



T.C.

NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HOPARLÖR TİPİ AKTÜATÖRLE ÜRETİLEN SENTETİK
JETLERDE LÜLE GEOMETRİSİNİN AKIŞ ALANI
ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

MUHAMMED ALİ DÜNDAR

Mart 2018

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

HOPARLÖR TİPİ AKTÜATÖRLE ÜRETİLEN SENTETİK
JETLERDE LÜLE GEOMETRİSİNİN AKIŞ ALANI
ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

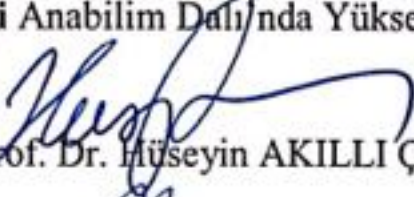
MUHAMMED ALİ DÜNDAR

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU

Mart 2018

Muhammed Ali DÜNDAR tarafından **Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU**'nun danışmanlığında hazırlanan "**Hoparlör Tipi Aktüatörle Üretilen Sentetik Jetlerde Lüle Geometrisinin Akış Alanı Üzerine Etkisinin İncelenmesi**" adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :  Prof. Dr. Hüseyin AKILLI Çukurova Üniversitesi

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

Üye :  Doç. Dr. Murat GÖKÇEK 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.



Muhammed Ali DÜNDAR

ÖZET

HOPARLÖR TİPİ AKTÜATÖRLE ÜRETİLEN SENTETİK JETLERDE LÜLE GEOMETRİSİNİN AKIŞ ALANI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

DÜNDAR, Muhammed Ali

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

: Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU

Mart 2018, 54 sayfa

Bu çalışmada, diğer adı sıfır net kütle akılı (ZNMF) olan sentetik jet akış karakteristiğinin orifis ve lüle geometrisine bağlı olarak değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Bir aktüatör içerisindeki membranın yukarı ve aşağı yönde hareket ettirilmesi neticesinde aktüatör çıkışında oluşturulan sentetik jet hem emme hem de üfleme şeklindeki akış nedeniyle oluşmaktadır. Yapılan çalışmalarda, sentetik jet aktüatörü sinüs sinyali kullanılarak sürülmüş olup uygulama voltajı sabit 4 V ve sürüm frekansı 10 Hz’de sabit olarak belirlenmiştir. Orifis ve lüle çapları her iki model içinde 5, 10, 15 ve 20 mm olmak üzere sekiz farklı çıkış geometrisi üretilmiştir. Sentetik jetin akış karakteristiğinin belirlenmesi için kızgın-tel-anemometresi ile hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar lüle ve orifis çaplarının her bir durumu için ortaya konulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Sentetik jet, lüle, orifis, jet akış yapısı

SUMMARY

INVESTIGATION OF EFFECT OF NOZZLE GEOMETRY ON FLOW FIELD IN SYNTHETIC JET GENERATED BY LOUDSPEAKER TYPE ACTUATOR

DÜNDAR, Muhammed Ali

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor:

Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU

March 2018, 54 pages

In this study, the change in the synthetic jet flow characteristic, also known as Zero Net Mass Flux (ZNMF), depending on the orifice and nozzle geometry was experimentally investigated. As a result of the movement of the loudspeaker's membrane in an actuator upward and downward, the synthetic jet formed at the outlet of the actuator consists of both as suction and a blowing flow. In the studies performed, the synthetic jet actuator was driven using the sinus signal, the application voltage was fixed at 4 V and the version frequency was fixed at 10Hz. Eight different output geometries, 5, 10, 15 and 20 mm, were produced in both orifice and nozzle diameters. Velocity measurements were carried out by using the hot-wire anemometer to determine the flow characteristics of the synthetic jet. Experimental results are presented for variation of orifice/nozzle diameters.

Keywords: synthetic jet, nozzle, orifice, jet flow structure

ÖN SÖZ

Son yıllarda sentetik jetler, az enerji tüketimi, ağırlığının az olması, çabuk cevap süresi ve basit yapısından dolayı araştırmacılar tarafından ilgi odağı haline gelmiştir. Bu tez çalışmasında sentetik jet akış karakteristiğinin orifis ve lüle çaplarına bağlı olarak değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Sentetik jet oluşturmada literatürde çeşitli yöntemler bulunmakla beraber bu çalışmada hoparlör ile sentetik jet oluşturulmuştur. Hoparlör membranının yukarı ve aşağı yönde hareket etmesi neticesinde oluşturulan sentetik jet hem emme hem de üfleme aşamasından oluşmaktadır. Bu çalışmada, sentetik jet aktüatörü sinüs sinyali kullanılarak sürülmüş olup uygulama voltajı sabit 4 V ve sürüm frekansı 10 Hz olarak belirlenmiştir. Orifis ve lüle çapları her iki model içinde 5, 10, 15 ve 20 mm olarak üretilmiştir. Aktüatör çıkış geometrisine bağlı olarak sentetik jet karakteristiğinin belirlenmesi için algılama hızı çok yüksek olan kızgın-tel-anemometresi ile anlık hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar lüle ve orifis çaplarının her bir varyasyonu için ortaya konulmuştur.

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. Hürrem AKBIYIK, Arş. Gör. Mehmet SEYHAN, Mak. Müh. Okan KOCABIYIK, Y. Mak. Müh. Rafet GÜNAYDIN' a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamı; bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen kızım Zeyneb Meyranur DÜNDAR'a, eşim Belma Nur DÜNDAR'a, babam Adem DÜNDAR'a, annem Hanife DÜNDAR'a ve kardeşlerime ithaf ediyorum.

Ayrıca, 215M920 numaralı proje kapsamında çalışmalarına maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xi
SİMGE VE KISALTMALAR	xii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 Aktüatörler ve Çeşitleri	1
1.2 Sıfır Net Kütle Akıllı Jet Aktüatörleri (Sentetik Jetler)	4
1.3 Literatür Özeti	11
1.4 Tezin Amacı	28
1.5 Tezin Bilimsel Önemi	28
BÖLÜM II DENEYSEL ÇALIŞMA	29
2.1 Deneysel Düzeninin Kurulumu	29
2.2 Sentetik Jet Üretim Sistemi	30
2.3 Orifis ve Lüle Modelleri	31
2.4 Sentetik Jet Sürüm Sinyalinin Üretilmesi	32
2.5 Kızgın-Tel Anemometresi ile Hız Ölçüm Sistemi	33
2.6 Sentetik Jet Boyutsuz Parametreleri	34
BÖLÜM III BULGULAR	36
3.1 Bulgular ve Deneysel Sonuçlar	36
BÖLÜM IV SONUÇLAR	46
KAYNAKLAR	47
EKLER	53
ÖZ GEÇMİŞ	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Bu çalışmada kullanılan parametrelere göre elde edilen boyutsuz sayıların dağılımı	35
---	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Akış kontrol aktüatörlerinin sınıflandırılması	3
Şekil 1.2. Bir sentetik jetin oluşturulmasında kullanılan metotlar.....	4
Şekil 1.3. Krank-biyel mekanizması ile oluşturulan sentetik jet uyarıcısı.....	5
Şekil 1.4. Piston-silindir ve tahrik mekanizmasının genel görünümü	5
Şekil 1.5. Silindir ön ölü hacminin ayarlanması	6
Şekil 1.6. Piston-silindir mekanizmasıyla elde edilen sentetik jet.....	6
Şekil 1.7. ZNMF aktüatörün şekilsel gösterimi.....	7
Şekil 1.8. Piezoelektrik aktüatörün şekilsel gösterimi.....	7
Şekil 1.9. Sentetik jet oluşumunun şematik diyagramı.....	8
Şekil 1.10. Kesiti alınmış piezoelektrik sentetik jet uyarıcısı (a), Piezoelektrik sentetik jet uyarıcısının genel görünümü (b).....	9
Şekil 1.11. Sentetik jet oluşumu ve karakteristiğine etki eden parametreler.....	12
Şekil 1.12. Lüle geometrilerinin eskizleri.....	14
Şekil 1.13. Sentetik jet hareket şeması; hoparlör (1), boşluk (2), meme (3), sınır tüpü (4)	14
Şekil 1.14. Deneysel cihazda; mikro kanalın detaylı görüntüsü (a) ve şematik diyagramlı görüntüsü (b).....	15
Şekil 1.15. Deneyin temel şeması	16
Şekil 1.16. Sentetik jet hareket ettiricisinin şematik çizimi.....	16
Şekil 1.17. Sentetik jet cihazı: jet cihazının tasviri (a) ve jet çıkış kısmının taslağı (b). 17	
Şekil 1.18. Sentetik jet yapısının genel görünümü	18
Şekil 1.19. Deneyin düzeneğinin şematik görülümü	18
Şekil 1.20. Beş farklı sentetik jet akışı için morfolojisi rejimi gösterimi	19
Şekil 1.21. Sentetik jetin şematik görülümü	20
Şekil 1.22. Sabit hacimde jet boşluğu kesitleri (boyutlar milimetre cinsinden).....	20
Şekil 1.23. Liu vd. (2015)'nin kurmuş oldukları deney düzeneğinin şematik görülümü; bilgisayar (1), termokuplar modülü (2), bakır levha (3), güç kontrol ünitesi (4), traverse sistem (5), piezoelektrik aktüatör (6), değişken transformatör (7), fonksiyon üretici (8), kızgın tel modülü (9)	21
Şekil 1.24. Deneysel kurulum ve jet konfigürasyonlarının şematik yapısı	22

Şekil 1.25. Düz lüle ve test yapılandırması, yan görünüş (a), alt görünüş (b).....	22
Şekil 1.26. Sentetik jet üretim sisteminin şeması; Kamera (1) Light Rays (2) Traverse sistem(3) Lüle (4) Lensler (5) Işık kaynağı (6) Plaka (7) Masa (8).....	23
Şekil 1.27. Tekli ve ikiz dairesel sentetik jet akış alanının incelenmesi için deney düzeneği.....	24
Şekil 1.28. Elektronik soğutma çalışmaları için deney düzeneği	25
Şekil 1.29. Sentetik jetin çarpma esnasındaki ısı iletim özelliklerinin incelenmesi için deney düzeneği şeması.....	25
Şekil 1.30. Çift diyaframlı sentetik jet deney sisteminin kurulumu	26
Şekil 1.31. Piston silindir mekanizmasının şekilsel gösterilmesi.....	27
Şekil 1.32. Kanat üzerinde TS kararsızlıklarının aktif kontrolünün araştırılması için kurulumu; Dalga kontrolünün temel prensibi (a), Hoparlör tahrikli emme / üfleme prensibi ile çalışan sentetik jet aktüatörü (b)	27
Şekil 2.1. Deney düzeneğinin katı model şematik görünümü	29
Şekil 2.2. Sırası ile 5, 10, 15 ve 20mm lüle geometri kesitleri	32
Şekil 2.3. Sırası ile 5, 10, 15 ve 20mm orifis geometri kesitleri.....	32
Şekil 3.1. Farklı çaplardaki lüleler için $r/D = 0$ ve $y/D = 0, 1, 5$ ve 10 konumlarındaki anlık hız dağılımları	37
Şekil 3.2. Farklı çaplardaki orifis için anlık hız dağılımları	39
Şekil 3.3. $D=20$ mm çaplı orifisin yakın bölgesindeki anlık hız değişimi.....	40
Şekil 3.4. Orifis jet çıkışı akış alanın şematik görünümü	40
Şekil 3.5. $D=20$ mm çaplı orifisin $y/D=0-2,4$ ($0-48$ mm) arasındaki bölgede anlık hız değişimi	41
Şekil 3.6. Farklı çaplara sahip lüleler için radyal hız dağılımları	42
Şekil 3.7. Farklı çaplara sahip orifisler için radyal hız dağılımları.....	43
Şekil 3.8. Farklı çaplara sahip lüle ve orifislerin, sabit frekans ve voltaj değerleri için; y eksen hız ölçüm taramasının karşılaştırılması.....	44
Şekil 3.9. Orifis çapının $D=10, 20$ ve 30 mm olduğu durumlarda jet eksen boyunca hız dağılımları	45
Şekil 3.10. Farklı Orifis çapının $D=10, 20$ ve 30 mm olduğu durumlarda lüle çıkışındaki anlık hız dağılımları	45

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1. Deney düzeneğinin genel görünümü.....	30
Fotoğraf 2.2. Hoparlör tipi sentetik jet aktüatörünün parça ve montaj görünümü	31
Fotoğraf 2.3. Lüle ve orifis modelleri.....	31
Fotoğraf 2.4. Deneylede kullanılan sinyal jeneratörü, BNC veri toplama kutusu ve Osiloskop.....	32
Fotoğraf 2.5. Kızgın tel anemometresi hız ölçüm sisteminin görünümü.....	33



SİMGE VE KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklama
SJ	Sentetik Jet
V_{jet}	Anlık Jet Hızı, m/s
V_{ort}	Ortalama Jet Hızı, m/s
ν	Kinematik Viskozite, m^2/s
f	Frekans, Hz
ZNMF	Sıfır Net Kütle Akı Jeti
Re	Reynolds Sayısı
S	Strok
D	Lüle Veya Orifis Çıkış Çapı, m
H	Jet İle Plaka Yüzey Aralığı, m
PIV	Parçacık Görüntüsü Hız Ölçümü
L	Boyutsuz Strok Uzunluğu
Nu	Nusselt Sayısı
Z	Jet İle Plaka Yüzey Aralığı, m
L_o	Sentetik Jet Strok Uzunluğu, m
x,r	Eksenel Ve Radyal Koordinatlar, m
TS	Tollmien-Schlichting İki Boyutlu Dalga
Stk	Stokes Sayısı
CTA	Sabit Sıcaklık Anemometresi
T	Sentetik Jet Periyot Süresi, s

BÖLÜM I

GİRİŞ

Bu tez çalışmasında; hoparlör ile sentetik jet oluşturularak, sentetik jet akış karakteristiğinin orifis ve lüle çaplarına bağlı olarak değişiminin deneysel olarak incelenmesi ve sentetik jet karakteristiklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Sentetik jetler son yıllarda literatürdeki çalışmalarda yoğun bir şekilde yer almıştır. Gerek kullanım alanları gerekse diğer sürekli üfleme veya darbeli jet akışlarına göre daha etkin çözümler sunması araştırmacıların dikkatlerini sentetik jetlerin üzerine çekilmesinde etkili olmuştur. Bu yöntem ile diğer üfleme jetlerindeki istenmeyen sürekli enerji tüketimi ve akışkan kaynağı gibi yan etkiler, sentetik jet kullanılarak aynı ortamdaki akışkan kullanılarak arka arkaya yapılan emme ve üfleme sayesinde ortadan kaldırılmaktadır. Ayrıca, frekans ve diğer kontrol edilebilir parametrelerin uygun değerlerinde daha verimli ve uygulamaya elverişli sonuçlar elde edilebilmektedir. Sentetik jet aktüatörleri, kısa yanıt süresi, yüksek jet hızı ve küçültülmüş boyut ve düşük ağırlık gereksinimlerini karşılayan, karmaşık yapıların ve uzun boruların bulunmaması nedeniyle akış kontrol teknikleri arasında büyük ilgi görmüştür.

1.1 Aktüatörler ve Çeşitleri

Aktüatörler elektrik sinyallerini istenilen fiziksel niceliklere çeviren dönüştürücülerdir. Bu şekilde fiziksel hareket veya etki oluşturan aktüatörler, mühendislik sistemlerinde, akışkanlar mekaniğinin birçok alanında etkili kontrol stratejilerinin de kullanılmasıyla sistem performansını artırmasından dolayı son yıllarda ilginin arttığı bir alan olmuştur. Aktüatörler akışı etkilediklerinden dolayı aktif akış kontrolü için mutlak bir öneme sahiptir. Aktif akış kontrolü alanında yapılan, aktüatör çeşitliliğiyle alakalı değişiklikleri içeren çalışmalar ve aktüatörlerin önemi ile ilgili araştırmaların gün geçtikçe artması aktüatörlerin akış kontrolündeki popülaritesinin kanıtıdır.

Akış kontrolü uzun yıllardır, akışkanların akış yapısını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Aktif ve pasif akışı kullanmak teknolojik olarak büyük bir öneme sahiptir. Akış kontrol metotları aktif ve pasif olarak iki bölümde sınıflandırılabilir. (Catalano, 2002). Pasif kontrolde akışı kontrol etmek için harici enerji kullanılmaz.

Pasif kontrol parçaları genellikle daimi olarak akışı kontrol edebilecek şekilde kullanıldığı yere sabitlenmiştir (Gad-el-Hak, 2000). Aktif akış kontrolü, istenilen akışı elde etmek için harici bir enerji kullanılarak yapılan akış manipülasyonları olarak tanımlanmaktadır. Etkili akış kontrol sistemleri sınır tabakada laminer akıştan türbülanslı akışa geçişi, akış ayrılmasını engellemeyi veya akış ayrılmasına neden olmayı, kaldırmayı artırmayı ve sürüklenme kuvvetini azaltmayı, ses, titreşim ve enerji kayıpları gibi istenmeyen kararsızlıkları azaltabilmeyi başarabilmektedirler. Bu ise endüstriyel açıdan iç ve dış akışta özellikle havacılık sektöründe teknolojik bir öneme sahiptir (Moreau, 2007). Aktif akış kontrol aktüatörleri, elektronik kontrol parametreleri kullanılarak akış yapısının iyileştirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

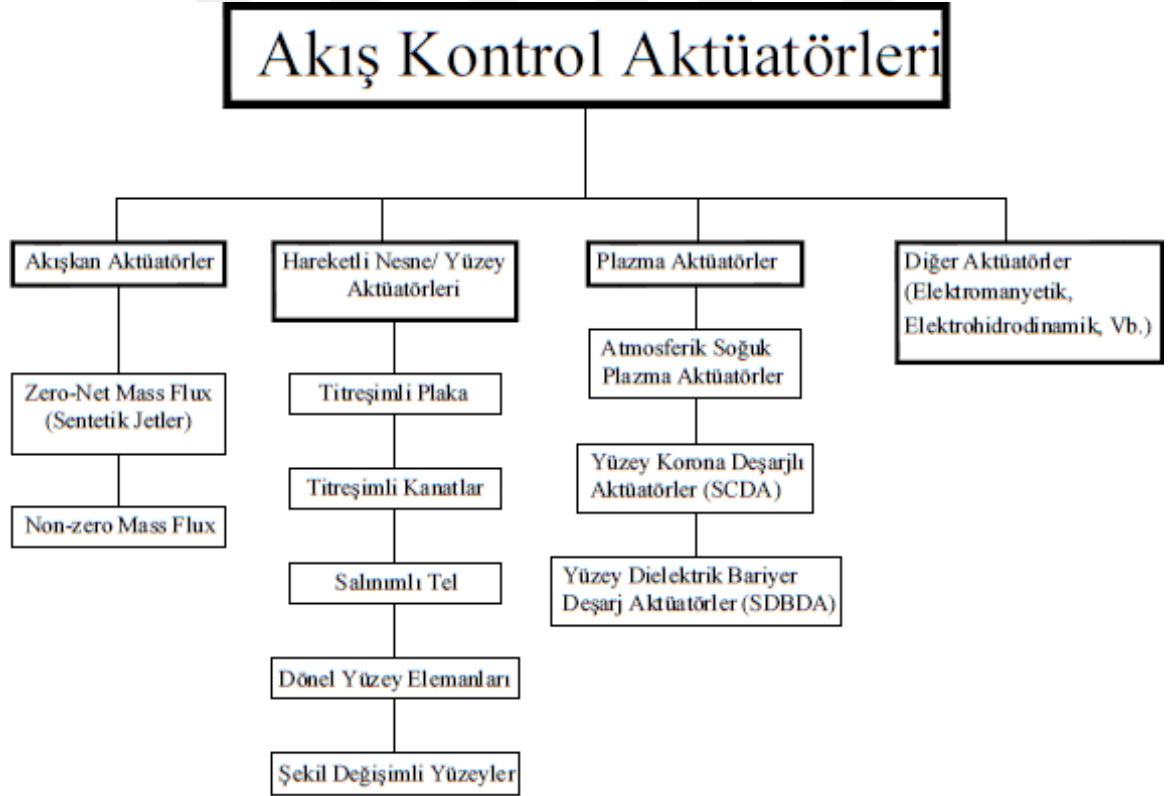
Farklı sistemler için değişik özelliklerde aktüatörler kullanılabilir. Örneğin sürücüsüz araçlarda, doğrusal hareket ve yönlendirme işlemi için elektrik motorları aktüatörleri olarak kullanılırken, ağır yüklerin hassas şekilde kaldırılmasında hidrolik güç ve hidrolik aktüatörler kullanılmaktadır. Birçok farklı fonksiyonu yerine getiren gelişmiş takım tezgâhlarında ise elektrik, hidrolik ve pnömatik aktüatörler tezgâhların alt sistemleri için bir arada bulunmaktadır. Aktüatörlerin bu şekildeki endüstriyel uygulamalardaki kullanımlarının yanı sıra akış yapılarının değiştirilmesi ve özellikle uçak kanatlarında aktif akış kontrol yöntemleri ile kaldırma kuvvetlerinin iyileşmesi aktüatörler ile sağlanmaktadır.

