



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DAİRESEL SENTETİK ÇARPAN JETİN ISI TRANSFERİ  
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

OKAN KOCABIYIK

Mayıs 2018

T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DAİRESEL SENTETİK ÇARPAN JETİN ISI TRANSFERİ  
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

OKAN KOCABIYIK

Yüksek Lisans Tezi

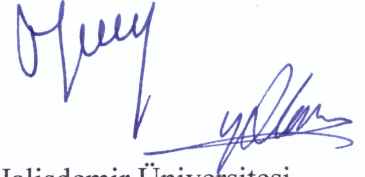
Danışman

Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU

Mayıs 2018

**Okan KOCABIYIK** tarafından **Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU**'nun danışmanlığında hazırlanan “**Dairesel Sentetik Çarpan Jetin Isı Transferi Karakteristiklerinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Tahir YAVUZ, Başkent Üniversitesi



Üye : Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fuat KAYA, Niğde Ömer Halisdemir 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.

...../...../20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR V.**

## **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.

Okan KOCABIYIK

## ÖZET

### DAİRESEL SENTETİK ÇARPAN JETİN ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

KOCABIYIK, Okan

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU

Mayıs 2018, 62 sayfa

Bu tez çalışmasında, hoparlör tipi bir aktüatörle emme ve üfleme yapılarak sentetik jet oluşturulmuş, belirli frekanslarda bu jetten elde ettiğimiz üfleme debisini, önceden homojen olarak ısıtılan levha yüzeyine çarptırılarak yüzey üzerindeki Nusselt sayısı dağılımı termal kamera yardımıyla gözlemlenmiştir. Sinüs, kare, ramp(üçgen) ve puls(kare sinyalin %25 duty cycle sürümü) dört farklı sinyal türünde elde edilen sentetik jetin akış alanı özellikleri ve çarpan jet ısı transferi karakteristikleri incelenmiştir. Hız ölçümlerinde 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 Hz frekans değerleri için kızgın tel anemometresi ile akış alanı hız ölçümleri yapılarak, anlık ve ortalama hız değişimleri elde edilmiştir. Çarpan jet ısı transferi deneyleri ise 4, 10 ve 15 Hz olmak üzere frekans ve jet çıkış ile hedef plaka arasındaki boyutsuz mesafe olan  $H/D$ 'nin (jet çıkışının plakaya mesafesinin lüle çapına oranı) 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 ve 10 değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

*Anahtar Sözcükler:* Sentetik jet, lüle, jet akış yapısı, Nusselt sayısı,  $H/D$

## SUMMARY

### INVESTIGATING OF HEAT TRANSFER CHARACTERISTIC WITH THE ROUNDED SYNTHETIC IMPINGING JET

KOCABIYIK, Okan

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU

May 2018, 62 pages

In this thesis study, a synthetic jet is formed by suction and blowing with a speaker type actuator. At certain frequencies, the jet flow (blowing time) inclined to the surface of the plate that was heated homogeneously. The Nusselt number distribution on the surface is observed with a thermal camera. The synthetic jet flow field and impinging jet heat transfer characteristics are investigated depending on four different signal types such as sinus, square, ramp and pulse (25% duty cycle version of square signal). The flow field velocity measurements are made with the hot-wire anemometry for seven different frequency values ranging from 2 to 20Hz. Instantaneous and average velocity changes are obtained. Impinging synthetic jet heat transfer experiments are carried out at frequencies of 4, 10 and 15Hz, and values of H/D (the ratio of the distance of the jet outlet to the plate to the diameter of the nozzle) of 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 and 10 which are the dimensionless distance between the nozzle output and the homogeneously heated plate.

*Keywords:* synthetic jet, nozzle, jet flow structure, Nusselt number, H/D

## ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, hoparlör tipi aktuatör kullanılarak sinüs, kare, ramp (tırmanan üçgen), puls (kare sinyalin %25 duty cycle sürümü) olmak üzere dört farklı sinyal türünde elde edilen sentetik jetin akış alanı özellikleri ve çarpan jet ısı transferi karakteristikleri incelenmiştir. Ayrıca H/D oranının farklı değerlerinde hız ve Nusselt sayısındaki değişimler incelenmiştir ve sonuçlar ortaya konulmuştur. Tez çalışmasının birinci bölümünde, hoparlör yardımıyla üretilen sentetik jetin yapısı ve ısı transferi üzerine etkisi araştırılmış olup kapsamlı literatür taraması yapılmıştır. İkinci bölümünde, yapılan deneysel çalışma hakkında bilgiler verilmiş olup deneysel sistem kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır. Üçüncü bölümü ise deneysel sonuçlar ve bulgular oluşturmaktadır.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans tez çalışmam esnasında tecrübelerine başvurduğum Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine müteşekkir olduğumu ifade etmek isterim. Bu tezin hazırlanması esnasında yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım Arş. Gör. Mehmet SEYHAN, Arş. Gör. Hürrem AKBIYIK, Y. Müh. Rafet GÜNAYDIN, Y. Müh. Muhammed Ali DÜNDAR'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamı; bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen eşim Seda KOCABIYIK'a, babam Mehmet KOCABIYIK'a, annem Zeynep KOCABIYIK'a ve kardeşim Merve KOCABIYIK'a ithaf ediyorum.

Bu çalışma, 215M920 numaralı TÜBİTAK projesinden üretilmiş olup, projeye destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna katkılarından dolayı teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ÖN SÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ .....	xiii
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xiv
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
1.1 Pasif Akış Kontrol Yöntemleri .....	1
1.2 Aktif Akış Kontrol Yöntemleri .....	2
1.3 Literatür Özeti .....	5
1.4 Tezin Amacı .....	15
1.5 Tezin Bilimsel Önemi .....	15
BÖLÜM II DENEYSEL ÇALIŞMA .....	16
2.1 Deney Düzeneginin Kurulumu .....	16
2.2 Sentetik Jet Oluşum Mekanizması .....	17
2.3 Sentetik Jet Aktüatör Sürüm Sistemi .....	18
2.4 Hot - Wire Anemometresi ile Hız Ölçüm Sistemi .....	19
2.5 Termal Kamera ile Isı Ölçüm Sistemi .....	20
2.6 Isı Transfer Denklemleri ve Boyutsuz Sayılar .....	22
2.7 Sentetik Jet Boyutsuz Sayılar .....	24
BÖLÜM III BULGULAR .....	26
3.1 Sentetik Jet Akış Alanı Hız Dağılımları .....	26
3.1.1 Eksenel yönde ortalama hız dağılımları .....	27
3.1.2 Radyal yönde ortalama hız dağılımları .....	28
3.1.3 Anlık hız dağılımları .....	29



3.2 Çarpan Jet Isı Transferi Nusselt Sayısı Dağılımları.....	34
3.2.1 Levha Üzerinde Isı Transferi Dağılımına Sinyal Yapısının Etkisi .....	35
3.2.2 Levha Üzerinde Isı Transferine Sentetik Jet Sürüm Frekansının Etkisi .....	36
3.2.3 Levha Üzerinde Isı Transferine H/D Mesafesinin Etkisi.....	38
BÖLÜM IV SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	44
4.1 Sonuçlar.....	44
4.2 Öneriler.....	46
KAYNAKLAR .....	47
EKLER.....	51
ÖZ GEÇMİŞ .....	62



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Bu çalışmada kullanılan parametrelere göre elde edilen boyutsuz sayıların dağılımı.....	25
--	----



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Pasif akış görüntülemeye kullanılan farklı geometriler.....	2
Şekil 1.2.	Pasif akış görüntülemeye kullanılan farklı geometriler.....	2
Şekil 1.3.	Piezoelektrik (a), piston-silindir (b) ve akustik aktüatörlerin (c) şematik gösterimi.....	3
Şekil 1.4.	Piston- Silindir aktüatörün şematik gösterimi.....	4
Şekil 1.5.	Hoparlör sentetik jet aktüatörün şematik gösterimi.....	4
Şekil 1.6.	Deney düzeneği (a), Sentetik jetin detay çizimi (b).....	6
Şekil 1.7.	Sentetik bir jet üreten bir cihazın şeması, emme hareketi (a) ve üfleme hareketi sırasında bir vorteks halkası üretmek (b), vorteks halkası delikten uzaklaşarak yayılır (c): boşluk ①, diyafram ②, orfis ③, emilen akışkan ④ ve girdap halkası ⑤ .....	6
Şekil 1.8.	Çarpan slot jetin izometrik görünümü a) ve Çarpan slot jetin şematik yapısı b).....	7
Şekil 1.9.	Yüksek (sol) ve düşük (sağ) boyutsuz strok uzunlukları ile karakterize edilen, türbülanslı çarpan sentetik bir jetin anlık akış alanının şematik görünüşü.....	8
Şekil 1.10.	Farklı orifis şekillerinin yapısal detayları: AR=1.4 ve 2.4 olan eliptik orifis (a), AR=2 ve 6 olan dikdörtgen orifis(b), eşit dh ve de kare orifis(c), dairesel orifise göre tüm şekillerin karşılaştırılması (d). Tüm boyutlar mm cinsindedir.....	9
Şekil 1.11.	Sentetik jet deney cihazının şematik diyagramı(a); mevcut çalışmada kullanılan Mach-Zehnder interferometrinin optik konfigürasyonu (b).....	10
Şekil 1.12.	DCJ yapısı ve çalışma prensibi.....	11
Şekil 1.13.	Sentetik jet ısı transfer düzeneğinin şematik yapısı(a), bu çalışmada kullanılan orifis şekilleri (b) .....	12
Şekil 1.14.	Test cihazının şematik diyagramı .....	12

Şekil 1.15.	Bir sentetik jet düzeneği .....	13
Şekil 1.16.	İkiz sentetik jet cihazının kesit çizimi.....	14
Şekil 2.1.	Isı transfer ölçüm sisteminin deneysel kurulumu.....	20
Şekil 2.2	Film levha çalışma aralıklarının cetvel yardımıyla belirlenmesi.....	22
Şekil 2.3	Yatay yüzey üzerindeki doğal taşınım.....	23
Şekil 3.1.	Çalışmada kullanılan sinus, kare, üçgen ve puls sinyal tiplerinin 5Vpp ve 10 Hz'deki değişimi.....	26
Şekil 3.2.	Sentetik jet eksenini boyunca aksel hızın zaman ortalamasının sinusoidal (a), kare (b), üçgen (c) ve puls(d) sürüm frekansına bağlı olarak değişimi.....	27
Şekil 3.3.	Kare sinyale ait farklı frekanslardaki jet yapıları ( $y/D=1$ , $r/D=0$ ).....	28
Şekil 3.4.	Farklı $y/D$ konumlarında, üfleme frekansının radyal yöndeki ortalama hız dağılımları üzerine etkisi.....	29
Şekil 3.5.	Sinüzoidal sürüm sinyalinin 4 Hz (a), 10 Hz (b) ve 15 Hz (c) üfleme frekansında $y/D = 0, 2, 4, 6, 8$ ve 10 konumlarındaki anlık hız değişimi.....	30
Şekil 3.6.	Kare sürüm sinyalinin 4 Hz (a), 10 Hz (b) ve 15 Hz (c) üfleme frekansında $y/D = 0, 2, 4, 6, 8$ ve 10 konumlarındaki anlık hız değişimi.....	31
Şekil 3.7.	Üçgen sürüm sinyalinin (a) 4 Hz, (b) 10 Hz ve (c) 15 Hz üfleme frekansında $y/D = 0, 2, 4, 6, 8$ ve 10 konumlarındaki anlık hız değişimi.....	32
Şekil 3.8.	Puls sürüm sinyalinin 4 Hz (a), 10 Hz (b) ve 15 Hz (c) üfleme frekansında $y/D = 0, 2, 4, 6, 8$ ve 10 konumlarındaki anlık hız değişimi.....	33
Şekil 3.9.	Sinüzoidal sinyal için $H/D=4$ ve $f=10\text{Hz}$ durumunda elde edilen sıcaklık dağılımı fotoğraf ve eğrileri.....	34
Şekil 3.10.	Isıtılmış levha üzerinde P1 ve P2 çizgileri boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi.....	35
Şekil 3.11.	Farklı $H/D$ değerlerinde aktuatör sürüm sinyal yapısının ısı transferine etkisi.....	36
Şekil 3.12.	$H/D=1$ ve 6 mesafelerinde Farklı sinyal yapılarında elde edilen	

Nusselt sayısı dağılımları.....	37
Şekil 3.13. Kare dalga yapısı durumunda, $f=4, 10$ ve $15\text{Hz}$ frekansları için $H/D$ mesafesine bağlı olarak yerel Nusselt sayısının dağılımı.....	39
Şekil 3.14. Sinüzoidal dalga yapısı durumunda, $f=4, 10$ ve $15\text{Hz}$ frekansları için $H/D$ mesafesine bağlı olarak yerel Nusselt sayısının dağılımı.....	40
Şekil 3.15. Üçgen dalga yapısı durumunda, $f=4, 10$ ve $15\text{Hz}$ frekansları için $H/D$ mesafesine bağlı olarak yerel Nusselt sayısının dağılımı.....	41
Şekil 3.16. Puls dalga yapısı durumunda, $f=4, 10$ ve $15\text{Hz}$ frekansları için $H/D$ mesafesine bağlı olarak yerel Nusselt sayısının dağılımı.....	42
Şekil 3.17 Ortalama Nusselt sayısının $H/D$ ile değişimi.....	43
Şekil 3.18 Ortalama Nusselt sayısının $H/D$ ile değişimi.....	43

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1.	Deney düzeneğinin genel görünümü.....	17
Fotoğraf 2.2.	Hoparlör sentetik jet aktüatörü.....	17
Fotoğraf 2.3.	20mm çapa sahip lüle üretimi.....	18
Fotoğraf 2.4.	Deneylerde kullanılan sinyal jeneratörü, BNC DAQ ve Osiloskop..	18
Fotoğraf 2.5.	Kızgın tel anemometresi hız ölçüm sisteminin görünümü.....	19
Fotoğraf 2.6.	Paslanmaz çelik film levha montaj şekli.....	21



## SİMGE VE KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklama
SJ	Sentetik Jet
H	Jet ile Plaka Yüzey Aralığı
D	Lüle Çapı, m
Nu	Nuselt Sayısı
f	Sentetik Jet Frekansı, Hz
ZNMF	Sıfır Net Kütle Akılı
PIV	Parçacık Görüntüsü Hız Ölçümü
I	Akım, A
E	Gerilim, V
$q''_{el}$	Levhadan Elektrik ile Üretilen Isı Akısı, $W/m^2$
$q''_{taş}$	Taşınım Isı Akısı, $W/m^2$
$q''_{üst\ doğal\ taş}$	Üst Yüzel Doğal Taşınım Isı Akısı, $W/m^2$
$q''_{iletim}$	İletim İle Isı Akısı, $W/m^2$
$q''_{rad}$	Radyasyon İle Isı Akısı, $W/m^2$
h	Zorlanmış Isı Taşınım Katsayısı, $W/m^2 .K$
$h_{dt}$	Doğal Isı Taşınım Katsayısı, $W/m^2 .K$
$A_{alt}$	Plaka Alt Yüzey Alanı, $m^2$
$A_{üst}$	Plaka Üst Yüzey Alanı, $m^2$
$T_y$	Plaka Yüzey Sıcaklığı, $^{\circ}C$
$T_j$	Jet Sıcaklığı, $^{\circ}C$
$T_{ç}$	Çevre Sıcaklığı, $^{\circ}C$
$\sigma$	Stefan Boltzmann Sabiti
$\epsilon$	Yayılm Katsayısı
k	Havanın Isıl İletim Katsayısı, $W/m .K$
$V_{ort}$	Ortalama Jet Hızı, m/s

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Aktüatörler elektrik sinyallerini istenilen fiziksel özelliklere dönüştüren elemanlardır. Mühendislik sistemlerinde, akışkanlar mekaniği, aerodinamik, elektronik sistemler vb. gibi birçok uygulama alanına sahiptirler. Aktüatör çeşitliliğini içeren çalışmalar, aktüatörlerin önemi ve uygulama alanındaki etkinliklerini arttırmak ile ilgili yapılan araştırmaların gün geçtikçe artması konunun popüleritesinin bir kanıtı olmaktadır.

Literatürde akış kontrol yöntemleri aktif ve pasif olarak iki başlık altında toplanmıştır. Bu yöntemler ısı transferi iyileştirmelerinde de kullanılırlar. Aktif akış kontrolünde, çalışan sisteme ek bir enerji ilave etmek söz konusuysen, pasif akış kontrolünde sistemde ekstra bir enerjiye gereksinim duymadan yapılan şekilsel iyileştirmeler içermektedir.

### 1.1 Pasif Akış Kontrol Yöntemleri

Çevremize baktığımızda bir çok uygulamanın pasif akış kontrol yöntemlerinden faydalanılarak harici bir enerji kullanılmadan akışkanın özelliklerinde etkin iyileştirmelere sebep olmuştur ve bunların sonucu olarak ısı transferi alanına da konu olmuştur. Literatürde bulunan bazı pasif akış kontrol yöntemleri hakkındaki çalışmalar; cisim arkasına ayırıcı plaka yerleştirilmesi, yüzey pürüzlülüğü veya yüzeye yerleştirilen akış bozucu tel vb. elemanlar, keskin köşelerde yapılan yuvarlatmalar, cismin belirli kısımlarına açılan çentikler-yarıklar ve cisim önüne yerleştirilen bir kontrol çubuğu ile akışın kontrol edilmesi şeklinde sıralanabilir. Bu bölümde pasif akış kontrol yöntemleri üzerine yapılan literatürdeki bazı çeşitli çalışmalara yer verilmiştir. Kumar ve diğerleri (2008), ısı değiştirici tüp demetleri, deniz yapıları, köprüler, güç iletim hatları vb. birçok alanda girdaplardan kaynaklanan titreşimleri gidermek için pasif yöntemlerden yararlanılabileceğini gösteren çalışma yapmıştır. Kunze ve Brücker (2012), şekil 1.1'deki dairesel silindirin farklı şekillerindeki geometrileri deneysel olarak çalışmıştır. Deneylerini  $5000 < Re < 31000$  aralığın da gerçekleştirmişler ve PIV tekniği kullanarak hareketleri anlık olarak ele almıştır. Plakaların girdap kopmasını değiştirdiğini ve akış yapısındaki salınımın plakasız duruma göre akış yönünde % 42 ve akış eninde % 35 oranında azaldığını ifade etmişlerdir.





**Şekil 1.1.** Pasif akış görüntülemeye kullanılan farklı geometriler (Kunze ve Brücker, 2012)

Lim ve Lee (2004), silindir üzerine şekil 1.2 deki gibi farklı aralıklarda o-ringler monte etmişler, yapılan ölçümler sonucunda sürüklenmenin ve girdap frekansının azaldığını gözlemlemişler ve iz bölgesi kontrolünde etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

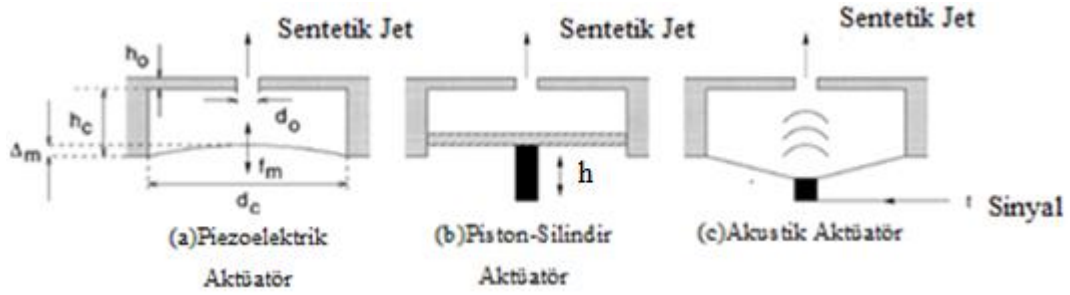


**Şekil 1.2.** Pasif akış görüntülemeye kullanılan farklı geometriler (Lim ve Lee, 2004)

## 1.2 Aktif Akış Kontrol Yöntemleri

Aktif akış kontrolünde dışarıdan enerji gereksinimi duyarak elde ettiğimiz yöntemdir ve bu tez çalışmasında kullandığımız sentetik jet aktüatörler de aktif akış kontrol yönteminin içine girmektedir. Sentetik jet aktüatörler ısıtılmış yüzey üzerindeki ısı transfer iyileştirmelerinde ve cisimler üzerinde sürüklenme kuvvetlerinin azaltılmasında kullanılan cihazlardır. Sürekli gelişen teknoloji ve cihazların küçülmesi fakat işlevlerinin artması ısı akısının artmasına sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı ısı transfer uygulamalarını geliştirmek için uzun yıllardır farklı çalışmalar yapılmış ve bu

çalışmalardan performans yönünden sentetik jetler sürekli jet ve doğal konveksiyona göre daha çok ön plana çıkmıştır. Bunun sebebi sentetik jetlerin karmaşık tesisatının olmayışı, düşük güç tüketimi, kompakt tasarımı, yüksek güvenilirliği sayesinde umut vaat eden bir teknik olarak tanınmıştır. Bu sentetik jetler Şekil 1.3'deki gibi üç temel başlıkta ele alınmıştır.

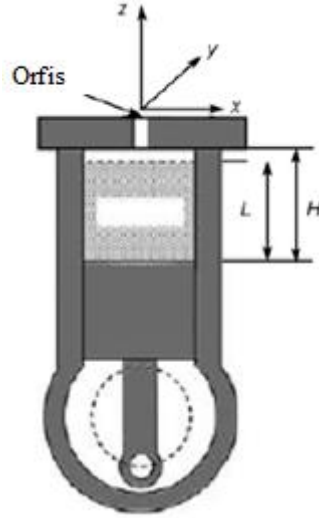


**Şekil 1.3.** Piezoelektrik (a), piston-silindir (b) ve akustik aktüatörlerin (c) şematik gösterimi (Mallinson vd., 2004)

Piezoelektrik aktüatörler, piezo kristallerine elektrik enerjisi verilmesi sonucu mekanik enerji elde edilebilen cihazlardır. Bu cihazlar sessiz çalışması ve titreşimli hareket etmesiyle iyi bir aktüatör olmuştur. Lee ve diğerleri (2003)'de piezoelektriği řu şekilde açıklamıştır; akış, emme ve üfleme yoluyla orfiden boşluğa girer ve çıkar. Giriş strokunda, akışkan, orfisi çevreleyen alandan boşluk içine çekilir. Membran yukarı doğru hareket ettikçe orfiden akışkan dışarı atılmaktadır. Akışın ayrılması nedeniyle, dışarı atılan akışkan ile çevreleyen akışkan arasında bir kesme tabakası oluşur. Bu vorteks tabakası kendi momentumunda bir girdap halkası oluşturmak için toplanır. Diyafram, akışkanın boşluğa geri çekilmesi için açıklıktan uzaklaşmaya başladığı zaman, girdap halkası, açıklıktan akışkanın sürüklenmesi ile neredeyse hiç etkilenmeyecek şekilde delikten yeterince uzaklıktadır. Böylece, diyaframın tek bir salınım periyodu boyunca, boşluğun içine veya dışına sıfır net kütle akışı olurken, aynı zamanda sıfır olmayan bir ortalama momentum akışı oluşturmaktadır.

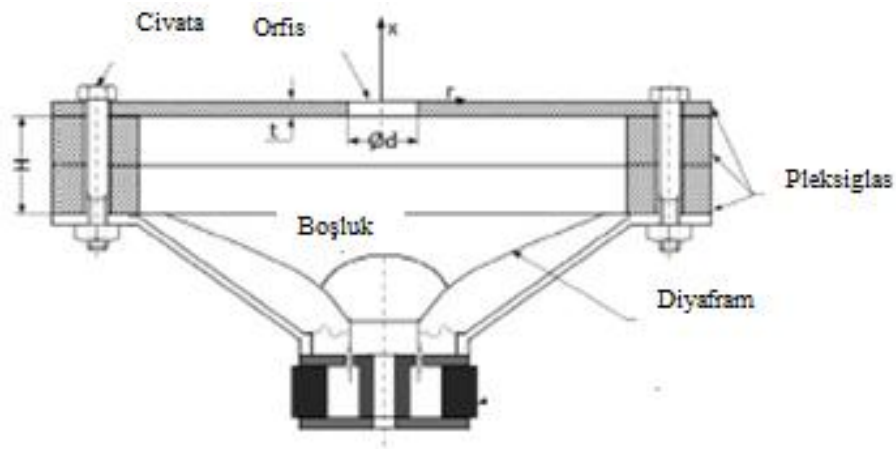
Piston silindir mekanizmalı sentetik jet, bir motor ile pistonun silindir içerisinde yukarı aşağı yönlü hareketiyle ofisten emme ve üfleme işlemi geręekleřmektedir. Orfiden emilen tüm hava pistonun ileri doğru hareketiyle tekrar üflendiği için giren ve çıkan net kütle akışı sıfırdır. Gao ve diğerleri (2012) de yaptıkları çalışmada piston aktüatör tarafından sürülen bir sentetik jetin sabit bir ısı akışı yüzeyi üzerindeki çarpma ısı

transfer performansının araştırılması için deneysel araştırma yapmışlardır. Sentetik jet, piston nispeten yüksek frekansta hareket ettiğinde daha güçlü ısı transfer kapasitesine sahip olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca yapılan çalışmada sürekli jete göre daha iyi ısı transfer karakteristiğinin olduğunu ortaya koymuşlardır.



