



T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NACA0015 MODEL UÇAK KANADI ETRAFINDAKİ AKIŞIN PLAZMA
AKTÜATÖR İLE AKTİF KONTROLÜNDE SİNYAL MODÜLASYONUNUN
DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADEM ARIF GÜLER

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NACA0015 MODEL UÇAK KANADI ETRAFINDAKİ AKIŞIN PLAZMA
AKTÜATÖR İLE AKTİF KONTROLÜNDE SİNYAL MODÜLASYONUNUN
DENEYSEL İNCELENMESİ

ADEM ARİF GÜLER

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Yahya Erkan AKANSU

Ağustos 2013

Adem Arif GÜLER tarafından **Doç. Dr. Yahya Erkan AKANSU** danışmanlığında hazırlanan “**NACA0015 Model Uçak Kanadı Etrafındaki Akışın Plazma Aktüatör ile Aktif Kontrolünde Sinyal Modülasyonunun Deneysel İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. İlker YILMAZ, Erciyes Üniversitesi



Üye : Doç. Dr. Yahya Erkan AKANSU, Niğde Üniversitesi



Üye : Yrd. Doç. Dr. Fuat KARAKAYA, Niğde Üniversitesi



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../20... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../20... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../ 08 /2013

Doç. Dr. Osman SİVRİKAYA

MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

ADEM ARİF GÜLER

ÖZET

NACA0015 MODEL UÇAK KANADI ETRAFINDAKİ AKIŞIN PLAZMA AKTÜATÖR İLE AKTİF KONTROLÜNDE SİNYAL MODÜLASYONUNUN DENEYSEL İNCELENMESİ

GÜLER, Adem Arif

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Yahya Erkan AKANSU

Ağustos 2013, 51 sayfa

Bu tez çalışmasında, aktif akış kontrol yöntemlerinden biri olan DBD plazma aktüatör NACA0015 model uçak kanadı profiline uygulanarak plazma aktüatör sürüm sinyalinin farklı formlarının akış kontrolü üzerine etkisi incelenmiştir. Deneyle, Reynolds sayısının 10000-80000 aralığında gerçekleştirilmiş olup sinyal modülasyonunun etkisi Reynolds sayısının 36000 değerinde ölçülmüştür. Test modeline etki eden kaldırma kuvveti yük hücresi ile farklı hücum açılarında ölçülerek kaldırma kuvvet katsayıları hesaplanmıştır. Duman-tel yöntemi ile akış görüntülemesi yapılarak model etrafındaki akış yapısı üzerine plazma aktüatörün etkileri ortaya konulmuştur. Plazma aktüatörün performansını etkileyen elektriksel parametreler olan yüksek voltaj ve RF frekansının yanı sıra, artan veya azalan genlik modülasyonuna ait uyarım frekansı, yüzde aktiflik süresi, yüzde aktiflik süresinin sinyal periyodu üzerindeki konumu gibi parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Uygulanan ölçüm aralıklarında sinyal yapılarına göre kaldırma kuvvetinde elde edilen iyileştirmelerin seviyeleri belirlenmiştir. Sinyal modülasyonu daha az enerji harcamasını sağlayarak aynı aktif akış kontrolünün yapılmasının mümkün olabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Sözcükler: Uçak kanadı profili, aktif akış kontrolü, plazma aktüatör, kaldırma kuvveti, sinyal modülasyonu

SUMMARY

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE SIGNAL MODULATION ON THE
ACTIVE CONTROL OF FLOW AROUND NACA0015 AIRFOIL
BY PLASMA ACTUATOR

GÜLER, Adem Arif

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Associate Professor Dr. Yahya Erkan AKANSU

August 2013, 51 pages

In this thesis DBD plasma actuator which is one of the active flow control method, was applied on NACA0015 airfoil. This plasma actuator was investigated on flow control by using different forms of release signals. Experiments were carried out at Reynolds Numbers between 10000 and 80000 and effect of signal modulation at 36000 Reynolds Numbers was particularly measured. Lift force acted on test model was measured with load cell for different angle of attack. Depending on this measurement, drag coefficient was calculated. In this experiment to show effect of plasma actuator, smoke-wire method was used. Parameters which affect the performance of plasma actuator were high voltage, RF frequency, increasing and decreasing amplitude modulation, duty cycle, percent and position of active time on the excitation signal period. At applied measurement ranges according to signal modulation, the levels of improvement obtained from lift force were defined. Signal modulation showed that it was possible to achieve the same performance for flow control by using the less energy.

Keywords: Airfoil, active flow control, plasma actuator, lift force, signal modulation

ÖNSÖZ

Aktif ve pasif akış kontrol yöntemleri mühendislik uygulamalarında karşılaşılan akış kaynaklı problemlerin çözümünde sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışmada aktif yöntemlerden biri olan elektrohidrodinamik (EHD) plazma akış kontrol yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem uzun yıllardan beri biliniyor olmasına karşın, aerodinamik yapıları cisimlerde görülen akış ayrılmasının önlenmesine yönelik çalışmalar son yıllarda daha fazla önem kazanmıştır. Malzeme teknolojisindeki gelişmeler ve farklı plazma üretim yöntemlerinin kullanılması bu yöntemin uygulanabilirlik sınırlarının genişlemesine yol açmakta ve daha etkin akış kontrolünün elde edilmesine yönelik beklentileri arttırmaktadır.

Bu tez çalışması 110M056 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiş olup proje çalışmalarının bir kısmını içermektedir. Bu bağlamda, proje sonuç raporunda sunulan şekil ve ifadelerin bir kısmına burada da yer verilmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren ve bana her türlü bilgi ve desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Yahya Erkan AKANSU'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans tez çalışmam esnasında tecrübelerine başvurduğum Sayın Yrd. Doç. Dr. Fuat KARAKAYA'ya ve Yrd. Doç. Dr. Hüsnü AKSAKAL'a müteşekkir olduğumu ifade etmek isterim. Bu tezin hazırlanması esnasında yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım Aytaç ŞANLISOY, Hürrem AKBIYIK, Cihan YEŞİLDAĞ, Rafet GÜNAYDIN, Tekmile AYDOĞDU, Mehmet SEYHAN ve Recai SİNEKLİ'ye teşekkür ederim.

Bu tez çalışmam boyunca bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme de sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, bursiyer olarak görev aldığım 110M056 numaralı proje kapsamında destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
SUMMARY	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	ix
SİMGE VE KISALTMALAR	x
BÖLÜM I	1
GİRİŞ	1
1.1 Plazma ve Plazma Aktüatör	1
1.2 Elektrohüdrodinamik (EHD) Akış Kontrolü	2
1.3 Literatür Özeti	4
1.4 Plazma Akış Kontrolünde Temel Kavramlar ve Genel Bilgiler	7
1.5 EHD plazma üretim yöntemleri	9
1.5.1 Surface Dielectric Barrier Discharge Actuator (SDBDA)	9
1.5.2 One Atmosphere Uniform Glow Discharge Plasma (OAUGDP)	9
1.6 Çalışmanın Bilimsel Önemi Ve Kapsamı	10
BÖLÜM II	12
DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ	12
2.1 Rüzgar Tüneli	12
2.2 Plazma Aktüatörlerin Devre Tasarımı, Hazırlanması, Test Modeline Montajı	16
2.3 Plazma Üretim Cihazları ve Sinyal Üretimi	19
2.4 Ölçüm Cihazları	20
2.4.1 Plazma karakteristiklerin Ölçümünde kullanılan cihazlar	21
2.4.2 Aerodinamik karakteristiklerin Ölçümünde kullanılan cihazlar	22
2.5 Sinyal Modülasyonun Yapılması	25

2.5.1 Artan azalan genlikli sinyal modülasyonu: SM1(AAG).....	26
2.5.2 Artan genlikli yüzde elli aktif sinyal modülasyonu: SM2(ARGYE).....	26
2.5.3 Azalan genlikli yüzde elli aktif sinyal modülasyonu:SM3(AZGYE).....	27
2.5.4 Artan - iki yüzde elli pasif - azalan genlikli sinyal modülasyonu: SM4(ARGİYEPAZG)	28
2.5.5 Artan-azalan genlikli yüzde elli pasif sinyal modülasyonu: SM5(AAGYE)	29
2.5.6 Ço klu Artan-azalan genlikli yüzde elli pasif sinyal modülasyonu: SM6(ÇAAGYE)	30
2.5.7 Sinüzoidal yüzde aktif pasif süreli sinyal: SM7(DutyCycle)	31
2.6 Belirsizlik Analizi	31
BÖLÜM III	33
BULGULAR ve İRDELEME.....	33
3.1 Plazma ve Akış Karakteristiği	33
3.2 NACA0015 Uçak kanadı Etrafındaki Plazma Akış Kontrolünün Görüntülenmesi .	35
3.3 NACA0015 Model Uçak kanadı Etrafındaki Akış Yapısı.....	36
3.4 Sinyal Modülasyonunun Etkisi	41
3.4.1 Genlik Modülasyonlu Sinyal Yapılarının Etkisi.....	41
3.4.2 Duty Cycle Modülasyonlu Sinyal Yapılarının Etkisi	45
SONUÇLAR.....	48
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Rüzgar tüneli ve deney sisteminin katı model görünümü(Akansu ve Karakaya, 2013).....	12
Şekil 2. 2. Test bölgesi şematik görünümü (Akansu ve Karakaya, 2013).....	15
Şekil 2. 3. $x/H=0.32$ ve $z/H=0$ konumunda farklı hızlarda düşey yönde elde edilen hız ve türbülans şiddeti dağılımları (Akansu ve Karakaya, 2013).....	15
Şekil 2. 4. $x/H=0.32$ ve $z/H=0$ konumunda farklı hızlarda yatay yönde elde edilen hız ve türbülans şiddeti dağılımları (Akansu ve Karakaya, 2013).	16
Şekil 2. 5. Yüzey plazması oluşturmak için devre şematiği (Akansu ve Karakaya, 2013).	17
Şekil 2. 6. NACA0015 model uçak kanadının katı model çizimi (Akansu ve Karakaya, 2013).....	18
Şekil 2. 7. Rüzgar tüneli test bölgesinin ve akış karakteristiklerinin ölçümünde kullanılan ölçüm sisteminin şematik görünümü	22
Şekil 2. 8. Sürekli sinüzoidal sinyal sürümü.....	25
Şekil 2. 9. Uyarım frekansının 36Hz ve 108Hz değerinde sürücü sinyalin artan azalan genlikli olarak elde edilmesi	26
Şekil 2. 10. Uyarım frekansının 36Hz değerinde sürücü sinyalin artan genlikli ve %50 duty cycle'lı olarak elde edilmesi	27
Şekil 2. 11. Uyarım frekansının 108Hz değerinde sürücü sinyalin artan genlikli ve %50 duty cycle'lı olarak elde edilmesi	27
Şekil 2. 12. Uyarım frekansının 36Hz ve 108Hz değerlerinde sürücü sinyalin azalan genlikli ve %50 duty cycle'lı olarak elde edilmesi.....	28
Şekil 2. 13. Uyarım frekansının 36Hz ve 108Hz değerinde sürücü sinyalin (artan genlik - %50 pasif) + (%50 pasif – azalan genlik)+(bir periyod pasif) olarak elde edilmesi (%33 duty cycle).....	28
Şekil 2. 14. Uyarım frekansının 36Hz ve 108Hz değerlerinde sürücü sinyalin artan-azalan genlikli ve %50 duty cycle'lı olarak elde edilmesi.....	29
Şekil 2. 15. Uyarım frekansının 108 ve 216Hz değerlerinde, duty-cycle frekansı 18Hz iken sürücü sinyalin artan-azalan genlikli ve %50 duty cycle'lı olarak elde edilmesi ...	30

Şekil 2. 16. Uyarım frekansının 24Hz değerinde %10 ve %50 duty cycle'lı olarak elde sürücü sinyalin elde edilmesi.....	31
Şekil 2. 17. Uyarım frekansının 24Hz değerinde %50 duty cycle'lı olarak elde sürücü sinyalin elde edilmesi.....	31
Şekil 3. 1. Uç plakasız NACA0015 modelinin kaldırma kuvvet katsayısının literatürle karşılaştırılması (Akansu ve Karakaya,2013)37	
Şekil 3. 2. $Re=30000$ 'de plazmanın hücum açısına bağlı olarak C_L üzerine etkisi	37
Şekil 3. 3. $Re=45000$ 'de plazmanın hücum açısına bağlı olarak C_L üzerine etkisi	38
Şekil 3. 4. Plazma kapalı iken NACA0015 modelde hücum açısına bağlı olarak C_L üzerine etkisi	38
Şekil 3. 5. $\alpha=6^\circ$ 'de Reynolds sayısına bağlı olarak NACA0015 modelde plazma ile C_L 'nin değişimi	39
Şekil 3. 6. $\alpha=10^\circ$ 'de Reynolds sayısına bağlı olarak NACA0015 modelde plazma ile C_L 'nin değişimi	39
Şekil 3. 7. $\alpha=6, 8$ ve 10° 'de Reynolds sayısına bağlı olarak NACA0015 modelde plazma ile C_L 'nin değişimi	40
Şekil 3. 8. $\alpha=10^\circ$ 'de Voltaj ve RF frekansındaki değişime bağlı olarak C_L 'nin değişimi	41
Şekil 3. 9. SM-1 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi.....	42
Şekil 3. 10. SM-2 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi.....	42
Şekil 3. 11. SM-3 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi.....	43
Şekil 3. 12. SM-4 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi.....	44
Şekil 3. 13. SM-5 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi.....	44
Şekil 3. 14. SM-6 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi.....	45

Şekil 3. 15. Duty cycle modülasyonlu sinyal yapılarında farklı uyarım frekanslarında sürülen sinyallerde, % duty cycle değeri ile kaldırma kuvvetinin değişimi 46

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2. 1. Rüzgar tüneli ve deney düzeneğinin genel görünümü	13
Fotoğraf 2. 2. Rüzgar tüneli test bölgesinin genel görünümü.....	14
Fotoğraf 2. 3. Rüzgar tüneli çıkış hortumu ve damperinin görünümü (Akansu ve Karakaya, 2013).	14
Fotoğraf 2. 4. a)Baskı devre tekniği ile dielektrik malzeme üzerine yerleştirilen ve b) bant elektrot ve dielektrik malzeme kullanılarak elde edilen elektrotların görünümü ...	16
Fotoğraf 2. 5. Levha üzerinde elde edilen yüzey plazması (Akansu ve Karakaya, 2013).	18
Fotoğraf 2. 6. NACA0015 model uçak kanadının parça ve montaj resimleri (Akansu ve Karakaya, 2013).	18
Fotoğraf 2. 7. TREK 20/20C-HS model yüksek voltaj yükselticisi	19
Fotoğraf 2. 8. Sinyal modülasyonu oluşturmak için veri aktarma kartından sürülen sinyalin üretildiği arayüz (Akansu ve Karakaya, 2013).	20
Fotoğraf 2. 9. Elektrodaki akım sinyalinin akım probu ile ölçülmesi	21
Fotoğraf 2. 10. Tektronix yüksek voltaj probu ve probun deney düzeneğine bağlanması	21
Fotoğraf 2. 11. Kuvvet-moment ölçüm sisteminin yatay ve düşey bağlantılı görünümü (Akansu ve Karakaya, 2013).	23
Fotoğraf 2. 12. NACA0015 model uçak kanadı etrafındaki akış yapısının duman tel yöntemi ile görüntülenmesi (Akansu ve Karakaya, 2013).	24
Fotoğraf 3. 1. Çoklu aktüatörlü levha üzerinde $15.2kV_{pp}$ ve $13.4 kV_{pp}$ değerlerinde elde edilen akım çekimi (Akansu ve Karakaya, 2013) 34	
Fotoğraf 3. 2. Tek aktüatör arkasında pitot tüpü ile $V=8kV_{pp}$ ve $f=4kHz$ 'de farklı x istasyonlarından elde edilen plazma tarafından oluşturulan yüzey hız dağılımları (Akansu ve Karakaya, 2013)	34
Fotoğraf 3. 3. $Re=30000$ değerinde ve $\alpha=10^\circ$ 'de voltajın akış kontrolü üzerine etkisi (Akansu ve Karakaya, 2013)	35
Fotoğraf 3. 4. $Re=15000$ değerinde, $\alpha=20^\circ$ hücum açısında plazmanın yüksek voltajın uçak kanadı üzerindeki akış ayrılması üzerine etkisi (Akansu ve Karakaya, 2013).....	36

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
a	İvme
C	Veter uzunluğu
C_D	Sürüklenme kuvveti katsayısı
C_L	Kaldırma kuvveti katsayısı
d	Elektrotlar arası mesafe
D	Model çapı
f	Besleme Sinyalinin frekansı
F_D	Sürüklenme kuvveti
f_e	Uyarım frekansı
F_L	Kaldırma kuvveti
Re	Reynolds sayısı
t	Zaman
U_∞	Serbest akış hızı
x/C	Plazma aktüatörün konumu
μ	Dinamik viskozite
ε	Dielektrik sabiti
ν	Akışkanın kinematik viskozitesi
Kısaltmalar	Açıklama
AC	Alternatif Akım
DBD	Dielektrik Bariyer Deşarjı
DC	Doğru Akım
EHD	Elektrohidrodinamik
MHD	Manyetohidrodinamik
OAUGDP	One Atmosphere Uniform Glow Discharge Plasma
RF	Radyo Frekansı
SM1(AAG)	Artan azalan genlikli sinyal modülasyonu
SM2(ARGYE)	Artan genlikli yüzde elli aktif sinyal modülasyonu
SM3(AZGYE)	Azalan genlikli yüzde elli aktif sinyal modülasyonu

SM4(ARGİYEPAZG)	Artan - iki yüzde elli pasif - azalan genlikli sinyal modülasyonu
SM5(AAGYE)	Artan-azalan genlikli yüzde elli pasif sinyal modülasyonu
SM6(ÇAAGYE)	Çoklu Artan-azalan genlikli yüzde elli pasif sinyal modülasyonu
SM7(DutyCycle)	Sinüzoidal yüzde aktif pasif süreli sinyal

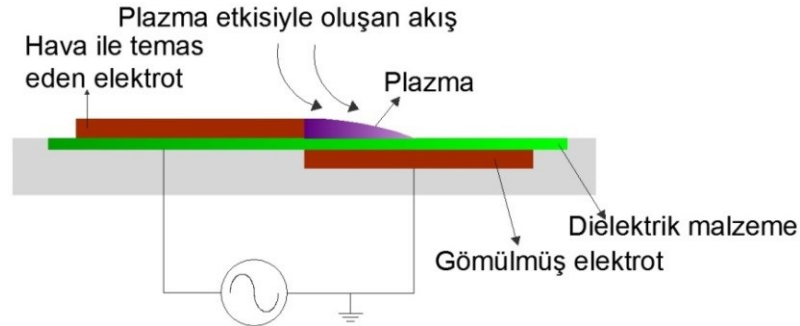
BÖLÜM I

GİRİŞ

Birçok mühendislik uygulamalarında, cisimlerin bir akış ortamı içinde bulunması nedeniyle akış kaynaklı problemlerle sıkça karşılaşmaktadır. Cisimler etrafındaki akışın kontrol edilmesi veya akış karakteristiklerinin iyileştirilmesine yönelik olarak geliştirilen çeşitli aktif ve pasif akış kontrol yöntemleri bulunmaktadır. Pasif yöntemlerde sisteme ilave bir güç aktarımı olmaksızın çeşitli düzeneklerin dahil edilmesi söz konusudur. Buna karşın aktif yöntemlerde ise, harici olarak bir enerji girişi gerekli olup, akış içine yapılan üfleme ve emme, parçacık gönderme, akustik uyarma, dönen veya salınım yapan cisim, hareketli duvar, elektrohidrodinamik ve elektromanyetik kuvvetlerin oluşturulması örnek olarak verilebilir (Akansu, 2011). Bu çalışmada plazma aktüatör kullanılarak elde edilen plazmanın aktif akış kontrolündeki etkisi incelenmiştir.

1.1 Plazma ve Plazma Aktüatör

Plazma, maddenin dördüncü hali olup, yaklaşık eşit sayıda bağımsız elektron ve pozitif iyonlardan oluşan elektriksel anlamda nötr, yüksek iyonize edilmiş gaz karışımının farklı bir hale dönüştürülmesidir. Plazma aktüatörü, Şekil. 1.1’de görüldüğü gibi deşarj elektrotu ile gömülü elektrot ve bunların arasına yerleştirilen dielektrik bir malzemeden oluşmaktadır.



Şekil 1. 1. Plazma aktüatörünün şematik gösterimi

İki elektrota yüksek voltaj uygulanarak maddenin dördüncü hali olan plazma oluşturarak aktüatör yüzeyinde bir akış elde edilmektedir. Elektrotların ve dielektriklerin konumlarına ve plazmanın oluşumuna göre yüzey deşarjlı plazma aktüatör ve hacim deşarjlı plazma aktüatör olarak sınıflandırılmaktadır. Akış kontrolü amacıyla genellikle yüzey deşarjlı plazma aktüatörler kullanılmaktadır.

1.2 Elektrohodinamik (EHD) Akış Kontrolü

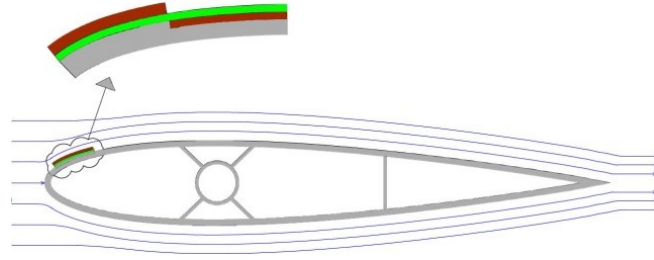
Elektriksel olarak akış kontrolünde, akışkanın manyetik olarak elektrik alanından etkilendiği manyetohodinamik (MHD) yönteminin yanı sıra, elektrik yükünün boşaltılmasıyla (electrical discharge) yerel olarak oluşturulan iyonlaştırılmış havanın nötr molekülleri sürmesine bağlı olarak elde edilen akışın kullanıldığı Elektrohodinamik (EHD) yöntemlerde bulunmaktadır. Elektrohodinamik yöntemle elde edilen akış kontrolü, iyon rüzgarı (ion wind), EHD eyleyici (EHD actuator) veya plazma hareketlendiricisi (plasma actuator) gibi isimlerle kullanılmaktadır (Akansu ve Karakaya, 2013).