Akış kontrolü uygulamalarında çeşitli aktüatör tipleri kullanılmakta ve bunlar birçok sayıda sınıflandırılabilir. İlk sınıflandırma şekil 1.1'de gösterilen fonksiyona dayalı sınıflandırılmış aktüatörlerdir. En yaygın olan çeşidi akışkan olanlardır. Bunlar sıvı enjeksiyonunda ya da vakumlama kullanılmaktadır. Bu sınıflandırma içerisinde, ZNMF (zero net mass flux) ya da sentetik jet aktüatör aygıtları vardır. ZNMF aygıtları, ek bir akışkan kaynağı olmadan sadece akış ortamındaki kaynağı kullanarak orifis boyunca salınımlı akışkanı dönüşümlü olarak içeri çeken ve dışarı gönderen aygıtlardır (Glezer ve Amitay, 2002). Diğer bir yandan, sentetik jet aktüatörleri, ek bir akışkan kaynağı kullanır ve devamlı ya da devamsız olarak çalıştırılabilir.

Diğer bir sınıflandırmada sistemin içerisinde ya da bulunduğu alanda hareketli birimler söz konusudur. Akış üreten aygıtlar genellikle hareketli parçalar içermesiyle birlikte çoğunun genel olarak akışa etkisi enjeksiyon ya da emilimdir. Alternatif olarak,

hareketli birim yüzeyin amacı yerel akış hareketini sağlamaktır. Bu aygıtların çeşitlerinden, elektrodinamik salınımlı plaka laminar sınır tabaka geçişindeki deneylerde kullanılan klasik düz plaka çeşididir (Schubauer ve Skramstad, 1948). Diğer çeşitler ise, titreşimli flaplar (Seifert vd., 1998), periyodik zaman ayarlı yüzeye yerleşik diyafram (Kim vd., 2003), salınımlı tel (Bar-Sever, 1989), dönel yüzey elemanları (Viets vd., 1981) ve şekil değişimli yüzeylerdir (Thill vd., 2008).

Son sınıflandırma plazma aktüatörleridir. Son yıllarda plazma aktüatörlerin hızlı tepki sürelerinden ve katı hal yapılarından dolayı cazibesi epey artmıştır (Moreau, 2007). İki elektrota yüksek voltaj uygulanması sonucu yüzey üzerinde maddenin dördüncü hali olan plazma fazı oluşmakta ve bununla beraber yüzey etrafında iyon rüzgârları meydana gelmektedir. Bu iyon rüzgârlarını akış kontrolünde kullanmak amacıyla plazma aktüatörler geliştirilmiştir. En popüler olanı tek di-elektrik bariyer deşarjlı plazma aktüatörüdür. Atmosferik soğuk plazma ozon üretimi amacı ile kullanılmıştır. Aerodinamik akış kontrolü amacı ile SCD ve SDBD aktüatörler kullanılmaktadır.

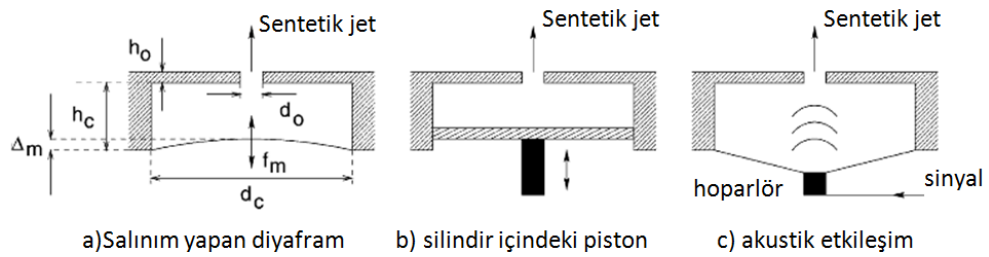


Şekil 1.1. Akış kontrol aktüatörlerinin sınıflandırılması (Cattafesta ve Sheplak, 2011)

1.2 Sıfır Net Kütle Akılı Jet Aktüatörleri (Sentetik Jetler)

Sentetik jet, üfleme ile emme işleminin peşi sıra gerçekleştirildiği jet tipidir. Sentetik jetin en önemli avantajı, çok düşük enerji harcayarak akış yüzeyindeki değişimlere çok çabuk cevap verebilmesidir. Devamlı hava üfleme ya da emme işlemi, istenmeyen yan etkiler doğururken, sentetik jet kullanarak arka arkaya yapılan üfleme ve emme, akış ayrılmalarının kontrolünde oldukça verimli sonuçlar verebilmektedir (Erdoğan, 2007). Sentetik jetler, serbest jet kontrolünden (Tamburello ve Amitay, 2008) mikrokariştiricilere (Liu vd., 2008); çarpan jet uygulamalarında ısı transferinin artırılmasından (Valiorgue vd., 2009) havalandırma sistemlerine (Montoya vd., 2010) kadar birçok sahada kullanılabilir.

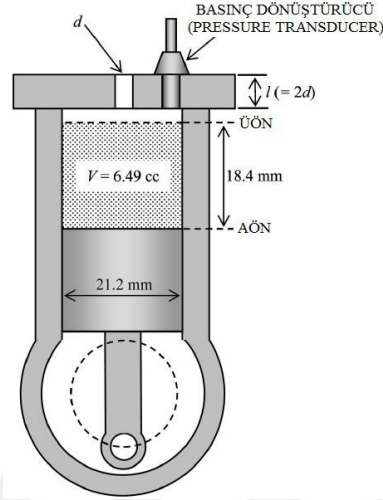
Sentetik jet akışını oluşturmak için birbirinden farklı teknikler bulunmakta ve esas olarak kullanılan üç metot bulunmaktadır. Bu metotlar şekil 1.2’de görüldüğü gibi, silindir-piston mekanizması, salınım yapan piezoelektrik diyafram ve hoparlör kullanılarak gerçekleştirilen hareketli bir yüzeyin veya diyaframın yukarı ve aşağı şeklindeki hareketi ile oluşturulan aktüatörlerdir (Mallinson vd., 2004). Bu sistemler sayesinde kapalı hacmin ortama açıldığı orifisten periyodik olarak üfleme ve emme akışı oluşturulabilmektedir. Piston silindir, hoparlör ve piezoelektrik diyafram tipindeki aktüatörlerin frekans ve genlik özellikleri genel olarak farklılık arz etmektedir. Piston-silindir mekanizmalı sistemde frekans düşük olmakla birlikte genlik daha büyüktür. Piezoelektrik diyaframda ise frekans yüksek ancak genlik çok küçük olarak gerçekleşmektedir. Hoparlör sisteminde frekans ve genlik diğer iki sisteme göre orta seviyelerde oluşmaktadır.



Şekil 1.2. Bir sentetik jetin oluşturulmasında kullanılan metotlar (Mallinson vd., 2004)

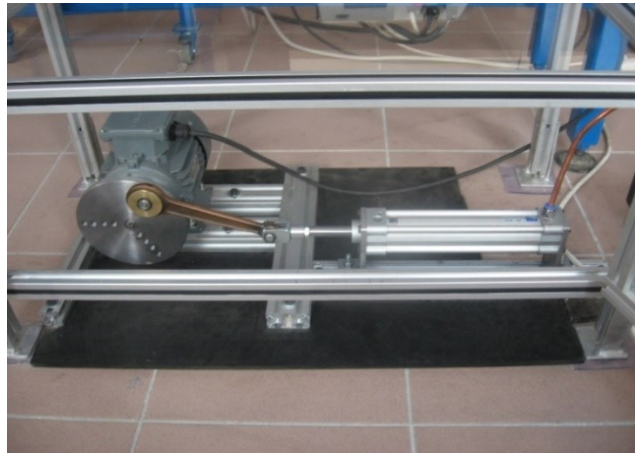
Crittenden ve Glezer (2006) yüksek hızlı, sıkıştırılabilir akışlı ve boşluk hacmi 6.49 cm^3 (Şekil 1.3) olan sentetik jet uyarıcısının çalışmasını deneysel olarak araştırmışlardır.

Krank-biyel mekanizması kullanarak oluşturdukları jet uyarıcısını değişken hızlı motor ile tahrik etmişler ve boşluk hacminin basınç ölçümlerinden faydalanarak jetin performansını değerlendirmişlerdir.



Şekil 1.3. Krank-biyel mekanizması ile oluşturulan sentetik jet uyarıcısı (Crittenden ve Glezer, 2006)

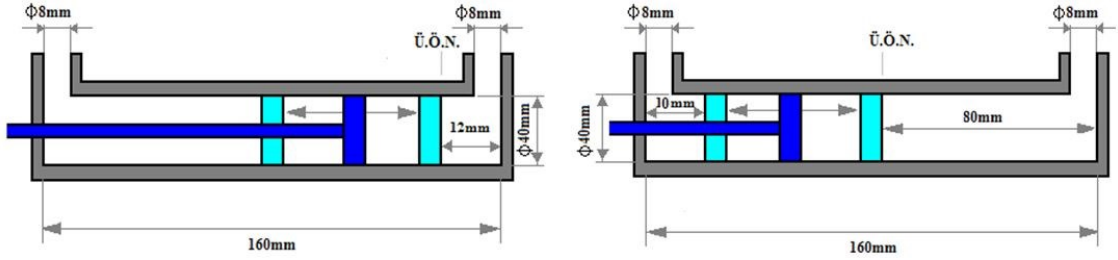
Şekil 1.4’de piston-silindir mekanizmasıyla elde edilen sentetik jet görülmektedir (Bolat, 2010). Pistonun ileri-geri hareketiyle silindir içerisindeki boşluğun hacmi değişmekte ve silindir üzerindeki yarıktan akışın silindir içerisine giriş-çıkışı sağlanarak sentetik jet oluşturulmaktadır.



Şekil 1.4. Piston-silindir ve tahrik mekanizmasının genel görünümü (Bolat, 2010)

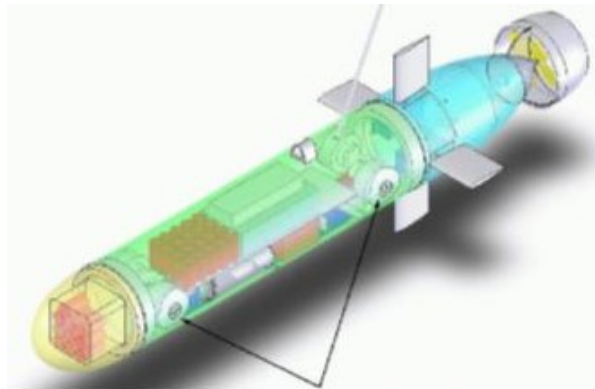
Sabit strok uzunluğunda silindirin hareket ettirilerek, pistonun en ileri noktadaki silindir içerisindeki ön boşluğun büyüklüğü jet yapısını değiştirebilmektedir. Şekil 1.5’de

Bolat'ın yaptığı çalışmasında 12 mm ve 80 mm olarak silindir ön boşluklarının ayarlandığı mesafeler görülmektedir.



Şekil 1.5. Silindir ön ölü hacminin ayarlanması (Bolat, 2010)

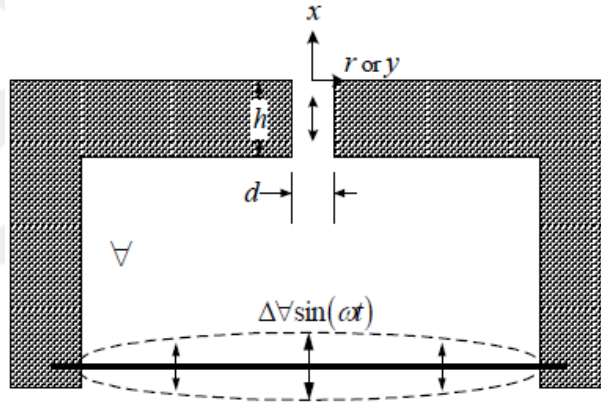
Deniz altı (özellikle derin deniz gezilerinde ve araştırmalarında) sistemlerinde gelişmiş algılama tekniklerinin ortaya çıkması ve bunun yanı sıra kontrollü uzaktan kumandalı araçların (remotely operated vehicles (ROVs)) teknolojik gelişimi için son zamanlarda büyük adımlar atmıştır. ROV eskort araçlar gibi genel bir araştırma araçlarının önemli lojistik desteğe ihtiyaçları vardır. Ayrıca, gerekli kablo bağlantısı derin okyanuslarda özellikle ROV teknolojik araçları üzerindeki etkileri, sınırlayıcı olmuştur. Bilimsel araştırmaların gerçekleşmesi için bu araçların gereksinimleri giderek zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle, kendinden tahrikli otonom sualtı araçları (AUVs) ticari alanda giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Böyle özerk araçların daha az karmaşık yapı ve lojistik destek ile faaliyet göstermesi beklenmektedir. Bu anlamda deniz altı araçlarının düşük hızda manevra ve istasyon tutmak için Krieg vd. (2005) tarafından şekil 1.6 de tasarlandığı gibi sentetik jet teknolojisi önerilmiş ve bunun ile alakalı prototip araçlar oluşturulmuştur.



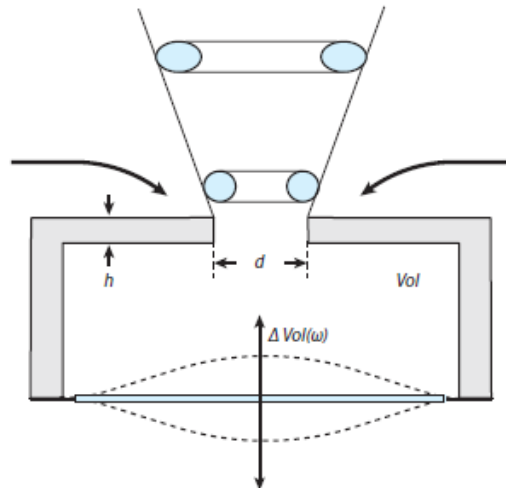
Manevra için Sentetik Jet

Şekil 1.6. Piston-silindir mekanizmasıyla elde edilen sentetik jet (Krieg vd., 2005)

Sentetik jet, periyodik bir boşluk hacmi değişikliği ve dolayısıyla basınç değişikliği ile küçük bir boşlukta, bir membran salınımı (genellikle bir piezo-seramik eleman tarafından sürülür) ile düşük genlikteki yüksek frekanslarda üretilir. Şekil 1.7 ve şekil 1.8 'den de görüldüğü üzere bu aktüatörler bir boşluk boyunca akışkanı emme ve üfleme döngüsü ile akışa momentum eklemektedir. Elektrik enerjisini piezo kristalin etkisiyle mekanik enerjiye dönüştürürler. Basit dizaynı, asgari hareketli parçaları, yağlama ihtiyacının olmaması ve yüksek güvenilirliğinden dolayı sanayide, otomotiv sektöründe, medikal sektöründe, havacılıkta ve elektronik uygulamalarda kullanılmaktadır. Sessiz çalışma karakteri piezo aktüatörleri harika bir titreşimli hareket mekanizması haline getirmektedir. Bunun neticesinde mobil telefonlarda ve video kameralı mikrofon aparatlarında kullanılmaktadır. Yağlama ihtiyacının olmaması neticesinde de soğuk çalışma ortamlarında kullanılabilme imkânı sağlamaktadır.



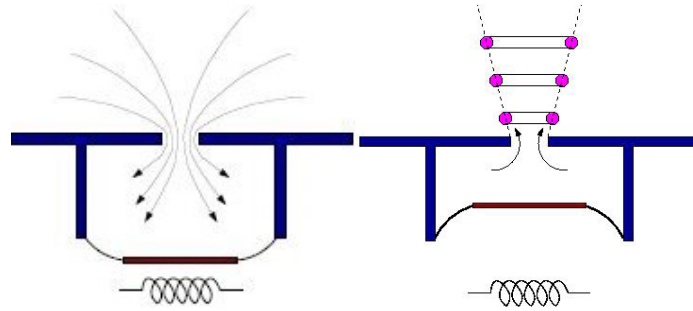
Şekil 1.7. ZNMF aktüatörün şekilsel gösterimi (Gallas vd., 2004)



Şekil 1.8. Piezoelektrik aktüatörün şekilsel gösterimi (Cattafesta ve Sheplak, 2011)

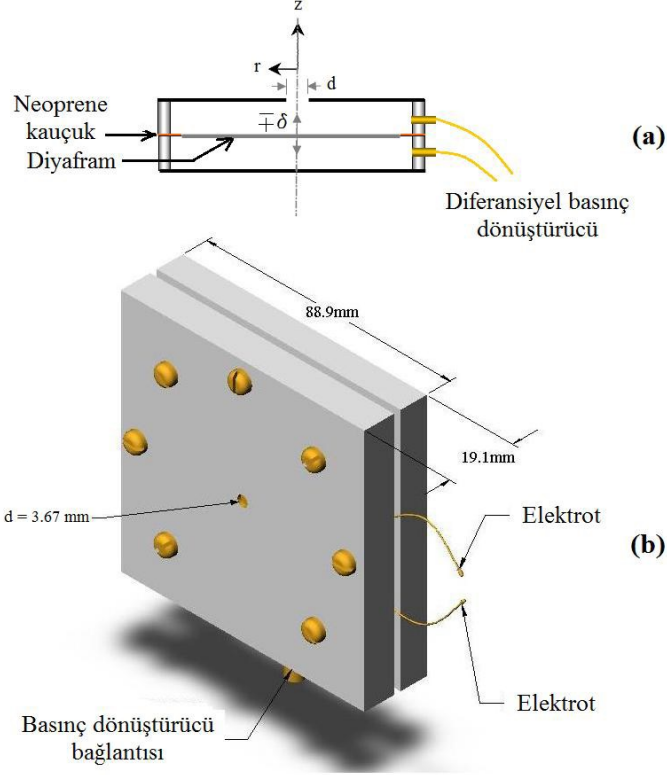
Piezoelektrik diyaframa elektrik akımı gönderildiğinde, diyafram belirli bir düzeyde hareket etmeye ve şekil değiştirmeye başlamaktadır. Şekil değiştirme işleminin süresi yani diyaframın akıma cevap süresi genellikle milisaniye düzeyinin altındadır. Salınım yapmaya başlayan diyafram kısa bir sürede havayı boşluğa çekme ve geri dışarıya gönderme işlemini gerçekleştirmektedir. Emilen tüm hava diyafram hareketiyle tekrar üflendiği için, cihazın ağız bölümünden giren ve çıkan net kütle akışı sıfır olmaktadır (Bolat, 2010). Buna ek olarak bir diyaframın, pistonu nazaran daha hafif ve daha az enerji ile çalışabilir olduğu görülmüştür. Bunun yanında yapmış olduğu sentetik jetin, piston-silindir yöntemiyle elde edilmesinin amacı, piezoelektrik ve akustik hareketlendiricili sistemlerde değiştirilebilen jet parametrelerinin daha az sayıda olması ve özellikle hareketli elemanın strokunun çok küçük olması nedeniyle istenilen üfleme debilerine ve momentum katsayılarına çıkılamamasıdır.

Üfleme hareketi süresince enjekte edilen akışkan orifisin keskin köşelerinden ayrılmakta ve kayma tabakası dairesel sentetik jetlerde bir girdap halkası, düzlemsel (slot) sentetik jetlerde ise bir girdap çifti oluşturacak şekilde yuvarlanarak hareket etmektedir (Tuck ve Soria, 2008). Şekil 1.9'de sentetik jet oluşumunun şematik diyagramı görülmektedir.



Şekil 1.9. Sentetik jet oluşumunun şematik diyagramı (Krieg vd., 2005)

Günümüzde piezoelektrik diyafram olarak kullanılan birçok malzeme mevcuttur (Firat, 2010). Elektrik alan uygulanarak şekil değişimi sağlanan bimorf malzemeler (Şekil 1.10) arasındaki ısı genleşme katsayısı uygunsuzluğundan faydalanılarak üretilmiş Thunder® (Thin layer composite unimorph ferroelectric driver and sensor) ve katmanların ısı genleşme katsayılarındaki farklılıklardan yola çıkılarak üretilmiş Lipca (Lightweight piezo-composite curved actuator) bu diyafram tiplerine birer örnekler (Mane vd., 2005).



Şekil 1.10. Kesiti alınmış piezoelektrik sentetik jet uyarıcısı (a), Piezoelektrik sentetik jet uyarıcısının genel görünümü (b) (Mane vd., 2005)

Elektronik cihazların ve devrelerin etkin bir şekilde soğutulması da önem arz eden bir çalışma alanıdır. Özellikle çarpan sentetik jet ile istenilen yüzeyde etkin bir biçimde soğutma işlemi gerçekleştirilebilmektedir (Chaudhari vd., 2010). Chandratilleke vd. (2010), ufak elektronik aygıtlarda kılcal borular kullanılarak gerçekleştirilen ısı transferi işlemlerinde sentetik jetin kullanılmasıyla ısı transferinde iyileştirmelerin mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Özellikle son yıllardaki gelişmelere bağlı olarak, sentetik jet sistemleri orifis çapının 1mm'den küçük olması durumunda Mikro-Elektro-Mekanik Sistemleri (MEMS) alanında değerlendirilmektedir (Lee vd., 2003). Sentetik jet kullanılmasının avantajları arasında basit yapısı, düşük maliyeti ve kullanım kolaylığı da yer almaktadır. Özellikle literatürde son yıllarda, sentetik jetlerin akış kontrolünde kullanıldığı çok sayıda çalışmalar bulunmaktadır.

Hoparlörlerde genellikle çerçeve, elektromıknatıs yapısı, diyafram ve alt süspansiyon bulunmaktadır. Hoparlörler, elektronik olarak ses üretmeye yarayan aletlerdir. Sesin

oluşmasını sağlayan düzen bir mıknatıs, bir bobin, bir de bobinin önünde ince bir levhadan ibarettir. Bu ince levha serbestçe titreşebilir. Gelen akım, mıknatısın manyetik alanı içinde bulunan bobinden geçtiği zaman bobinin önündeki levhayı titreştirir.