**Şekil 1.4.** Piston- Silindir aktüatörün şematik gösterimi (Gao vd., 2012)

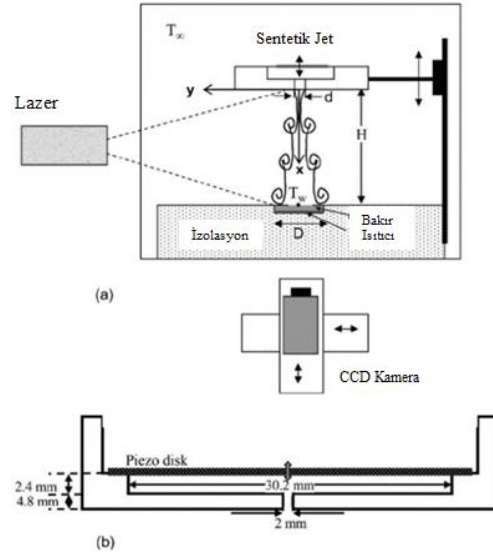
Şekil 1.5’de görüldüğü gibi hoparlörlü sentetik jet; hoparlör diyaframı ile pleksiglas arasında kalan boşluktan oluşmaktadır. Bu diyaframın yukarı ve aşağı hareketiyle emme ve üfleme oluşmaktadır. Orfiden emme ve üfleme sırasında giren ve çıkan hava miktarları eşit olduğu için net kütle akısı sıfırdır. Bu çalışmada, hoparlör tipi sentetik jet kullanılmıştır ve bununla ilgili çalışmalar literatür özetinde geniş çaplı verilmiştir.



**Şekil 1.5.** Hoparlör sentetik jet aktüatörün şematik gösterimi (Gil ve Strzelczyk, 2016)

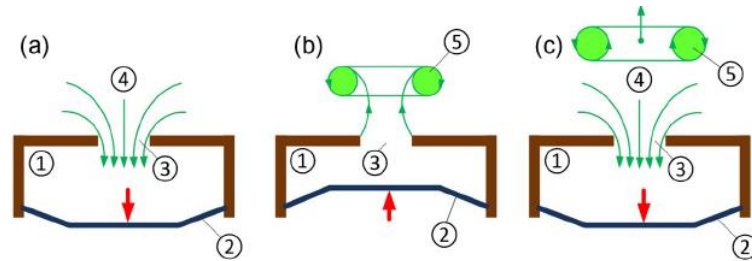
### 1.3 Literatür Özeti

Mühendislik sistemleri ve alt dallarında aktüatörlerin kullanımı yaygındır. Bu sebepten dolayı bilim dünyası bu konu üzerine birçok çalışma yapmıştır. Bu bölümde yapılan çalışmaların nasıl sonuçlandığını ve ne tip aktüatör kullanıldığı hakkında bilgiler verilmiştir. Bu çalışmada, hoparlör tipi sentetik jet kullanılmıştır ve bunlar en yaygın kullanılan aktüatörlerden birisidir. Ek bir kaynağa ihtiyaç duymadıklarından, geri besleme kontrolü için uygun olduklarından, anlık tepki sürelerinin hızlı olmasından, güvenli ve düşük güç tüketimi vb. gibi avantajlara sahip olduklarından birçok uygulama alanında kullanılabilirler. Bu aktüatörler bir orifis ya da lüle'den akışkana üfleme ve emme döngüsüyle akışkana momentum kazandıran ZNMF (Sıfır Net Kütle Akılı) tipi aktüatörlerdir. Literatürdeki çalışmalar bu aktüatörlerin performanslarının artırılması için elektriksel yönden incelenmesi, etki ettikleri sistemin veriminin artırılması, ısı transferinin hızlandırılması, farklı jet karakteristiklerinin belirlenmesi ve geometrik olarak incelenen ve jet oluşumuna etki eden orifis/lüle yapısının ve emme/üfleme hacminin incelenmesi gibi birçok çalışma literatürde bulunmaktadır. Pavlova ve Amitay (2006) yaptıkları çalışmada sürekli ısı akış yüzeyinin sentetik jet vasıtasıyla soğutulmasını çalışmıştır. Deneysel olarak yaptıkları çalışmada sürekli üfleme soğutma ile sentetik jet uygulamasının kıyaslamasını yapmışlardır. Sentetik jet sürüm frekansının ve Reynolds sayısının, lüle-yüzey arası farklı mesafeleri (H/D) etkilerini incelemişlerdir. Sentetik jetler, yüksek sürüm frekansında ( $f=1200$  Hz) küçük H/D oranında, düşük sürüm frekanslarından ( $f=420$  Hz) daha iyi bir şekilde soğutma etkisine sahip olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, düşük sürüm frekanslı jetlerin daha büyük H/d oranlarında daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, çarpan sentetik jetlerin aynı Reynolds sayısı için sürekli sentetik jetlere göre daha etkili olduğunu sonuçlarında ortaya koymuşlardır. Şekil 1.6'dan da görüldüğü gibi, PIV kullanarak yüksek frekanslarda oluşturulan sentetik jetlerin girdaplarının yüzeye çarpmadan önceki parçalanma yapısını ve birleşmesinin birbiriyle ilişkili olduğunu göstermişlerdir.



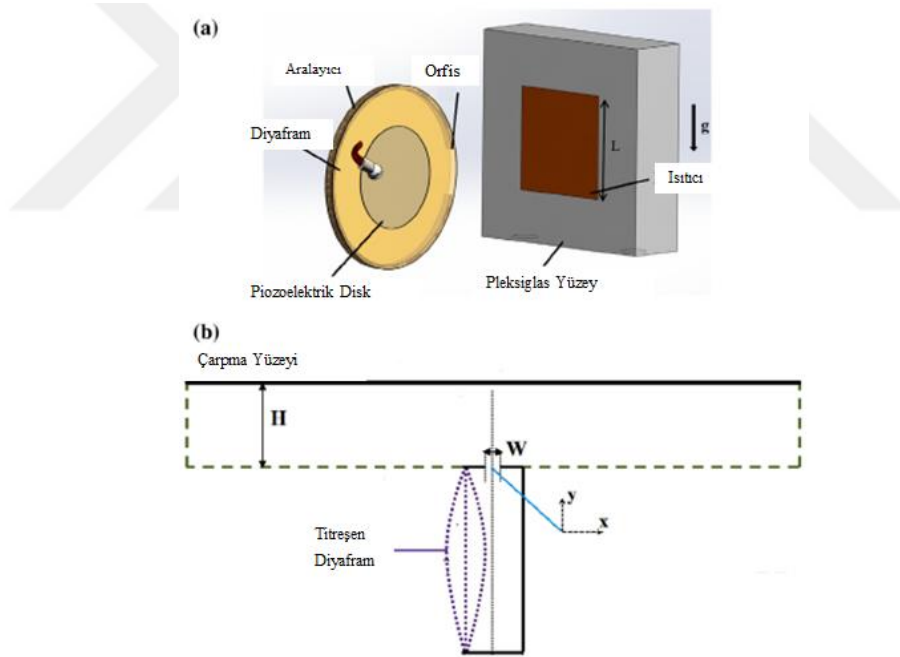
**Şekil 1.6.** Deney düzeneği (a), Sentetik jetin detay çizimi (b) (Pavlova ve Amitay, 2006)

Gil ve Strzelczyk (2016) yaptıkları deneysel çalışmada, aktüatör sürüm frekansı ile ilişkili momentum hızı, Reynolds sayısı, aktüatöre uygulanan güç ve farklı boşluk konfigürasyonlarını incelemişlerdir. Momentum hızına dayanan akışın kinetik gücünün oranını sentetik jet aktüatörünün verimliliği olarak tanımlamışlardır. Çalışmada kullanılan hoparlör sentetik jet aktüatörünün verimliliğini %5 olarak ayrıca farklı bir hoparlör kullanıldığında sonucun değişeceğini de belirtmişlerdir. Deneysel çalışmalarını Reynolds sayısını 0 ile 22,600 arasındaki ve Stokes sayısını da 13 ile 308 arasındaki değerlerde yapmışlardır. Maksimum verimin hoparlör rezonans frekansına veya Helmholtz frekansına yakın olduğunu ortaya koymuşlardır. Şekil 1.7’de görüldüğü gibi maksimum verimin aktüatörün geometrisine yani iç hacmin geometrik yapısına bağlı olduğunu deneysel çalışmalarında göstermişlerdir.



**Şekil 1.7.** Sentetik bir jet üreten bir cihazın şeması, emme hareketi (a) ve üfleme hareketi sırasında bir vorteks halkası üretmek (b), vorteks halkası delikten uzaklaşarak yayılır (c): boşluk 1, diyafram 2, orfis 3, emilen akışkan 4 ve girdap halkası 5 (Gil ve Strzelczyk, 2016)

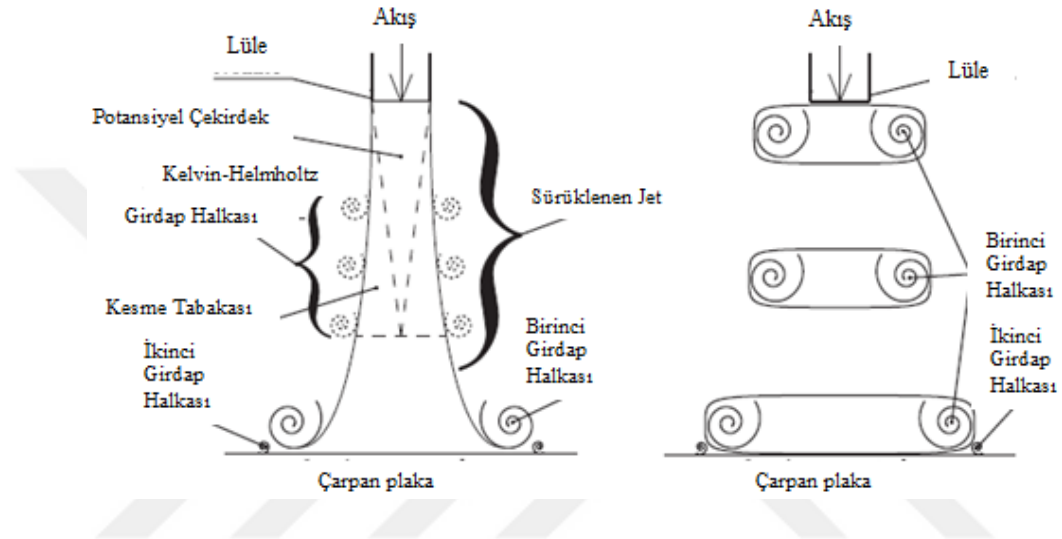
Gaffari ve diğeri (2016), dikey konumlandırılmış ısıtıcıyı etkileyen bir sentetik jetin ısı transferi üzerine etkisinin incelemesini yapmışlardır. Isı transferi ile akışkan dinamiğinin iyi bir şekilde incelenmesi için parçacık görüntüleme tekniği olan PIV kullanarak yerel akış alanının taramasını yapmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonuçlarında maksimum soğutma performansının  $5 \leq H/D_h \leq 10$ 'luk bir püskürtme-yüzey boşluğu ile ilişkili girdap yapılarında olduğunu belirtmişlerdir.  $H/D_h=2$  gibi yakın jet-yüzey boşluk mesafesinde ise ısı transferinde tam tutarlılık göstermediği belirtilmiştir. Bunun sebebi olarak ise girdapların büyüyerek yüzey soğutmasında etkili olabilmesi için tam gelişmemesinden ve plaka yüzeyinden ayrılan sıcak havanın yakın mesafede yeniden jet akışına dâhil olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca plaka yüzeyinden ayrılan sıcak havanın yakın mesafede emme fazına dâhil olması da belirtilen sebeplerden birisidir. Sabit bir Reynolds sayısı için yüksek Stokes sayılarında soğutma artırılmıştır ancak performans katsayısı azalmıştır.



**Şekil 1.8.** Çarpan slot jetin izometrik görünümü a) ve Çarpan slot jetin şematik yapısı b) (Ghaffari vd., 2016)

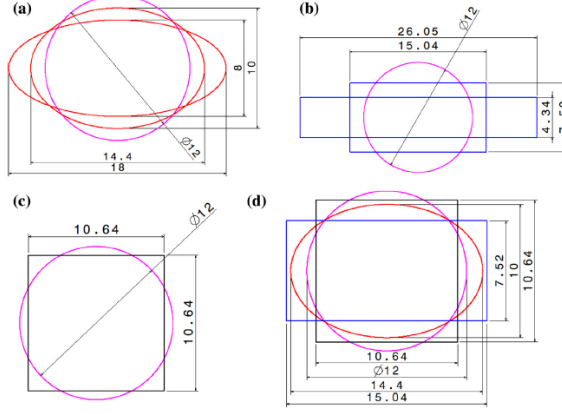
Greco ve diğeri (2018) yaptıkları çalışmada lüle-plaka mesafesi ve strok uzunluğunun çarpan sentetik jet soğutma performansı üzerine birleşik etkilerini incelemiştir. Deneysel çalışmalarında Reynolds sayısını 5250'de sabit tutup strok uzunluğunu ( $L_0/D$ ) 5, 10, 15 olarak ve lüle-plaka mesafesini ( $H/D$ ) ise 2 ile 10 arasında değiştirmişlerdir. Yüksek strok uzunluğunda ısı transfer davranışının sürekli çarpan jet

ile benzerlik gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Şekil 1.9’da görüldüğü üzere, Nusselt sayısının maksimum olduğu lüle-plaka mesafelerinin 4 ve 6 olduğu değerlerde ve daha kısa mesafelerde sentetik jet iç ve dış halka şekilli (ring shape) olarak karakterize edilirken daha yüksek lüle-plaka mesafelerinde çan şekilli (bellshape) bir yapıda olduğunu ortaya koymuşlardır. Boyutsuz strok uzunluğunun azaldıkça ısı transferi dağılımının azaldığını ve/veya lüle-plaka mesafesinin arttıkça ısı transferi dağılımının azaldığını belirtmişlerdir.



**Şekil 1.9.** Yüksek (sol) ve düşük (sağ) boyutsuz strok uzunlukları ile karakterize edilen, türbülanslı çarpan sentetik bir jetin anlık akış alanının şematik görünüşü. (Greco vd., 2018)

Bhaskar ve diğerleri (2014) ısıtılmış plakaya çarpan sentetik jet ve eşdeğer çapa sahip ancak dikdörtgen, kare ve dairesel gibi farklı yapıdaki jet çıkış geometrilerinin ortalama ısı transferinin özelliklerinin değişimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmanın amacı olarak Şekil 1.10’da görüldüğü gibi en iyi akustik ve ısı transfer performansı elde edilen sentetik jetin orifis şekli, en-boy oranı ve çalışma parametrelerini etkisini araştırmak olduğunu belirtmişlerdir. Deneysel sonuçlarında maksimum ısı transfer artışının en-boy oranı 1.4 ve jet-plaka mesafesi 3 olan eliptik şekilli orifisin rezonans frekansında elde edildiğini bulmuşlardır. Jet-plaka mesafesinin 6’dan küçük değerlerinde eliptik yapıdaki orifisin diğer geometrilere oranla daha iyi performans ortaya koyduğunu belirtmişlerdir. Ancak, jet-plaka mesafesinin 6 ve daha yüksek değerlerinde dairesel ve kare orifis yapılarının eliptik ve dikdörtgen yapılara oranla ısı transferinde daha etkili olduğunu göstermişlerdir.

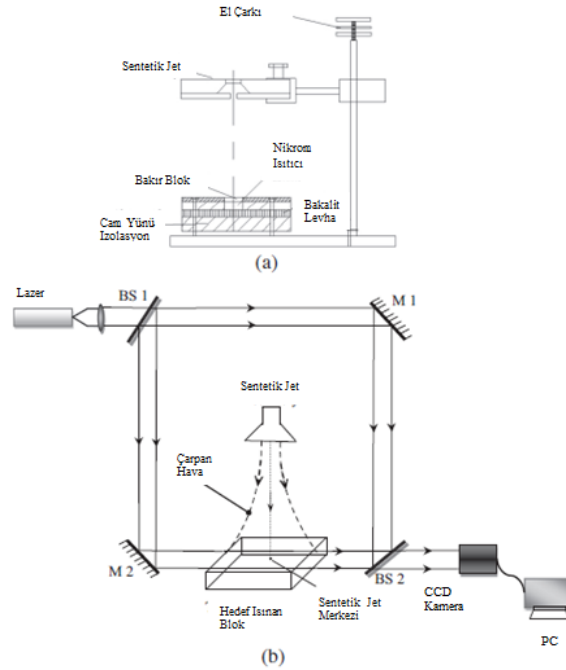


**Şekil 1.10.** Farklı orifis şekillerinin yapısal detayları: AR=1.4 ve 2.4 olan eliptik orifis (a), AR=2 ve 6 olan dikdörtgen orifis(b), eşit dh ve de kare orifis(c), dairesel orifise göre tüm şekillerin karşılaştırılması (d). Tüm boyutlar mm cinsindedir.(Bhaskar vd., 2014)

Jet-yüzey aralığı  $H/D=2$  olarak, boyutsuz strok uzunluğu 1 ile 22 arasında belirlenen ve Reynolds sayısı 1000 ile 4300 arasında olan diğer bir çalışma ise Valiorgue ve diğerleri (2009) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada konvektif ısı transferi ile çarpma sentetik jet akış yapısı arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için yapılmıştır. Strok uzunluğu sabit tutularak Reynolds ve Nusselt sayıları arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında kritik strok uzunluğunu ( $L_0/H$ ) 2.5 olarak bulmuşlardır. Jeng ve diğerleri (2016) ise yan yerleştirilmiş ısıtılmış plaka üzerine aşağı ve yukarı yönde üfleme yapılarak ısı transferinin incelemesini yapmışlardır. Ayrıca sentetik jet aktüatörünün elektriksel parametrelerini değiştirerek diyafram üzerinde oluşan değişikliğin oluşturulan sentetik jet yapısına etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarında Reynolds sayısını, Grashof sayısını ve değişken çarpma mesafesini değiştirmişlerdir. Sonuçlarında belirli Reynolds sayısında çeşitli modellerin Nusselt sayılarının jet çarpma mesafesi ile arttığını göstermişlerdir. Ayrıca, ısı transferi analizi ve sentetik jet optimal tasarımında uygulanabilen farklı modeller için çeşitli jet çarpma mesafelerini Reynolds ve Grashof sayısı açısından karışık konveksiyonun ampirik bir Nusselt korelasyonunu oluşturmuşlardır. Zhang ve diğerleri (2015) yaptıkları nümerik çalışmalarında  $k-\omega$  türbülans modeli kullanılarak sentetik jet oluşumunu modellemişlerdir. Modellerinde çıkıntılı ve çukurlu yüzeyin zaman göre ortalama Nusselt sayısının frekans artışı ile düz yüzeylerin yapısına daha çok benzediğini ortaya koymuşlardır. Frekans artışı gerçekleştiğinde ısı transferinin arttığını raporlarında belirtmişlerdir. Ayrıca, sentetik jetin ısı transfer performansının doğal konveksiyona göre 30 kat daha fazla performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Chaudhari ve

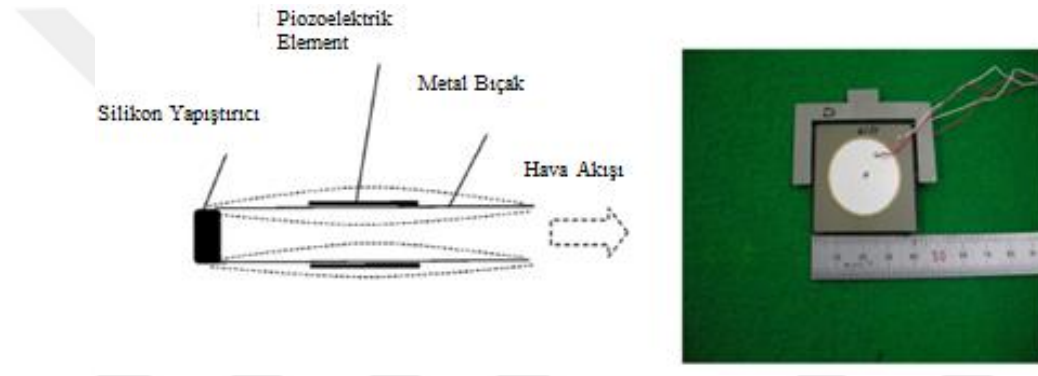


diğerleri (2010) çarpan sentetik jetin ısı iletim özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, Reynolds sayısını 1500 ile 4200 arasında, ısınan yüzey-jet arasında jet orifis çapına olan aksel mesafenin oranını 0 ile 25 arasında ve orifis plakasının orifis çapına olan uzunluğunu ise 8 ile 22 arasında değiştirmişlerdir. Sentetik jet püskürtmesi ile maksimum ısı transferi katsayısının doğal konveksiyona göre 11 kat daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Ortalama Nusselt sayısı davranışının sürekli bir jet için elde edilenle benzer olduğu bulunmuştur. Reynolds ile maksimum Nusselt sayısının üssü, aktüatör hacminin büyüklüğüne bağlı olarak, bu deneylerde 0.6 ila 1.4 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bhapkar ve diğerleri (2014) Şekil 1.11'de görülen interferometre kullanarak iki boyutlu sıcaklık dağılımı ve yerel ısı transfer özelliklerini incelemişlerdir. Isıtılan bakır plaka üzerindeki yerel ısı transfer katsayıları bu interferogramlardan elde edilen sıcaklık alanı dağılımı ile belirlenip iki boyutlu sıcaklık dağılımı ve ısı transferi katsayıları yerel bir sayıya karşılık gelen sentetik jetin frekansının bir fonksiyonu olarak kaydedilmiştir ve interferometrik görüntü olarak işlenmiştir. Sentetik jetin rezonans frekansında ve jet-plaka yüzey mesafesinde ısı transfer katsayısının maksimum değerini tahmin etmişlerdir. Ölçümlerini termokupl tabanlı ölçümlerle hesaplanan ısı transfer katsayısının ve sıcaklık değerleri ile iyi bir uyum olduğunu göstermişlerdir.



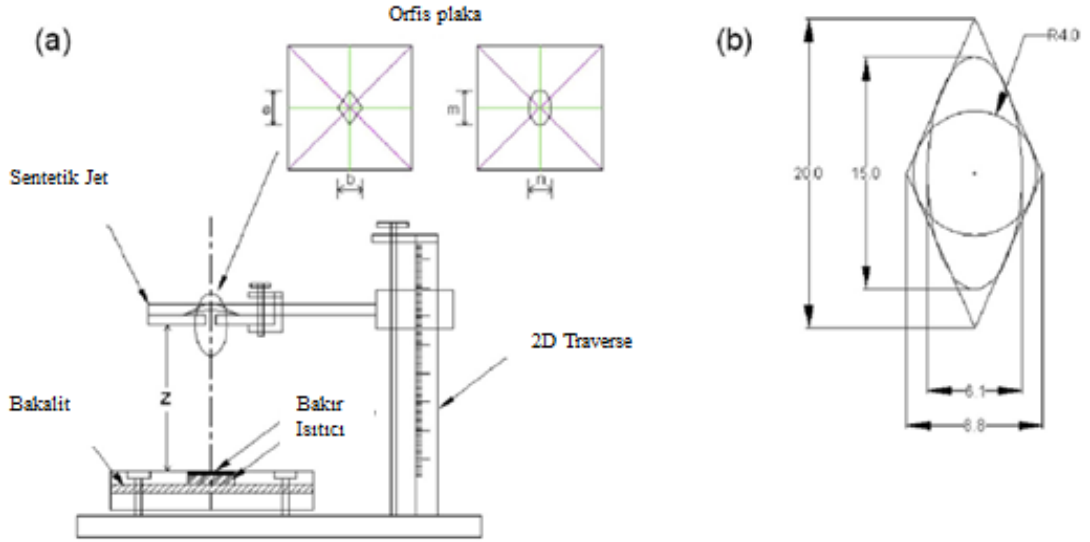
**Şekil 1.11.** Sentetik jet deney cihazının şematik diyagramı(a); mevcut çalışmada kullanılan Mach-Zehnder interferometrinin optik konfigürasyonu (b) (Bhapkar vd,) 2014).

Jalilvand ve diğeri (2014) Şekil 1.12’de görüldüğü üzere, çift sentetik jet (dual synthetic jet) uygulaması ile ısı transferini arttırıp soğutma performansını geliştirme üzerine çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada sentetik jet performansını ısı transferi için doğal konveksiyon ile kıyaslamışlardır. Dual sentetik jetin ince taşınabilir aygıtların soğutulmasında sistemle kolayca birleşebileceğine ve düşük profilli mikro elektronik thermal çözüm elemanı olarak kullanılmasını uygun olacağına yaptıkları çalışma ile karar vermişlerdir. Dual sentetik jet üzerine son yıllarda yapılan diğeri bir çalışma ise Luo ve diğeri (2016) tarafından gerçekleştirilmiştir. Konvektif ısı transferini iyileştirmek için elektrikli cihazların düzgün bir şekilde düzenlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.