EHD olarak akış kontrolünde kullanılan plazma hareketlendiricileri atmosfer basıncında soğuk olarak elde edilmekte olup ısı olmayan (non-thermal) veya soğuk (cold) plazma olarak da bilinmektedir (Yeşildağ, 2013).

Bu tez çalışmasında EHD olarak aktif akış kontrolü sağlamak üzere Dielectric Barrier Discharge (DBD) olarak bilinen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde, Şekil 1.2'de görüldüğü gibi cisim yüzeyine yerleştirilen ve aralarında dielektrik malzemenin bulunduğu elektrotlara verilen yüksek voltaj ile uçak kanadı yüzeyinde atmosferik soğuk plazma oluşmaktadır.

Burada plazma aktüatör ile aktif akış kontrolü amacıyla cisim etrafındaki sınır tabaka kontrolüne ve akışın yüzeyden ayrılma olayının modifikasyonun sağlanmasına çalışılmaktadır. Özellikle uçak kanadı gibi aerodinamik yapılı cisimler etrafındaki akışlarda hücum açısının belirli bir değerin üzerine çıkması durumunda uçak kanadının üst kenarı üzerinde yüzeyi takip eden akış tabakalarının yüzeyden ayrılmaya başlaması sonucu ortaya çıkan ve kaldırma (lift) kuvvetinde keskin bir azalmaya karşılık gelen stol

(stall) olayının da (tutunma kaybı olayı) kontrol edilmesi (geciktirilmesi) üzerinde durulmaktadır.



Şekil 1. 2. DBD akış kontrolü oluşturmak için kullanılan düzenleme

EHD yöntemler aerodinamik yapıları cisimlerin yanı sıra kare veya dairesel silindir gibi küt cisimler etrafındaki akışın kontrol edilmesinde de kullanılabilir. Bu yöntemle, küt cisimlerin ön ve arka taraflarındaki basınç farkının küçültülmesi sonucu sürüklenme kuvvetinde önemli azalmalara ve cismin iz bölgesi genişliğinin daralması sonucu girdap yapılarında önemli değişimler elde edilebilmektedir. Akış kontrolü ile sürüklenme kuvvetinin azaltılmasından başka, özellikle girdap kopmalarının sebep olduğu belirli frekanslarda gerçekleşen ve oldukça şiddetli olabilen çalkantı kuvvetlerinin de kontrol edilmesi amaçlanmaktadır. Akış eksenine göre simetrik olan cisimlerde akışa dik yönde cisme etki eden ve kaldırma kuvveti olarak adlandırılan bu çalkantı kuvvetlerinin zaman ortalaması sıfır olmasına rağmen, anlık değerleri sürüklenme kuvvetinin birkaç kat üzerine çıkabilmektedir. Bu ise cisimlerde istenmeyen salınım ve titreşimlere neden olabilmektedir. EHD akış kontrolü ile cisim yüzeyinden ayrılmanın ve girdap oluşumunun bastırılması bu çalkantı kuvvetlerinde de önemli ölçüde azalmalara sağlanmaktadır (Akansu ve Karakaya, 2013).

Bu tez çalışmasında, yukarıda da bahsedildiği gibi EHD olarak elde edilen plazma akış hareketlendiricilerinin uçak kanadı profili etrafındaki akışın, özellikle de stol olayının kontrolünde kullanılmıştır. Aerodinamik yapıları cisim geometrisi olarak simetrik geometriye sahip NACA0015 uçak kanadı modeli kullanılmıştır. Bu tez çalışması, 110M056 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında plazma aktüatörlerinin akış kontrolünde kullanıldığı ülkemizdeki ilk çalışmalardan biri olup, Niğde Üniversitesinde eş zamanlı olarak gerçekleştirilen bu konudaki üç Yüksek Lisans çalışmasından da biri olma niteliğindedir.

1.3 Literatür Özeti

Literatürde EHD yöntemlerin kullanıldığı, uygulanan gerilimin alternatif veya doğru akım olması, kullanılan elektrotların diziliş geometrilerinin farklı olması (boşluklu, bariyerli gibi), birden fazla elektrot kullanılması halinde elektrotlara verilen alternatif akımın belirli bir faz farkı ile verilmesi, cismin geometrisi (uçak kanadı, silindir ve düz plaka gibi) ve serbest akış şartları gibi farklı birçok parametrenin ele alındığı birçok çalışma bulunmaktadır. Ayrıca literatürde elektrohidrokinamik akış kontrolünde uygulanan yöntemler elektrot diziliş biçimlerine göre farklı isimlerde kullanılmasının yanında ekseri “plazma aktüatör (plasma actuator)” olarak adlandırılmaktadır. Bu tez çalışmasında, sadece cisimlerin etrafındaki akış kontrolünde plazma aktüatörün kullanıldığı literatürdeki çalışmalara yer verilmiştir.

Magnier ve diğerleri (2007), sesaltı rüzgar tüneline bir köşesi yuvarlatılmış düz plaka ile NACA0015 kanat profili iyon rüzgarı DC corona deşarj yönteminin yüzeye yakın yerdeki hava akışına etkisini anlamak için kullanmışlardır. Bu uçak kanadı modelinde $2,6 \times 10^5$ Reynolds sayısında 12.5° ’den 17.5° ’ye kadar olan hücum açılarında yüzeyden ayrılan akışa etki edebileceğini göstermişlerdir. Ayrıca iyon rüzgarının etkinliğinin akış rejimine ve akışın ayrılma derecesine bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Asada ve diğerleri (2009), duman tel (smoke wire) ve basınç ölçüm yöntemleri kullanılarak NACA0015 kanat modeli üzerine yerleştirilmiş olan DBD plazma aktüatörün farklı voltaj ve duty cycle değerlerinde stol kontrolündeki etkilerini incelemişlerdir. Plazma açıkken $\alpha=12^\circ$ derecede ve 6.3×10^4 Reynolds sayısında NACA0015 etrafındaki basınç dağılımını gösteren grafikte duman tel görüntüleme sonuçları aynı yönde olmasına rağmen plazma aktüatör stol kontrolünde 6.3×10^4 Reynolds sayısında $V_{ac}=3kV$ ve daha yüksek voltaj değerlerinde daha etkilidir.

Feng ve diğerleri (2012), rüzgar tüneline Gurney flap üzerine yerleştirilmiş olan DBD plazma aktüatörün NACA0012 uçak kanadı profilinin etrafındaki akış üzerine etkilerini incelemişlerdir. Plazma açıldığında kaldırma ve sürüklenme katsayılarında artış gözlemlenmiştir. Hız dağılım grafiğiyle Gurney flapın iz bölgesini daha aşağıya çektiği göstermiş ve plazma açıkken iz bölgesinin aşağıya çekilmesi çok daha büyük

olduğunu göstermişlerdir. Bunun sonucunda emme basıncının arttığı, buna bağlı olarak kaldırma katsayısında artığını gözlemlemişlerdir.

Corke ve diğerleri (2002), uçak kanadı üzerine yerleştirilmiş olan tek elektrotlu DBD plazma aktüatör kullanarak farklı hücum açılarında oluşan akışın yüzenden ayrılması olayında göze çarpan iyileşmeler kaydetmişlerdir.

Taleghani ve diğerleri (2012), DBD plazma aktüatör kullanarak NLF0414 kanat profili üzerindeki basınç dağılımının iyileştirilmesinde sabit 7.5×10^5 Reynolds sayısında duty cycle'ın farklı hücum açıları ve uyarma frekansların için etkilerini daha iyi anlayabilmek amacıyla bu yöntemi kullanmışlardır. Plazma açıkken farklı duty cyclelarda basınç dağılımının düşük duty cycle ve uyarma frekansının stol açısına yaklaştığı 18° atak açısında kaldırma kuvvetinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Mevcut plazma akışı iki şekilde etkilemiştir. Bunların yüzeye yakın yerde hız artışı ve girdap oluşturma şeklinde olduğunu ifade etmişlerdir. Deney sonuçları en iyi Strouhal sayısının duty cycle'la ilişkili olduğunu fakat tüm duty cycle'larda geçerli olmadığını göstermiştir.

Little ve Samimy (2010), yüksek kaldırma kuvveti oluşturan bir uçak kanadının kuyruk kısmında bulunan flap üzerine tek elektrotlu DBD plazma aktüatör yerleştirerek, $2,5 \times 10^4$ - $7,5 \times 10^4$ Reynolds sayıları arasında flap üzerinden türbülans sınır tabaka ayrılma kontrolünde plazmanın etkisini incelemişlerdir. Düşük frekanslarda plazma aktüatörün hem etkinliği hemde veriminin sinüsoidal sinyal yerine kare dalga modülasyonu kullanarak iyileştiğini göstermişlerdir.

Thomas ve diğerleri (2009), tek elektrotlu DBD plazma aktüatörü aerodinamik akış kontrolü için kullanarak üretilen plazmayla cisim kuvvetinin (body force) iyileştirilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın ana amacı, daha önce plazma yapılması mümkün olmayan daha yüksek Reynolds sayılarında akış kontrol uygulamaları için aktüatörün iyileştirilmesine uğraşmışlardır. Yalıtkan malzemenin cinsi ve kalınlığı, uygulanan voltajın genliği ve frekansının, elektrodun geometrisinin ve genişliğinin ve çoklu aktüatörün dizilişinin etkilerini incelemişlerdir. Normalde kullanılan yalıtkan malzeme kalınlığından daha kalın yalıtkan malzeme ile üretilen cisim kuvvetinin çok daha fazla olduğunu göstermişlerdir.

Little ve diğeri (2010), NASA EET'nin yüksek kaldırma kuvveti sağlayan kanat modelinin kuyruk kısmındaki flap üzerine yerleştirilen tek elektrotlu DBD plazma aktüatör kullanarak, akışın kanat yüzeyinden ayrılmasının kontrolü üzerine çalışmışlardır. 2.4×10^5 Reynolds sayısında (15 m/s) ve elektroda iki farklı sinyal modülasyonu göndermişlerdir. İlk olarak $V=20\text{kVpp}$ ve 2 kHz frekansa, 100Hz'lik periyotlarda artan ve azalan genliğe sahip sinüzoidal sinyal uygulamışlardır. İkinci olarak ise %10-90 duty cycle arasında değişen sinyal modülasyonu kullanmışlardır. Sonuç olarak, %50-70 duty cycle kullanarak daha etkin bir akış kontrolü sağlandığını göstermişlerdir.

Im ve Cappelli (2012), 7.2×10^4 Reynolds sayısında plaka üzerindeki sınır tabaka kontrolünün sağlanabileceğini emme ile DBD yöntemini kullanarak göstermişlerdir. Hız alanı parçacık görüntülemeli hız ölçüm yöntemi kullanılarak ölçülmüşlerdir. Emme kanallarının açılmasıyla tüm elektrotlar aktif edildiğinde sınır tabaka kalınlığında önemli azalmalar gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda, emme sürüklenme kuvvetinde azalmaya ve kaldırma kuvvetindeyse artmaya yol açabileceğini göstermişlerdir.

Akansu ve diğeri (2013), düşük Reynolds sayılarında NACA0015 uçak kanadı üzerinde DBD plazma aktüatör kullanarak akış ayrılmasına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler 2 aşamalı olarak yapmışlardır, birinci aşamada farklı frekans (3-5 kHz) ve voltaj (6-12 kV) aralıklarında plazmanın etkisini gözlemişlerdir. Plazma akışının etkisiyle oluşan hava akışının hızı pitot tüpüyle ölçmüşlerdir. İkinci aşamadaysa, $1,5 \times 10^4$ ve 3×10^4 Reynolds sayılarında kanat üzerine dört plazma aktüatör yerleştirilerek 0° , 5° , 10° , 15° ve 20° atak açılarındaki plazma aktüatörün akış ayrılmasına ve stol olayına etkilerini gözlemişlerdir. Ayrıca duman-tel yöntemiyle akış görüntülemesi yapmışlardır. Sonuçlar, düşük Reynolds sayılarında, yüksek atak açılarındaki akışın kontrol edilebileceğini göstermişlerdir.

Jukes ve diğeri (2012), DBD plazma aktüatör ve FBG (Fiber Bragg Grating) sensor kullanarak NACA0024 uçak kanadı etrafındaki akış ayrılmasının aktif kontrolünü araştırmışlardır. Deneyleri açık çevrim rüzgar tüneline, düşük Reynolds sayısında ($Re=53000$), 8° , 12° ve 16° atak açılarındaki DBD plazma aktüatörün akış ayrılması kontrol becerisini ve parçacık görüntülemeli hızölçer kullanarak kanat etrafındaki hız dağılımını

ölçmüşlerdir. 16° atak açısına kadar plazma açık iken sürüklenme katsayısında azalma gözlenmiş ve bu sayede stol olayının önlenileceği göstermişlerdir.

Corke ve diğerleri (2009) bir review çalışması yaparak daha önce yaptıkları çeşitli çalışmalara da burada yer vermişlerdir. NACA0015 model aifoil etrafındaki akışta kaldırma kuvvetinin hücum açısı ile değişimini plazmanın açık ve kapalı olduğu durumlar için ortaya koymuşlardır. Corke ve diğerlerine (2004) ait deneysel sonuçları, Voikov ve diğerlerine (2004) ait sayısal çalışmaya ait sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Burada plazmanın sürekli açık olması durumunda stol açısı, $\alpha=15^\circ$ 'den $\alpha=20^\circ$ 'ye kaymakta ve plazmanın belli optimum bir frekansda vurumlu olarak (unsteady) uygulanması durumunda ise $\alpha=25^\circ$ 'ye kadar ötelendiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, Post (2004) tarafından $\alpha=16^\circ$ 'de elde edilen fotoğraflardan plazmanın açık ve kapalı olması durumundaki akış yapısındaki değişimi gösterilmiştir.

Yukarda verilen literatür özetinde görüldüğü üzere uçak kanadı etrafındaki akışta EHD olarak akış kontrolü gerçekleştirilebilmektedir. DBD yöntemi ile plazma oluşturulması uzun yıllardan beri biliniyor olmasına karşın aerodinamik akış kontrolü için kullanılmasına yönelik çalışmaların özellikle son on, on beş yıl içerisinde yapıldığı görülmektedir (Braun ve Wilson, 2009). Bu tez çalışmasında esas olarak AC akımda, DBD plazma akış kontrol yönteminin kullanılması üzerinde durulmuştur. Deneysel elektrotların farklı farklı sinyal modülasyonları için AC voltaj ve frekans değerleri gibi birçok parametre için araştırmalar yapılarak akış kontrolünün (uçak kanadında tutunma kaybının önlenmesi/geciktirilmesinin) elde edilmesine çalışılmıştır. Bu yöntemin aerodinamik yapıları uygulanmasında literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmında kullanılan simetrik geometriye sahip NACA0015 model uçak kanadı kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında, cisimlere etki eden sürüklenme (lift) kuvvetleri balans sistemi ile direkt olarak ölçülerek EHD akış kontrolünün etkisi net olarak ortaya konulmuştur.

1.4 Plazma Akış Kontrolünde Temel Kavramlar ve Genel Bilgiler

Bu tez çalışmasında yapılan çalışmalar iki kısımdan oluşmaktadır. Birincisi EHD olarak plazma akış hareketlendiricisinin oluşturulmasıdır. İkincisi ise, EHD akış kontrolünün

aerodinamik yapılı cisimlerden biri olan NACA0015 model etrafındaki akışa olan etkilerinin deneysel ölçüm metotlarıyla ölçülerek belirlenmesidir. Bu amaçla, rüzgâr tüneline elde edilen akış ortamında deney modeline etki eden kaldırma kuvvetinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan cihazlar ve çalışma şartlarına ait parametreler BÖLÜM II’de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bu kapsamda plazma akış kontrolünde önemli olan temel kavramlar ve parametreler aşağıda özet olarak verilmiştir.

EHD yöntemine ait parametreler: Bu tez çalışmasında, plazma akışı üretilmesinde sinyal modülasyonun etkileri incelenmiştir. Elektrot geometrisinin farklı düzenlemeleri bir parametre olup bu tez kapsamında tek elektrot kullanıldığı için farklı elektrot düzenlemelerinin etkisinin incelenmesi yapılmamıştır. Farklı elektrot yapılandırmalarının yanı sıra elektrotlar arasındaki mesafe ve test modelleri üzerindeki konumları birer geometrik parametre olarak düşünülmektedir. Ayrıca elektrotlar üzerinden yapılan elektrik boşalımının DC veya AC voltajla gerçekleştirilmesi (paraelektrik yöntem), birden fazla elektrot kullanılarak her bir elektrota AC akımın belirli bir faz farkı ile verilmesi (peristaltik yöntem) gibi yöntemler plazma üretim yöntemleri arasında bulunmaktadır.

Hücum açısı: Bu tez çalışmasında NACA0015 model uçak kanadı etrafındaki akış kontrolü uygulamasında, hücum açısına göre EHD akış kontrolünün etkileri araştırılmıştır. Özellikle uçak kanatlarında belirli bir hücum açısından sonra akışın yüzeyden ayrılmasına bağlı olarak görülen ve kaldırma kuvvetinde keskin bir düşüşe sebep olan stol (stall) tutunma kaybı olayının EHD kullanılarak geciktirilmesine çalışılmıştır.

Reynolds sayısı: Deneyler, Reynolds sayısının 1.0×10^5 ’den küçük olduğu düşük değerlerde gerçekleştirilmiştir. Plazma akış kontrolünün etkisinin Reynolds sayısı ile değişimi incelenmiştir.

Uçak kanadı geometrileri: Aerodinamik yapılı cisimlerden simetrik NACA0015 uçak kanadı modeli için deneyler yapılmıştır.

Dielektrik malzeme: Dielektrik malzemenin iki özelliği bulunmaktadır. Bunlar; kalınlık

başına kırılma (atlama) voltajı [Volt/mm] ve dielektrik katsayısı, ϵ dur. Plazma hareketlendiricisinin kapasitansı, ϵ/h ile orantılıdır. Buradaki h , dielektrik kalınlığıdır. Bu çalışmada Kapton bant dielektrik malzeme kullanılmıştır.

Dalga formu: AC gerilimin uygulandığı plazma aktuatörlerinde, elektrotlara verilen gerilimin frekansının ve dalga formunun plazma oluşumu üzerine önemli etkisi olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada kullanılan AC sinizoidal dalga farklı yapılarıdaki genlik ve duty cycle değerleri için değiştirilerek sinyal modülasyonunun etkileri incelenmiştir.

1.5 EHD Plazma Üretim Yöntemleri

Elektrohidrodinamik olarak akışın kontrol edilmesinde kullanılan temelde 2 yöntem bulunmaktadır. Bunlar, “Surface Corona Discharge Actuator” (SCDA) ve “Surface Dielectric Barrier Discharge Actuator” (SDBDA) yöntemleridir. Birinci yöntemde elektrotlar arasında hava veya başka bir akışkanın bulunduğu boşluk bulunurken, ikinci yöntemde iki elektrot arasında elektriği geçirmeyen (dielectric) malzeme bulunmaktadır. Ayrıca bu iki yöntemde, elektrotların farklı geometrik dizilimleri ve uygulanan voltajın DC veya AC olması, ya da AC sinyalin farklı faz farkı ile elektrotlara verilmesi gibi farklı uygulamalar bulunmaktadır (Akansu ve Karakaya, 2013).

1.5.1 Surface dielectric barrier discharge actuator (SDBDA)

Bu yöntemde iki elektrot arasında dielektrik bir malzeme bulunmaktadır. Bu şekildeki çalışmaların çoğunda elektrotlar arasında AC gerilim uygulanmaktadır. Uygulanan gerilimin yönüne göre oluşan plazmanın kinetik hareketinin yönü değişmektedir. Literatürde bu yöntemle elde edilen yüzeyde elde edilen akış hızları, uygulanan voltaj ve elektrot sayısına bağlı olarak değişmekle birlikte 3-6m/s civarında olduğu görülmektedir (Thomas ve diğerleri, 2009).

1.5.2 One atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP)

OAUGDP yukarıda bahsi geçen SDBDA ile benzer geometrik yapıya sahip olmakla birlikte farklı bir oluşum fiziğine sahiptir. SDBDA’da yüklü taşıyıcılar elektron çığı ile

oluşurken, OAUGDP ise iyonların elektrodinamiksel olarak elektrotlar arasında tutulması ve parçacıklar arasında meydana gelen Lorentzian çarpışmaları ile oluşmaktadır. Ayrıca SDBD de daha büyük elektrik alana ihtiyaç vardır. OAUGDP ise oluşum mekanizması stoletow noktasında gerçekleşmesi nedeniyle bir elektron-iyon çifti üretmek için gerekli enerji minimumda tutulmuş olur (81 eV). OAUGDP çok çeşitli yüzeylerde ve geometrik cisimler içinde oluşturulabilmektedir. Dolayısıyla oluşturulan plazma yüzeysel plazma veya hacimsel plazma olabilir. EHD ile akış kontrolü için kullanılan OAUGDP ise yüzeysel yani bir yüzey üzerinde oluşturulan tiptir. Burada verilen OAUGDP sınıflandırması özellikle plazma aktuatörlerin akış kontrolünde kullanıldığı ilk çalışmaları yapan Roth ve ekibi tarafından kullanılmaktadır (Roth; 1994, 2003a). DBD ile aynı geometrik yapıya sahip olması nedeniyle birçok araştırmacı tarafından bu şekilde elde edilen plazma aktuatörleri için sadece DBD ifadesi kullanılmaktadır (Akansu ve Karakaya, 2013).