Hoparlör sistemli sentetik jet aktüatörlerinde genellikle bir sinyal şartlandırıcıdan gönderilen sinüzoidal sinyal ile frekans ayarlanır, böylece hacmin ortama açıldığı orifisten periyodik olarak üfleme ve emme akışı oluşturulmaktadır.

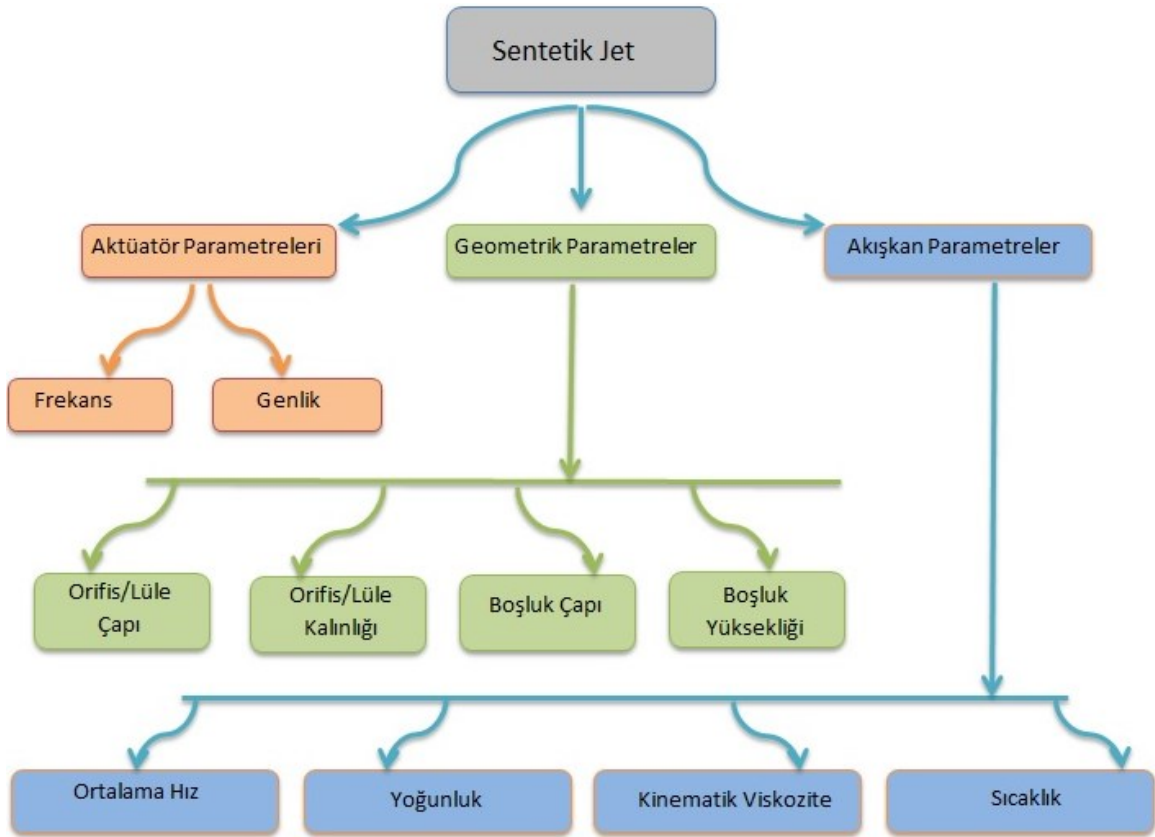
Yukarıda bahsedilen bu üç sentetik jet oluşturma yöntemi farklı akış yapılarında sentetik jetlerin elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Piston silindir mekanizması ile elde edilen sentetik jetlerde sürülen hava miktarının fazla olması nedeniyle yüksek üfleme debilerine ve hızlara çıkılabilmektedir. Ancak bu sistemin birçok hareketli elemanı barındırması nedeniyle ısınma ve titreşim gibi olumsuz etkilerden dolayı yüksek frekanslara çıkılması daha zor olmaktadır. Diyafram ve hoparlörlü hareket aktüatörü sistemlerinde sürülen hacim miktarı çok küçük olmakla birlikte piston-silindir mekanizmasından elde edilen frekansların çok daha yüksek değerlerinde sentetik jetler oluşturulabilmektedir. Sonuç olarak piston-silindir, piezoelektrik diyafram ve akustik uyarma sentetik jet uyarıcısı oluşturmak için kullanılan en güncel teknikler olup, birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Akış bölgesi için en uygun tekniğin seçimi, uyarıcı mekanizmaların karakteristiklerine bakılarak yapılması gerekmektedir.

Sentetik jetin sahip olduğu özellikler, onu oluşturan mekanizmanın geometrik parametreleri (açıklık şekli, açıklık boğaz yüksekliği, açıklık çapı, açıklığın yerleştirilme yeri, açıklığın dış ortama çıkış açısı, boşluk geometrisi vb.), jet oluşturma tekniği (piston-silindir, piezoelektrik sürücülü diyafram, akustik uyarma vb.), jetin fiziksel parametreleri (momentum katsayısı, sentetik jet boyutsuz uyarma frekansı vb.) ile dış ortam özelliklerine (dış ortamda akış olması veya olmaması, dış ortam Reynolds sayısı, akışkan tipi, ortam sıcaklığı vb.) bağlı olarak değiştirilebilmektedir (Fırat, 2010). Sentetik jetin uygulanacağı alandaki ihtiyaçlar temel alınarak bu parametrelerin belirlenmesi ve en uygun değerlerin seçilmesi gerekmektedir.

1.3 Literatür Özeti

Literatürdeki çalışmalar göz önüne alındığında, sentetik jetler birçok kritik uygulamada (aerodinamik akış kontrolü, karışım ve ısı transferi gibi alanlarda) gittikçe artan bir öneme sahiptirler. Sınır tabaka akışlarına momentum katmak ve ses altı uçuşta kanatların üzerinde gerçekleşen akış ayrılmasını kontrol etmek için kullanılabilirler. Amitay ve Glezer (2002), yüksek frekanslarda sentetik jet uygulaması ile sürüklenme kuvvetinde ve akış ayrılmasında belirgin iyileşmeler gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca düşük hücum açılarında stola giren uçak kanatlarının sentetik jet kullanımı ile 25 dereceye kadar yükseltildiği literatürde ortaya konmuştur (Amitay ve Glezer, 2006). Türbülanslı sınır tabakada yüzey basınç çalkantıları ve ortalama kayma gerilmesi sentetik jet kullanımı ile %15'den %7 ye düşürülmüştür (Rathnasingham ve Breuer, 2003). Sentetik jetler hem akışkanı karıştırmak hem de ısı transferini arttırmak içinde kullanılmaktadır. Minyatür elektronik cihazların soğutulmasında kullanılan sentetik jetler, cihazların ısınmış yüzeylerine daha çok akış nüfuz ettirdiğinden dolayı etkinlikleri artmışlardır. Sürüm frekansı, genlik, jet mesafesi, ısıtıcı boyutu ve ısı akışını optimize ederek sentetik jet ısı transferinin doğal konveksiyona göre 10 katına kadar arttırabileceğini ortaya koymuşlardır (Garg vd., 2005).

Sentetik jetlerde üfleme fazında, akışkan boşluktan dışarı çıkarken sınır ayrımı nedeniyle girdap halkası meydana gelmektedir (Didden, 1979). Sentetik jet ismi ilk olarak Smith ve Glezer (1998), tarafından sistem etrafındaki akışkanın sentez yoluyla üretilmesi nedeniyle kullanılmıştır. Çalışma esnasında net akış akısı olmadığı için sıfır net kütle akı jeti (ZNMF) olarak da bilinir. Bununla birlikte, doğrusal momentumu akışa aktarır. Sentetik jetin akış alanı, oldukça geçici özelliklerinden dolayı iki ayrı bölgeye ayrılır. Birinci bölge, gelişmekte olan bir bölge olarak adlandırılır ve periyodik girdap halkalarının bulunduğu ve buradaki etkileşimlerinin jet akışından üstün olduğu kısımdır. Burada sentetik jet akışı, zaman periyotlu ters akım durumunda girdap halkalarının oluşumuna ve çevrilmesine bağlıdır (Glezer ve Amitay, 2002). İkinci bölge ise girdap halkalarının etkileşiminden kaynaklanan girdapsal yapıların türbülansa dönüşebildiği delikten uzakta gelişmiş bir bölgedir (Mohseni ve Mittal, 2014). Sentetik jet oluşumu ve karakteristiği için, Şekil 1.11'deki gibi aktüatör çalışma parametreleri, orifis/lüle geometrileri ve akışkan parametreleri önemli rol oynamaktadır.



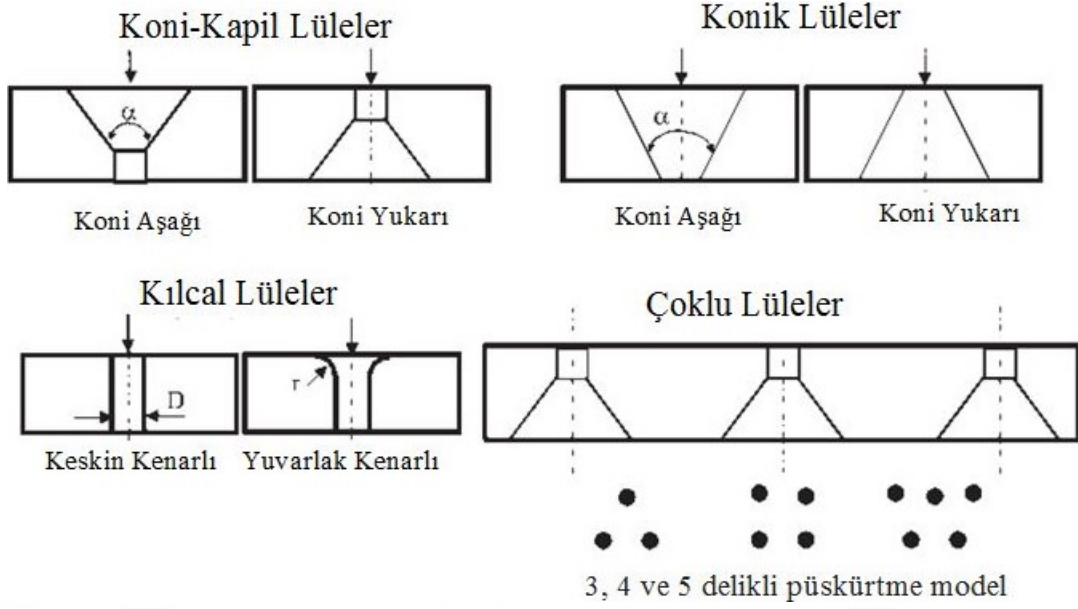
Şekil 1.11. Sentetik jet oluşumu ve karakteristiğine etki eden parametreler (Murugan vd., 2016)

Çok çeşitli işlemler için lüle ve orifis püskürtme uçlarından faydalanılmaktadır. İçten yanmalı motorlar için yakıt enjektörleri, bu püskürtücüleri kullanarak ince atomize spreylere üretmektedir. Öte yandan, jet kesme, jet temizleme ve suyla dolaşma gibi işlemler için benzer lüle geometri yapıları kullanılır. Fakat bu işlemler uyumlu jet geometri yapıları gerektirir. Püskürtme veya jet özellikleri, delikten çıkan akışın kararlılığına bağlıdır. Bu durum, çapları 300 μm 'nin üzerindeki lüleler için kapsamlı olarak araştırılmıştır. Acar vd. (2006), 120 ila 170 μm arasında olan enjektör memelerinin akış parametreleri ve jet karakteristikleri üzerindeki geometri etkilerinin geniş kapsamlı bir incelemesini yapmışlardır. Şekil 1.12'de dairesel enine kesitli ve konik, koni kapiller ve kılcal aksiyel tasarımı lüleleri incelemiştir. Konik ve koni kapiller için, memelerde konik açının etkisi ve çok delikli koni-kılcal memelerdeki bitişik lüleler arasındaki etkileşimlere bağlı etkileri araştırmış, kılcal lüleler için, çap değişimleri ve kılcal memeler için giriş kenar yuvarlaklığının etkileri üzerinde durmuşlardır. Ayrıca, eliptik lülelerin en / boy oranının (büyük ve küçük eksenlerin oranının) değişimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Püskürtme akışının

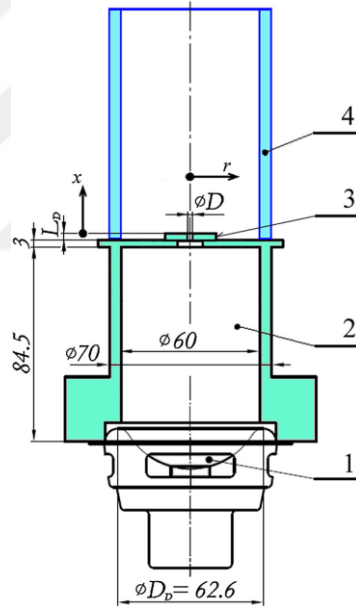
görselleştirmeleri, meme çıkışının yakınında gerçekleştirilmiş ve meme başındaki akış rejimlerinin belirlenmesi ve jet uyumunun incelenmesi bu şekilde yapılmıştır. Lüle geometrisi, deşarj özellikleri ve jet tutarlılığı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Acar vd. (2006) sonuç olarak, 3-12 MPa basınçlarda 120-170 µm'lik memelerin karakteristik özelliklerinin, basınçtaki hızlı yerel değişikliklere bağlı olarak atalet ve viskoz kuvvetler ile kaviteasyon etkileri tarafından yönetildiğini göstermişlerdir. Bu durum, pek çok açıdan, daha önce araştırılan otomotiv lülelerine benzerlik göstermektedir. Genel olarak kullanılan geometrinin etkisi, en küçük nozul kesitine girişin yakınında olası farklı akış rejimleriyle ilişkilidir: (a) küçük koni açılı yuvarlak ve konik girişler için ekli akış; (b) keskin girişler ve yüksek koni açıları için ayrılmış akış veya hidrolik kapak. 120 ve 170 µm arasındaki çap değişimleri, kılcal memelerin boşalma katsayısını etkilememiştir. Eliptik kılcal memelerin davranışı dairesel kesitli olanlara benzer bir durum sergilemiştir. Boşaltma için, hız ve büzülme katsayılarının yakın delikli görselleştirme ile bağlantılı ölçümleri, akışkanlar mekaniğinin daha karmaşık olduğunu göstermiştir. Sürtünme etkileri, besleme basıncı arttıkça, yuvarlak girişler ve düşük konik açılarda kasılma katsayısı ve deşarj katsayısının artışına neden olarak azalmaktadır. Daha yüksek koni açılarna sahip keskin girişler veya konik püskürtücüler için, hız katsayısının artışı sınır tabakasının inceltmesinden dolayı kasılma katsayısı küçülme katsayısında daha büyük bir azalma ile telafi edilir, çünkü bu geometrilerde deşarj katsayısında net bir azalma meydana gelmektedir.

Travnicek vd. (2015), durgun ortamda dairesel sentetik jet kullanarak yaptıkları deneysel çalışmalarında (Şekil 1.13) havada akış görselleştirme yaparak farklı akış alanı rejimlerini tanımlamışlardır. Ayrıca kızgın tel anemometresi ve Reynolds (Re)/Stokes (S) sayıları açısından teorik hesaplamalar yapmışlardır. Teorik hesaplamaları doğrulamak için lazer Doppler vibrometre kullanarak ilave deneyler gerçekleştirmişlerdir. Osilasyonlu emme ve üfleme Reynolds ve Stokes parametre haritası yardımıyla a) sentetik jetsiz sürünme akışı oluşumu, b) girdapsız sentetik jet oluşumu ve yayılımı, c) girdaplı sentetik jet oluşumu ve son olarak d) bozuk girdap yapısı, istikrarsızlık ve türbülansa geçiş olarak dört rejimi belirlemişlerdir. Sonuçlarında düşük, orta ve yüksek Stokes sayılarında sentetik jet rejimlerinin farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir.



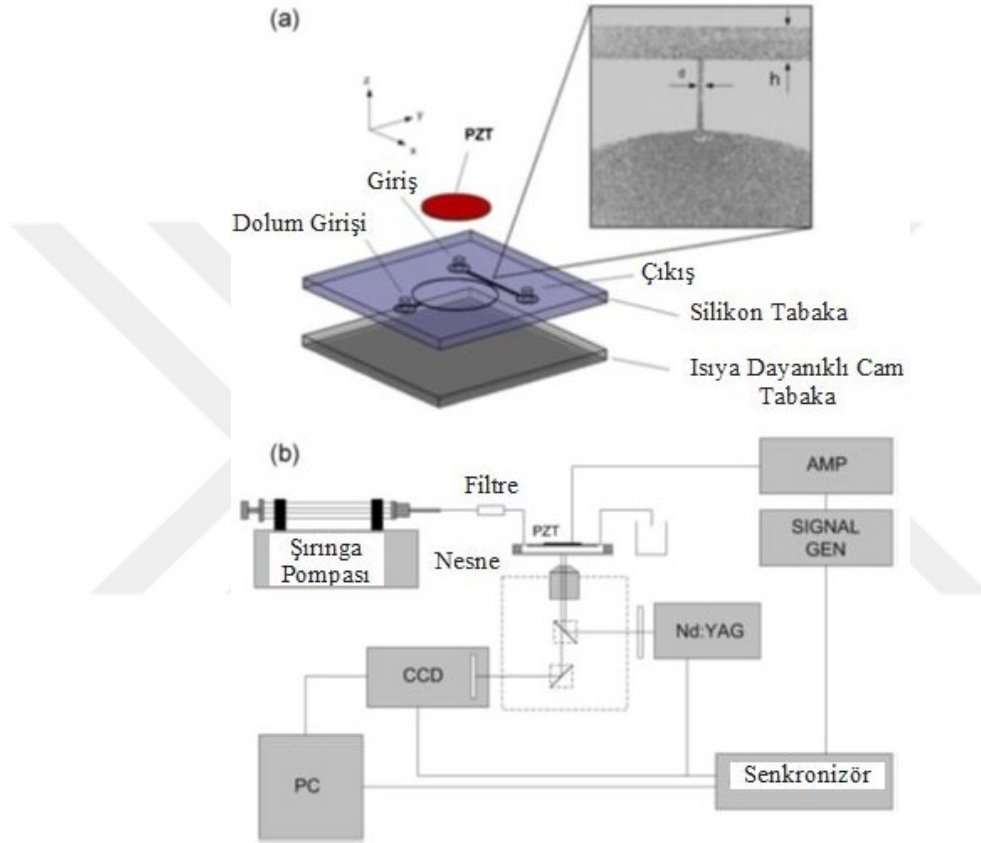
Şekil 1.12. Lüle geometrilerinin eskizleri (Acar vd., 2006)



Şekil 1.13. Sentetik jet hareket şeması; hoparlör (1), boşluk (2), meme (3), sınır tüpü (4) (Travnicek vd., 2015)

Lee vd. (2012) mikro kanaldaki kesişen iki sentetik jet etkileşimini incelemek için üç boyutlu hesaplamalı model (Şekil 1.14) geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada deneysel ile nümerik veriler arasında uyum sağlamışlardır. Sabit jet Reynolds sayısı ile diyafram genliklerinde ve farklı çalışma frekanslarında iki jetin eş fazlı ve 180° faz farkında nümerik yaklaşım uygulamışlardır. Tekli sentetik jet durumuna göre bir sentetik jet daha eklendiğinde mikro kanaldaki akışın tekli sentetik jet durumuna göre daha fazla

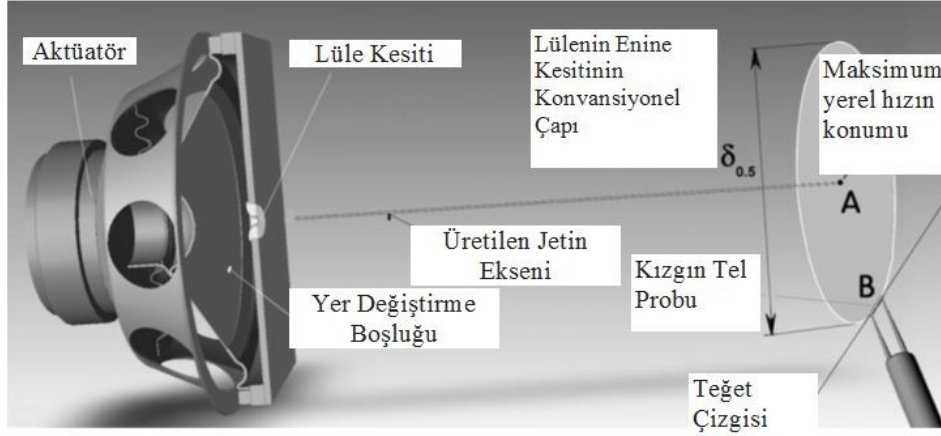
karıştırıldığını göstermişlerdir. Ayrıca, 180° faz farkı konfigürasyonunda elde edilen hız alanı, döngü boyunca kanaldaki akışın sürekli karıştırılmasına neden olan farklı bir girdabın oluştuğunu göstermişlerdir. Sentetik jet aktüatörleri farklı membran frekanslarında ve genliklerinde sürüldüğünde, orifisteki akışın aşağı ve yukarı yönde hareketi ile burada oluşan girdapların farklı boyutta ve sayıda olduklarını ortaya koymuşlardır.