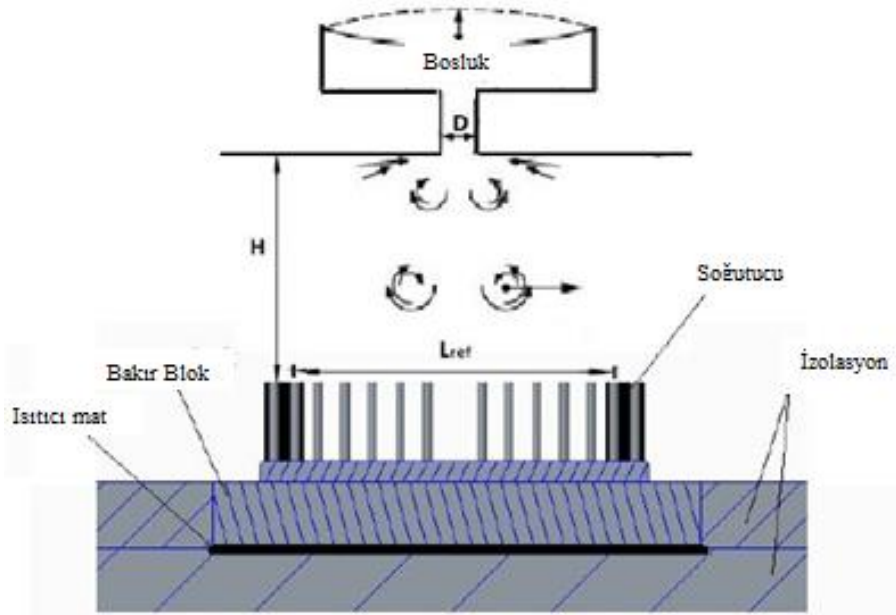
**Şekil 1.12.** DCJ yapısı ve çalışma prensibi (Jalilvand vd., 2014)

Elektronik cihazların soğutulması üzerine yapılan diğeri bir çalışma ise Mangate ve Chaudhari (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çakışan sentetik jet aktüatörü kullandıkları sentetik jetin ısı transferi ve akustik özellikleri, aynı hidrolik çaplı elmas ve oval şekilli orifislerin (Şekil 1.13) farklı varyasyonları kullanılarak deneysel çalışmalarını yapmışlardır. Aktüatörün çalışma frekansını 100 ile 250 Hz arasında seçmişlerdir. Ortalama ısı transferi katsayısı ve ses basınç seviyesini farklı konfigürasyonlar için elde ettikleri çalışmalarında, elmas ve oval şekilli orifisler kullanarak ortalama ısı transferi katsayısını maksimum 200 Hz’de sırasıyla %17 ve %7 olarak bulmuşlardır. Ayrıca, oval şekillendirici tüm konfigürasyonlarda Nusselt sayısı aynı konumda maksimuma çıkmıştır. Ancak elmas şekillendiricilerde böyle bir davranış gözlemlenememiştir. Maksimum sürüm frekansında elmas ve oval şekilli deliklerde ses basıncı seviyesi dairesel orifislere oranla 7 dB daha az bulunmuştur.



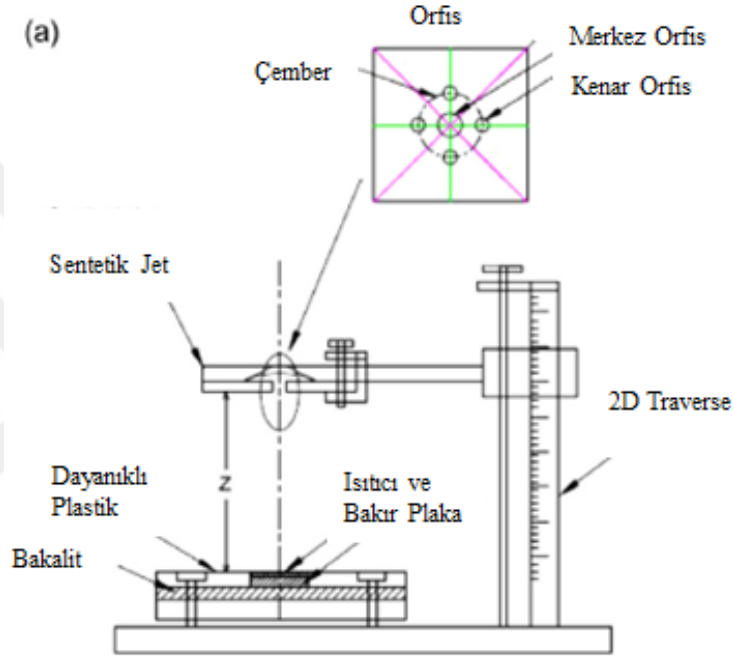
**Şekil 1.13.** Sentetik jet ısı transfer düzeneğinin şematik yapısı(a), bu çalışmada kullanılan orifis şekilleri (b) (Mangate ve Chaudhari, 2015)

Marron ve Persoons (2014) deneysel çalışmalarında üç farklı ısı emici kullanmıştır. Her ısı emici akışkan koşullarından bağımsız olarak ısı aktarımı için kendi optimum jet orifis-emici aralığına sahip olduğunu belirlemişlerdir. Şekil 1.14'de görülen modifiye edilen emici için optimum ısı transferi  $H=34$  jet çapıdır. Ayrıca frekansın artırılmasıyla yüksek çarpma mesafelerinde de ısı transferinin arttığını belirtmişlerdir. Modifiye edilmiş emicinin aksel fana göre daha fazla termal direnç sağladığını sonuçlarında ortaya koymuşlardır.



**Şekil 1.14.** Test cihazının şematik diyagramı (Marron ve Persoons, 2014)

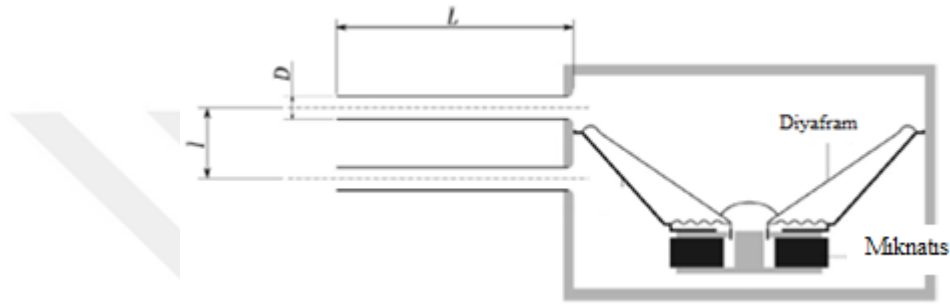
Mangate ve Chaudhari (2016) çarpan çoklu orifis yapısının soğutma performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Şekil 1.15’de görülen çalışmada çoklu dairesel deliklerin farklı konfigürasyonları için denenmiştir. Çoklu orifis sentetik jet ile elde edilen maksimum ısı transfer katsayısının geleneksel tek delikli sentetik jete göre %12 daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Soğutucunun, çok delikli sentetik jetin minimum termal direncinin doğal konveksiyonel sentetik jetinkine göre 10 katından daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Maliyet hesaplamasında ise çarpan çoklu orifis sentetik jetin bir fana göre daha ucuz bir soğutma olduğunu söylemişlerdir.



**Şekil 1.15.** Bir sentetik jet düzeneği (Mangate ve Chaudhari, 2016).

Chaudhari ve diğerleri (2011) sentetik jetin elektronik bileşenlerin soğutulması için potansiyel olarak yarar sağlayacağını önceki çalışmalarında belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında ise giriş gücüne karşılık gelen bir artış olmadan ilave soğutma elde edilebiliyor ise sentetik jetin daha cazip hale geleceğini belirtmişlerdir. Önceki çalışmalarına ilave olarak, geleneksel tek delikli aktüatör ile oluşan jetin tepe kısmının tek olduğunu ancak çok delikli yapıda ise iki tepe olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca bu tepelerin görünümünün, yerinin ve büyüklüğünün kapak menfez sayısına ve kapak üzerindeki deliklerin yarıçaplarına bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Buna ilave olarak ortaya çıkan tepenin çoklu jetten kombine bir jet akış davranışına bir geçiş olduğunu belirtmişlerdir. Greco ve diğerleri (2016) ikiz delikli sentetik jet aktüatörünün (Şekil 1.16) geleneksel tek delikli ile kıyaslamasını yaptıkları bu çalışmada Reynolds

sayısını 5100 ve Strouhal sayısını 0.024 olarak incelemiştir. Tek jet için, kısa üfleme tablasına uzaklıklarda ( $H/D < 4$ ) plakanın yakınındaki aksel hız profili, jet ekseninde yakın düzeyde çift bir pik gösterir. Yüksek nozul-plaka mesafesinde ise ( $H/D > 6$ ), aksel hız profili çan şeklinde olduğunu ortaya koymuştur. İki sentetik jet konfigürasyonunun karşılaştırılması, jetlerin etkileşimi nedeniyle ikiz durum için, daha yüksek aksel hız ve türbülans seviyesi ile daha düşük aksel faz-korelasyonu olarak bulunmuştur. Ayrıca, emme fazında sırt noktası (saddlepoint) her iki konfigürasyonda da farklı bir yapı göstermiştir.



Şekil 1.16. İki sentetik jet cihazının kesit çizimi(Greco vd., 2016).

Son zamanlarda yapılan araştırmalar, özellikle dikdörtgen deliklerden oluşturulduğunda, bitişik sentetik jetler arasında önemli ölçüde etkileşim olduğunu göstermiştir. Bitişik jet etkileşiminin bazı durumlarda konvektif ısı transfer performansını arttırdığı gösterilmiştir. Fanning ve diğerleri (2015) iki dikdörtgenel orifis oluşturulmuş bir çift sentetik hava jetinin, orifis-çarpan yüzey mesafesinin ( $H$ ) ve orifis-orifis merkezi ayırma mesafesinin ( $S$ ) etkisinin belirlenmesi için deneysel bir çalışma ortaya koymuştur. Jetler sabit Reynolds sayısı ve strok uzunluğunda ( $Re=300$ ,  $L_0/D=29$ ) yapılmıştır. Dikkate alınan parametre aralığı için ( $6 < H/D < 24,3 < S/D < 12$ ),  $H/D=24$  ve  $S/D=3$ 'ün optimum konfigürasyonu  $60 < \Phi < 120$  derecelik bir faz farkında çalıştırılması olduğunu belirtmişlerdir. Bu aralıkta en yüksek ortalama soğutma performansını bulmuşlardır. Sıcak bir noktanın soğutması için ise  $H/D=6$  ve  $S/D=3$  konfigürasyonu  $135 < \Phi < 180$  bir faz farkında çalıştırılması gerektiğini açıklamışlardır. Burada ise en yüksek yerel maksimum ısı transferini elde etmişlerdir. Buldukları sonuçlarda aktif olarak kontrol edilen ısı transferi uygulamaları için çift çarpan sentetik jet sisteminin potansiyelini ortaya koymuştur.

## 1.4 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde doğal konveksiyon ve sürekli sentetik jete göre avantajlı olan sıfır net kütle akılı sentetik jetin önemi görülmektedir. Hoparlör yardımıyla sentetik jet oluşturularak; belirli frekanslarda bu jetten elde ettiğimiz üfleme debisini, sentetik jetin akış alanı özelliklerini ve önceden homojen şekilde ısıtılmış levha yüzeyine çarptırılarak yüzey üzerindeki sıcaklık dağılımını termal kamera yardımıyla gözlemleyerek grafikler sayesinde çözümlenmektedir. Bu akış debisinin elde edilmesi noktasında ve H/D oranlarındaki farklılıkların plaka üzerindeki etkileri deneysel ortamda incelenerek jet mekanizmalarının işleyişi hakkında detaylı bilgi birikimi oluşturmaktır.

## 1.5 Tezin Bilimsel Önemi

Sentetik jetler harici bir kütle transferine ihtiyaç duyulmaması, kolaylıkla kullanım alanına entegre edilmesi ve hızlı cevaplama süresi gibi uygulama alanın açısından önemli avantajlara sahip olduklarından dolayı son yıllarda bu konu üzerine yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Sentetik jetler, türbin kanatların soğutulması, elektronik cihazların ısınma problemlerine çözüm olması ve uçak kanatlarının etrafındaki akışın kontrolünde kullanılması gibi birçok uygulama alanına sahiptir. Bu çalışmada dairesel sentetik çarpan jetin ısı transferi karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi sunulmuştur. Homojen ısıtılmış levha üzerine etkisi incelenecek olan sentetik jetin levha üzerindeki sıcaklık dağılımını termal kamera yardımıyla görselleştirilmesi yapılmıştır. Ayrıca ısı transferi ve hız ölçüm hesaplamaları ile sayısal sonuçlarda ortaya konulmuştur. Bu incelemeler neticesinde ortaya çıkan deneysel sonuçlar ile literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

## BÖLÜM II

### DENEYSEL ÇALIŞMA

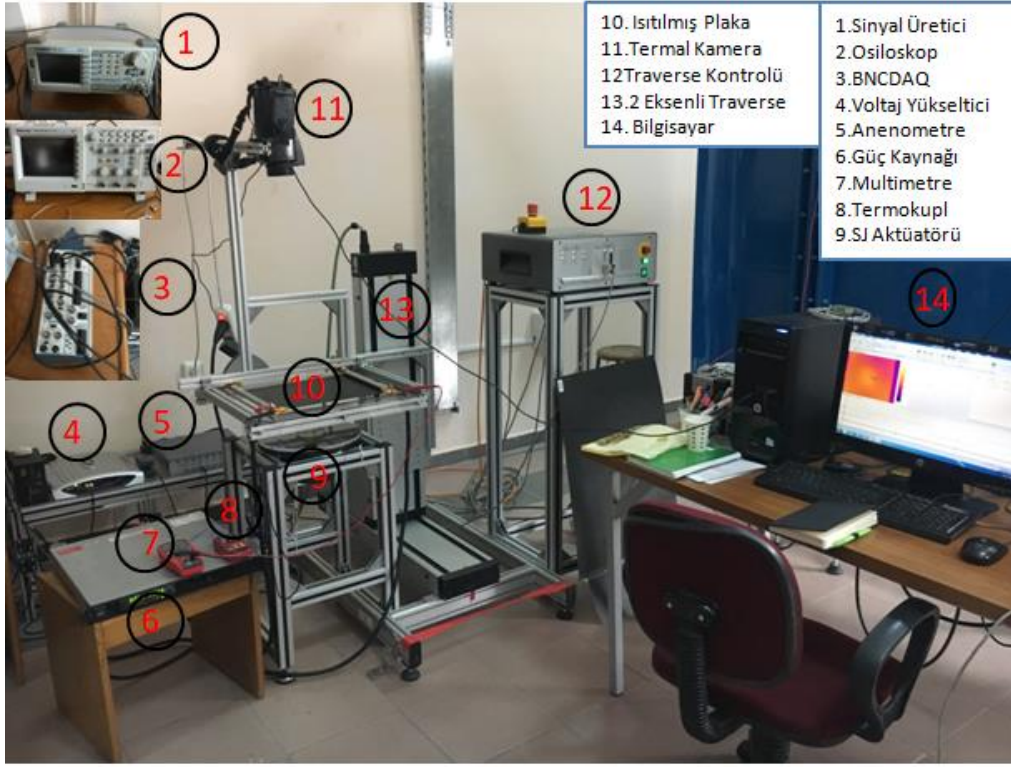
#### 2.1 Deney Düzeneginin Kurulumu

Bu tez çalışmasında, hoparlör tipi aktuatör kullanılarak sinüs, kare, ramp (tırmanan üçgen), puls (kare sinyalin %25 duty cycle sürümü) olmak üzere dört farklı sinyal türünde elde edilen sentetik jetin akış alanı özellikleri ve çarpan jet ısı transferi karakteristikleri incelenmiştir. Deneyler, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan Aerodinamik Akış kontrol Laboratuvarında 215M920 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında kurulan deney düzenegi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hız ölçümlerinde, 2-20Hz aralığındaki 7 farklı frekans değerleri için kızgın tel anemometresi ile akış alanında hız ölçümleri yapılarak, anlık ve ortalama hız değişimleri elde edilmiştir. Çarpan jet ısı transferi deneyleri ise 4, 10 ve 15 Hz olmak üzere 3 frekans ve jet çıkışı ile hedef levha arasındaki boyutsuz mesafe olan  $H/D$ 'nin 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 ve 10 değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Isı transferi deneylerinde 0.03 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik levha DC güç kaynağı ile ısıtılarak levha üzerinde sabit ısı akısı altında üniform sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Çarpan jetin etkisi ile levha üzerinde oluşan sıcaklık dağılımları termal kamera yardımı ile ölçülmüştür.

Bu deney sisteminin kurulumu Fotoğraf 2.1'de görülmektedir. Sinyal üreticisinde (1) istenilen yapı, frekans ve genlikte oluşturulan sürüm sinyalinin voltajı hoparlöre gönderilmeden önce ses amfisinde (4) yükseltilmektedir. Güçlendirilmiş sinyal ile sentetik jet aktuatörünü oluşturan hoparlörün (9) beslenmesi ile hoparlörün diyaframının hareketi sağlanmaktadır. Hoparlörün üzeri kapatılmış olup oluşturulan aktuatör hacminin çıkışına 20 mm çapına sahip lüle yerleştirilmiş ve buradan üniform sentetik jet akışı elde edilmiştir. Deney sistemi dört bölüm olarak ele alınmış olup bunlar;

- Sentetik Jet Üretim Mekanizması
- Sentetik Jet Aktuatörü Sürüm Sistemi
- Kızgın-Tel Anemometre ile Hız Ölçüm Sistemi
- Termal Kamera ile Isı Dağılımı Ölçüm Sistemi

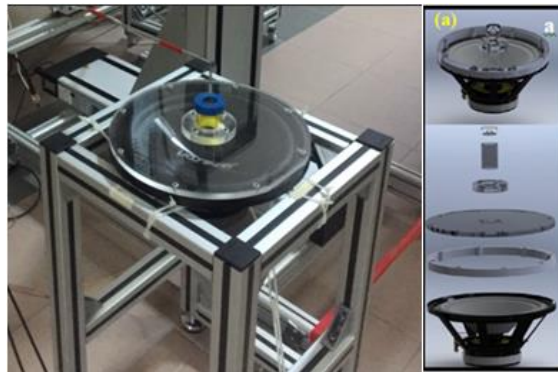
şeklinde alt başlıklar halinde sunulmuştur.



**Fotoğraf 2.1.** Deney düzeneğinin genel görünümü

## 2.2 Sentetik Jet Oluşum Mekanizması

Fotoğraf 2.2’de sentetik jet üretiminde kullanılan hoparlör sentetik jet aktüatörü görülmektedir. Jameson marka JW-36 model 1000W’lık hoparlör, hacim oluşturma çemberi kapalı hacmi oluşturan akrilik üst kapak, akrilik boru ve 20 mm çapa sahip lüleden meydana gelmektedir. Kapalı hacim oluşturmada kullanılan üst kapak ve boruyu levha üzerinde tutan bilezik bölümü ise ISEL marka 3 eksenli CNC Router kullanılarak üretilmiştir.



**Fotoğraf 2.2.** Hoparlör sentetik jet aktüatörü



Lüle (D=20 mm) Zortrax marka M200 model üç boyutlu yazıcı yardımıyla üretilmiştir. Fotoğraf 2.3’de de görüldüğü üzere 20mm çapa sahip model üretim tablasında yer almaktadır.



**Fotoğraf 2.3.** 20 mm çapa sahip lüle üretimi

### 2.3 Sentetik Jet Aktüatör Sürüm Sistemi

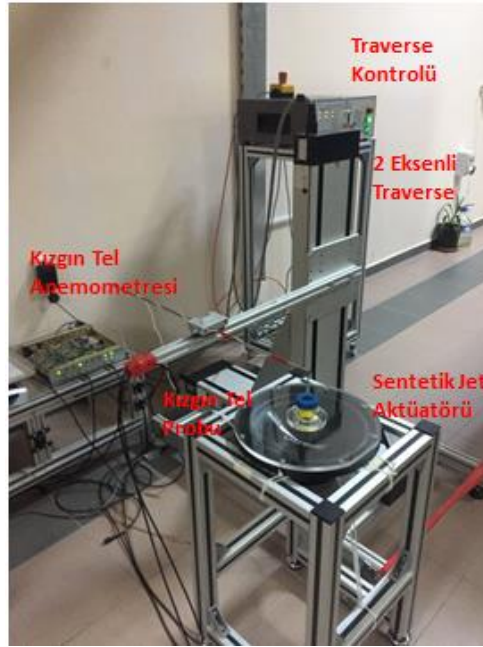
Bu çalışmada sentetik jet oluştururken 5 V’luk çıkış gerilimi, 2-20 Hz frekans aralığı ile sinyal türü olarak da sinüs, kare, ramp, puls(%25 duty cycle) sinyal yapıları kullanılmıştır. Sentetik jet aktüatörünün sürülmesinde Fotoğraf 2.4’de görülen cihazlar kullanılmıştır. Sürüm sinyali AA Tech marka AWG-1010 model sinyal jeneratörü ile oluşturulmuştur. Sürülen sinyali gözlemlemek için 2 kanallı Tektronix model TDS2022 model osiloskobun bir kanalından sinyal jeneratöründen gelen sinyal kontrol edilirken diğer kanaldan ise yükselticinin güçlendirdiği çıkış sinyalinin yapısı ve akım şiddeti Fluke 80i-110s tipindeki akım probu ile ölçülerek sinyal yapıları deney süresince gözlemlenmiştir. Sürüm sinyalini yükseltmek için Boss marka CX750 model ses amfisinden yararlanılmıştır. Bu amfi tek kanaldan 800 W’a kadar güç çekilebilmektedir. Bu gücü sağlamak için de 1200 W’lık bir DC güç kaynağı kullanılmıştır.



**Fotoğraf 2.4.** Deneylerde kullanılan sinyal jeneratörü, BNC DAQ ve Osiloskop

## 2.4 Hot - Wire Anemometresi ile Hız Ölçüm Sistemi

Sentetik jet aktüatörü ile oluşturulan jetlerin akış alanı hız karakteristiğinin belirlenmesinde Fotoğraf 2.5’de görülen Dantec Dynamic marka Multichannel model kızgın-tel (hot-wire) anemometresi kullanılmıştır. Anemometre 6 kanallı sabit sıcaklık anemometresi yapısında çalışmaktadır. Hız ölçümünde kullanılan kızgın tel probunu istenilen konuma getirmede bilgisayar kontrollü Dantec Dynamic marka 2 eksenli traverse mekanizması kullanılmıştır. Bu traverze mekanizmasının hareketi traverse kontrol ünitesi tarafından sağlanmakta olup, 610 mm x 610 mm hareket aralığı ve 6,25 µm hareket çözünürlüğüne sahiptir.



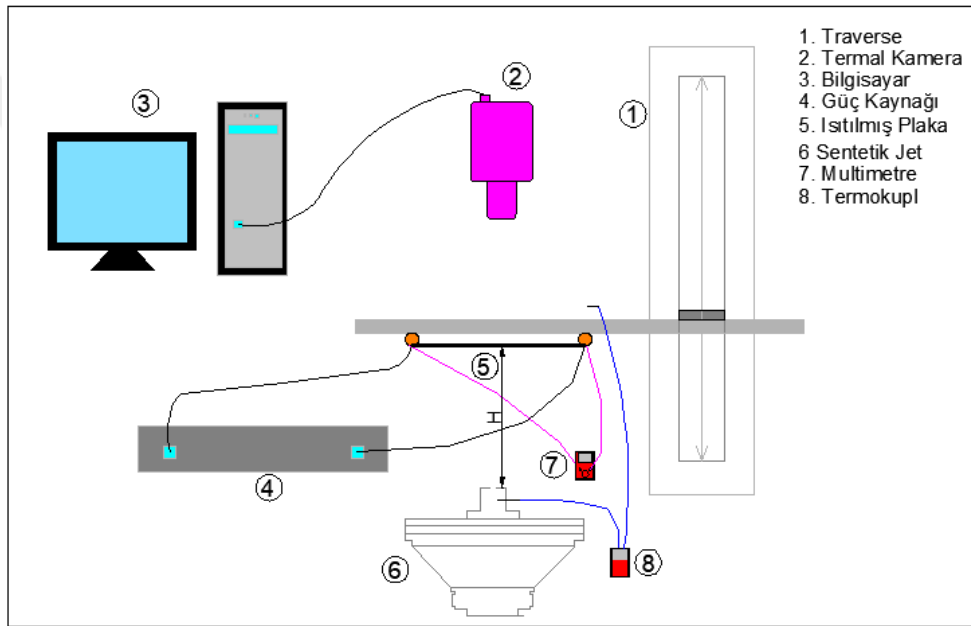
**Fotoğraf 2.5.** Kızgın tel anemometresi hız ölçüm sisteminin görünümü

Anemometrenin yazılımı olan MiniCTA’da oluşturulan ölçüm koordinatları kullanılarak x ve y ekseninde traverse mekanizması yardımıyla prob konumlandırılarak anlık hız ölçümleri yapılmıştır. Hız verilerinin toplanması esnasında bilgisayarın içerisinde takılı olan National Instrument marka PCI-6220 model veri toplama kartı kullanılmıştır. Genel maksat 55P11 model tek telli prob ile 2 kHz örnekleme frekansında 5 saniye boyunca toplam 10000 anlık hız verisi alınarak anlık hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kızgın-tel probunun kalibrasyonu Schiltknecht marka MonoAir500 mikro manometre kullanılarak lüle tipi kalibratörde gerçekleştirilmiştir. Mikromanometre  $\pm 200$  Pa ölçüm aralığında 0.1 Pa çözünürlüğe,  $\pm 0.5$  Pa doğruluğa sahiptir. Hız ölçümü verilerini

alabilmek için hız ve sıcaklık problemleri veri toplama kartına bağlanmıştır. Kızgın tel anemometresi ile hız ölçümündeki toplam belirsizlik % 4 civarında elde edilmiştir.

## 2.5 Termal Kamera ile Isı Ölçüm Sistemi

Isı transfer test sisteminin şematik görüntüsü Şekil 2.1.'de görülmektedir. Bu deneysel kurulum hoparlör tipi sentetik jet, termal kamera, bilgisayar, iki eksenli traverse mekanizması, homojen ısıtılmış plaka, multimetre, termokupl ve güç kaynağından oluşmaktadır.