1.6 Çalışmanın Bilimsel Önemi ve Kapsamı

EHD yöntemlerin aktif akış kontrol yöntemi olarak kullanılabilirliği, herhangi bir hareketli mekanik parçaya gerek duyulmaksızın direkt olarak elektrik enerjisini kinetik enerjiye dönüştürüyor olmasından gelmektedir. Hızlı tepki süresi, düşük titreşim ve gürültü üretimi, basitliği ve düşük güç tüketimi avantajları arasında yer almaktadır. Özellikle sistemden geçen akımın çok küçük olması, elektromanyetik akış kontrol yöntemlerinin aksine manyetik etkilerin ihmal edilebilecek kadar küçük oluşmasına neden olmaktadır.

Cisim üzerinde oluşturulan plazma-akış hareketlendiricisi, akışın sınır tabaka gelişimini, yüzeyden ayrılmasını, yeniden tutunmasını ve girdap oluşum bölgesindeki akış yapılarını içine alan akış özelliklerinin istenilen yönde kontrollerinin sağlanmasını mümkün kılabilir. Bununla birlikte elde edilen iyileştirmelerin sadece çok düşük hızlarda etkili olması, bu yöntemin daha da geliştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. 2013 yılı itibariyle bu konuda yapılan çalışmaların ülkeler bazında ve literatürde yer alan çalışma sayılarına bakıldığında giderek arttığı görülmektedir. 110M056 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilen bu tez çalışması ile bu konuda üniversitemizde ve ülkemizde daha fazla bilgi birikimine sahip olunmasına katkı sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, plazma aktüatör kullanarak, NACA0015 model uçak kanadı etrafındaki akışın aktif kontrolünün gerçekleştirilmesidir. Genlik modülasyonları yapılarak ve farklı duty cycle durumları için elde edilen sinyal formlarının plazma aktüatör ile akış kontrolü üzerine etkisinin araştırılmasıdır.

Uçak kanadına etki eden kaldırma kuvveti gibi aerodinamik akış karakteristikleri üzerine etkilerinin gösterilmesi sağlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ışığında, kullanılan EHD yöntemine bağlı olarak uygun akış iyileşmesinin gerçekleştirilmesi ve bunların kullanılabilirlik sınırları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

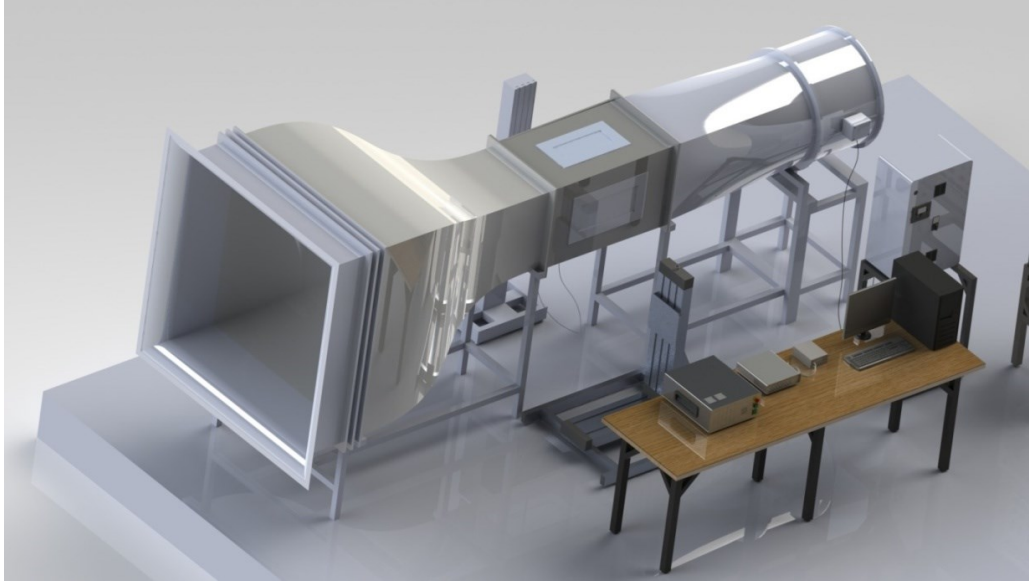
BÖLÜM II

DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

NACA0015 model uçak kanadı etrafındaki akışın plazma aktüatör ile aktif kontrolünde sinyal modülasyonunun incelendiği bu tez çalışması, Niğde Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Aerodinamik Akış Kontrol Laboratuvarında hazırlanan deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği; rüzgar tüneli, test modeli, plazma üretim cihazları, sinyal üretimi, ölçüm cihazları, veri toplama ve analizi bölümlerinden oluşmaktadır.

2.1 Rüzgar Tüneli

DeneySEL çalışmalardaki akış ortamının oluşturulduğu rüzgar tünelinin katı model çizimi Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2. 1. Rüzgar tüneli ve deney sisteminin katı model görünümü(Akansu ve Karakaya, 2013).

Aerodinamik yapıllı cisimler etrafındaki akışın kontrol edilmesinde deneylerin gerçekleştirileceği “Rüzgar Tünelinin” özellikleri büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, yüksek lisans tez çalışmalarıma başlamadan önce 110M056 nolu TÜBİTAK projesinde, proje asistanı olarak görev yaparken ilk önce mevcut tünelin büyütülmesi ve

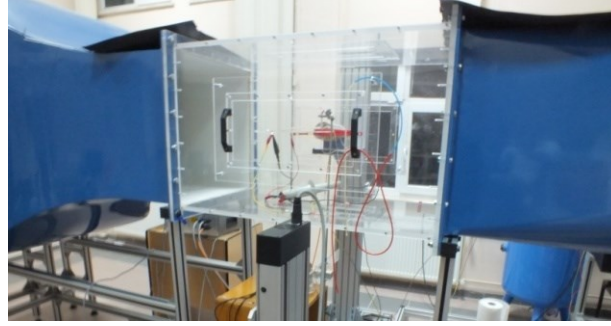
uçak kanadı çalışmaları için uygun hale getirilmesi için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Bu bağlamda Aerodinamik Akış Kontrolü Laboratuvarındaki eski tünelin test bölgesi yüksekliğinin uygun olmadığı anlaşılmış ve bu nedenle fan ve motor kontrol ünitesi hariç tamamı yenilenmiştir. Yeni tünelin giriş ağzı, akış düzenleyici elekleri, daralma konisi, test bölgesi ve çıkış lülesi yeniden imal edilerek test bölgesi kesit alanı 0.57m x 0.57m'ye çıkarılmıştır.

Rüzgar Tüneli hazır alım yoluyla temin edilmemiş olup, imalatı; dizaynından montajına kadar bütün aşamalarda benim de içinde bulunduğum ekip tarafından takip edilerek yeni halini almıştır. Özellikle Niğde Organize Sanayisinde imalatı yapılan tünelin fabrikadaki ustalarla birlikte büküm makinesinden kaynak işlerinin yapılmasına kadar hassas bir iş olması sebebiyle bütün hepsine nezaret edilerek imal edilmesi sağlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün önem arz etmesi sebebiyle ve akıştaki uniformluk noktasında en iyi verimi sağlamak adına tünelin iç yüzeyi defalarca zımparalanıp önce antipas ve macun çekilerek akabinde otomobil boyasıyla boyanıp tamimiyle pürüzsüz bir hal alması sağlanmıştır. Yine test bölgesi özel pleksiglas malzeme ile CNC freze tezgahında kesilip istenilen boyutlarda tünelin konik kısmı ile yayıcı kısmı arasına monte edilmiştir. Tüneli üzerine yerleştireceğimiz iskelet kısmı ağır alüminyum alaşımlı sigma profiller ile dizayn edilip sağlam bir iskelet yapısının yanında estetik görünüme sahip bir tablo ortaya çıkarılmış ve Niğde Üniversitesi Aerodinamik Akış Kontrol Laboratuvarına özverili bir çalışma ile düşük maliyetle kazandırılmıştır. Fotoğraf 2.1'de yeniden dizayn edilip imalatı yapılan rüzgar tünelinin genel görünümü verilmiştir.



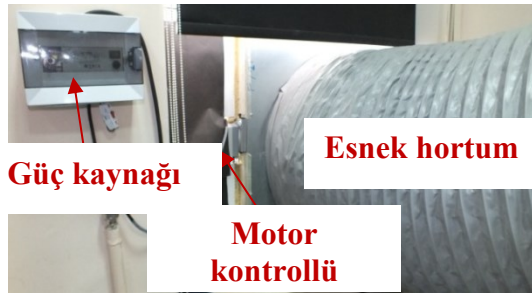
Fotoğraf 2. 1. Rüzgar tüneli ve deney düzeneğinin genel görünümü

Yeni rüzgar tüneline kesit alanının artması ile oluşabilecek türbülans şiddetini azaltmak için eskisinden bir tane fazla (3 adet) akış düzenleyici elek kullanılması gerek görülmüştür ve 4 kW'lık motor gücünün eski tünel kesit alanına göre olmuş olması maksimum serbest akış hız değerinin 27 m/s'den 17 m/s'ye düşmesine sebebiyet vermiştir. Bu tez çalışmasında özellikle düşük Reynolds sayılarında çalışıldığından maksimum akış hızının 17 m/s'ye düşmüş olması ve test edilen türbülans şiddetinin % 0.5'in altında ölçülmesi yapılacak deneyler için yeterli olmaktadır. Test bölgesi girişi daralma oranı 6.25 değerinde olup tünel maksimum hızda veter uzunluğu $C=15$ cm olan uçak kanadı için Reynolds sayısının 160000 değerinde deneylerin gerçekleştirilmesine imkan sağlamaktadır.



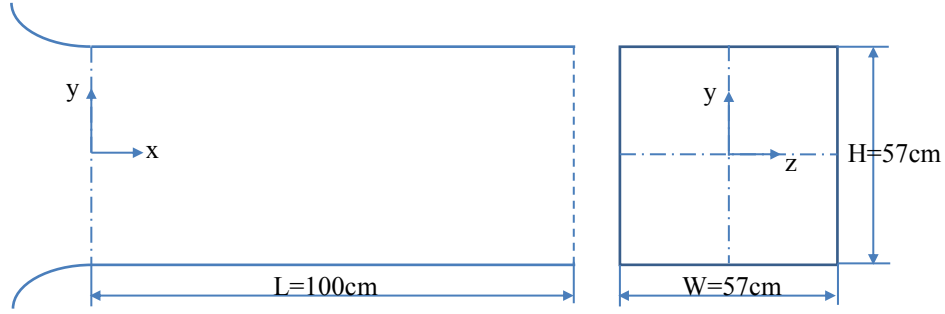
Fotoğraf 2. 2. Rüzgar tüneli test bölgesinin genel görünümü

Bu tez çalışmasında kullanılan plazma aktüatör, yüksek voltaj ile havadaki oksijeni kırarak ozon gazının oluşmasını sağlamış ve bu gazın insan sağlığına zarar vermemesi için PVC hortum ile laboratuvar dışarısına aktarılması sağlanmıştır. Yine laboratuvar içerisindeki gerekli ölçümler ozonmetre vasıtası ile gözlemlenmiştir. Hortumun pencere ile bağlantısının olduğu yere motor kontrollü damper monte edilerek istenildiği zaman hava ile teması kesilmiştir.



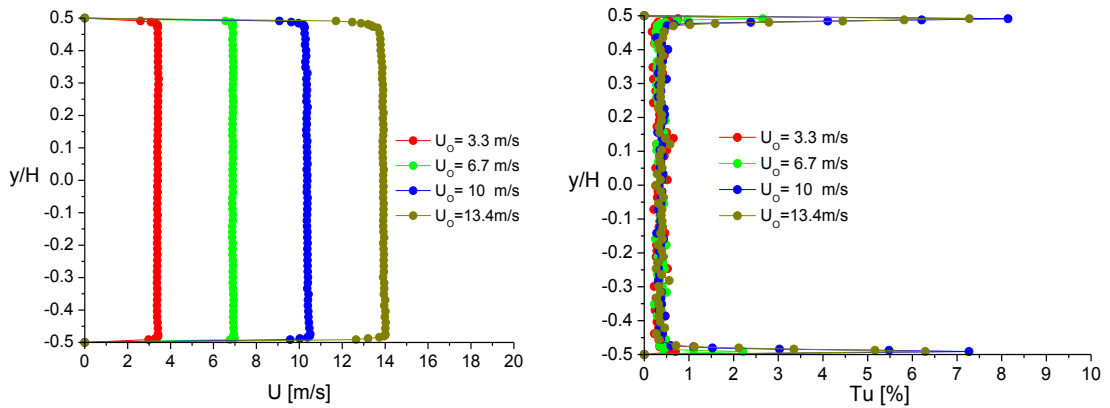
Fotoğraf 2. 3. Rüzgar tüneli çıkış hortumu ve damperinin görünümü (Akansu ve Karakaya, 2013).

Tünel çıkışının dışarı bağlanması NACA0015 model uçak kanat deneylerinin gerçekleştirileceği hız aralığında test bölgesi serbest akış karakteristiklerinde önemli bir olumsuzluğa neden olmamıştır. Test bölgesi koordinat sistemi ve boyutları Şekil 2.2’de şematik şekil üzerinde görülmektedir. Test bölgesi kesiti akış yönündeki sınır tabaka gelişimine bağlı olarak oluşan statik basınç azalmasını dengelemesi için giderek genişlemekte ve çıkışta 58cm x 58cm kesit alanına ulaşmaktadır.



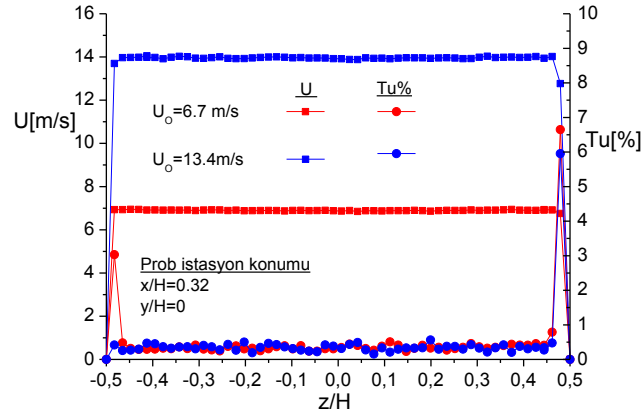
Şekil 2. 2. Test bölgesi şematik görünümü (Akansu ve Karakaya, 2013).

Test bölgesi girişinden itibaren $x/H=0.32$ konumunda yatay ve düşey yönde kızgın tel anemometresi kullanılarak hız taraması yapılmıştır. Her bir ölçüm noktasında saniyede 2000 adet (sample rate =2kHz) hız ölçümü yapılarak 15s süreyle 30000 veri alınmıştır. Şekil 2.3’de $x/H=0.32$ istasyonunda tünel genişliğinin orta konumunda ($z/H=0$) düşey yönde yapılan hız taramasından elde edilen sırasıyla hız ve türbülans şiddeti dağılımları görülmektedir. Sınır tabaka bölgesi dışında kalan üniform hız dağılımının elde edildiği bölgede türbülans şiddeti dağılımları %1’in altında (%0.5 civarı) çıkmaktadır (Akansu ve Karakaya, 2013).



Şekil 2. 3. $x/H=0.32$ ve $z/H=0$ konumunda farklı hızlarda düşey yönde elde edilen hız ve türbülans şiddeti dağılımları (Akansu ve Karakaya, 2013).

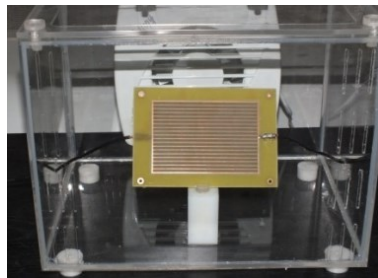
Şekil 2.4’de yatay hız taramasından elde edilen hız ve türbülans şiddeti dağılımları verilmiştir. Rüzgar tüneli çalışma aralığındaki bütün hızlarda sınır tabaka bölgesi dışındaki türbülans şiddeti %1’in altında çıkmaktadır.



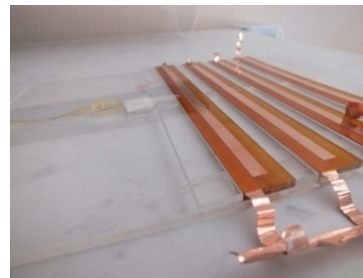
Şekil 2. 4. x/H=0.32 ve z/H=0 konumunda farklı hızlarda yatay yönde elde edilen hız ve türbülans şiddeti dağılımları (Akansu ve Karakaya, 2013).

2.2 Plazma Aktuatörlerin Devre Tasarımı, Hazırlanması, Test Modeline Montajı

Bu tez çalışması NACA0015 model uçak kanadı üzerinde ki akışın plazma aktüatör ile aktif akış kontrolü deneylerini içermektedir. Fakat uçak kanadı üzerinde denemelere geçmeden önce düz levha üzerinde çeşitli ön çalışmalarda (proje çalışmaları kapsamında) bulunulmuştur. Bu maksatla test modelleri üzerine elektrotların nasıl yerleştirileceği konusunda çeşitli işlemler uygulanmıştır. Deney test modeline geçilmeden önce levha üzerinde çeşitli denemeler yapılmış ve bu çalışmalar sonucunda yüzey plazmaları elde edilmiştir. Bu bağlamda iki farklı yöntem kullanılarak test edilen levhalar Fotoğraf 2.4’te verilmiştir.



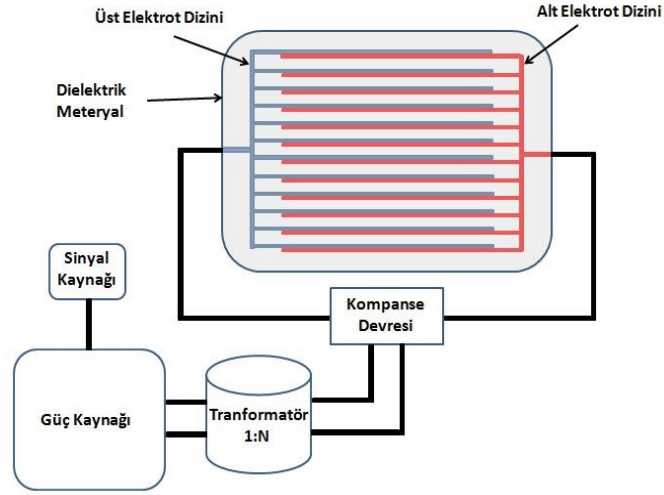
(a)



(b)

Fotoğraf 2. 4. a)Baskı devre tekniği ile dielektrik malzeme üzerine yerleştirilen ve b) bant elektrot ve dielektrik malzeme kullanılarak elde edilen elektrotların görünümü

Bu tez çalışması için modelimiz olan uçak kanadına uygulanabilirlikleri kolay olması ve daha verimli sonuçların alınması sebebiyle bant elektrot ve dielektrik malzeme kullanılmıştır. Yüzey plazması oluşturmak için gerekli devre tasarımı Şekil 2.5'te verilmiştir. Devre tasarımıdaki ana bileşenler: plazma paneli, kompanse devresi, transformatör, RF güç kaynağı ve sinyal kaynağı (sinyal jeneratörü) olarak sıralanabilir.



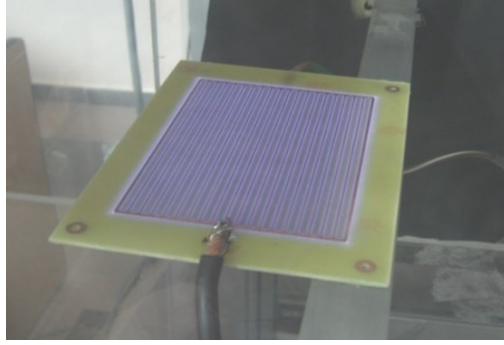
Şekil 2. 5. Yüzey plazması oluşturmak için devre şematiği (Akansu ve Karakaya, 2013).

Plazma oluşumunda kullanılan dielektrik malzeme plazmanın kalitesi için önem arz etmektedir (t , ϵ). Bu kaliteyi etkileyen parametrelerden bazıları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 2. 1. Plazma kalitesini belirleyen ana parametreler (Akansu ve Karakaya, 2013).

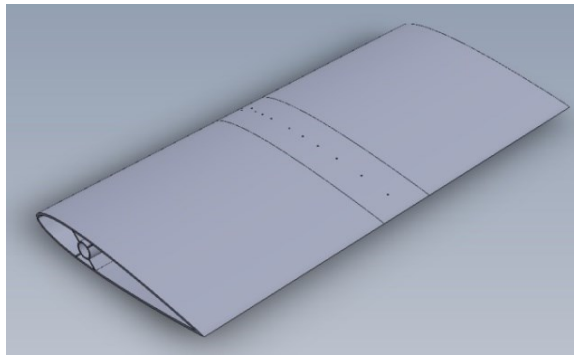
	<i>Parametre</i>	Açıklaması
1	V	Besleme Voltajı
2	F	Besleme Sinyalinin frekansı
3	T	Kullanılan panelin kalınlığı
4	ϵ	Kullanılan panelin dielektrik sabiti
5	D	Elektrotlar arası mesafe

Şekil 2.5'de verilen düzenek kullanılarak elde edilen plazmaya ait bir görüntü Fotoğraf 2.5'da verilmiştir. Plazmayı oluşturmak için 3.3kHz'lik frekansta, 4kV tepe genlik değerinde sinüzoidal bir sinyal kullanılmıştır. Levha üzerindeki elektrotlar arasında oluşan atmosferik soğuk plazma mor renkli olarak görülmektedir.