Şekil 1.14. Deneysel cihazda; mikro kanalın detaylı görüntüsü (a) ve şematik diyagramlı görüntüsü (b) (Lee vd., 2012)

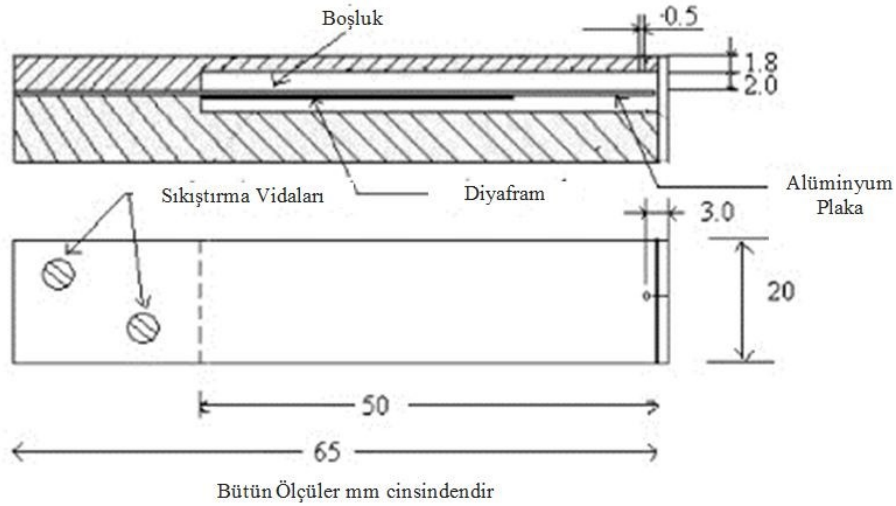
Tesar ve Kordik (2009), sentetik jeti tanımlamak için kullandıkları adi diferansiyel denklemi kullanan Tollmien hipotezi ile lüle çapıyla orantılı olan girdap uzunluklarını tanımlamışlardır. Çalışmalarında uyguladıkları yarı benzerlik yaklaşımı ile belirlenen Stokes sayıları için deneysel çalışmalarının (Şekil 1.15) uyum içinde olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca, Stokes sayısı arttıkça girdapların daha küçük ve yavaş olduklarını ortaya koymuşlardır. Tesar ve Kordik (2011), yaptıkları çalışmada önceki çalışmalarına ilave olarak istikrarlı girdap yapılarının etkin olduğu rejimden stokastik (değişken) türbülansın etkin olduğu akışa geçişteki değişimi incelemişlerdir. Spektral analiz ile

daha önceki çalışmalarına katkı sağlayarak sentetik jetlerin karakteristiklerindeki değişimleri ortaya koymuşlardır.



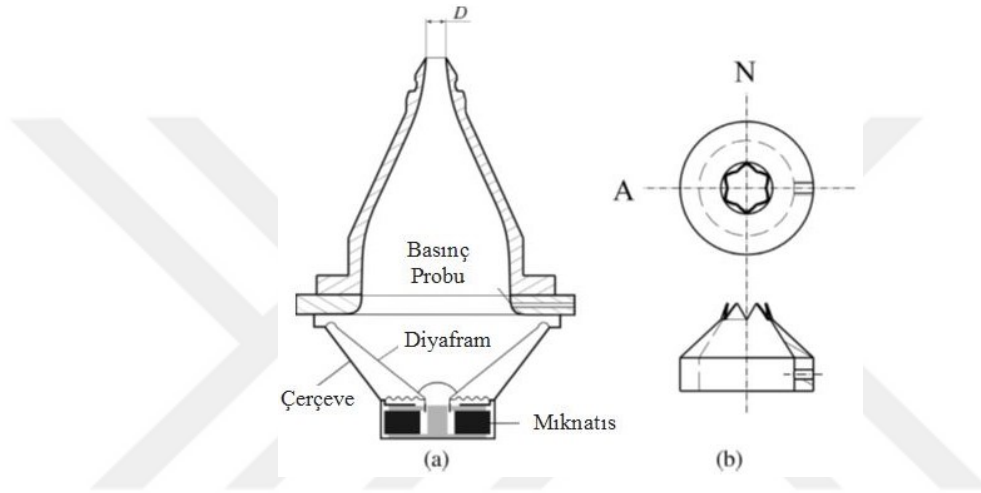
Şekil 1.15. Deneyin temel şeması (Tesar ve Kordik ,2011)

Qayoum vd. (2010), sürüm voltajı ve frekansının değişimi ile sentetik jet yapısının nasıl değiştiğini şekil 1.16'de yapmış oldukları çalışmalarda ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada sürüm frekansı 10, 25 ve 50 Hz olarak belirlenmiş iken sürüm voltajı da 5 ile 50V arasında değiştirilmiştir. Genlik modülasyonunun temel sentetik jet karakteristiğini ciddi bir şekilde etkilediğini ortaya koymuşlardır ve genlik modülasyonunun hem rms hız çalkantılarının büyüklüğünü hem de jetin akış yönüne nüfuz etmesini arttırdığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca sentetik jetin vurum mesafesindeki artışın düşük modülasyon frekanslarında daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 1.16. Sentetik jet hareket ettiricisinin şematik çizimi (Qayoum vd., 2010)

Crispo vd. (2017), şekil 1.17’de yaptıkları deneysel çalışmada şerit ağızlı ve dairesel yapıya sahip modeller ile sentetik jet üreterek akış alanını karşılaştırmışlardır. Her iki model içinde elektrik gücü, Reynolds sayısı ve Strouhal sayısını aynı belirlemişlerdir. Sonuçlarında akış alanının net bir şekilde çıkış geometrisine bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Şerit yapıli modelin sentetik jet oluşumunda daha yüksek bir akış hızını sağladığını ancak daha düşük türbülans kinetik enerji yoğunluğuna sahip olduğunu belirtmişlerdir. Şerit yapıli model için $x/D > 3$ olduğunda ise oluşan jet yapısının dairesel bir şekil aldığı çalışmaları ortaya koymuşlardır.

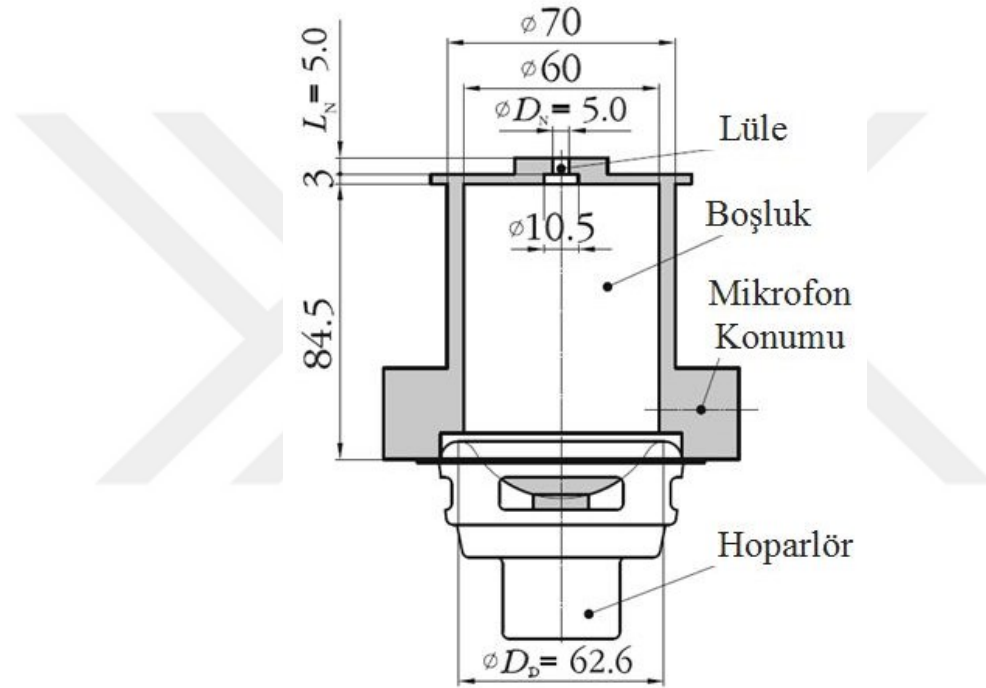


Şekil 1.17. Sentetik jet cihazı: jet cihazının tasviri (a) ve jet çıkış kısmının taslağı (b) (Crispo vd., 2017)

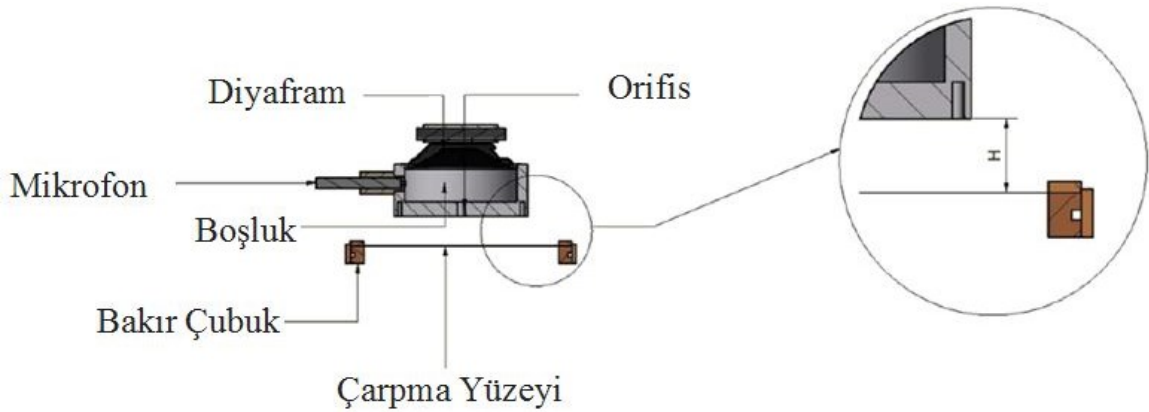
Kordik vd. (2014), şekil 1.18’de yapmış oldukları çalışmalarda sentetik jet hız amplitüdünün (Reynolds sayısı, boyutsuz formda) değerlendirilmesi için dört yeni yöntem tanıtmışlardır. Bu yöntemler, sentetik jet aktüatör elektrik girdisinin (alternatif akım ve gerilim) ölçülmesine dayanmakta ve hava ile çalışan akışkan olarak hoparlör tabanlı aktüatörler için geçerlidir. Deneysel çalışmalar, kızgın tel anemometresi ve lazer Doppler vibrometre ile yapılmış ve bu yeni yöntemlerin belirsizliği ve sınırlandırılması tartışılmış, uygulanabilirlik aralıkları belirtilmiştir. Sonuçlar mevcut literatür ile karşılaştırılmış ve iç boşluk basıncı ölçümlerine dayalı olarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bu yöntemler, a) aktüatörün deplasmanına bağlı, b) basınç, voltaj ve akım ölçümlerini kullanarak, c) sıkıştırılabilirlik prensibine bağlı olarak, d) düşük hız ve düşük frekansta çalışan aktüatörler (diğer bir deyişle düşük Reynolds ve Stokes sayılarında) için geliştirilmiştir. Bir sentetik jet hareket ettirici memesindeki hızın genlik değerinin değerlendirilmesinde sunulan yöntemler, yönetim momentum denklemlerine

dayanmaktadır. Aynı zamanda bu denklemler, hoparlör diyaframının dinamiklerini ve sentetik jet hareket ettiricisinde kararsız akışkan akışının dinamiklerini tanımlamaktadır.

Rylatt ve O'Donovan (2012), sentetik jetin ısı transferi üzerine etkisini deneysel olarak (Şekil 1.19'de) $Re=3000$ ve $H/D=1$ 'de incelemiştir. Isı transferi oranının sürüm frekansı ile doğrudan bağlantılı olduğunu göstermişlerdir. Bunu sebebi olarak iki jet arası etkileşime ve jet akışında uyumlu yapının bozulmasıyla alakalı olduğunu göstermişlerdir.



Şekil 1.18. Sentetik jet yapısının genel görünümü (Kordik vd., 2014)

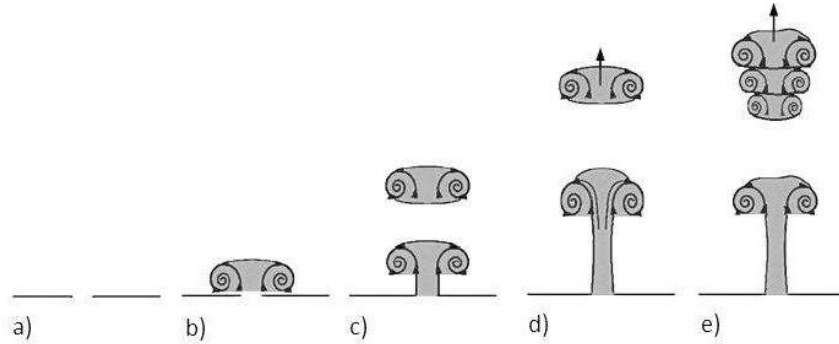


Şekil 1.19. Deneyin düzeneğinin şematik görölümü (Rylatt ve O'Donovan, 2012)

Gil (2017), Reynolds ve Stokes sayısına bağı olarak beş farklı akış alanı rejimleri belirlemiştir. Sentetik jet akışları ilk olarak, Reynolds sayısı ve Stokes sayısı ile karakterize edilmiş ve beş sentetik jet akış morfolojisi rejimi tanımlanmıştır. Burada kıyaslama strok uzunluğu olan L 'nin eşik değerlerine dayanmaktadır. Sentetik jet oluşum kriteri için şekil 1.20'de;

- a) $L < 0,82$ için sentetik jet oluşmamakta,
- b) $0,86 < L < 2,36$ değerlerinde, sentetik jet için geçiş bölgesi olarak gözükmekte ve aynı zamanda girdap halkasının boşluğa emilmesi gerçekleşmekte,
- c) $2,36 < L < 3,14$ değeri için, zayıf sentetik jet ile beraber küçük vorteks halkaları oluşmakta,
- d) $3,14 < L < 4,71$ değeri için Sentetik jet net bir şekilde oluşmuş ve vorteks halkası kazanmış olduğu momentum hızı ile orifisten uzaklaşmakta,
- e) $4,71 < L$ değeri için çalkantılı sentetik jet oluşmaktadır.

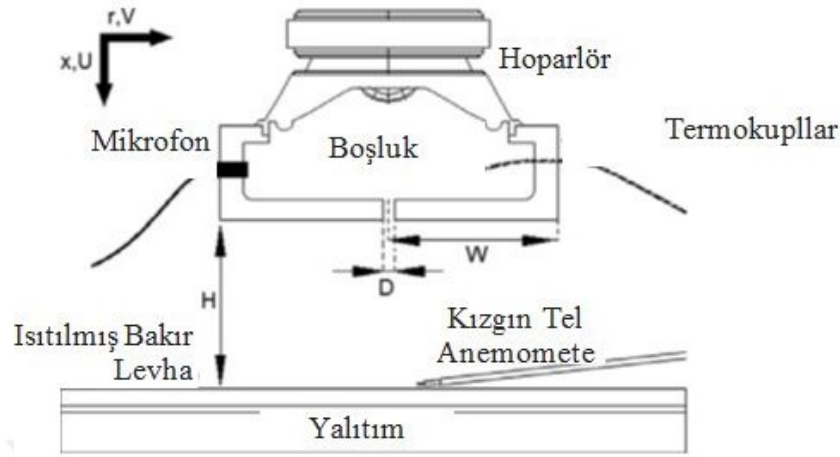
Sentetik jetin morfolojisi, ısı transferi için uygun akış rejiminin seçilmesinde önemli bir unsurdur. Isı transferi açısından en iyi rejim, d) ve e) görünen türbülanslı akışın uzun menzilli etkileşimi nedeniyle önemlidir.



Şekil 1.20. Beş farklı sentetik jet akışı için morfolojisi rejimi gösterimi (Gil, 2017)

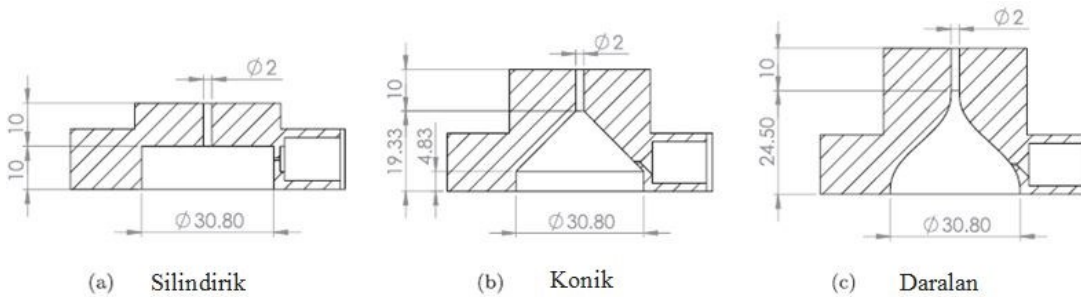
McGuinn vd. (2013), çarpan sentetik jet akış alanını ve yüzey ısı transferi dağılımını strok uzunluğuna bağı deneysel olarak incelemiştir. Şekil 1.21'de görüldüğü gibi, deneysel yöntem olarak yüzsek hızlı PIV ve tek nokta kızgın tel anemometresi kullanarak strok aralığı $3 < L/d < 32$ aralığında ve lüle yüzey mesafesi $2 < H/D < 16$ aralığında ölçüm gerçekleştirmişlerdir. Dört farklı sentetik akış rejimi için strok uzunluğu (L/d) eşik değerlere bağı olarak tanımlamışlardır. Sonuç olarak farklı çarpan

jet akış rejimleri ve ısı transfer rejimleri strok uzunluğunu ayarlayarak optimize edilebileceğini söylemişlerdir.



Şekil 1.21. Sentetik jetin şematik görünümü (McGuinn vd., 2013)

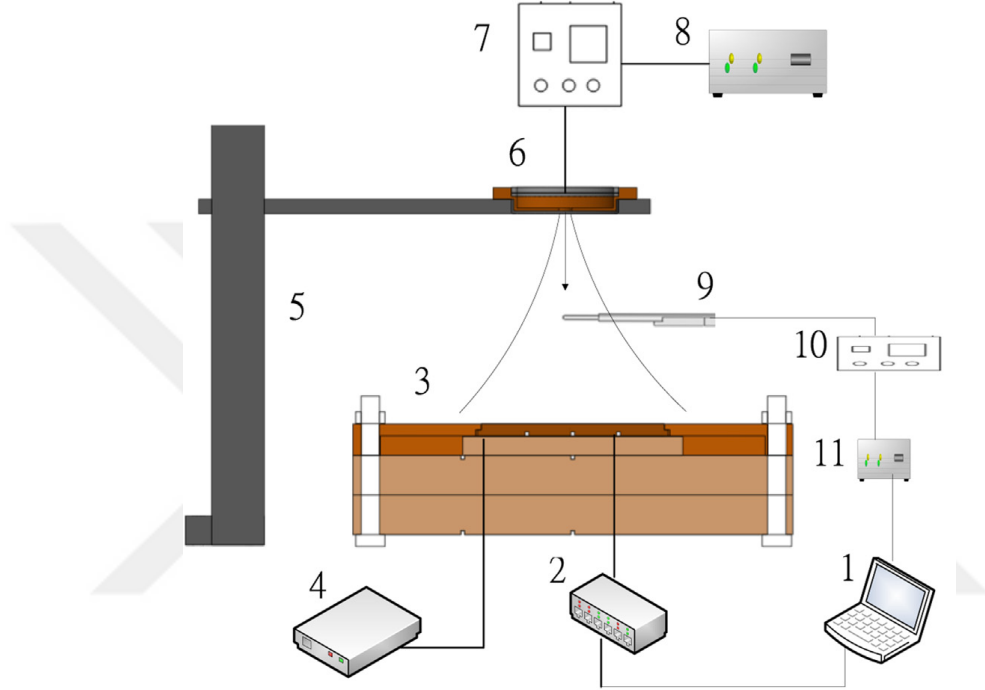
Feero vd. (2015), yaptıkları çalışmada boşluk yapısındaki değişikliğin sentetik jet performansına etkisini şekil 1.22’de inceledikleri çalışmada silindirik, konik ve kontraksiyon (eğrisel olarak daralan) modelleri denemişlerdir. Radyal hız profillerinin üç model içinde aynı olduğunu ancak büyüklüklerinin farklı olduğunu belirtmişlerdir. Ortalama momentum akıları açısından bakıldığında en yüksek silindirikte ve en düşük eğrisel daralan modelde olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca eğrisel daralan yapıli modelde boşluk salınımının zirveye ulaştığı noktada daha az güç tükettiğini ve salınımda en fazla verimliliğe sahip olduğunu açıklamışlardır.