Şekil 2.1. Isı transfer ölçüm sisteminin deneysel kurulumu

İlk olarak 20 mm bakır çubuk Repco Technology'den alınan 0,03 mm kalınlığında ve 305 mm genişliğindeki paslanmaz çelik film levhaya iki ucundan sarılarak iki çubuk arası mekanik olarak gerdirilmiştir. Hazırlanan 2 adet bakır çubuğa sarılacak olan paslanmaz çelik film plakamızın iki ucu Kapton ile çubuğa tutturularak sıkı şekilde sarılmıştır. Bu işlem bittikten sonra sac yüzeyindeki parlaklığı gidermek ve termal kameradaki görüntüleri daha iyi alabilmek için kameraya bakan üst yüzeyi siyah mat boya ile boyanmıştır ve film levhanın yüzey emisivitesi alt yüzey için 0,27 (URL-1) ve üst siyaha boyalı yüzeyi için termokupl ile yapılan kalibrasyonla 0,95 olarak belirlenmiştir. Fotoğraf 2.6.da görüldüğü üzere sigma profiller kullanılarak oluşturulan platformda bakır çubuğa sarılı film plakayı gerdirmek için kullandığımız vidanın bakır

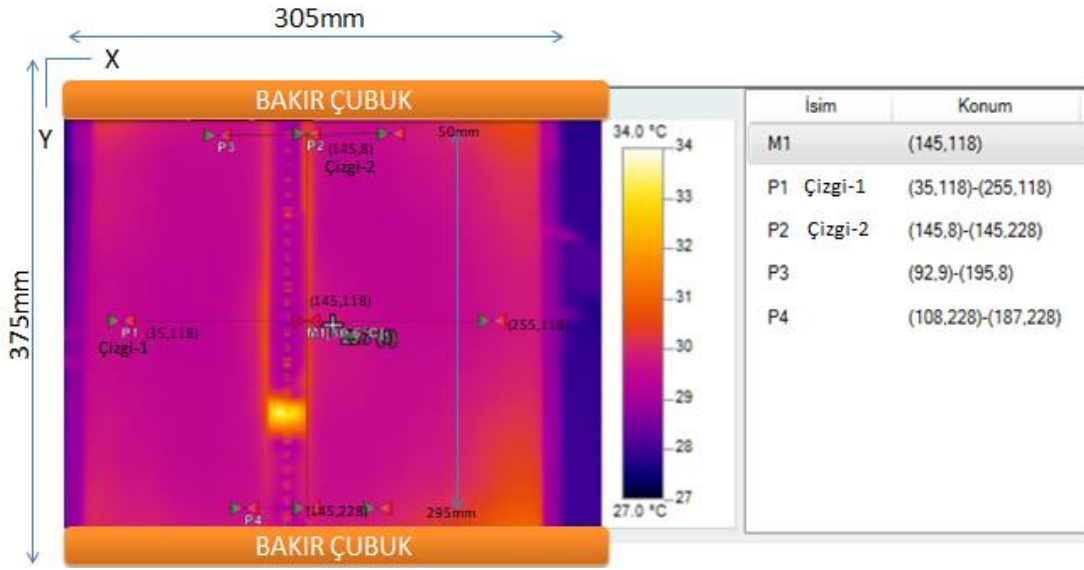
çubuk ile temasını kesmek için makaron kullanılmıştır ve bu sayede kaçak akım önlenmiştir. Daha sonra Sorensen Ametek XG30-50 model güç kaynağından aldığımız 10 mm çapında ve 2000 mm uzunluğundaki kablo Fotoğraf 2.6 daki gibi bakır çubuklara bağlantısı yapılmıştır.



**Fotoğraf 2.6.** Paslanmaz çelik film levha montaj şekli

Multimetre ile güç kaynağındaki çıkış değeri ile bakır çubuğun bağlantı noktasındaki değerleri karşılaştırılmıştır ve voltajdaki azalmalardan dolayı, bakır çubuk üzerinden voltaj değerleri alınmıştır. Güç kaynağı sabit 50 A akımda iken 2,17-2,25 V aralığında değişken gerilim değerlerinde deney gerçekleştirilmiştir. Sentetik jet aktüatörü 375 mm x 305 mm boyutlarındaki homojen ısıtılmış plaka yüzeyine dik alttan bakacak şekilde terazisi alınarak yerleştirilmiştir. Ortamın ve jetin sıcaklığı termokupl kullanılarak ölçülmüştür. Homojen ısıtılan plakanın yüzey sıcaklık dağılımını ölçmek için 320x240 piksel (super resolution ile 640x 480 piksel) çözünürlüğe sahip Testo 885-2 model termal kamera kullanılmıştır. Termal kameranın yüzey görüntüleme kullandığı IRSof programında plakadaki görüş ve çalışma sınır aralıklarını metal cetvel yardımıyla hedef levha üzerinde piksel ayarı Şekil 2.2. deki gibi yapılmıştır. Burada 50mm-295mm aralığına karşılık gelen 8-228 piksel (220 piksel=245 mm) olarak belirlenmiştir. IRSof programında P1(Çizgi 1) bakır çubuğa paralel ve P2 (Çizgi 2) bakır çubuklara dikey olacak şekilde çalışma alanımız belirlenmiştir ve bu çizgilerin koordinatları Şekil 2.2'deki gibidir. Bunlar yapıldıktan sonra hedef plakanın sabit sıcaklığa ulaşması ile sentetik jet sürümü gerçekleştirilmiştir. Sentetik jet altındaki hedef plaka sıcaklık dağılımı rejime girinceye kadar yaklaşık 3-5 dakika kadar beklenilmiştir. Bunun için P1 ve P2 çizgilerinin sıcaklık dağılımlarının yanı sıra M1 merkez noktası sıcaklığının zamanla değişimi izlenerek sıcaklığın sabitlenmesi beklenilmiş ve daha sonra termal

kamera ile 3 s süresince, saniyede 20 fotoğraf olmak üzere 60 fotoğrafın video kaydı alınmıştır.



Şekil 2.2. Film levha çalışma aralıklarının cetvel yardımıyla belirlenmesi

## 2.6 Isı Transfer Denklemleri ve Boyutsuz Sayılar

Isı transferi deneylerinde sentetik jet aktüatörü sinüs, kare, ramp, puls (%25 duty cycle) sinyali ile 4, 10, 15 Hz frekanslarında sürülmüştür. Isı transferi ölçümlerinden alınan veriler kullanılarak enerji denkleminde ısı taşınım katsayısı elde edilmiştir. Isı taşınım katsayısından yerel ve ortalama Nusselt sayısı dağılımları elde edilmiştir. Yerel ısı transfer katsayıları aşağıdaki enerjinin korunumu denklemi 2.1 ile hesaplanmaktadır (Caliskan vd., 2014).

$$q''_{\text{elektrik üretilen}} = q''_{\text{taşınım}} + q''_{\text{üst doğal taş}} + q''_{\text{iletim}} + q''_{\text{radyasyon}} \quad (2.1)$$

$$q''_{\text{iletim}} = k \frac{\Delta T}{t} \quad (2.2)$$

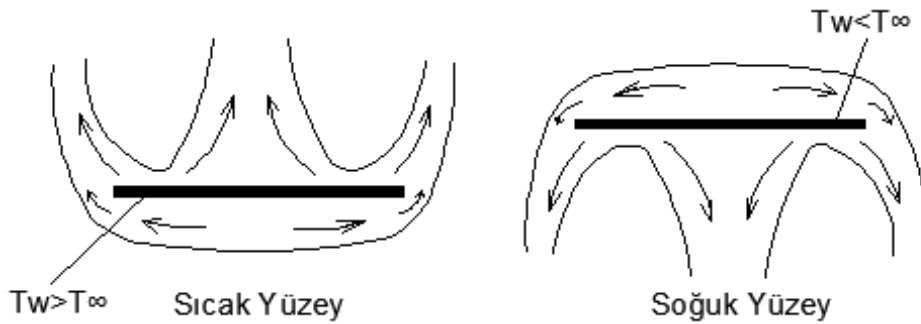
$k$  levhanın ısı iletim katsayısı,  $\Delta T$  levha boyunca sıcaklık farkı ve  $t$  plaka kalınlığıdır. Burada  $t$  plaka kalınlığı çok ince olması nedeniyle yanıl(lateral) iletim  $q''_{\text{iletim}}$  Lytle ve Webb, (1994) çalışmasında ihmal etmişlerdir. Böylece denkleminiz 2.3'deki gibidir;

$$E.I=h_t.A_{alt}(T_y-T_j)+h_{dt}.A_{üst}(T_y-T_ç)+\sigma.\varepsilon.(A_{alt}+A_{üst})(T_y^4-T_ç^4) \quad (2.3)$$

Denklemden  $q_{el}''$  ısı akısını,  $E$  film ısıtıcının voltajını,  $I$  film ısıtıcının akımını ifade etmektedir. Denklemden  $q_{taş}''$  katı bir yüzey ve ona komşu olan hareket halindeki sıvı veya gaz (akışkan) arasında gerçekleşen taşınım ile ısı transferi şeklindedir.  $h_t$  ısı taşınım katsayısı ve  $A_{alt}$  ve  $A_{üst}$  homojen ısıtılmış paslanmaz sacın alt ve üst yüzey alanını ifade etmektedir.  $T_y$  ısıtılmış levhanın herhangi bir konumdaki yüzey sıcaklığını,  $T_ç$  çevre sıcaklığını ve  $T_j$  ise sentetik jet sıcaklığını ifade etmektedir. Doğal taşınım ısı transfer katsayısı  $h_{dt}$  olup birim alandan olan doğal taşınım ile olan ısı transferi  $q_{dt}''$  ile belirlenmektedir. Denklemden  $q_{rad}''$  ışınım ile ısı akısını göstermektedir. Burada  $\sigma$  Stefan Boltzmann sabiti ( $5.67 \times 10^{-8} [W/(m^2 K^4)]$ ) ve  $\varepsilon$  yayma katsayısını göstermektedir.

$$h = \frac{\frac{E.I}{A} - h_{dt} \cdot (T_y - T_ç) - \sigma \cdot \varepsilon \cdot 2(T_y^4 - T_ç^4)}{(T_y - T_j)} \quad (2.4)$$

Doğal taşınım ısı transfer katsayısı  $h_{dt}$ 'yi hesaplayabilmek için 2.5 numaralı denklem kullanılmış ve sonuç  $h_{dt}=1,28$  olarak hesaplanmıştır. Denklemden Nusselt sayısı sıcak bir levha üzerindeki doğal taşınım ile olan ortalama ısı transferini ifade etmekte olup Rayleigh sayısına bağlı olarak şekil 2.3'de görülen sıcak levha için verilen 2.6 ve 2.7 denklemlerindeki ampirik bağıntılar kullanılarak elde edilmektedir. Bu çalışmada ortalama  $15^\circ C$ 'lik sıcaklık farkı için 2.8 numaralı denklem kullanılarak Rayleigh sayısı  $0,2 \cdot 10^8$  olarak elde edilmiştir.  $Nu_L$ 'yi hesaplanmasında bu durum için geçerli olan 2.7 numaralı denklem kullanılmıştır.



Şekil 2.3. Yatay yüzey üzerindeki doğal taşınım

$$h_{dt} = \frac{kNu_L}{L} \quad (2.5)$$

$$Nu_L = 0,54 Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \quad (2.6)$$

$$Nu_L = 0,15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \quad (2.7)$$

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_y - T_c) \cdot L^3}{\alpha \cdot \vartheta} \quad (2.8)$$

Denklem 2.4 kullanılarak levha üzerinde sentetik jet ile oluşturulan zorlanmış taşınımına ait ısı transfer katsayısı hesaplandıktan sonra denklem 2.9 kullanılarak boyutsuz ısı transferini ifade eden Nusselt sayısı elde edilmiştir.

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \quad (2.9)$$

Nu ifadesi Nuselkt sayısını, D lüle çapını, k ise akışkanın ısıl iletim kat sayısını ifade etmektedir. k ısıl iletim katsayısını 1 atm basınçtaki havanın özelliklerinden sıcaklık 20 ve 60 °C'ye denk gelen ısı iletim katsayısı (Çengel ve Cimbala, 2007) ile  $T_y$  sıcaklığına interpolasyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu denklemleri kullanarak elde edilen sonuçlar bulgular bölümünde grafiksel olarak detaylı şekilde sunulmuştur.

## 2.7 Sentetik Jet Boyutsuz Sayılar

Sentetik jet tanımlanmasında iki denklem tanımlanmaktadır (Qayoum vd.,2010). Bunlar L boyutsuz strok uzunluğu ve  $Re_j$  Reynolds sayısı;

$$L = \frac{L_0}{D} \quad (2.10)$$

$$Re_j = \frac{V_0 \cdot D}{\vartheta} \quad (2.11)$$

$V_0$  üfleme hızının bir periyot boyunca (T) olan zaman ortalamasıdır.

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_0(t) dt \quad (2.12)$$

$L_0$  sentetik jetin strok uzunluğu;  $L_0=V_0 \cdot T$  şeklinde tanımlanmaktadır. Üfleme stroğu süresince lüleden dışarıya gönderilen akışkan kolunun uzunluğunu ifade etmektedir.

Bunlara ek olarak diğer önemli bir boyutsuz parametre ise Stokes sayısıdır.

$$S = \sqrt{\frac{2\pi Re_j}{L}} \quad (2.13)$$

Bu çalışmada kullanılan 20 mm lüle geometrisinde oluşan jet akışına ait Reynolds sayısı, stroke uzunluğu ve Stokes sayılarına ait değerlerin değişimi çizelge 3.1’de verilmiştir. Kullanılan hoparlörün 4 çeşit sinyal tipi ve değişken 7 farklı frekans değerlerinde gerçekleştirmiştir. Reynolds sayıları Kare sinyalde 2,949 ile 8,270, Sinüzoidal sinyalde 565 ile 8,456, Üçgen sinyalde 763 ile 7,786 ve son olarak Puls sinyalde 1,507 ile 7,805 arasında sonuçlanmıştır. Buna ek olarak Stokes sayısı incelendiğinde kare, sinüzoidal, üçgen, puls sinyallerinde 16.30 ile 44.64 arasında aynı sonuçlar gerçekleşmiştir.

**Çizelge 3.1.** Bu çalışmada kullanılan parametrelere göre elde edilen boyutsuz sayıların dağılımı

Sinyal yapısı	Frekans	$V_0$	$Re_{jet}$	$L_0$	L	Stokes
Kare	2	2,79	2949	1,39	69,74	16,30
	4	4,66	4930	1,17	58,30	23,05
	6	6,04	6381	1,01	50,31	28,23
	8	6,45	6819	0,81	40,32	32,60
	10	6,66	7042	0,67	33,31	36,45
	15	7,82	8270	0,52	26,08	44,64
Sinüzoidal	2	0,53	565	0,27	13,35	16,30
	4	3,35	3544	0,84	41,91	23,05
	6	5,96	6298	0,99	49,65	28,23
	8	6,85	7237	0,86	42,79	32,60
	10	7,43	7851	0,74	37,14	36,45
	15	8,00	8456	0,53	26,66	44,64
Üçgen	2	0,72	763	0,36	18,04	16,30
	4	2,48	2623	0,62	31,02	23,05
	6	4,37	4623	0,73	36,45	28,23
	8	6,25	6605	0,78	39,05	32,60
	10	6,97	7367	0,70	34,85	36,45
	15	7,37	7786	0,49	24,55	44,64
Puls	2	1,43	1507	0,71	35,64	16,30
	4	2,91	3079	0,73	36,41	23,05
	6	4,23	4474	0,71	35,27	28,23
	8	5,18	5479	0,65	32,40	32,60
	10	6,06	6409	0,61	30,32	36,45
	15	7,38	7805	0,49	24,61	44,64



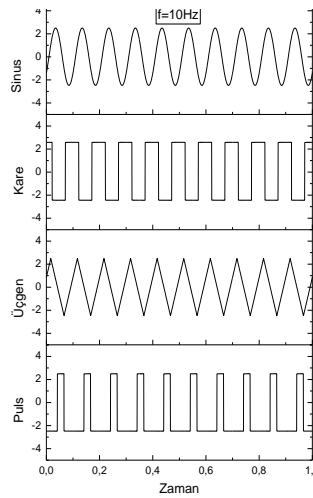
## BÖLÜM III

### BULGULAR

Bu bölümde, deneysel ölçümlerden elde edilen grafikler ve bu grafiklerden elde ettiğimiz sonuçlar sunulmuştur. Bu çalışmada iki farklı deney düzeneği kurulmuştur. İlk olarak, hoparlör tipi sentetik jet aktüatörün hız ölçümleri kızgın tel anemometresi kullanılarak elde edilmiştir. Burada farklı sinyal türlerinde ve frekanslarda ayrıca y/D mesafelerinde ölçümler alınmıştır. Daha sonra ikinci deney kısmında, 20 mm çapında lüle geometrili sentetik jetin etki ettiği hedef plaka üzerindeki yüzey sıcaklık dağılımları termal kamera yardımıyla ölçülmüştür. Buradaki çalışma kriterler; sinyal türü, frekans ve H/D mesafesi olarak belirlenmiştir. Deney sonuçları, sentetik jet akış alanı hız dağılımı ve çarpan jet ısı transferi Nusselt sayısı dağılımları olmak üzere iki ana başlık altında sunulmuştur.

#### 3.1 Sentetik Jet Akış Alanı Hız Dağılımları

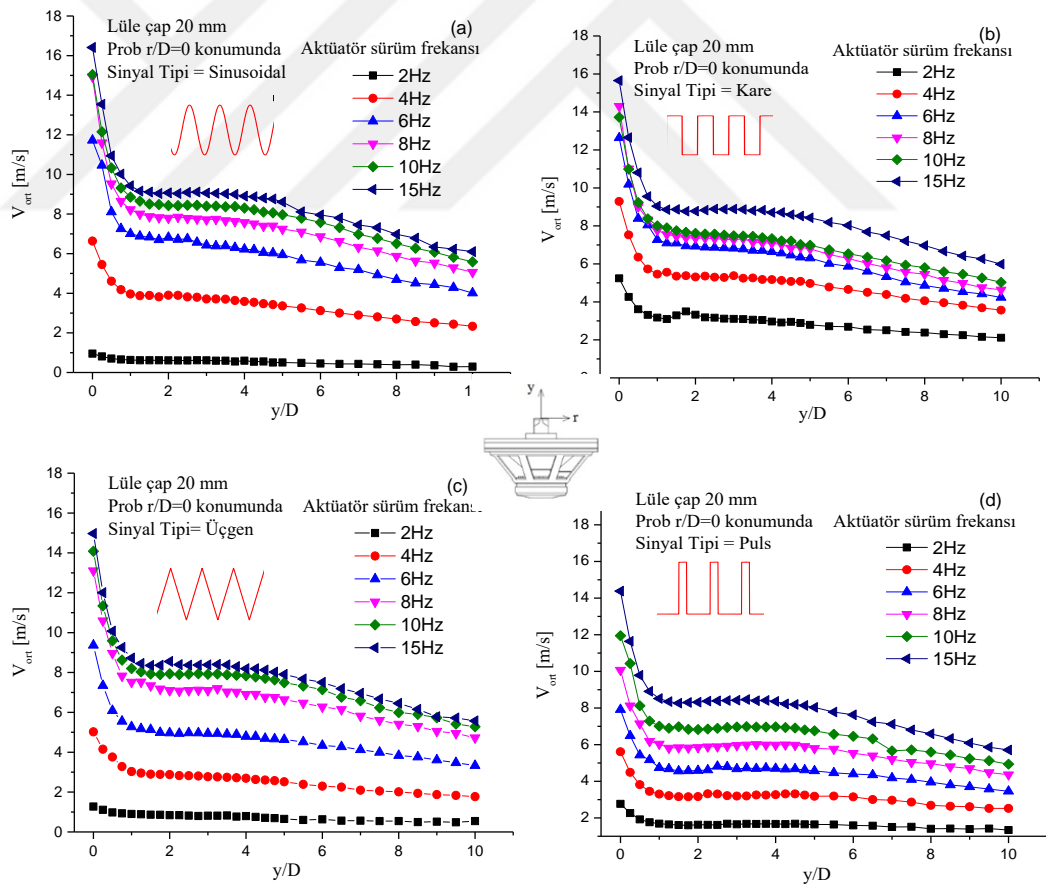
Hız dağılımları elde etmek için farklı frekanslarda sinyal formları kullanılmıştır. Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi kullanılan sinyal formlarının 10 Hz için elde edilen yapıları görülmektedir. Çalışmada 2 Hz ile 20 Hz arasındaki 7 farklı frekans ve 0, 2, 4, 6, 8, 10 y/D değerleri kullanılmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlar; eksenel yönde ortalama hız dağılımları, radyal yönde ortalama hız dağılımları ve anlık hız dağılımları olmak üzere üç başlıkta sunulmuştur.



**Şekil 3.1.** Çalışmada kullanılan sinüs, kare, üçgen ve puls sinyal tiplerinin 5 Vpp ve 10 Hz'deki değişimi

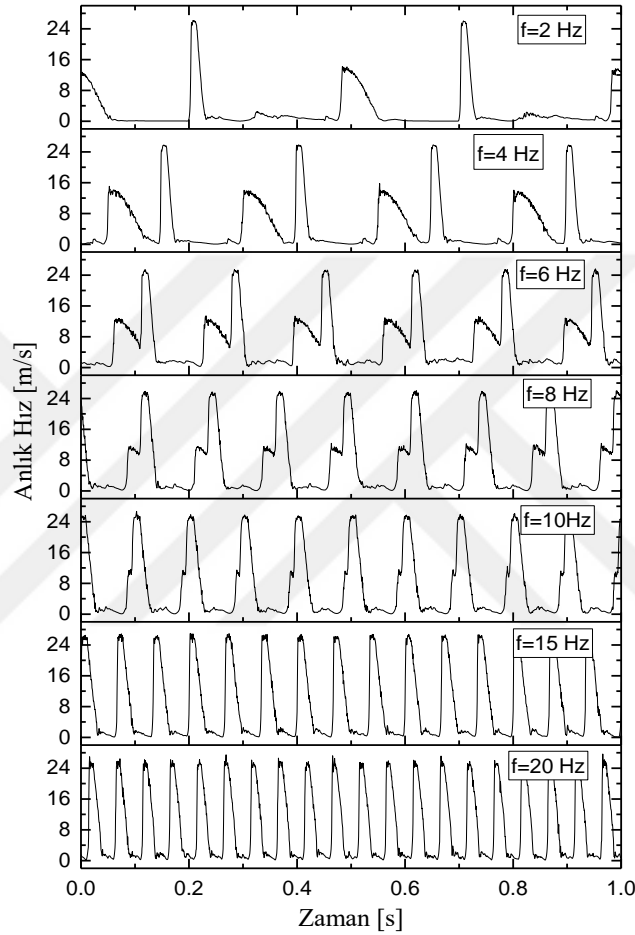
### 3.1.1 Eksenel yönde ortalama hız dağılımları

Şekil 3.2.'de sentetik jet eksenini boyunca eksenel hızın zaman ortalamasının değişimi görülmektedir.  $y/D$ 'nin ilk değerlerindeki yüksek değerler, kızgın tel probunun lüleyle yakın olması nedeniyle sentetik jetin emiş modunda algılanan hız nedeniyle yüksek çıkmaktadır. Ancak  $y/D$ 'nin 1 değerinden sonra ortalama hız sadece üfleme modunda algılanan hızlar tarafından oluşmaktadır. Farklı sinyal tiplerinin radyal yönde benzer dağılımlara sahip oldukları görülmektedir. Artan frekansla jet hızı artmakla birlikte frekans yükseldikçe hızdaki artış miktarı giderek azalmaktadır. Özellikle sinüzoidal ve üçgen dalga şekilleri birbirlerine yakın sonuçlar oluşturmuşlardır. Ancak kare sinyal yapısında düşük frekanslarda diğer sinyal tiplerine nazaran çok daha büyük ortalama hız değeri elde edilmiştir. Bunun nedeni Şekil 3.3'de verilen  $y/D=1$ ,  $r/D=0$  konumunda elde edilen kare sinyale ait farklı frekanslardaki jet yapılarından anlaşılmaktadır.



Şekil 3.2. Sentetik jet eksenini boyunca eksenel hızın zaman ortalamasının sinüzoidal (a), kare (b), üçgen(c) ve puls (d)sürüm frekansına bağlı olarak değişimi

Kare dalgada aktuatörün (diyaframın) alt ölü noktaya kare dalganın yapısından dolayı hızlı bir şekilde gelmesi ve bu noktada belirli bir süre (yarım periyot) durması esnasından aktuatörün dinamik davranışı nedeniyle her periyotta fazladan bir jetin daha oluşmasına neden olmaktadır. Yani emme modunda akışın hızlı bir şekilde hacmi doldurması esnasında hacim içerisindeki çalkalanma buna neden olmaktadır.

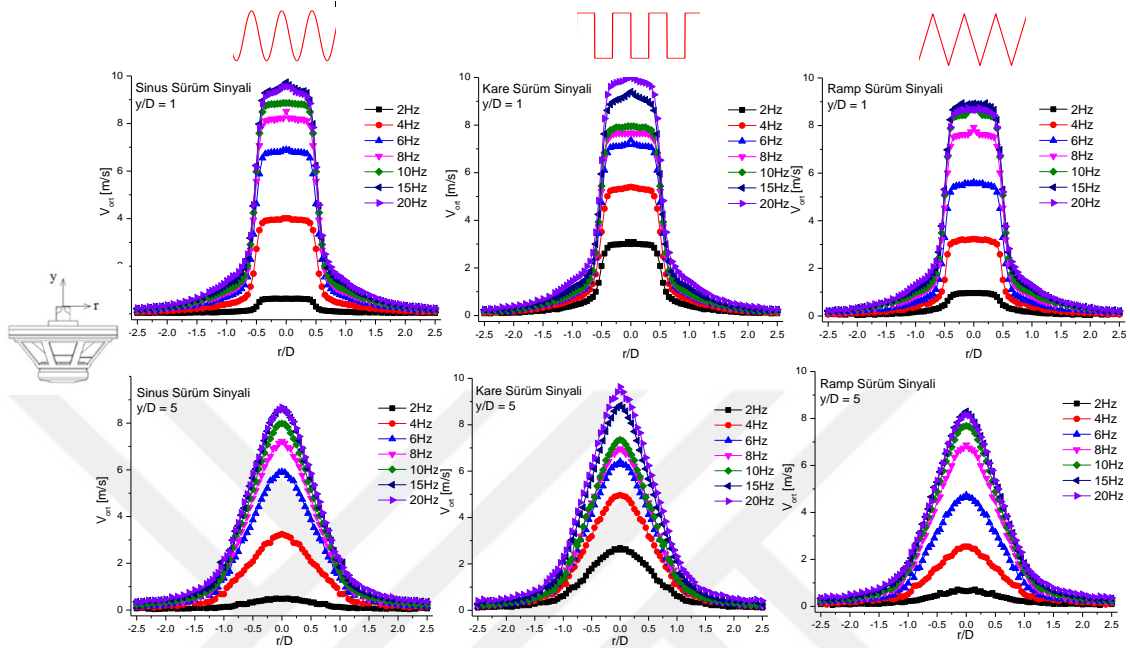


Şekil 3.3. Kare sinyale ait farklı frekanslardaki jet yapıları ( $y/D=1$ ,  $r/D=0$ )

### 3.1.2 Radyal yönde ortalama hız dağılımları

Şekil 3.3'de görülen ikincil jet yapıları 2 Hz ve 4 Hz durumlarında esas jet akışının uzağında iken 6 Hz durumunda üfleme modundaki jetle birleşmektedir. 8 Hz ve 10 Hz durumlarında periyotun negatif bekleme sürecinde oluşan bu jetler etkisini yitirerek ana jet üzerinde küçük bir çalkantı olarak görülmektedir. Kare sinyal yapısında görülen bu ikincil jetlerin ortalama hızlar üzerine etkisi Şekil 3.4.'de verilen  $y/D=1$  ve 5 konumlarından alınan radyal yöndeki ortalama hız dağılımlarında da belirgin bir şekilde

görülmektedir. 2 Hz frekansında, sinüs ve üçgen dalgaya ait jet hızları 1 m/s'nin altındayken, kare sinyal durumunda 3 m/s civarında oluşmaktadır. Sinüs ve üçgen sinyal yapılarında 15 ve 20 Hz'de elde edilen hızlar üst üste çakışırken, kare sinyal durumunda bu iki frekans arasında hızda hala bir miktar artış elde edilebilmiştir.