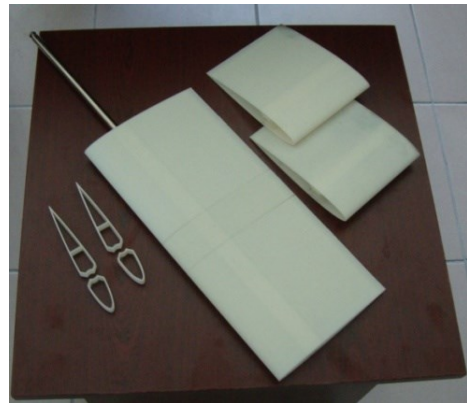


Fotoğraf 2. 5. Levha üzerinde elde edilen yüzey plazması (Akansu ve Karakaya, 2013).

Bu tez çalışmasında kullanılan NACA0015 model uçak kanadının dizaynı ve katı model çizimi yapılarak PVC A+ malzemedan 3D printer olarak da bilinen hızlı prototipleme cihazı ile imal ettirilerek montajı yapılmıştır. Şekil 2.6'da NACA0015 model uçak kanadının katı model çizimi ve Fotoğraf 2.6'da uçak kanat modelinin parça ve montaj resimleri verilmiştir.



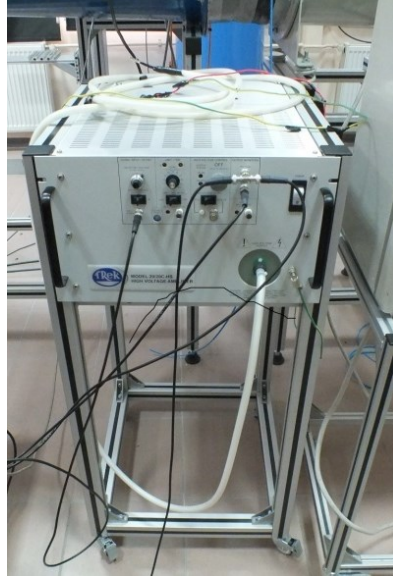
Şekil 2. 6. NACA0015 model uçak kanadının katı model çizimi (Akansu ve Karakaya, 2013).



Fotoğraf 2. 6. NACA0015 model uçak kanadının parça ve montaj resimleri (Akansu ve Karakaya, 2013).

2.3 Plazma Üretim Cihazları ve Sinyal Üretimi

Bu tez çalışmasında yine 110M056 Nolu Tübitak projesi kapsamında alınan yüksek voltaj yükselticisi sistemi kullanılmıştır. Bu cihaz Fotoğraf 2.7’de görülen TREK marka 20/20C-HS model 400W (1.2 kW max) gücüne sahip 20 kHz frekansa kadar ± 20 kV aralığında gerilim üretebilen voltaj yükseltecidir. Bu cihazla, 0 ila 10V aralığında girilen DC veya AC giriş sinyali 2000 katına çıkartılarak yüksek voltaj elde edilmektedir. Bu cihazın anlık tepkisinin oldukça yüksek olması, girilen sinyal formlarının yüksek voltajda bozulmadan alınmasına (yükselme oranı $800 \text{ V}/\mu\text{s}$) imkan sağlamaktadır (Akansu ve Karakaya, 2013).

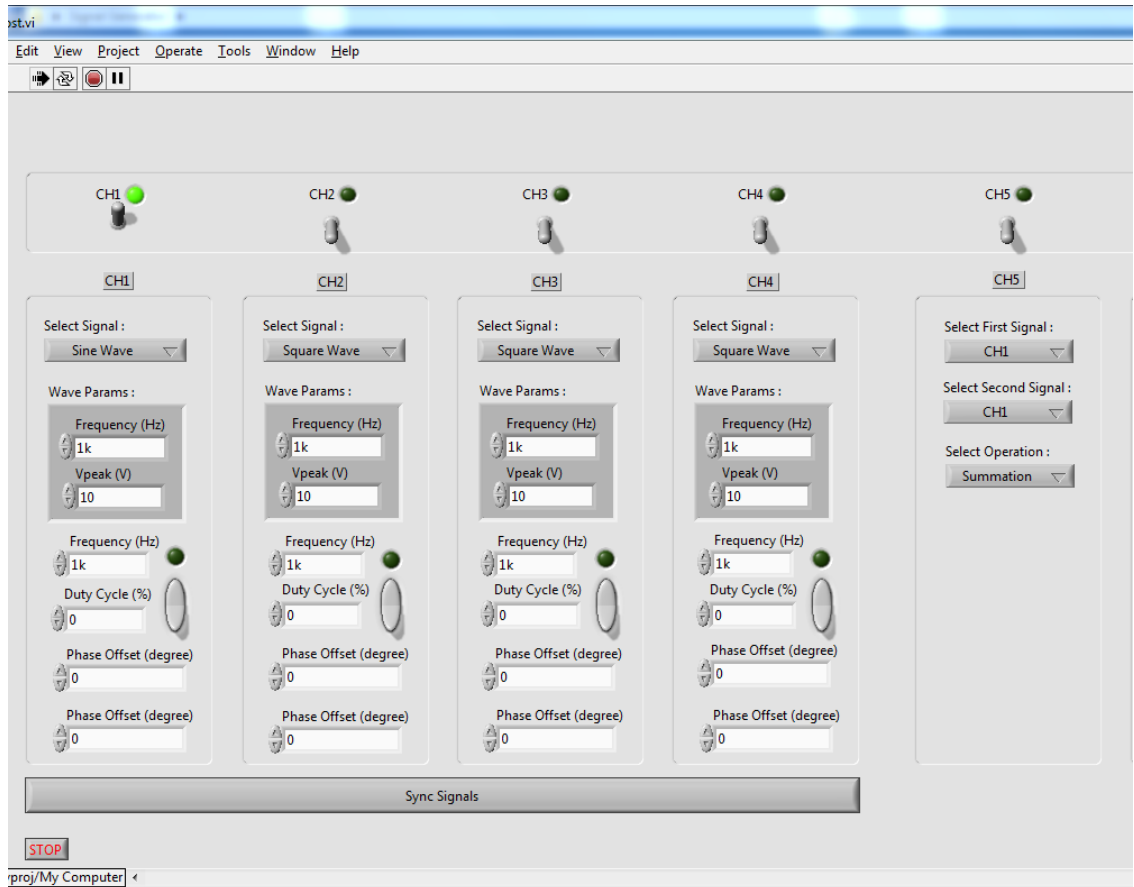


Fotoğraf 2. 7. TREK 20/20C-HS model yüksek voltaj yükselticisi

Yüksek Voltaj Besleme Sinyalinin Üretilmesi

Yüzey plazması oluşturmada önemli etkenlerden biride sinyal kaynağıdır (sinyal jeneratörü). Güç kaynağını sürmede kullanılan sinyal kaynağı sürüm için kullanılacak sinyalin üretilmesinde bilgisayar üzerinde hazırlanan yazılım kullanılmıştır. Kullanılacak sinyalin istenilen frekansta, genlikte ve formda üretilmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple elektronik mühendisi arkadaşların ve hocalarımla yardımı ile proje kapsamında arayüz modülleri gerçekleştirilmiş ve tezimin bir parçası olan deneylerimi yaparken yüksek voltaj güç kaynaklarına giriş sinyallerinin gönderilmesinde bu modüller kullanılmıştır. Sinyallerin bilgisayar üzerinde

üretilmesinde PCIe-7841R veri aktarma kartındaki FPGA teknolojisinden yararlanılmıştır. Veri aktarım kartının, kanal başına örnekleme frekansı 1MHz olan 8 analog çıkışı bulunmaktadır. Fotoğraf 2.8’de görülen arayüz oluşturularak, her bir kanaldan farklı dalga formu ve farklı duty cycle oranlarında elde edilen sürücü sinyalleri, her bir kanaldan farklı zaman gecikmesi (time delay) veya faz açısı ile elektrotlara gönderilebilmiştir. Fotoğraf 2.8’deki arayüzde görülen ilk iki kanal üzerinde oluşturulan sinyaller beşinci kanal üzerinde çarpılarak veya toplanarak bu çalışmada kullanılan sinyal formları elde edilmiştir.



Fotoğraf 2. 8. Sinyal modülasyonu oluşturmak için veri aktarma kartından sürülen sinyalin üretildiği arayüz (Akansu ve Karakaya, 2013).

2.4 Ölçüm Cihazları

Bu tez çalışmasında kullanılan ölçüm cihazları, plazma parametrelerinin ölçülmesinde ve aerodinamik akış testlerinin yapılmasında kullanılmış oldukları yerler aşağıda belirtilmiştir.

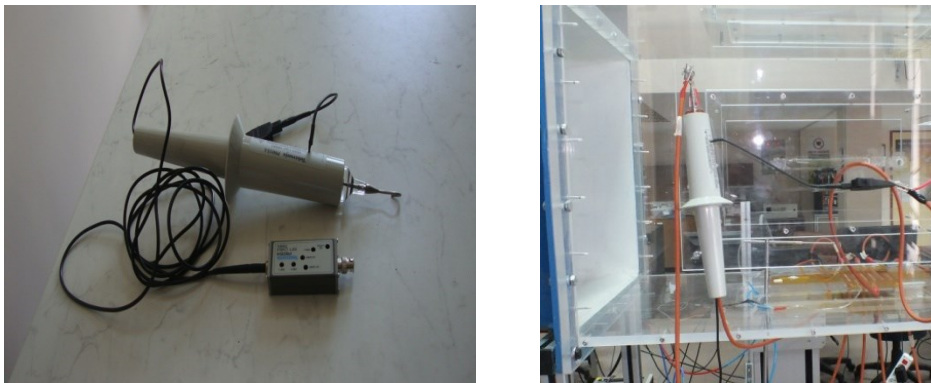
2.4.1 Plazma karakteristiklerin ölçümünde kullanılan cihazlar

Akım probu: Elektrotlara gönderilen elektrik akımının, hem akım değeri hem de frekansı osiloskop ile ölçülmektedir. Anlık akım değerlerinin anlık voltaj değerleri ile çarpımı anlık güç'ü vermektedir. Aşağıdaki fotoğrafta akım probu kullanılarak detayları yukarıda verilen baskı devre levha yüzey plazma üretici üzerinden ölçülen akım sinyalindeki değişim görülmektedir. Sinüzoidal dalga üzerindeki tepe değerler 3.35kHz sürme frekansında yüzey plazma oluşumunda çekilen ani akım değişimlerini vermektedir. Bununla birlikte, diğer birçok elektrot uygulamalarında akım tepe değerleri oldukça kirli olabilmektedir. Bu tepe değerlerin yalın olması plazmanın kalitesini ve çekilen gücün daha az olduğunun bir göstergesidir.



Fotoğraf 2. 9. Elektrodaki akım sinyalinin akım probu ile ölçülmesi

Yüksek Voltaj Probu: Yüksek voltaj probu plazma aktuatöre uygulanan yüksek voltaj sinyalinin ölçümünde kullanılmıştır. Özellikle bu prob ile trafo çıkışındaki sinyalin kalitesi ve trafonun frekans tepkisi test edilebilmiştir. Bu sayede, akım probuyla birlikte elektrotlara uygulanan sinyalin hem voltaj hem de akım değerleri birlikte ölçülmekte ve plazmanın harcamış olduğu güç hesaplanabilmektedir.

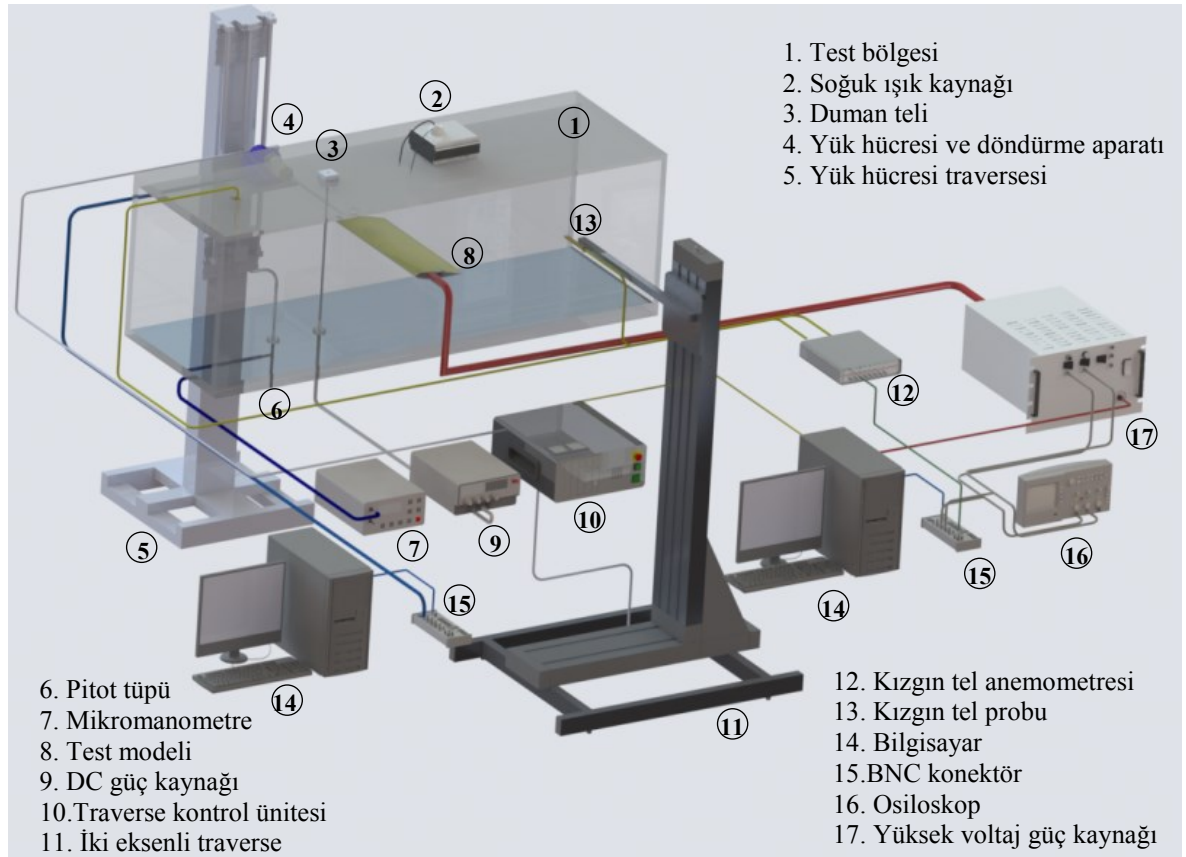


Fotoğraf 2. 10. Tektronix yüksek voltaj probu ve probun deney düzeneğine bağlanması

Yüksek voltaj probunun bir ucu yüksek voltajın uygulandığı elektrota diğer ucu da toprağın bağlı olduğu elektrota takılarak ölçüm yapılmıştır. BNC çıkışı sayesinde deney düzeneğindeki mevcut osiloskop'a ve veri toplama kartının BNC terminaline kolaylıkla bağlanmış ve plazma besleme voltajı gözlemlenerek kaydedilebilmiştir. Deneylerde kullanılan akım ve voltaj problemlerindeki sinyaller iki adet Tektronix marka TDS 2022B model dijital osiloskop kullanılarak izlenmiştir.

2.4.2 Aerodinamik karakteristiklerin ölçümünde kullanılan cihazlar

Bu tez çalışmasında, test modellerine uygulanan plazma akış kontrolünün aerodinamik karakteristiklere etkisinin belirlenebilmesi için kaldırma kuvveti ölçümü ve akış görüntülemesi olmak üzere iki yöntem kullanılmıştır. Ayrıca rüzgar tünelinin hızının belirlenmesinde pitot tüpü ve kızgın tel anemometresi de kullanılmıştır. Şekil 2.7'de bu çalışmada kullanılan akış ölçüm sistemlerinin ve rüzgar tüneli test bölgesinin şematik görünümü verilmiştir. Burada şekil üzerinde kurulum şeması da sunulmuştur.

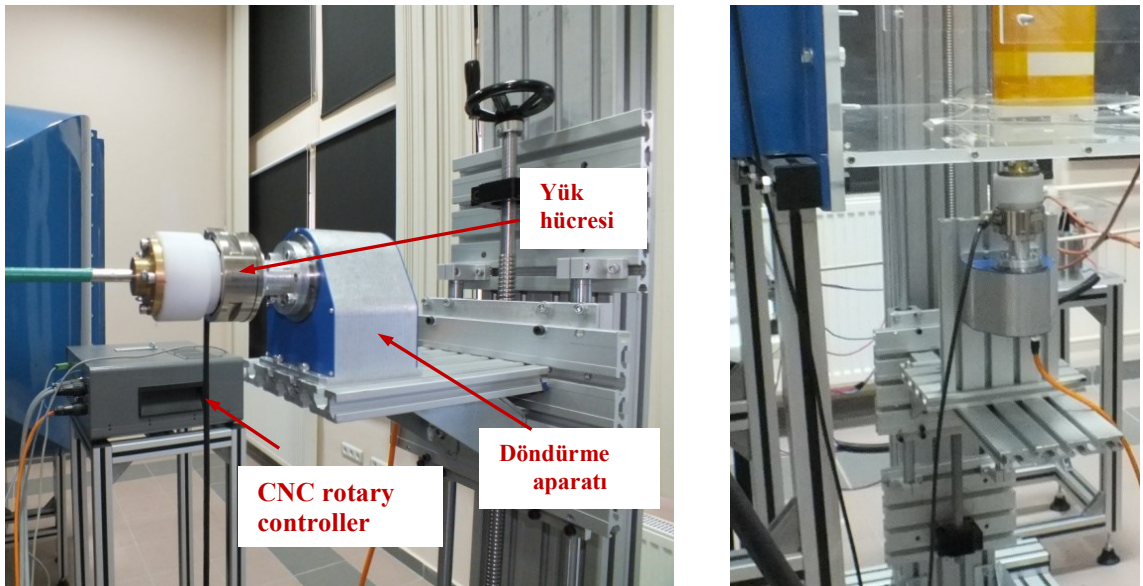


Şekil 2. 7. Rüzgar tüneli test bölgesinin ve akış karakteristiklerinin ölçümünde kullanılan ölçüm sisteminin şematik görünümü

Temel olarak kuvvet ölçümlerinin yanı sıra duman ile akış görüntülemesi yapılmıştır. Şekil 2.7’de görüldüğü üzere pitot-statik tüp ile rüzgâr tüneli hızı ölçülerek deney süresince sürekli olarak izlenmiştir. Test modeli arkasındaki kızgın-tel probu bilgisayar kontrollü iki boyutlu hareket mekanizması sayesinde istenilen ölçüm noktalarına yerleştirilmiştir. Ölçüm cihazlarının bağlantı ve çalışma şartları aşağıdaki alt başlıklar altında ayrı ayrı açıklanmıştır.

2.4.2.1 Kuvvet-moment ölçüm sistemi

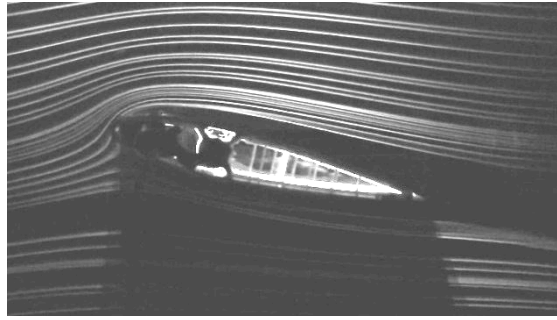
Kuvvet ölçüm sistemi, F_x ve F_y kuvvetlerini $\pm 32N$ 'a ve F_z kuvvetini $\pm 100N$ 'a kadar ölçebilmektedir. M_x , M_y ve M_z momentlerini ise $\pm 2.5Nm$ aralığında ölçebilmektedir. Sistem, 6 strain-gauge'li yük hücresi (ATI marka Gamma model), CNC controller tarafından kontrol edilen hücum açısını ayarlamak için kullanılan döndürme mekanizması (ISEL marka ZD30 model) ve test modeli ile sistemin eksenlerinin eşitlenmesi için kullanılan manuel traverse sisteminden oluşmaktadır. Döndürme aparatı, mevcut hot-wire anemometre sistemi ile uyumlu olup miniCTA yazılımının traverse kontrol programı ile kontrol edilebilmektedir. Kuvvet ölçümü yük hücresinin yazılımı tarafından yapılmakta ve hücum açısına bağlı olarak verilen koordinattaki değişim program tarafından hesaplanarak kaldırma kuvveti doğrudan elde edilmektedir.



Fotoğraf 2. 11. Kuvvet-moment ölçüm sisteminin yatay ve düşey bağlantılı görünümü (Akansu ve Karakaya, 2013).

2.4.2.2 Duman-tel yöntemi ile akış görüntülemesi

Duman-tel (smoke-wire) yöntemi, direnci yüksek iletken bir tel üzerine düşük sıcaklıklarda buharlaşabilen bir sıvının damlatılmasıyla elektrik akımı verilerek sıvının buharlaşması prensibine dayanmaktadır. Tele önceden damlatılan duman sıvısı tel üzerinde çok küçük tanecikler halinde asılı kalmakta ve telin ısınmasıyla birlikte buharlaşarak akışın izlemiştir olduğu yolu takip etmektedir. Böylece buharlaşan sıvı (duman) test bölgesi içerisindeki model eleman etrafındaki hava akımının karakteristiği hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmada duman teli olarak 250 µm çapında direnç teli, duman sıvısı olarak da sıvı parafin kullanılmıştır. Buharlaştırılan sıvı parafinin görüntülenmesinde Fujifilm HS20EXR fotoğraf makinesinin video çekme özelliği kullanılmıştır(Akansu ve Karakaya, 2013).



Fotoğraf 2. 12. NACA0015 model uçak kanadı etrafındaki akış yapısının duman tel yöntemi ile görüntülenmesi (Akansu ve Karakaya, 2013).

2.4.2.3 Kuvvet ölçümünden elde edilen akış karakteristikleri ve fiziksel büyüklükler

Ölçümler ve onların analizlerinden elde edilecek olan akış karakteristikleri ve boyutsuz sayılar aşağıda verilmiştir(Akansu ve Karakaya, 2013).

