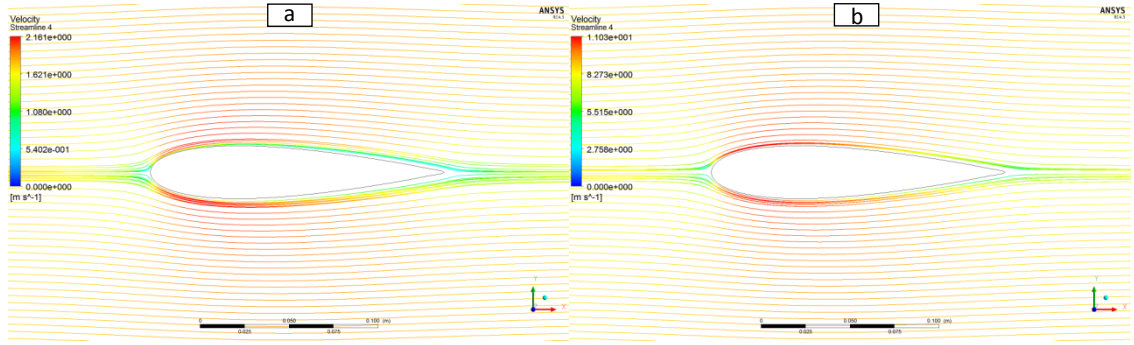
Şekil 4.79 $Re=100.000$ için C_L/C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi

4.5.Farklı Açılı ve Re Sayılarında Aynı Modele Ait Sonuçların Karşılaştırılması

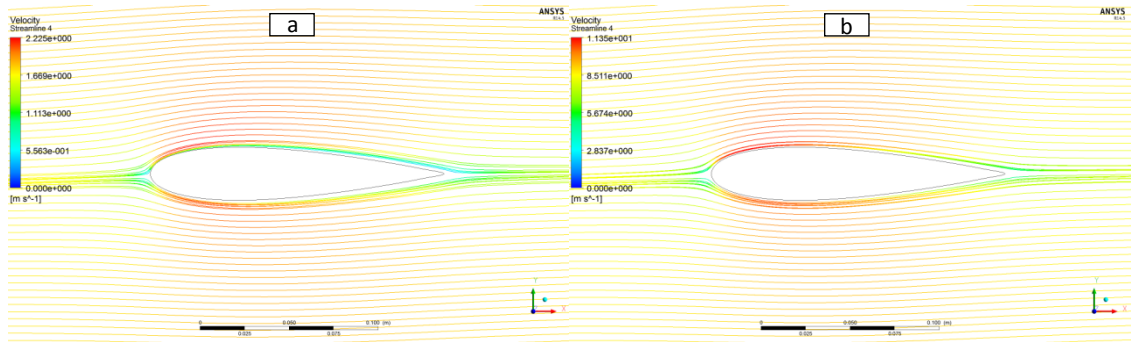
Önceki bölümlerde sunulan nümerik analiz sonuçları, aynı şartlarda farklı modellerin akış davranışına ait sonuçların karşılaştırılması şeklindeydi. Bu bölümde ise her bir modelin farklı akış şartlarında gösterdiği aerodinamik davranışlar sunulacaktır. Nümerik analizi yapılan her modelin $Re=20.000$ ve $Re=100.000$ 'de ve $\alpha=0^\circ, 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 6^\circ, 7^\circ, 8^\circ, 9^\circ, 10^\circ, 11^\circ, 12^\circ, 13^\circ, 14^\circ, 15^\circ$ hücum açılarındaki akım çizgileri ve C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısı, α ile değişimlerinin karşılaştırması sunulmuştur.

4.5.1.NACA 0018 Modeli Akım Çizgileri

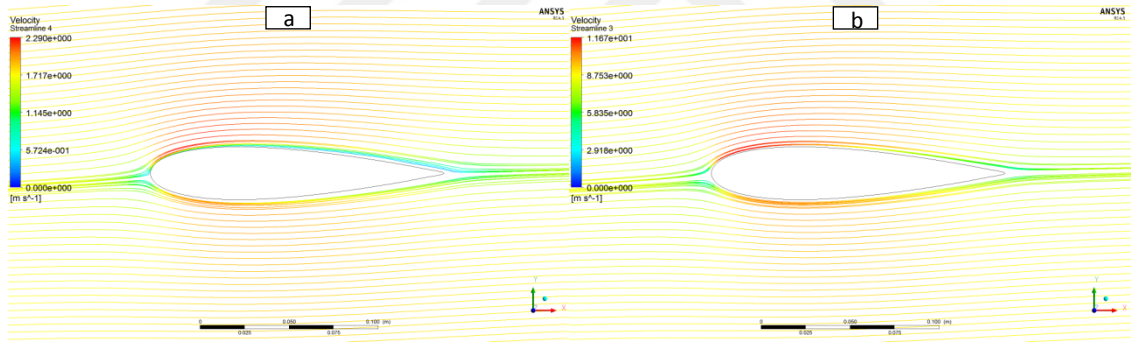
Aşağıda Şekil 4.80-4.95'de farklı hücum açılarındaki $Re=20.000$ ve $Re=100.000$ için standart NACA 0018 modeline ait akım çizgileri sunulmuştur. $Re=20.000$ 'de standart NACA 0018 modelinde akış ayrılmasının $\alpha=8^\circ$, $Re=100.000$ 'de ise $\alpha=13^\circ$ hücum açısında başladığı görülmüştür.



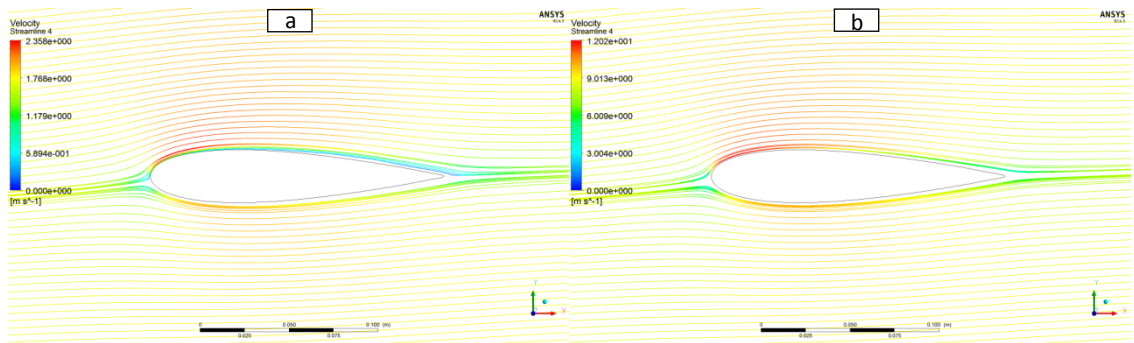
Şekil 4.80 $\alpha=0^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



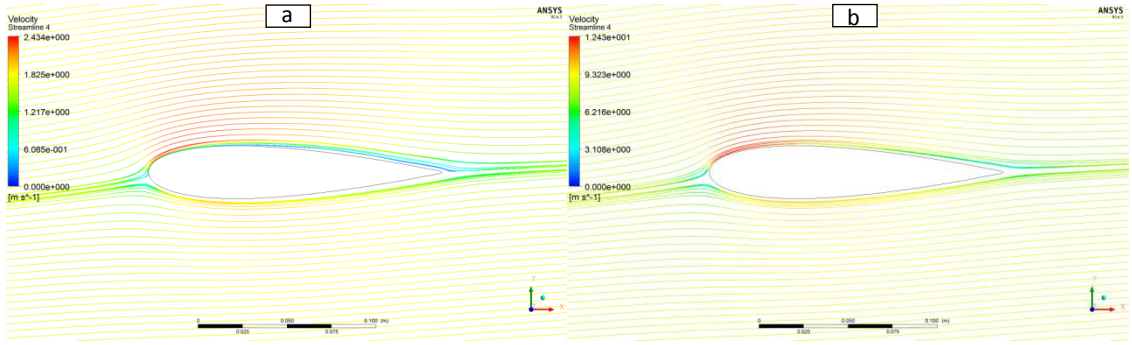
Şekil 4.81 $\alpha=1^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



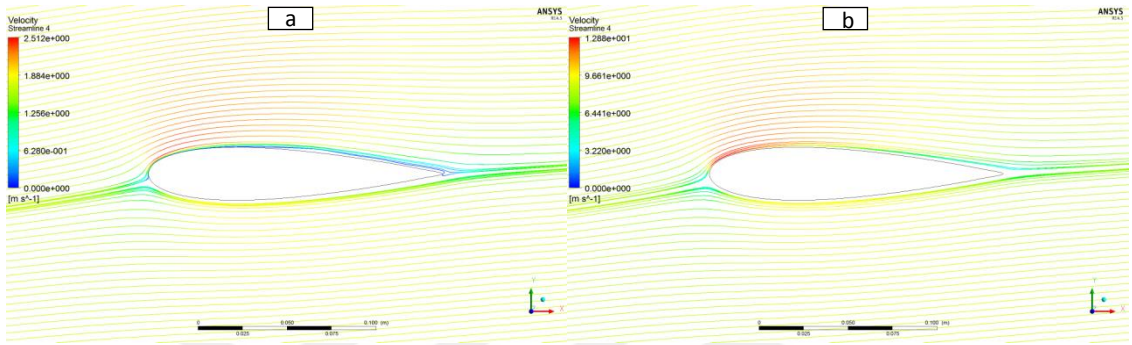
Şekil 4.82 $\alpha=2^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



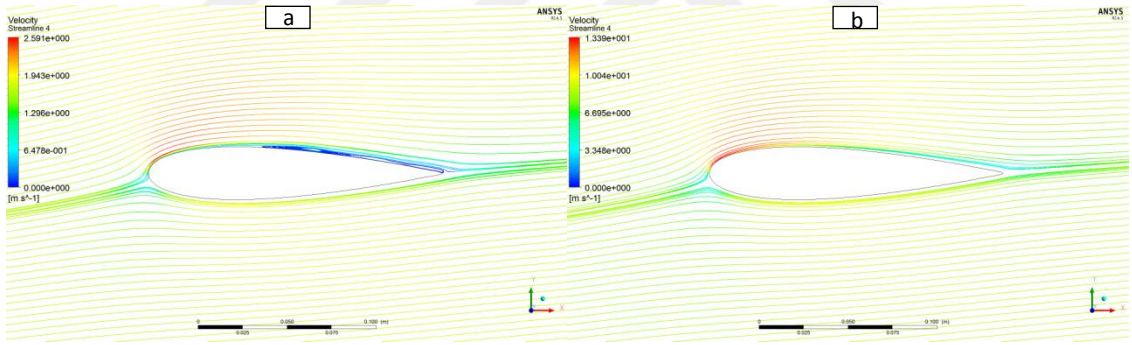
Şekil 4.83 $\alpha=3^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



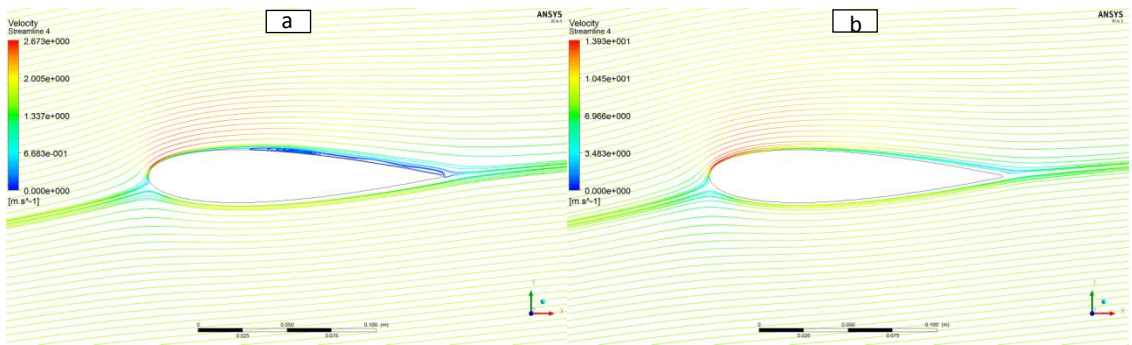
Şekil 4.84 $\alpha=4^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



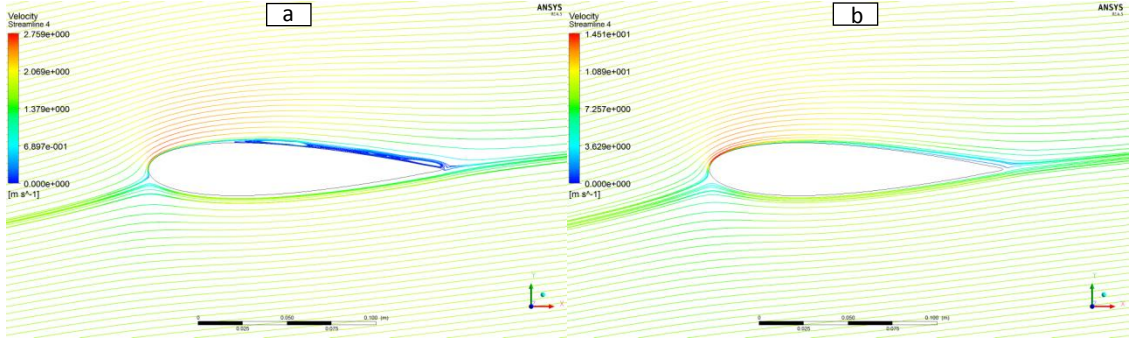
Şekil 4.85 $\alpha=5^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



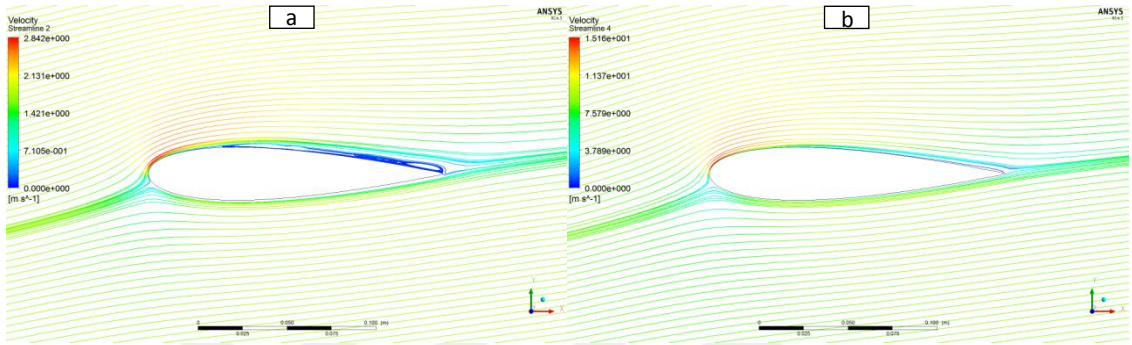
Şekil 4.86 $\alpha=6^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



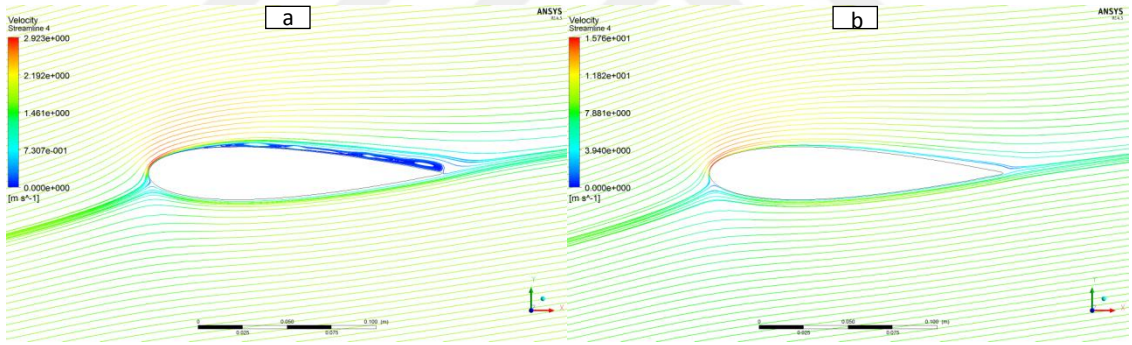
Şekil 4.87 $\alpha=7^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



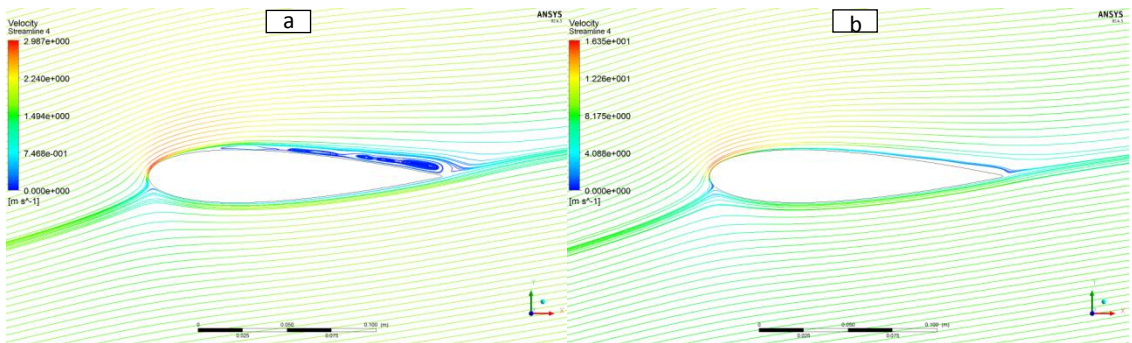
Şekil 4.88 $\alpha=8^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