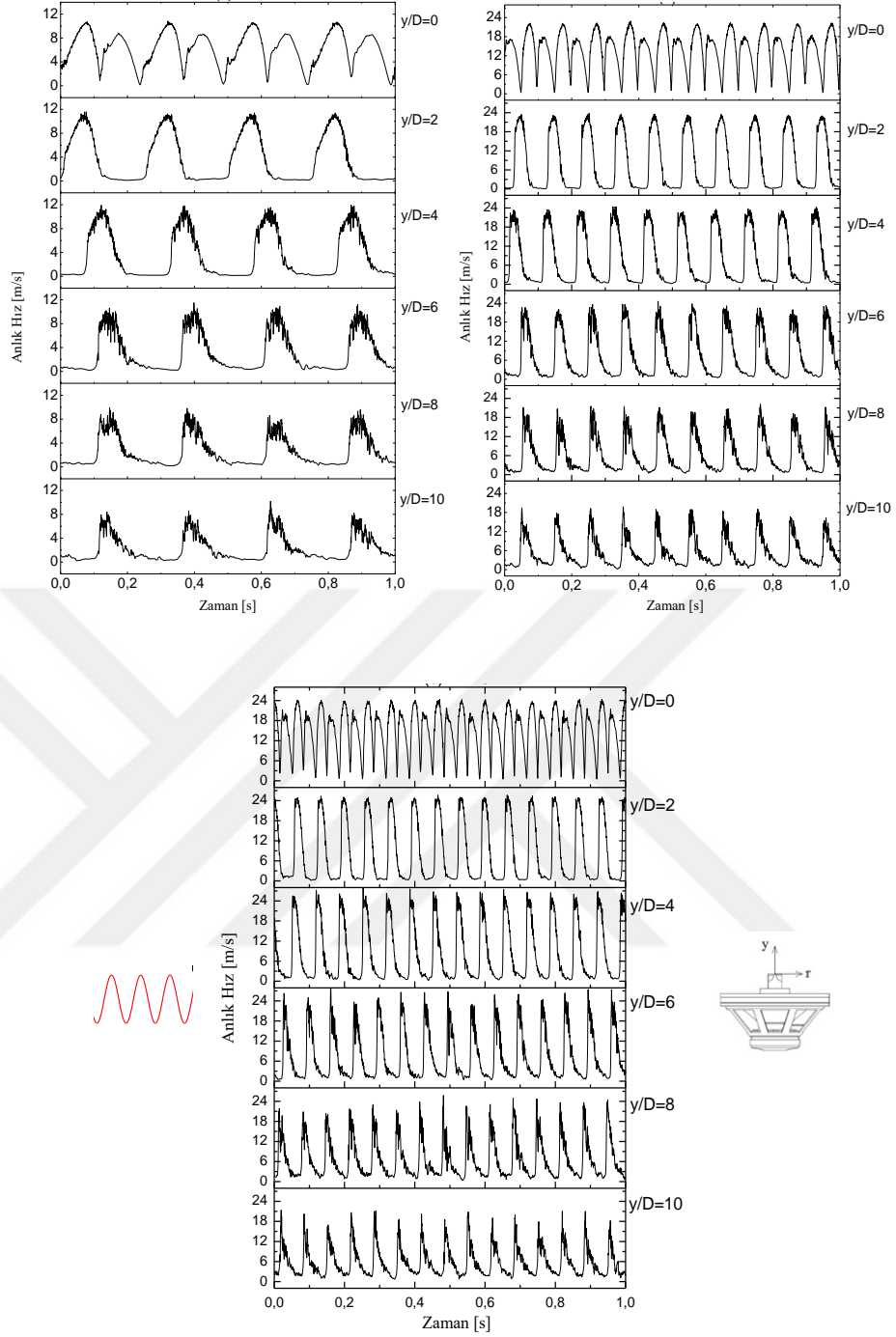


Şekil 3.4. Farklı  $y/D$  konumlarında, üfleme frekansının radyal yöndeki ortalama hız dağılımları üzerine etkisi

### 3.1.3 Anlık hız dağılımları

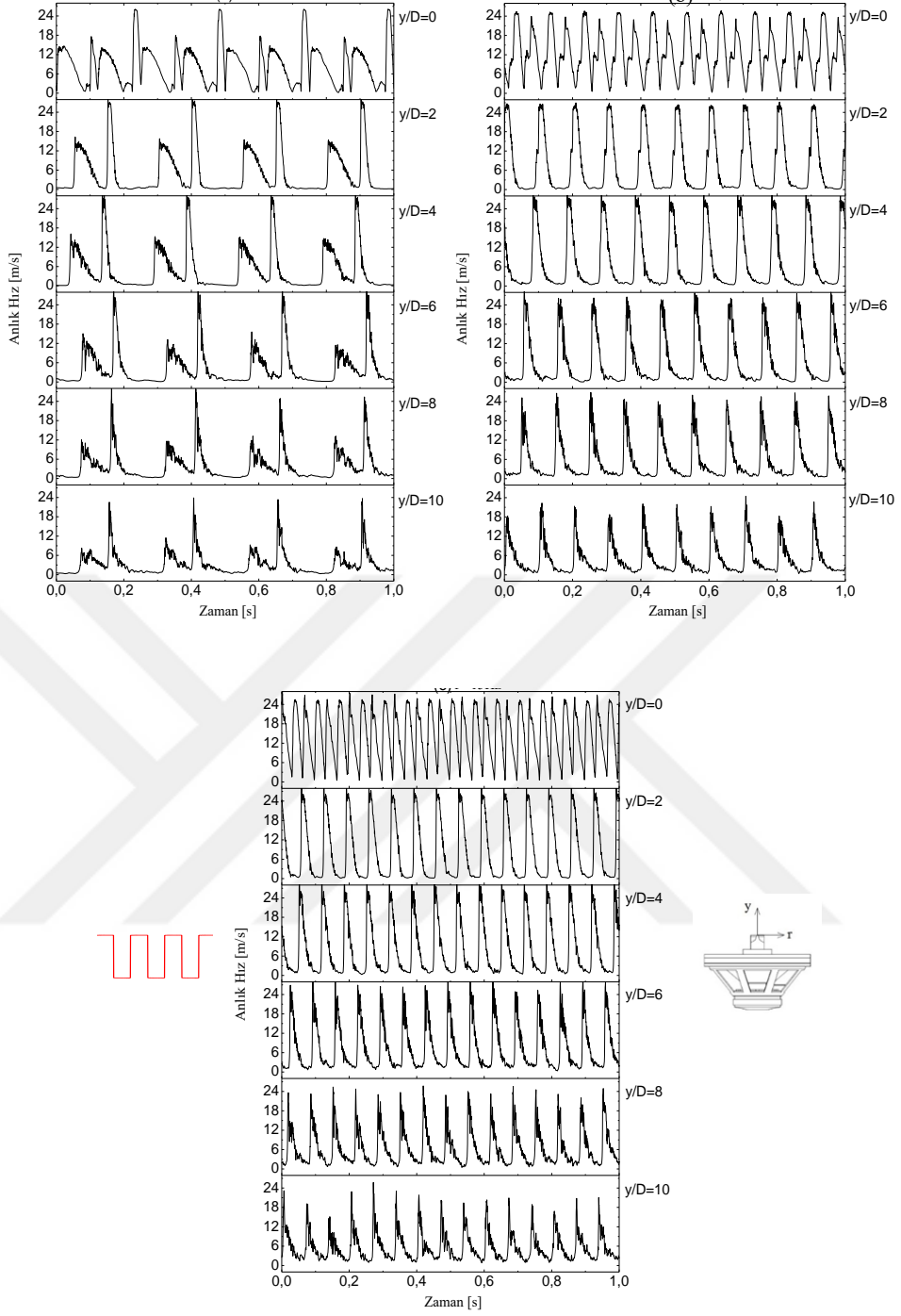
Ortalama hızlarda görülen bu değişimlerin sinyal yapılarının her bir frekansta görülen anlık hız yapılarına bağlı olmaları nedeniyle, Şekil 3.5-3.8'de her bir sinyal yapısı için 4, 10 ve 15 Hz durumlarındaki jet yapılarının farklı  $y/D$  konumlarındaki dağılımları verilmiştir. Bu şekillerde  $y/D=0$  konumundaki anlık hız dağılımlarında emme modunda oluşan negatif hızların algılanması nedeniyle oluşan hız tepelikleri de görülmektedir.

Şekil 3.5.'de görülen sinüzoidal sinyal yapısında frekansın sürekli bir şekilde dalgalanması hız yapısında frekansla birlikte jetin oluşum süresinin de değişmesine neden olmaktadır. Her bir frekans durumunda jettin oluşturduğu anlık hız tepesinin oluşum süresi yarım periyotluk süreyi kaplamakta ve artan frekansla tepe maksimum hız değeri de artmaktadır.



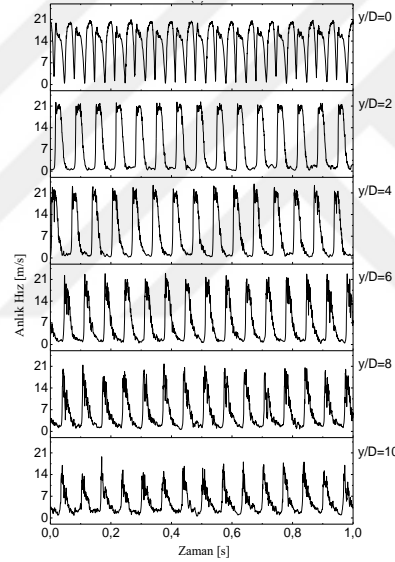
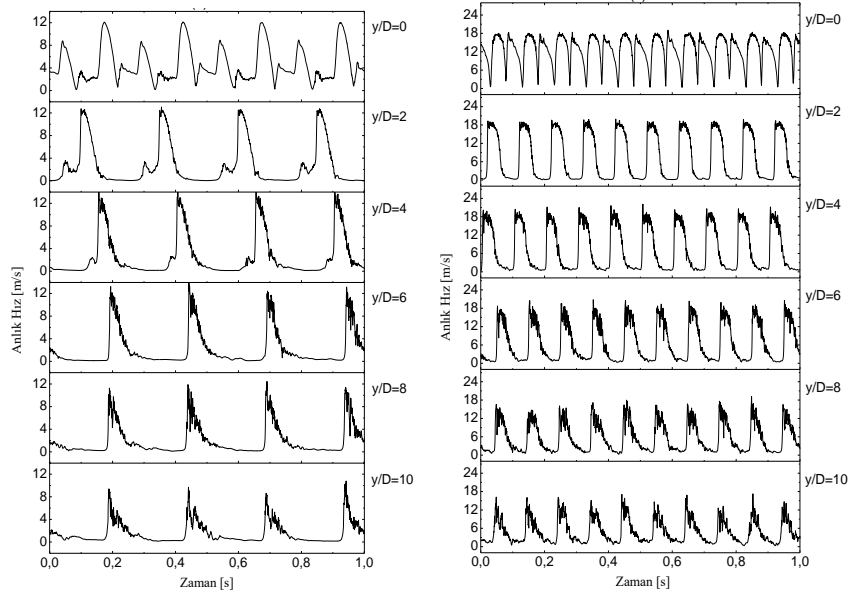
**Şekil 3.5.** Sinüzoidal sürüm sinyalinin 4 Hz (a), 10 Hz (b) ve 15 Hz (c) üfleme frekansında  $y/D = 0, 2, 4, 6, 8$  ve  $10$  konumlarındaki anlık hız değişimi.

Şekil 3.6'da görülen kare dalgaya ait hız tepelerinde ise maksimum hız bütün frekanslarda aynıdır. Bunun nedeni kare dalganın negatif değerden dik bir şekilde ani olarak pozitif değere değişmesine bağlı olarak jetin bütün frekans durumlarında ani olarak oluşmasından kaynaklanmaktadır. Bunun neticesinde jetlerin oluşum süreleri de düşük frekanslarda yarım periyottan az olup artan frekansla birlikte aktuatörün dinamik tepkisinden dolayı yarım periyota yaklaşmaktadır.



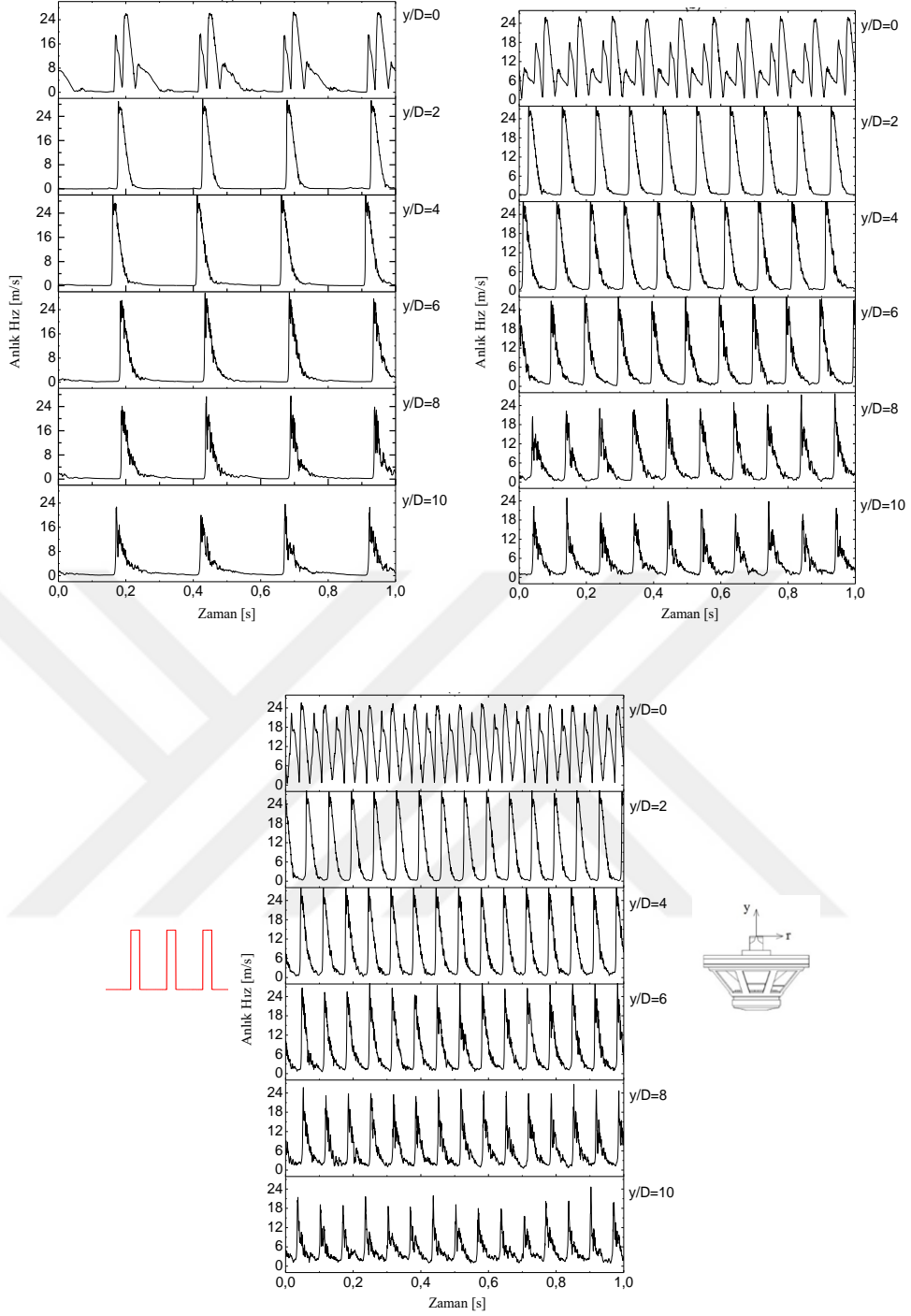
**Şekil 3.6.** Kare sürüm sinyalinin 4 Hz (a), 10 Hz (b) ve 15 Hz (c) üfleme frekansında  $y/D = 0, 2, 4, 6, 8$  ve 10 konumlarındaki anlık hız değişimi.

Şekil 3.7’de verilen üçgen dalga durumunda ise anlık hız dağılımlarında sinüzoidal dalganınkine benzer bir yapı sergilenmektedir. Özellikle 10 ve 15 Hz durumlarında jet yapıları sinüzoidal sinyale ait jet yapıları ile oldukça benzer bir davranış sergilemektedir.



**Şekil 3.7.** Üçgen sürüm sinyalinin 4 Hz (a), 10 Hz (b) ve 15 Hz (c) Hz üfleme frekansında  $y/D = 0, 2, 4, 6, 8$  ve 10 konumlarındaki anlık hız değişimi.

Şekil 3.8’de verilen puls sinyal yapısında ise kare dalganın üfleme modundakine benzer bir durum söz konusudur. Sinyalin ani bir şekilde yükselmesi ile ani olarak dar bir genişliğe sahip yüksek hızlı jet elde edilmekte ve bir nevi duty-cycle modundaki gibi belirli bir bekleme süresinden sonra sonraki jet oluşmaktadır. Artan frekans ile bu bekleme süresi kısalmakta ve aktüatörün dinamik davranışı olarak jeti oluşturma süresini kaplamaktadır. Puls sinyal yapısında maksimum hız bütün frekanslarda aynı olup kare dalgada olduğu gibi 24 m/s civarında elde edilmiştir.



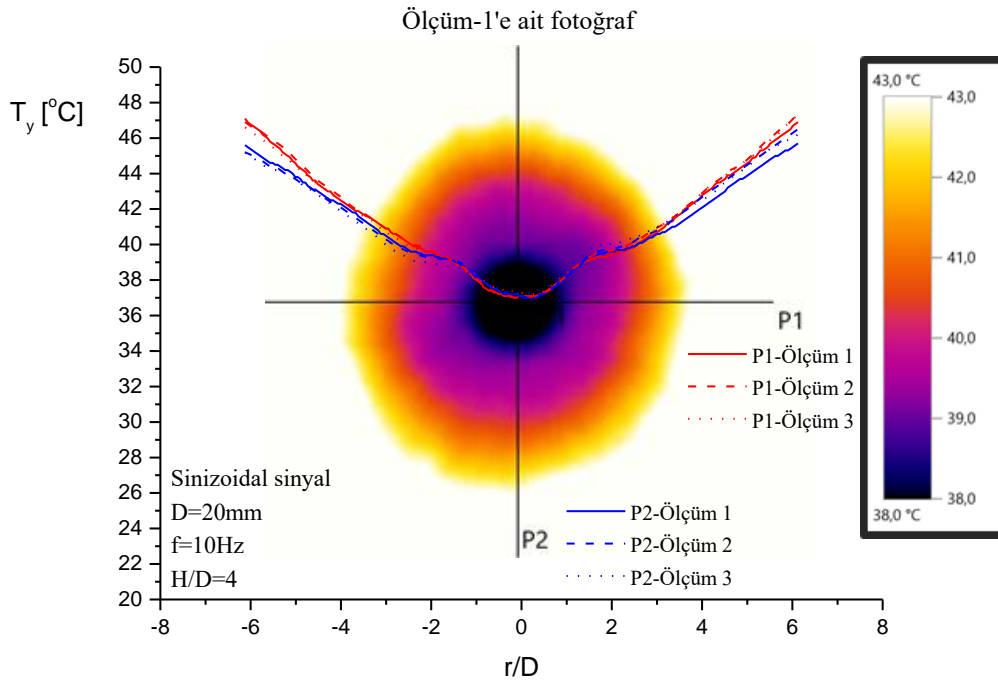
**Şekil 3.8.** Puls sürüm sinyalinin 4 Hz (a), 10 Hz (b) ve 15 Hz (c) üfleme frekansında  $y/D = 0, 2, 4, 6, 8$  ve 10 konumlarındaki anlık hız değişimi.

Farklı sinyal sürümlerinin oluşturduğu jet yapıları incelendiğinde oluşum süresi olarak daha uzun jet elde edilmek istendiğinde sinüzoidal sinyalin uygun olduğu, yüksek hıza sahip anlık jet için ise kare veya puls dalga yapısının kullanılabilirliği anlaşılmıştır.



### 3.2 Çarpan Jet Isı Transferi Nusselt Sayısı Dağılımları

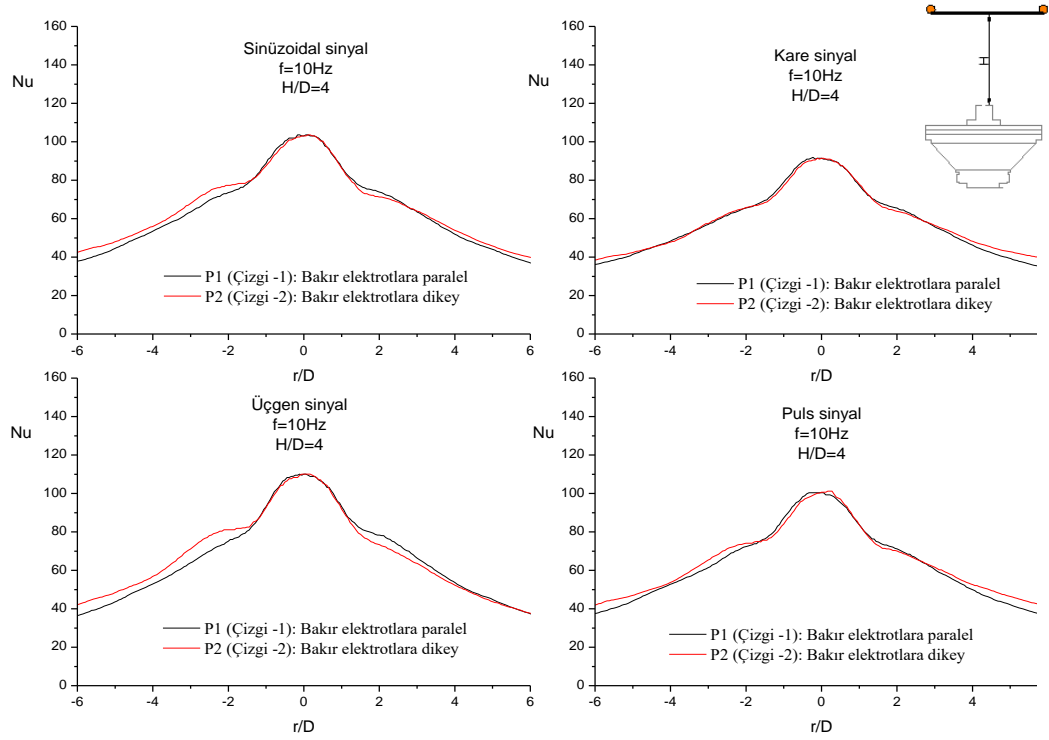
Farklı sinyal yapılarının 4, 10 ve 15 Hz frekanslarında elde edilen sentetik jet akışının hedef levha yüzeyine çeşitli H/D mesafelerinde çarpması ile levha üzerindeki boyutsuz ısı transfer katsayılarını gösteren Nusselt sayısı dağılımları elde edilmiştir. Levha üzerindeki sıcaklık dağılımlarının elde edilmesinde Şekil 2.2’de verilen elektrotlara paralel ve dik olarak alınan iki çizgi (P1 ve P2) üzerindeki sıcaklık dağılımları alınmıştır. Bu sıcaklık dağılımlarının analizinden elde edilen Nusselt sayısı dağılımları her durum için elde edilmiştir. Her bir deney 3’er defa tekrar edilmiş olup şekil 3.9’da sinüzoidal sinyal durumunda H/D=4 ve f=10 Hz için yapılan deneyin ölçüm-1’e ait sıcaklık dağılımı fotoğrafı ve üç ölçümden elde edilen P1 ve P2 çizgilerine ait 6 adet sıcaklık dağılımı eğrileri görülmektedir. Taşınım ile olan ısı transfer katsayısının hesaplamasında her bir çizgi için üç ölçüm sonucunun ortalaması alınarak P1 ve P2 çizgilerine ait Nusselt sayıları elde edilmiştir.