Atalet kuvvetlerinin, viskoz kuvvetlere oranı olan Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{U_{\infty} \cdot D}{\nu} \quad (2.1)$$

şeklinde yazılmaktadır. Buradaki U_{∞} serbest akış hızı, D model çapı veya cismin akışa

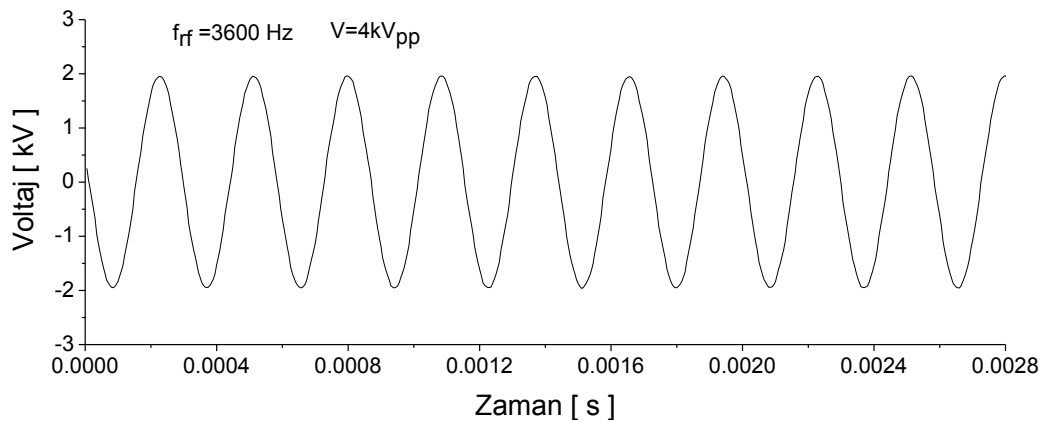
dik kenar uzunluğu, v akışkanın kinematik viskozitesidir. Uçak kanadı gibi aerodinamik yapıları cisimler için D yerine uçak kanadı kanat veter uzunluğu olan C kullanılmaktadır. Bu çalışmada Re sayısının, uçak kanadı için 10^4 ile 10^5 aralığında elde edilmiştir. Cisme etki eden sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinin, cismin iz düşüm alanına etki eden akışkanın dinamik kuvvetine oranları sürüklenme ve kaldırma kuvvet katsayıları olarak;

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2 A} \quad C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2 A} \quad (2.2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Buradaki F_D ve F_L cisme etki eden sürüklenme ve kaldırma kuvvetleridir. Bu kuvvetler sürtünme ve basınç kuvvetleri nedeniyle oluşan toplam kuvvetlerdir. Deneylerde atmosfer basıncı ve sıcaklığı ölçülerek akışkanın yoğunluğu deney şartları için belirlenmektedir.

2.5 Sinyal Modülasyonunun Yapılması

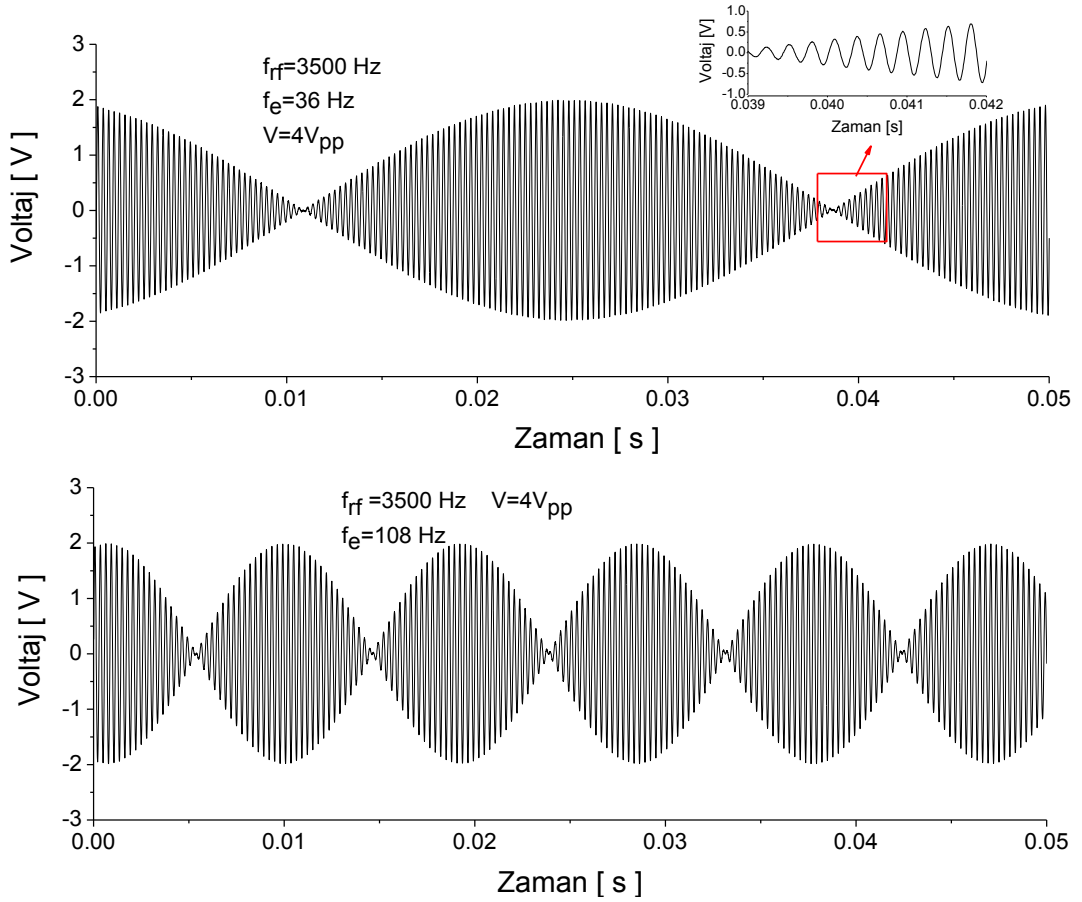
Bu çalışmada plazma aktüatörle plazma oluşturulmasında kullanılan sürüm sinyalinin farklı yapıları kullanılmıştır. Bu sinyaller, sinüzoidal formdaki iki sinyalin çarpılarak elde edilen modifiye sinyalin belirli bir süresinin periyodik olarak silinmesinden (duty cycle) elde edilmiştir. Şekil 2.8'de plazmanın oluşturulmasında kullanılan temel sinyal olan sinüzoidal sinyal görülmektedir. Bu çalışmada özellikle sinyal üzerinde genlik modülasyonu ve farklı çalışma döngüsü yüzdeleri kullanılmıştır. Bu şekilde oluşturulan 7 farklı sinyal yapısı aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.



Şekil 2. 8. Sürekli sinüzoidal sinyal sürümü

2.5.1 Artan azalan genlikli sinyal modülasyonu: SM1(AAG)

Artan azalan genlikli sinyal yapısı Şekil 2.9'da görülmektedir. Üsteki şekilde görülen sinyal, 18Hz ve 1.44V'luk sinyalle 3600Hz ve 1.44 V'luk iki sinüzoidal sinyalin çarpımından uyarım frekansı 36Hz, plazma sürüm frekansı 3600 Hz ve $4V_{pp}$ olarak elde edilmiştir. Bu sinyal yüksek voltaj üreticisinden 2000 kat artırılarak verilen sinyal formunda 8kVpp olarak aktüatör beslenmiştir. Bu sinyal formu birinci sinyal modülasyonu olup SM1(AAG) olarak adlandırılmıştır. Alttaki şekilde ise uyarım frekansının 108Hz olarak elde edildiği durumdaki sinyal yapısı görülmektedir.

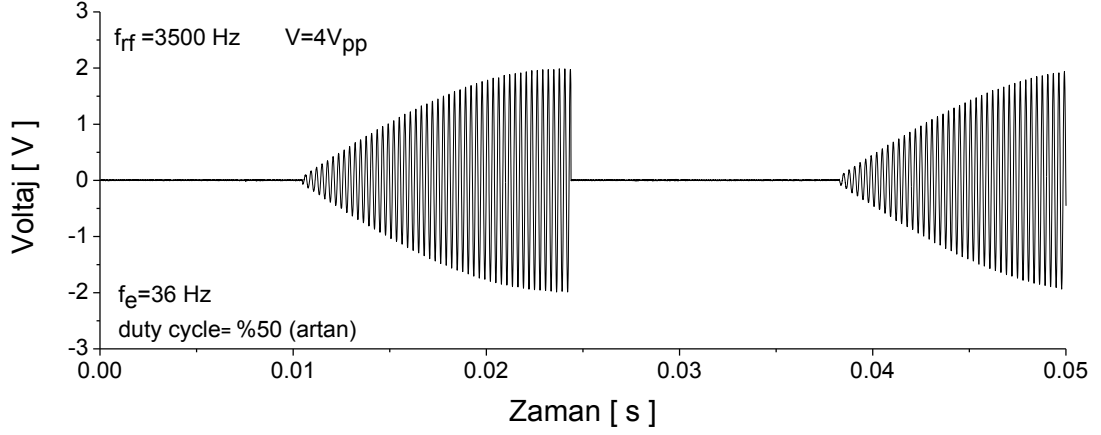


Şekil 2. 9. Uyarım frekansının 36Hz ve 108Hz değerinde sürücü sinyalin artan azalan genlikli olarak elde edilmesi

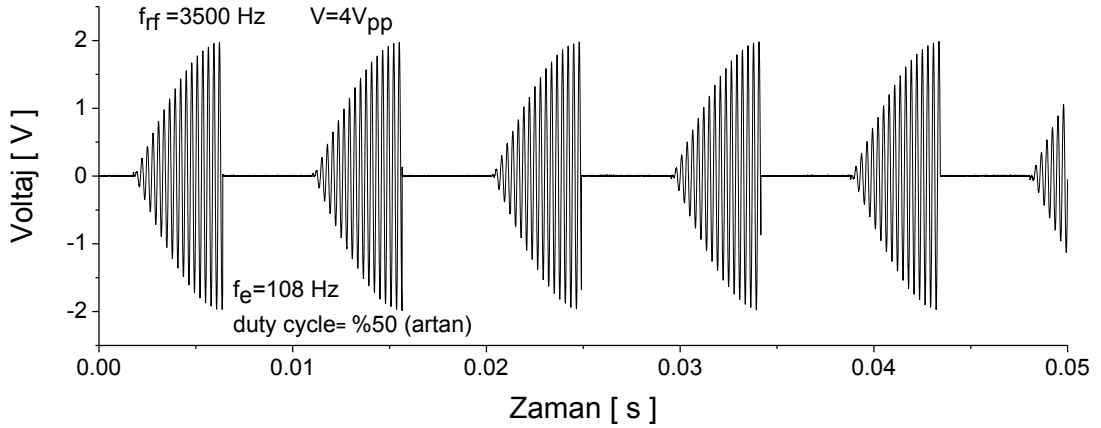
2.5.2 Artan genlikli yüzde elli aktif sinyal modülasyonu: SM2(ARGYE)

Şekil 2.10 ve 11'de artan genlikli ve yüzde elli pasif süreli sinyal görülmektedir. Bu sinyal, yukarıda bahsedilen artan azalan genlikli sinyalin azalan kısmının filtre edilmesi

ile elde edilmiştir. İkinci sinyal modülasyonu formu SM2(ARGYE) olarak adlandırılmıştır. Burada SM2; ikinci sinyal modülasyonu formu olduğunu, **ARGYE** ise **Artan Genlik Yüzde Elli** aktif sinyali ifade etmektedir.



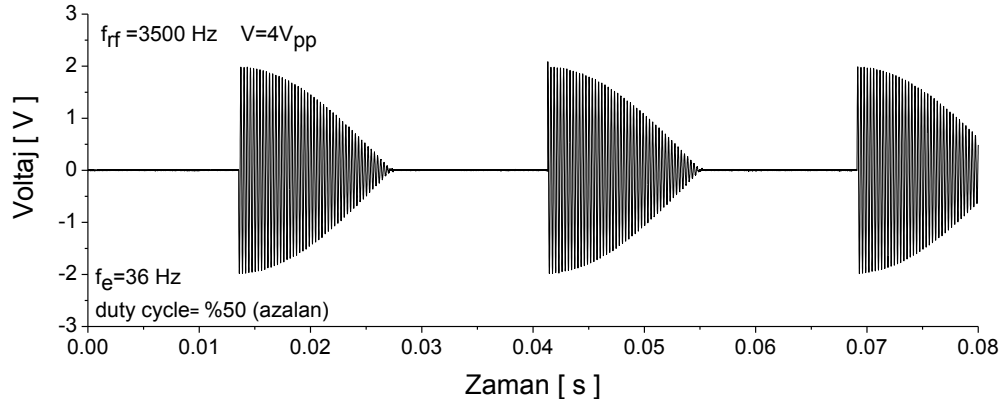
Şekil 2. 10. Uyarım frekansının 36Hz değerinde sürücü sinyalin artan genlikli ve %50 duty cycle'lı olarak elde edilmesi



Şekil 2. 11. Uyarım frekansının 108Hz değerinde sürücü sinyalin artan genlikli ve %50 duty cycle'lı olarak elde edilmesi

2.5.3 Azalan genlikli yüzde elli aktif sinyal modülasyonu:SM3(AZGYE)

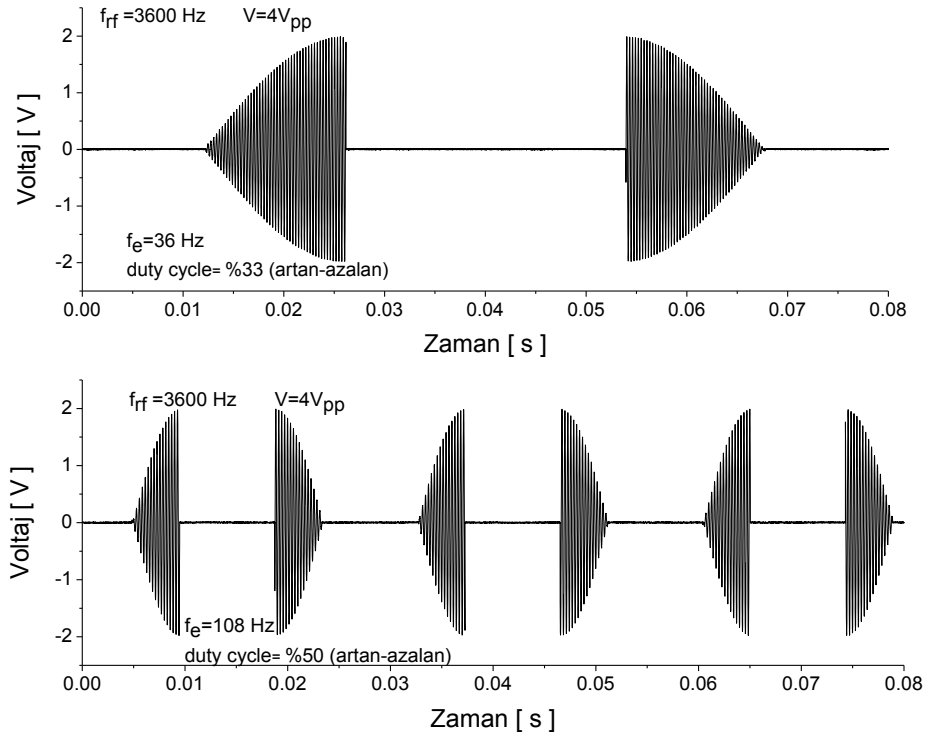
Şekil 2.12'de azalan genlikli ve yüzde elli pasif süreli sinyal görülmektedir. Bu sinyal, yine artan azalan genlikli sinyalin bu sefer artan kısmının filtre edilmesi ile elde edilmiştir. Bu üçüncü sinyal modülasyonu formu SM3(AZGYE) olarak adlandırılmıştır. Burada SM3; üçüncü sinyal modülasyonu formu olduğunu, **AZGYE** ise **AZalan Genlik Yüzde Elli** aktif sinyali ifade etmektedir.



Şekil 2. 12. Uyarım frekansının 36Hz ve 108Hz değerlerinde sürücü sinyalin azalan genlikli ve %50 duty cycle'lı olarak elde edilmesi

2.5.4 Artan - iki yüzde elli pasif - azalan genlikli sinyal modülasyonu: SM4(ARGİYEPAZG)

Şekil 2.13'de artan azalan genlik arasında yüzde elli pasif süreli sinyal görülmektedir. Bu sinyalde, artan azalan genlikli sinyalin artan kısmından sonra gelen azalan kısmı ve ikinci periyodun artan kısmı filtre edilerek ve azalan kısmın aktif kalmıştır.

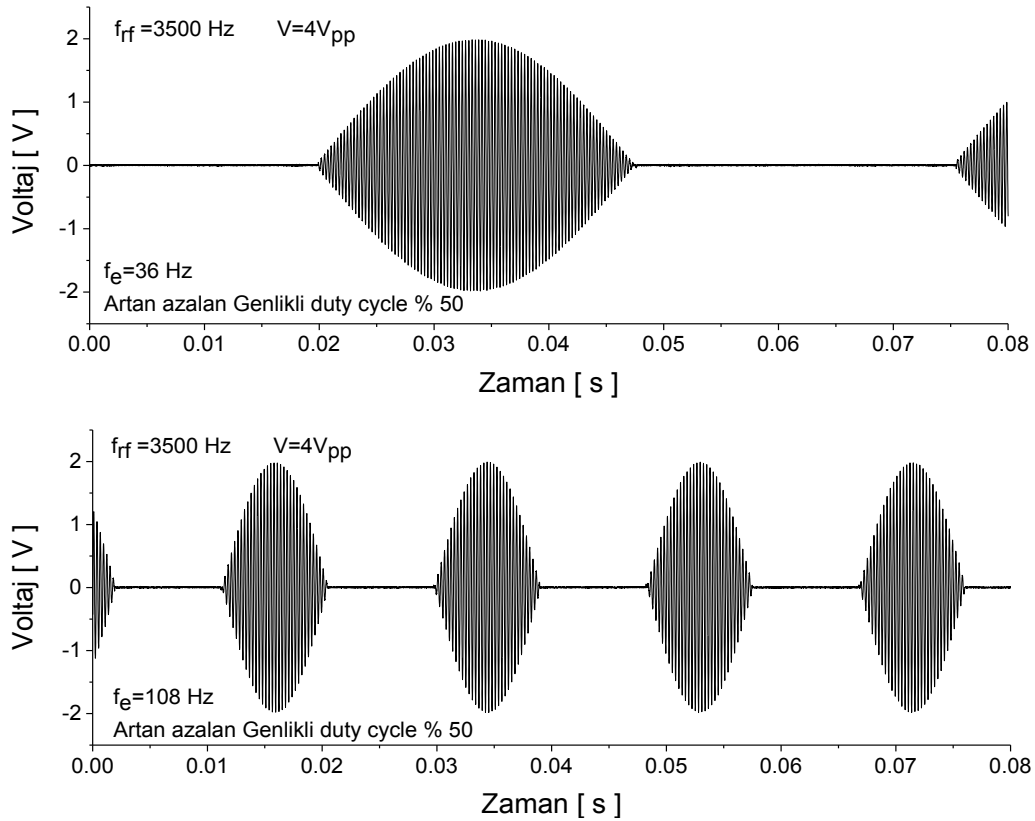


Şekil 2. 13. Uyarım frekansının 36Hz ve 108Hz değerinde sürücü sinyal (artan genlik - %50 pasif) + (%50 pasif – azalan genlik)+(bir periyod pasif, %33 duty cycle)

Toplam sinyal periyodu olarak duty cycle oranı %33 olarak elde edilmektedir. Bu dördüncü sinyal modülasyonu formu SM4(ARGİYEPAZG) olarak adlandırılmıştır. Burada SM4; dördüncü sinyal modülasyonu formu olduğunu, **ARGİYEPAZG** ise **AR**tan **Genlik İki Yüzde Elli Pasif** **AZ**alan **Genlikli** sinyali ifade etmektedir.

