

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

SÜPÜRGELERDE HAVA HAREKETLERİNİN DENEYSEL İNCELEMESİ

EMİRHAN ERDİL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ALİ PINARBAŞI**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜPÜRGELERDE HAVA HAREKETLERİNİN DENEYSEL İNCELEMESİ

Emirhan ERDİL tarafından hazırlanan tez çalışması 20.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ali PINARBAŞI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ali PINARBAŞI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Barış ÖZERDEM
Bahçeşehir Üniversitesi

Doç Dr. Zehra YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca ilgisi, önerileri, engin mesleki ve hayat tecrübeleriyle tezimi tamamlama ve kariyer yolunda bana pusula olan değerli ve saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali PINARBAŞI 'ya en özel teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması ARÇELİK A.Ş. Temin Ürün Direktörlüğü ve Ar-Ge Direktörlüğü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmam dolayısıyla Sn. Evren ALBAŞ 'a, Sn. Korhan ÖZKALAY 'a ve Sn. Derya HAMARAT'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın deneylerini gerçekleştirdiğim deney prototipinin oluşturulmasındaki yardımları dolayısıyla Sn. Dursun AĞCA 'ya ve Tayfun BALIK 'a, deneylerin gerçekleştirilmesi ve deney düzeneklerinin oluşturulması dolayısıyla Sn. Hüseyin TÜRK, Sn. Serkan ÖZKAN, Sn. Erkan BAŞTAN ve Sn. Dr. Sedat TOKGÖZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatın inişli çıkışlı yollarında doğduğum günden beri elimden tutan, her düştüğümde ayağa kalkmama yardım eden, varlığıyla her zaman güven veren sevgili annem Sn. Yasemin CANATAN'a, hayatı anlamaya başladığım günlerden beri engin hayat tecrübesi ve sevgisiyle her zaman arkamı yaslayıp önüme bakmamı sağlayan, maddi ve manevi destekleriyle bugünlere gelmemi sağlayan sevgili dedem Sn. Ahmet CANATAN'a, varlığıyla ilk sorumluluk duygularımı yeşerten sevgili kardeşim Sn. Sedef Deniz ERDİL'e ve hayatımın geri kalanını birlikte paylaşacağım, sonsuz destekçim, can yoldaşım, nişanlım Sn. Pelin ŞAHİN'e sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Mart, 2016

Emirhan ERDİL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Genel Bilgiler	3
2.1.1 Yatık Toz Torbalı Süpürge ve Çalışma Prensibi	3
2.1.2 Süpürgenin Teknik Özellikleri	4
2.1.2.1 Nominal Motor Giriş Gücü	5
2.1.2.2 Emiş Gücü	5
2.1.2.3 Ses Gücü Düzeyi	6
2.1.2.4 Enerji Etiketleme.....	7
2.1.2.5 Elektrikli Süpürge Verimi	10
2.1.3 Süpürgede Emiş Gücünü Etkileyen Komponentler	11
2.1.3.1 İzolasyon ve Filtrasyon Sistemi	11
2.1.3.2 Toz Torbası.....	13
2.1.3.3 Motor Giriş Filtresi	14
2.1.3.4 Motor Filtresi	15
2.1.3.5 Keçe.....	15

2.1.3.6	Hepa Filtre	16
2.1.3.7	Arka Kapak Filtresi.....	18
2.1.3.8	Salyangoz Yapı	18
2.1.3.9	Motor	18
2.2	Makale Araştırması.....	20
BÖLÜM 3		
TEORİK ARAŞTIRMALAR		26
3.1	Sınır Tabaka	26
3.2	Sınır Tabaka Ayrılması.....	26
3.3	Sekonder Akımlar	27
BÖLÜM 4		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR		28
4.1	Deney Prototipi ve Parçaları	28
4.1.1	Motor.....	28
4.1.2	Alt ve Üst Titreşim Sönümleyici Contalar	30
4.1.2.1	Alt Conta	30
4.1.2.2	Üst Conta	31
4.1.3	Motor Çevre Süngeri	32
4.1.4	Baza	33
4.1.5	Üst Kapak	34
4.2	Performans Ölçüm Deney Düzeneği ve Deneyin Gerçekleştirilmesi	35
4.2.1	Deney Teçhizatları	35
4.2.1.1	Dijital Mikro Manometre.....	36
4.2.1.2	Vakum Alanı.....	36
4.2.1.3	Orifis Çapları	37
4.2.2	Performans Ölçüm Deneylerinin Gerçekleştirilmesi	37
4.2.2.1	Tekil Motor Performans Ölçümü Deneyi	38
4.2.2.2	Süpürge Performans Ölçümü Deneyi.....	39
4.2.3	Deneylerin Okunması	40
4.3	PIV (Partikül Hız Dağılımı Görselleştirme) Deney Düzeneği ve Deneylerin Yapılışı	42
4.4	Basınç Ölçümü Deney Düzeneği ve Deneyin Yapılışı.....	45
BÖLÜM 5		
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER		47
5.1	Sonuçlar	47
5.1.1	Performans Deneyleri Sonuçları	47
5.1.2	Basınç Ölçümü Sonuçları	53
5.1.3	PIV (Partikül Hız Dağılımı Görselleştirme) Deneyi Sonuçları	55
5.1.3.1	Hız Dağılımları	56
5.2	Değerlendirmeler	60
KAYNAKLAR		62

ÖZGEÇMİŞ	64
----------------	----



SİMGE LİSTESİ

A_c veya A_{hf}	Yüzey Alanı
AE_{gp}	Yıllık Enerji Tüketimi
ASE_c	Halı Testi Sırasındaki Ortalama Özgül Enerji
ASE_{hf}	Sert Zemin Testi Sırasındaki Ortalama Özgül Enerji
d_0	Orifis Çapı
dB	Ses Basınç Seviyesi Desibel
dpu_c	Sert Zemin Üzerindeki Toz Toplama Değeri
dpu_c	Halı Üzerindeki Toz Toplama Değeri
dpu_{hf}	Sert Zemin Üzerindeki Toz Toplama Değeri
dpu_{hf}	Halı Üzerindeki Toz Toplama Değeri
E_c veya A_{hf}	Tekrar Tam Şarjlı Hale Gelmesi İçin Gerekli Olan Elektrik Tüketimi
h	Basınç Değeri
Hz	Frekans
L	Litre
P_c	Temizleme Kafasının Merkezinin Test Alanı Üzerinde Hareket Ettiği Bir Temizleme Çevrimi Sırasındaki Ortalama Güç Değeri
NP_c	Eğer Varsa Elektrikli Süpürge'deki Pille Çalışan Aktif Uçların Ortalama Güç Değeri
NP_{hf}	Eğer Varsa Elektrikli Süpürge'deki Pille Çalışan Aktif Uçların Ortalama Güç Değeri
P_{hf}	Temizleme Kafasının Merkezinin Test Alanı Üzerinde Hareket Ettiği Bir Temizleme Çevrimi Sırasındaki Ortalama Güç Değeri
Pa	Pascal
P_2	Emiş Gücü
P_1	Giriş Gücü (Nominal Güç)
s	Orifis Kalınlığı

s	Saniye
t_{bat_c}	Temizleme Çevrimindeki Toplam Süre
$t_{c \text{ veya } hf}$	Temizleme Çevrimindeki Toplam Süre
u	Hız
V	Hız Vektörü
a	Orifis Sabiti
η	Verim
W	Watt Cinsinden Güç Değeri



KISALTMA LİSTESİ

EU	Avrupa Birliği
HEPA	Yüksek Etkinlikte Partikül Yakalayıcı
PPI	1 inç 'teki gözenek sayısı
PIV	Partikül Hız Dağılımı Görselleştirme
SLS	Seçimli Lazer Sinterleme
ULPA	Ultra Yüksek Etkinlikte Partikül Yakalayıcı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Yatık Toz Torbalı Elektrikli Süpürge Hava Akış Patikası	3
Şekil 2.2	Emiş Gücü-Ses Gücü Düzeyine Göre Pazardaki Bazı Ürünlerin Karşılaştırılması	6
Şekil 2.3	23 Ülkede 28000 Kişinin Katıldığı Electrolux Anket Sonuçlarına Göre Bir Elektrikli Süpürge Alınırken Dikkat Edilen Kriterler-Dünya’da	10
Şekil 2.4	23 Ülkede 28000 Kişinin Katıldığı Electrolux Anket Sonuçlarına Göre Bir Elektrikli Süpürgede Kullanıcıları En Çok Rahatsız Eden Faktörler-Dünya’da	11
Şekil 2.5	Tipik Bir Toz Torbalı Elektrikli Süpürge Filtre Sistemi.....	12
Şekil 2.6	Toz Torbalı Yatık Süpürge Sentetik Toz Torbası	14
Şekil 2.7	Toz Torbalı Yatık Süpürge Salyangoz Keçeleri.....	16
Şekil 2.8	Hepa filtre kesit resmi	17
Şekil 2.9	Bir Toz Torbalı Yatık Süpürge Motoru ve Kesit Görüntüsü.....	19
Şekil 2.10	(a) Basınç Ölçümleri için Salyangoz Duvarında Açılan Delikler ve Ölçüm Amaçlı Statik Basınç Ölçen Sondaların Dikey Kesitte Gösterimi. (b) Ölçüm Noktalarının Salyangoz Yapı Üzerindeki Yatay Gösterimi ve Numaralandırılması.	22
Şekil 3.1	Eğimli Bir Yüzey Üzerindeki Akışın Sınır Tabaka Ayrılması	27
Şekil 4.1	Süpürge Prototipi Motoru	29
Şekil 4.2	Süpürge Prototipi Motorunun “mm” Cinsinden Ölçüleri.....	29
Şekil 4.3	Alt Contanın “mm” Cinsinden Ölçüleri	30
Şekil 4.4	Alt Conta ve Motora Monte Edilmiş Şekilde Resimleri	31
Şekil 4.5	Üst Contanın “mm” Cinsinden Ölçüleri	31
Şekil 4.6	Üst Conta ve Motora Monte Edilmiş Şekilde Resimleri	32
Şekil 4.7	Motor Çevre Süngeri	33
Şekil 4.8	Baza Tasarım Resmi ve Alt Conta, Motor ve Üst Contanın Baza Üzerinde Yerleşimi	33
Şekil 4.9	Baza “mm” Cinsinden Ölçüler	34
Şekil 4.10	Üst Kapak Yerleştirilmiş Şekilde Prototipin Görünümü.....	35
Şekil 4.11	Furness Control FCO510 Dijital Mikro Manometre	36
Şekil 4.12	Vakum Alanı Şematik Resmi ve Uygulama Örneği	36
Şekil 4.13	Orifis Kesit Resmi.....	37
Şekil 4.14	Tekil Motor Performans Ölçümü Deney Düzeneği	38
Şekil 4.15	Tekil Motor Performans Ölçüm Deneyi Motor-Emiş Ağzı Bağlantısı	39
Şekil 4.16	Süpürge Performans Ölçümü Deney Düzeneği	39