Şekil 1.22. Sabit hacimde jet boşluğu kesitleri (boyutlar milimetre cinsinden) (Feero vd., 2015)

Liu vd. (2015), şekil 1.23’deki deney düzeneğinde çarpan sentetik jeti üretmek için piezoelektrik aktüatör kullanmışlardır. Bu çalışmalarında, ısıtılmış bir yüzeyin

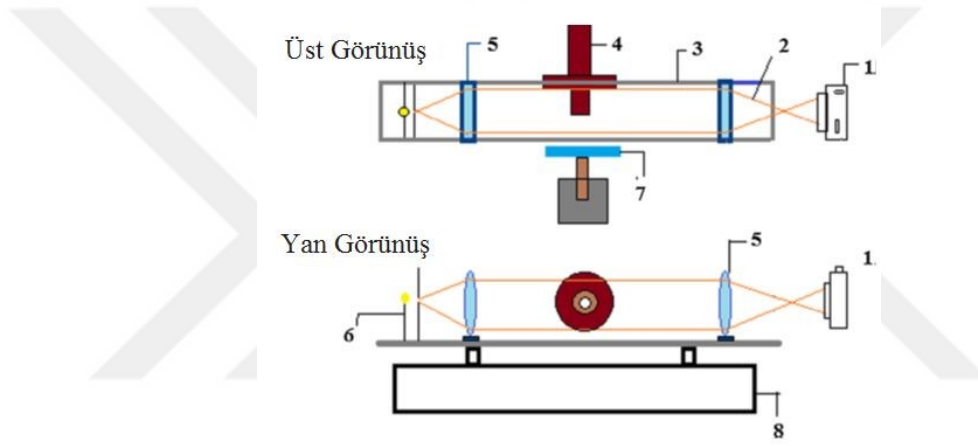
soğutulması deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma aralıklarını aktüatör çalışma frekansı (200-800Hz), jet Reynolds sayısı (500-1300) ve jet-yüzey arası boşluk ($Z/d=0-25$) olarak belirlemişlerdir. En yüksek jet Reynolds sayısı ve Nusselt sayısının elde edildiği en uygun sürüm frekansının 600Hz olduğu açıklamışlardır. Ayrıca en yüksek ısı transferini jet ile yüzey arası boşluk 15 iken elde etmişlerdir. Isı transferi artışının doğal taşınımına göre 2 ile 8 kat daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 1.23. Liu vd. (2015)'nin kurmuş oldukları deney düzeneğinin şematik görünümü; bilgisayar (1), termokuplar modülü (2), bakır levha (3), güç kontrol ünitesi (4), traverse sistem (5), piezoelektrik aktüatör (6), değişken transformatör (7), fonksiyon üretici (8), kızgın tel modülü (9)

Rylatt ve O'Donovan (2013), kanallı ve kanalsız olarak sınırlandırılmış sentetik jetin ısı transferine etkisini şekil 1.24'deki gibi deneysel olarak çalışmışlardır. Çalışmalarında, boyutsuz Strok uzunluğunu (L_0/D) 15, Reynolds sayısını 3000 ve jet-yüzey arası mesafeyi (H/D) 0.5-3 aralığında değiştirmişlerdir. Kanal çıkışını ise 1.2D, 1.6D ve 2D ayarlayarak sonuçlara etkisini incelemişlerdir. Jetin sınırlandırılmasının soğutma performansını azalttığını göstermişlerdir. Kanal eklemenin, jet akışındaki döngüde emiş fazı ve üfleme fazı arasındaki etkileşimi azaltmak için olduğunu açıklamışlardır. Bu eklemenin hem yarı sınırlamanın hem de sınırlamanın etkilerini ortadan kaldırmak için olduğunu ifade etmişlerdir.

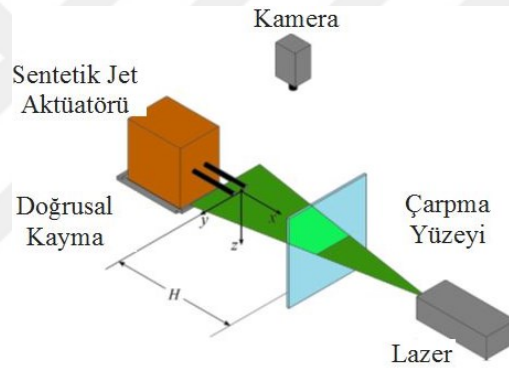
Vinze vd. (2016), pürüzsüz kama şekilli plaka ile tek yuvarlak vurumlu sentetik jetin konvektif ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Şekil 1.26'da şematik resimde görülen bu çalışmada, deneyler 2.36-5.08 aralığında beş farklı meme basıncı oranları için gerçekleştirilmiştir. Sentetik jet sıkıştırma tepe mesafesi (z/d), 1 ile 12 lüle çapına kadar değiştirilmiştir. Kama açısının etkisi ise $31,5^\circ$, 63° ve $31,5^\circ$ lik üç köşe açısı için incelenmiştir. Bu çalışmada yerel Nusselt sayıları, durgunluk noktası Nusselt sayıları ve geri kazanım faktörü dağılımı ortaya konulmuştur. Shadowgraphs, Nusselt sayısı ve geri kazanım faktörünün dağılımını açıklamak için kullanılmıştır. Yerel Nusselt sayısı ve toparlanma faktörünün meme basınç oranlarından büyük ölçüde etkilendiği, ancak kama apeks açısından bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 1.26. Sentetik jet üretim sisteminin şeması; Kamera (1) Light Rays (2) Traverse sistem(3) Lüle (4) Lensler (5) Işık kaynağı (6) Plaka (7) Masa (8). (Vinze vd., 2016)

Greco vd., (2016) yapmış olduğu çalışmalarda, ikiz sentetik jet püskürtme cihazı gibi yenilikçi sentetik jet cihazlarının tasarımı ile ısı transfer performansları geliştirilmiştir. Klasik ve yenilikçi sentetik jet cihazlarının ısı transfer performansları sentetik jetin çarptığı akış alanıyla büyük ölçüde ilişkilidir. Bu nedenle, tekli ve çiftli dairesel sentetik jetlerin faz karışıklığında çarpışmasının etkileri, Reynolds ve Strouhal sayılarının sırasıyla 5100 ve 0.024 değerlerinde PIV kullanılarak araştırılmıştır. Deneyler 2 ila 10 mm lüle çapı (D) arasında değişen birçok lüle-plaka mesafelerinde (H) yapılmıştır. Çalışmalarında ortalama hız dağılımlarını incelemişler ve jetin çarptığı plakanın yakınındaki hız dağılımlarını yorumlamışlardır. Tekli jet için, kısa püskürtme borusu mesafelerine ($H / D < 4$) çarpma plakasının yakınındaki eksenel hız profili jet ekseninde asgari düzeyde çift bir pik göstermektedir. Buna karşın, yüksek lüle-plaka mesafesinde ($H / D > 6$), eksenel hız profili çan şeklindedir. Harici titreşimler, ikincil bir karşı dönen

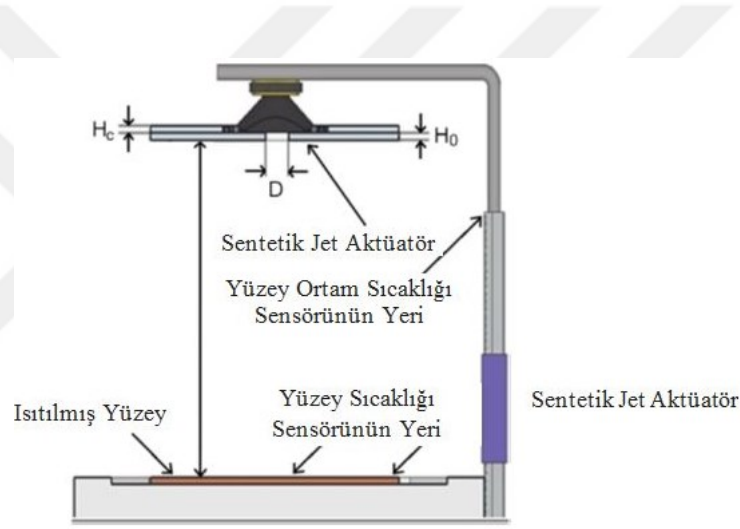
girdap halkası oluşumundan dolayı durgunluk noktasından gelen 2 çaptaki çarpma plakasına yakın tüm akış alanı miktarlarında gözlemlemiştir. Böyle ters dönen bir girdap halkasının varlığı, lüle-plaka arası mesafe arttıkça azalmaktadır. İki sentetik jet konfigürasyonunun karşılaştırılmasıyla ve jetlerin etkileşimi nedeniyle ikiz durumda çift yönlü hız ve türbülans seviyesi ancak düşük eksenel faz korelasyonlu hızlara katkıda bulunmuştur. Her iki konfigürasyon için akış alanının değişimi, faz ortalama ölçümleri ile açıklanmıştır. Emme aşamasında, jetin bükülme noktası iki konfigürasyonda farklı bir davranış göstermiştir. Tekli durumda, bükülme noktası çarpma plakasına ulaşmış ve plakadan cihaza hava püskürtülmesine neden olmuştur. Farklı olarak, ikiz konfigürasyonlu sentetik jetin varlığı nedeniyle çarpma plakasına erişmeyen iki bükülme noktası oluşturduğunu şekil 1.27’de kurmuş oldukları deney düzeneği ile ortaya koymuşlardır.



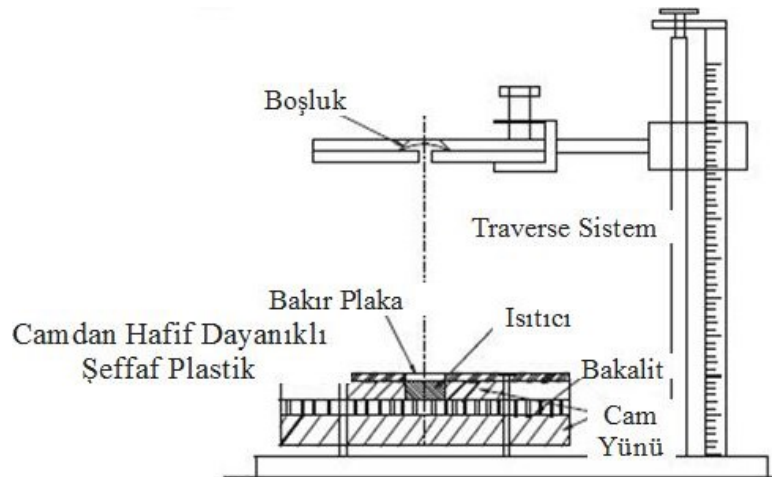
Şekil 1.27. Tekli ve ikiz dairesel sentetik jet akış alanının incelenmesi için deney düzeneği (Greco vd., 2016)

Lee vd. (2016) şekil 1.28’deki deney düzeneği ile, hoparlör kullanarak oluşturdukları sentetik jet için dikdörtgen orifis geometrisinin etkilerini incelemiştir. Burada iki farklı hidrolik çap (4 mm ve 8 mm) ve iki en-boy oranı (4 ve 8) olan üç dikdörtgen orifis şeklinin yanı sıra dört farklı boşluk boyutunu test etmişlerdir (2 mm ila 8 mm arasında değişmektedir). Aktüatör jet çıkış hızı, çıkış plakasından 2, 4, 6 ve 8 (H/D) konumlarından ölçülmüştür. Denenen konfigürasyonlarda en fazla ısı transferini sağlayacak kombinasyonu belirlemek için frekans ve Reynolds sayısını değiştirmişlerdir. Sonuç olarak, çok sığ oyukların jet hızı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduklarını ve daha küçük bir en boy oranıyla birlikte daha büyük bir hidrolik çapa sahip orifislerde ise en iyi ısı transfer sonuçlarının elde ettiklerini açıklamışlardır.

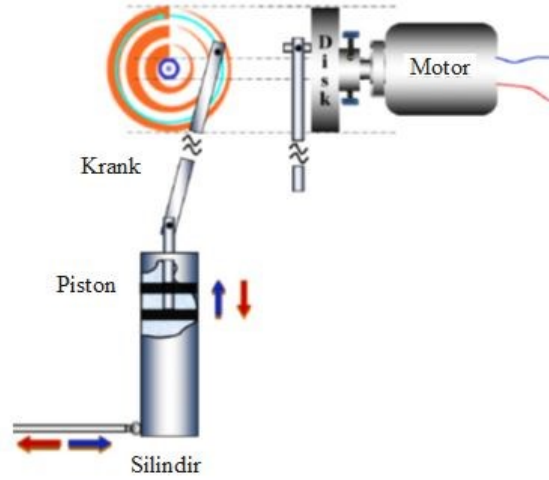
Chaudhari vd. (2010), bir sentetik jetin çarpma esnasındaki ısı iletim özelliklerini incelemişlerdir. Şekil 1.29’da deneylerini, geniş bir giriş parametresi için yaptıkları çalışmada: Reynolds sayısını (Re) 1500-4200 aralığında, ısıtmalı yüzey ile jet arasında jet delik çapına olan eksenel mesafenin oranını, 0-25 arasında ve bu çalışmada delikli plakanın delik çapına olan uzunluğunu 8 ile 22 arasında değiştirmişlerdir. Maksimum Nusselt sayısını Reynolds sayısına ve boşluğun büyüklüğüne bağlı olarak ampirik formüllerle ifade etmişler ve bu formüllerdeki Reynolds sayısı üssünün 0,6 ila 1,4 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Sentetik jetle maksimum ısı transfer katsayısının, doğal konveksiyon için ısı transfer katsayısının 11 katına kadar olduğunu ortaya koymuşlardır. Ortalama Nusselt sayısı davranışının sürekli bir jet için elde edilenlerle benzer olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 1.28. Elektronik soğutma çalışmaları için deney düzeneği (Lee vd., 2016)

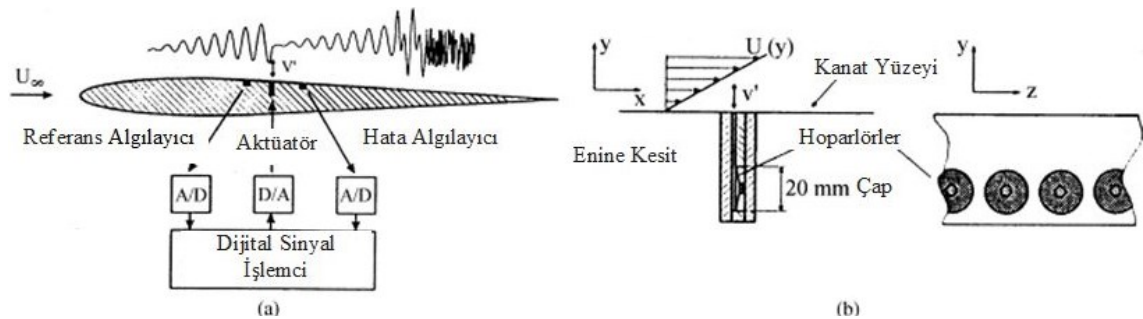


Şekil 1.29. Sentetik jetin çarpma esnasındaki ısı iletim özelliklerinin incelenmesi için deney düzeneği şeması (Chaudhari vd., 2010)



Şekil 1.31. Piston silindir mekanizmasının şematisel gösterilmesi (Hwang vd., 2010)

Stanewsky (2001) sınır tabakasının gelişimi ve sınır tabakasının, çarpma dalgalarının oluşmasıyla yüksek hızda artan dış " akıcı olmayan " akış alanı ile olan etkileşimini ve yüksek hızlı uçuşun performans sınırlarını belirlemiştir. Burada hava akımlarının uyarılması için, düşük basınçlı bir bölge sağlayan aerodinamik şekilli geçişler kullanılmıştır. Bir aerodinamik gövde ve hoparlörün arka tarafından tanımlanan bir iç oda arasında hava alışverişi için bir geçiş bulunmaktadır. Aerodinamik şekilli açıklıklar kutup parçası ve kalıcı mıknatıs arasındaki ses bobini boşluğu ses bobini ile ilgili hava akışını uyararak için kutup parçası aracılığıyla sağlanmıştır (Şekil 1.32). Hoparlör çerçevesi destek iç odasına hava akımını sevk etmek için aerodinamik şekilli delikler kullanılmıştır. Hoparlörün titreşim hareketine karşılık olarak, muhafaza kısmı ve atmosfer arasında hava alış-verişi emme ve üfleme ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1.32. Kanat üzerinde TS kararsızlıklarının aktif kontrolünün araştırılması için kurulumu; Dalga kontrolünün temel prensibi (a), Hoparlör tahrikli emme / üfleme prensibi ile çalışan sentetik jet aktüatörü (b) (Stanewsky,2011)

1.4 Tezin Amacı

Son yıllarda sentetik jetler üzerine yapılan çalışmaların artması bu konunun ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Sentetik jet akış karakteristiğinin orifis ve lüle çaplarına bağlı olarak değişimi deneysel olarak incelendiği bu çalışma, periyodik olarak hoparlör membranının aşağı ve yukarı yönde hareket etmesi neticesinde oluşturulan sentetik jet ile aktüatör hacmi içerisinde ortamdaki havanın çekilmesi ve çıkış kesitinden jet olarak üflenmesi fazlarından oluşmaktadır. Bu tezin amacı, ısı transferi uygulamalarında önemli bir yere sahip olan sentetik jet mekanizmalarında lüle ve orifis çap değişimlerinin jet yapısına etkisinin deneysel olarak incelenmesidir.

Bu çalışmada sentetik jet aktüatörü olarak hoparlör tipinin seçilmiş olmasının nedeni, sürüm sinyalinin sinyal modülasyonu sayesinde jet yapısının değiştirilmesine uygun olması ve piezoelektrik aktüatörlere göre nispeten daha fazla hacim değişimine imkân sağlaması özelliklerinin olmasıdır.

Tez çalışmasının birinci bölümünde, çalışılacak konu üzerinde araştırma yapılmış, literatürde yapılan çalışmalara burada yer verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümü ise yapılan deneysel çalışmalar hakkında bilgileri içermektedir. Aktüatör çıkış geometrisine bağlı olarak sentetik jet karakteristiğinin belirlenmesi için algılama hızı çok yüksek olan kızgın-tel-anemometresi ile anlık hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Üçüncü Bölümde ise deneysel sonuçlar, lüle ve orifis çaplarının her bir parametresi için ortaya konulmuştur.

1.5 Tezin Bilimsel Önemi

Sentetik jetler aerodinamik alanda hava araçlarında akışın yüzeye tutunmasını sağlama ve akış kontrolü, su altı uygulamalarında su altı araçlarının manevra ve itki kuvvetini sağlama ve ısı transferi uygulamalarında işlem sırasında ısınan elektronik cihazların soğutulmasında önemli uygulamaları ve yeri olan mekanizmalardır. Hoparlör yardımıyla üretilen sentetik jetin emme ve üfleme yardımıyla oluşacak jet karakteristiğinin farklı lüle ve orifis çaplarında incelenecek olması neticesinde literatürdeki çalışmalara katkı sağlanması beklenmektedir.

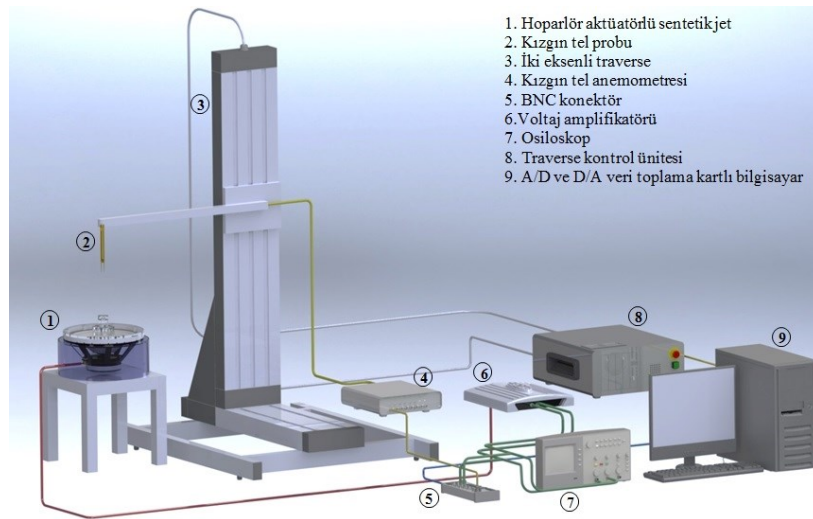
BÖLÜM II

DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Deney Düzeneginin Kurulumu

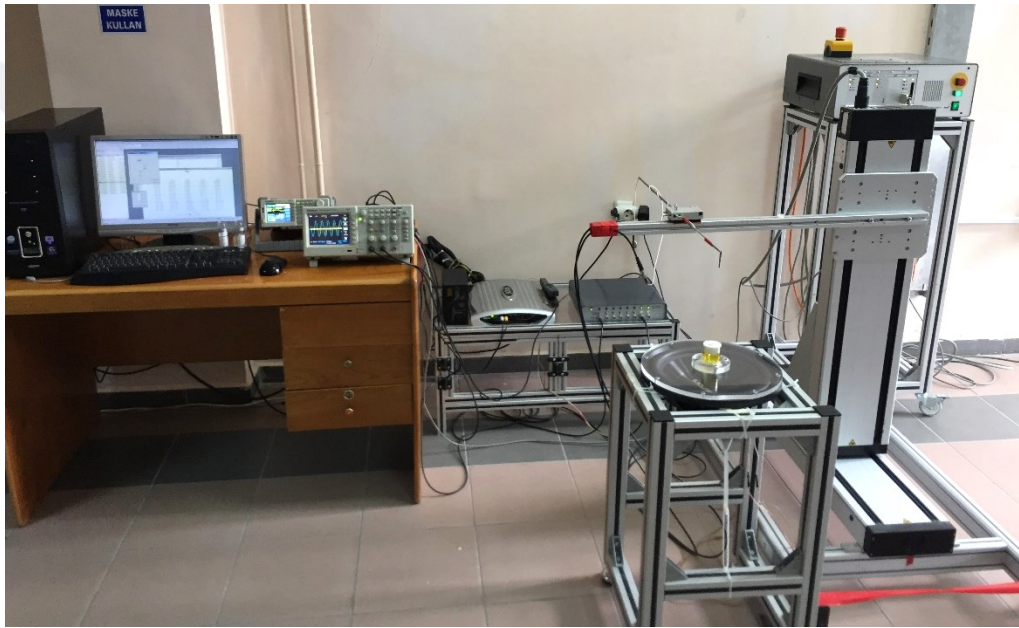
Bu tez çalışmasında, hoparör tipinde aktüatör ile elde edilen sentetik jet sistemi kullanılmıştır. Sentetik jet sistemi, istenilen yapıda üretilen elektrik sinyalleri amfi üzerinde güçlendirilerek hoparlörün sürülmesi sağlanmıştır. Hoparlörün hareketi ile birlikte hoparlör üzerine yerleştirilen sentetik jet şartlandırma odasındaki akışkanın hareketi sağlanmış ve burada bulunan lüle deliğinden jet akışı elde edilmiştir. Hoparlörün geri hareketi ile birlikte lüdeden emme işlemi gerçekleşmekte ve şartlandırma odası içerisine dışarıdan yeniden akışkanın dolması sağlanmaktadır. Bu yöntemle yapılan periyodik sinyal sürümü ile ardışık jet yapıları oluşmaktadır. Sinyal yapısının genlik ve frekansı, oluşan jetin lüle geometrisine göre hız ve şiddetini değiştirmektedir. Bu geometrik yapıların farklı değerlerinden elde edilecek olan sentetik jet akış yapıları kızgın tel anemometresi ile akış alanındaki farklı istasyonlarda hız taramaları yapılarak ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Sentetik jet akışının deneysel olarak incelendiği bu çalışma, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Aerodinamik Akış Kontrol Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneginin şematik görünümü Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Deney düzeneginin katı model şematik görünümü

Deney düzeneği sentetik jet üretim sistemi ve hız ölçüm sistemi olmak üzere temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda bilgisayar veya sinyal jeneratöründe oluşturulan sürüm sinyali voltaj amfisinde güçlendirilerek hoparlöre aktarılmaktadır. Hoparlörün de içerisinde bulunduğu sentetik jet aktüatörünün yapısı ve çıkış geometrisine bağlı olarak sentetik jet akışı üretilmektedir. Oluşturulan jetin istenilen istasyonlarda hız taramasına imkân veren 2 boyutlu traverse sistemi ve anlık hız ölçümlerinin alınmasını sağlayan kızgın tel anemometresi ile jet karakteristiklerinin elde edilmesi sağlanmıştır. Deney düzeneğinin genel görünümü Fotoğraf 2.1’de sunulmuştur.