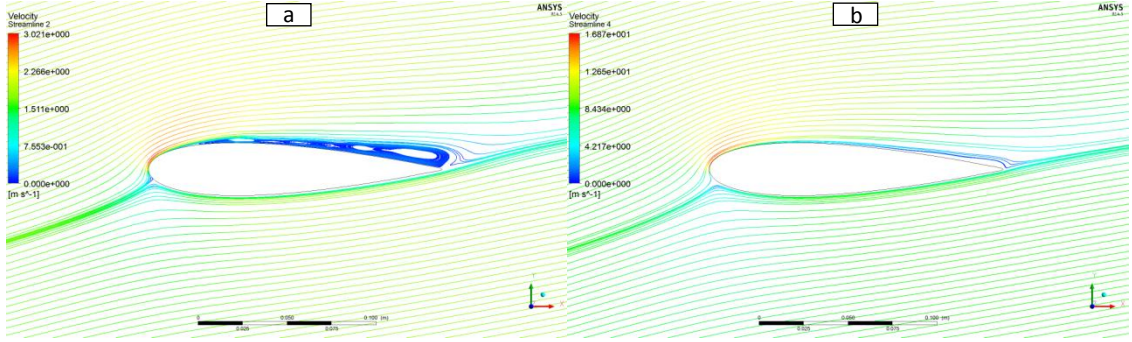
Şekil 4.89 $\alpha=9^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



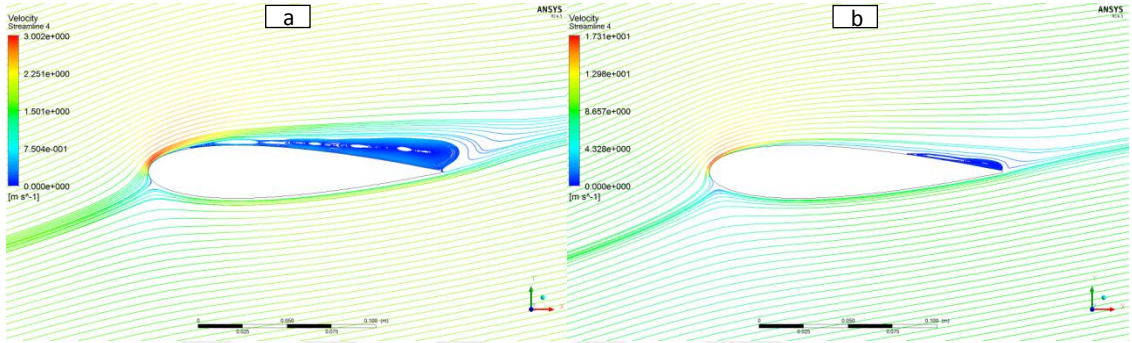
Şekil 4.90 $\alpha=10^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



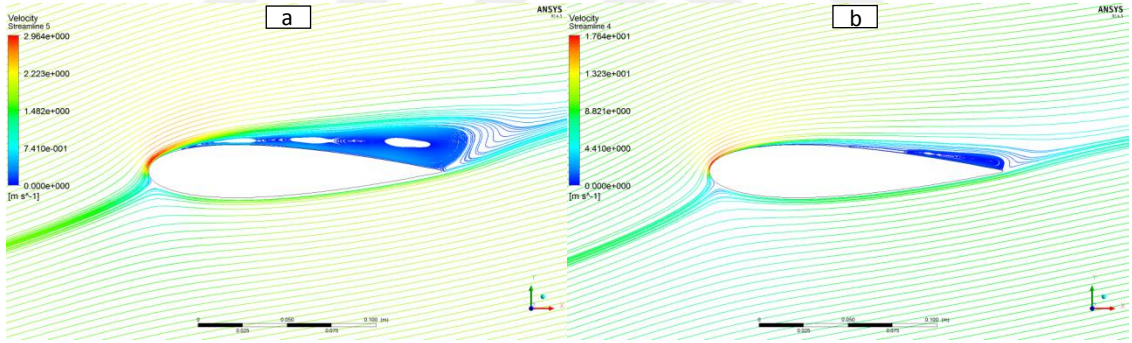
Şekil 4.91 $\alpha=11^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



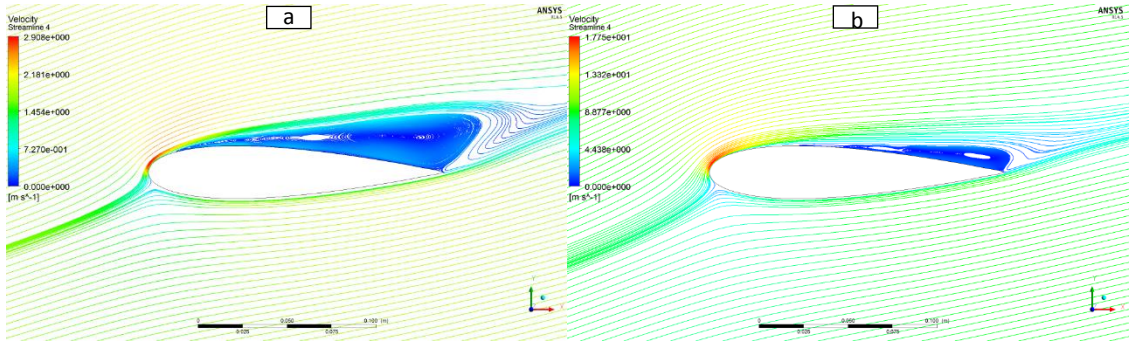
Şekil 4.92 $\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



Şekil 4.93 $\alpha=13^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



Şekil 4.94 $\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



Şekil 4.95 $\alpha=15^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$

4.5.1.1. C_L , C_D ve C_L/C_D Sonuçları

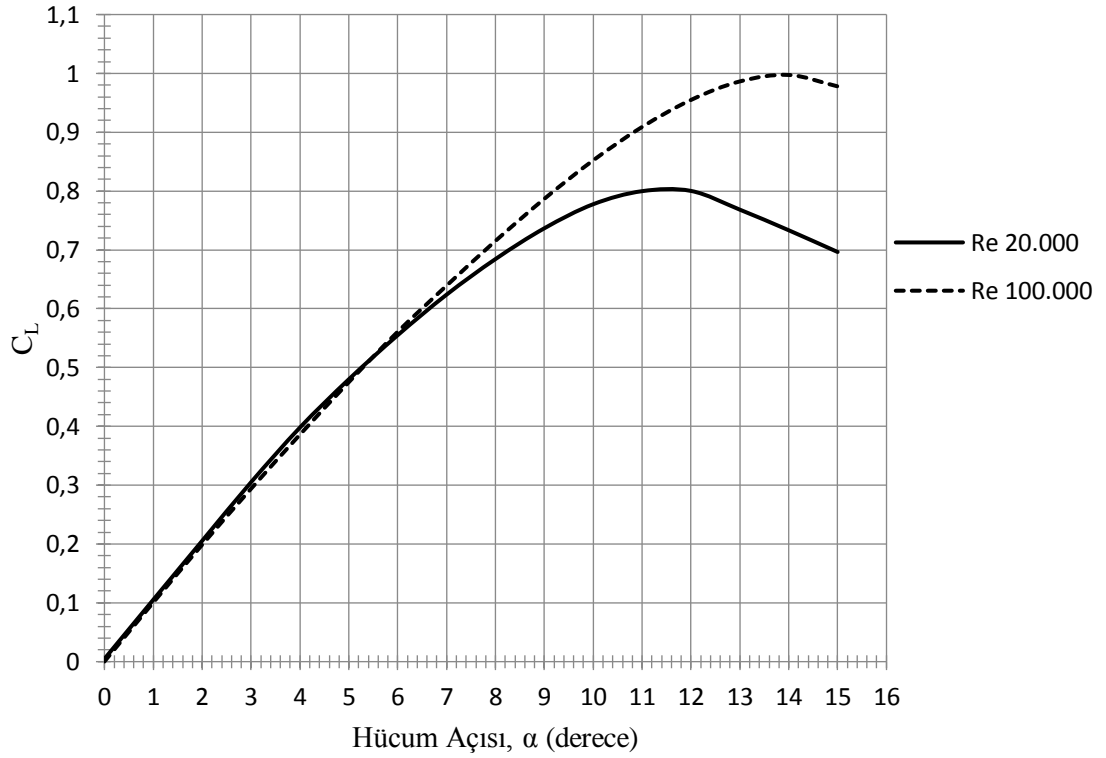
Re=20.000 ve Re=100.000 için elde edilen C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısına bağlı olarak değişimleri sırasıyla Şekil 4.96, Şekil 4.97 ve Şekil 4.98’de sunulmuştur. Ayrıca Çizelge 4.4’de ilgili C_L , C_D ve C_L/C_D değerleri sunulmuştur.

Çizelge 4.4 C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısı, α ile değişimi

Hücum Açısı(°)	NACA 0018 Re=20.000		NACA 0018 Re=100.000	
	C_L	C_D	C_L	C_D
0	0.0047	0.046738	0.0002	0.030937
1	0.10528	0.046961	0.10062	0.031151
2	0.20541	0.047989	0.19873	0.031977
3	0.30499	0.049897	0.29396	0.033443
4	0.39797	0.052668	0.38596	0.035592
5	0.47996	0.056272	0.47509	0.038433
6	0.55492	0.06083	0.56076	0.041996
7	0.62384	0.066429	0.63913	0.047039
8	0.68436	0.073157	0.71516	0.052288
9	0.73667	0.080856	0.78677	0.058262
10	0.77757	0.089606	0.85217	0.065111
11	0.79976	0.10003	0.90891	0.072954
12	0.80016	0.11223	0.95484	0.081952
13	0.76829	0.1285	0.98631	0.092313
14	0.73327	0.14688	0.9973	0.10444
15	0.69634	0.16585	0.97789	0.11916
	C_L/C_D		C_L/C_D	
0	0.100561		0.006465	
1	2.24186		3.230073	
2	4.280356		6.214779	
3	6.112392		8.789881	
4	7.556201		10.84401	
5	8.529286		12.36151	
6	9.122472		13.3527	
7	9.391079		13.58724	

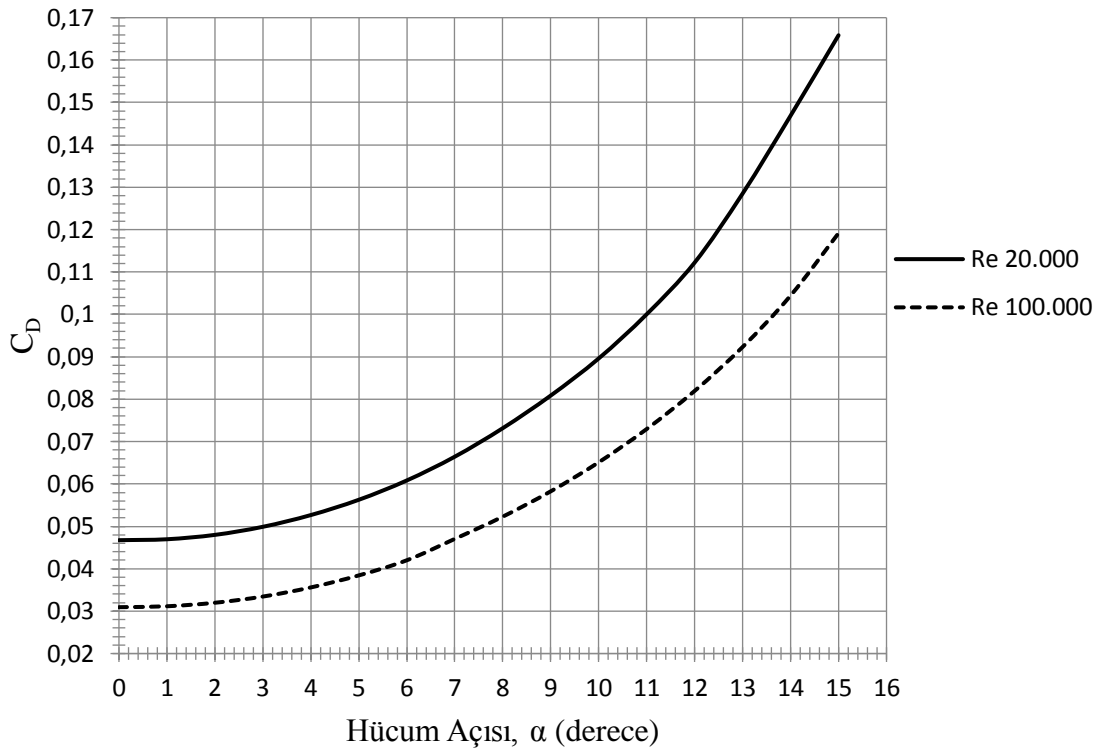
8	9.354676	13.67733
9	9.110888	13.504
10	8.677656	13.08796
11	7.995201	12.45867
12	7.129644	11.65121
13	5.978911	10.68441
14	4.992307	9.549023
15	4.198613	8.206529

Şekil 4.96'daki standart NACA 0018 modeli için C_L -Hücum Açısı grafiğine bakıldığında, $Re=20.000$ ve $Re=100.000$ 'de $\alpha=7^\circ$ hücum açısına kadar C_L değerlerinin aynı olduğu görülmüştür. $Re=20.000$ 'de tutunma kaybı $\alpha=11,5^\circ$ lik hücum açısında oluşurken, $Re=100.000$ 'de tutunma kaybı $\alpha=14^\circ$ lik hücum açısında meydana gelmiştir.

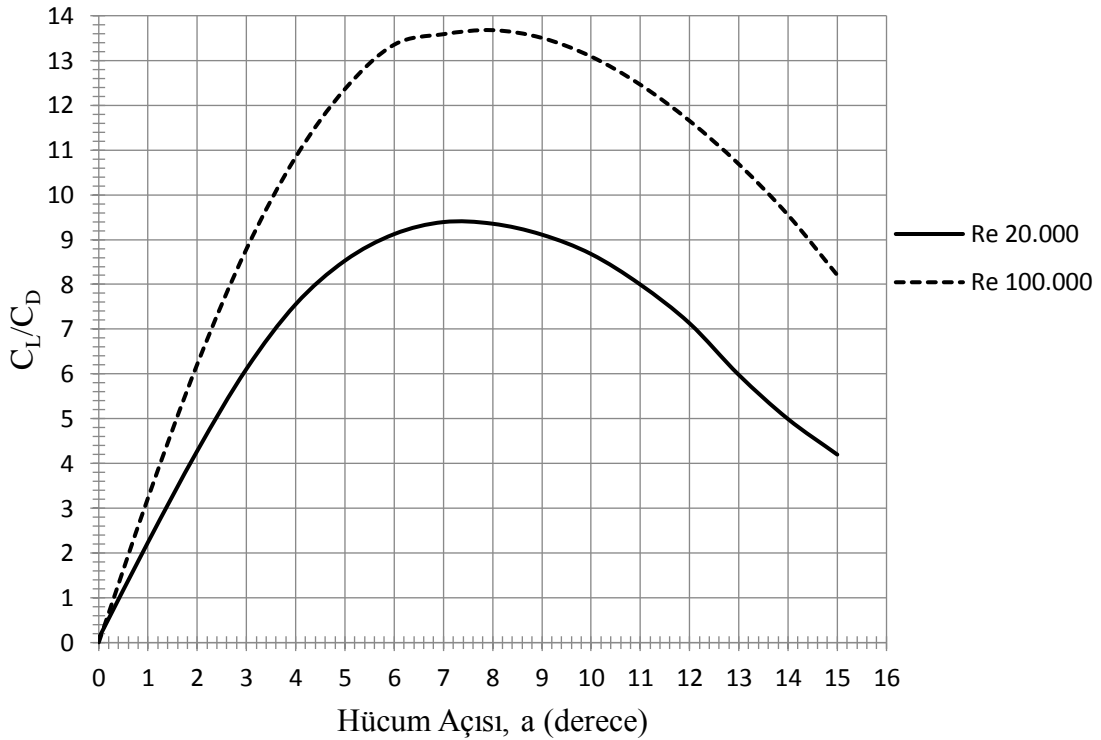


Şekil 4.96 Standart NACA 0018 için C_L değerinin hücum açısı, α ile değişimi

Şekil 4.97 ve 4.98 C_D ve C_L/C_D ise Re sayısına bağlı olarak orantılı şekilde değişmektedir.