Şekil 4.17	Süpürge Ölçüm Deneyi Motor-Emiş Ağız Bağlantısı	40
Şekil 4.18	Tipik Bir PIV Düzeneginin Şeması	42
Şekil 4.19	PIV Deney Düzenegi Süpürge Prototipi Üzerinde Ölçüm Yapılan Kesitler ...	43
Şekil 4.20	PIV Deney Düzenegi	44
Şekil 4.21	Süpürge Prototipi Kamera Görüş Alanı	44
Şekil 4.22	Basınç Ölçüm Delikleri Konumu ve Ölçülendirilmeleri.....	45
Şekil 4.23	Basınç Ölçüm Delikleri	46
Şekil 4.24	Basınç Ölçüm Deliği Kesit Resmi	46
Şekil 5.1	900 W Tekil Motor Performans Grafiği	48
Şekil 5.2	900 W Süpürge ve Tekil Motor Emiş Gücü Karşılaştırması.....	50
Şekil 5.3	700 W Süpürge ve Tekil Motor Emiş Gücü Karşılaştırması.....	52
Şekil 5.4	900 W Nominal Güçte “A”, “B” ve “C” Sıralarında Delik Konumlarına Göre Pascal Cinsinden Basınç Dağılımı	53
Şekil 5.5	900 W Nominal Güçte Basınç Dağılımının Kontur Gösterimi	54
Şekil 5.6	700 W Nominal Güçte Basınç Dağılımının Kontur Gösterimi	55
Şekil 5.7	(a) Salyangoz İç Kısımda K-1 Kesitindeki Ortalama Hız Dağılımı Görseli ve (b) Salyangoz Yapı İçerisinde Ölçüm Alınan Alan	56
Şekil 5.8	(a) 900 W, (b) 700 W K-1 Kesiti Vektör Hız Dağılımı	57
Şekil 5.9	(a) 900 W, (b) 700 W K-2 Kesiti Vektör Hız Dağılımı	57
Şekil 5.10	(a) 900 W, (b) 700 W K-3 Kesiti Vektör Hız Dağılımı	58
Şekil 5.11	(a) 900 W, (b) 700 W K-4 Kesiti Vektör Hız Dağılımı	59
Şekil 5.12	(a) 900 W, (b) 700 W K-5 Kesiti Vektör Hız Dağılımı.....	59

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Enerji Verimliliği Sınıfları9
Çizelge 2. 2	Halıda ve Sert Zeminde Toz Toplama Sınıfları.....9
Çizelge 2. 3	Toz Atma Sınıfları10
Çizelge 4. 1	Orifis Çapları Tablosu37
Çizelge 5. 1	Farklı Orifis Çaplarında 900 W Tekil Motor Performans Değerleri47
Çizelge 5. 2	Farklı Orifis Çaplarında 900 W Süpürge Performans Değerleri.....49
Çizelge 5. 3	Farklı Orifis Çaplarında 700 W Tekil Motor Performans Değerleri51
Çizelge 5. 4	Farklı Orifis Çaplarında 700 W Süpürge Performans Değerleri.....52

SÜPÜRGEDE HAVA HAREKETLERİNİN DENEYSEL İNCELEMESİ

Emirhan ERDİL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali PINARBAŞI

Enerji tüketen tüm cihazlarda olduğu gibi süpürgelerde de son yıllarda verimli kullanım ve enerji tüketiminin azaltılması amacıyla performans arttırıcı çalışmalar yapılmaktadır. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi tarafından 2010 yılında süpürgeler için yıllık enerji tüketimine bağlı enerji sınıfları belirlenmiştir. Enerji regülasyonlarıyla birlikte yıllık enerji tüketimini düşürmek amacıyla süpürgelerde kullanılan motorların nominal güçlerine sınır getirilmektedir. Dolayısıyla sınırlı nominal gücü olan bir süpürgeciğin emiş gücünün ve enerji verimliliğinin en üst düzeyde olması gerekmektedir. Süpürgeciğin enerji verimliliği fırça genişliği, motor gücü, filtrasyon sistemi ve hava akış patikasına bağlıdır. Süpürgeciğin motorunun, nominal gücüne ve verimine bağlı olarak sağladığı emiş gücü, filtrasyon sistemi ve hava akış patikası boyunca oluşan türbülanslı akışlar dolayısıyla azalır. Filtrasyon sistemi seçime bağlı bir kriter olduğundan dolayı hava akış patikasını akışkanlar dinamiği açısından optimize etme gereksinimi doğmaktadır.

Bu çalışmada tasarım aşamasında olan bir süpürgeciğin, motor bölümünden sonra havanın takip ettiği salyangoz yapılı çıkış bölümü prototipi üretilerek, yapı içerisindeki hava hareketleri uluslararası standartlara göre yapılan performans ölçümleri sonucunda basınç ölçümü ve hız partikülü görselleştirme deneyleri ile incelenmiş ve tasarıma yönelik çıktılar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Süpürge, emiş gücü, salyangoz yapı, türbülanslı akış, debi, basınç

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EXPERIMENTAL STUDY OF AIR FLOW IN VACUUM CLEANERS

Emirhan ERDİL

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Ali PINARBAŞI

In recent years performance enhancing studies are carrying out for efficient using and reducing energy consumption as with all devices energy consuming. Energy classes related to annual energy consumption are defined by European Union Parliament and Council in 2010. Nominal power of vacuum cleaner motor is limited with this energy regulations for reducing energy consumption therefore suction power and energy efficiency of limited power vacuum cleaner must be at the highest level. Energy efficiency of vacuum cleaner is related on nozzle-brush width, nominal power of motor, filtration system and air flow path. Suction power ensured by vacuum cleaner motor decreases while transiting through filtration elements and turbulence flow along the air flow path. Therefore air flow path should be optimized according to fluid dynamics rules.

In this thesis, volute structured vacuum cleaner part is produced as prototype which is piece of the design phase vacuum cleaner. Air flow in the vacuum cleaner part is analyzed by performance measurements which are according to international vacuum cleaner test standarts. Subsequently pressure measurements and particul image velocimetry (PIV) experiments is done at ARÇELİK A.Ş. R&D Laboratories. Finally according to obtained results, recommendations for designing vacuum cleaner is presented.

Keywords: Vacuum cleaner, suction power, volute, turbulent flow, pressure, PIV



1.1 Literatür Özeti

Enerji tüketen tüm cihazlarda olduğu gibi süpürgelerde de son yıllarda verimli kullanım ve enerji tüketiminin azaltılması amacıyla performans artırıcı çalışmalar yapılmaktadır. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi tarafından 2010 yılında süpürgeler için yıllık enerji tüketimine bağlı enerji sınıfları belirlenmiştir. Süpürge enerji verimliliği fırça genişliği, motor gücü, filtrasyon sistemi ve hava akış patikasına bağlıdır. Süpürge motorunun, nominal gücüne ve verimine bağlı olarak sağladığı emiş gücü, filtrasyon sistemi ve hava akış patikası boyunca oluşan türbülanslı akışlar dolayısıyla azalır. Filtrasyon sistemi seçime bağlı bir kriter olduğundan dolayı hava akış patikasını akışkanlar dinamiği açısından optimize etme gereksinimi doğmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı; tasarım aşamasında olan bir süpürge, hava akış patikasında motordan sonra gelen mekanik olarak salyangoz yapısına sahip olan çıkış bölgesindeki hava hareketlerini deneysel olarak incelemek ve tasarım iyileştirmelerine yönelik tasarım çıktıları sağlamaktır.

Bu amaçla prototipi alınan salyangoz yapı çıkış bölümünün emiş gücünü ne kadar azalttığını görmek amacıyla uluslararası standartlara uygun şekilde performans ölçümü, yapı boyunca oluşan basınç dağılımını görmek amacıyla yapının duvarlarında statik basınç ölçümü ve salyangoz yapı dil bölgesinden sonraki türbülanslı hava hareketlerini görmek amacıyla partikül hız dağılımı görselleştirme (PIV) deneyleri yapılmıştır.

1.3 Hipotez

Süpürge motoru üzerine salyangoz yapılı çıkış bölümü prototipi eklenerek hava akış patikası oluşturulduğunda, emiş gücü azalmaktadır. Emiş gücü azalması, hava akış patikasındaki türbülanslı akış ve buna bağlı enerji kayıpları dolayısıyla gerçekleşmektedir.