Fotoğraf 2.1. Deney düzeneğinin genel görünümü

2.2 Sentetik Jet Üretim Sistemi

Sentetik jet üretim sistemi aktüatör ve sürüm sinyalinin üretilmesinde kullanılan cihazlardan oluşmaktadır. Fotoğraf 2.2’de sentetik jet üretiminde kullanılan hoparlör sentetik jet aktüatörü ile birlikte görülmektedir. Woofer tipi Jameson marka JW-36 model 1000 W’lık hoparlörün nominal frekans aralığı 30 - 2000 Hz olup iç çember çapı 29 cm’dir. Aktüatör hacim oluşturma çemberi kapalı hacmi oluşturan akrilik üst kapak, pleksi boru ve farklı çaplara sahip lüle ve orifislerden meydana gelmektedir. Kapak için 10 mm, bilezik için ise 15 mm kalınlığındaki pleksiglas malzeme kullanılmıştır. Kapalı hacim oluşturmada kullanılan üst kapak iç kenarı lüle şeklinde olup, boruyu levha

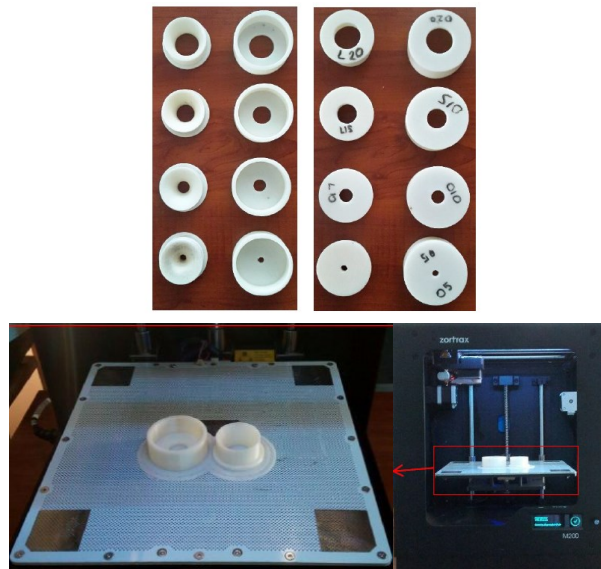
üzerinde tutan bilezikle birlikte ISEL marka 3 eksenli CNC Router kullanılarak hassas bir şekilde üretilmiştir. Fotoğraf 2.2’de aktüatörün tasarım parçaları ve montajlı görünümü verilmiştir.



Fotoğraf 2.2. Hoparlör tipi sentetik jet aktüatörünün parça ve montaj görünümü

2.3 Orifis ve Lüle Modelleri

Lüleler ve orifisler Zortrax marka M200 model üç boyutlu yazıcıyla üretilmiştir. Fotoğraf 2.3’de görüldüğü üzere 20 mm ve 15 mm çaplara sahip iki model üretim tablasında yer almaktadır. Modeller orifis ve lüle için 5, 10, 15 ve 20 mm olmak üzere 4’er parça olmak üzere toplam 8 adet aktüatör jet çıkış geometrisi üretilmiştir. Yazıcı katman kalınlığında 0.09 mm olup en yüksek yüzey kalitesi ayarında üretim gerçekleştirilmiştir.

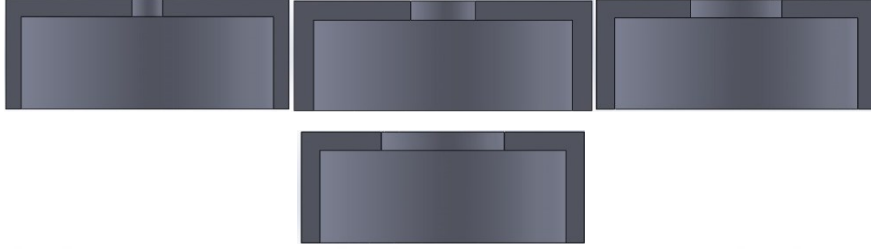


Fotoğraf 2.3. Lüle ve orifis modelleri

Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’de lüle ve orifis geometrilerinin ayrı ayrı kesitleri görülmektedir.



Şekil 2.2. Sırası ile 5, 10, 15 ve 20mm lüle geometri kesitleri



Şekil 2.3. Sırası ile 5, 10, 15 ve 20mm orifis geometri kesitleri

2.4 Sentetik Jet Sürüm Sinyalinin Üretilmesi

Bu çalışmada, sentetik jet aktuatörünün sürülmesinde sinüzoidal sinyal tipi ile 10Hz frekans ve 4 V çıkış voltajı kullanılmıştır. Fotoğraf 2.4’de sırasıyla istenilen sinyal modülasyonunun yapılmasına imkan sağlayan bilgisayar, sinyalin analog olarak üretildiği sinyal jeneratörü, sinyal yapısının anlık olarak izlenmesinde kullanılan osiloskop, sinyal yapısının hız ölçümleriyle birlikte kaydedilmesinde kullanılan BNC veri toplama kutusu, DC güç kaynağı, sinyalin yükseltildiği amfi ve hoparlörün sürüldüğü sinyalin akımının ölçülmesinde kullanılan pense tipi akım probu görülmektedir.

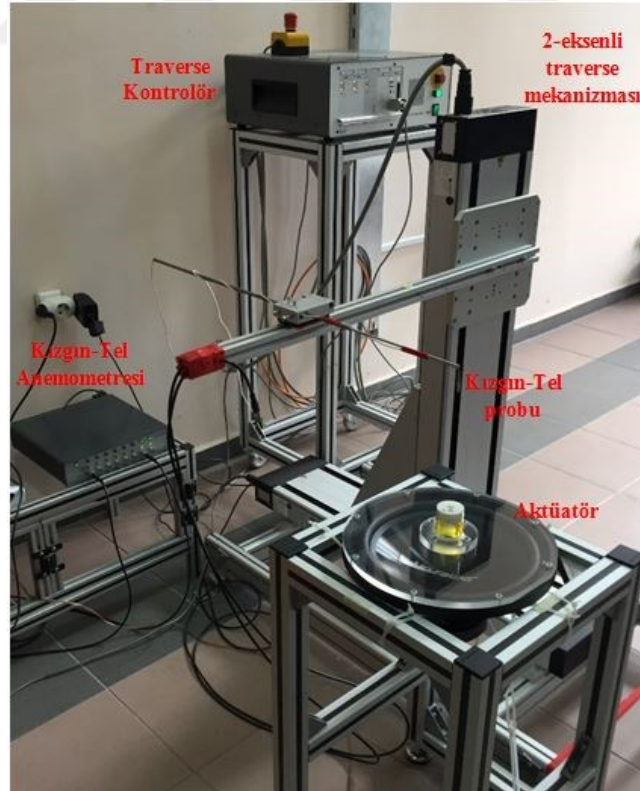


Fotoğraf 2.4. Deneylerde kullanılan sinyal jeneratörü, BNC veri toplama kutusu ve Osiloskop

Aktüatörü sürmede AA Tech marka AWG-1010 model sinyal jeneratörü kullanılmıştır. Sürülen sinyali gözlemlemek için 2 kanallı Tektronix marka TDS2022 model osiloskobun bir kanalından sinyal jeneratöründen gelen sinyal kontrol edilirken diğer kanaldan ise amfinin yükselttiği çıkış sinyalinin yapısı gözlemlenmektedir. Boss marka CX750 model amfiden 1600 W'a kadar güç çekilebilmektedir.

2.5 Kızgın-Tel 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 traverse 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 ağ yapısı kullanılarak x ve y ekseninde traverse mekanizması yardımıyla prob konumlarında 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 Schlitzknecht marka MonoAir500 mikro manometre kullanılarak lüle tipi kalibratörde gerçekleştirilmiştir. Mikromanometre ± 200 Pa ölçüm aralığında 0.1 Pa çözünürlüğe, ± 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.

2.6 Sentetik Jet Boyutsuz Parametreleri

Sentetik jetlerin tanımlanmasında iki bağımsız boyutsuz parametre kullanılabilir (Broučková vd., 2016). Birincisi, jet Reynolds sayısı, Re_j ve diğeri de boyutsuz strok uzunluğu olan L' dir.

Bunlar;

$$L = \pi \frac{Re}{Stk^2} \quad (2.1)$$

$$Re = \frac{V_0 \cdot D}{\nu} \quad (2.2)$$

olup, buradaki V_0 anlık üfleme hızının yarım bir periyot boyunca olan zaman ortalamasıdır.

$$V_0 = \frac{2}{T} \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} (V) dt \quad (2.3)$$

Buradaki integral periyodun yarısına kadar olan üfleme süresi için yani sinüzoidal sinyal formu durumu için $T / 2$ olarak alınmıştır. Üfleme süresinin toplam periyot

içerisindeki yüzdesinin değişmesi durumunda sadece üfleme süresince olan hızın integrali alınmaktadır.

Sentetik jetin strok uzunluğu ise $L_0 = (V_0 \cdot T)$ şeklinde tanımlanmakta olup, üfleme stroğu süresince lüleden dışarıya gönderilen akışkan kolonunun uzunluğunu ifade etmektedir.

Diğer bir boyutsuz parametre ise Stokes sayısı, S olup aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\text{Stokes sayısı} = \sqrt{\frac{2\pi f A D^2}{\nu}} \quad (2.4)$$

Bu çalışmada kullanılan lüle ve orifis geometrilerinin farklı çaplarında oluşan jet akışına ait Reynolds sayısı, stroke uzunluğu ve Stokes sayılarına ait değerlerin değişimi çizelge 3.1’de verilmiştir. Kullanılan hoparlörün belirlenen sabit genlik ve frekans değerlerinde gerçekleştirmiş olduğu salınım neticesinde, Reynolds sayısı lüle için 4650 ile 15700 arasında gerçekleşirken orifiste 4600 ile 13900 arasında elde edilmiştir. Buna karşın her iki modele ait Stokes sayısı 9-37 arasında oluşmaktadır.

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

Model	D (m)	V_{ort} (m/s)	Re_{jet}	L_0 (m)	L	Stokes Sayısı
Lüle	0,005	17,1	4650	1,71	170,8	9,26
	0,01	15,2	8300	1,52	75,9	18,53
	0,015	14,9	12200	1,49	49,5	27,79
	0,02	14,4	15700	1,44	36,0	37,06
Orifis	0,005	16,9	4600	1,69	168,6	9,26
	0,01	15,5	8500	1,55	77,5	18,53
	0,015	14,1	11550	1,41	46,9	27,79
	0,02	12,7	13900	1,27	31,8	37,06

BÖLÜM III

BULGULAR

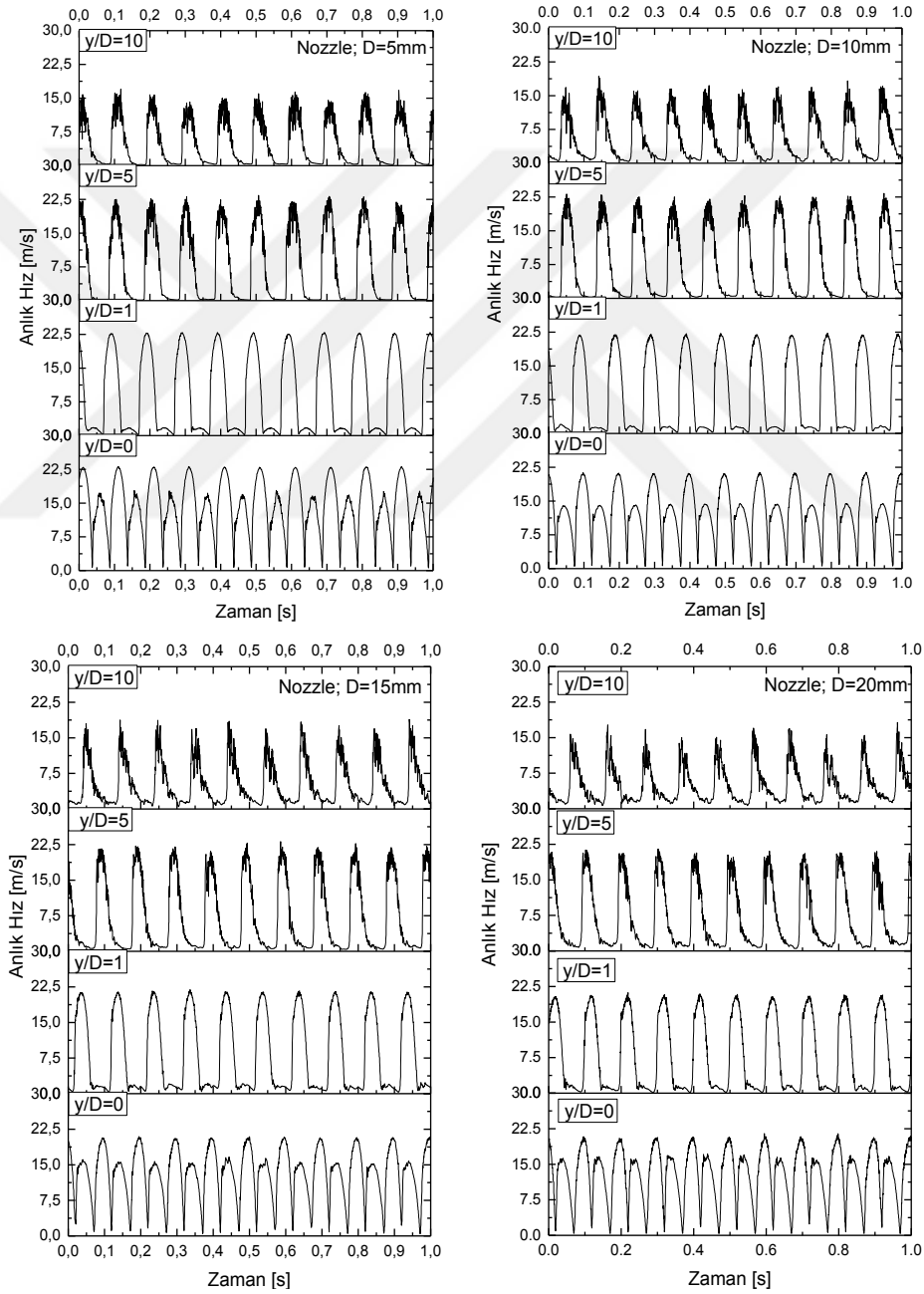
3.1 Bulgular ve Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı geometri ve çaplara sahip aktüatör jet çıkış aparatlarının etkilerini ortaya koyabilmek için jet akış alanında kızgın tel anemometresi ile elde edilen hız taraması yapılmıştır. Burada jet ekseninde belirli mesafeler (y/D) için anlık hız-zaman değişimleri, jet ekseninde boyunca (y/D) ortalama hız dağılımları ile jetin belirli uzaklıklarında radyal yöndeki ortalama hız dağılımları ortaya konulmuştur.

Şekil 3.1 dört farklı çapa sahip 5, 10, 15 ve 20 mm olarak üretilen lülelerden elde edilen anlık hız dağılımlarını göstermektedir. Anlık hızın zaman geçmişi dağılımları, jet ekseninde ($r/D = 0$) üzerindeki $y/D = 0, 1, 5$ ve 10 konumlarından alınmıştır. Anlık hız ölçümleri, emme ve üfleme jetinin oluşturduğu her sinyal periyodunda oluşan tepelerin hız-zaman dağılımlarını vermektedir. Tüm çaplardaki lülelerde $y/D = 0$ için, grafiklerde emme ve üfleme fazının karşılığı olan peş peşe biri büyük biri küçük ardışık olarak hız tepeleri görülmektedir. Şiddeti yüksek olan hız tepeleri üfleme olayını, şiddeti düşük olan tepeler ise emme olayının gerçekleştiğini göstermektedir. Emme fazında lüle çıkışındaki hız değerleri lülenin eksenine alakalı olarak negatiftir. Ancak kullanılan kızgın tel anemometresinin çalışma prensibinin ölçüm ekseninden bağımsız olması nedeniyle tel eksenine gelen dik hız bileşenine duyarlı olarak ölçüm yaptığından emme fazındaki hız değerleri grafiklerde pozitif değerler olarak görülmektedir. Lüle çıkışından uzaklaştıkça negatif yönlü hız bileşenleri prob konumunun yeterince uzağında oluşmaktadır. Lüle çıkışına olan y/D mesafesi arttıkça emme fazındaki hız değerleri sıfıra yakın olarak ölçülmektedir.

Proben $y/D=1$ konumunda jet yapısı ve maksimum hız değeri lüle çıkışındaki ($y/D=0$) ile aynı olup belirli bir y/D mesafesine kadar bu değerini korumaktadır. Lüle çıkış kesitinin dairesel olması nedeniyle periyodik olarak oluşan sentetik jetler girdap halkası şeklinde ilerleyerek, lüleden uzaklaştıkça çevre akışkanı ile etkileşimi nedeniyle radyal yönde yayılmaktadır. Bununla birlikte belirli bir mesafeye kadar jet merkez ekseninde boyunca çıkış hızını muhafaza etmekte ancak daha da uzaklaşması ile birlikte radyal yöndeki yayılma, merkezdeki jet hızının da düşmesine ve çalkantıların artmasına neden

olmaktadır. Bu nedenle, $y/D = 5$ konumunda hız dağılımı grafiklerdeki en yüksek hız değerleri lüle çıkışındaki değerlerini korumaktadır. Ancak akışın kararsızlığının artması nedeniyle çalkantılar belirgin bir şekilde görülmektedir. Prob konumunun $y/D = 10$ mesafesinde merkez eksendeki ($r/D = 0$) en yüksek hız değerinin de radyal yöndeki genişleme ve ortam akışkanı ile olan karışım etkileri nedeniyle giderek azalması ve çalkantılarının artması vuku bulmuştur.