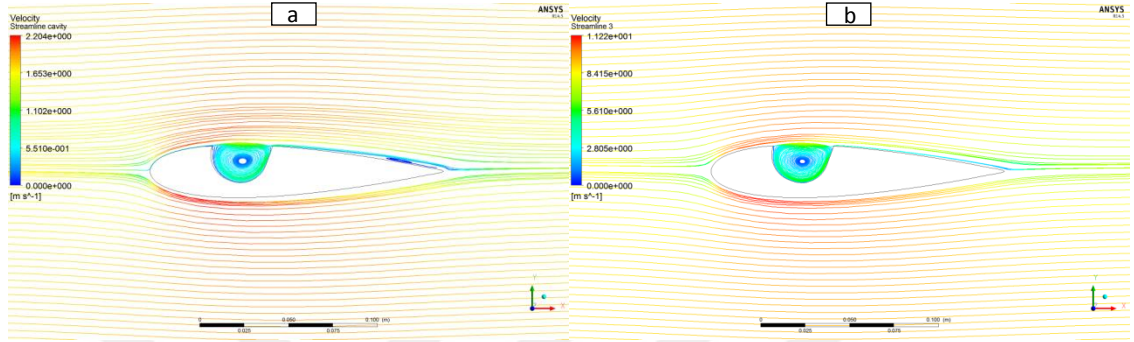
Şekil 4.97 Standart NACA 0018 için C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi



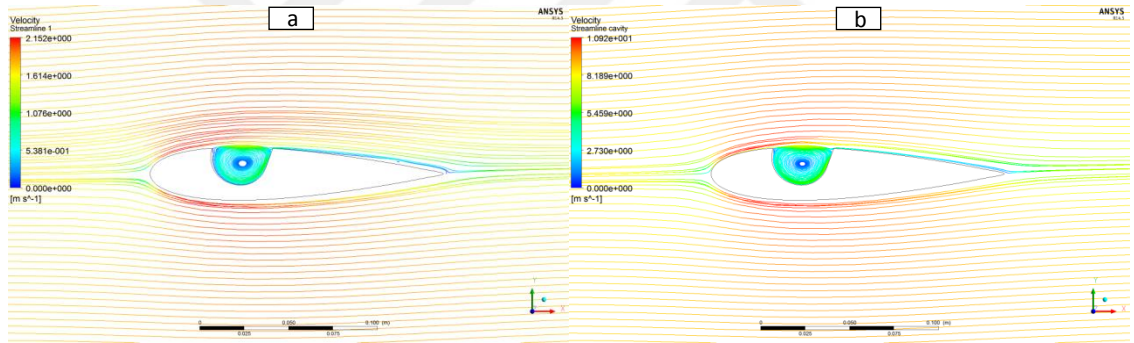
Şekil 4.98 Standart NACA 0018 için C_L/C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi

4.5.2.Boşluklu NACA 0018 Modeli Akım Çizgileri

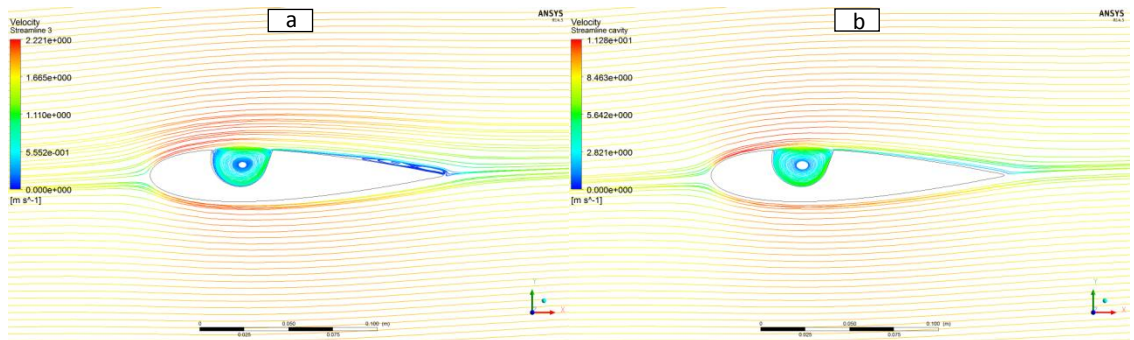
Aşağıda Şekil 4.99-4.114'de $Re=20.000$ ve $Re=100.000$ için silindirik oyuğa sahip modele ait akım çizgileri sunulmuştur. $Re=20.000$ 'de boşluklu NACA 0018 modelinde akış ayrılmasının $\alpha=5^\circ$ 'lik hücum açısında, $Re=100.000$ 'de ise $\alpha=9^\circ$ 'lik hücum açısında olduğu görülmüştür. Ayrıca, aynı hücum açısı değerlerinde $Re=20.000$ ve $Re=100.000$ 'de oluşan girdapların büyüklüğü arasında ciddi farklılıklar vardır.



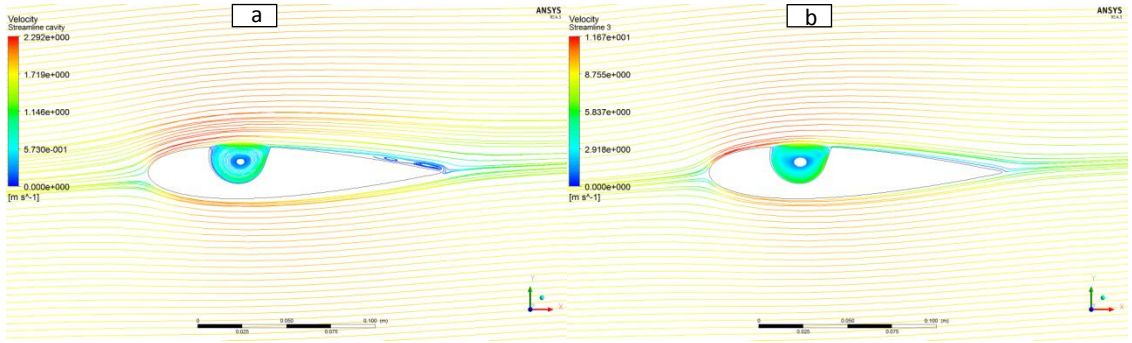
Şekil 4.99 $\alpha=0^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



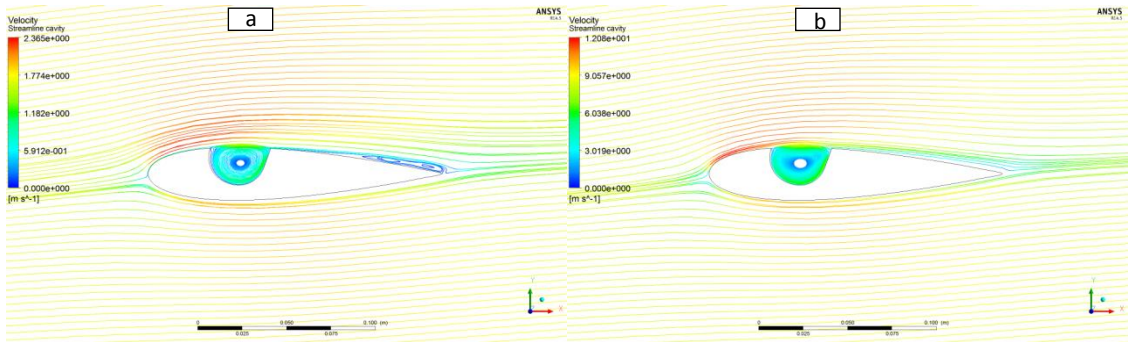
Şekil 4.100 $\alpha=1^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



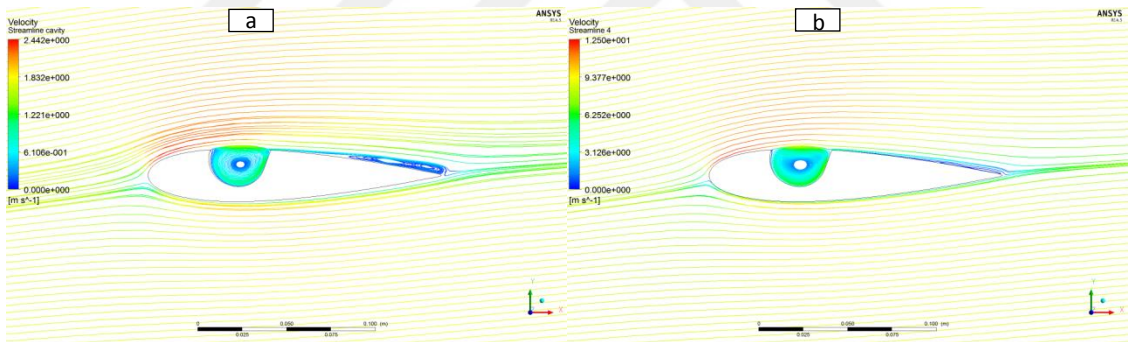
Şekil 4.101 $\alpha=2^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



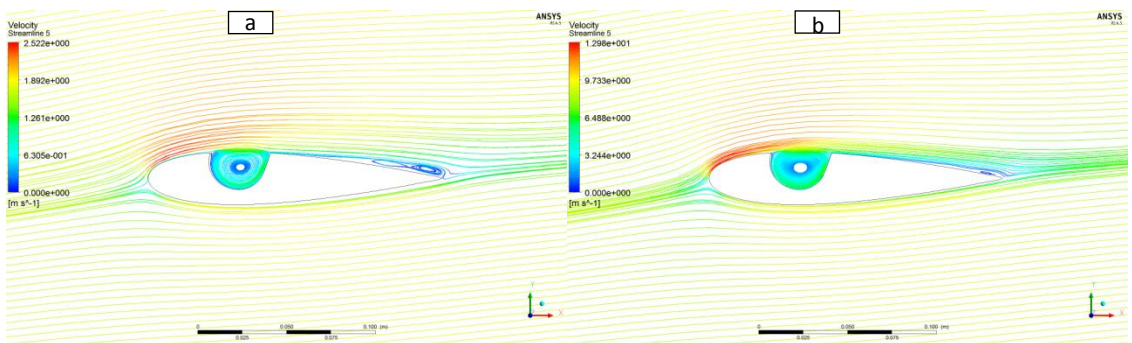
Şekil 4.102 $\alpha=3^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



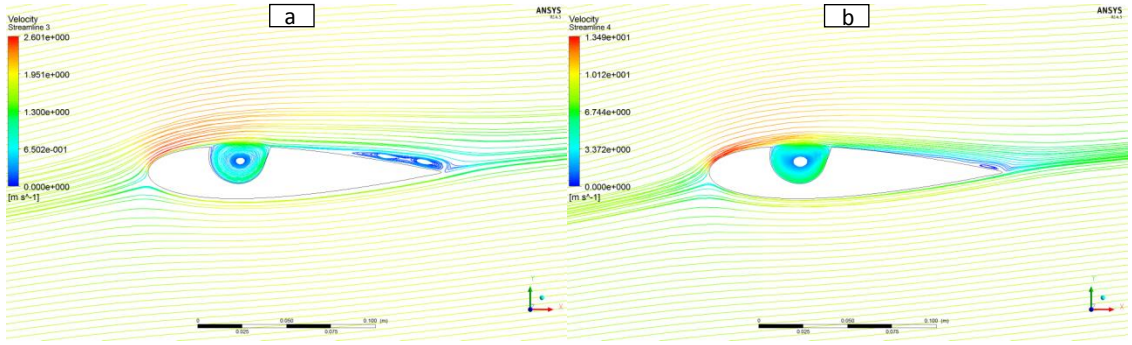
Şekil 4.103 $\alpha=4^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



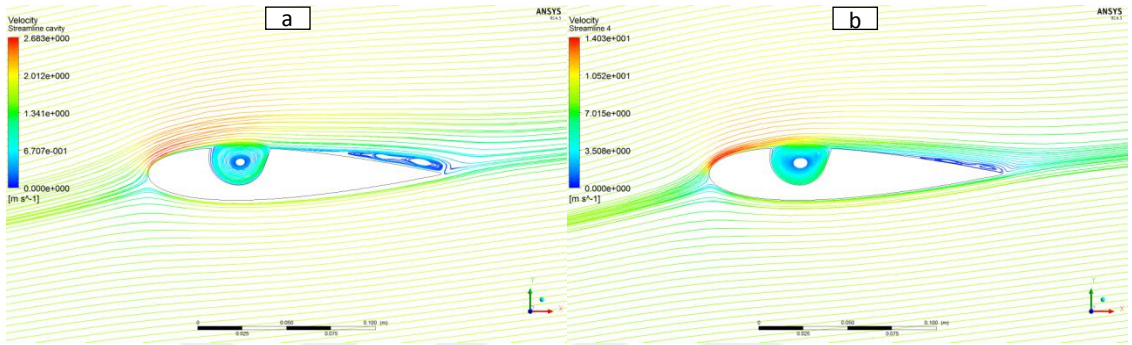
Şekil 4.104 $\alpha=5^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



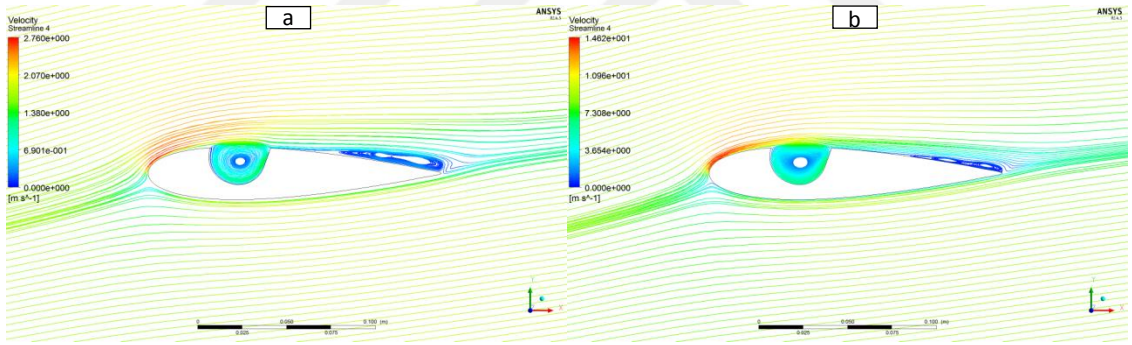
Şekil 4.105 $\alpha=6^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



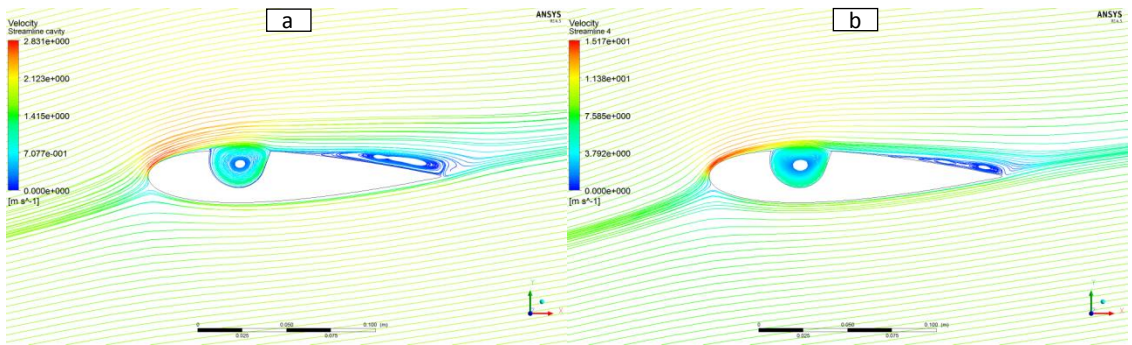
Şekil 4.106 $\alpha=7^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



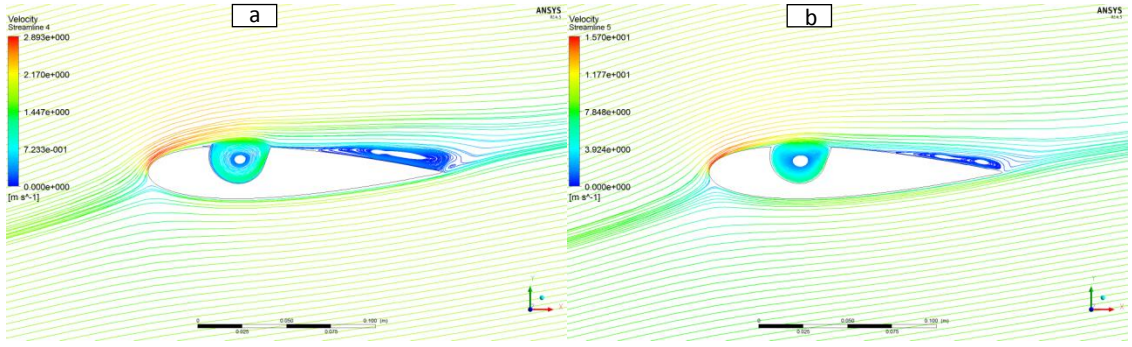
Şekil 4.107 $\alpha=8^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



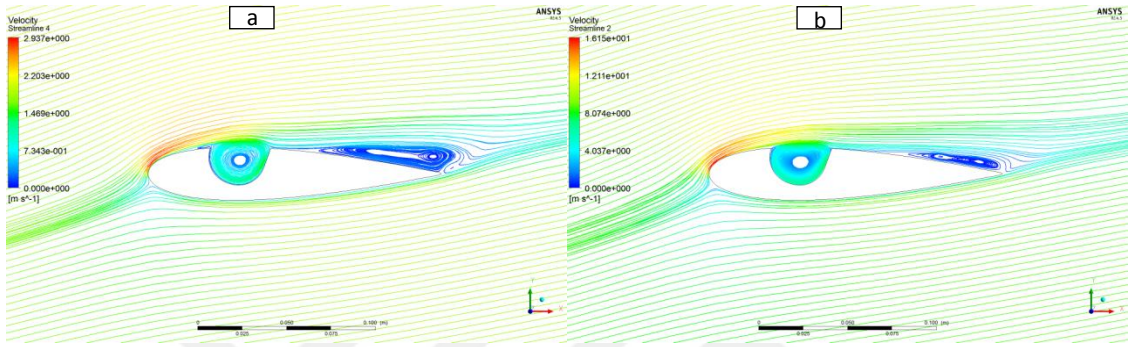
Şekil 4.108 $\alpha=9^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