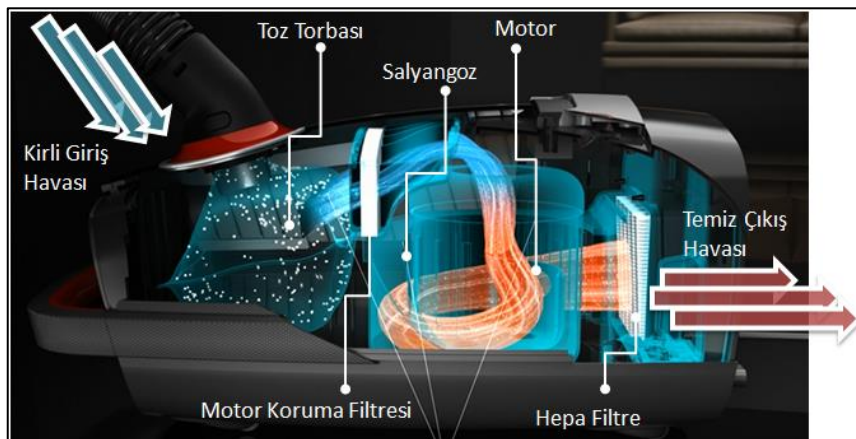


LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Genel Bilgiler

2.1.1 Yatık Toz Torbalı Süpürge ve Çalışma Prensibi

Ev ve benzeri alanlarda kullanılan yatık toz torbalı süpürge, genel anlamıyla ana gövde üzerinde konumlandırılan motorun çalışmasıyla elde ettiği, emiş ve buna bağlı vakum etkisiyle, bir fırça vasıtasıyla belirli yüzey alanındaki toz partiküllerinin bir hacim içerisinde hareketlendirilerek toz torbasında toplanması amacıyla tasarlanmış kullanıcı esaslı bir küçük ev aleti olarak da ifade edilebilir.



Şekil 2. 1 Yatık Toz Torbalı Elektrikli Süpürge Hava Akış Patikası [1]

Yatık toz torbalı süpürge terimi, süpürge ana gövde hareketinin yatay düzlemde olduğunu ve bağımsız toz torbasına sahip olduğunu belirtir. Yatık toz torbalı süpürge genel olarak ana gövde, fırça ve hortumdan oluşan bir yapıya olduğu görülse de detaylandırıldığında birçok parça ve komponentten oluştuğu görülmektedir. Bu komponent ve parçaların birbirleriyle olan ilişkisi, ürünün efektif ve doğru tasarımını oluştururken süpürge tanımında göz önüne alınması gereken değerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrikli süpürgeyi fişe takıp düğmesine bastığınız anda aşağıdaki işlemler sırayla gerçekleşir.

- Elektrik akımı motoru çalıştırır. Motor miline bağlı olan fan pervaneleri, motor milinin dönmesiyle birlikte dönmeye başlar,
- Fan pervanelerinin dönmesi ile hava egzoz çıkışına doğru itilir,
- Hava partiküllerinin itilmesiyle birlikte fanın önündeki partikül yoğunluğu ve hava basıncı artarken fanın arkasında azalır,
- Fanın arka tarafındaki düşük basınçtan dolayı emme kuvveti oluşur.

Fan, süpürge içinde bulunan vakum odasına sızdırmaz bir şekilde bağlıdır. Vakum odasına bağlı emiş adaptörü yardımı ile vakum, hortum ve borunun ucuna kadar gelmektedir. Hava, fırça (veya aksesuar), sonrasında uzatma borusu ve hortumdan toz torbasına girer. Toz partikülleri, toz torbasında kalırken hava, toz torbası ve filtre vasıtasıyla süzülerek motor üzerinden geçer ve sonrasında dışarıya atılır. Genel olarak yatık toz torbalı süpürgelerin çalışma prensipleri bu şekildedir [1].

2.1.2 Süpürge Teknik Özellikleri

Teknik özellikler, yatık toz torbalı süpürge tasarım süreci başlamadan önce, ürünün pazarda konumlanacağı yer ve hedef alınan kitlenin beklenti ve gereksinimleri doğrultusunda tanımlanan detaylı ürün özellikleridir. Bu özellikler tasarımda uygun kriter ve komponent seçiminde etkin rol alan detaylardır.

Teknik özelliklere bağlı kalınarak başlatılacak ürün tasarımı ile birlikte ileride belirsiz koşul ve kontrol edilemeyen maliyetlerin en aza indirilmesi açısından kullanılan detaylı bilgi kaynağını temsil eder. Süreç içerisinde doğru atılacak adım ve doğru tedarikçi

seçimini tetikleyecek bu özellikler, zaman planlı proje sürecinde, olumsuz nitelikteki faktörlerin elimine edilmesini sağlayacaktır [1].

2.1.2.1 Nominal Motor Giriş Gücü

Ürün emiş gücünü etkileyen ve ürünün şebekeden çektiği enerjiyi belirleyen bir parametredir. Nominal güç, motor ve sistem veriminin de hesaba katılmasıyla emiş gücünü belirlemektedir. Yatık toz torbalı süpürge için seri kuru tip motor (through-flow) tercih edilmektedir. Güçleri 600-2400 Watt arasında değişen bu motorların devirleri ise 12000-25000 dev/dk değerlerini almaktadır [1].

2.1.2.2 Emiş Gücü

Bir elektrikli süpürge'nin temizlik performansı, emiş gücü ile doğrudan orantılıdır. Emiş gücü, süpürge'nin tozu ve kiri ne verimlilikte çekebildiğini belirtir. Süpürge'nin ne kadar güçlü olduğu, tek geçişte istenilen bölgeyi temizleyebilmesi, büyük taneli kirleri çekebilmesi gibi özellikler emiş gücü ile doğrudan ilgili olan özelliklerdir.

Bir elektrikli süpürge'nin gücü genellikle içerisindeki vakum motorunun Watt değeri ile ölçülür. Vakum motorunun gücü ne kadar çok ise, elektrikli süpürge'nin o kadar etkili olduğu düşünülür. Bu görüş aslında tam olarak yanlış değildir. Ancak bir süpürge'nin temizlik kabiliyeti ile ilgili tam olarak bilgi vermez [1].

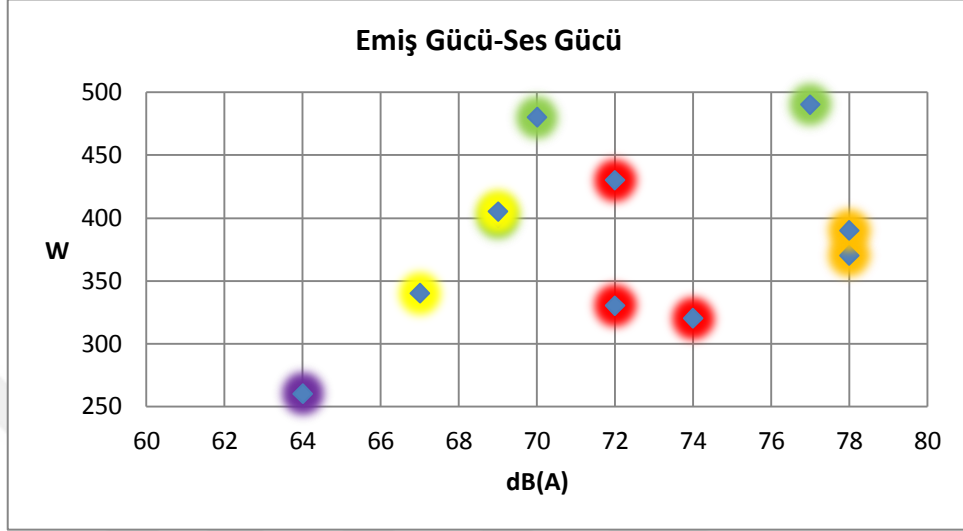
Elektrikli süpürgelerin temizlik kabiliyetinin asıl göstergesi, vakum motorunun gücünü ne kadar etkili bir şekilde emiş gücüne çevirdiğidir. Yani elektrikli süpürge'nin parke halı fırçasındaki emiş gücü, bize gerçek bir bilgi verir. Yani makinenin ne kadar elektrik tükettiği değil, ne kadar havayı çekebildiği önemlidir.

Elektrikli süpürgelerin emiş gücünü hep en üst düzeyde tutmak için filtrelerin ve toz torbalarının belirli aralıklar ile değiştirilmesi gerekmektedir. Kullanım ömrünü doldurmuş ve tıkanmış filtreler emiş gücünde düşüşe sebep olacağından makinenin temizlik kabiliyetini düşürür.

Emiş gücüne etki eden parametreler;

- Motor gücü
- Kullanılan filtrasyon ve izolasyon sistemi (sünger, keçe, HEPA filtre, toz torbası...)

- Oluşturulan hava akış patikası
- Sızdırmaz-mükemmel tasarımı plastik parçaların birleşimleri
- Parke-Halı Fırça grubu (hortum, fırça, teleskobik boru)



Şekil 2. 2 Emiş Gücü-Ses Gücü Düzeyine Göre Pazardaki Bazı Ürünlerin Karşılaştırılması

Şekil 2.2 'de deklere edilen değerler temel alınarak farklı firmaların emiş gücü-ses gücü grafiği oluşturulmuştur. Bakıldığında emiş gücü yüksek olan ürünün ses gücü değerinin, emiş gücü düşük olan ürüne göre daha sessiz olduğu görülebilmektedir. Dolayısıyla bu parametreler arasında lineer bir ifade belirtmek yanlış olacaktır. Aynı zamanda nominal gücü düşük olan süpürgeler doğru tasarım ile nominal gücü fazla olan bir süpürgeye daha iyi emiş sağlayabilir. Bu sebeplerden ötürü ses gücü ve emiş gücü açısından en uygun sistemin uygun hava akış patikası tasarımıyla sağlanabileceği sonucu görülmektedir [1].