**Şekil 3.9** Sinüzoidal sinyal için H/D=4 ve f=10 Hz durumunda elde edilen sıcaklık dağılımı fotoğraf ve eğrileri

Şekil 3.10’da kare, Sinüzoidal, üçgen ve puls sinyal yapıları için H/D=4 ve f=10 Hz durumundaki P1 ve P2 çizgileri üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımları görülmektedir. Her iki çizginin yaklaşık aynı dağılımı vermesi dairesel kesitli olan

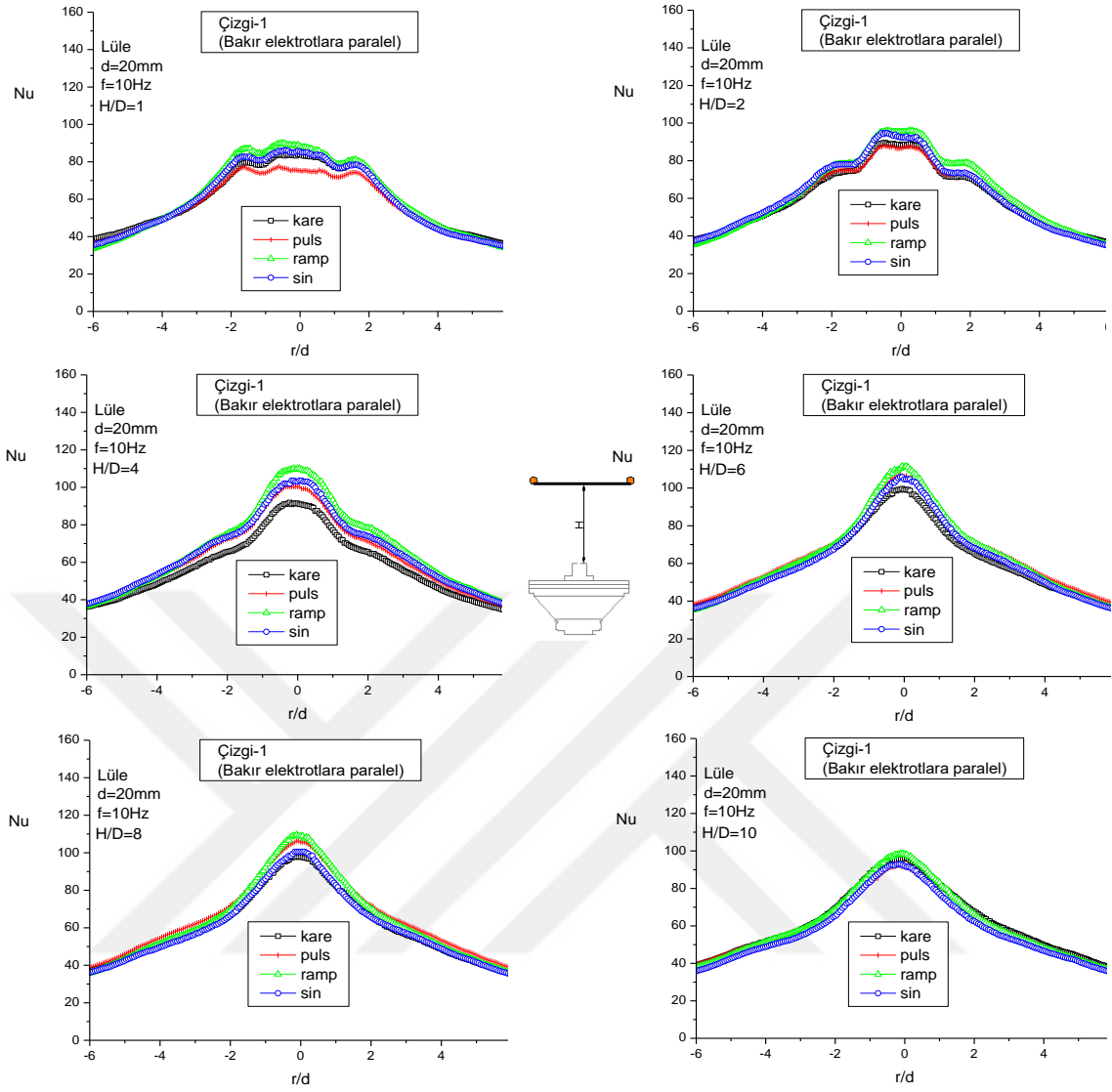
sentetik jetin levha üzerinde bütün yönlerde neredeyse eşit bir dağılım sergileyerek levha üzerindeki ısı transferini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada ele alınan bütün parametrelere ait ölçümlerde her iki çizgi için Nusselt sayısı dağılımları elde edilmiştir. Ancak şekillerde grafik karışıklığı olmaması için burada sunulan diğer grafiklerde sadece P1 çizgisinden elde edilen dağılımlar verilmiştir.



**Şekil 3.10** Isıtılmış levha üzerinde P1 ve P2 çizgileri boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi

### 3.2.1 Levha Üzerinde Isı Transferi Dağılımına Sinyal Yapısının Etkisi

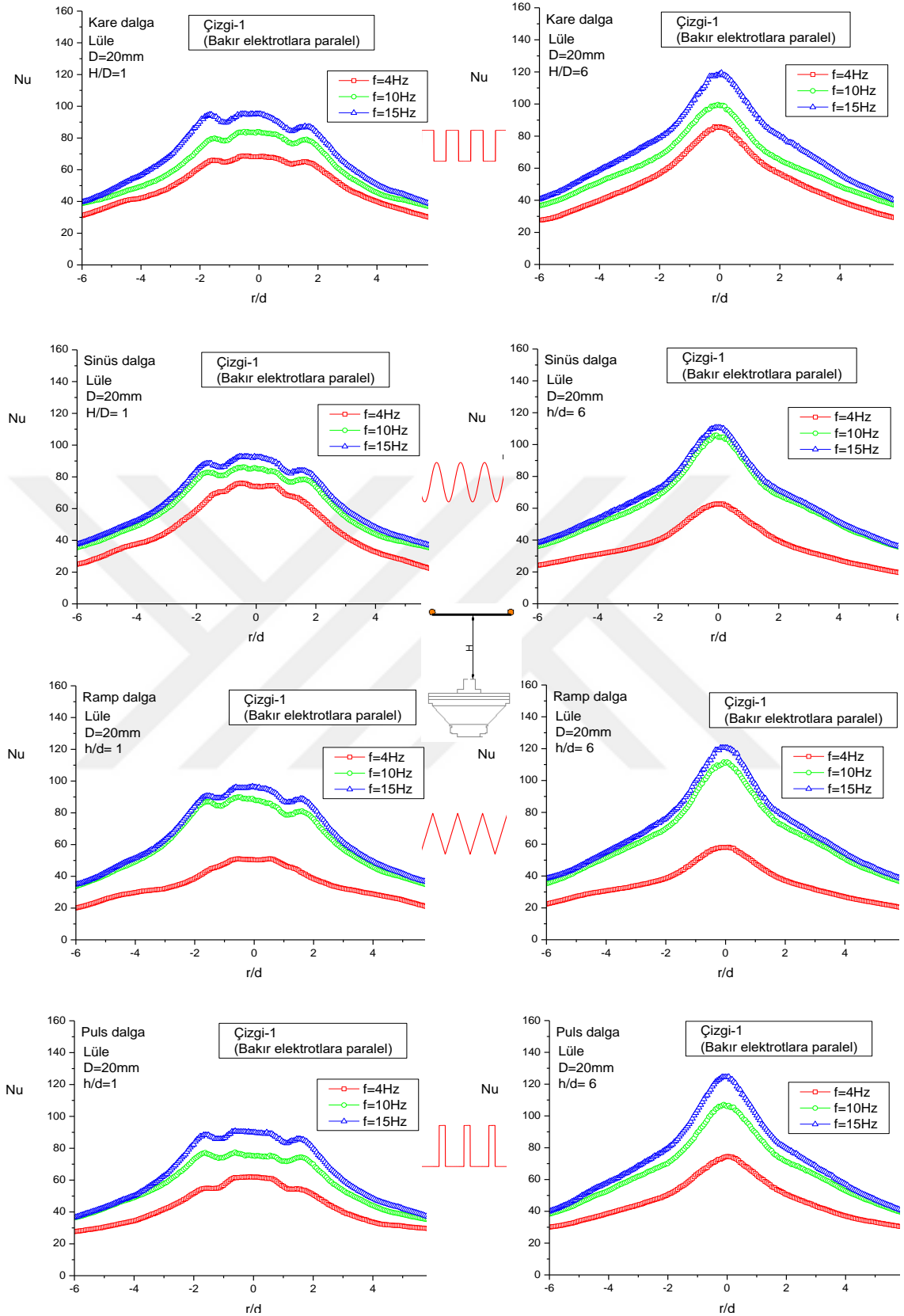
Bu çalışmada ele alınan sentetik jetin farklı sürüm sinyalleri ile sürülmesinin etkisini ortaya koymak üzere  $f=10$  Hz frekansında ve levha ile jet arasındaki mesafenin  $H/D=1, 2, 4, 6, 8$  ve  $10$  olduğu durumlardaki levha üzerindeki ısı transferi dağılımları şekil 3.11’de sunulmuştur. Burada bütün  $H/D$  değerleri için kare, sinüzoidal, üçgen ve puls yapıları sinyallerin sonuçlarının birbirlerine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte üçgen sinyale ait sonuçların bütün  $H/D$  mesafeleri için en üstte yer aldığı görülmektedir.



Şekil 3.11 Farklı H/D değerlerinde aktuatör sürüm sinyali yapısının ısı transferine etkisi

### 3.2.2 Levha Üzerinde Isı Transferine Sentetik Jet Sürüm Frekansının Etkisi

Bu çalışmada ısı transferi deneylerinde ele alınan sürüm frekansları olan 4, 10 ve 15 Hz durumlarına ait Nusselt sayısı dağılımları şekil 3.12’de verilmiştir. Şekilde her bir sinyal yapısı için H/D=1 ve 6 konumlarındaki sonuçlar sunulmuştur. Kare ve puls dalga durumlarında 10 Hz’de elde edilen değerler, 4 ve 15 Hz’de elde edilen sonuçların arasında bir dağılım sergilemektedir. Sinüzoidal ve üçgen dalga durumlarında ise 10 Hz’de elde edilen sonuçlar 15 Hz’de elde edilen sonuçların daha yakın olarak gerçekleşmektedir. Bu durum şekil 3.4’de verilen 2-20 Hz aralığında farklı frekanslarda elde edilen sentetik jet akış alanındaki hız taraması sonuçlarında da görülmektedir. Sinüs ve üçgen sinyalin 10 Hz’de elde edilen sonuçları 15 Hz’dekine oldukça yakındır.



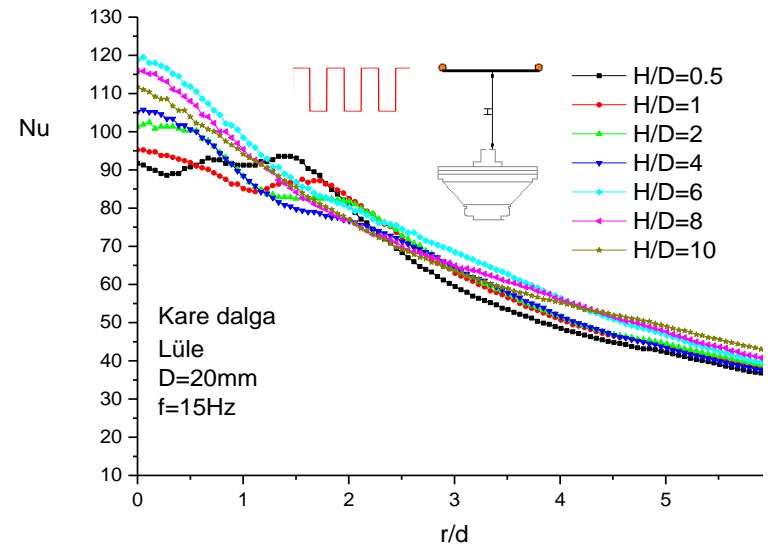
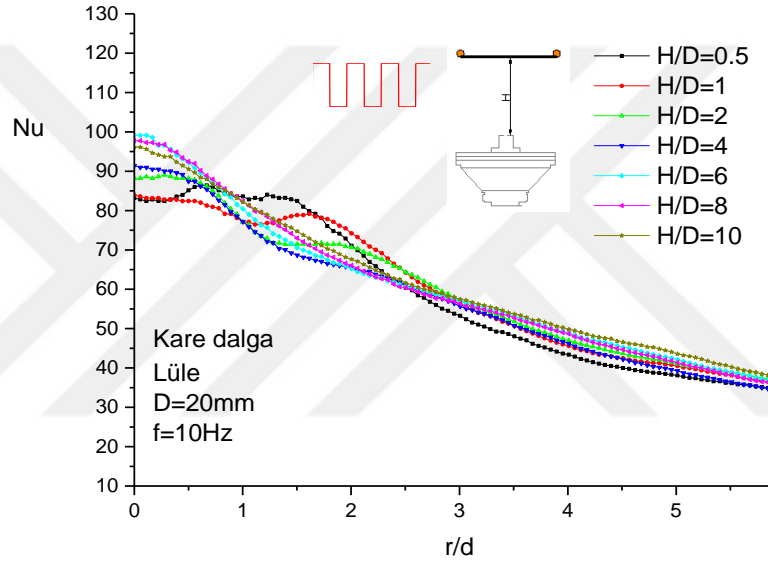
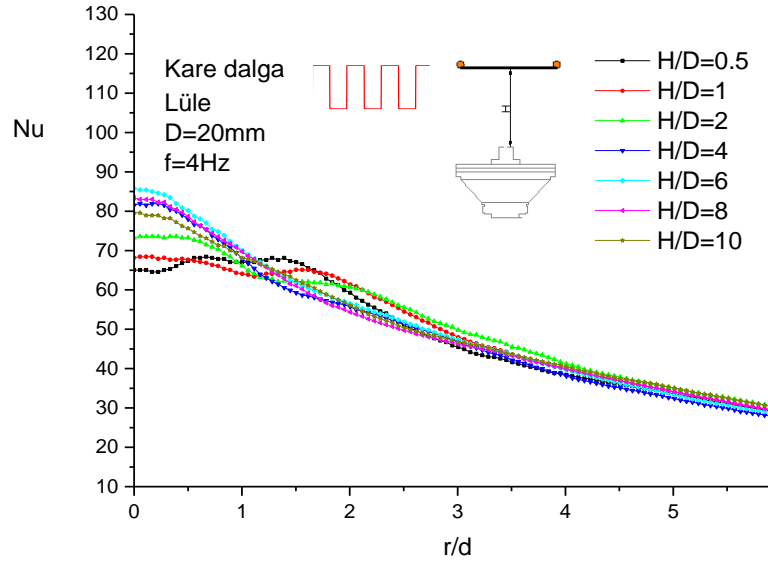
Şekil 3.12  $H/D=1$  ve  $6$  mesafelerinde Farklı sinyal yapılarında elde edilen Nusselt sayısı dağılımları

### 3.2.3 Levha Üzerinde Isı Transferine H/D Mesafesinin Etkisi

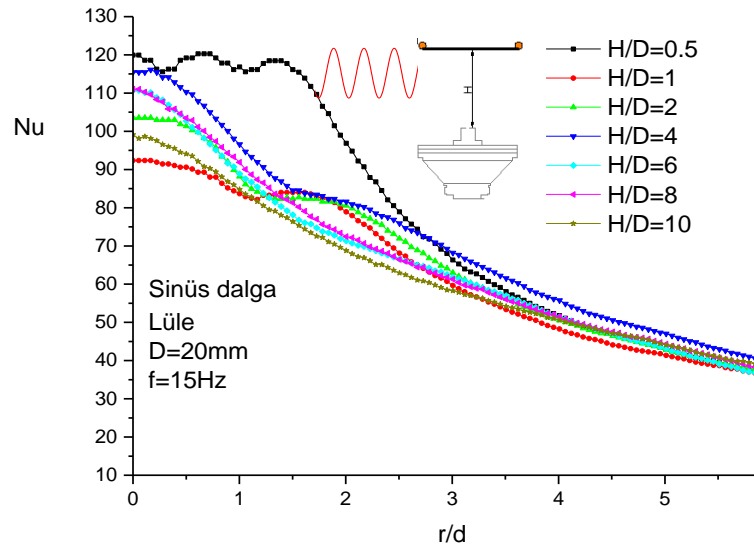
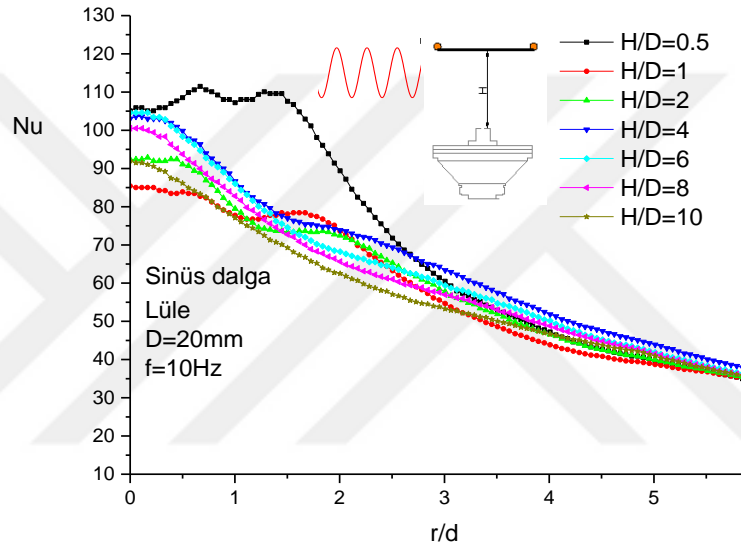
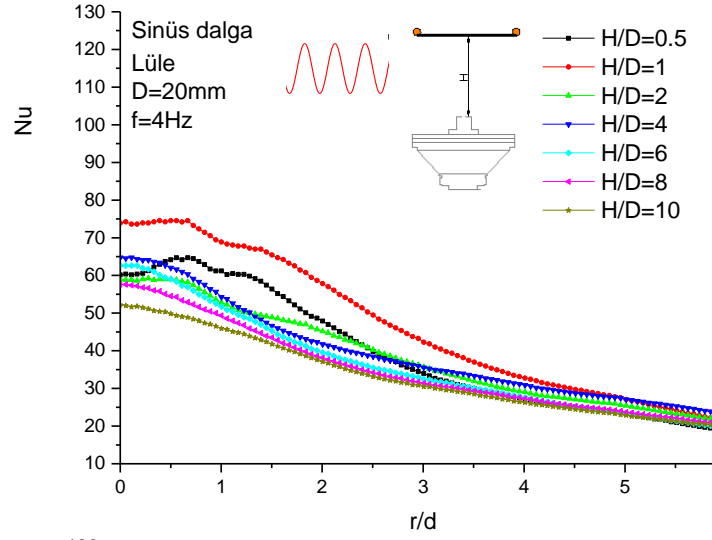
Şekil 3.13’de kare dalga durumunda  $f=4, 10$  ve  $15$  Hz sürüm frekansları için H/D ile ısı transferinin değişim grafikleri sunulmuştur. Bütün frekans durumları için levhanın merkez noktasında en yüksek Nusselt değeri  $H/D=6$  mesafesinde elde edilmiştir. Buna karşın levhanın uç kenarlarında doğru olan bölgede en yüksek Nusselt sayısı  $H/D=10$  değerinde elde edilmiştir. H/D’nin  $0.5$  ve  $1$  olduğu levha ile jetin çok yakın mesafede bulunması durumunda ısı transferinin levha merkezindeki şiddeti nispeten düşük kalmakla birlikte  $r/D$ ’nin  $2$  değerine kadar yayılı bir şekilde geniş bir bölgeye nüfuz ettiği görülmektedir.

Benzer olarak Sinüzoidal, üçgen ve puls için H/D mesafesinin etkisini gösteren grafikler sırası ile şekil 3.14, şekil 3.15 ve şekil 3.16’da verilmiştir. Özellikle şekil 3.14’de verilen sinüzoidal sinyal yapısına ait dağılımlar diğer sinyal yapılarındakilerden oldukça farklılık göstermektedir. Bu sinyal yapısında özellikle düşük H/D mesafelerindeki  $0.5$  ve  $1$  durumlarında oldukça yüksek ısı transferi dağılımı elde edilmiştir. Bu durum sinüzoidal sinyal yapısında sinyalin emme fazında iken aktuatörü daha yavaş bir şekilde hareket ettirmesi sayesinde dar bir jet ve levha arasındaki dar mesafeden yeterince havanın aktuatörün içerisine çekilmesine imkân sağlamasından kaynaklanmaktadır. Kare ve puls sinyal yapılarında emme fazında aktuatörün sinyal yapısına bağlı olarak hızlı bir şekilde hareket etmesi yeterli havanın hazinede birikmemesine neden olmaktadır. Üçgen sinyal yapısında da her ne kadar üfleme fazı sinüzoidal sinyaldeki gibi eğrisel olarak gerçekleşmekte olsa da emme fazında sinyalin ani olarak düşmesi kare ve puls sinyaldekiler gibi bir etki yapmaktadır.

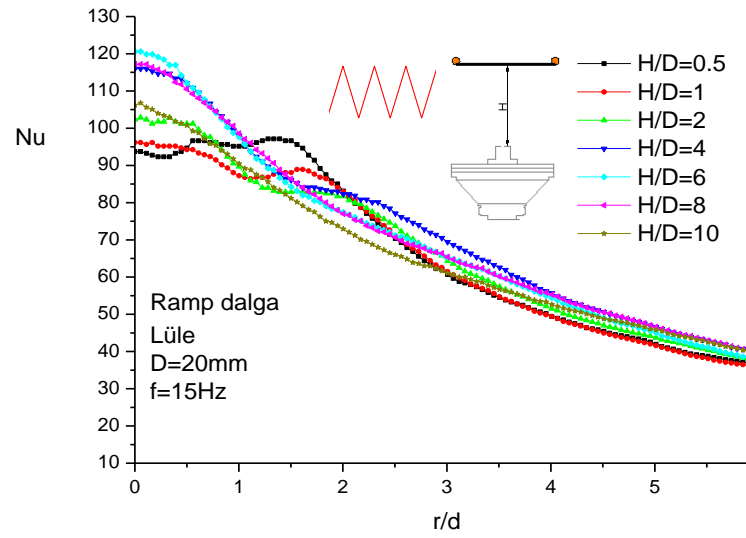
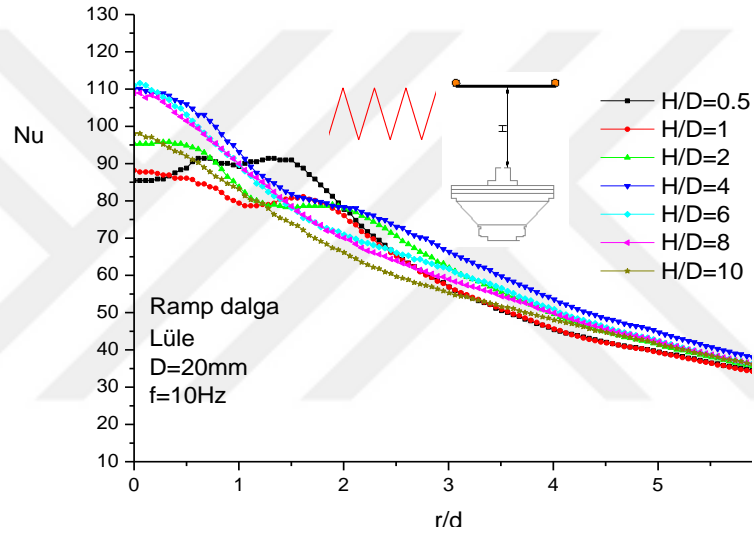
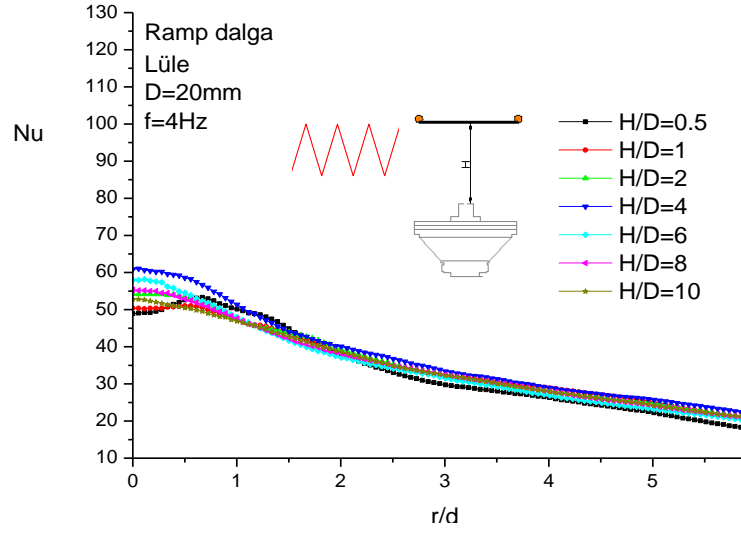
Şekil 3.15’de görülen üçgen sinyale ait ısı transferi dağılımlarında levha merkezindeki en yüksek ısı transferi  $f=4$  Hz durumunda  $H/D=4$  değerinde elde edilirken,  $f=10$  ve  $15$  Hz durumlarında H/D’nin  $4, 6$  ve  $8$  değerlerinde yaklaşık aynı seviyede en yüksek Nusselt sayısı değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 3.16’da verilen puls yapısındaki sürüm sinyaline ait dağılımlarda da en yüksek Nusselt sayısının elde edildiği boyutsuz levha mesafesi  $H/D=6$  civarındaki değerlerde elde edilmiştir. Sinyal yapısı olarak kare ve puls sinyalleri birbirlerine oldukça yakın dağılımlar sergilemekte olmakla birlikte puls sinyal durumunda elde edilen Nusselt sayısı dağılımlarına bakıldığında kare sinyale göre daha fazla ısı transferinin gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3.13 Kare dalga yapısı durumunda,  $f=4, 10$  ve  $15$  Hz frekansları için  $H/D$  mesafesine bağlı olarak yerel Nusselt sayısının dağılımı