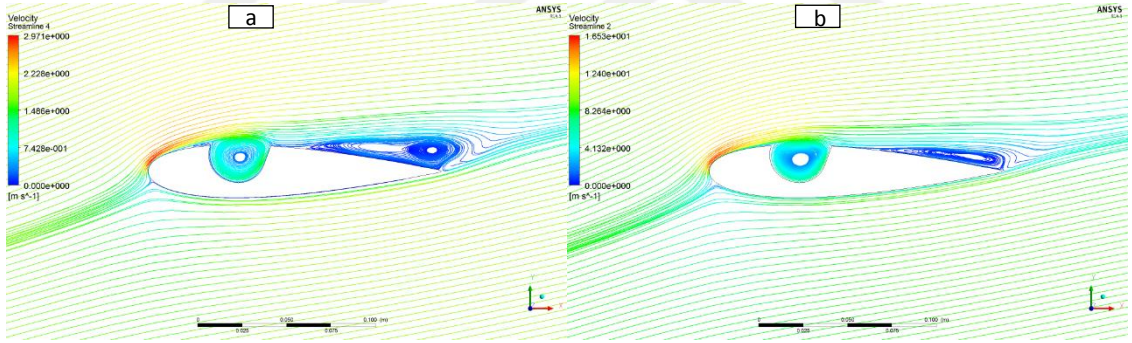
Şekil 4.109 $\alpha=10^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



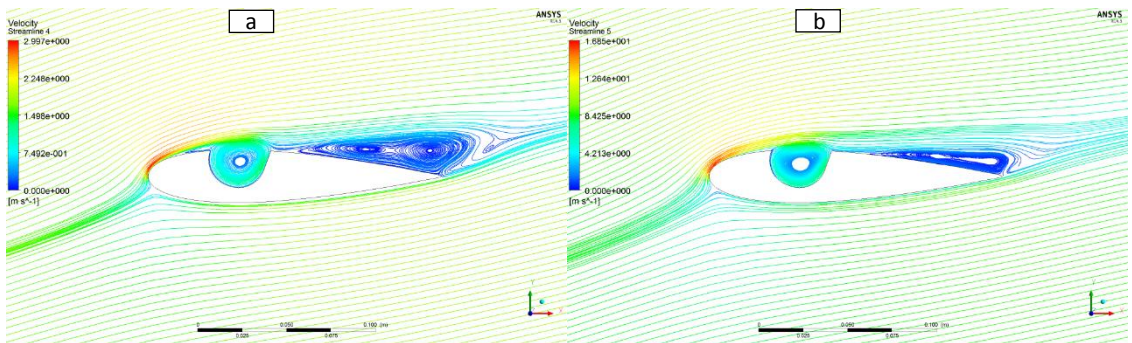
Şekil 4.110 $\alpha=11^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



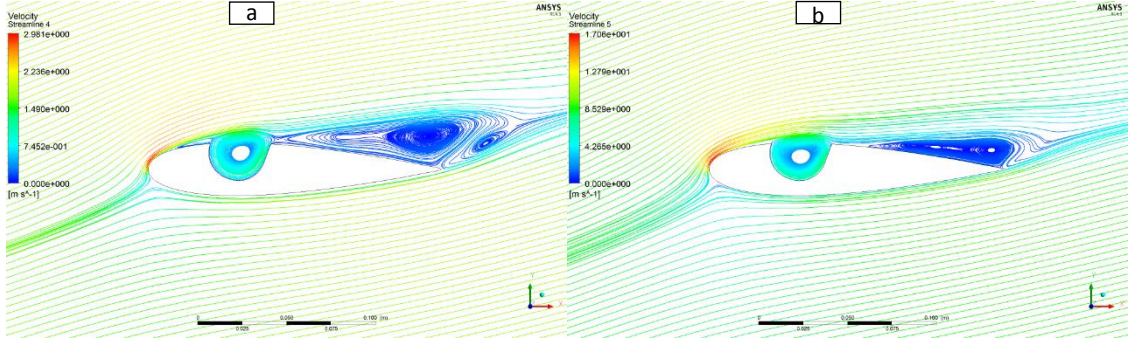
Şekil 4.111 $\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



Şekil 4.112 $\alpha=13^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



Şekil 4.113 $\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



Şekil 4.114 $\alpha=15^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$

4.5.2.1. C_L , C_D ve C_L/C_D Sonuçları

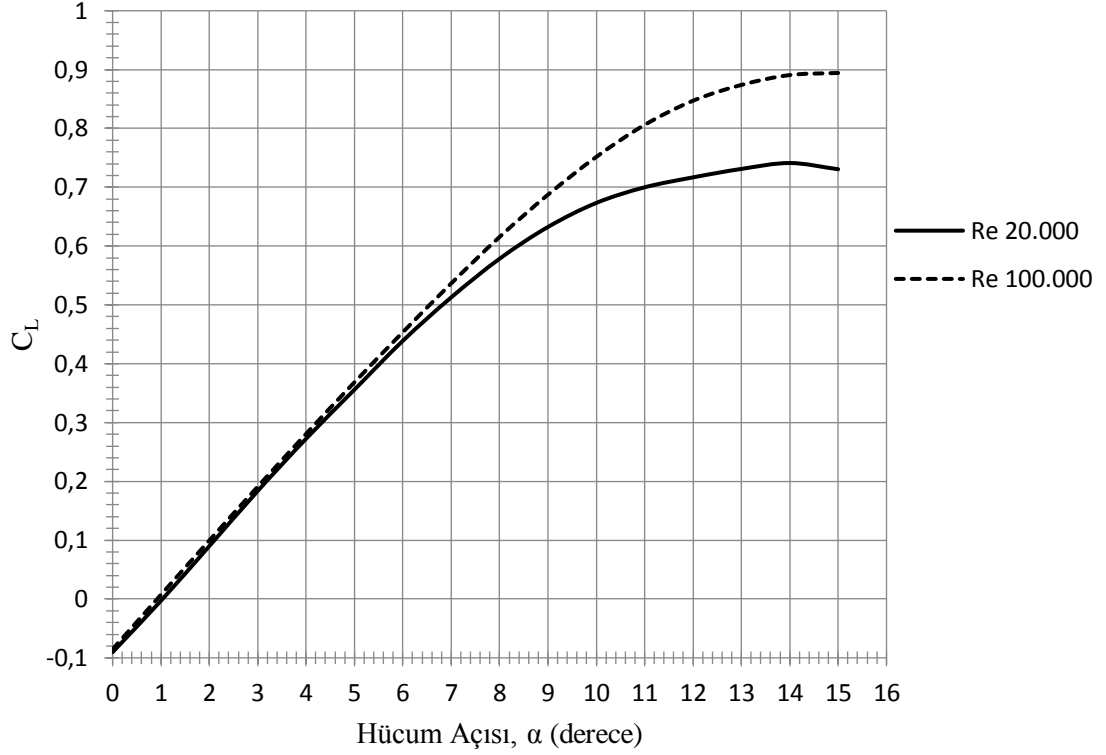
$Re=20.000$ ve $Re=100.000$ için elde edilen C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısına bağlı olarak değişimleri sırasıyla Şekil 4.115, Şekil 4.116 ve Şekil 4.117’de sunulmuştur. Ayrıca Çizelge 4.5’de ilgili C_L , C_D ve C_L/C_D değerleri sunulmuştur.

Çizelge 4.5 C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısı, α ile değişimi

Hücum Açısı($^\circ$)	Boşluklu NACA 0018 Re=20.000		Boşluklu NACA 0018 Re=100.000	
	C_L	C_D	C_L	C_D
	0	-0.09034	0.060654	-0.08529
1	-0.0029	0.061613	0.00731	0.048249
2	0.09	0.063315	0.099615	0.049831
3	0.1837	0.065746	0.19101	0.051947
4	0.27248	0.068916	0.28074	0.054626
5	0.35593	0.072836	0.36846	0.057935
6	0.43893	0.077571	0.45354	0.061926
7	0.51275	0.083099	0.53646	0.066501
8	0.57841	0.089323	0.61546	0.07195
9	0.63243	0.096151	0.68719	0.078157
10	0.67332	0.10363	0.75154	0.085189
11	0.69991	0.11172	0.80601	0.092935
12	0.71677	0.12096	0.84703	0.10141
13	0.73114	0.13196	0.87388	0.11066
14	0.74114	0.14338	0.89066	0.12068

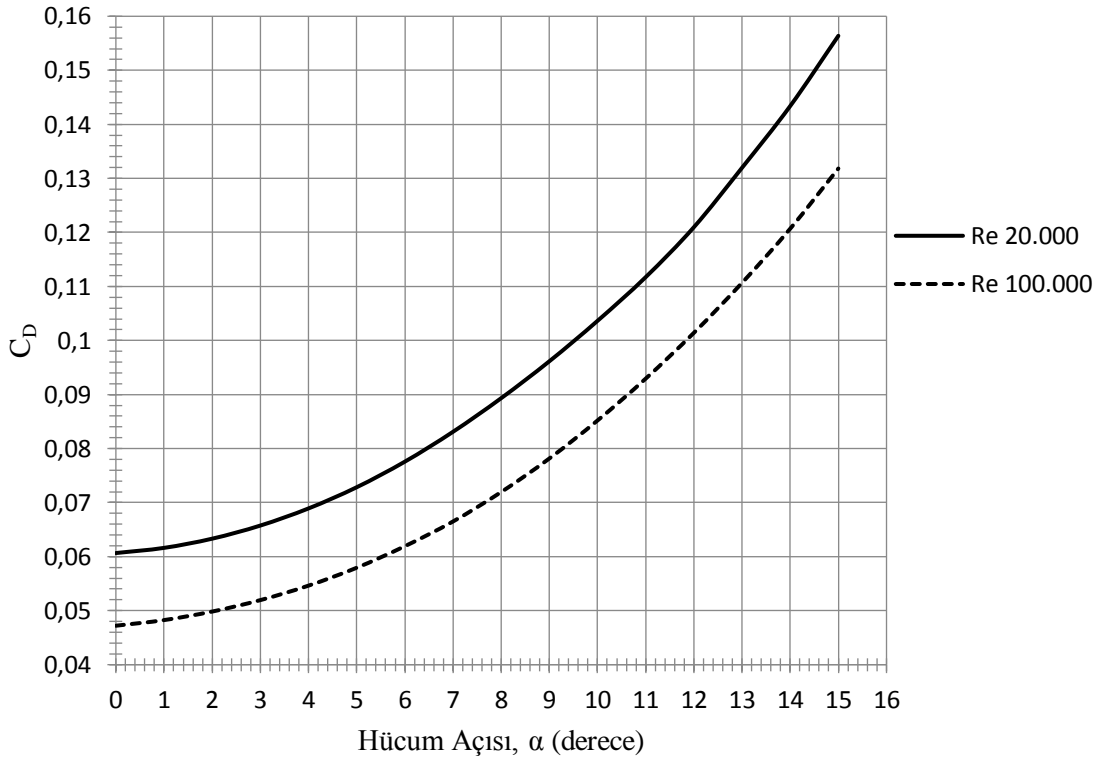
15	0.73059	0.15638	0.89426	0.13182
	C_L/C_D		C_L/C_D	
0	-1.48946		-1.80681	
1	-0.04707		0.151506	
2	1.421464		1.999057	
3	2.794086		3.677017	
4	3.953799		5.139311	
5	4.886732		6.359886	
6	5.658429		7.323903	
7	6.170351		8.066946	
8	6.475488		8.553996	
9	6.577467		8.792431	
10	6.497346		8.822031	
11	6.264859		8.672836	
12	5.925678		8.352529	
13	5.540618		7.896982	
14	5.169061		7.380345	
15	4.671889		6.783948	

Şekil 4.115'deki boşluklu NACA 0018 modeli için C_L -Hücum Açısı grafiğine bakıldığında, $Re=20.000$ ve $Re=100.000$ 'de $\alpha=7^\circ$ hücum açısına kadar C_L değerlerinin aynı olduğu görülmüştür. $Re=20.000$ 'de tutunma kaybı $\alpha=14^\circ$ hücum açısında oluşurken, $Re=100.000$ 'de tutunma kaybı $\alpha=15^\circ$ hücum açısında meydana gelmiştir.

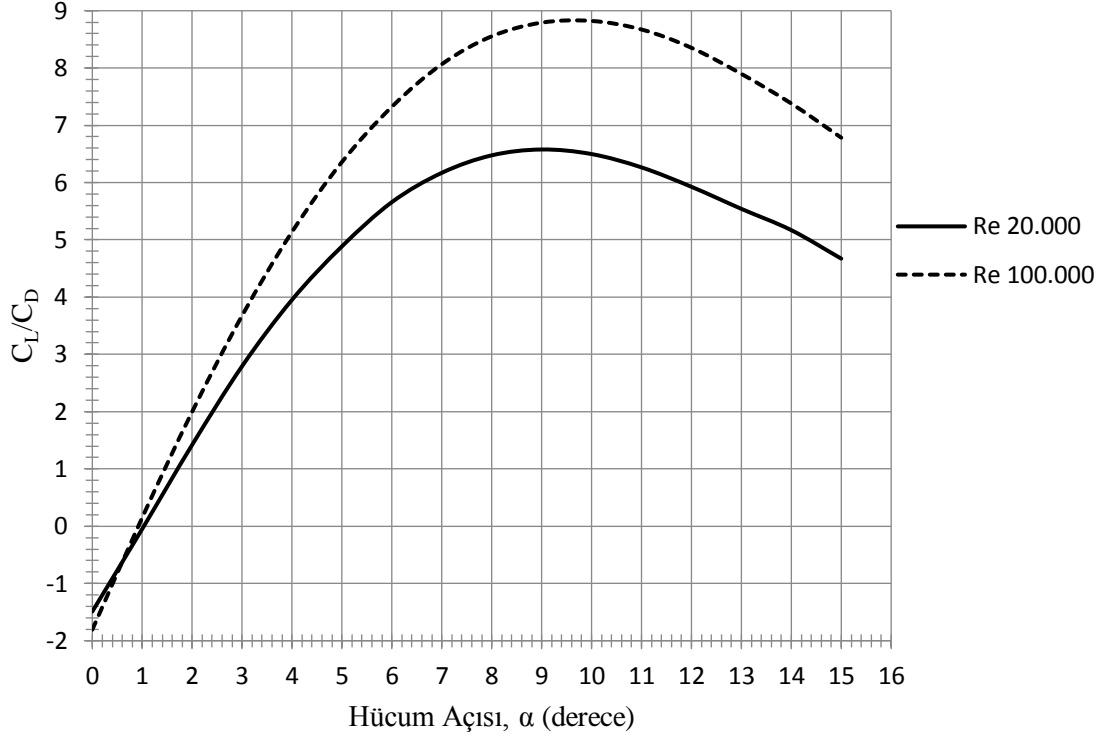


Şekil 4.115 Boşluklu NACA 0018 için C_L değerinin hücum açısı, α ile değişimi

C_D ve C_L/C_D ise Re sayısına bağlı olarak orantılı şekilde değişmektedir.



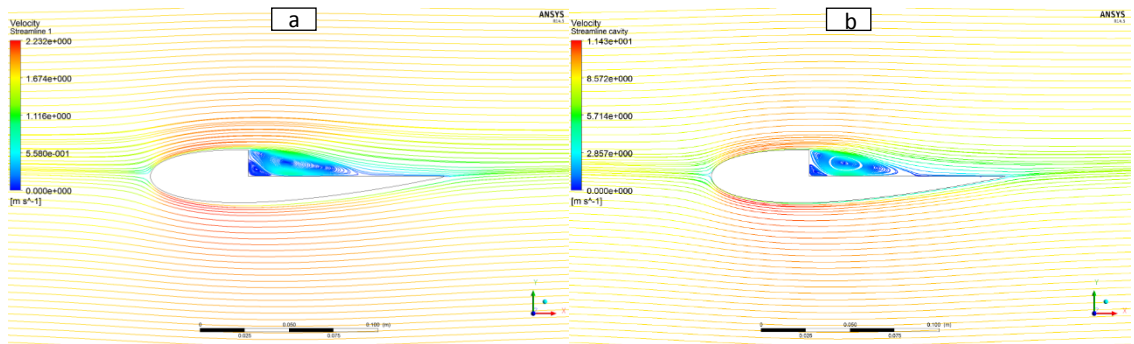
Şekil 4.116 Boşluklu NACA 0018 için C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi



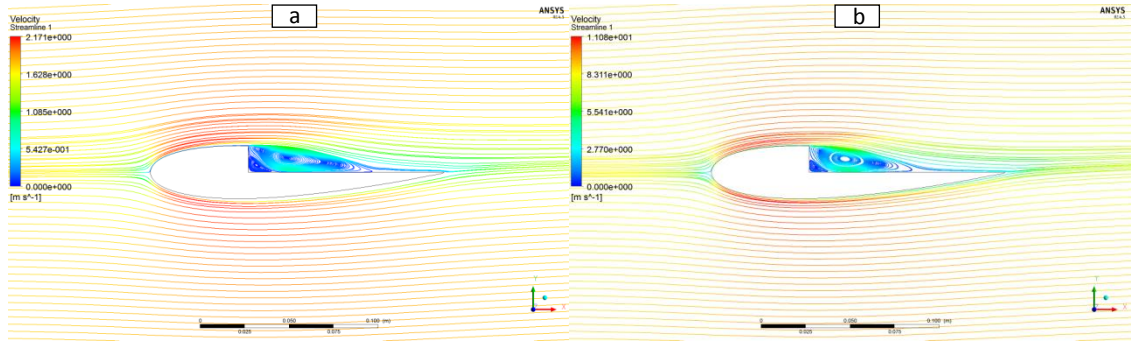
Şekil 4.117 Boşluklu NACA 0018 için C_L/C_D değerinin hücum açısı ile değişimi

4.5.3. Basamaklı NACA 0018 Modeli Akım Çizgileri

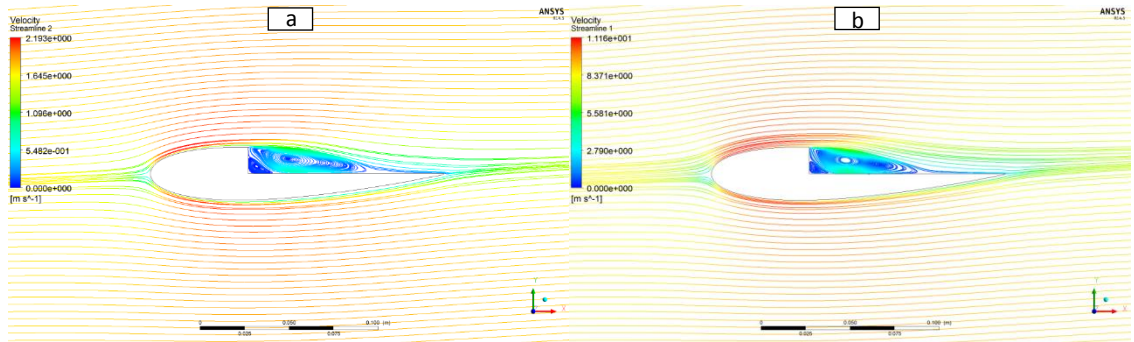
Aşağıda Şekil 4.118-4.133’de $Re=20.000$ ve $Re=100.000$ için basamaklı NACA 0018 modeline ait akım çizgileri sunulmuştur. $Re=20.000$ ’de basamaklı NACA 0018 modelinde akış ayrılmasının $\alpha=6^\circ$, $Re=100.000$ ’de ise $\alpha=9^\circ$ ’lik hücum açısında olduğu görülmüştür.