2.1.2.3 Ses Gücü Düzeyi

Ses, kulak tarafından algılanabilen hava, su ya da benzeri bir ortamdaki basınç değişimi olarak ifade edilir. Ses, kulak zarıyla temasta bulunan havanın basıncının değişmesiyle algılandığından, bir ses kaynağının ses gücünden daha çok, belli bir noktada yarattığı ses basıncı önemlidir.

Ses düzeyi, ses basıncı düzeyinin belli bir eğriye göre ağırlıklı olarak bulunmuş halidir. Karmaşık seslerin ses yüksekliğini tek bir değerle ifade etmek için kullanılır. Kulağın

duyarlılığı ile orantılı ağırlıklar kullanılır. A, B ve C ağırlık eğrileri vardır. İnsan kulağının frekansa bağlı olarak sese olan duyarlılığını en iyi A ağırlık eğrisi temsil eder.

Sesin iki temel karakteristiği frekans ve şiddettir. Frekans birim zamanki titreşim sayısı olup, birimi Hz 'dir. Bütün titreşimler kulak tarafından duyulmaz. İnsan kulağı 20 Hz ile 20.000 Hz 'lik frekans aralığında sesleri duyar. Kulağın en duyarlı olduğu frekans aralığı 1.000-4.000 Hz arasındır. Ses basınç seviyesi birimi desibeldir ve dB simgesi ile gösterilir. dB bir ses değerlendirme birimidir. Ses seviyesinin birimi, kullanılan ağırlık eğrisine göre dB(A), dB(B) ya da dB(C)'dir. dB(A) insan kulağının en duyarlı olduğu orta ve yüksek frekansların özellikle vurgulandığı bir ses değerlendirme birimidir.

Kullanıcı beklentisi olarak tasarım aşamasında ses gücü düzeyi, ürünün maksimum emiş gücünde çalıştırılması esnasında kullanıcı üzerinde bırakacağı izlenime bağlıdır. Çünkü ses nesnel bir durumdur. Fakat gürültü öznel bir yargı niteliği taşıdığından kullanıcı için doğru ses gücü düzeyi belirlenmesi için kullanıcı deneyimleme ya da bazı testler uygulanır.

Yatık toz torbalı süpürgelerde ses gücü düzeyi, pazarda yerini alan farklı firmaların ürünleri içerisinde kullanıcı adına en sessiz süpürge olarak nitelendirilecek süpürge 59 dB(A) düzeyindedir [1].

2.1.2.4 Enerji Etiketleme

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 19 Mayıs 2010 tarihli, enerji ile ilgili ürünlerin enerji ve diğer kaynakları tüketimi hakkında etiketleme ve standart ürün bilgisi ile belirtme hakkındaki 2010/30/EU Direktifi ve özellikle 11. Maddesi göz önüne alınarak, elektrikli süpürgeler için enerji sınıfları belirlenmiştir. Enerji verimliliği, tasarımı gerçekleştirilen ya da kullanılan komponentlere bağlı olduğundan, bu etkenleri sıralamak gerekirse;

- Fırça Genişliği
- Motor gücü
- Filtrasyon sistemidir.

Bu etkenlere bağı olarak bir yatık toz torbalı süpürge nin yıllık enerji tüketimine göre enerji sınıfı belirlenir. Buna bağı olarak, bir yatık toz torbalı süpürge nin yıllık enerji tüketimi;

$$AE_{gp} = 8,7 * ASE_c * \left(\frac{1-0,20}{dpu_c-0,20} \right) + 8,7 * ASE_{hf} * \left(\frac{1-0,20}{dpu_{hf}-0,20} \right) \quad (2.1)$$

Bu formülde;

- AE_{gp} : Yıllık Enerji Tüketimi
- $ASE_c \left(\frac{Wh}{m^2} \right)$: Halı testi sırasındaki ortalama özgül enerji
- ASE_{hf} : Sert zemin testi sırasındaki ortalama özgül enerji
- dpu_c : Halı üzerindeki toz toplama değeri
- dpu_{hf} : Sert zemin üzerindeki toz toplama değeri

olarak ifade edilmektedir.

(2.1) eşitliğinde ASE_c değeri;

$$ASE_{c \text{ veya } hf} = \frac{(P_{c \text{ veya } hf} + NP_{c \text{ veya } hf}) * t_{c \text{ veya } hf}}{A_{c \text{ veya } hf}} \quad (2.2)$$

formülü ile hesaplanır. Aynı durum ‘c’ alt simgesi ‘hf’ olarak değiştirilerek ASE_{hf} değeri de elde edilir.

Burada;

- $P_{c \text{ veya } hf}(W)$: Temizleme kafasının merkezinin test alanı üzerinde hareket ettiği bir temizleme çevrimi sırasındaki ortalama güç değeri,
- $NP_{c \text{ veya } hf}(W)$: Eğer varsa elektrikli süpürge deki pille çalışan aktif uçların ortalama güç değeridir ve aşağıdaki formülasyon ile hesaplanır;

$$NP_{c \text{ veya } hf} = \frac{E_{c \text{ veya } hf}}{t_{bat_{c \text{ veya } hf}}} \quad (2.3)$$

- $E_{c \text{ veya } hf}(Wh)$: Temizlik çevrimi sonrası, bir elektrikli süpürge pille çalışan aktif ucunun başlamadan önde tam şarjlı olduğu halden tekrar tam şarjlı hale gelmesi için gerekli olan elektrik tüketimi

- t_{bat_c} veya t_{hf} : Elektrikli süpürge'nin pille çalışan aktif ucunun üreticinin yönergeleri doğrultusunda çalışır halde olduğu bir temizleme çevrimindeki toplam süre
- t_c veya $t_{hf}(h)$: Temizleme kafasının merkezinin test alanı üzerinde, temizleme kafasının yan, ön ve arka kenarları arasında bir orta noktada hareket ettirildiği bir temizleme çevrimindeki toplam süre
- A_c veya $A_{hf}(m^2)$: Temizleme çevrimi sırasında temizleme kafası tarafından üzerinden geçen, kafa genişliği ve test alanının uygun uzunluğunun çarpımının 10 katı olarak hesaplanan yüzey alanı
- dpu_c ve dpu_{hf} : Halı üzerindeki toz toplama değerleri

yapılacak standart testler dahilinde elde edilen değerlerdir.

Yıllık enerji tüketimine ve yapılan halı/sert zemin üzerindeki toz toplama/atma değerleri aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir. Bu tablolar dikkate alınarak tasarımı gerçekleştirilen ürünler için sınıflandırma yapılır. [2]

Çizelge 2. 1 Enerji Verimliliği Sınıfları [2]

Enerji Verimliliği Sınıfı	Yıllık Enerji Tüketimi (AE) [kWh/yıl]	
	2014	2017
A+++	Yok	$AE < 10,0$
A++	Yok	$10,0 < AE < 16,0$
A+	Yok	$16,0 < AE < 22,0$
A	$AE < 28,0$	$22,0 < AE < 28,0$
B	$28,0 < AE < 34,0$	$28,0 < AE < 34,0$
C	$34,0 < AE < 40,0$	$34,0 < AE < 40,0$
D	$40,0 < AE < 46,0$	$AE > 40,0$
E	$46,0 < AE < 52,0$	Yok
F	$52,0 < AE < 58,0$	Yok
G	$AE > 58,0$	Yok

Çizelge 2. 2 Halıda ve Sert Zeminde Toz Toplama Sınıfları [2]

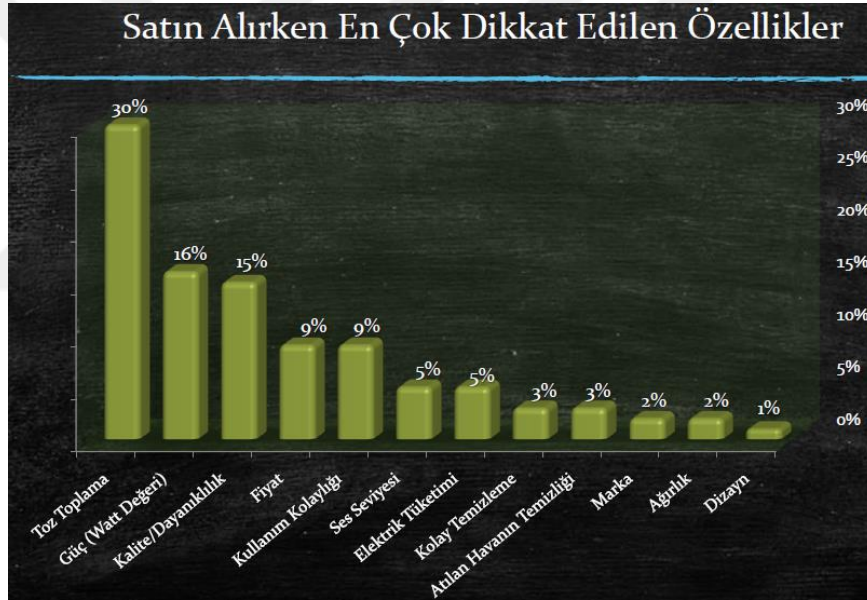
Temizleme Performansı Sınıfı	Halıda Toz Toplama (dpu_c)	Sert Zeminde Toz Toplama (dpu_{hf})
A	$dpu_c > 0,91$	$dpu_{hf} > 1,11$
B	$0,87 < dpu_c < 0,91$	$1,08 < dpu_{hf} < 1,11$
C	$0,83 < dpu_c < 0,87$	$1,05 < dpu_{hf} < 1,08$
D	$0,79 < dpu_c < 0,83$	$1,02 < dpu_{hf} < 1,05$
E	$0,75 < dpu_c < 0,79$	$0,99 < dpu_{hf} < 1,02$
F	$0,71 < dpu_c < 0,75$	$0,96 < dpu_{hf} < 0,99$
G	$dpu_c < 0,71$	$dpu_{hf} < 0,96$

Çizelge 2. 3 Toz Atma Sınıfları [2]

Toz Atma Sınıfı	Toz Atma (dre)
A	$dre < 0,02 \%$
B	$0,02 \% < dre < 0,08 \%$
C	$0,08 \% < dre < 0,20 \%$
D	$0,20 \% < dre < 0,35 \%$
E	$0,35 \% < dre < 0,60 \%$
F	$0,60 \% < dre < 1,00 \%$
G	$dre > 1,00 \%$

2.1.2.5 Elektrikli Süpürge Verimi

Kullanıcıların elektrikli süpürge alırken dikkat ettiği hususlar ülkeden ülkeye kullanıcı alışkanlıklarına göre değişmektedir. Tüm Dünya çapındaki genel veriler ise yine aynı anket sonuçlarına göre aşağıdaki gibi şekillenmektedir.