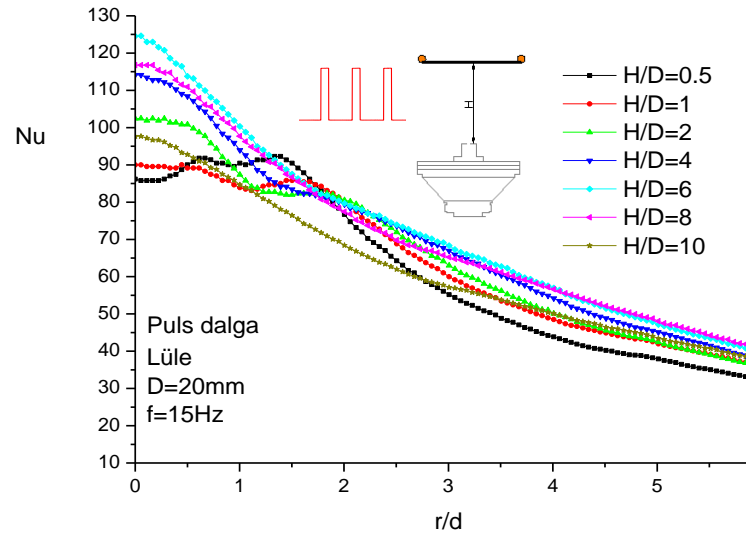
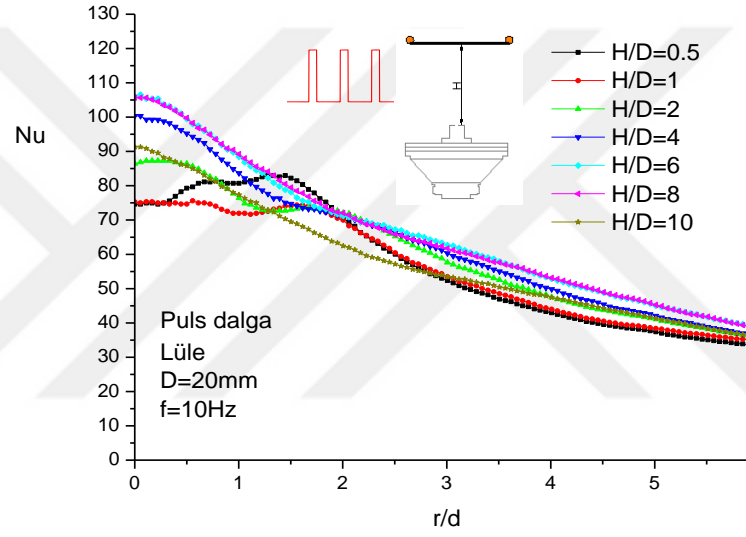
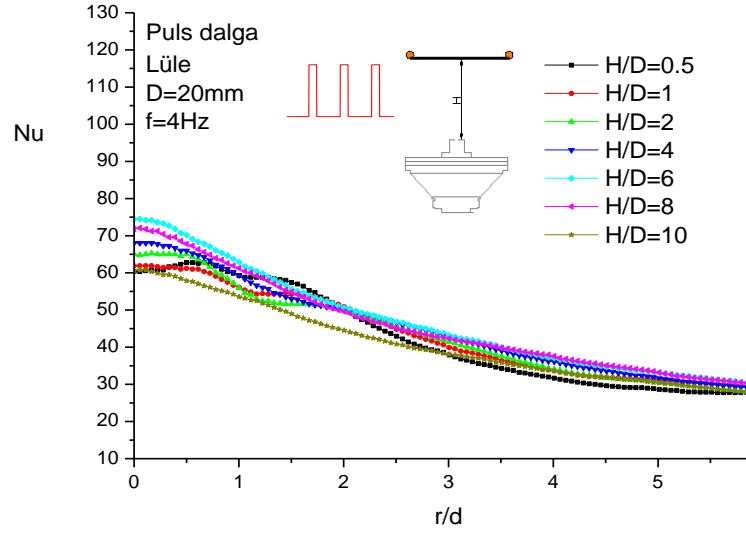


Şekil 3.14 Sinüzoidal dalga yapısı durumunda,  $f=4, 10$  ve  $15$  Hz frekansları için  $H/D$  mesafesine bağlı olarak yerel Nusselt sayısının dağılımı



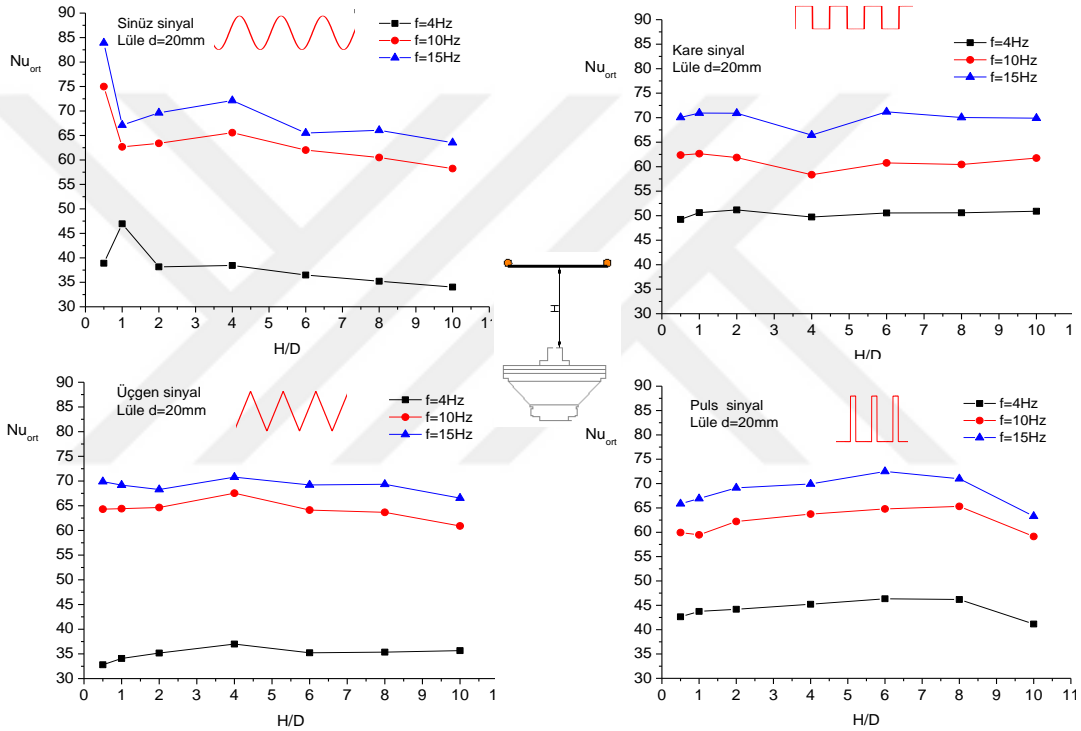
Şekil 3.15 Üçgen dalga yapısı durumunda,  $f=4, 10$  ve  $15$  Hz frekansları için  $H/D$  mesafesine bağlı olarak yerel Nusselt sayısının dağılımı



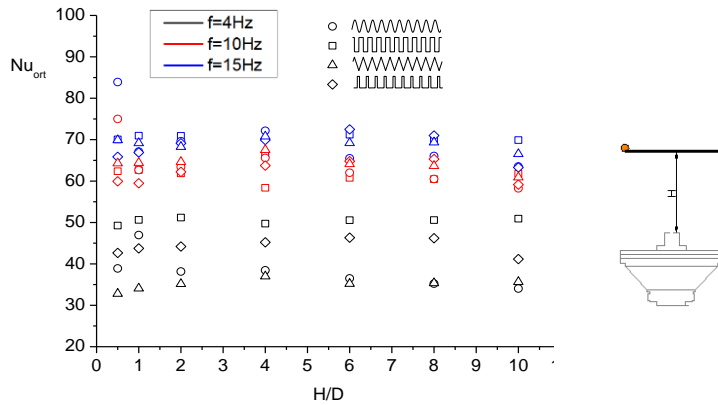


Şekil 3.16 Puls dalga yapısı durumunda,  $f=4, 10$  ve  $15$  Hz frekansları için  $H/D$  mesafesine bağlı olarak yerel Nusselt sayısının dağılımı

Şekil 3.17 de ortalama Nusselt sayısının dört farklı sinyal tipinin ayrı ayrı grafiklerinin H/D ile değişimi görülmektedir. Sinüs, üçgen ve puls sinyallerde 10 ve 15 Hz değerleri birbirlerine yakın ve 4 Hz bunlara uzaktır. Kare sinyal tipinde ise 4 Hz değeri 10 ve 15 Hz değerine yaklaşmıştır. Bunun sebebi, şekil 3.4 de görülen kare sinyal yapısında görülen ikincil jetlerin ortalama hızlar üzerine etkisinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.18 ortalama Nusselt sayısının dört farklı sinyal tipinin ve farklı frekans değerlerinin aynı grafikte H/D ile değişimi görülmektedir. Burada görüldüğü üzere yüksek frekanslarda ortalama Nusselt değerleri birbirlerine yakın çıkmaktadır.



Şekil 3.17 Ortalama Nusselt sayısının H/D ile değişimi



Şekil 3.18 Ortalama Nusselt sayısının H/D ile değişimi

## BÖLÜM IV

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 4.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında hoparlör tip sentetik jet aktuatörü kullanılarak üretilen jet akışının akış alanı karakteristikleri ve sentetik jet önüne ısıtılmış levha konularak oluşturulan çarpan jet sisteminde levha üzerindeki taşınım ile olan ısı transfer katsayısının dağılımları incelenmiştir. Sentetik jetin oluşturulmasında aktuatör diyaframının hareketinin oluşturulmasında kullanılan sürüm sinyal yapıları olarak kare sinyal, sinüzoidal sinyal, ileri yön üçgen sinyal (ramp) ve kısa kare sinyal (puls) tipleri kullanılmıştır. Lüle çapının 20 mm olarak sabit tutulduğu bu çalışmada aktuatör yapısına bağlı olarak uygun jet frekansları tespit edilmiş olup akış alanı hız ölçümlerinde 2, 4, 6, 8, 10, 15 ve 20 Hz değerlerinde, ısı transferi deneylerinde ise 4, 10 ve 15 Hz değerlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Isı transferi deneyleri lüle ile hedef levha arasındaki boyutsuz mesafe olan  $H/D$  mesafesinin 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 ve 10 değerleri için gerçekleştirilmiştir.

Akış alanı hız ölçümlerinde lüle çıkışından itibaren jet eksenini boyunca hız taraması yapılmış olup eksen boyunca ve  $y/D=1$  ve 5 istasyonlarında radyal yönde ortalama hız dağılımları verilmiştir. Ayrıca jet ekseninde  $y/D=0, 2, 4, 6, 8$  ve 10 istasyonlarında anlık hız-zaman geçişleri verilerek sinyal yapısına ve frekansına bağlı olarak jet oluşumundaki değişimler ortaya konulmuştur. Özellikle sinyal yapılarına bağlı olarak jet oluşumunda önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. Sürüm frekansının 4 Hz olduğu durumda sentetik jetin üfleme modundaki anlık hız oluşumlarına bakıldığında her bir sürüm periyodu içerisinde sinüzoidal sinyalde geniş tekil jet, kare sinyalde biri geniş ve diğeri dar ardışık iki jet, üçgen sinyalde ani olarak oluşan orta genişlik jet ve puls sinyalde dar ama daha şiddetli tekil bir jet yapıları oluşmaktadır.  $f=10$  ve 15 Hz gibi daha yüksek frekanslarda ise sinyal yapısına bağlı olarak hız-zaman geçişindeki jet oluşumlarının genişliği ve s-şiddeti bir miktar farklılık göstermekle birlikte bir birine benzer şekilde tekil jet tepelerinin oluşumu söz konusudur.

Bütün sinyal yapılarında frekansın artması ile sentetik jetin maksimum hız değeri artmakta ancak frekans değerinin değişimine bağlı olarak her bir sinyal yapısında hız seviyesinin değeri farklılık arz etmektedir. Özellikle kare sinyal ile sürümde her bir frekansa karşılık gelen hızın değeri diğer sinyal yapılarından ayrı bir karakteristik artış

sergilemektedir. Sonuç olarak sürüm sinyal tipi sentetik jet oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır.

Çarpan jet ısı transferi deneylerinde bütün H/D mesafeleri için en yüksek ısı transferi dağılımı üçgen sinyal ile sürüm durumunda elde edilmiştir.

Frekansın artması ile sentetik jet hızının artması levha üzerindeki ısı transferini artırmaktadır. Sürüm frekansının 4, 10 ve 15 Hz durumlarında alınan ölçümlerde sinyal yapısına göre frekanstaki artışın ısı transferi üzerine etkisi farklılık göstermektedir. Bu durum levhasız akış alanı ölçümlerinde frekansa bağlı olarak elde edilen hız seviyelerindeki değişimlerle uyumlu olarak gerçekleşmektedir.

Bütün sinyal yapıları için lüle ile levha arasındaki mesafeye bağlı olarak levha üzerinde oluşan yerel Nusselt sayılarının dağılımı değişiklik göstermektedir. Burada sinyal yapısına bağlı olarak oluşan jetin yapısı etkili olmaktadır. Genel olarak düşük H/D mesafelerinde ( $H/D=0.5$  ve 1) maksimum Nusselt değeri akışın durma noktasının uzağında ancak levha üzerinde daha geniş bir saha üzerinde maksimum değere yakın bir dağılım sergilerken, artan H/D ile maksimum Nusselt sayısı durma noktasına yaklaşmakta ve şiddeti giderek artmaktadır. Sinüzoidal sinyal yapısı hariç diğer sinyal yapılarında en yüksek Nusselt sayısı genel olarak  $H/D=6$  civarında oluşmaktadır. Sinüzoidal harici sinyal yapılarında sinyal emiş modunda iken çok hızlı olarak aktuatörün diyaframını hareket ettirdiğinden küçük H/D değerlerinde levhanın da çevre akışkanlarını sınırlandırmasından dolayı yeteri kadar akışkanın aktuatör içerisine girememesine neden olmaktadır. Sinüzoidal sinyal durumunda ise sinyalin zamana yayılı olarak emiş modunda diyafram hareketini gerçekleştirmesi mesafenin yakın olması nedeniyle levha üzerindeki ısı transferinin daha fazla gerçekleşmesine neden olmaktadır. H/D'nin yüksek değerlerinde jetin levha üzerine etkisinin azalması Nusselt sayısı dağılımının azalmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak levha üzerindeki ısı transferi dağılımlarına, sentetik jet sürüm sinyal yapısı ve frekansı, lüle ile levha arası mesafeye bağlı olarak önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ortalama Nusselt sayılarına bakıldığında düşük frekanslarda sinyal yapısının ısı transferi üzerine etkisi oldukça büyükken frekansın artması ile sinyal yapısının etkisi giderek azalmaktadır. Frekansın 4 Hz olması durumunda en yüksek ve en düşük

değerlere sahip olan kare ve üçgen sinyallere ait ısı transferlerinde %50 ye varan değişim söz konusu iken 15 Hz'lik durumda bu değişim %10'un altına inmektedir.

## 4.2 Öneriler

Bu tez çalışmasında hoparlör tipi sentetik aktüatörü kullanılarak üretilen jet akışının akış alanı karakteristikleri ve sentetik jet önüne konulan homojen ısıtılmış levha ile oluşturulan sistemde çarpan jet ile levha üzerindeki taşınım ile olan ısı transfer katsayı dağılımları incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde doğal konveksiyon, sürekli jet ve sentetik jet ile ısı transfer katsayısının artırılmasının hedeflendiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında çarpan sentetik jet sisteminde, aktüatör sürüm sinyali türü, aktüatör sürüm frekansı ve lüle-plaka arası mesafenin lüle çapına oranının etkisi (H/D) incelenerek ısı transfer katsayısının iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde verilecek öneriler ile gelecekteki yapılabilecek araştırmalara kaynak olması hedeflenmektedir. Yüksek hızlarda çalıştırılacak hoparlör tipi sentetik jetin performansını arttırmaya yönelik farklı lüle çapları denebilir. Ayrıca, ısı transferi performansının artırılması için lüleden çıkacak jete etki eden farklı geometrik yapıdaki lüle içyapıları denenebilir. Bunlara ilave olarak, geliştirilen kontrol algoritmaları yardımıyla aktüatör sürüm performansının iyileştirilmesi ile literatüre katkı sağlanabilir. Sentetik jet aktüatörünün elektriksel parametreleri ve buna bağlı olarak ortaya çıkabilecek optimum çalışma aralığının belirlenmesi ile verimliliğin artırılacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

Bhapkar, U.S., Srivastava, A., and Agrawal A., “Acoustic and heat transfer characteristics of an impinging elliptical synthetic jet generated by acoustic actuator.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 79, 12-23, 2014.

Bhapkar, U.S., Mohanan, S., Agrawal, A., and Srivastava, A., “Interferometry based whole-field heat transfer measurements of an impinging turbulent synthetic jet.” *International Communications in Heat and Mass Transfer* 58, 118-124, 2014.

Çalışkan, S., Baskaya, Ş., and Calisir, T., “Experimental and numerical investigation of geometry effects on multiple impinging air jets.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 75, 685-703, 2014.

Çengel, Y.A., and Cimbala, J.M., “Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları.” Tahsin Engin, *Güven Bilimsel*, İzmir, 2007.

Chandratilleke, T.T., “Deepak Jagannatha, and Ramesh Narayanaswamy. “Heat transfer enhancement in micro channels with cross-flow synthetic jets.” *International journal of thermal sciences* 49(3), 504-513, 2010.

Chaudhari, M., Puranik, B., and Agrawal, A., “Heat transfer characteristics of synthetic jet impingement cooling.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53(5-6), 1057-1069, 2010.

Chaudhari, M., Puranik, B., and Agrawal, A., “Multiple orifice synthetic jet for improvement in impingement heat transfer.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54(9-10), 2056-2065, 2011.

Fanning, E., Persoons, T., and Murray, D.B., “Heat transfer and flow characteristics of a pair of adjacent impinging synthetic jets.” *International Journal of Heat and Fluid Flow* 54, 153-166, 2015.

Gao, S., Zhang, J.Z., and Tan, X.M., “Experimental study on heat transfer characteristics of synthetic jet driven by piston actuator.” *Science China Technological Sciences* 55(6), 1732-1738, 2012.

Gil, P., and Strzelczyk, P., “Performance and efficiency of loud speaker driven synthetic jet actuator.” *Experimental Thermal and Fluid Science* 76, 163-174, 2016.

Ghaffari, O., Solovitz, S.A., and Arik, M., “An investigation into flow and heat transfer for a slot impinging synthetic jet.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 100, 634-645, 2016.

Greco, C.S., Castrillo, G., Crispo, C.M., Astarita, T., and Cardone, G., “Investigation of impinging single and twin circular synthetic jets flow field.” *Experimental Thermal and Fluid Science* 74, 354-367, 2016.

Greco, C.S., Paolillo, G., Laniro, A., Cardone, G., and Luca, L.D., “Effects of the stroke length and nozzle-to-plate distance on synthetic jet impingement heat transfer.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 117, 1019-1031, 2018.

Jeng, T.M., and Hsu, W.T., “Experimental study of mixed convection heat transfer on the heated plate with the circular-nozzle synthetic jet.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 97, 559-568, 2016.

Kumar, R. A., Sohn, C.H. and Gowda, B.H., “Passive control of vortex-induced vibrations: an overview.” *Recent patents on mechanical engineering* 1.1, 1-11, 2008.

Kunze, S., and Brücker, C., “Control of vortex shedding on a circular cylinder using self-adaptive hairy-flaps.” *Comptes Rendus Mécanique* 340.1-2, 41-56, 2012.

Lee, C., Hong, G., Ha, Q. P., and Mallinson, S. G., “A piezoelectrically actuated micro synthetic jet for active flow control.” *Sensors and Actuators A: Physical* 108.1-3, 168-174, 2003.

Lim, H.C. and Lee S.J., “Flow control of a circular cylinder with O-rings.” *Fluid Dynamics Research* 35.2, 107-122, 2004.

Liu, Y.H., Chang, T.H., and Wang, C.C., “Heat transfer enhancement of an impinging synthetic air jet using diffusion-shaped orifice.” *Applied Thermal Engineering* 94, 178-185, 2016.

Lytle, D. and Webb, B.W., “Air jet impingement heat transfer at low nozzle plate spacings.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 37, 1687–1697, 1994.

Luo, Z.B., Deng, X., Xia, Z.X., Wang, L., and Gong W.J., “Flow field and heat transfer characteristics of impingement based on a vectoring dual synthetic jet actuator.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 102, 18-25, 2016.

Mallinson, S. G., Reizes, J. A., Hong, G., and Westbury, P. S. “Analysis of hot-wire anemometry data obtained in a synthetic jet flow.” *Experimental thermal and fluid science* 28.4, 265-272, 2004.

Mangate, L.D., and Chaudhari, M.B., “Experimental study on heat transfer characteristics of a heat sink with multiple-orifice synthetic jet.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 103, 1181-1190, 2016.

Mangate, L.D., and Chaudhari M.B., “Heat transfer and acoustic study of impinging synthetic jet using diamond and oval shape orifice.” *International Journal of Thermal Sciences* 89, 100-109, 2015.

Marron, C., and Persoons, T., “Experimental Optimisation of the Thermal Performance of Impinging Synthetic Jet Heat Sinks.” *Journal of Physics: Conference Series* 525(1). 1-11, 2014.



Pavlova, A., and Amitay, M., “Electronic cooling using synthetic jet impingement.” *Journal of heat transfer* 128(9), 897-907, 2006.

Qayoum, A., Gupta V., Panigrahi P.K., and Muralidhar K., “Influence of amplitude and frequency modulation on flow created by a synthetic jet actuator.” *Sensors and Actuators A: Physical* 162(1), 36-50, 2010.

URL-1 “Emissivity of Common Materials”, <https://www.omega.com/literature/transactions/volume1/emissivitya.html>, Erişim tarihi:02.05.2018.

Valiorgue, P., Persoons T., McGuinn A., and Murray D.B., “Heat transfer mechanisms in an impinging synthetic jet for a small jet-to-surface spacing.” *Experimental Thermal and Fluid Science* 33(4), 597-603, 2009.

Zhang, D., Yang, K., Cheng Q.H., and Gao, J., “Numerical investigation of heat transfer performance of synthetic jet impingement onto dimpled/protrusioned surface.” *Thermal Science* 19(1), 221-229, 2015.

Zhang, J.Z., and Tan, X.M., “Experimental study on flow and heat transfer characteristics of synthetic jet driven by piezoelectric actuator.” *Science in China Series E: Technological Sciences* 50(2), 221-229, 2007.

## EKLER

### Ek-A Belirsizlik Analizi

Bu çalışmada ölçülen ve hesaplanan parametrelerin belirsizlik değerleri Coleman ve Steele (1998) tarafından sunulan yöntemler ile belirlenmiştir. Deney parametreleri denklem E-1 formunda fonksiyonlardır.

$$r = kX_1^a X_2^b X_3^c \dots \quad (\text{E-1})$$

Bu formdaki fonksiyonun belirsizlik ifadesi denklem E-2'de ifade edilmiştir.

$$u_r = \frac{w_r}{r} = \left[ a^2 (u_{x_1})^2 + b^2 (u_{x_2})^2 + c^2 (u_{x_3})^2 + \dots \right]^{1/2} \quad (\text{E-2})$$

Ayrıca Fox ve McDonald (1994) tarafından sunulan yöntem de ise E-3 denklemini hesaplamalarda kullanılmıştır.

$$\frac{\partial R}{R} = \left[ \left( \frac{x_1}{R} \cdot \frac{\partial R}{\partial x_1} \cdot \frac{\partial x_1}{x_1} \right)^2 + \left( \frac{x_2}{R} \cdot \frac{\partial R}{\partial x_2} \cdot \frac{\partial x_2}{x_2} \right)^2 + \dots + \left( \frac{x_n}{R} \cdot \frac{\partial R}{\partial x_n} \cdot \frac{\partial x_n}{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{E-3})$$

Buradaki her bir alt değişkene ait belirsizlik  $u_i = \frac{\partial x_i}{x_i}$  olarak yazıldığında, sonuca ait toplam belirsizlik,

$$u_R = \left[ \left( \frac{x_1}{R} \cdot \frac{\partial R}{\partial x_1} \cdot u_1 \right)^2 + \left( \frac{x_2}{R} \cdot \frac{\partial R}{\partial x_2} \cdot u_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{x_n}{R} \cdot \frac{\partial R}{\partial x_n} \cdot u_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{E-4})$$

olarak elde edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında deneysel olarak hız, sıcaklık, akım, voltaj vb. parametreler ölçülmüş olup bu ölçüm sonuçları kullanılarak Reynolds sayısı, Nusselt sayısı, Stokes

## Ek-A (Devam) Belirsizlik Analizi

sayısı, ısı taşınım katsayısı gibi hız ve sıcaklık ölçümüne ait parametrelerin belirsizlik değerleri hesaplanmıştır.

### **Kullanılan parametrelerin belirsizliğinin tespiti**

Burada kullanmakta olduğumuz diğer bağımlı ve bağımsız değişkenler, ısıtılmış levhanın herhangi bir konumdaki yüzey sıcaklığını ( $T_y$ ), çevre sıcaklığını ( $T_ç$ ), sentetik jet sıcaklığı ( $T_j$ ), lüle çapı ( $D$ ), kinematik viskozite ( $\vartheta$ ), kızgın tel anemometresi ile ölçülen hız  $V_0$  ( $U_{CTA}$ ), ısıtılmış plakanın alt ve üst yüzey alanı ( $A_{alt}$  ve  $A_{üst}$ ), film ısıtıcının voltajı ( $E$ ), film ısıtıcının akımı ( $I$ ), belirsizlik değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Burada bağımsız değişkenlere ait belirsizliklerin tespitinde kullanılan ölçüm cihazlarının kullanım kılavuzları ve benzer belirsizlik analizlerini çalışmalarında kullanan Jorgensen (2002), Akansu (2004), Şanlısoy (2013), Yeşildağ (2013) ve Akbıyık'ın (2014) çalışmalarından faydalanılmıştır.