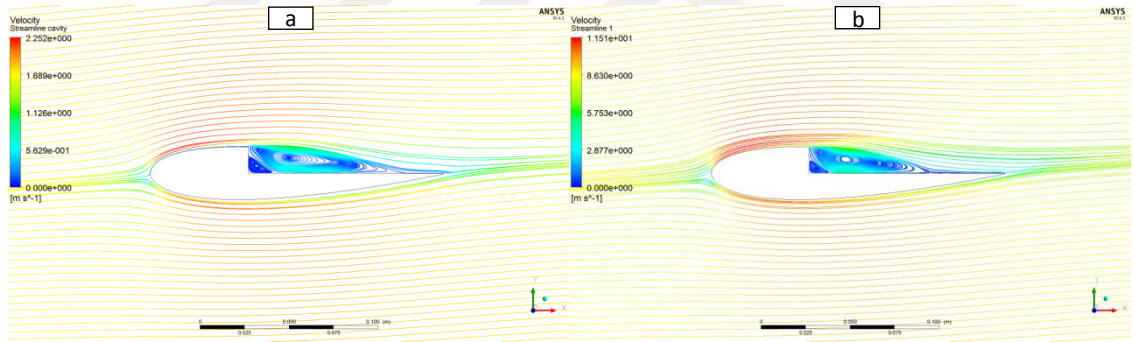
Şekil 4.118 $\alpha=0^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



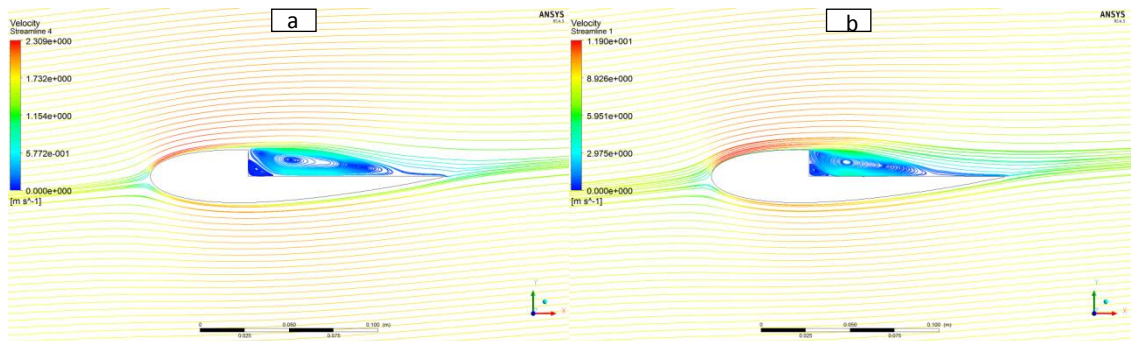
Şekil 4.119 $\alpha=1^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



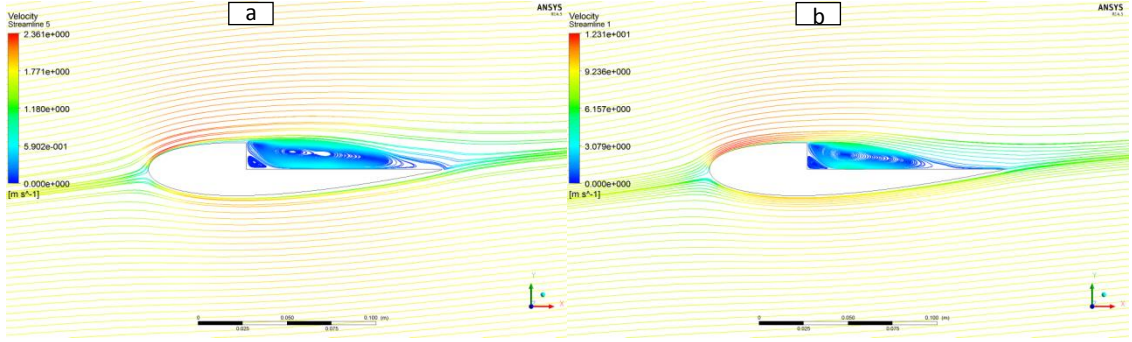
Şekil 4.120 $\alpha=2^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



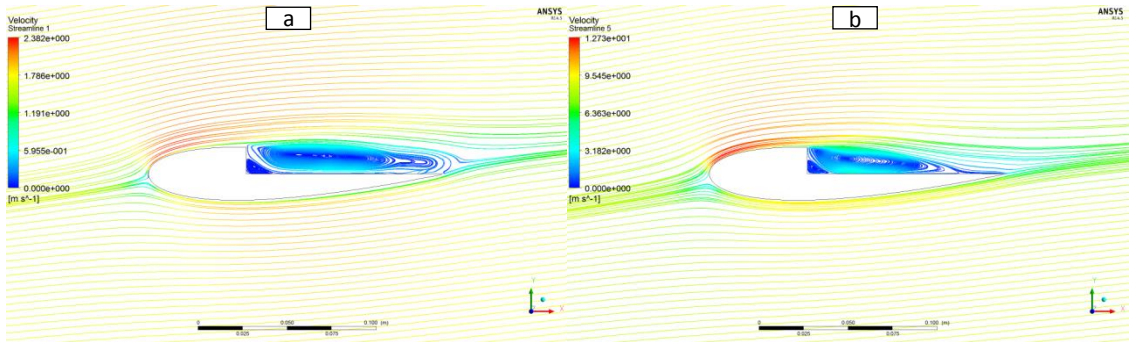
Şekil 4.121 $\alpha=3^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



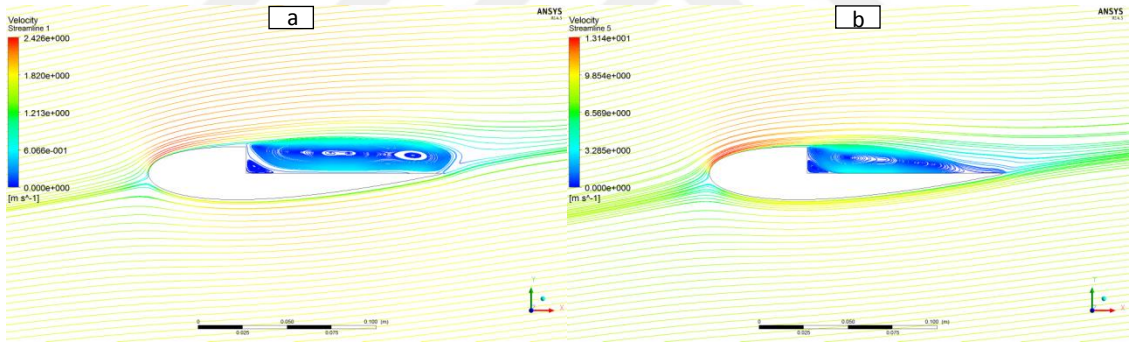
Şekil 4.122 $\alpha=4^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



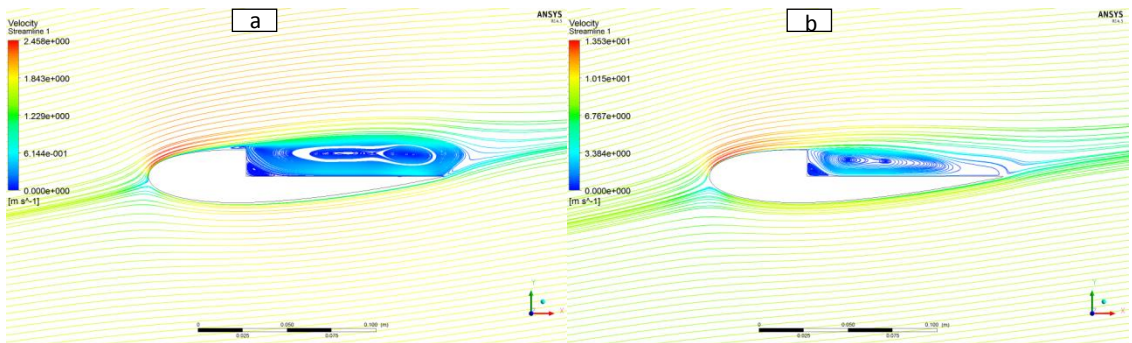
Şekil 4.123 $\alpha=5^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



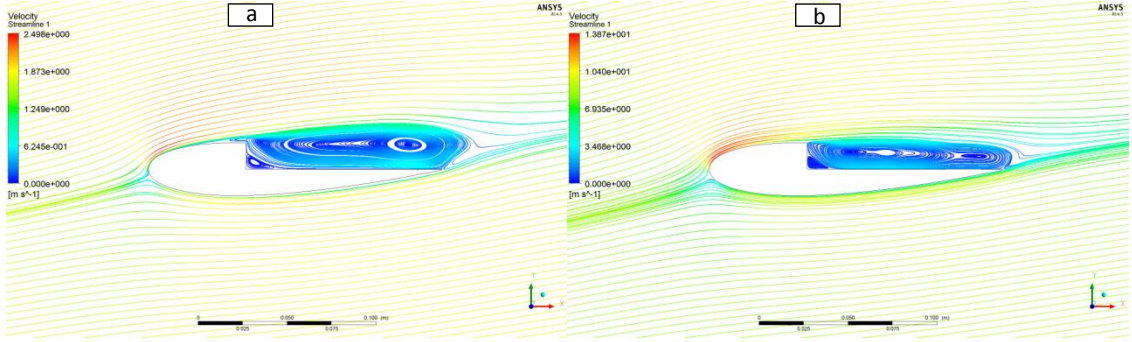
Şekil 4.124 $\alpha=6^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



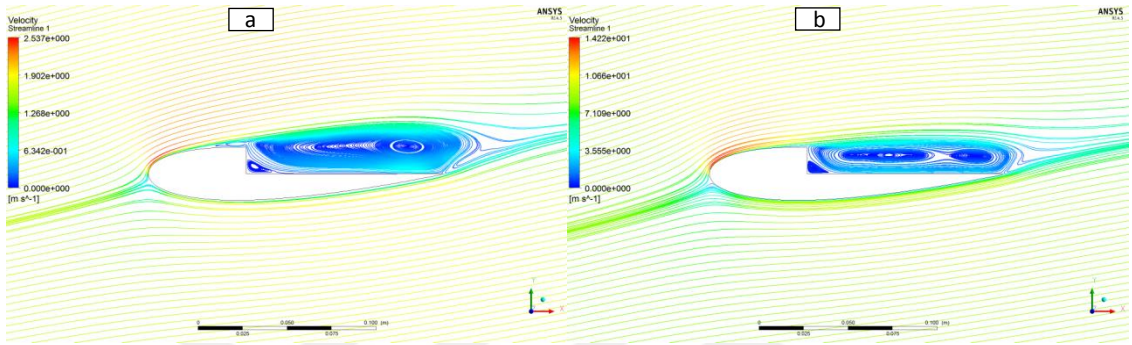
Şekil 4.125 $\alpha=7^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



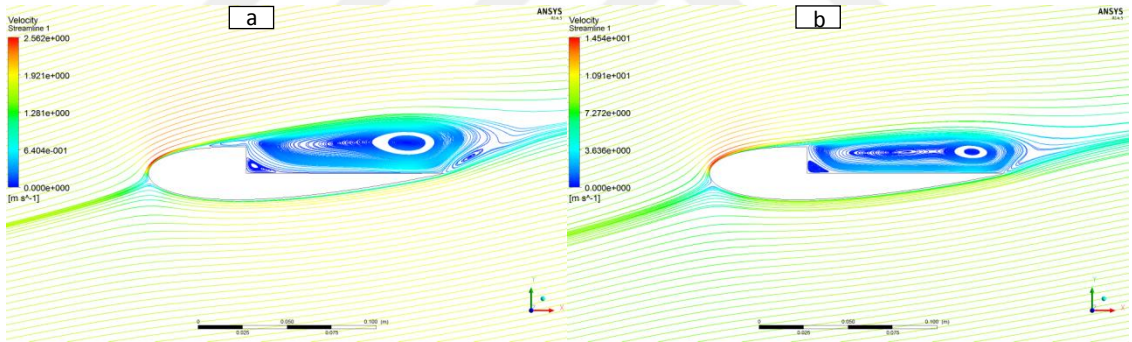
Şekil 4.126 $\alpha=8^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



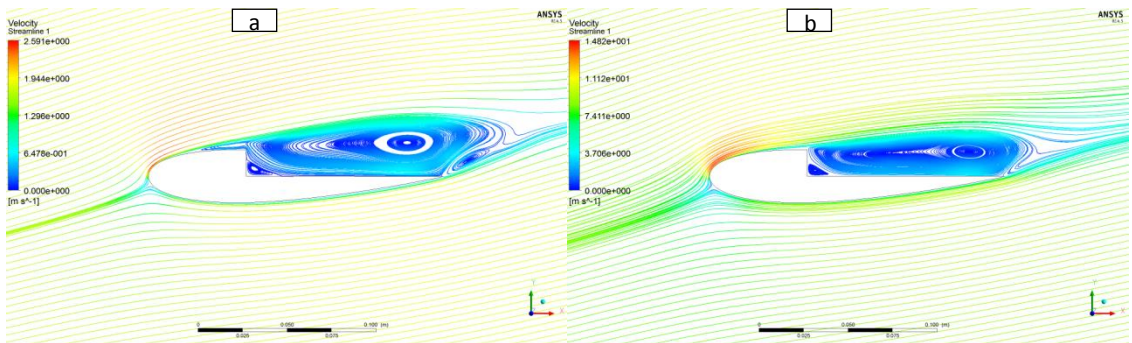
Şekil 4.127 $\alpha=9^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



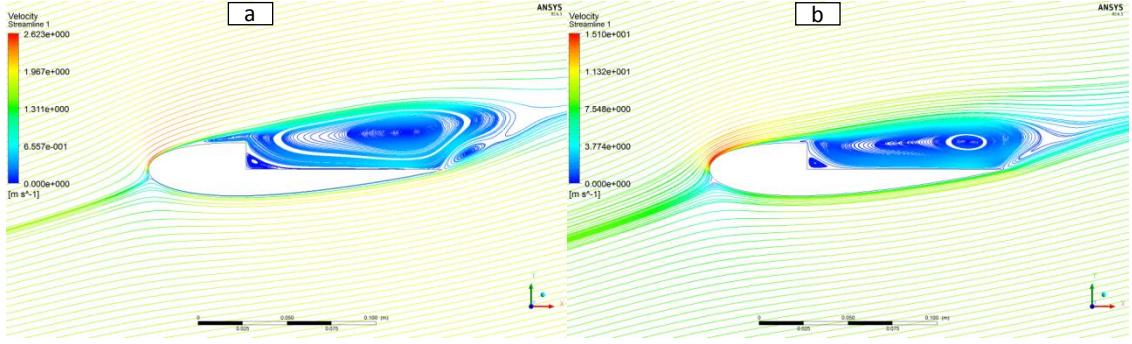
Şekil 4.128 $\alpha=10^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



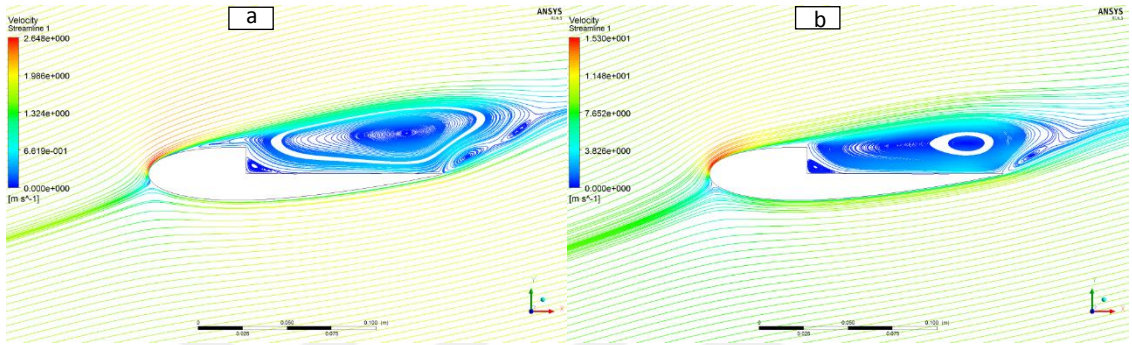
Şekil 4.129 $\alpha=11^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