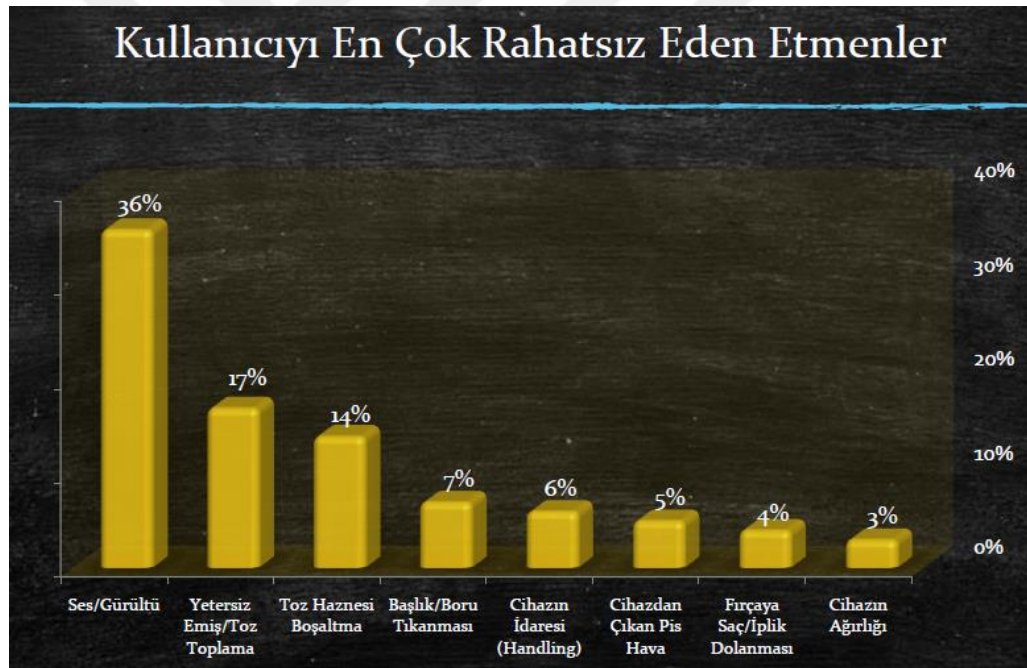


Şekil 2. 3 23 Ülkede 28000 Kişinin Katıldığı Electrolux Anket Sonuçlarına Göre Bir Elektrikli Süpürge Alınırken Dikkat Edilen Kriterler-Dünya’da (Ekim 2013) [1]

Toz toplama, kullanıcılar tarafından en çok değer gören kıstas olarak öne çıkmaktadır. Teknik terminolojide buna emiş gücü denilir. Diğer yandan ilginç olan aslında güç değerine göre tercih belirtenlerinde aslında bunu bir toz toplama parametresi olarak dikkat etmesi ve aslında üründen bu yönde bir performans beklentisi olduğunu gösterir. Enerji tüketimi ise müşteri enerji tüketim maliyetlerinin en aza indirmesi gerekliliğinden doğmaktadır. Görüldüğü üzere bu üç tercih nedeni aslında kullanıcının bir elektrik süpürgesinden gerçekten ne istediğini ortaya koymaktadır. Az enerji

tüketimiyle maksimum toz toplama-emiş gücü performansı. Bu yönüyle değerlendirildiğinde “Ürün Sistem Verimi” elektrikli süpürge tasarımı açısından en önemli konu olduğu söylenebilir. Bu verim ancak uygun analitik mühendislik bakış açısıyla elde edilebilecek bir yaklaşımdır. Verimi sağlayan unsur ise uygun hava akış patikası tasarımında yatmaktadır. Bu sistemin tasarımı ise ses gücü düzeyini de optimize edeceği için bu çalışmanın kritikliği ürün kalbini oluşturan ve kullanıcıların toplamda %56’lık tercihini iyileştirmeyi sağlayacak bir tasarımı içermektedir.

Diğer bir başlıkta değerlendirmek istediğimizde ise yine hava akış patikasından doğrudan etkilenen ve kullanıcıların süpürme faaliyetini gerçekleştirirken en çok rahatsız eden olgular %55 ile ses gürültü ve yetersiz emiş/toz toplama olarak görülmektedir [1].



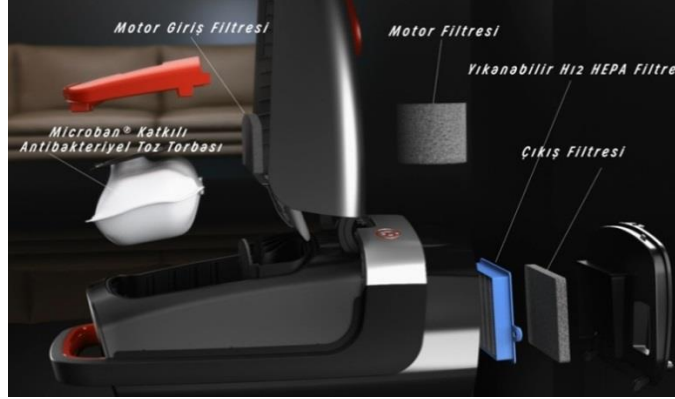
Şekil 2. 4 23 Ülkede 28000 Kişinin Katıldığı Electrolux Anket Sonuçlarına Göre Bir Elektrikli Süpürgede Kullanıcıları En Çok Rahatsız Eden Faktörler-Dünya’da (Ekim 2013) [1]

2.1.3 Süpürgede Emiş Gücünü Etkileyen Komponentler

2.1.3.1 İzolasyon ve Filtrasyon Sistemi

İzolasyon ve filtrasyon sistemi ile hava akış patikası üzerinde konumlandırılan çeşitli filtrasyon yapıları, hava içerisinde mevcut olan toz partiküllerini ayrıştırma

bölümleridir. Diğer bir deyişle, süpürge içerisinde konumlandırılan motorun oluşturduğu alçak basınç alanı ile yönlendirilen havanın içerisindeki tozlar, akış patikasında bulunan filtrasyon sisteminde tutulur [1].



Şekil 2. 5 Tipik Bir Toz Torbalı Elektrikli Süpürge Filtre Sistemi [1]

Örneğin, yatık toz torbalı süpürgelerde hava akış patikası üzerindeki ilk filtrasyon sistemi olarak göze çarpan, toz torbasıdır. Toz torbasından sonra motor hava giriş ağzındaki filtre, motor koruma filtresi diye tanımlanır ve motorun ömrü ve verimliliğini azaltıcı etmenlerin önüne geçer. Toz torbasından geçme ihtimali olan veya herhangi bir nedenle delinen toz torbasından kaçan tüm ev tozu, motor koruma filtresi tarafından bloke edilir. Havanın çıkış ağzında konumlandırılan hava çıkış filtresi ya da HEPA filtre ile vakum edilen ortam havası içerisindeki partiküllerin minimum seviyede kalması hedeflenir. Bakıldığında havanın birçok filtrasyon sisteminden geçmesi insan sağlığına zarar verebilecek parçacıkların ortadan kaldırılmasına yardımcı olurken, diğer bir yandan da ses seviyesini azaltıcı etkisi de bulunmaktadır. Filtrasyon ve izolasyon amaçlı kullanılan bütün komponentler emiş gücü üzerinde olumsuz etki yaratacağından, optimum noktada sistem tasarımına gidilerek ses, hijyen ve emiş gücü performansı ortak bir doğrultuda hedeflenmelidir.

Tasarım sürecinde süpürge içerisinde herhangi bir yapı üzerinde olumsuz etkisi olan toz partikülleri ile oluşacak kullanıcı memnuniyetsizliğini en aza indirmek hedefiyle çeşitli amaçlara hizmet eden filtrasyon elemanları kullanılmaktadır. Bu filtrasyon elemanları devam eden konularda amaçları doğrultusunda farklı kategorilere ayrılmış ve tanımları detaylandırılmıştır.