### **Isı transferinde kullanılan bağımsız değişkenlere ait belirsizlikler:**

- $T_j$  ve  $T_ç$  sıcaklık ölçümünde kullanılan BENETEC GM1312 model termokupl %1.5 olarak kullanım kılavuzunda hata olabileceği belirtilmiştir.  $(u_T = \frac{w_T}{T} \cong 0.015 = \%1.5)$
- $T_y$  sıcaklık ölçümünde kullanılan TESTO 885-2 termal kamera %2 olarak kullanım klavuzunda hata olabileceği belirtilmiştir.  $(u_{T_y} = \frac{w_{T_y}}{T_y} \cong 0.02 = \%2)$
- Film ısıtıcının voltaj ölçümünde kullanılan UT50C model multimetre %0,8 olarak kullanım klavuzunda hata olabileceği belirtilmiştir.  $(u_E = \frac{w_E}{E} \cong 0.008 = \%0,8)$
- Film ısıtıcıya uygulanan akım değerinde AMETEK XG30-50 model güç kaynağının %1 olarak hata olabileceğini kullanım kılavuzunda belirtilmiştir.  $(u_I = \frac{w_I}{I} \cong 0.01 = \%1)$

## Ek-A (Devam) Belirsizlik Analizi

- 20 mm lüle çapının ölçümünde oluşan 0.05 mm'lik hata nedeni ile oluşan belirsizlik %0.25'dir.  $\left(u_D = \frac{w_D}{D} \cong 0.0025 = \%0.25\right)$
- 375 mm ısıtılmış levha uzunluğunun ölçümünde oluşan 0.05 mm'lik hata nedeni ile oluşan belirsizlik %0.0133'dür.  $\left(u_a = \frac{w_a}{a} \cong 0.000133 = \%0.0133\right)$
- 305 mm ısıtılmış levha genişliğinin ölçümünde oluşan 0.05 mm'lik hata nedeni ile oluşan belirsizlik %0.0163'dür.  $\left(u_b = \frac{w_b}{b} \cong 0.000163 = \%0.0163\right)$
- 30°C sıcaklığındaki havanın 2°C değişimi ile kinematik viskozitesindeki oluşan belirsizlik, %1.155'dir.  $\left(u_g = \frac{w_g}{g} \cong 0.01155 = \%1.155\right)$
- $\beta$  değerinin 30°C sıcaklığındaki havanın 2°C değişimi ile oluşan belirsizlik, %3.125'dir.  $\left(u_\beta = \frac{w_\beta}{\beta} \cong 0.03125 = \%3.125\right)$
- 30°C sıcaklığındaki havanın 2°C değişimi ile ısı difüzyon katsayısında oluşan belirsizlik, %1.23'dür.  $\left(u_\alpha = \frac{w_\alpha}{\alpha} \cong 0.0123 = \%1.23\right)$
- 0-1 arasındaki olan  $\varepsilon$  için bulunan 0.61 değerinde 0,01 hata değişimi ile oluşan belirsizlik %1.6'dır.  $\left(u_\varepsilon = \frac{w_\varepsilon}{\varepsilon} \cong 0.016 = \%1.6\right)$
- 30°C sıcaklığındaki havanın 2°C değişimi ile ısı iletim katsayısında oluşan belirsizlik, %0.538'dir.  $\left(u_k = \frac{w_k}{k} \cong 0.00538 = \%0.538\right)$
- $A = a \cdot b$  olarak tanımlanan ısıtılmış plaka alanın değeri, genişliğine ve uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Alanının belirsizliği denklem E-5' de verilmiştir.

$$u_A = \frac{w_A}{A} = \left[ \left( \frac{w_a}{a} \right)^2 + \left( \frac{w_b}{b} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (E-5)$$

## Ek-A (Devam) Belirsizlik Analizi

$$u_A = \frac{w_A}{A} = [(0.000133)^2 + (0.000163)^2]^{1/2} \cong 0.00021 = \%0.021$$

olarak sonuç elde edilmiştir.

### Isı transferinde kullanılan bağımlı değişkenlere ait belirsizlikler:

Yerel ısı transfer katsayıları aşağıdaki enerjinin korunumu denklemi E-6 ile hesaplanmaktadır (Caliskan vd., 2014). Buradaki belirsizlik değerlerinin hesaplanmasında sayısal değerler kare sinyale ait H/D=4 ve f=10 Hz çalışmasında elde edilen ortalama sıcaklık ve ısı akısı değerleri kullanılmıştır.  $T_y$  değeri olarak 41°C ve  $T_c$  sıcaklığı olarak 28°C alınmıştır.

$$q_{\text{elektrik \u00fcretilen}}'' = q_{\text{ta\u015fınım}}'' + q_{\text{\u00fcst do\u011fal ta\u015f}}'' + q_{\text{radyasyon}}'' \quad (\text{E-6})$$

### Parametre-1: $q_{\text{elektrik \u00fcretilen}}''$

$q_{\text{elektrik \u00fcretilen}}'' = \frac{E \cdot I}{A}$  olarak tanımlanan \u00fcretilen ısı akısı belirsizliğini E-7 denklemi kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$u_{q_{\text{elek.}}''} = \frac{w_{q_{\text{elek.}}''}}{q_{\text{elek.}}''} = \left[ \left( \frac{w_E}{E} \right)^2 + \left( \frac{w_I}{I} \right)^2 + \left( \frac{w_A}{A} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{E-7})$$

$$u_{q_{\text{elek.}}''} = [(0.008)^2 + (0.01)^2 + (0.00021)^2]^{1/2} \cong 0.0128 = \%1.28$$

olarak sonuç elde edilmiştir.

### Parametre-2: $q_{\text{\u00fcst y\u00fczey do\u011fal ta\u015fınım}}''$

$q_{\text{\u00fcst do\u011fal ta\u015f}}'' = h_{dt} \cdot (T_y - T_c)$  olarak tanımlı do\u011fal ta\u015fınım ısı akısı belirsizliğini E-12 denklemi kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu ısı akısının bağımlı oldu\u011fu parametreler i\u00e7in belirsizlikler sırası ile a\u015fa\u011fıda elde edilmiştir.

## Ek-A (Devam) Belirsizlik Analizi

### Parametre-2.1: $h_{dt}$

$h_{dt} = \frac{k \cdot Nu_L}{L}$  olarak tanımlanan doğal taşınım ısı transfer katsayısı E-8 denklemi kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$u_{h_{dt}} = \frac{w_{h_{dt}}}{h_{dt}} = \left[ \left( \frac{w_k}{k} \right)^2 + \left( \frac{w_{Nu_L}}{Nu_L} \right)^2 + \left( \frac{w_L}{L} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (E-8)$$

$$u_{h_{dt}} = \frac{w_{h_{dt}}}{h_{dt}} = [(0.00538)^2 + (0.0434)^2 + (0.00021)^2]^{1/2} \cong 0.0437 = \%4.37$$

olarak sonuç elde edilmiştir. Buradaki  $h_{dt}$ 'nin bağımlı olduğu parametreler için belirsizlikler sırası ile aşağıda elde edilmiştir.

### Parametre-2.1.1: $Nu_L$

$Nu_L = 0,15 Ra_L^{1/3}$  ( $10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}$ ) olarak tanımlanmış ve E-9 denklemi kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$u_{Nu_L} = \left[ \left( \frac{w_{Ra_L}}{Ra_L} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (E-9)$$

$$u_{Nu_L} = [(0.0434)^2]^{1/2} \cong 0.0434 = \%4.34$$

olarak sonuç elde edilmiştir.

### Parametre-2.1.1.1: $Ra_L$

$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_y - T_c) \cdot L^3}{\alpha \cdot \vartheta}$  olarak tanımlanmış ve E-10 denklemi kullanılarak hesaplanabilmektedir.

## Ek-A (Devam) Belirsizlik Analizi

$$u_{RaL} = \frac{w_{RaL}}{RaL} = \left[ \left( \frac{w_{\beta}}{\beta} \right)^2 + \left( \frac{w_{T_y}}{T_y} \right)^2 + \left( \frac{w_{T_{\zeta}}}{T_{\zeta}} \right)^2 + 3^2 \left( \frac{w_L}{L} \right)^2 + \left( \frac{w_{\alpha}}{\alpha} \right)^2 + \left( \frac{w_{\theta}}{\theta} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (E-10)$$

$$u_{RaL} = \frac{w_{RaL}}{RaL} = [(0.03125)^2 + (0.02)^2 + (0.015)^2 + 3^2(0.00021)^2 + (0.0123)^2 + (0.01155)^2]^{1/2} \cong 0.0434 = \%4.34 \text{ olarak sonuç elde edilmiştir.}$$

### Parametre-2.1.1.1.1: L

$L = \frac{A_s}{P} = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$  olarak tanımlanmış ve E-11 denklemi kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$u_L = \frac{w_L}{L} = [(0.000133)^2 + (0.000163)^2]^{1/2} \cong 0.00021 = \%0.021$$

olarak sonuç elde edilmiştir.

Yukarıda ifade edilen parametre-2'ye ait alt değişkenlerin belirsizlikleri elde edildikten sonra  $q_{\text{üst}}$  yüzey doğal taşınım için belirsizlik ifadesi denklem E-12 ile elde edilmektedir.

$$u_{q_{dt}} = \left[ \left( \frac{h_{dt}}{h_{dt} \cdot (T_y - T_{\zeta})} \cdot \frac{\partial h_{dt} \cdot (T_y - T_{\zeta})}{\partial h_{dt}} \cdot u_{h_{dt}} \right)^2 + \left( \frac{T_y}{h_{dt} \cdot (T_y - T_{\zeta})} \cdot \frac{\partial h_{dt} \cdot (T_y - T_{\zeta})}{\partial T_y} \cdot u_{T_y} \right)^2 + \left( \frac{T_{\zeta}}{h_{dt} \cdot (T_y - T_{\zeta})} \cdot \frac{\partial h_{dt} \cdot (T_y - T_{\zeta})}{\partial T_{\zeta}} \cdot u_{T_{\zeta}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (E-12)$$

$$u_{q_{dt}} = \left[ (u_{h_{dt}})^2 + \left( \frac{T_y}{(T_y - T_{\zeta})} \cdot u_{T_y} \right)^2 + \left( \frac{T_{\zeta}}{(T_y - T_{\zeta})} \cdot u_{T_{\zeta}} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$u_{q_{dt}} = \left[ (0.0437)^2 + \left( \frac{41}{(41-28)} \cdot 0.02 \right)^2 + \left( \frac{30}{(41-28)} \cdot 0.015 \right)^2 \right]^{1/2} \cong 0.083 = \%8.3$$

olarak sonuç elde edilmiştir.

## Ek-A (Devam) Belirsizlik Analizi

### Parametre-3: $q''_{\text{radyasyon}}$

$q''_{\text{radyasyon}} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot 2 \cdot (T_y^4 - T_c^4)$  olarak tanımlı radyasyon ısı akısı belirsizliğini E-13 denklemleri kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$u_{q''_{\text{radyasyon}}} = \left[ \left( \frac{\varepsilon}{q''_{\text{radyasyon}}} \cdot \frac{\partial q''_{\text{radyasyon}}}{\partial \varepsilon} \cdot u_{\varepsilon} \right)^2 + \left( \frac{T_y}{q''_{\text{radyasyon}}} \cdot \frac{\partial q''_{\text{radyasyon}}}{\partial T_y} \cdot u_{T_y} \right)^2 + \left( \frac{T_c}{q''_{\text{radyasyon}}} \cdot \frac{\partial q''_{\text{radyasyon}}}{\partial T_c} \cdot u_{T_c} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{E-13})$$

$$u_{q''_{\text{radyasyon}}} = \left[ \left( \frac{\varepsilon}{\sigma \cdot \varepsilon \cdot 2 \cdot (T_y^4 - T_c^4)} \cdot \frac{\partial [\sigma \cdot \varepsilon \cdot 2 \cdot (T_y^4 - T_c^4)]}{\partial \varepsilon} \cdot u_{\varepsilon} \right)^2 + \left( \frac{T_y}{\sigma \cdot \varepsilon \cdot 2 \cdot (T_y^4 - T_c^4)} \cdot \frac{\partial [\sigma \cdot \varepsilon \cdot 2 \cdot (T_y^4 - T_c^4)]}{\partial T_y} \cdot u_{T_y} \right)^2 + \left( \frac{T_c}{\sigma \cdot \varepsilon \cdot 2 \cdot (T_y^4 - T_c^4)} \cdot \frac{\partial [\sigma \cdot \varepsilon \cdot 2 \cdot (T_y^4 - T_c^4)]}{\partial T_c} \cdot u_{T_c} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$u_{q''_{\text{radyasyon}}} = \left[ (u_{\varepsilon})^2 + \left( \frac{4 \cdot T_y^4}{(T_y^4 - T_c^4)} \cdot u_{T_y} \right)^2 + \left( \frac{4 \cdot T_c^4}{(T_y^4 - T_c^4)} \cdot u_{T_c} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$u_{q''_{\text{radyasyon}}} = \left[ (0.016)^2 + \left( \frac{4 \cdot 314^4}{(314^4 - 301^4)} \cdot \frac{2}{314} \right)^2 + \left( \frac{4 \cdot 301^4}{(314^4 - 301^4)} \cdot \frac{1.5}{301} \right)^2 \right]^{1/2} \cong 0.196 = \%19,6$$

olarak sonuç elde edilmiştir.

### Parametre-4: $h_t$

$h_t = \frac{q''_{\text{elek}} - q''_{\text{dt}} - q''_{\text{rad}}}{(T_y - T_j)}$  olarak tanımlanan taşınım ısı akısı katsayısı belirsizliğini E-14

denklemleri kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$u_{h_t} = \left[ \left( \frac{q''_{\text{elek}}}{h_t} \cdot \frac{\partial h_t}{\partial q''_{\text{elek}}} \cdot u_{q''_{\text{elek}}} \right)^2 + \left( \frac{q''_{\text{dt}}}{h_t} \cdot \frac{\partial h_t}{\partial q''_{\text{dt}}} \cdot u_{q''_{\text{dt}}} \right)^2 + \left( \frac{q''_{\text{rad}}}{h_t} \cdot \frac{\partial h_t}{\partial q''_{\text{rad}}} \cdot u_{q''_{\text{rad}}} \right)^2 + \left( \frac{T_y}{h_t} \cdot \frac{\partial h_t}{\partial T_y} \cdot u_{T_y} \right)^2 + \left( \frac{T_j}{h_t} \cdot \frac{\partial h_t}{\partial T_j} \cdot u_{T_j} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{E-14})$$



## Ek-A (Devam) Belirsizlik Analizi

$$u_{h_t} = \left[ \left( \frac{q_{elek.}''}{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''} \cdot \frac{\partial \left( \frac{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''}{(T_y - T_j)} \right)}{\partial q_{elek.}''} \cdot u_{q_{elek.}''} \right)^2 + \left( \frac{q_{dt}''}{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''} \cdot \frac{\partial \left( \frac{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''}{(T_y - T_j)} \right)}{\partial q_{dt}''} \cdot u_{q_{dt}''} \right)^2 + \left( \frac{q_{rad.}''}{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''} \cdot \frac{\partial \left( \frac{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''}{(T_y - T_j)} \right)}{\partial q_{rad.}''} \cdot u_{q_{rad.}''} \right)^2 + \left( \frac{T_y}{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''} \cdot \frac{\partial \left( \frac{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''}{(T_y - T_j)} \right)}{\partial T_y} \cdot u_{T_y} \right)^2 + \left( \frac{T_j}{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''} \cdot \frac{\partial \left( \frac{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''}{(T_y - T_j)} \right)}{\partial T_j} \cdot u_{T_j} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$u_{h_t} = \left[ \left( \frac{q_{elek.}''}{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''} \cdot u_{q_{elek.}''} \right)^2 + \left( \frac{-q_{dt}''}{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''} \cdot u_{q_{dt}''} \right)^2 + \left( \frac{-q_{rad.}''}{q_{elek.}'' - q_{dt}'' - q_{rad.}''} \cdot u_{q_{rad.}''} \right)^2 + \left( \frac{T_y}{\frac{1}{(T_y - T_j)}} \cdot \frac{-1}{(T_y - T_j)^2} \cdot u_{T_y} \right)^2 + \left( \frac{T_j}{\frac{1}{(T_y - T_j)}} \cdot \frac{1}{(T_y - T_j)^2} \cdot u_{T_j} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$u_{h_t} = \left[ \left( \frac{944}{944 - 16 - 101} \cdot 0.0128 \right)^2 + \left( \frac{-16}{944 - 16 - 101} \cdot 0.083 \right)^2 + \left( \frac{-101}{944 - 16 - 101} \cdot 0.196 \right)^2 + \left( \frac{41}{\frac{1}{(41 - 28)}} \cdot \frac{-1}{(41 - 28)^2} \cdot 0.02 \right)^2 + \left( \frac{28}{\frac{1}{(41 - 28)}} \cdot \frac{1}{(41 - 28)^2} \cdot 0.015 \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$u_{h_t} = [(0.0146)^2 + (-0.00161)^2 + (0.023)^2 + (0.063)^2 + (0.032)^2]^{1/2} \cong 0.076 = \%7.6$$

olarak sonuç elde edilmiştir.

### Nusselt sayısı belirsizliğinin hesaplanması

$Nu = \frac{h \cdot D}{k}$  olarak tanımlanan Nusselt sayısı için belirsizlik değeri akışkanın ısı iletim katsayısı, ısı transfer katsayısı ve lüle çapına bağlı olarak değişmektedir. Nusselt için belirsizlik E-15 denklemi kullanılarak hesaplanabilmektedir;

$$u_{Nu} = \frac{w_{Nu}}{Nu} = \left[ (1)^2 \left( \frac{w_h}{h} \right)^2 + (1)^2 \left( \frac{w_D}{D} \right)^2 + (-1)^2 \left( \frac{w_k}{k} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (E-15)$$

## Ek-A (Devam) Belirsizlik Analizi

$$u_{Nu} = \frac{w_{Nu}}{Nu} = [(0.076)^2 + (0.0025)^2 + (0.00538)^2]^{1/2} \cong 0.0762 = \%7.62$$

olarak sonuç elde edilmiştir.

### Kızgın tel anemometresi ile hız ölçümünde oluşan belirsizlikler

Kızgın tel anemometresi ile hız ölçümüne etki eden belirsizlik değerleri  $U_0 = 4.2$  m/s ( $Re = 4400$ ) değeri için elde edilmiştir.

X<sub>1</sub>-) Anemometreye ait belirsizlikler; gürültü, tekrarlanabilirlik ve frekans algılamasından oluşan belirsizlikler %0.5 mertebesindedir. ( $\frac{w_{X_5}}{X_5} \cong 0.005 = \%0.5$ )

X<sub>2</sub>-) Kalibrasyon işleminde, 4.2 m/s'lik hız değerinde, kalibrasyon cihazında oluşan belirsizlik %2.05'dir. ( $\frac{w_{X_6}}{X_6} \cong 0.027 = \%2.27$ )

X<sub>3</sub>-) Lineerleştirme veya kalibrasyon eğrisi işleminden oluşan belirsizlik %0.5'dür. ( $\frac{w_{X_7}}{X_7} \cong 0.005 = \%0.5$ )

X<sub>4</sub>-) 4.2 m/s hızda  $\frac{\partial U}{\partial E} = \frac{19,3 \text{ m/s}}{\text{volt}}$  luk değişim için 0-5V aralığında 16 bit'lik A/D dönüştürücü kartın çözünürlüğünden oluşan belirsizlik %0.13'dir. ( $\frac{w_{X_8}}{X_8} \cong 0.0013 = \%0.13$ )

X<sub>5</sub>-) Prob pozisyonunda 1°'lik hata nedeniyle hızda oluşan belirsizlik %0.009'dür. ( $\frac{w_{X_9}}{X_9} \cong 0.00009 = \%0.009$ )

X<sub>6</sub>-) Prob çalışma sıcaklığındaki 2°C'lik sıcaklık değişimi nedeni ile hızda oluşan belirsizlik %1.53'dür. ( $\frac{w_{X_{10}}}{X_{10}} \cong 0.0153 = \%1.53$ )

## Ek-A (Devam) Belirsizlik Analizi

X<sub>7</sub>-) Hava yoğunluğundaki 2°C'lik sıcaklık değişimine bağlı olarak hızda oluşan belirsizlik %0.39'dur.  $\left(\frac{w_{X_{11}}}{X_{11}} \cong 0.0039 = \%0.39\right)$

X<sub>8</sub>-) Atmosfer basıncındaki 1 kPa'lık değişim nedeni ile hızda oluşan belirsizlik %0.68'dir.  $\left(\frac{w_{X_{12}}}{X_{12}} \cong 0.0068 = \%0.68\right)$

Bu belirsizlikler dikkate alınarak hız ölçümünde oluşan toplam belirsizlik;

$$u_{U_{CTA}} = \frac{w_{U_{CTA}}}{U_{CTA}} = \left[ \left(\frac{w_{X_5}}{X_5}\right)^2 + \left(\frac{w_{X_6}}{X_6}\right)^2 + \left(\frac{w_{X_7}}{X_7}\right)^2 + \left(\frac{w_{X_8}}{X_8}\right)^2 + \left(\frac{w_{X_9}}{X_9}\right)^2 + \left(\frac{w_{X_{10}}}{X_{10}}\right)^2 + \left(\frac{w_{X_{11}}}{X_{11}}\right)^2 + \left(\frac{w_{X_{12}}}{X_{12}}\right)^2 \right]^{1/2}$$

$$u_{U_{CTA}} = \frac{w_{U_{CTA}}}{U_{CTA}} = [(0.005)^2 + (0.027)^2 + (0.005)^2 + (0.0013)^2 + (0.00009)^2 + (0.0153)^2 + (0.0039)^2 + (0.0068)^2]^{1/2} \cong 0.0328 = \%3.28$$

olarak elde edilmiştir.

### Boyutsuz sayıların belirsizlik değerlerinin hesaplanması

#### Reynolds sayısının belirsizlik değerinin hesaplanması:

$Re_j = \frac{V_0 \cdot D}{\vartheta}$  şeklinde tanımlanan  $Re_j$  sayısı için belirsizlik değeri,  $V_0(U_{CTA})$ ,  $D$  ve  $\vartheta$  değerine bağlı olarak değişmektedir. Denklem E-16 kullanılarak  $Re$  sayısının belirsizlik değeri hesaplanabilmektedir.

$$u_{Re} = \frac{w_{Re}}{Re} = \left[ (u_{U_{CTA}})^2 + (u_D)^2 + (u_\vartheta)^2 \right]^{1/2} \quad (E-16)$$

Reynolds sayısının belirsizlik değeri, daha önce yukarıda tespit edilen; yoğunluk, hız, karakteristik uzunluğun ve dinamik viskozitenin belirsizliğinin denklem E-16'de yerine yazılması ile hesaplanmaktadır.

## Ek-A (Devam) Belirsizlik Analizi

$u_{Re} = \frac{w_{Re}}{Re} = [(0.0328)^2 + (0.0025)^2 + (0.01155)^2]^{1/2} = 0.0329 = \%3.29$  olarak elde edilmiştir.

Stokes sayısının belirsizlik değerinin hesaplanması:

$S = \sqrt{\frac{2\pi Re}{L}}$  şeklinde tanımlanan Stokes sayısı için belirsizlik değeri  $Re_j$  ve  $L$  değerine bağlı olarak değişmektedir. Denklem E-17 kullanılarak Stokes sayısının belirsizlik değeri hesaplanabilmektedir.

$$u_S = \frac{w_S}{S} = [(u_{Re})^2 + (u_L)^2]^{1/2} \quad (E-17)$$

$u_S = \frac{w_S}{S} = [(0.0329)^2 + (0.0278)^2]^{1/2} \cong 0.0430 = \%4.30$  olarak elde edilmiştir.

$L = \frac{L_0}{D}$  şeklinde tanımlanan Strok uzunluğu için belirsizlik değeri  $L_0$  ve  $D$  değerine bağlı olarak değişmektedir. Denklem E-18 kullanılarak Strok uzunluğu belirsizlik değeri hesaplanabilmektedir.

$$u_L = \frac{w_L}{L} = [(u_{L_0})^2 + (u_D)^2]^{1/2} \quad (E-18)$$

$u_L = \frac{w_L}{L} = [(0.0277)^2 + (0.0025)^2]^{1/2} \cong 0.0278 = \%2.78$  olarak elde edilmiştir.

$L_0 = V_0 \cdot T$  şeklinde tanımlanan sentetik jetin strok uzunluğu için belirsizlik değeri  $V_0$  değerine bağlı olarak değişmektedir. Denklem E-19 kullanılarak sentetik jetin strok uzunluğu belirsizlik değeri hesaplanabilmektedir.

$$u_{L_0} = \frac{w_{L_0}}{L_0} = [(u_{V_0})^2]^{1/2} \quad (E-19)$$

$u_{L_0} = \frac{w_{L_0}}{L_0} = [(0.0277)^2]^{1/2} \cong 0.0277 = \%2.77$  olarak elde edilmiştir.

## ÖZ GEÇMİŞ

Okan KOCABIYIK 28/05/1988 tarihinde Adana’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana’da tamamladı. 2006 yılında girdiği Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünden Haziran 2012’de mezun oldu. 2012 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. 2013 yılında Erdemler Elektromekanik Taahhüt ve Tic. Ltd. Şti’ ne makine mühendisi olarak göreve başladı ve 2015 yılına kadar görevine devam etti. Bu firma bünyesinde Doğu Holding’in Niğde Üniversitesinde yapmış olduğu Ayhan Şahenk Tarım Fakültesinde ve Yurt Binasında, Doğu Holding’in İstanbul/Etiler de D-GYM yüksek donanımlı spor kompleksinde, Doğu Holding İstanbul/Maslak Merkez Ofis projesinde, LCW İstanbul/Güneşli merkez ofis projesinde görev aldı. Daha Sonra 2015-2018 yılları arasında Rönesans Holding tarafından yapılan Adana Entegre Sağlık Kampüsünde teknik ofis şefi olarak projesini tamamladı.