2.5.5 Artan-azalan genlikli yüzde elli pasif sinyal modülasyonu: SM5(AAGYE)

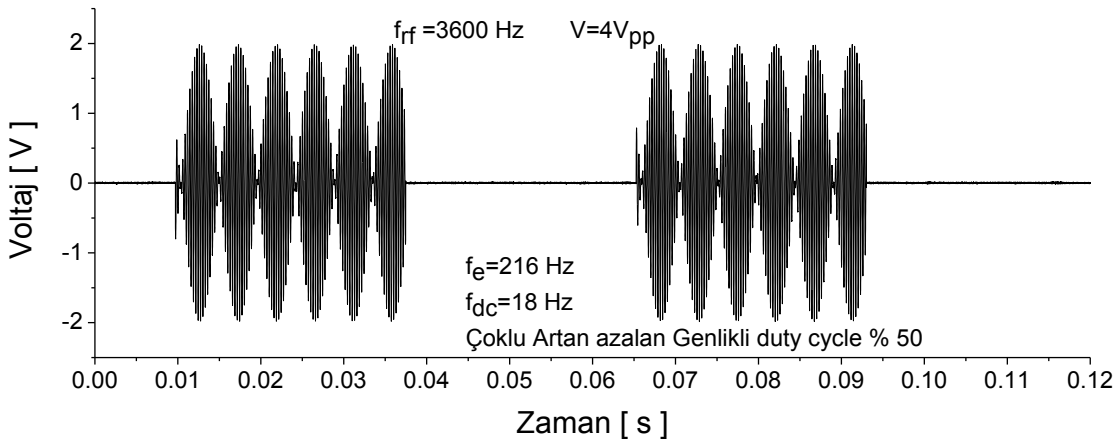
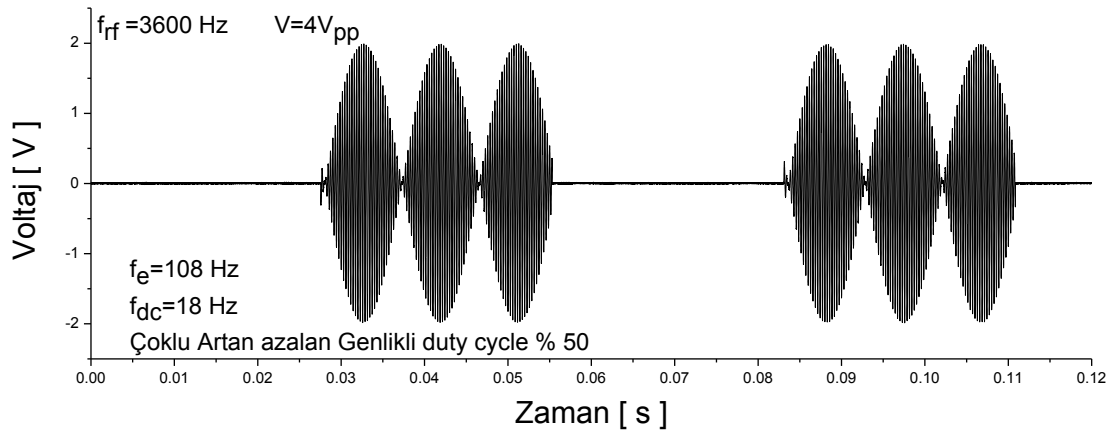
Şekil 2.14’de artan azalan genlik sonrası yüzde elli pasif süreli sinyal görülmektedir. Bu sinyal, artan azalan genlikli sinyalin birinci artan-azalan periyodundan sonraki ikinci periyodun filtre edilmesi ile elde edilmiştir. Bu beşinci sinyal modülasyonu formu SM5(AAGYE) olarak adlandırılmıştır. Burada SM5; beşinci sinyal modülasyonu formu olduğunu, **AAGYE** ise **Artan Azalan Genlikli Yüzde Elli** pasif sinyali ifade etmektedir.



Şekil 2. 14. Uyarım frekansının 36Hz ve 108Hz değerlerinde sürücü sinyalin artan-azalan genlikli ve %50 duty cycle’lı olarak elde edilmesi

2.5.6 Çoklu Artan-azalan genlikli yüzde elli pasif sinyal modülasyonu: SM6(ÇAAGYE)

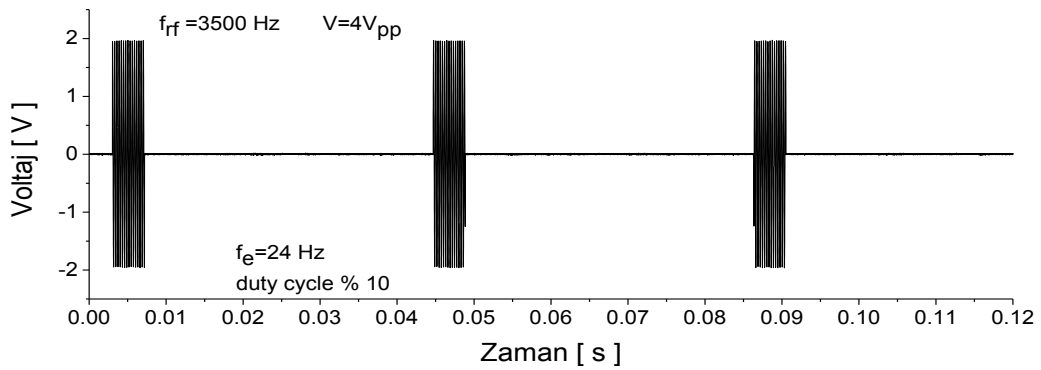
Şekil 2.15s'de çoklu artan azalan genlik sonrası yüzde elli pasif süreli sinyal görülmektedir. Bu sinyal, artan azalan genlikli sinyalin birden fazla artan-azalan periyodundan sonraki aynı sayıdaki periyodun filtre edilmesi ile elde edilmiştir. Burada duty cycle periyodunun frekansı 18Hz olarak sabit tutulmuş olup uyarım frekansının 108Hz olması durumunda aktif süreye üç adet artan azalan genlikli periyot sığmıştır. Bu beşinci sinyal modülasyonu formu SM6(ÇAAGYE) olarak adlandırılmıştır. Burada SM6; altıncı sinyal modülasyonu formu olduğunu, ÇAAGYE ise Çoklu Artan Azalan Genlikli Yüzde Elli pasif sinyali ifade etmektedir.



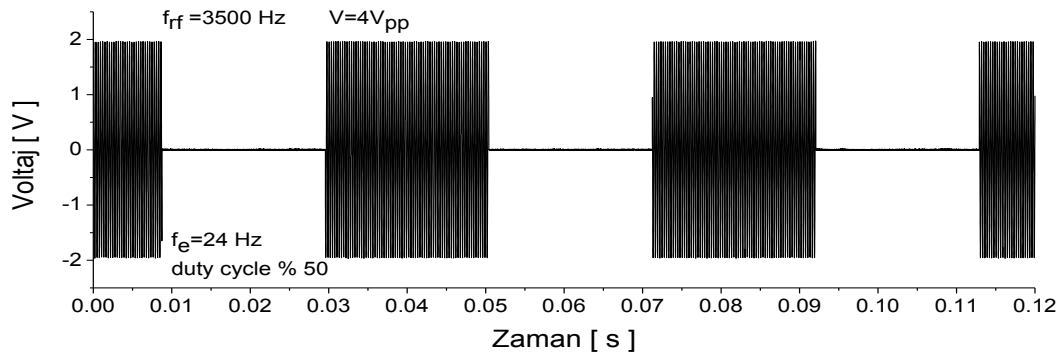
Şekil 2. 15. Uyarım frekansının 108 ve 216Hz değerlerinde, duty-cycle frekansı 18Hz iken sürücü sinyalin artan-azalan genlikli ve %50 duty cycle'lı olarak elde edilmesi

2.5.7 Sinüzoidal yüzde aktif pasif süreli sinyal: SM7(DutyCycle)

Bu çalışmada kullanılan diğer bir sinyal modülasyonunda literatürde duty cycle olarak ifade edilen ve tam sürüm sinüzoidal sinyalin verilen bir uyarım frekansının sahip olduğu periyodun belirli bir yüzdesinde açık ve belirli bir yüzdesinde ise kapalı kaldığı sinyal yapısıdır. Şekil 2.16'da 24 Hz'lik uyarım frekansının sahip olduğu periyodun ilk %10'luk kısmında sinüzoidal sinyal varken geri kalan %90'luk kısmında ise sinyal yoktur. Şekil 2.17'de ise %50 duty-cycle durumundaki sinyal sürümü görülmektedir.



Şekil 2. 16. Uyarım frekansının 24Hz değerinde %10 ve %50 duty cycle'lı olarak elde sürücü sinyalin elde edilmesi



Şekil 2. 17. Uyarım frekansının 24Hz değerinde %50 duty cycle'lı olarak elde sürücü sinyalin elde edilmesi

2.6 Belirsizlik Analizi

Bu çalışma için kullanılan büyüklere ait belirsizlik değerleri bu çalışmanın da parçası olduğu 110M056 numaralı proje raporundan alınmıştır (Akansu ve Karakay,2013). Buna göre, Reynolds sayısının belirsizlik değeri;

$$u_{Re} = \frac{w_{Re}}{Re} = \% 5.6 \quad (2.3)$$

olarak elde edilmiştir. Kaldırma kuvvet katsayısının belirsizliğinin değeri ise;

$$u_{C_L} = \frac{w_{C_L}}{C_L} = \% 12.26 \quad (2.4)$$

olarak elde edilmiştir.

BÖLÜM III

BULGULAR ve İRDELEME

Burada bu tez çalışmasında gerçekleştirilen sinyal modülasyonunun etkisinin incelendiği deney sonuçlarına geçmeden önce NACA0015 model airfoil etrafındaki akış yapısı ve plazma aktüatörünün akış kontrol etkisine yer verilmiştir. Bu bağlamda bu çalışmanın da bir parçası olduğu 110M056 nolu proje kapsamında yapılan akış görüntüleme ve ön deneylerin sonuçları burada yeniden sunulmuştur.

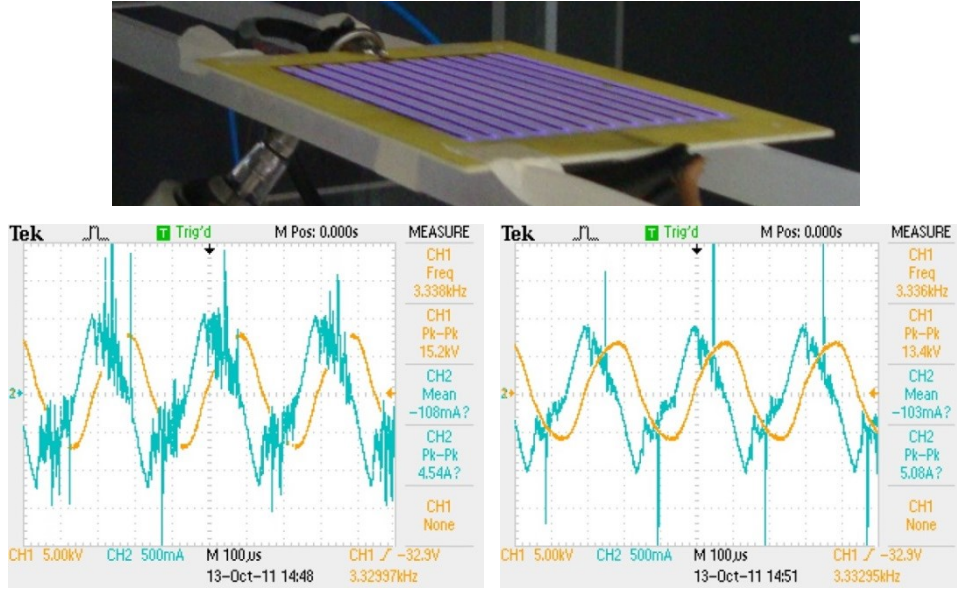
3.1 Plazma ve Akış Karakteristiği

Aerodinamik akış kontrol işlemlerine geçmeden önce plazma ve onun oluşturduğu yüzey akışına ait karakteristikler yapılan deneylerle elde edilmiştir. Öncelikle farklı levha düzenlemeleri üzerinde en uygun plazma yapısı ve akış hızlarının elde edilmesine çalışılmıştır. Bununla ilgili detaylı sonuçlar Akansu ve Karakaya (2013) tarafından proje sonuç raporunda sunulmuştur.

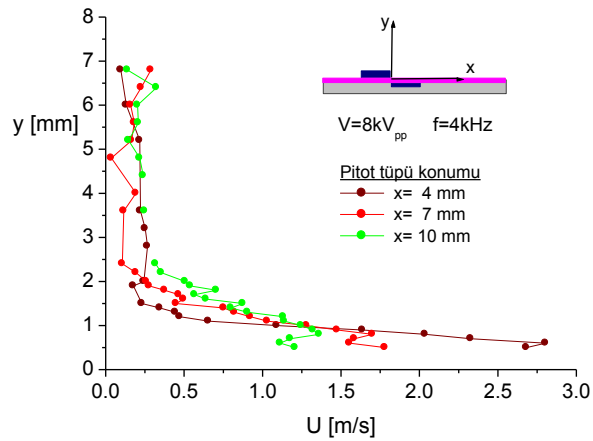
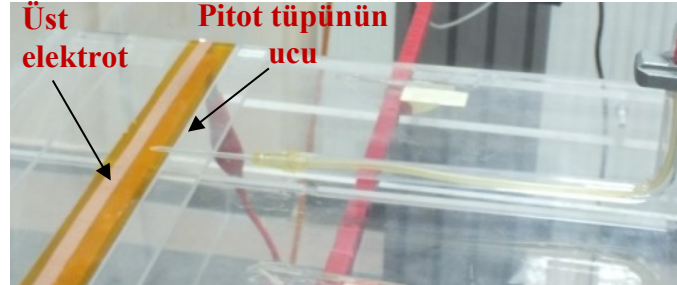
Fotoğraf 3.1’de baskı devre üzerinde oluşturulan çoklu aktüatörler üzerinde elde edilen plazma ve güç kaynağı trafosunun yüksek voltaj tarafından ölçülen voltaj ve akım değişimlerinin osiloskoptan alınan görüntüleri görülmektedir. Aktüatörün kapasitif etkisinden dolayı sinüzoidal formdaki voltaj sinyali ile akım sinyali arasında bir faz farkı oluşmaktadır. Akım ölçümlerindeki ani pikler, plazma oluşum anında sistemden çekilen ani akım yükselmelerini göstermektedir. Fotoğraf 3.2’de üst elektrota 3338Hz ve 15.2kVpp’lik voltaj uygulandığında akım sinyallerin de çok sayıda piklerin oluşması plazmanın filamentli oluştuğunu göstermektedir. Bununla birlikte, aynı frekansta voltaj seviyesinde hassas ayar yapılarak voltajın 13.4kVpp değerinde uygulanması durumunda, tekil akım pikleri elde edilmektedir. Bu yapı, plazma oluşumunda elektrotların bütün hücrelerinin aynı anda akım çektiğini ve kaliteli bir plazmanın üretildiğini göstermektedir (Akansu ve Karakaya, 2013).

Şekil 3.2’de ise tek elektrotlu aktüatör durumunda farklı istasyonlarda elde edilen hız dağılımları görülmektedir. Uygulanan elektrik parametrelerinin değerlerine bağlı olarak

değişmekle birlikte burada tek aktüatör durumunda bile 3m/s'lik plazma tarafından oluşturulan yüzey akış hızına ulaşılabilmektedir.



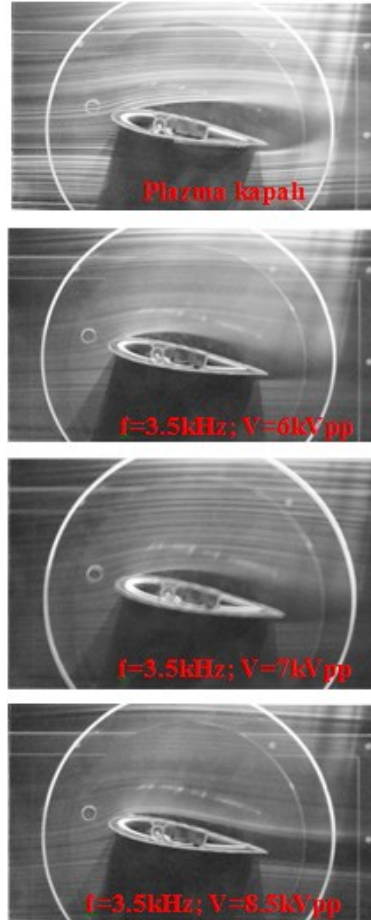
Fotoğraf 3. 1. Çoklu aktüatörlü levha üzerinde 15.2kV_{pp} ve 13.4 kV_{pp} değerlerinde elde edilen akım çekimi (Akansu ve Karakaya, 2013)



Fotoğraf 3. 2. Tek aktüatör arkasında pitot tüpü ile V=8kV_{pp} ve f=4kHz'de farklı x istasyonlarından elde edilen plazma tarafından oluşturulan yüzey hız dağılımları (Akansu ve Karakaya, 2013)

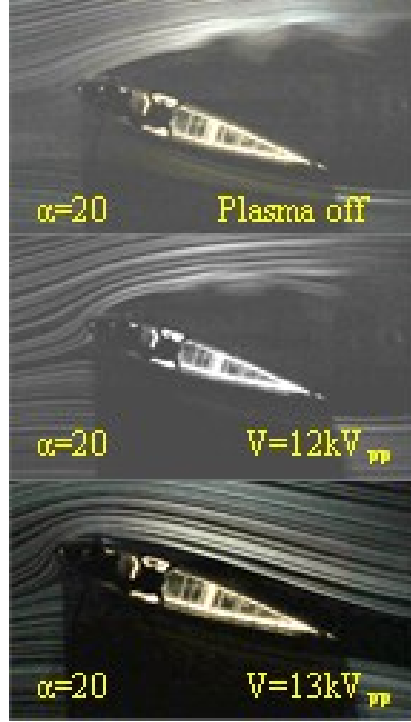
3.2 NACA0015 Uçak kanadı Etrafındaki Plazma Akış Kontrolünün Görüntülenmesi

Plazma aktüratör ile uçak kanadı etrafındaki akış kontrolünü incelemek için simetrik tipteki NACA0015 model uçak kanadı geometrisi seçilmiştir. NACA0015 uçak kanadı model etrafında EHD akış kontrolü için ilk önce duman-tel metodu ile akış görüntülenmesi yapılarak plazmanın akış yapısı üzerine etkisi elde edilmeye çalışılmıştır. Uçak kanadı veter uzunluğu $C=15\text{cm}$ olup serbest akım hızına göre elde edilen Reynolds sayısı ise 30000 dir. Tek aktüatör uçak kanadı üzerine $x/C=0.1$ konumunda bulunmaktadır. Fotoğraf 3.3'de $\alpha=10^\circ$ 'lik hücum açısında plazma aktüatörün akış ayrılması kontrolü ve voltajın etkisi görülmektedir. Burada görüldüğü üzere $f=3.5\text{kHz}$ ve 6KVpp değerindeki yüksek gerilimin oluşturduğu plazma ayrılan akışı yüzeye yaklaştırmaya ve iz bölgesi genişliğini daraltmaya başlamıştır. Voltajın 8.5kVpp değerine çıkması ile daha fazla akış kontrolü sağlanmıştır.



Fotoğraf 3. 3. $Re=30000$ değerinde ve $\alpha=10^\circ$ 'de voltajın akış kontrolü üzerine etkisi (Akansu ve Karakaya, 2013)

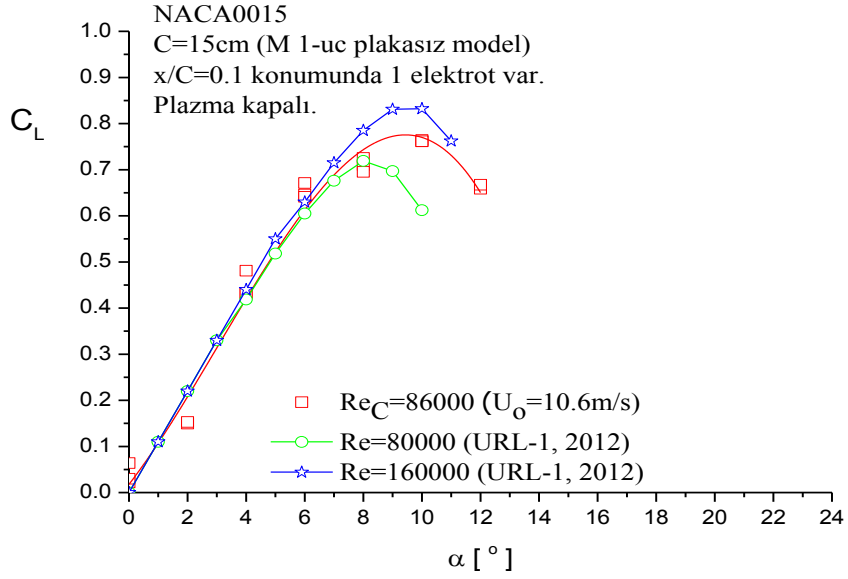
Daha yüksek hücum açılarında çıktığında plazmanın etkisi ortadan kalkmaktadır. Ancak Reynolds sayısının düşürülmesi ve voltajın daha da artırılmasıyla daha yüksek hücum açılarında kontrol sağlanabilmektedir. Fotoğraf 3.4’de Reynolds sayısının 15000 ve hücum açısının 20° değerinde plazma aktüatörünün etkisi görülmektedir. Bu hücum açısında 12kVpp’luk voltaj ile oluşturulan plazma akış kontrolü için yeterli olmazken, voltajın 13kVpp değerine çıkması ile akış kontrolü sağlanabilmiştir.



Fotoğraf 3. 4. $Re=15000$ değerinde, $\alpha=20^\circ$ hücum açısında plazmanın yüksek voltajın uçak kanadı üzerindeki akış ayrılması üzerine etkisi (Akansu ve Karakaya, 2013)

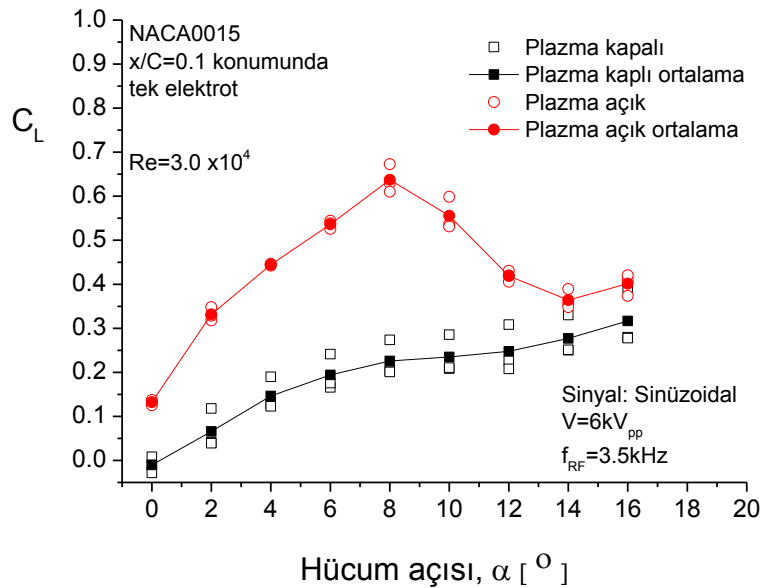
3.3 NACA0015 Model Uçak kanadı Etrafındaki Akış Yapısı

Akış görüntülemelerinin yapıldığı aynı modele ait kaldırma kuvvet katsayıları için deneyler yapılarak sunulmuştur. Bu uçak kanadına etki eden kaldırma kuvvet katsayısı hesabının doğruluğunu kontrol etmek için ilk önce plazma kapalı iken $Re=86000$ değerinde hücum açısı ile kaldırma kuvvet katsayısının değişimi elde edilerek literatürle karşılaştırılmıştır. Düşük Reynolds sayılarında maksimum C_L katsayısının elde edildiği hücum açısı artan Re sayısı ile artmaktadır. Şekil 3.1’de elde edilen C_L dağılımı literatürle yaklaşık uyum içinde olmakla birlikte, aradaki farklılıklar mevcut model üzerindeki elektrotların trip-wire benzeri bir etki yapmasından kaynaklanabilmektedir.