Genel olarak filtrasyon elemanlarının malzemesi olan süngerler; poliüretan ester ve eter bazlı süngerlerin üretimi sonrasında retiküle edilerek tüm kapalı gözeneklerin açılması suretiyle üretilirler. Havanın filtre edilmesinde son derece başarılı olan süngerlerin homojen gözenek yapıları sayesinde filtre işlevini en iyi şekilde yerine getirirler. Filtre edilecek partiküllerin tane boyutlarına göre farklı gözenek seçenekleri mevcuttur. 10PPI - 120PPI (PPI:1 inç 'teki gözenek sayısı) arasındaki farklı hücre tiplerine göre adlandırılırlar. Filtrelik süngerlerde aranan başlıca özellikler gözenek kontrollü olmaları ve gözeneklerin açık olması şeklinde sıralanabilir.

Gözenek kontrollü olmaları; süngerlerin gözenek büyüklükleri, filtre edecekleri parçacıkların büyüklüğüne göre üretilmeli ve bu gözenekler eşit boylarda, bünye içinde homojen bir şekilde dağılmış olmalıdır. Büyüklükler mikron cinsinden ifade edilebileceği gibi, alış ve satışlarda kolaylık sağlaması açısından PPI (Pores Per Inch) birimi ile ifade edilirler. Bu ölçü, gözeneklerin 1 lineer inç boyunca bir büyüteçle sayılması neticesinde ortaya çıkar. PPI değeri büyüdükçe gözeneklerin kendileri küçülür.

Gözeneklerin açık olması; sünger gözenekleri "Filtrelik" yapılmadan önce %30 civarında kapalı hücrelerinden oluşur. Bu süngerler daha sonra "Retikülasyon" dediğimiz bir yöntemle tam olarak açılırlar. Bu şekilde hava veya su gibi akışkanların içinden tam olarak geçmesi sağlanmış olur.

Süngerin "Retiküle" edilmesi fiziksel özelliklerini nasıl etkilediğine bakıldığında, süngerin yanma özelliği dışındaki bütün fiziksel özellikleri olumlu olarak etkilenir. Kopma mukavemeti % 10-32 arası, kopmada uzaması % 20-40 arası, yırtılma mukavemeti %95 artar. Kalıcı deformasyonu ise %6-8'den %3-4'e düşer bu daha kuvvetli ve çökmeyen bir sünger demektir. Yanma hızı gözeneklerin açılması sonucu doğal olarak artacaktır. Fakat buna karşı alev geciktirici işlemlere tabi tutulmaktadır. [1]

2.1.3.2 Toz Torbası

İlk filtrasyon elemanı olarak göze çarpan toz torbası, yüzeyler (sert zemin, halı) üzerinde oluşturulan alçak basınçla hava akış patikasında hareket eden toz partiküllerinin toplandığı toz haznesinde genişleyen bileşendir.

Toz torbası ile kullanıcının ortamdan kaldırmak istediği toz partiküllerinin genel anlamda belirli bir hacimde toplanması amaçlanmaktadır. Toz torbasının bu amacı asıl olarak toz torbalı süpürgelerin oluşturulma mantığıyla aynı değeri taşımaktadır.



Şekil 2. 6 Toz Torbalı Yatık Süpürge Sentetik Toz Torbası [1]

Toz torbalarından;

- Hijyen ve bakteri arındırma,
- Yüksek toz tutma oranı,
- Hava geçirgenliğinin yüksek olması ve daha az emiş kaybı,
- Nemden ve sudan etkilenmeme,
- Dış etkenlere bağlı yırtılmama ve patlamama

gibi niteliklere sahip olması beklenilmektedir. Toz torbasından istenen bu özellikleri karşılamak için üretici firmalar farklı malzeme tiplerine yönelmişlerdir. Toz torbası imalatı, kâğıt, bez ve sentetik bazlı malzemelerden yapılmaktadır [1].

2.1.3.3 Motor Giriş Filtresi

Motor giriş filtresi, adından da anlaşılacağı gibi motor emiş ağzında konumlandırılan filtrasyon elemanıdır. Motor giriş filtresi, toz torbasından geçen hava içerisindeki motor çalışma ve fonksiyonunu engelleyen parçacıkların ortadan kaldırılması için motor emiş ağzında konumlandırılan sünger esaslı bileşendir. Esas amacı dışında ses izolasyonuna da katkı sağladığı görülmüştür.

Motor giriş filtresi genel olarak PPI değeri bakımından daha küçük bir değere sahiptir. Bu durumun sebebi motor üzerinden geçecek hava debisinin daha yüksek olmasını sağlamaktır. Motor giriş filtresi PPI değerinin arttırılması filtrasyon için iyi bir özellikken ürün emiş gücünü düşürmesi nedeniyle optimum noktada seçilmelidir [1].

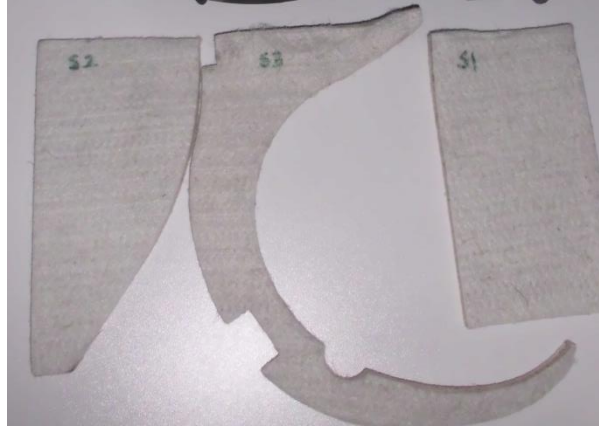
2.1.3.4 Motor Filtresi

Genellikle motorun hava çıkış yüzeyleri üzerine bulunan bu filtrasyon elemanının, sıcaklık ve basınçtan etkilenmeyen malzemeden yapılmış olmakla birlikte birlikte performans derecelerini etkilemeyecek düzeyde PPI değerlerine sahip olması gerekmektedir.

Bu filtre de, filtrasyon özelliği baskın olarak bahsedilse de ses gücü düzeyinde tasarımcıya olumlu yönde katkı sağlayacaktır [1].

2.1.3.5 Keçe

Keçeler, farklı tür ve yapıda çeşitli endüstri alanlarında kullanılan, yüksek sıcaklık, basınç, yüksek mukavemet, sürtünme mukavemeti, ses izolasyonu gibi yüksek teknik özellikler gerektiren yerlerde çeşitli içeriklerde kullanılırlar. Hava akış alanını daraltarak performansı düşürücü etkisi vardır. Keçeler özellikle üzerine geldiği süngere yüksek çekme, kopma mukavemeti kazandırmasının yanında aşınma direnci, geçirimsizlik, yanma dayanımı gibi nitelikler kazandırır. Bazı uygulamalarda tek başlarına sızdırmazlık contası olarak da kullanılırlar. Bazı türleri toz ve sıvıyı filtre etmekte de kullanılırlar, bu tür filtre keçeleri yıkanabilme özelliği ile birçok kere kullanıma müsaittir. Filtrasyon uygulamaları için doğru gramaj, doğru kalınlık ve gözenek yapısı seçilmesi ile çeşitli boylardaki partiküller çok kolay filtre edilirler. Elektrik süpürgesi toz filtrelerinde çokça kullanılmaktadır [1].



Şekil 2. 7 Toz Torbalı Yatık Süpürge Salyangoz Keçeleri [1]

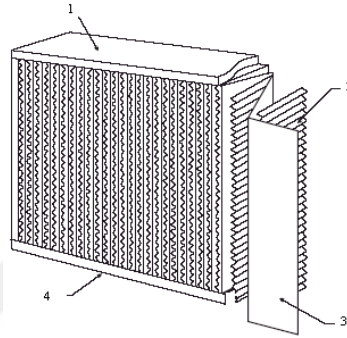
Hem motor kapsülün de hem de salyangozun akış patikasında bulunan keçeler, montaj edilebilirlik açısından uygun ve ömür ve sıcaklık testlerinden geçecek kadar iyi konumlandırılmalıdır [1].

2.1.3.6 Hepa Filtre

HEPA (High Efficiency Particulate Arresting - Yüksek Etkinlikte Partikül Yakalayıcı) filtreler %85 ve üzerinde, 0,3 mikrona kadar havada bulunan partikülleri havadan arındırabilen filtrelerdir. %99.97 filtreleme oranına sahip olan filtrelere True HEPA (Gerçek HEPA) filtre denir. Bu oranın biraz altında kalanlarına ise HEPA filtre denir. %99.99 filtreleme oranına sahip olan filtrelere ise ULPA filtre denir.

Yatık toz torbalı süpürgelerin kullanımı esnasında, gözle görülmeyen toz partiküllerinin, insan sağlığına olumsuz etkileri birçok araştırma dahilinde kanıtlanmıştır. Örneğin, bu toz partiküllerinin akciğerlere çeşitli yollarla ulaşmasıyla birlikte, akciğer hastalıklarına sebep olmasına ek olarak, kişi üzerinde psikolojik etkilere de neden olabilir. Bu durum sadece elektrik süpürgesini aktif olarak kullanan değil, henüz bağışıklık kazanmamış ailenin küçük bireyleri, yaşlılar, çeşitli hastalığa (astım, kalp ve akciğer hastaları) sahip kişiler için de tehdit oluşturmaktadır. Yatık toz torbalı süpürgelerde, toz haznesindeki toz torbasında depolanan toz partiküllerinin çoğu 20 mikron ve üzerindeki değerlere sahiptir. Diğer yandan daha küçük büyüklükteki toz partikülleri ortamda varlığını sürdürmektedirler. Bu yüzden HEPA'nın filtreleme özelliğinin kullanılmasıyla küçük toz partiküllerinin ortama verilmemesi sağlanmaktadır.