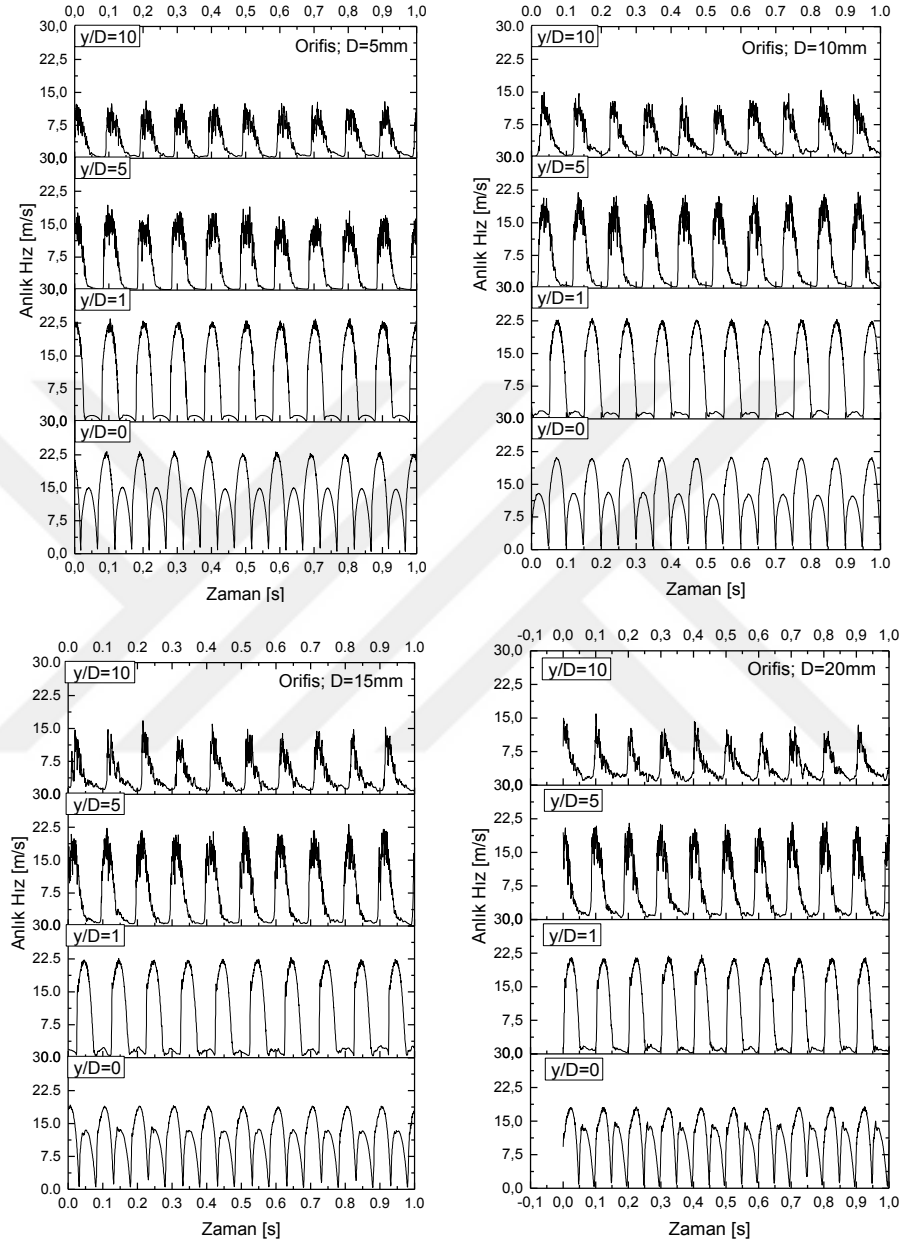
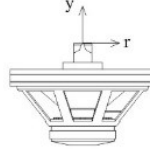


Şekil 3.1. Farklı çaplardaki lüleler için $r/D = 0$ ve $y/D = 0, 1, 5$ ve 10 konumlarındaki anlık hız dağılımları

Prob konumunun $y/D=1$ olduğu değerde dört farklı çaptaki lülelerin hepsinde de en yüksek hız değeri birbirlerine oldukça yakın çıkmaktadır. Lüle apı 5 mm için 22,9 m/s; 10mm için 22,3 m/s; 15 mm için 21,9 m/s ve 20 mm için 20,6 m/s civarında en yüksek hız değerleri elde edilmiştir. Lüle kesit alanının çapın karesi ile değişmesine bağlı olarak aktüatörün aynı frekans ve gerilim değerlerinde kesitin daralması ile doğru orantılı olarak hızın arması beklenmekteydi. Ancak 20 mm çap ile 5 mm çap durumunda kesit alanın 16 kat daralmasına rağmen en yüksek hız 20,6 m/s değerinden 22,9 m/s değerine çıkmıştır. Buradaki artışın çok küçük kalması, aktüatör içerisinde akışkanın sıkışma etkisinden ve buna bağlı hoparlörün membran hareketindeki kısıtlanmanın bir etkisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu duruma etki eden parametreler sürüm frekansı ve membranın süpürdüğü hacmin lüle kesit alanına olan oranı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle piston-silindir tipindeki aktüatörün verilen strok kadar piston hareketini yapabilmesine karşın hoparlörün çap küçüldükçe membran strok hareketinin sınırlandığı görülmektedir.

Bu çalışmada ele alınan aktüatörün jet çıkışında lüle ile aynı çıkış çaplarına ait orifis geometrileri de test edilmiştir. Şekil 3.2'de sırası ile 5, 10, 15 ve 20 mm çaplarındaki orifisler için jet ekseninde belirli y/D istasyonlarındaki anlık hız değişimleri görülmektedir.

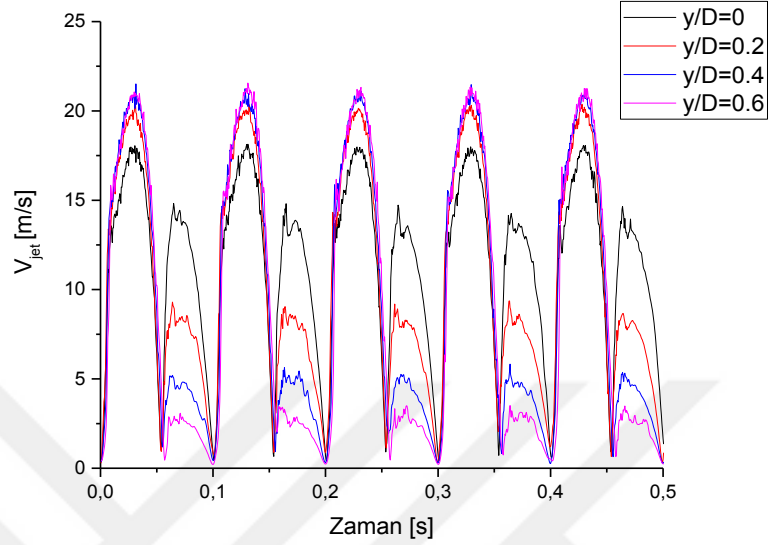
Orifis modelinden elde edilen sonuçlar lüle geometrisine ait değerlerle hemen hemen aynı karakteristik yapıya sahiptir. Ancak orifiste $y/D=0$ konumunda elde edilen en fazla hız değeri $y/D=1$ mesafesinde, lülelerden farklı olarak bir miktar daha artmaktadır. Bunun sebebi, jetin aktatrden hemen çıkışında jet merkez ekseninde hızın artması, orifis geometrisi nedeniyle jetin oluşum yapısından kaynaklanmaktadır. Lüle modelinin akışı lüle duvarlarını takip ederek lüle cidarına paralel olarak çıkarken orifis durumunda, orifisin aktüatörü içerisine bakan kenarında akış ayrılması olmakta, orifis üst tarafındaki cidarı paralel olarak takip etmediğinden orifis çapından daha küçük çaplı bir kesit alanında jet akışının oluşumu gerçekleşmektedir. Jet akışının orifisin alt tarafından yukarıya doğru ilerlerken kesitin daralması, çıkıştaki jetin kesitin bir miktar daha daralmasına bağlı olarak hızının artmasına neden olmaktadır. Bu durum orifis çapı büyüdükçe daha belirgin hale gelmekte olup $D=20$ mm çapındaki orifiste $y/D=0$ konumunda 18 m/s olan en yüksek jet merkez hızı, $y/D=1$ konumunda 21 m/s olarak elde edilmektedir.



Şekil 3.2. Farklı çaplardaki orifis için anlık hız dağılımları

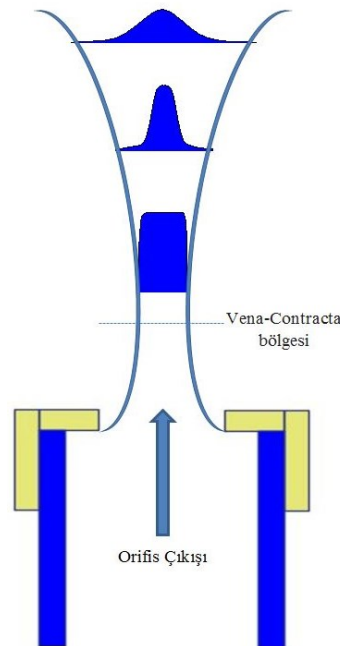
Orifisin hemen çıkışında oluşan bu hız artışını daha net ortaya koyabilmek için 20mm çapındaki orifisin çıkışında $y/D = 0 - 0,6$ arasındaki konumlardaki hız değişimlerine bakılmış ve Şekil 3.3’de sunulmuştur. Özellikle $y/D=0,2$ konumunda hızda önemli bir artış olduğu görülmektedir. Burada, probun $y/D=0$ konumunda iken prob ve tutucusu orifisin çıkışında akışa engel bir cisim olarak, basınç kaybına neden olması

düşünülmüş fakat lüle geometrisi kullanıldığında bu durumla karşılaşılmamış olması ve artan orifis çapı ile bu etkinin artması nedeniyle, prob ve tutucusunun konumu ile alakalı olmadığı görülmüştür. Bu durum, literatürde “Vena-Contracta” etkisi olarak ifade edilmektedir.



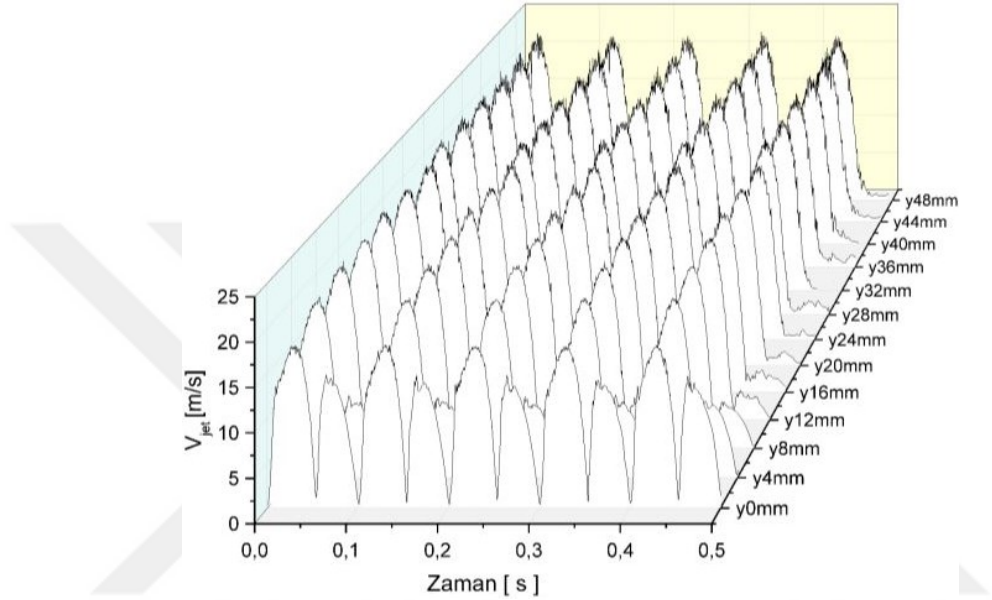
Şekil 3.3. D=20 mm çaplı orifisin yakın bölgesindeki anlık hız değişimi

Orifis çıkışında jet kesitinin belirli bir mesafeye kadar daralmaya devam etmesi sonucu, jet merkez hızında bir miktar artış meydana gelmektedir. Şekil 3.4’de bu durum ve ortalama jet akış alanı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.4. Orifis jet çıkışı akış alanının şematik görünümü

Şekil 3.5’de 20 mm çaplı orifisin $y= 0-48$ mm aralığındaki bölgede 4mm adımlarla anlık hızın değişimleri sunulmuştur. Burada emme fazında okunan hız değerinin orifisten uzaklaştıkça giderek etkisini kaybettiği de net bir şekilde görülmektedir. Üfleme fazında ise artan prob konumu ile birlikte en yüksek hız değerindeki bir miktar artışla olmakta ve yaklaşık 20 mm den sonra anlık hızdaki çalkantı etkileri daha belirgin hale gelmektedir.

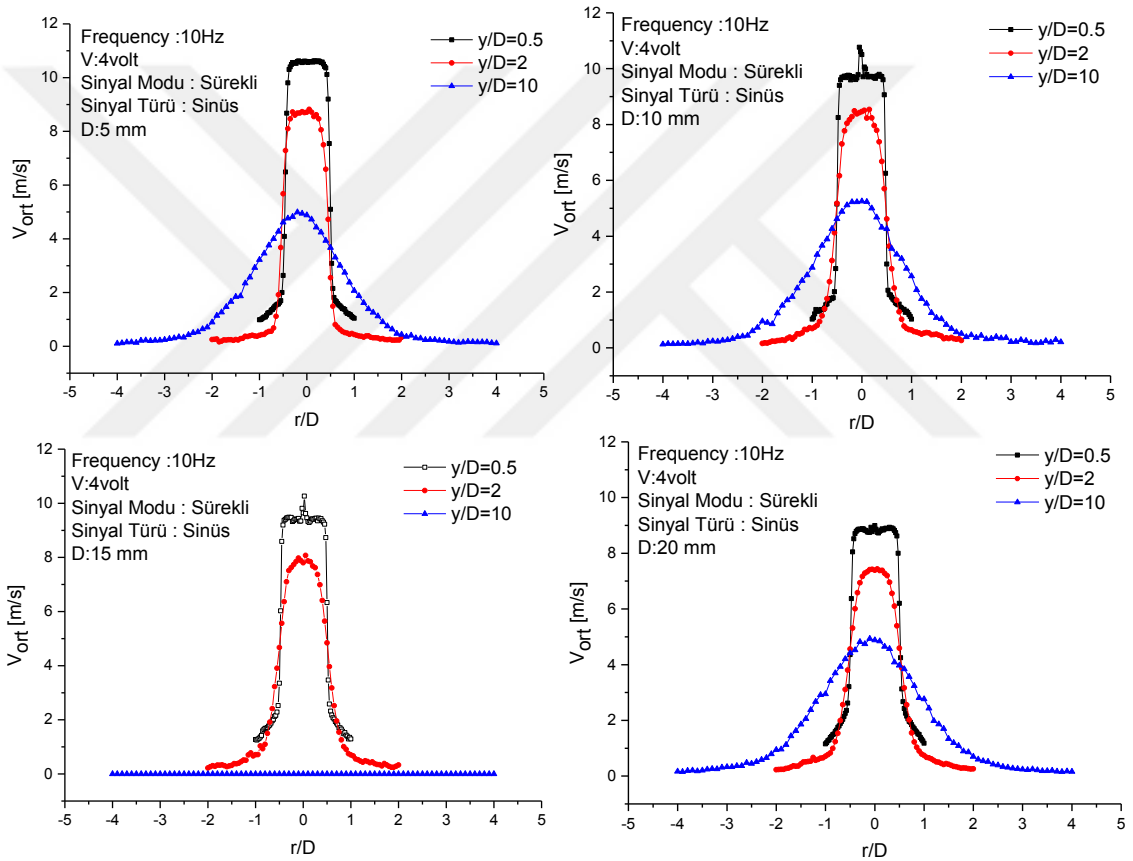
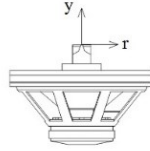


Şekil 3.5. D=20 mm çaplı orifisin $y/D=0-2,4$ (0-48 mm) arasındaki bölgede anlık hız değişimi

Şekil 3.6 ve şekil 3.7’de dört farklı çaptaki lüle ve orifis geometrilerinden $y/D=0,5, 2$ ve 10 istasyonlarından alınan radyal yöndeki ortalama hız dağılımları görülmektedir. Lülenin hemen çıkışında yer alan $y/D=0,5$ mesafesinden yapılan hız taramasında bütün çaplar için neredeyse üniform bir hız profili elde edilmiştir.

$y/D=2$ konumuna gelindiğinde hız profilinin radyal yöndeki bir miktar genişlemesine ve lüle çapının kenarlarına doğru hızdaki azalmasına bağlı olarak parabolik bir yapıya dönüşmektedir. Bu konumdaki hızın $y/D=0,5$ konumundaki değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Anlık hız dağılımlarında bu konumlarda jet eksenindeki en yüksek jet hızının değişmediği görülmüştü. Buradaki değişim ortalama hızların hesaplanmasında $y/D=0,5$ konumunda emme fazındaki negatif yöndeki hız değerlerinin hala etkili olması ve ortalama değerlerin artırmasına neden olmasından kaynaklanmaktadır. Başka bir deyişle emme fazındaki hız değerlerinin ortalama hız

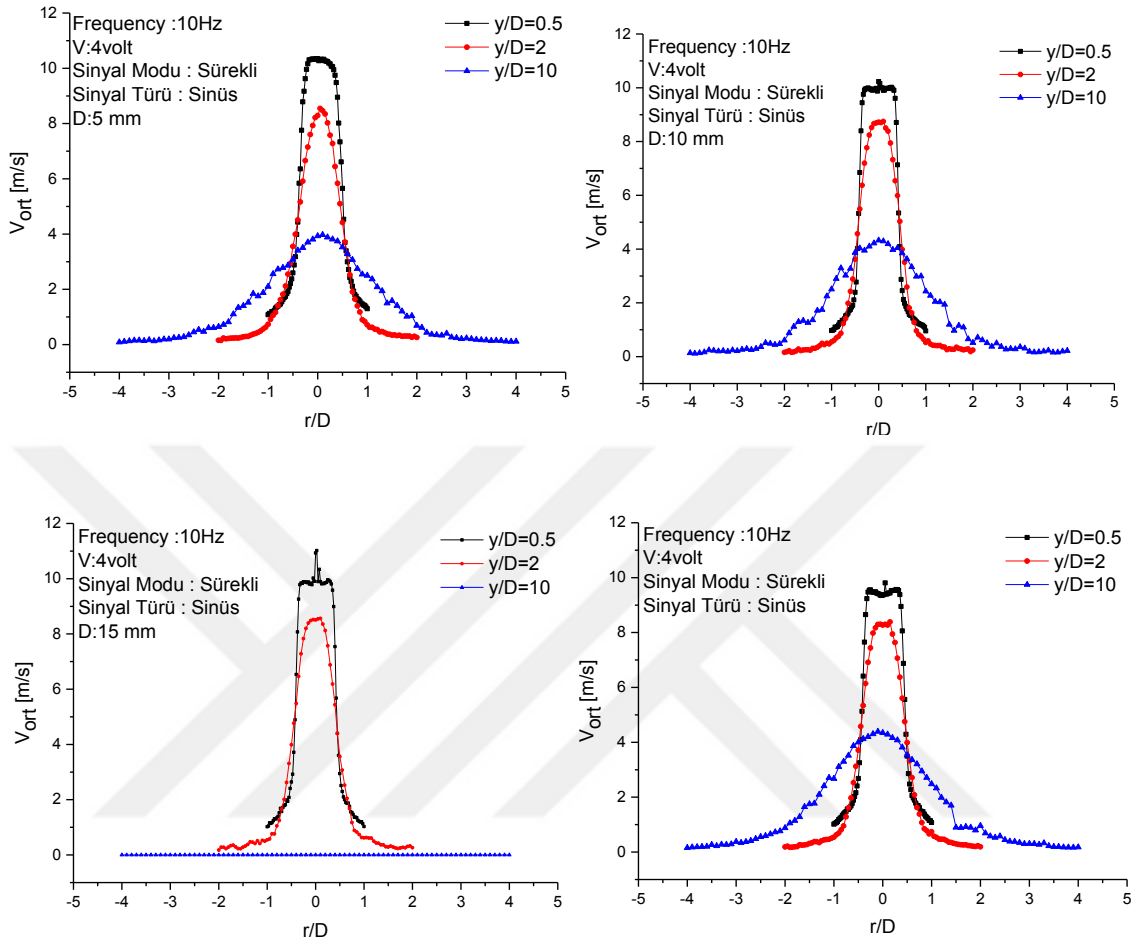
hesabından çıkarılması durumunda $y/D=0.5$ ve 2 konumlarındaki hız profillerinin jet merkez eksenini üzerindeki değerleri aynı olacaktır. $y/D=10$ mesafesinde ise jet halkalarının radyal yönde daha fazla genişlemelerinin bir neticesi olarak merkezdeki jet hızının da giderek düşmesi söz konusu olmaktadır. Burada jet halkalarının $r/D = \pm 3$ aralığına kadar genişlediği görülmektedir.