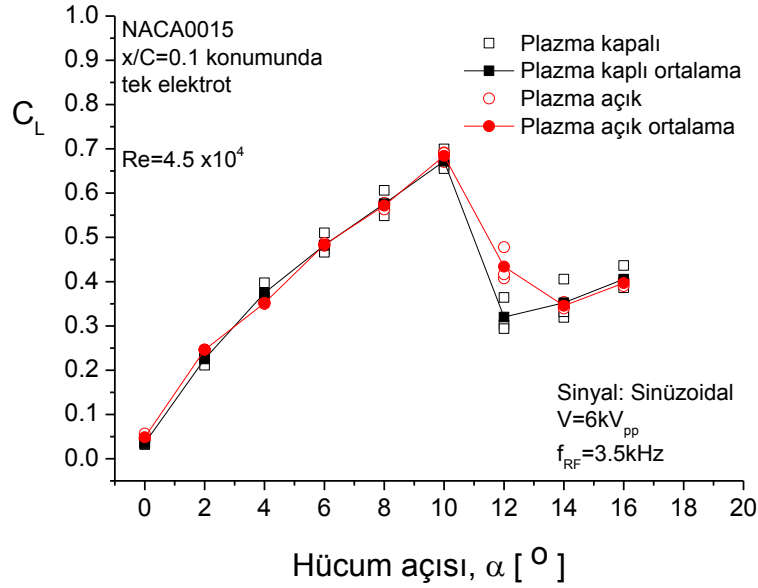
Şekil 3. 1. Uç plakasız NACA0015 modelinin kaldırma kuvvet katsayısının literatürle karşılaştırılması (Akansu ve Karakaya,2013)

Şekil 3.2’de $Re=30000$ değerinde uçak kanadı üzerine plazmanın kaldırma kuvveti üzerine etkisi görülmektedir. Burada $f=3.5kHz$ ve $V=6kV_{pp}$ sinüzoidal voltaj uygulandığında elde edilen plazmanın $\alpha=14^\circ$ ’ye kadar etkili olduğu ve daha büyük açılarda etkisini kaybetmektedir. Burada yüksek hücum açısında plazmanın etkisini kaybetmesinde iz bölgesinin büyümesinin yanı sıra $x/C=0.1$ konumundaki elektrotun, akışın uçak kanadı üzerindeki durma noktasına göre daha da uzaklaşması da etkili olmaktadır.

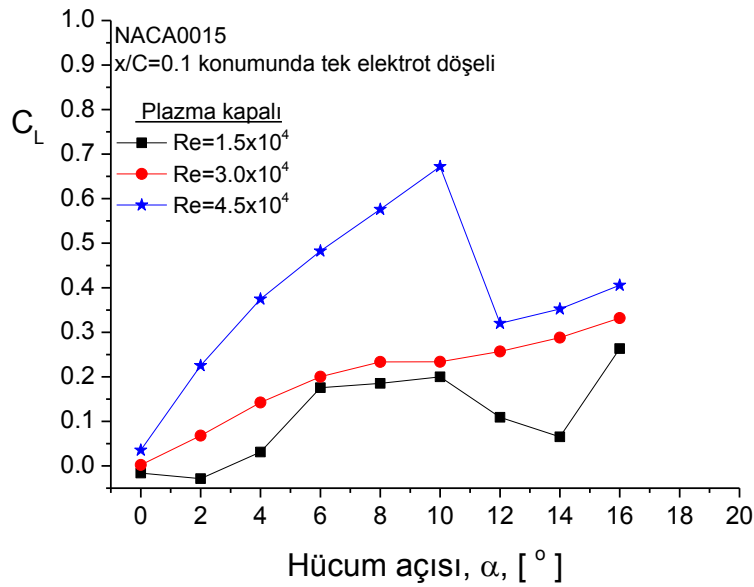


Şekil 3. 2. $Re=30000$ ’de plazmanın hücum açısına bağlı olarak C_L üzerine etkisi

Şekil 3.3’de Reynolds sayısının 45000 değerinde plazmanın hücum açısına bağlı olarak C_L üzerine etkisi verilmiştir. Reynolds sayısının artması plazmanın etkisi neredeyse tamamen ortadan kaldırmıştır. Şekil 3.2 ve 3.3’de görülen Reynolds sayısının 30000 değeri ile 45000 değeri arasındaki bu fark akış yapısındaki ciddi değişim nedeniyle oluşmaktadır. Akış yapısındaki bu değişim, plazma kapalı iken hücum açısı ile kaldırma kuvvetinin değişiminin verildiği Şekil 3.4’de net olarak görülmektedir.

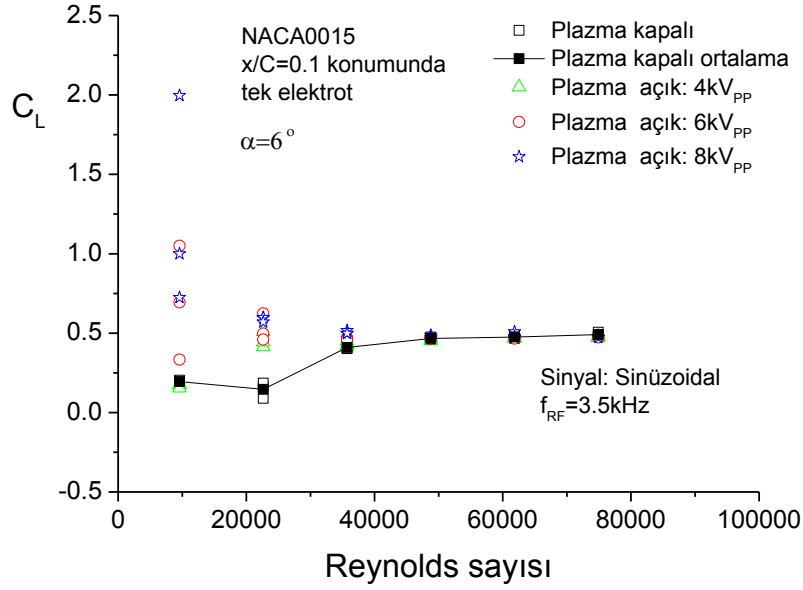


Şekil 3. 3. Re=45000’de plazmanın hücum açısına bağlı olarak C_L üzerine etkisi

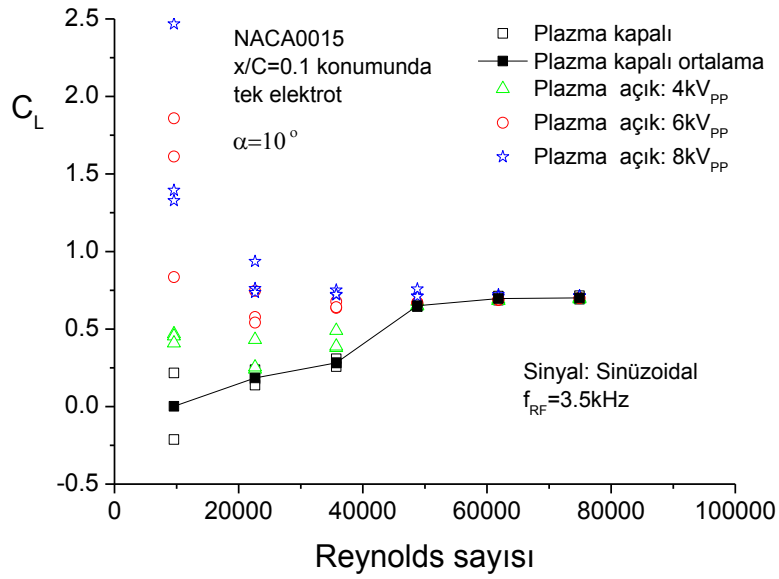


Şekil 3. 4. Plazma kapalı iken NACA0015 modelde hücum açısına bağlı olarak C_L üzerine etkisi

Bu çalışmada, çalışma aralığını doğru belirleyebilmek için Reynolds sayısının akış yapısı ve buna bağlı olarak plazma akış kontrolü üzerine etkisini ortaya koymak üzere hücum açısının 6° ve 10° değerlerinde Reynolds sayısı ile kaldırma kuvvetinin değişimi elde edilerek Şekil 3.5 ve 3.6'da sunulmuştur. Burada $\alpha=6^\circ$ 'de plazma $Re=20000$ 'e kadar etki olurken, $\alpha=10^\circ$ 'de ise $Re=36000$ 'e kadar etkisini sürdürebilmektedir.



Şekil 3. 5. $\alpha=6^\circ$ 'de Reynolds sayısına bağlı olarak NACA0015 modelde plazma ile C_L 'nin değişimi

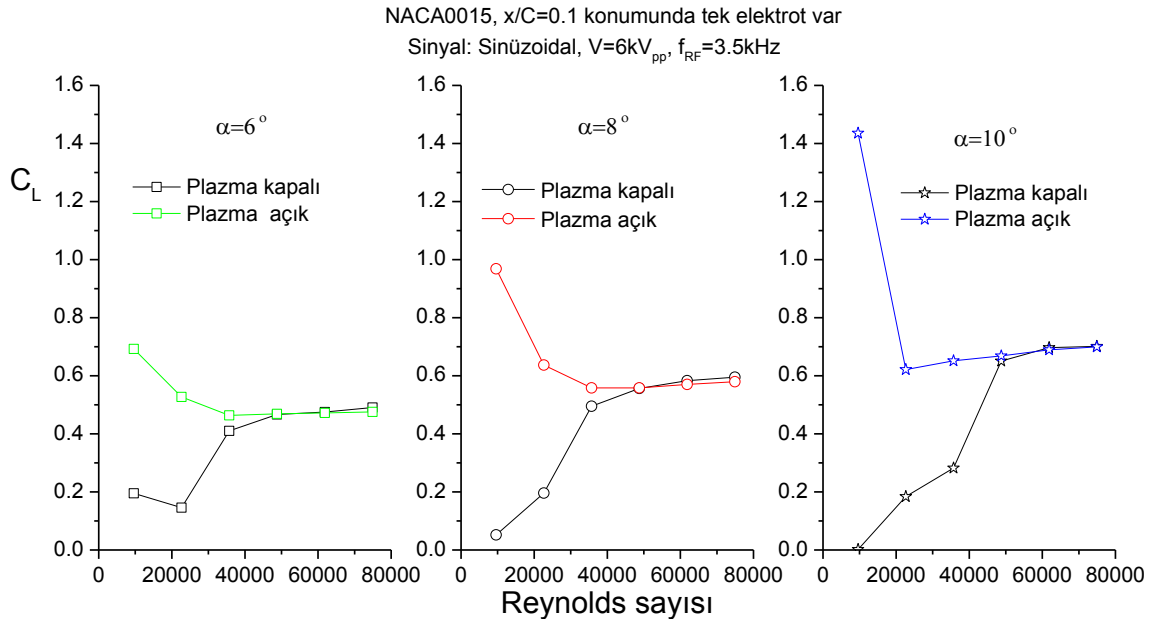


Şekil 3. 6. $\alpha=10^\circ$ 'de Reynolds sayısına bağlı olarak NACA0015 modelde plazma ile C_L 'nin değişimi

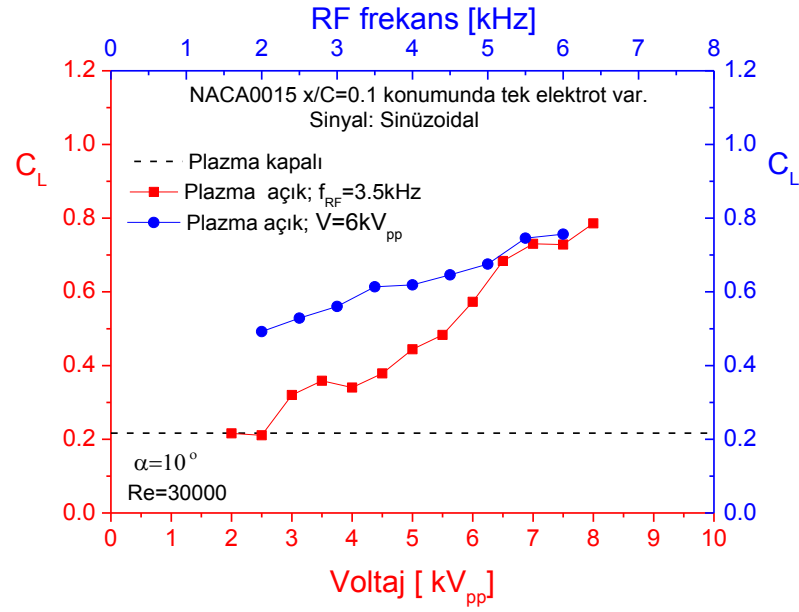
Şekil 3.7’de ise $\alpha=6, 8$ ve 10° ’de plazmanın etkisi ortalama değerleri verilerek gösterilmiştir. Burada görüleceği üzere düşük Reynolds sayılarında plazmanın etkisi çok daha fazla olmaktadır.

Plazma aktüatörün elektrik karakteristiklerinden olan voltaj ve sürüm frekansının değişiminin plazma akış kontrolü üzerine etkisi ise şekil 3.8’de verilmiştir. Burada görüleceği üzere voltajın yaklaşık $3kV_{pp}$ değerinden başlayarak plazma akış kontrolünün başladığı ve artan voltajla kaldırma kuvvetinin de önemli oran arttığı görülmektedir. Frekansın etkisi ise daha az olmakla birlikte ele alınan frekans aralığının dar olduğu dikkate alındığında yine önemli bir artış sağladığı anlaşılmaktadır.

Tam sürüm sinüzoidal sinyal kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardan plazmanın etkili olabildiği en yüksek Reynolds sayısı ve hücum açısı dikkate alınarak sinyal modülasyonunun etkisinin inceleneceği deneyler için $Re=36000$ ve $\alpha=10^\circ$ olarak belirlenmiştir. Bu deneylerde sürücü sinyalin RF frekansı $3.6kHz$ ve genliği $8kV_{pp}$ olarak sabit tutulmuştur. Sinyal modülasyonunun oluşmasında kullanılan uyarım frekansı ise $36Hz$ ile $360Hz$ arasında değişmektedir.



Şekil 3. 7. $\alpha=6, 8$ ve 10° ’de Reynolds sayısına bağlı olarak NACA0015 modelde plazma ile C_L ’nin değişimi



Şekil 3. 8. $\alpha=10^\circ$ 'de Voltaj ve RF frekansındaki değişime bağlı olarak C_L 'nin değişimi

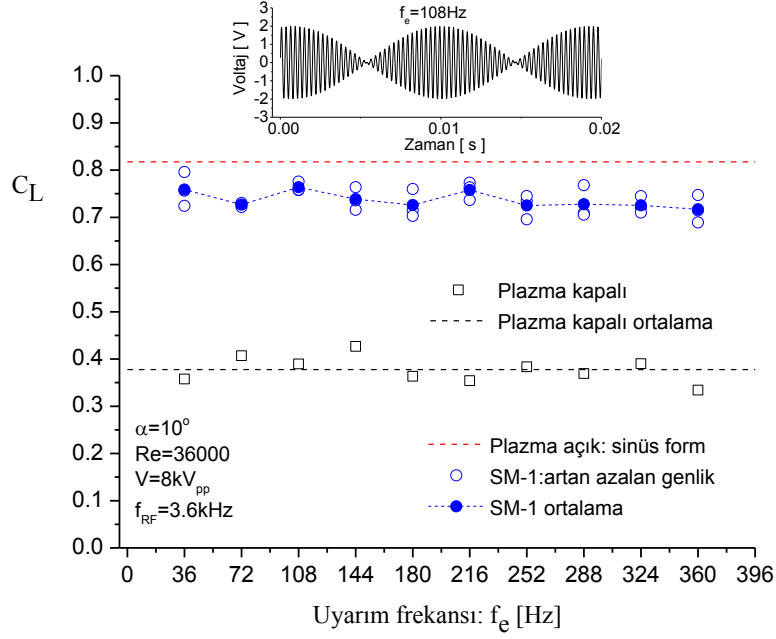
3.4 Sinyal Modülasyonunun Etkisi

Bu çalışmada plazmanın oluşturulmasında kullanılan sinüzoidal formdaki sürücü sinyalin farklı yapılarının etkisi incelenmiştir. Sinyal modülasyonunda esas olarak genlik modülasyonu ve duty cycle etkisi ele alınmıştır.

3.4.1 Genlik modülasyonlu sinyal yapılarının etkisi

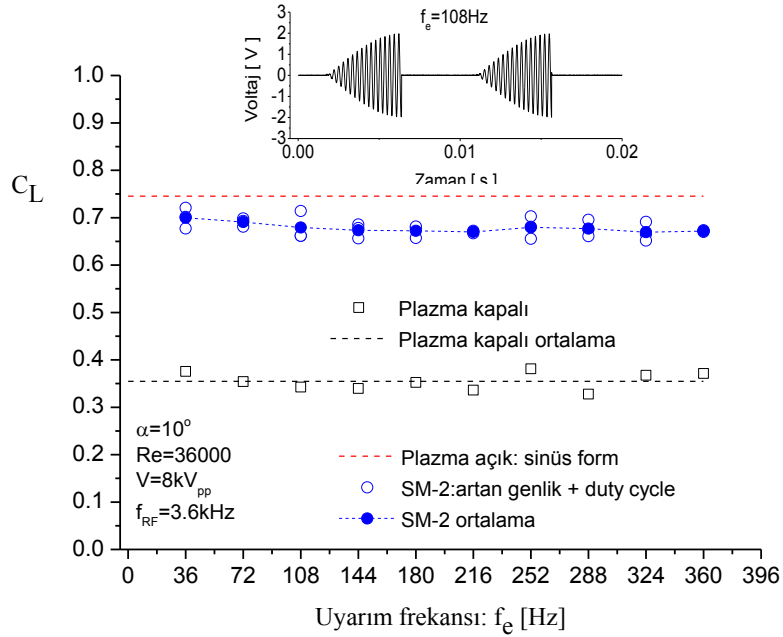
Bölüm II'de verildiği üzere 6 farklı yapıdaki genlik modülasyonlu sinyalin etkisi incelenmiştir. Şekil 3.9'da artan azalan genlik yapısındaki 1 nolu sinyal modülasyonunun etkisi görülmektedir. Burada sinyal modülasyonunun tam sürüm sinüzoidal formdaki durumda elde edilen kaldırma kuvvetinin bir miktar daha altında bir akış kontrolü sağladığı görülmektedir.

Uygulanan voltaj değerinde uyarım frekansına bağlı olarak bir miktar azalma olmasına rağmen tam sinüs formdakine yakın bir kaldırma kuvvetinde artış sağlanmıştır. Ancak uyarım frekansının net bir etkisi görülmemiştir.

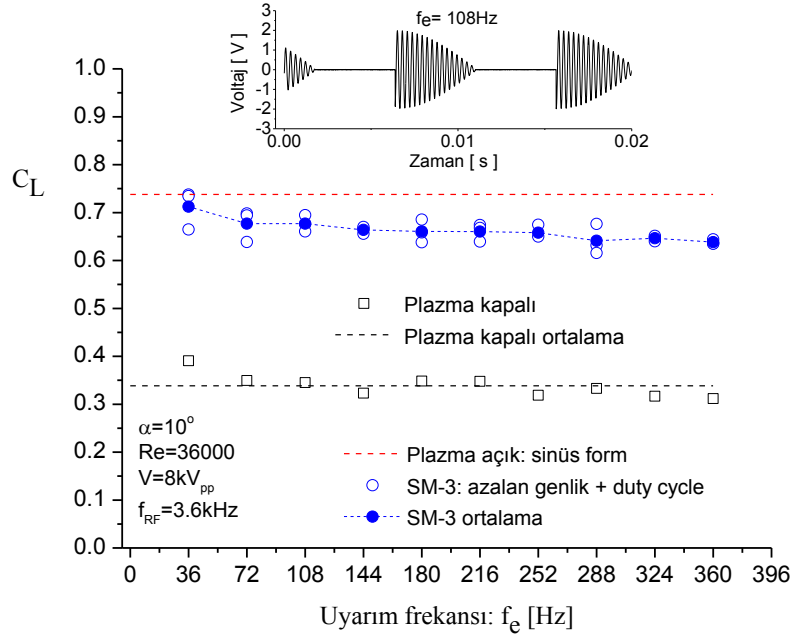


Şekil 3. 9. SM-1 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi

Artan azalan genlikli sinyal modülasyonu üzerinde farklı duty-cycle oranı ve zaman gecikmesi uygulanarak diğer sinyal yapıları elde edilmiştir. Şekil 3.10 ve 11’de sırası ile sadece artan (SM-2) ve sadece azalan (SM-3) sinyal yapıları %50 duty-cycle değeri ile birlikte elde edilmiştir.