Havada bulunan 0.3 mikrona kadarki toz partiküllerini arındırabilen HEPA filtreler, genellikle enfeksiyon kapma riskinin çok yüksek olduğu yerlerde ve elektrikli süpürgelerde kullanılmaktadır.  n filtreleme sistemi esasıyla kullanılan HEPA filtrenin en büyük dezavantajı çok kolay deforme olabilmekte ve bununla birlikte fonksiyonunu etkin bir şekilde yerine getirememektedir. Ayrıca; yüksek maliyet, temizleme imk nının olmaması ve montaj esnasındaki zorluğu HEPA filtrenin diğer dezavantajları arasında yer almaktadır.



Şekil 2. 8 Hepa filtre kesit resmi [1]

HEPA filtreler toz ve partikül tutma (EN 1822) değerlerine göre kendi i lerinde ayrılmışlardır;

- HEPA 10: 100.000 adet partikülde 15.000 adetini egzozdan çıkarmaktadır.
- HEPA 11: 100.000 adet partikülde 5.000 adetini egzozdan çıkarmaktadır.
- HEPA 12: 100.000 adet partikülde 500 adetini egzozdan çıkarmaktadır.
- HEPA 13: 100.000 adet partikülde 50 adetini egzozdan çıkarmaktadır.
- HEPA 14: 100.000 adet partikülde 5 adetini egzozdan çıkarmaktadır.

Yukarıdaki HEPA çeşitlerine bakıldığında HEPA ’nın önündeki rakamsal değer arttıkça toz partikülü tutma değerinin arttığı dikkati çekecektir.

HEPA filtrelerin filtreleme performansları, zaman içerisinde kullanıldıkça performanslarından bir şey kaybetmedikleri gibi aksine, filtreleme performanslarını gün be gün arttırmaktadır. Örneğin % 99’luk bir HEPA filtre kullanıldıkça filtreleme performansı % 99.97’ye ulaşmakta ve hatta geçmektedir [1].

2.1.3.7 Arka Kapak Filtresi

Egzoz filtresi, hava akış patikasının son noktasındaki filtrasyon elemanıdır. Egzoz filtresi sünger esaslı malzeme olup, motor içerisinde ayrılan parçacıklar ya da motor içinden geçen hava içerisindeki parçacıkların elimine edildiği son yerdir.

Egzoz filtresi malzemesinin belirli standartlara göre sıcaklık derecesi dayanımına sahip olması gerekir. Genel olarak toz torbalı yatık süpürgeler için egzoz noktasındaki 55-60°C sıcaklık seviyelerinde fonksiyonunu kaybetmeyen süngerler kullanılmaktadır.

Egzoz filtresi seçimlerinde sıcaklık dayanımı dışında, ses seviyesine olan etkisi de göz önüne alınmaktadır [1].

2.1.3.8 Salyangoz Yapı

Motor çıkış havasını yönlendirmekte kullanılan bir sistem olarak elektrikli süpürgelerde kullanılabilir. Bu akış yoluna ihtiyaç duyulan elektrikli süpürgelerde çıkış havası sarmal bir yolda duvarlarında hava gürültüsünü engellemek üzere yalıtım malzemeleriyle konumlanabilmektedir [1].

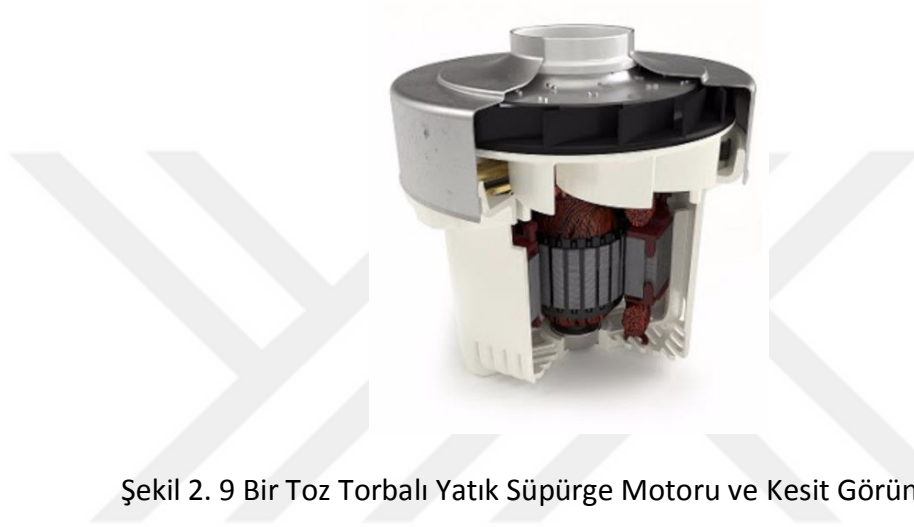
2.1.3.9 Motor

Yatık toz torbalı süpürge için seri kuru tip motor (through-flow) tercih edilmektedir. Güçleri 600-2400 Watt arasında değişen bu motorların devirleri ise 12000-25000 dev/dk değerlerini almaktadır. Bu motorlarda emilen havanın motor üzerinden aktarımı gerçekleştiği için, hava içerisindeki nem ve toz partiküllerinin motora zarar verme olasılığı oldukça yüksektir. Motorun emiş ağzının kapatılması ya da motor üzerinden aktarılan hava debisinin azalması sonucuyla motorun aşırı yüklenmesine ve zarar görmesine neden olur. Emiş ağzı kapalı iken ve/veya toz torbası hava akışını engelleyecek oranda dolmuş ise motorun fazla çalıştırılmaması gerekmektedir. Bu nedenle birçok süpürge de bir ikaz uyarı sistemi bulunmaktadır.

Elektrikli süpürgelerde AC ve DC destekli çalışan universal motor kullanılmaktadır. Bu, DC sürekli magnet motor gibi fırçalı olabilmektedir. Ayrıca rotor döndürücülü serilerle birleşimli sarıli statorlu da olabilmektedir. DC cihazlar içerisinde, bu sık sık sarıli DC motor serileri olarak ifade edilir. Universal motor çok yüksek devirlerde çalıştığından

elektrikli süpürgelerde kullanılır. Elektrikli süpürge motorlarının devirleri 30000 dev/dk 'ya kadar çıkmaktadır. Yüksek hızda çalışmaları, ufak bir fan kullanımıyla güçlü emiş yaratmak için gereklidir. İndüklenen motor 3600 dev/dk 'nın altındaki hızlarda limitlenir.

Motor, süpürge fırça kısmında oluşturulan alçak basınç sonucunda emiş havasıyla birlikte, toz partiküllerinin hareketlenmesini sağlayarak tozların bir hacimde toplanmasını ya da filtrasyon elemanlarında eliminasyonunu sağlar [1].



Şekil 2. 9 Bir Toz Torbalı Yatık Süpürge Motoru ve Kesit Görüntüsü [1]

Bir toz torbalı yatık süpürge motorunun verimliliği, üzerinden geçen hava debisi ve motorun gücü dikkate alınması gereken en önemli faktörlerdir. Enerji verimliliği; motor verimiyle, motor verimliliği de; motorun gücü ve hava debisiyle belirlenir.

Süpürge motoru seçimi esnasında;

- Motor boyutları
- Motor solo verimliliği
- Motor ürün içerisindeki verimliliği
- Voltaj & Frekans
- Giriş gücü
- Motor yaklaşık ömrü
- Vakumu
- Hava akış debisi
- Motor solo ses gücü düzeyi

- Motorlu ürün ses gücü düzeyi
- Performans eğrisi

dikkat edilecek hususlardır [1].

2.2 Makale Araştırması

Manish Sinha, Ali Pınarbaşı ve Joseph Katz tarafından 2001 Eylül ayında yapılan “Vanalı Difüzörlü Santrifüj Pompada Başlangıç Anı ve Gelişmiş Akış Durumlarında Dönel Akış Yapısı İncelemesi” isimli çalışmada vanalı difüzörlü santrifüj pompada stall oluşumu incelenmiştir. Düşük frekanslı akışlarda, dairesel çevre boyunca oluşan akış dalgalanmalarına stall (dönen akış) denir. Çalışmaya göre difüzör vanaları ile çark arası yeterince geniş olduğunda, difüzördeki stall oluşma hızı, çark hızının %10’undan daha azdır. Kompresör ve pompalarda, düşük akış debilerinde performans, basınç ve debi giderek düzensizleşir [3].

Daha önce yapılmış bilimsel çalışmalar incelendiğinde volute (salyangoz) muhafazalı yapılarda, difüzör çıkışında çevresel düzensiz akışlar oluştuğu ve bu düzensizliklerin dönel stall akışı oluşumunun ana faktörleri olduğu gözlemlenmiştir [3].

Bu çalışmada PIV (Particular Image Velocimetry) parçacık görüntülemeli akış ölçümü yöntemi kullanılarak vanalı difüzörde, çarkta, difüzör ve çark arasındaki boşluk kısmında ve volute (salyangoz) kısmında hız dağılımları çıkarılmış ve yorumlanmıştır. Üzerinde çalışılan santrifüj pompanın dil (tongue) yapısının başlangıç açısı 29°’dir.

Difüzör vanaları aralarında dışa akış yapıları incelendiğinde dışa doğru yönelen akışın difüzör vanasının dış bükey kısmında akış ayrışmasına maruz kaldığı görülmüştür. Difüzör aralarındaki akış, her pasajda difüzör kısmından salyangoz alanı kısmına doğru, çark ucundaki dönüş hızının yarısını aşacak hızda akmaktadır. Ayrıca akış yönünde sekonder (ikincil) akımlar görülmektedir ancak bu akım tipinin enerjisi ve hızı düşük seyretmektedir. Gene benzer yapıda sekonder akımlar salyangoz kısmının başlangıcı olan dil yapısının sağ tarafında kalan bölgede oluşmaya başlar ve bu akımlar düşük debi seviyelerinde yok olurlar [3].