Şekil 3.6. Farklı çaplara sahip lüleler için radyal hız dağılımları

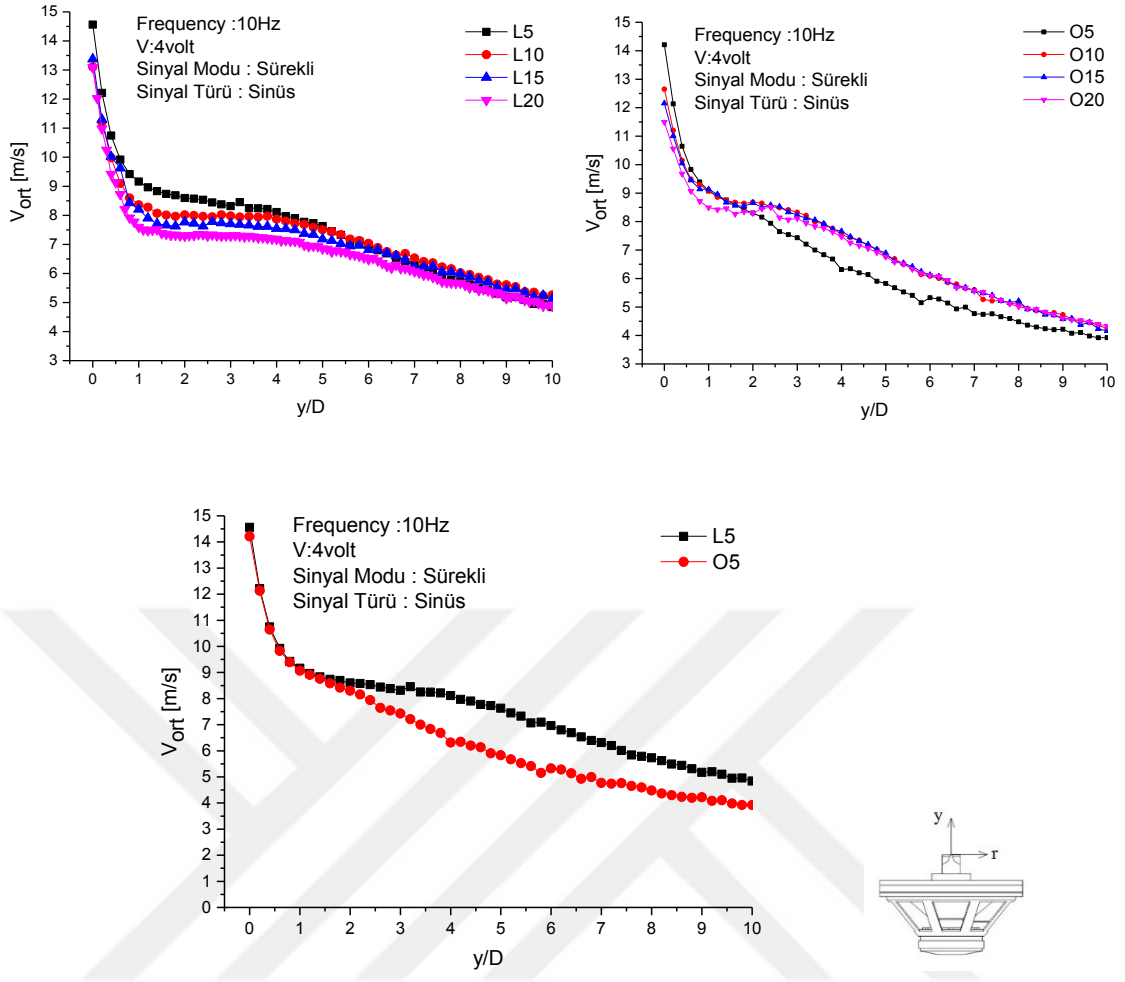
Şekil 3.7’de orifis modeli için verilen grafiklerde $y/D=0.5$ konumundaki hız profillerine bakıldığında aynı konumdaki lüleye ait profillerden daha dar olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak $y/D=2$ konumunda verilen ortalama hız profilleri lüle geometrisine göre daha parabolik olmaktadır. Bunun $y/D=10$ konumundaki ölçümlerinde ise en yüksek hız değerleri lüleye göre düşük kalmaktadır. Bu durumda

lüle geometrisinden çıkan jetin daha yüksek hızda ve daha geniş çaplı olarak çıkması jetin debisinin de daha büyük olmasını sağlamaktadır.



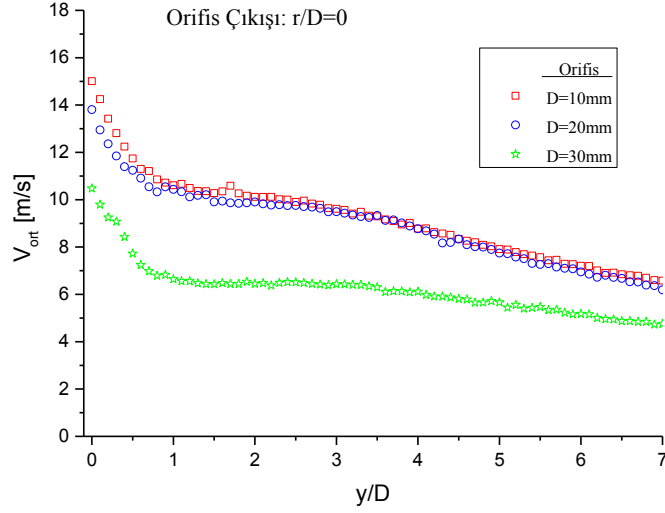
Şekil 3.7. Farklı çaplara sahip orifisler için radyal hız dağılımları

Şekil 3.8’de jetin merkez eksenini üzerinde ($r/D=0$) düşey yönde yapılan hız taraması görülmektedir. Prob konumunun $y/D=1$ civarına kadar görülen ani düşüş lüle çıkışında ölçülen emme fazına ait hızların artan y/D ile etkisini kaybettiğini göstermektedir. Lüle modelinde 5mm çaplı model hariç diğer modellerde lüle çıkışındaki jetin en yüksek hız değerini $y/D=4$ konumuna kadar muhafaza ettiği anlaşılmaktadır. Bu konumdan sonra jetin genişlemesinin merkez eksen üzerindeki hızında azalmasının sonucu görülmektedir. Orifis modelinde ise merkez eksen üzerinde jetin çıkış hızını muhafaza ettiği y/D mesafesi daha kısa olarak oluşmakta ve $y/D=2.5$ değerinden sonra çekirdek hız değeri giderek azalmaktadır. Jet çıkış çapının 5mm olduğu lüle ve orifis modellerine ait hız profilleri karşılaştırıldığında lüle ait jetin daha yüksek hızda etkili mesafesinin daha uzun olduğu görülmektedir.



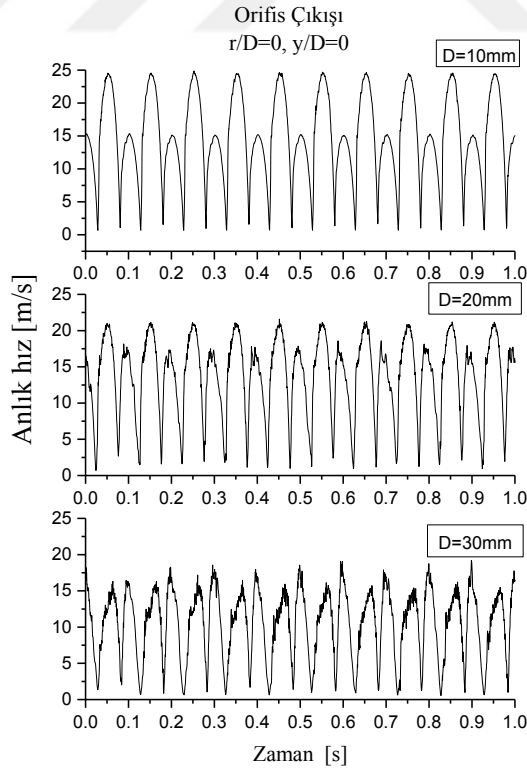
Şekil 3.8. Farklı çaplara sahip lüle ve orifislerin, sabit frekans ve voltaj değerleri için; y eksen hız ölçüm taramasının karşılaştırılması

Bu çalışmada, lüle çapı küçüldükçe kesit alanındaki daralmaya bağlı olarak, hızın aynı aktüatör diyafram hareketi için artması beklenmekteydi. Ancak çapın küçülmesi yerel kayıpları artırması nedeniyle, hoparlör tipi aktüatörün diyafram hareketinin sınırlandırıldığı görülmüştür. Daha az hacmin süpürülmesi nedeniyle orifis çıkışında, jet hızı daralan kesitle çok az artmaktadır. Başka bir deyişle, orifis kesit alanı genişledikçe hızın azalması gerekirken belirli bir çap değerine kadar hızdaki değişim sınırlı kalmaktadır. Bu durumu daha net ortaya koymak için 30 mm çapına sahip bir orifis test modeli ilave edilmiştir. Şekil 3.9’da 10, 20 ve 30 mm çaplı orifislere ait akış yönündeki aksenal hız dağılımları görülmektedir. Burada, orifis çıkış çapı 10 mm’den 20 mm’ye değişmesine rağmen hızda önemli bir düşüş oluşmaz iken, 30 mm durumunda hızın belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.9. Orifis çapının $D=10, 20$ ve 30 mm olduğu durumlarda jet eksenini boyunca hız dağılımları

Bu üç farklı orifis çapına sahip modellerin jet çıkışındaki anlık hız yapıları Şekil 3.10'da sunulmuştur. Çapın büyümesi ile birlikte anlık hızdaki çalkantı miktarında da artış meydana gelmektedir. Burada üfleme modundaki en yüksek jet hızları artan çap ile düşerken, emme modundaki hız değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 3.10. Farklı Orifis çapının $D=10, 20$ ve 30 mm olduğu durumlarda lüle çıkışındaki anlık hız dağılımları

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, hoparlör tipi bir aktüatör ile sentetik jet akışı oluşturulmuştur. Aktüatörün jet çıkış geometrisi olarak lüle ve orifis modelleri kullanılmış ve 5, 10, 15 ve 20 mm olmak üzere dört farklı çap için test edilmişlerdir. Aktüatör sabit frekans ve genlik değerindeki sinüzoidal sinyal ile sürülmüş ve bu şartlardaki jet çıkış geometrisinin etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada detaylı bir literatür taraması yapılarak farklı sentetik jet oluşum mekanizmaları ve uygulama alanlarına göre irdeleme yapılmıştır. Özellikle hoparlör tipi aktüatörlerle oluşturulan sentetik jet uygulamaları ele alınmıştır.

Aktüatörün aynı frekans ve sürüm voltajında lüle modellerinin orifis modellerine göre daha yüksek hızlara ve daha büyük kesit alanına sahip üniform jet çıkışı sağladıkları görülmüştür.

Lüle çapının azalması ile sentetik jet hızında bir miktar artış olmaktadır. Ancak bu kesit alanının değişme oranına göre çok küçük kalmaktadır. Bu durumun hoparlör tipi aktüatörün kesit daralmasına bağlı olarak oluşan basınç kayıplarının aktüatörün hareketini sınırlandırmasının bir sonucu olduğu görülmüştür. Bu tip aktüatörlerde frekansın veya genliğin artması jet hızının artmasında etkili olurken, piston silindir tipindeki aktüatörlerin aksine çıkış kesitindeki daralma ile oluşan basınç kayıplarına gücünün yetmemesi nedeniyle aktüatörün diyafram hareketi yetersiz kalmaktadır.

Lüle çıkışından itibaren merkez eksen üzerindeki en yüksek hız değeri belirli bir mesafeye kadar sabit kalmakta ve yaklaşık $y/D = 4$ mesafesinden sonra jet halkalarının radyal yönde genişlemesi ve merkez eksen üzerindeki akışının etkilenmesi sonucu olarak düşüş başlamaktadır. Orifis modellerinin kullanılması durumunda bu çekirdek mesafesi daha kısa olarak gerçekleşmiştir.

Orifis model durumunda lüleden farklı olarak merkez eksen üzerindeki hız değerinde çok kısa bir y/D mesafesine kadar bir miktar artış olmaktadır.

KAYNAKLAR

Acar, M., Ghassemieh, E. and Versteeg, H.K., “The effect of nozzle geometry on the flow characteristics of small water jets.” *Proceedings of the IMechE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 220 (12), 1739-1753, 2006.

Akansu, Y.E., Ardışık olarak yerleştirilen farklı geometrilere sahip küt cisimlerin aerodinamik karakteristiklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 2004.

Amitay, M. and Glezer, A., “Controlled transients of flow reattachment over stalled airfoils”, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 23, 690-699, 2002.

Amitay, M. and Glezer, A., “Aerodynamic flow control using synthetic jet actuators”, *Control of Fluid Flow. Springer*, Berlin, Heidelberg, 45-73, 2006.

Bar-Sever A., “Separation control on an airfoil by periodic forcing”, *AIAA Journal*, 27, 820–21, 1989.

Bolat, S., “Piston silindir mekanizmalı sentetik jet akışının deneysel incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 2010.

Broučková, Z., Šafařík, P. and Trávníček, Z. “A parameter map of synthetic jet regimes based on the Reynolds and Stokes numbers: Commentary on the article by Rimasauskiene et al” *Mechanical Systems and Signal Processing* 68, 620-623, 2016

Catalano P., Wang M., Iaccarino G., Sbalzarini I.F. and Koumoutsakos P., “Optimization of cylinder flow control via actuators with zero net mass flux”, *Center for Turbulence Research, Proceedings of the Summer Program*, 2002.

Cattafesta III L. N. and Sheplak M., “Actuators for active flow control”, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 43, 247-272, 2011.

Chandratilleke, T. T., Jagannatha, D. and Narayanaswamy, R., “Heat transfer enhancement in microchannels 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*, 53,1057-1069, 2010.

Crispo, C. M., Greco, C. S., Avallone, F. and Cardone, G., “On the flow organization of a chevron synthetic jet”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 82, 136-146, 2017.

Crittenden, T. M. and Glezer, A., “ A high-speed, compressible synthetic jet” *Physics of Fluids*, 18, 017107 2006.

Didden, N., “On the formation of vortex rings: rolling-up and production of circulation”, *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik ZAMP*, 30, 101-116, 1979.

Erdoğan, F., “Yükseltmiş d-optimal dizayn yöntemi kullanılarak mühendislik dizaynlarında etkinliğin geliştirilmesi ‘sentetik jet’ dizayn optimizasyon çalışması” *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 3, 51-63, 2007.

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

Feero, M. A., Lavoie, P. and Sullivan, P. E., “Influence of cavity shape on synthetic jet performance”, *Sensors and Actuators A: Physical*, 233,1-10, 2015.

Gad-el-Hak M., “Flow control, passive, active and reactive flow management”, *Cambridge University Press*, 2000.

Gallas Q., Holman R., Raju R., Mittal R., Sheplak M. and Cattafesta L., “Low Dimensional Modeling of Zero Net Mass Flux Actuators”, *AIAA Flow Control Conference*, Portland, 2413, 2004

Garg, J., Arik, M., Weaver, S., Wetzel, T. and Saddoughi, S., “Meso scale pulsating jets for electronics cooling”, *J. Electron. Packag.* 127, 503-511, 2005.

Glezer, A. and Amitay, M., “Synthetic jet”, *Annu. Rev. Fluid Mech.* 34, 503–529, 2002.

Gil, P. “Morphology of synthetic jet. ” *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Mechanika* 43-51, 2017

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.

Hwang Y. S., Lee D. Y., Choi J. W., Kim S. Y., Cho S. H., Joonjo P., Kim M. S., Jang J. H., Kim S. H. and Cha S. W., “Enhanced diffusion in polymer electrolyte membrane fuel cells using oscillating flow”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 3676-3683, 2010.

Kim C., Jeon W. P., Park J. and Choi H., “Effect of a localized time-periodic wall motion on a turbulent boundary layer flow”, *Phys. Fluids*, 15, 265–68, 2003.

Kordik, J., Brouckova, Z., Vit, T., Pavelka, M. and Travnicek, Z., “Novel methods for evaluation of the Reynolds number of synthetic jets”, *Experimental Fluids*, 55, 1757, 2014.

Krieg, M., Coley, C., Hart, C., and Mohseni, K., “Synthetic jet thrust optimization for application in underwater vehicles.” *In Proc. 14th Int. Symp. on Unmanned Untethered Submersible Technology (UUST)*, Durham, NH, 21–24 August, 2005.

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*, 108, 168-174, 2003.

Lee A., Yeoh, G.H., Timchenko, V. and Reizes, J. A., “Flow structure generated by two synthetic jets in a channel: Effect of phase and frequency’’, *Sensors and Actuators A: Physical*, 184, 98-111, 2012.

Lee, C.Y.Y., Woyciekoski, M.L. and Copetti, J.B., “Experimental study of synthetic jets with rectangular orifice for electronic cooling’’, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 78, 242-248, 2016.

Liu, M.H., Xie, C., Zhang, X.F., Cai, X. D. and Chen, Y., “Numerical simulation on micromixer based on synthetic jet’’, *In ASME 2007 5th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels*, 701-707, 2007.

Liu, Y. H., Tsai, S. Y. and Wang, C. C., “Effect of driven frequency on flow and heat transfer of an impinging synthetic air jet’’, *Applied Thermal Engineering*, 75, 289-297, 2015.

Mane, P., Mossi, K. and Bryant, R., “Synthetic jets with piezoelectric diaphragms’’, *Active materials: Behavior and Mechanics*, 5761, 233-243, 2005.

McGuinn, A., Farrelly, R., Persoons, T. and Murray, D. B., “Flow regime characterisation of an impinging axisymmetric synthetic jet’’, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 47, 241-251, 2013.

Mohseni, K. and Mittal, R., “Synthetic jets, fundamentals and applications’’, *CRC Press, Fundamentals and Applications*, 2014.

Montoya, L.D., Jackson, J.L. and Amitay, M., “Control of aerosol dispersion and removal in a room using synthetic jet actuators’’, *Building and Environment*, 45, 165-175, 2010.

Moreau E., “Airflow control by non-thermal plasma actuators” *J. Phys. D Appl. Phys.*, 36, 40-605, 2007.

Murugan, T., Deyashi, M., Dey, S., Rana, S. C. and Chatterjee, P. K., “ Recent developments on synthetic jets”, *Defence Science Journal*, 66, 489-498, 2016.

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, 36-50, 2010.

Rathnasingham, R. and Breuer, K.S., “Active control of turbulent boundary layers”, *J. Fluid Mech.*, 495, 209-233, 2003.

Rylatt, D. I. and O’Donovan, T. S., “Time and frequency domain investigation of the heat transfer to a synthetic air jet”, *Journal of Physics: ConferenceSeries*, 395, 012046, 2012.

Rylatt, D. I. and O’Donovan, T. S., “Heat transfer enhancement to a confined impinging synthetic air jet”, *Applied Thermal Engineering*, 51,468-475, 2013.

Schubauer G. B. and Skramstad H. K., “Laminar-boundary-layer oscillations and transition on a flat plate”, *Tech. Rep., 909, NACA*, 1948.

Seifert A., Eliahu S., Greenblatt D., Wygnanski I. J., “Use of piezoelectric actuators for airfoil separation control”, *AIAA Journal.*, 36, 1535–37, 1998.

Smith, B.L. and Glezer, A., “The formation and evolution of synthetic jets”, *Phys. Fluids*, 10, 2281-2297, 1998.

Stanewsky E., “Adaptive wing and flow control technology”, *Progress in Aerospace Sciences*, 37, 583-667, 2001.

Tamburello, D.A. and Amitay, M., “Active control of a free jet using a synthetic jet” *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 29(4), 967–984, 2008.

Tesar, V. and Kordik, J., “Quasi-similarity model of synthetic jets”, *Sensors and Actuators A: Physical*, 149, 255-265, 2009.

Tesar, V. and Kordik, J., “Spectral analysis of synthetic jets”, *Sensors and Actuators A: Physical*, 167, 213-225, 2011.

Thill, C.L., Etches, J., Bond, I., Potter, K. and Weaver, P., “Morphing skins” *Aeronaut. J.*, 139, 112-117, 2008.

Travnicek, Z. and Tesar, V., “An Annular impinging jet alternated by pulse-modulated synthetic jets”, *Proceedings of the ASME/JSME 2011 8th Thermal Engineering Joint Conference AJTEC2011*, Honolulu, Hawaii, USA, 2011.

Travnicek, Z., Brouckova, Z., Kordik, J. and Vit, T., “Visualization of synthetic jet formation in air”, *Journal of Visualization*, 18, 595-609, 2015.

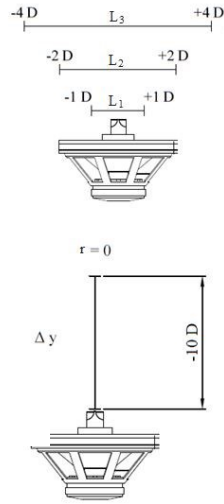
Valiorgue, P., Persoons, T., McGuinn, A. and Murray, D.B., “Heat transfer mechanisms in an impinging synthetic jet for a small jet-to-surface spacing” *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33(4), 597–603, 2009.

Viets H., Piatt M. and Ball M., “Boundary layer control by unsteady vortex generation” *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 7, 135–44, 1981

Vinze, R., Chollacka, A., Limaye, M.D. and Prabhu, S.V., “Heat transfer characteristics of the jet deflector impinged by underexpanded jets” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 7(2), 135-144, 2016.

EKLER

EK-A Akış alanı hız ölçüm istasyonları ve deney parametreleri için veri kılavuzları



Lüle: 5 mm ve Orifis: 5 mm			
$y/D = 0,5 \text{ mm}$	$y = -2,5 \text{ mm}$	$r/D = \pm 1D = \pm 5 \text{ mm}$ $L = 10 \text{ mm}$	$\Delta r = 0,125 \text{ mm}$
$y/D = 2 \text{ mm}$	$y = -10 \text{ mm}$	$r/D = \pm 2D = \pm 10 \text{ mm}$ $L = 20 \text{ mm}$	$\Delta r = 0,25 \text{ mm}$
$y/D = 10 \text{ mm}$	$y = -50 \text{ mm}$	$r/D = \pm 4D = \pm 20 \text{ mm}$ $L = 40 \text{ mm}$	$\Delta r = 0,5 \text{ mm}$
$x/D = 0$	$y/D = 0-10D$	$y = 0 - (-50) \text{ mm}$	$\Delta y = -1 \text{ mm}$

CH-1 Sinyal Şartları	Sinyal	Sinüs-Sürekli	
	F_{sinyal}	10 Hz	
	V_{amp}	4 Volt	
	Sinyal Modülasyonu	Yok	
Ölçüm Parametreleri	Ölçüm Frekansı	2000 Hz	BNC-2120
	Veri Sayısı	10.000	
	Time	5 sn	
HOPARLÖR	Lüle: 5, 10, 15, 20mm Orifis: 5, 10, 15, 20mm Boru: 55 mm		
	T: 24,6°	P_{am} : 86 kPa	

ÖZ GEÇMİŞ

Muhammed Ali DÜNDAR 19/06/1988 tarihinde Adana’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Niğde’de 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. Şuan, DüNDARLAR İnşaat Ve Taahhüt Ltd. Şti firmasında cephe işleri yöneticisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.