Şekil 3. 10. SM-2 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi



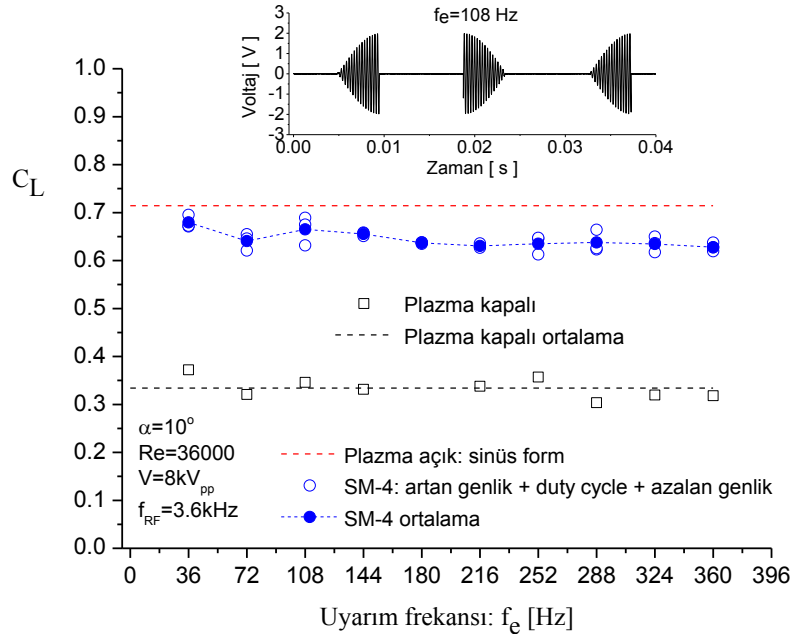
Şekil 3. 11. SM-3 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi

SM-2 ve SM-3 sinyal formlarında duty cycle değerinin %50 olması SM-1'e göre yarı yarıya daha az güç tükettiği manasına gelmektedir. Bu iki durumda elde edilen akış kontrolünde kaldırma kuvvetleri yine tam süreme çok yakın olarak elde edilmişlerdir. Ayrıca uyarım frekanslarının düşük değerlerinde çok az da olsa daha fazla bir kontrol sağlandığı görülmüştür.

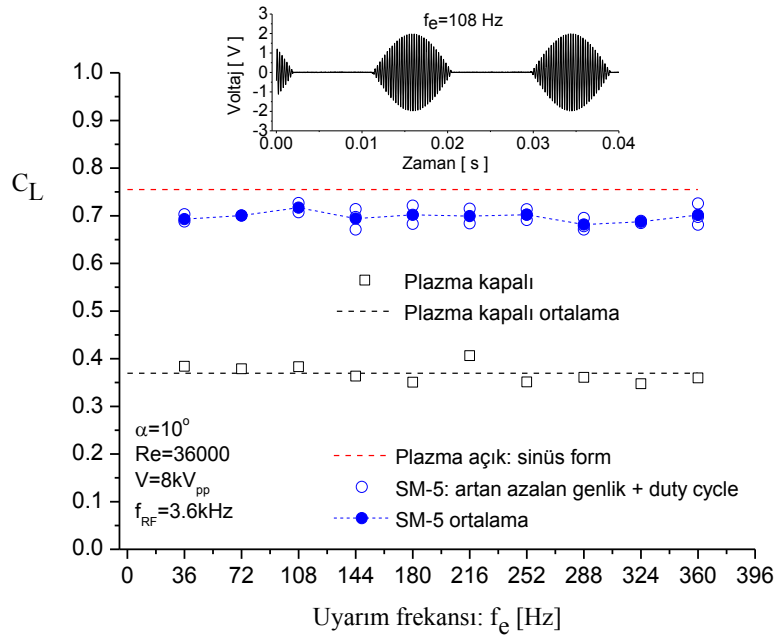
Dördüncü sinyal modülasyonu olan SM-4'te artan genlikten sonra geçen sürenin iki katı kadar boşluk ve azalan genlikten sonra geçen sürenin iki katı kadar yine boşluk bulunmaktadır. Bu durumda duty cycle %33 olarak gerçekleşmekte ve SM'in üçte biri kadar güç tüketmektedir. Bu durumda elde edilen kaldırma kuvvetindeki değişim Şekil 3.12'de görülmektedir. Güç tüketiminin üçte bir olmasına rağmen yine tam sürüme yakın bir kaldırma kuvvetinde iyileşme elde edilmiştir.

Şekil 3.13'te SM-5 durumundaki uyarım frekansı ile kaldırma kuvvet katsayısının değişimi görülmektedir. Bu sinyal modülasyonunda da duty cycle %50 olarak etki etmektedir. SM-1'deki artan azalan sinyal yapısında ancak iki sinyalden birinin iptal edildiği durumdur. Ortalama bir değişim olarak bakıldığında en fazla etkinin SM-5 durumunda olduğu görülmektedir. Plazma kapalı durumda 0.37 civarında elde edilen

kaldırma kuvvet katsayısı, plazmanın tam sürüm değeri olan 0.76 biraz altında, 0.7 civarında elde edilmiştir. Güç tüketimi yarı yarıya azalmasına karşın kaldırma kuvveti neredeyse iki katına çıkmıştır.

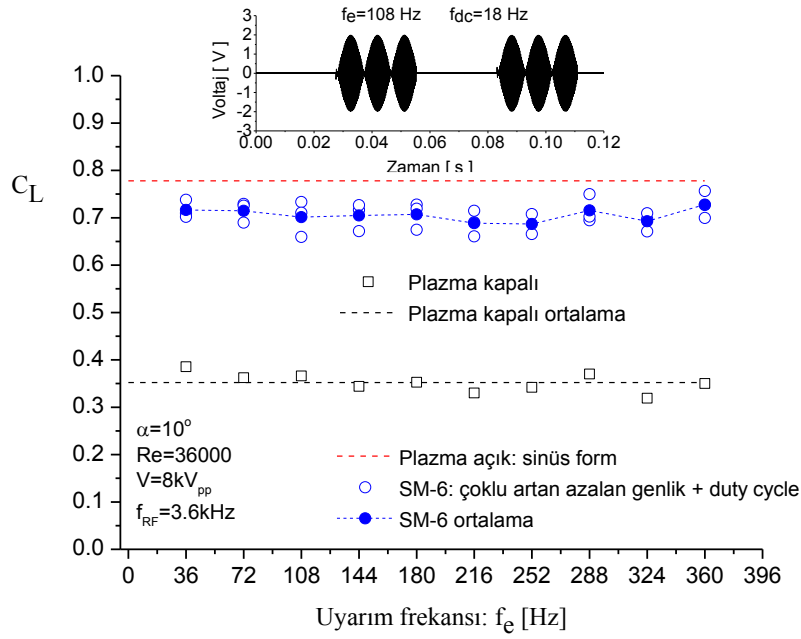


Şekil 3. 12. SM-4 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi



Şekil 3. 13. SM-5 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi

Diğer bir sinyal formu olarak Şekil 3.14’de görülen çoklu azalan artan sinyal ve %50 duty cycle etkisi oluşturulmuştur. Bu formda diğerlerinden farklı olarak birde duty cycle frekansı kullanılmıştır. Bu frekans 18 Hz’de sabit tutulmuş olup, bu frekansın bir periyotunun ilk yarısına uyarım frekans değerine bağlı olarak birden fazla artan azalan sinyal formu düşmektedir. Örneğin, $f_e=108$ Hz durumunda 3 tane artan azalan sinyal düşerken, $f_e=36$ Hz durumunda ise 1 tane artan azalan sinyal oluşmaktadır. Bu yapıdaki sonuçlarda yine diğer formdakilerine benzer olarak elde edilmiştir.



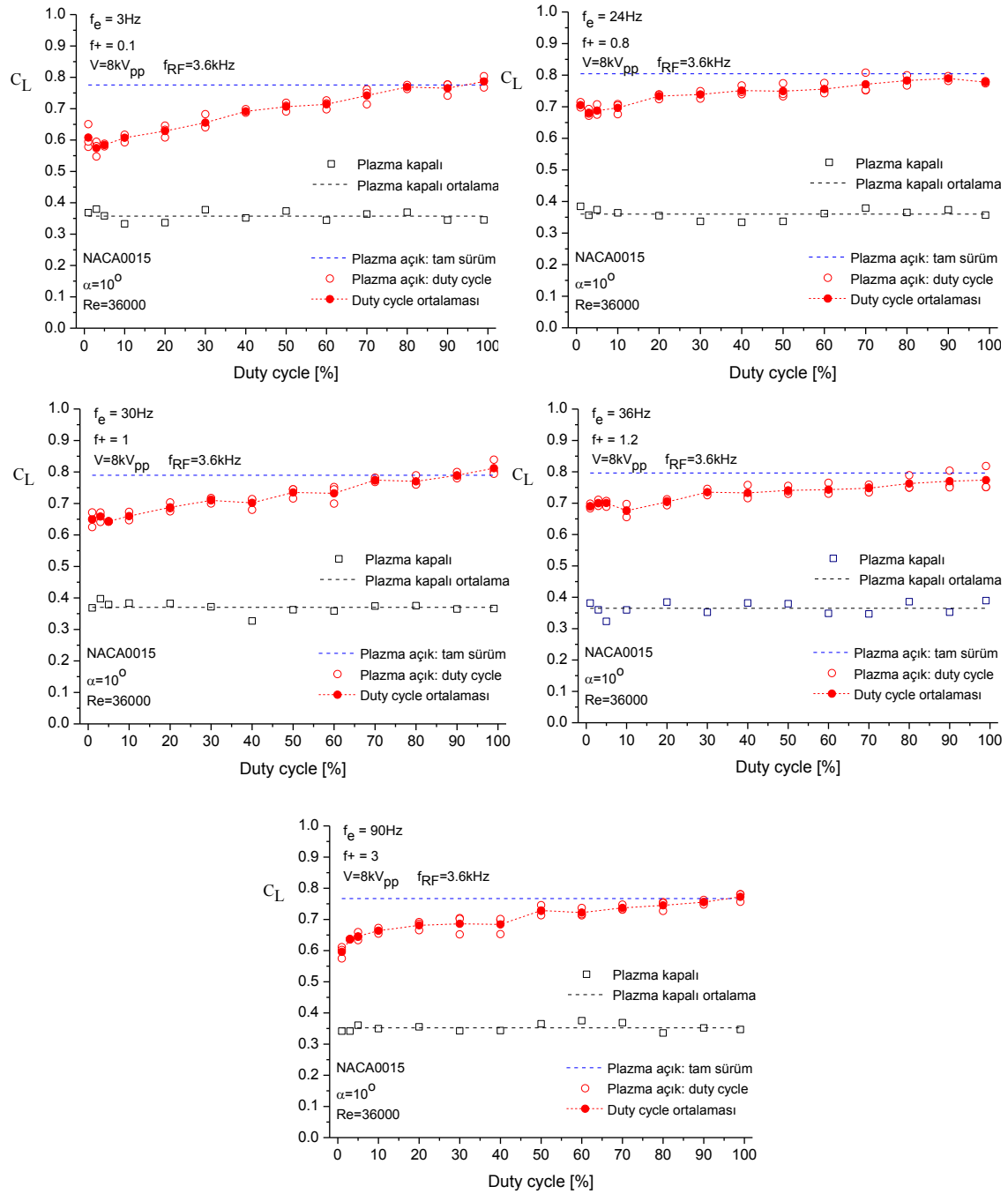
Şekil 3. 14. SM-6 durumundaki akış kontrolünün uyarım frekansına bağlı olarak kaldırma kuvveti üzerine etkisi

SM-1’den SM-6’ya kadar olan sinyal yapılarında sonuçlar birbirine benzer olarak tam sürüm sinyal etkisine yakın çıkmakla birlikte farklı formlarda daha az güç tüketiminin olması sinyal modülasyonunun önemli etki oluşturabileceğini göstermektedir.

3.4.2 Duty cycle modülasyonlu sinyal yapılarının etkisi

Diğer bir sinyal modülasyonu olarak, tam sürüm sinüzoidal sinyal yapısında sadece duty cycle etkisini ortaya koymak üzere farklı uyarım frekanslarında ölçümler yapılmıştır. Uyarım frekansı olarak 3, 24, 30, 36 ve 90 Hz değerleri kullanılmıştır. Bu uyarım frekans değerleri boyutsuz uyarım frekansı olan f^+ ’nın 1 değeri civarı dikkate

alınarak belirlenmiştir. Şekil 3.15’de bu uyarım frekanslarında % duty cycle oranına bağlı olarak kaldırma kuvvetindeki değişimler görülmektedir.



Şekil 3. 15. Duty cycle modülasyonlu sinyal yapılarında farklı uyarım frekanslarında sürülen sinyallerde, % duty cycle değeri ile kaldırma kuvvetinin değişimi

Şekil 3.15’deki bütün uyarım frekanslarına ait grafiklerde görüldüğü üzere %1 olarak uygulanan en düşük duty cycle durumunda bile plazma akış kontrolünün etkisi bulunmaktadır. Uyarım frekansının 3Hz olduğu durumda duty cycle’ın en düşük

değerinde kaldırma kuvvet katsayısı 0.35'lerden 0.6 civarına kadar yükselmiştir. Bu değer tam sürüme ait olan 0.78 değerinin altında kalmakla birlikte güç tüketimi açısından %1 mertebesinde oluşu dikkate değer bir etki olarak karşımıza çıkmaktadır. Uyarım frekansının etkisi ile duty cycle durumunda elde edilen eğriler tam sürüm değerine bir miktar daha yaklaşmıştır. Özellikle duty cycle'ın çok düşük değerlerinde akış kontrolünün sağlanabiliyor olması daha yüksek voltajlarda nano saniyelerde puls olarak üretilecek sinyallerin daha etkili olabileceğini göstermektedir. Literatürde de bu yöndeki çalışmalara olan eğilimin daha fazla arttığı görülmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada aktif akış kontrol yöntemlerinden biri olan plazma aktüatörün NACA0015 model uçak kanadı etrafındaki akış kontrolü üzerine etkisi incelenmiştir. İlk önce plazma aktüatör sinüzoidal formdaki yüksek voltaj ile sürülerek plazma parametrelerinin etkilerine bakılmış ve bu parametrelerin hangi ölçüde akış karakteristiklerinin iyileştirilmesinde kullanılabileceğinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Daha sonra $Re=36000$ ve $\alpha=10^\circ$ 'lik hücum açısında farklı sinyal yapılarındaki etkileri incelenmiştir. Plazma aktüatörünün sürüldüğü temel sinüzoidal sinyalin genliği $8kV_{pp}$ ve RF frekansı $3.6kHz$ 'de sabit tutulmuştur. Farklı uyarım frekanslarında elde edilen artan-azalan genlikli ve duty cycle oranlı modifiye sinyallerin kaldırma kuvveti üzerine etkisi araştırılmıştır.

Plazma aktüatörün NACA0015 model uçak kanadı üzerine akış kontrol etkisi Reynolds sayısının 50000 değerine kadar artan Reynolds sayısı ile azalarak devam etmektedir. Bundan daha büyük Reynolds sayılarında ise mevcut deneysel şartlar ve elektriksel parametrelerin uygulanan aralıklarında etkisini kaybettiği görülmüştür. Hücum açısının 10° olduğu durumda ve Reynolds sayısının 36000 değerinde plazma kapalı iken kaldırma kuvvet katsayısı 0.35 değerinde elde edilirken, plazmanın aktif hale geçmesi ile tam sürüm sinüzoidal sinyal durumunda kaldırma kuvvet katsayısı 0.8 değeri civarına kadar yükselmiştir.

Bu çalışmada 7 farklı genlik modülasyonlu ve duty-cycle değerli sinyal yapıları oluşturularak plazma bu sinyaller ile sürülmüştür. Bu sinyaller, sinüzoidal formdaki iki sinyalin çarpılarak elde edilen modifiye sinyalin belirli bir süresinin periyodik olarak silinmesinden (duty cycle) elde edilmiştir. Kullanılan modifiye edilmiş sinyal formları tam sürüm sinüzoidal sinyal sürümü ile karşılaştırıldığında çok daha az güç tüketimine karşılık yaklaşık aynı etkiyi oluşturdukları görülmüştür. Artan azalan genlik modülasyonlu sinyallerin uygulanması durumunda enerji tüketimi %50'nin çok daha altında olmasına rağmen kaldırma kuvvet katsayısı 0.75 civarına kadar (tam sürüm sinyalininkine yakın) artış sağlamaktadır. Sadece duty cycle etkisinin incelendiği sinyal formunda, tam sürümün %1'i kadar aktif süreye sahip sinyalin bile akış kontrolünde etkili olabileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

Akansu Y. E., “Küt ve Aerodinamik Yapılı Cisimler Etrafındaki Akış Kontrolünde Hücum Açısının Etkisinin Belirlenmesi”, *TÜBİTAK*, 105M241 Numaralı Proje Sonuç Raporu, 2011.

Akansu Y. E., Karakaya F., “Elektrohidrodinamik Yöntemler ile Aerodinamik Yapılı Cisimler Etrafındaki Akış Kontrolü” *TÜBİTAK*, 110M056 Numaralı Proje Sonuç Raporu, 2013.

Akansu, Y. E., “Ardışık Olarak Yerleştirilen Farklı Geometrilere Sahip Küt Cisimlerin Aerodinamik Karakteristiklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 2004.

Akansu Y. E., Karakaya F., and Şanlısoy A., “Active Control of Flow around NACA 0015 Airfoil by Using DBD Plasma Actuator”, *EPJCONF*, 45,01008, 2013

Akansu, Y. E., Karakaya, F., Şanlısoy, A., “Active Control of Flow around NACA 0015 Airfoil by Using DBD Plasma Actuator”, *EFM 2012-Experimental Fluid Mechanics Conference*, Hradec Kralove, Czech Republic, Conference Proceeding, 27-33, 2012.

Akansu, Y. E., Sarioglu, M., Yavuz, T., “Flow Around a Rotatable Circular Cylinder-Plate Body at Subcritical Reynolds Numbers”, *AIAA Journal*, 42-6, 1073-1080, 2004.

Asada K., Ninomiya Y., Oyama A., Fujii k., “Airfoil Flow Experiment on the Duty Cycle of DBD Plasma Actuator”, *AIAA* 2009-531.

Braun E. M., Lu F. K., Wilson D. R., “Experimental Research In Aerodynamic Control With Electric And Electromagnetic Fields, Progress In Aerospace Sciences”, *Progress in Aerospace Sciences*, 45, 30-49, 2009.

Çengel Y., A., Cimbala J., M., “Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları”, Engin T., Öz H., R., Küçük H., Çeşmeci Ş., *İzmir Güven Kitapevi*, Türkiye, 2008.

Corke T. C., Jumper E. J., Post M. L., Orlov D., Mclaughlin T. E., “Applications Of Weakly-Ionized Plasmas As Wing Flow-Control Devices”, *AIAA Meeting (Reno, Usa)*, 2002–0350, 2002.

Corke T. C., Post M. L., Orlov D. M., “Single Dielectric Barrier Discharge Plasma Enhanced Aerodynamics-Physics, Modeling And Applications”, *Experiments in Fluids*, 46, 1–26 2009.

Feng L., Jukes T. N., Choi K., Wang J., “Flow Control Over A NACA0012 Airfoil Using Dielectric-Barrier-Discharge Plasma Actuator With A Gurney Flap”, *Experimental Fluids*, 52, 1533-1546, 2012.

Im S., Cappelli A., “Dielectric Barrier Discharge Induced Boundary Layer Suction”, *Applied Physics Letters*, 100, 264103, 01-04, 2012.

Jukes T., Segawa T., Walker S., Furutani H., Iki N., and Takekawa S., “Active Separation Control over a NACA0024 by DBD Plasma Actuator and FBG Sensor”, *Journal of Fluid Science and Technology*, 7, 1, 2012.

Little J., Samimy M., “High-lift airfoil separation with dielectric barrier discharge plasma actuation”, *AIAA journal*, 48, 12, 2010.

Little J., Nishihara M., Adamovich I., Samimy M., “High-Lift Airfoil Trailing Edge Separation Control Using A Single Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator”, *Experiments In Fluids*, 48, 521-537, 2010.

Magnier P., Hong D., Leroy-Chesneau A., Bauchire J. M., Hureau J., “Control Of Separated Flows With The Ionic Wind Generated By A DC Corona Discharge”, *Experiments In Fluids*, 42, 815-825, 2007.

Roth J. R., “Aerodynamic flow acceleration using paraelectric and peristaltic electrohydrodynamic (EHD) effects of a one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP)”, *Physics of Plasmas*, 10, 5, 2003a.

Roth J. R., Madhan R. C. M., Yadav M., Rahel J., “Flow field measurements of paraelectric, peristaltic, and combined plasma actuators based on the one atmosphere uniform glow discharge plasma (OUGDP)”, *AIAA journal*, 2004.

Roth, J. R., “Industrial Plasma Engineering”, Volume 1: Principles , Chapter 3, *Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia*, USA, 1994.

Sarioglu, M., Akansu, Y. E., Yavuz, T., “Control of the Flow Around a Square Cylinder at Incidence by Using a Rod”, *AIAA Journal*, 43-7, 1419-1426, 2005.

Taleghani A. S., Shadaram A. , Mirzaei M., “Effects of Duty Cycles of the Plasma Actuators on Improvement of the Pressure Distribution Over NLF0414 Airfoil”, *IEEE Transaction on plasma Science*, 40, 1434-1440, 2012.

Thomas, F., O., Corke T., C., Iqbal, M., Kozlov, A., ve Schatzman, D., “Optimization of Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators for Active Aerodynamic Flow Control”, *AIAA Journal*, 47, 9, 2009.

Yeşildağ, C., “DBD Plazma Aktüatör ile Kare Kesitli Küt Cisim Etrafındaki Akış Kontrolünün İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

Adem Arif GÜLER 02.07.1984 tarihinde Kars'ta doğdu. İlk ve orta öğretimini Kars'ta Lise öğrenimini Niğde'de tamamladı. 2003 yılında girdiği Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Şubat 2009'da mezun oldu.2009-2010 yılları arasında Yedek Subay olarak askerlik görevini tamamladı. 2010 yılında Niğde Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Yine aynı bölümde proje asistanı olarak görev yaptı. 2011 Ağustos ayında halen çalışmakta olduğu Niğde İl Özel İdaresine Makine Bakım Şefi olarak atandı.