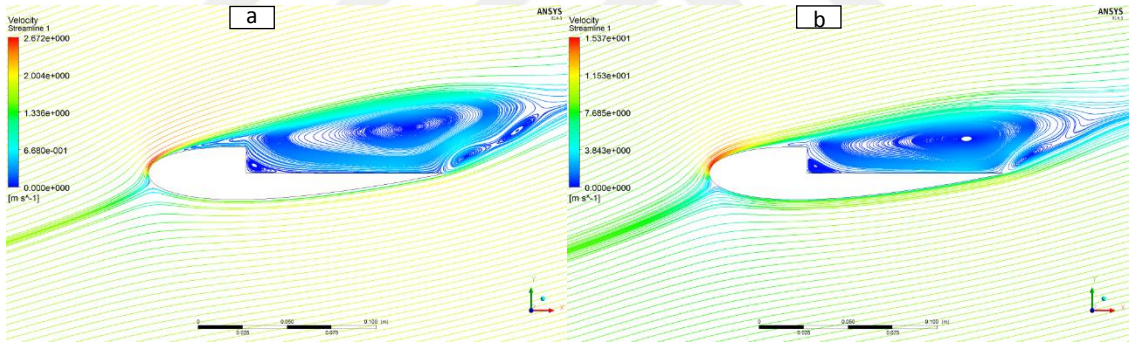
Şekil 4.130 $\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



Şekil 4.131 $\alpha=13^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



Şekil 4.132 $\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$



Şekil 4.133 $\alpha=15^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) $Re=20.000$, (b) $Re=100.000$

4.5.3.1. C_L , C_D ve C_L/C_D Sonuçları

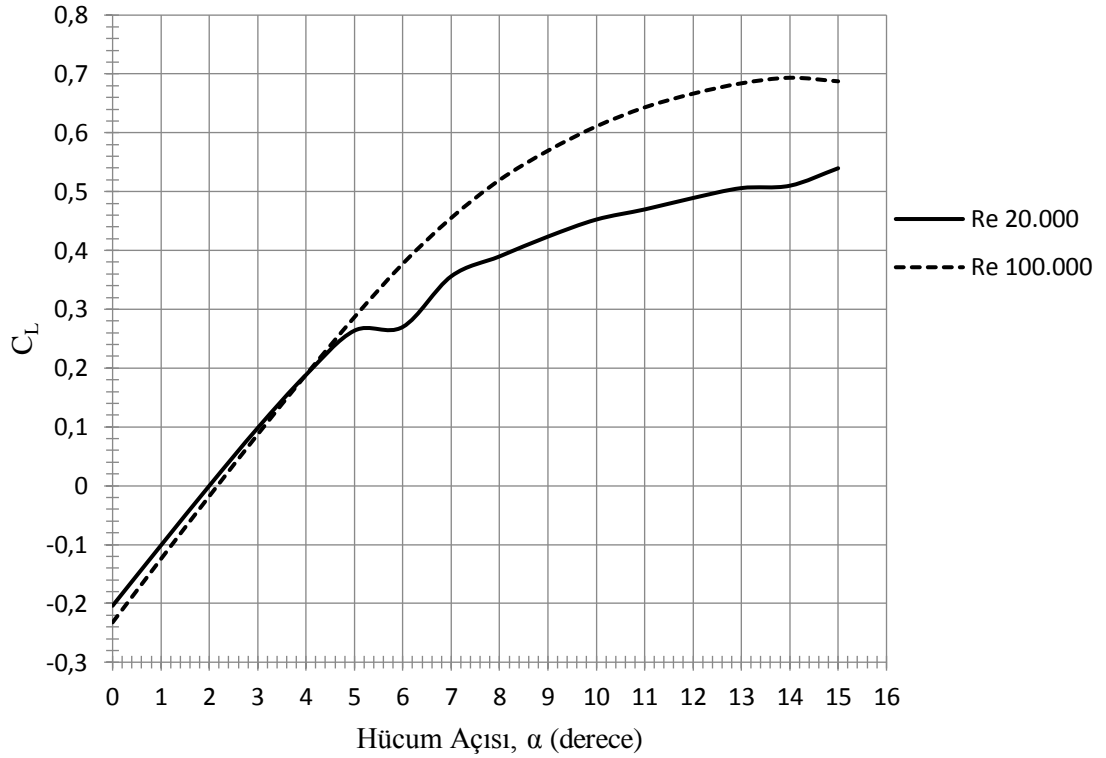
$Re=20.000$ ve $Re=100.000$ için elde edilen C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısına bağlı olarak değişimleri sırasıyla Şekil 4.134, Şekil 4.135 ve Şekil 4.136'de sunulmuştur. Ayrıca Çizelge 4.6'de ilgili C_L , C_D ve C_L/C_D değerleri sunulmuştur.

Çizelge 4.6 C_L , C_D ve C_L/C_D değerlerinin hücum açısı, α ile değişimi

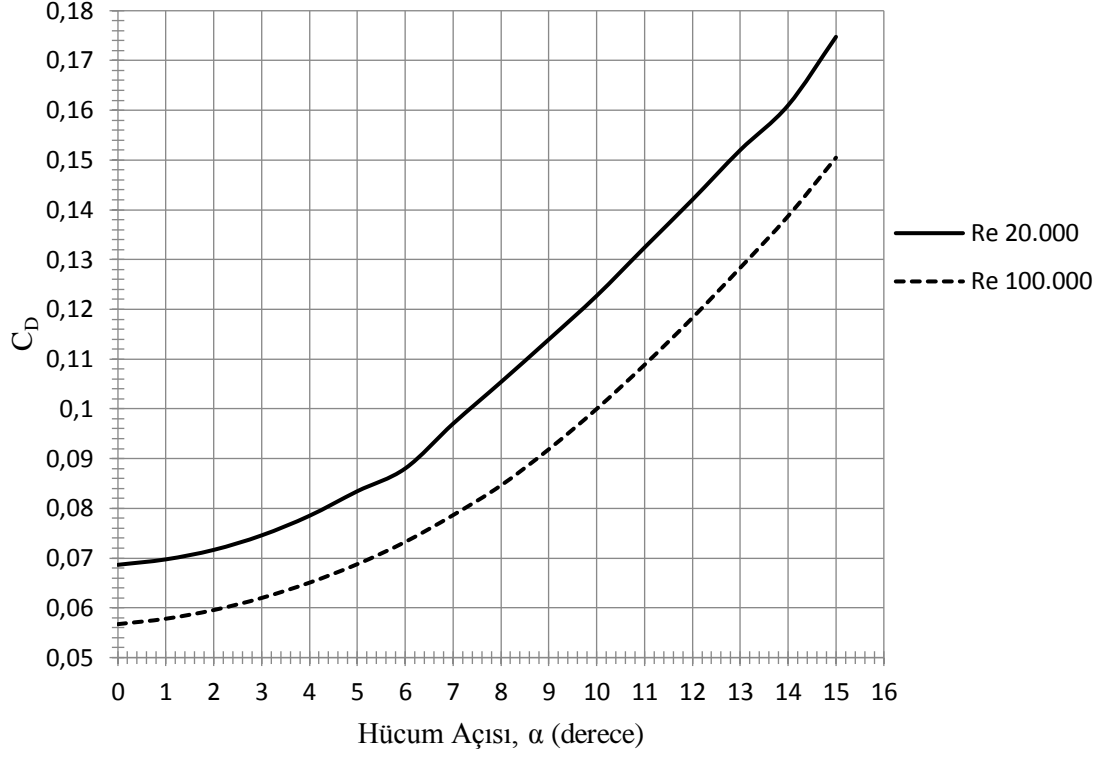
Hücum Açısı(°)	Basamaklı NACA 0018 Re=20.000		Basamaklı NACA 0018 Re=100.000	
	C_L	C_D	C_L	C_D
0	-0.20396	0.068644	-0.23222	0.05672
1	-0.1014	0.06974	-0.1245	0.057807
2	0	0.071645	-0.017637	0.059555
3	0.09821	0.074553	0.087254	0.061976
4	0.18862	0.078495	0.18884	0.065054
5	0.26368	0.083432	0.2866	0.068773
6	0.27	0.088	0.37742	0.073244
7	0.356	0.097	0.4552	0.078623
8	0.38988	0.10536	0.51973	0.084592
9	0.42353	0.11393	0.56947	0.091863
10	0.45248	0.1227	0.61085	0.099968
11	0.46969	0.1324	0.64314	0.10883
12	0.48914	0.14201	0.66651	0.11827
13	0.506	0.152	0.68407	0.12834
14	0.51	0.161	0.69352	0.13872
15	0.5397	0.17475	0.68747	0.15047
	C_L/C_D		C_L/C_D	
0	-2.97127		-4.094147	
1	-1.45397		-2.153718	
2	0		-0.296146	
3	1.317318		1.4078676	
4	2.402956		2.9028192	
5	3.160418		4.1673331	
6	3.068182		5.1529135	
7	3.670103		5.7896544	
8	3.700456		6.1439616	
9	3.717458		6.1991226	
10	3.687694		6.1104553	

11	3.547508	5.9095838
12	3.444405	5.6354951
13	3.328947	5.3301387
14	3.167702	4.9994233
15	3.088412	4.5688177

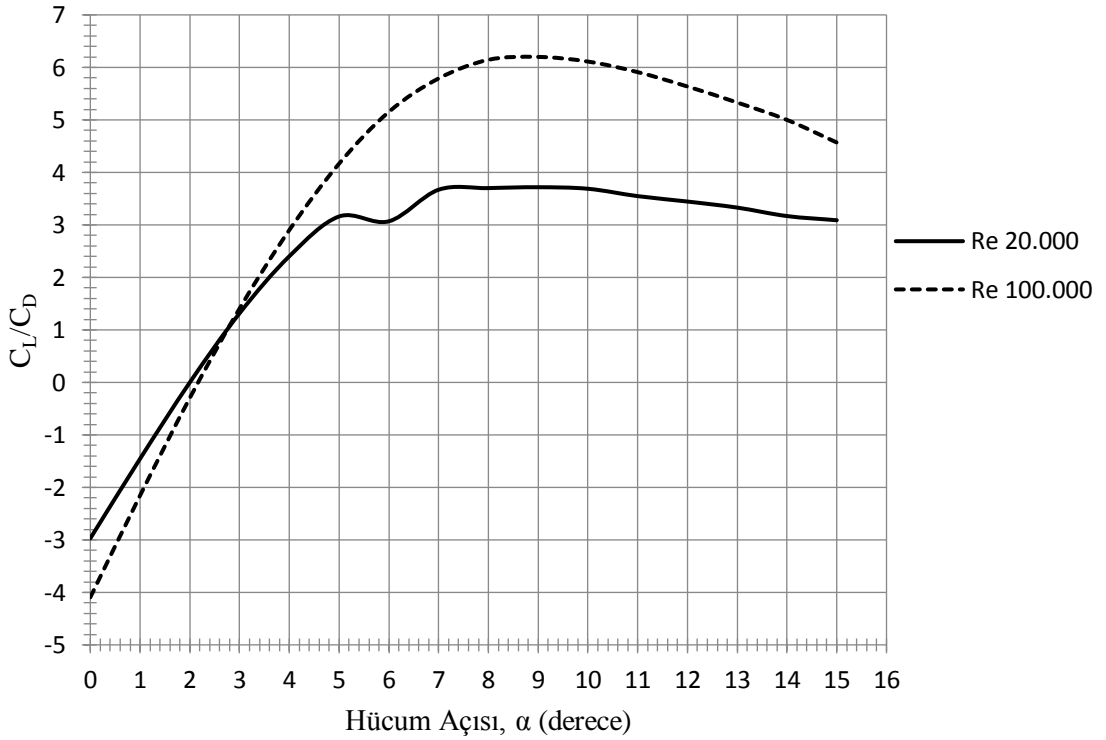
Şekil 4.134'deki basamaklı NACA 0018 modeli için C_L -Hücum Açısı grafiğine bakıldığında, $\alpha=0^\circ-4^\circ$ hücum açısı aralığında Re sayısının değişimi C_L değerlerini etkilemediği, $Re=100.000$ 'de eğrinin kararlı bir şekilde seyredip $\alpha=14^\circ$ hücum açısında tutunma kaybı meydana geldiği fakat $Re=20.000$ 'de eğrinin fiziksel yorumu yapılamayacak şekilde farklı bir yol izlediği bu yüzden de tutunma kaybının hangi değerden sonra başladığı hakkında yorum yapılamamıştır.



Şekil 4.134 Basamaklı NACA 0018 için C_L değerinin hücum açısı, α ile değişimi



Şekil 4.135 Basamaklı NACA 0018 için C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi



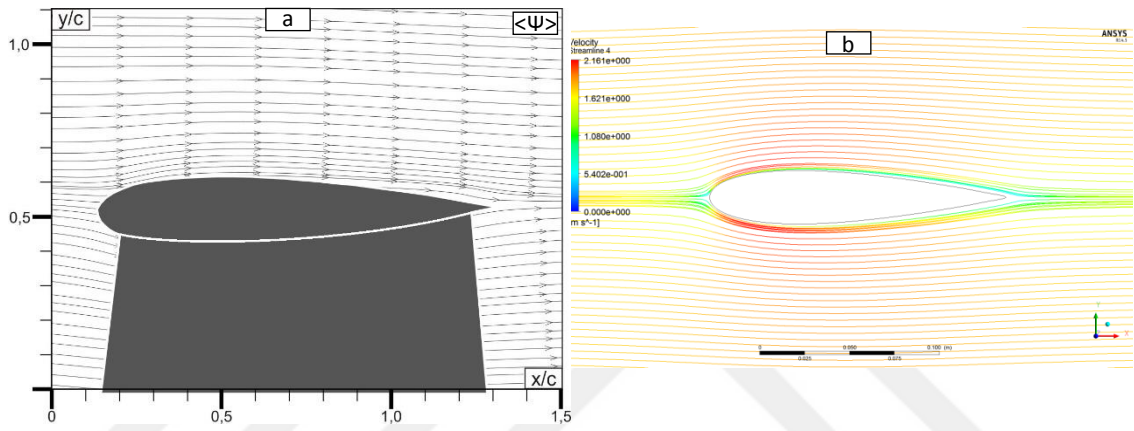
Şekil 4.136 Basamaklı NACA 0018 için C_L/C_D değerinin hücum açısı, α ile değişimi

5.DENEYSSEL VE NÜMERİK ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

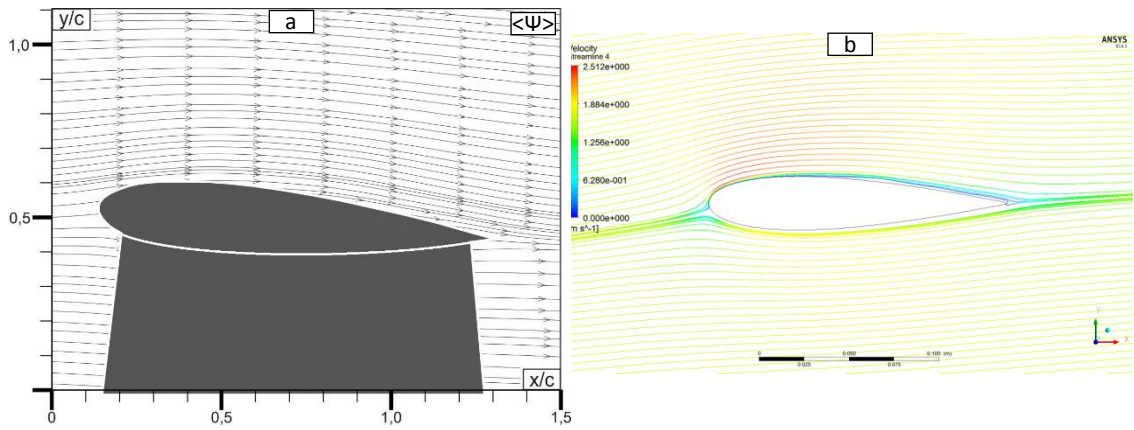
DeneySEL ve nümerik analizlerin ortak sonucu, $Re=20.000$ ve $\alpha=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 14^\circ$ lik hücum açılarında elde edilmiştir. Bu bölümde ortak sonuçların karşılaştırılması sunulmuştur.

5.1.Standart NACA 0018 Modeli

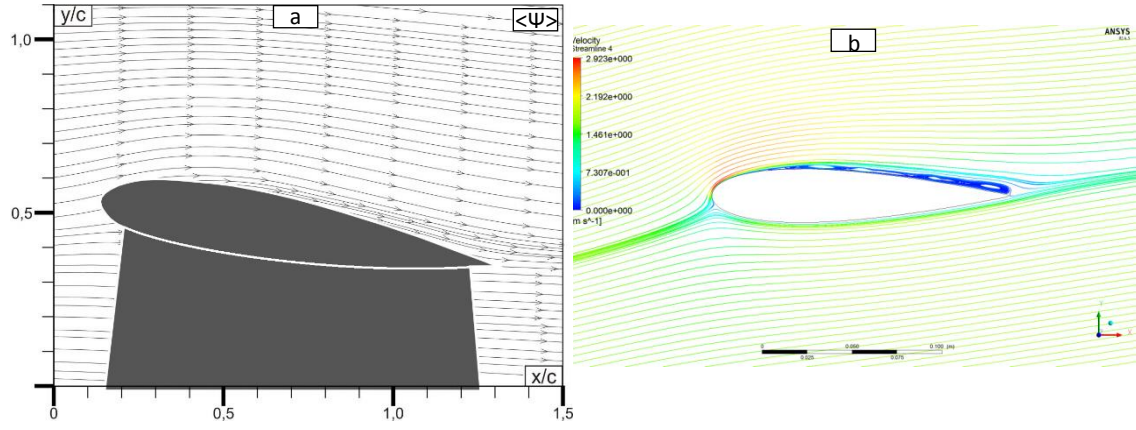
Şekil 5.1-5.5’de standart NACA 0018 modeline ait deneySEL ve nümerik akım çizgileri sunulmuştur.



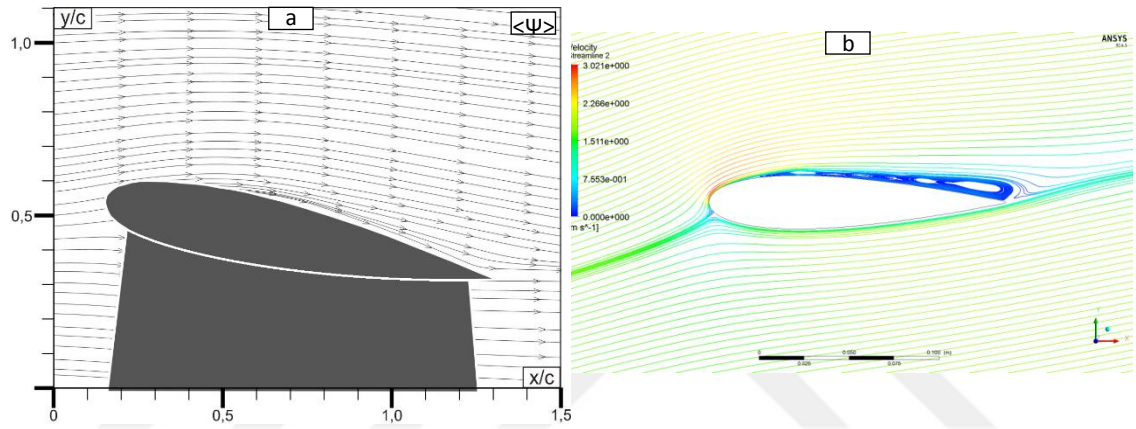
Şekil 5.1 $\alpha=0^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneySEL, (b) nümerik



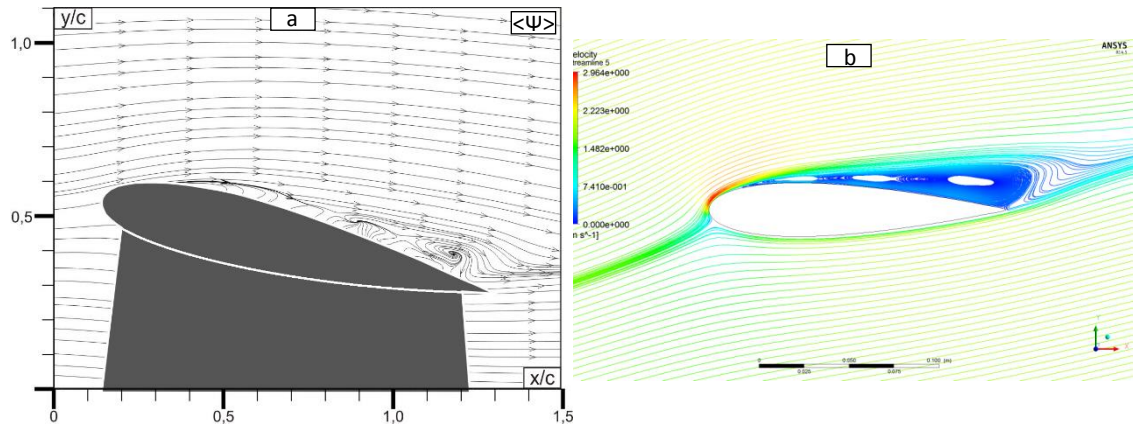
Şekil 5.2 $\alpha=5^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneySEL, (b) nümerik



Şekil 5.3 $\alpha=10^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik



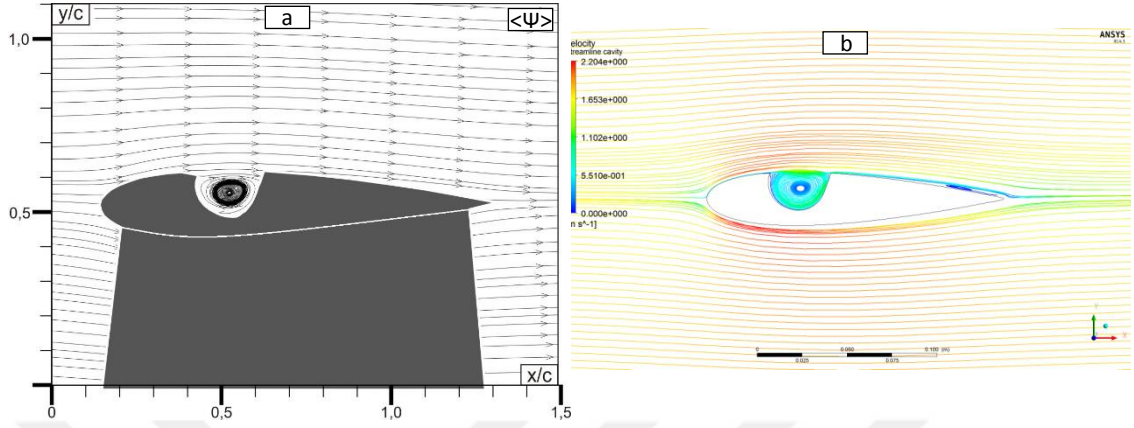
Şekil 5.4 $\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik



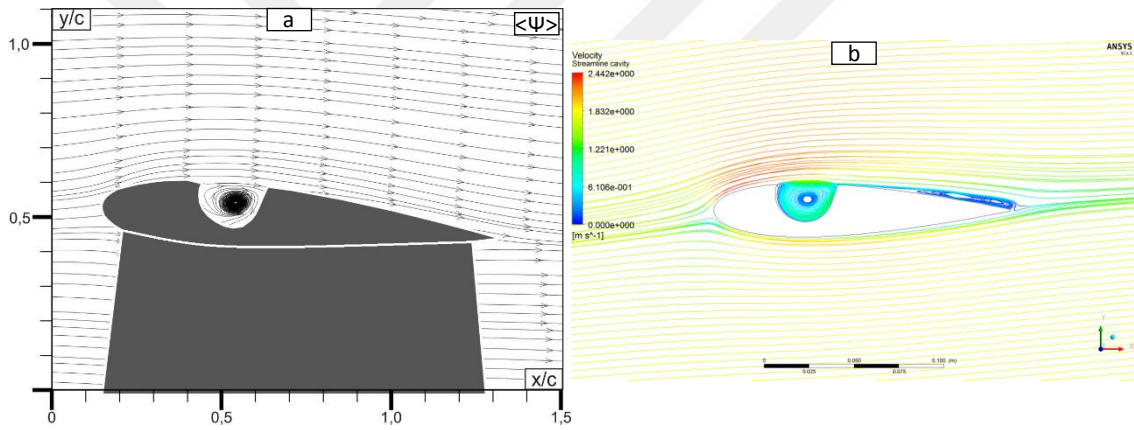
Şekil 5.5 $\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik

5.2.Boşluklu NACA 0018 Modeli

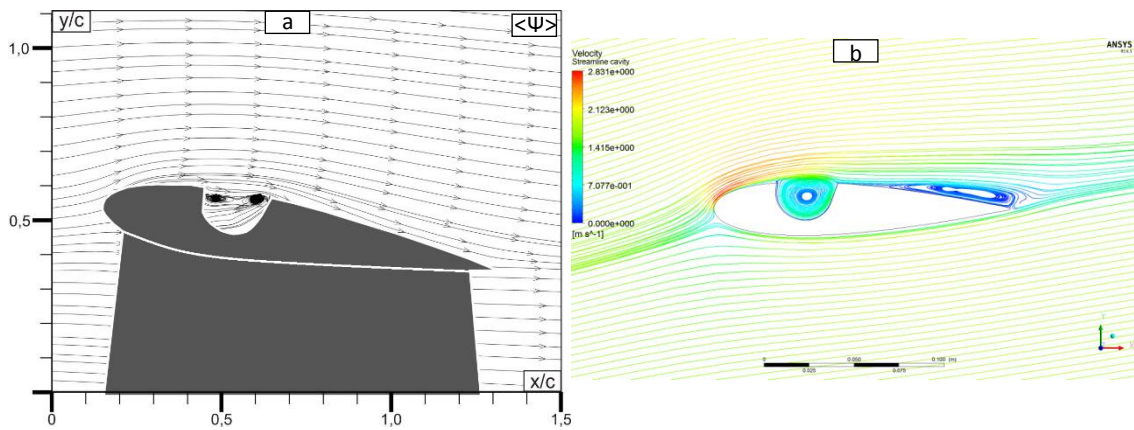
Şekil 5.6-5.10'da boşluklu NACA 0018 modeline ait deneysel ve nümerik akım çizgileri sunulmuştur.



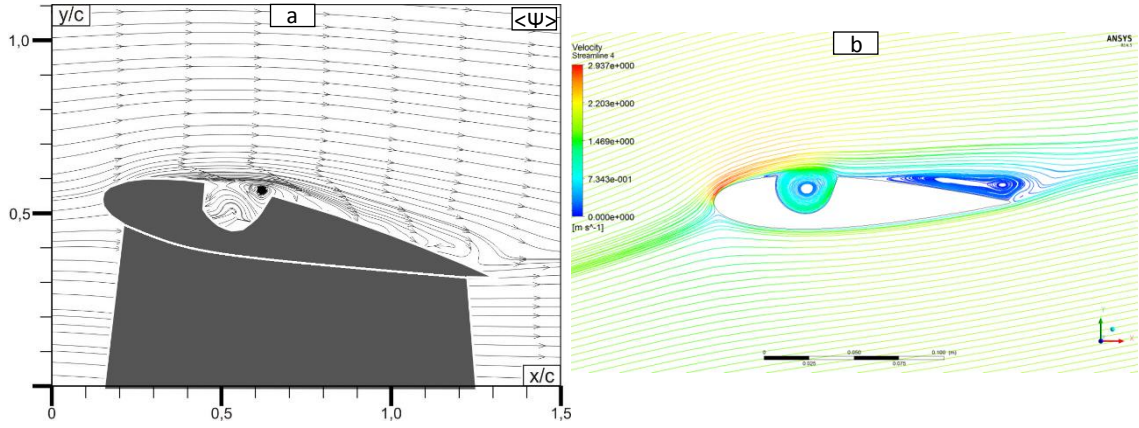
Şekil 5.6 $\alpha=0^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik



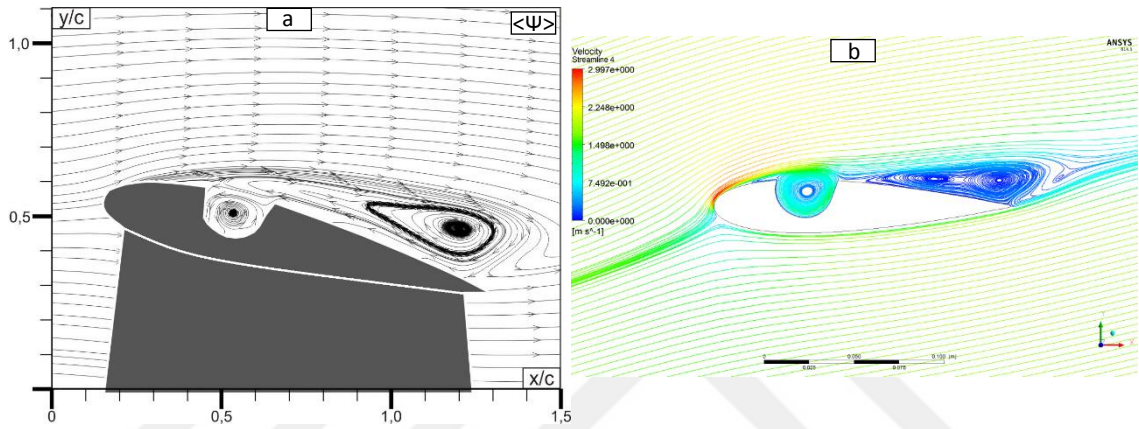
Şekil 5.7 $\alpha=5^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik



Şekil 5.8 $\alpha=10^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik



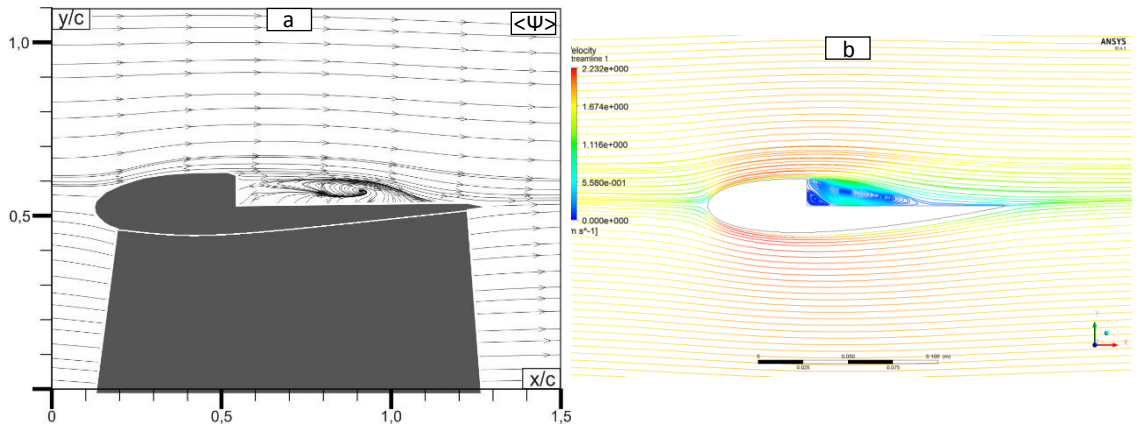
Şekil 5.9 $\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik



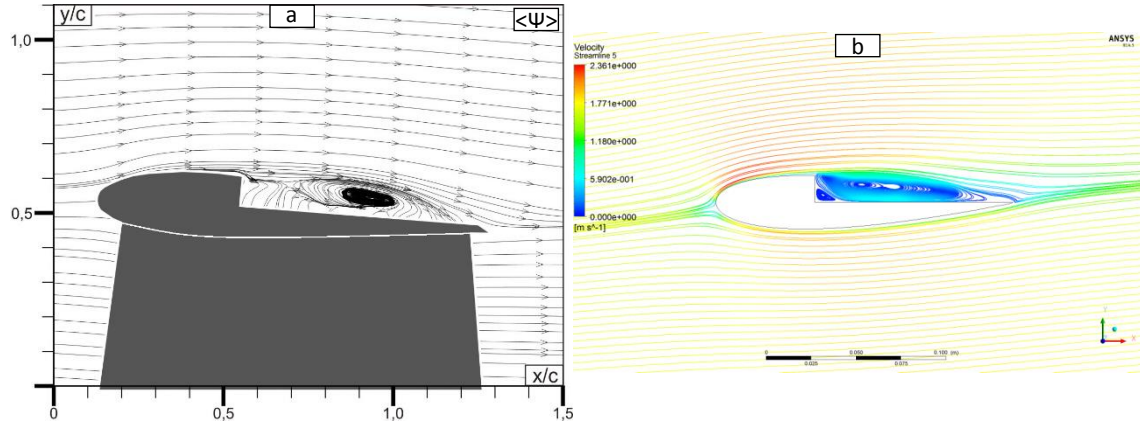
Şekil 5.10 $\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik

5.3.Basamaklı NACA 0018 Modeli

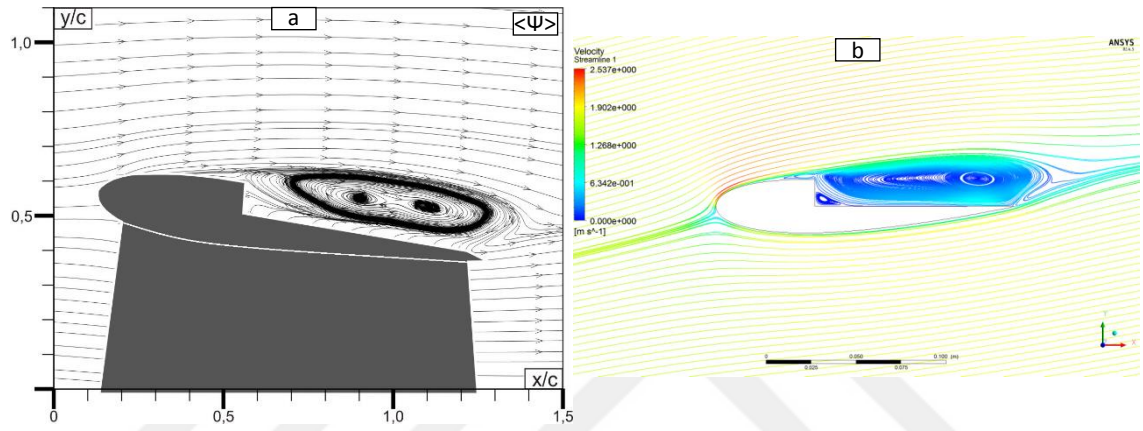
Şekil 5.11-5.15'de basamaklı NACA 0018 modeline ait deneysel ve nümerik akım çizgileri sunulmuştur.



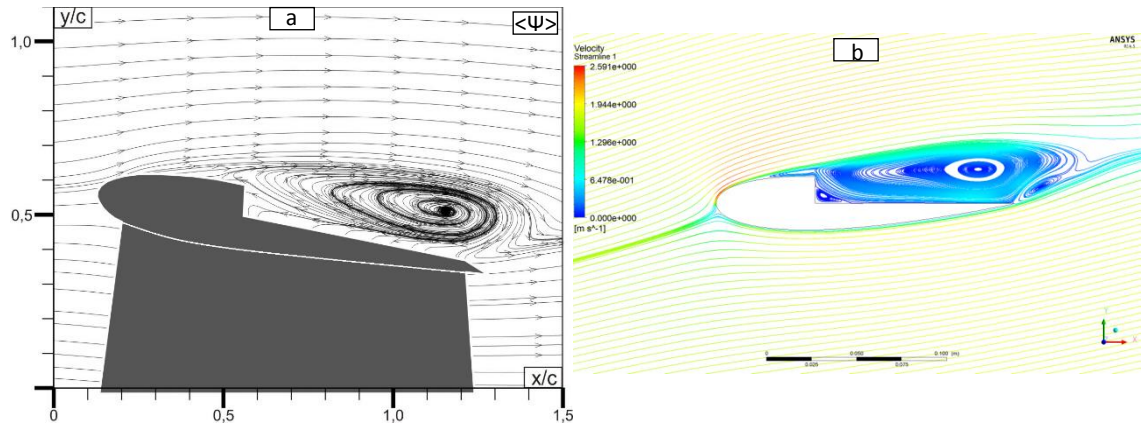
Şekil 5.11 $\alpha=0^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik



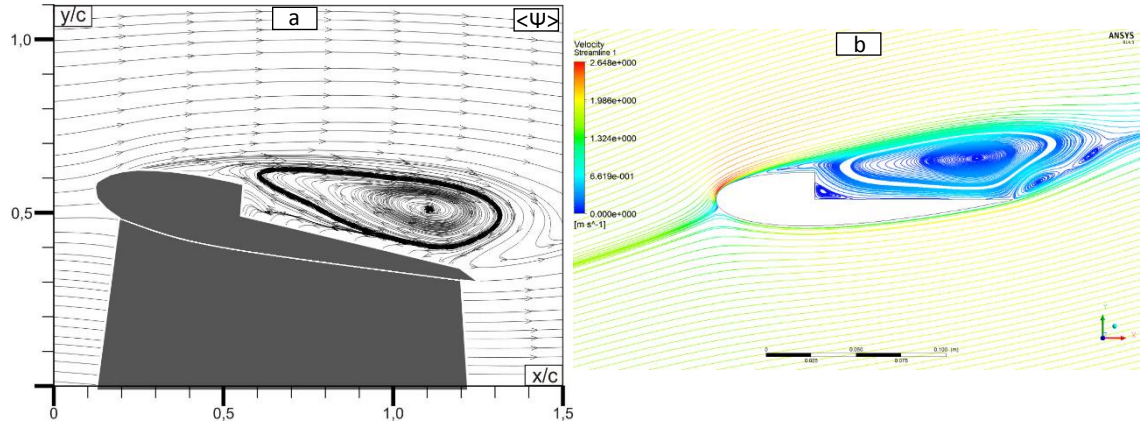
Şekil 5.12 $\alpha=5^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik



Şekil 5.13 $\alpha=10^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik



Şekil 5.14 $\alpha=12^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik



Şekil 5.15 $\alpha=14^\circ$ hücum açısında akım çizgileri, (a) deneysel, (b) nümerik



6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında boşluklu, basamaklı ve standart NACA 0018 kanat modellerinin farklı hücum açıları ve Re sayılarında deneysel ve nümerik analizleri yapılmıştır. Deneysel analizlerin yapılmasında yakın tarihte literatürde sıklıkla tercih edilen yöntemlerden birisi olan PIV tekniği, nümerik analizler için ise uzun yıllardır HAD analizi yapılan bir çok çalışmada tercih edilen ANSYS Fluent yazılımı kullanılmıştır.

Deneysel modellerin akış alanlarına ait zaman ortalama hız vektörleri, akım çizgileri ve girdap eş eğrileri elde edilmiştir. Nümerik çalışmalardan ise zaman ortalama akım çizgileri, basınç konturları ile farklı hücum açılarındaki kaldırma, direnç ve kaldırma/direnç değerleri elde edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlarla nümerik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Deneysel analizler fiziksel sınırlamalar dolayısıyla $Re=20.000$ 'de yapılırken nümerik analizler $Re=20.000$ ve $Re=100.000$ için gerçekleştirilmiştir.

Nümerik analizlerden elde edilen sonuçların doğruluğunun gösterilebilmesi için, hazırlanan modeller ve sayısal ağ yapılarından elde edilen sonuçlar daha önce literatürde Gerakopoulos vd.(2010)'nin yaptığı çalışma ile karşılaştırılmış ve modellerin doğruluğu ispat edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Deneysel sonuçlardan elde edilen akım çizgilerine bakıldığında akış ayrılmasının standart NACA 0018 modelinde $\alpha=12^\circ$, boşluklu modelde $\alpha=10^\circ$, basamaklı modelde ise $\alpha=5^\circ$ 'den sonraki hücum açıları meydana geldiği görülmüştür. Boşluklu ve basamaklı modelde kanat üzerinde oluşan girdapların yanı sıra oyuk ve basamakta da girdaplar oluştuğu, bazı hücum açıları bir den fazla girdap oluştuğu görülmüştür. Düşük hücum açıları boşluklu ve basamaklı modelde boşluk ve basamağın hemen üstünde girdap konturlarının yoğunlaştığı görülmektedir. Yüksek hücum açıları ise tüm modellerde akış ayrılma noktasında girdap konturları yoğunlaşmaktadır.
- $Re=20.000$ için nümerik analiz sonuçlarına bakıldığında akış ayrılmasının standart NACA 0018 modelinde $\alpha=8^\circ$ 'lik hücum açısından sonra başladığı görülmektedir. Boşluklu ve basamaklı modelde özellikle düşük hücum açıları

geometriden kaynaklı oluşan girdapların akış ayrılmasını etkilemediği görülmüştür. Buna göre boşluklu modelde akış ayrılmasının $\alpha=5^\circ$, basamaklı modelde ise $\alpha=6^\circ$ 'lik hücum açısından sonra başladığı görülmüştür. Basamaklı NACA 0018 kanat profilinin zaman ortalama basınç konturlarına bakıldığında başlangıçta diğer kanat profillerinden farklı olarak alt yüzeydeki basıncın üst yüzeyden daha düşük olduğu ve bu basınç farkının $\alpha=2^\circ$ 'lik hücum açısından sonra tersine döndüğü görülmektedir. Bu durum basamaklı NACA 0018 modeline ait C_L -Hücum Açısı grafiğinde ve çizelgelerdeki sayısal ifadelerde açıkça görülmektedir. $\alpha=2^\circ$ 'lik hücum açısına kadar C_L değeri negatif, daha yüksek hücum açılarında ise pozitiftir.

- Re=20.000 için nümerik analiz sonuçlarına bakıldığında akış ayrılması standart NACA 0018 modelinde $\alpha=13^\circ$ 'lik hücum açısında başlarken, boşluklu ve basamaklı NACA 0018 modelinde $\alpha=9^\circ$ 'lik hücum açısından sonra başlamaktadır. Basamaklı modelin basınç konturu görüntüleri incelendiğinde Re=20.000'deki duruma benzer şekilde $\alpha=2^\circ$ 'lik hücum açısından sonra alt yüzeydeki basınç farkının üst yüzeyden fazla olmaya başladığı görülmüştür. Alt ve üst yüzey arasındaki basınç farkı sıralaması Re=100.000'de de değişmemiş ve Re=20.000'deki duruma benzer şekilde olduğu görülmüştür.
- Aynı şartlardaki deneysel ve nümerik analizler karşılaştırıldığında akış yapılarının büyük oranda benzer olduğu görülmüştür. Nümerik analizlerde düşük Re sayısında ve düşük hücum açılarında yüzeye yakın bölgelerde girdaplar görülmektedir. PIV analizlerinde yüzeyler mat siyaha boyanmasına rağmen lazer ışınlarının yüzeye çok yakın bölgelerde parlamaya sebep olduğu görülmektedir. Bu yüzden yüzeye yakın bölgelerdeki küçük ölçekli girdapların deney sonuçlarından elde edilemediği düşünülmektedir.
- Kanat üzerine açılan boşluk ve basamak akış yapısını etkilemiştir. Fakat bu etki, standart kanat profili ile karşılaştırıldığında kaldırma açısından olumlu yönde değildir. Boşluklu modelin, basamaklı modele göre daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür. Bununla birlikte tüm modellerde Re arttıkça kaldırma performansının arttığı, sürüklenmenin düştüğü görülmüştür.

Elde edilen bu sonuçların devamında gelecek çalışmalar için yapılan öneriler şunlardır;

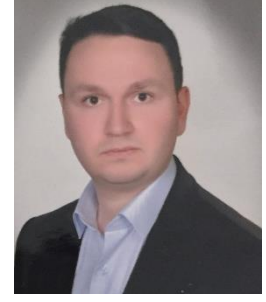
- Re sayısı arttıkça akışın daha düzenli bir forma girdiği görülmüştür. Bu nedenle daha yüksek Re sayısına ulaşabilmeye olanak sağlayan rüzgar tüneline deneyler yapılabilir.
- Nümerik analizlerde farklı türbülans modelleri için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir.
- Analizler üç boyutta yapıp akış yapısı incelenebilir.
- Oyuk yeri ve boyutu değiştirilerek akış yapısında oluşacak farklılıklar çalışılabilir.
- Basamak kesitinin boyutunu azaltarak akış yapısına etkileri incelenebilir.
- Kanat yüzeyi çeşitli malzemelerle kaplanarak bunun akış yapısına etkisini görmek için analizler tekrarlanabilir.
- Bu tezde pasif akış kontrol yöntemi incelenmiştir. Bunun sonucunda akış yapısındaki istenmeyen durumları indirgemek yada ortadan kaldırmak için aktif akış kontrol yöntemleri de modellere entegre edilerek çalışmalar tekrarlanabilir.

KAYNAKLAR

- ANSYS Fluent 12.0** (2009), Theory guide, s. 4-(1-26-27).
- Başkan, Ö.** (2009). Experimental and numerical investigation of flow field around flapping airfoils making figure of eight in hover. *Middle East Technical University Aerospace Engineering* (Yüksek Lisans Tezi), s. 23-24, Ankara.
- Başlamışlı, U., Yücekayalı, A., Ayan, E.** (2014). Gurney flap ile helikopter rotor performansının iyileştirilmesi. *V.Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı. Erciyes Üniversitesi*, 8-10 Eylül 2014, s. 1-7, Kayseri.
- Belamadi, R., Djemili, A., Ilinca, A., and Mdouki, R.** (2016). Aerodynamic performance analysis of slotted airfoils for application to wind turbine blades. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 151, 79–99.
- Cavcar, M.** (2011). Aerodinamik Kuvvetler. *PLT 233 Uçuş Performans – HTK 224 Uçuş Mekaniği ve Uçak Performansı Ders Notları*, s. 1-3, Eskişehir
- Choudhry, A., Arjomandi, M., and Kelso, R.** (2015). A study of long separation bubble on thick airfoils and its consequent effects. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 52, 84–96.
- Doğan, Z.** (2008). Ses altı hızlarda kanat profili etrafında akışın incelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksel Lisans Tezi), s. 14-33, Kayseri.
- Ekinci, M.A.** (2005). Bir kanat profili etrafındaki hız potansiyelinin vortex panel methoduyla çözümü ve bir CFD programıyla karşılaştırılması. *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), s. 7-10, Eskişehir.
- Fouatih, O. M., Medale, M., Imine, O., and Imine, B.** (2016). Design optimization of the aerodynamic passive flow control on NACA 4415 airfoil using vortex generators. *European Journal of Mechanics, B/Fluids* (Vol. 56). Elsevier Masson SAS.
- Genç, M.S., Özışık, G., Kahraman, N.** (2008). Düz flaplı NACA0012 kanat profilinin aerodinamik performansının incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28, 1, 1-8.
- Gerakopoulos, R., Boutilier, M.S., Yarusevych, S.** (2010). Aerodynamic characterization of a NACA0018 airfoil at low Reynolds number. *40th Fluid Dynamics Conference and Exhibit America Institute of Aeronautics and Astronautics*, 28 June-1 July 210, s. 1-13, Chicago.
- Gürlek, C.** (2008). Study of the flow around a bus model. *Çukurova University Department of Mechanical Engineering* (Doktora Tezi), s. 26-40, Adana.
- He, X., Wang, J., Yang, M., Ma, D., Yan, C., and Liu, P.** (2016). Numerical simulation of Gurney flap on SFYT15thick airfoil. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 6(6), 286–292.
- Hoogedoorn, E., Jacobs, G. B., and Beyene, A.** (2010). Aero-elastic behavior of a flexible blade for wind turbine application: A 2D computational study. *Energy*, 35(2), 778–785.
- Hucho, W. H.** (1998). Aerodynamics of road vehicles. *SAE Publishing*, Warrendale, PA.

- Luo, D., Huang, D., and Sun, X.** (2017). Passive flow control of a stalled airfoil using a microcylinder. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 170(August), 256–273.
- Mercer, C.R.** (2003). Optical metrology for fluids, combustion and solids. *Kluwer Academic Publishers*, USA.
- Osch, M.V.** (2008). Dynamics of a 2D aircraft wing with cavity test of a new experimental method. *Eindhoven University of Technology Department of Mechanical Engineering (Doktora Tezi)*, s.iii, Eindhoven.
- Öztürk, A., Çoban, M.** (2014). Bir kanat profili üzerindeki girdap tuzağının akış yapısı üzerine etkisinin deneysel incelenmesi. *V. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Erciyes Üniversitesi*, 8-10 Eylül 2014, s. 1-14, Kayseri.
- Pantula, S.R.** (2008). Modeling fluid structure interaction over a flexible fin attached to a NACA0012 airfoil. *Western Michigan University Department of Mechanical and Aeronautical Engineering (Doktora Tezi)*, s. 138-156, Michigan.
- Raffel, M., Willert, E.C., Kompenhans, J.** (1998). Particle image velocimetry. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, New York.
- Sreejith, B. K., and Sathyabhama, A.** (2018). Numerical study on effect of boundary layer trips on aerodynamic performance of E216 airfoil. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(1), 77–88.
- Temel, Ü.N.** (2013). Yan yana taşıt geçişi durumlarındaki etkileşimlerin meydana getirdiği akış yapılarının incelenmesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü(Doktora Tezi)*, s. 17-26, Sivas.
- Url-1** <<http://jeremyschembri.com/portfolio/mastersthesis/>> . alındığı tarih: 18.09.2018
- Url-2** <https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html> . alındığı tarih: 20.04.2015
- Url-3** <<https://www.dantecdynamics.com/measurement-principles-of-piv>> . alındığı tarih: 01.01.2019
- Voona, R.** (2012). Enhancing the aerodynamic performance of stepped airfoils. *Missouri University of Science and Technology (Yüksek Lisans Tezi)*, s. 11-19
- Zhang, Q.** (2005). Aerodynamic performance of transonic and subsonic airfoils: effects of surface roughness, turbulence intensity, mach number, and streamline curvature-airfoil shape. *The University of Utah Department of Mechanical Engineering (Doktora Tezi)*, s. 36-38
- Zhou, Y.** (2011). Development of the spectral difference method and application in the numerical investigation of the seperated and transitional flows over a low-Reynolds number airfoil. *Iowa State University (Doktora Tezi)*, s. 108-123, Iowa.
- Wang, J., Zhang, C., Wu, Z., Wharton, J., and Ren, L.** (2017). Numerical study on reduction of aerodynamic noise around an airfoil with biomimetic structures. *Journal of Sound and Vibration*, 394, 46–58.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Mehmet Çoban
Doğum Yeri ve Tarihi	İstanbul, 24.07.1991
Medeni Hal	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Yenibosna Merkez Mah. Metinbey Sok. No:44 D:6 Bahçelievler/İstanbul
E-posta Adresi	cobanmehmett@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Çobançeşme Lisesi, 2009
Lisans	Bozok Üniversitesi, 2013

İş Tecrübesi

Sicim-Yüksel-Akkord A.O.(TANAP Projesi Lot-2)	2015-2016
Sermak Kilit ve Dış Ticaret Ltd.Şti	2018-devam etmekte

Bildiriler

Ulusal

Öztük, A., Çoban, M. Bir kanat profili üzerindeki girdap tuzağının akış yapısı üzerine etkisinin deneysel incelenmesi, V. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Kayseri, Türkiye, 2014.