Ek olarak salyangoz içerisindeki dairesel ve çevresel basınç varyasyonları stall akımını difüzörün ufak bir bölgesine hapsedtiği ve ayrıca difüzör vanası dış bükey kısmında

görülen akış ayrışmasını stall akım oluşumuna neden olduğu görülmüştür. Son olarak, akış debisinin düşmesiyle birlikte dışa akış ve ters akımların arttığı gözlemlenmiştir. [3]

Manish Sinha ve Joseph Katz tarafından 2010 yılında yapılan “Vanalı Difüzörlü Santrifüj Pompada Akış Görüntülemesi-1: Türbülans ve Akış Yapıları” isimli çalışmada, vanalı difüzörlü santrifüj pompanın türbülans ve düzensiz akış yapılarını inceleyen PIV ölçümleri ve çark kanatları arasındaki, difüzör ve çark arası boşluktaki, difüzör vanaları arasındaki ve salyangoz yapısındaki akış yapılarını inceleyen deneyler yapılmıştır. Yakınsanmış sonuçlar, çark kanatları ve difüzör vanaları tarafından oluşturulan wake akış yapılarının tüm akış alanını kapladığını göstermektedir [4].

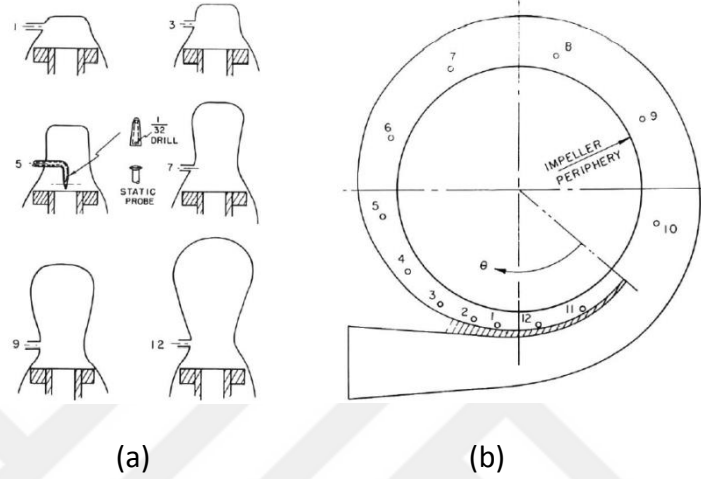
Daha önceki bilimsel çalışmalarda wake etkilerinin akıntı yönünde akışta ve geniş alanlarda etkili olduğu gözlemlenmiştir. Kanat ve vana açlarına bağlı basınç dalgalanmalarının santrifüj kompresör çarkı içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Akin ve Rockwell yaptıkları çalışmada çark kanadı arka kenarından yayılan girdapların, difüzör ön kenarında düzensiz akış ayrışmalarına sebep olduğunu gözlemlemiştir. Son olarak Eisele et al. Ve Muggli et. al. tarafından yapılan çalışmada dar boşluk yapısına sahip (çark yarıçapının %8'i) pompada çark yönünün oryantasyonunun ana akışa ve türbülans seviyelerine önemli derecede etki ettiği gözlemlenmiştir [4].

Bu çalışmada, vanalı difüzörlü santrifüj pompada çark – difüzör arası etkileşimin deneysel yöntemler ile incelenmesi çalışılmıştır.

Sonuçlar, tüm akış alanının, çark kanatları, difüzör vanaları ve salyangoz içerisine yayılan düzensiz akış ayrışmalarından kaynaklanan wake serileri tarafından domine edildiğini göstermektedir. Ek olarak difüzör vanalarındaki sınır tabakası akışı ise çarktan kaynaklanan düzensiz akışlardan oldukça etkilenir. Çarktan çıkan düzensiz akışın, çarkla difüzör vanası arasındaki geniş boşluğa rağmen difüzör vanası ön kenarındaki akış yapısını etkilediği gözlemlenmiştir [4].

H. W. Iversen, R. E. Rolling ve J. J. Carlson tarafından, 1960 yılında yapılan “Radyal Akışlı Santrifüj Pompada Salyangoz Basınç Dağılımı, Çark Üzerindeki Radyal Kuvvet ve Salyangoz Karışım Kayıpları” isimli çalışmada, çark üzerindeki radyal kuvvet hesabı üzerine yapılan daha önceki ampirik çalışmaların yeterli olmaması sebebiyle radyal kuvvete etki eden parametreleri bulmak amaçlanmıştır [5].

Bu doğrultuda ilk olarak, basınç dağılımlarının radyal kuvvet üzerinde etkisinin olup olmadığı, pratik basınç ölçüm teknikleriyle gözlemlenmeye çalışılmıştır. İkinci olarak, radyal kuvvetin analitik olarak tahmin edilebilirliği çalışılmış ve salyangoz yapısı içerisindeki akışın basınç dağılımlarıyla radyal kuvvet arasında ilişki olduğu varsayımıyla, kuvveti bulmaya yönelik hesaplamalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında, çarkı 1000 dev/dk devrinde dönen bir santrifüj pompa kullanılmıştır [5].



Şekil 2. 10 (a) Basınç Ölçümleri için Salyangoz Duvarında Açılan Delikler ve Ölçüm Amaçlı Statik Basınç Ölçer Sondaların Dikey Kesitte Gösterimi. (b) Ölçüm Noktalarının Salyangoz Yapı Üzerindeki Yatay Gösterimi ve Numaralandırılması [5]

Testler iki farklı tipte yapılmıştır. İlk testlerde statik basınç, Şekil 2.10 (a)'da 1 numaralı figürde görülen salyangoz duvarında açılan delikten ölçülerek yapılmıştır. İkinci tip testlerde statik basınç, Şekil 2.10 (a) 'da 5 numaralı figürdeki gibi delikten içeri sokulan bir sonda yardımıyla ölçülerek yapılmıştır [5].

Salyangoz yapı içerisinde, farklı debide akış ile farklı dil açılarındaki statik basınç düşümleri incelendiğinde dil yapısının hemen ardında düşük debilerde düşüm negatif değerleri gösterirken debi arttıkça basınç düşümünün arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum debi arttıkça artan türbülanslı akışın bir getirisiidir. Ayrıca dil yapısından uzaklaşıp salyangoz yapısının genişleyen bölgelerine gidildikçe basınç düşümünün azaldığı gözlemlenmiştir [5].

Cheng Xu ve Michael Müller tarafından 2005 yılında yapılan “Santrifüj Kompresörde Salyangoz Tasarımı ve Geliştirmesi” isimli çalışmada kompresörlerde salyangoz yapısının akışa ve kompresör verimine etkisi araştırılarak kompresörlerde salyangoz yapısı tasarım parametreleri oluşturmak hedeflenmiştir. Viskoz Navier-Stokes

denklemleri ile kanatsız difüzör ve salyangoz içerisindeki akış yapıları, nümerik olarak incelenmiş daha sonra deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı salyangoz dil (tongue) yapılarının akış yapısına etkileri araştırılmıştır [6].

Bilindiği üzere santrifüj kompresör 3 parçadan oluşur. Bunlar, dönel çark, difüzör ve bu yapıları çevreleyen salyangoz yapıdır. Çalışma prensibi olarak dönel çark akışkana açışal hız kazandırır, ardından difüzör, verimini de arttıran yönlendirici kanatları (vanaları) ile akışkanın kinetik enerjisini, akışkanın hızını düşürerek statik basınca dönüştürür. Salyangoz yapı ise difüzörden çıkan akışı toplar ve çıkışa yönlendirir. Salyangoz yapının akışkanı toplama ve yayma olmak üzere iki önemli fonksiyonu vardır. Akışkanı toplayan salyangoz yapı, akışı akıntı yönünde taşımalıdır. Aynı zamanda kinetik enerjiyi potansiyel enerjiye dönüştürerek statik basıncı yükseltmeye ve performans geliştirmelerine yardımcı olur [6].

Çarkın dönmesi ile birlikte akış, logaritmik spiral bir hareket kazanır. Bu güçlü girdap (swirl) akışı salyangoz yapısına, yapının şekliyle bütünleşerek üç boyutlu şekilde akar. Salyangoz yapı içerisinde salyangoz dilinden çıkışa yönelen alanda konik yapıda yayılım yaratarak salyangoz içerisindeki tanjantsal hız ile ilişkili kinetik enerjinin daha efektif yayılması sağlanır. Bu duruma paralel olarak çoğu zaman, difüzör çıkışında kinetik enerjinin bir kısmı, hızın radyal komponentinden kaynaklı potansiyel enerjiye dönüşemez ve performans kaybı oluşur [6].

Özellikle dil yapısı çevresindeki akış yapısını daha iyi anlamak için yapılan bilimsel araştırmalar kapsamında iyi bir salyangoz yapısının kompresör performansını ve çalışma aralığını geliştirdiği görülmüştür. Salyangoz yapı üzerine yapılan araştırmalarda çoğu çalışmanın iki ana başlıkta toplandığı görülmüştür. Bunlardan ilki salyangoz yapısı akış analizi diğeri ise salyangoz ile dönel çark arasındaki akış etkileşimidir. E. Ayder tarafından 1993 yılında yapılan çalışmada salyangoz yapısı tasarımına yönelik olarak beş parametre bulunmuştur. Bu parametreler, enine kesitteki çevresel varyasyonlar, salyangoz yapısının şekli, salyangoz yapının radyal pozisyonu, salyangoz yapısı girişinin pozisyonu ve dil yapısı geometrisidir. Bu tasarım parametrelerin, çevresel basınç dağılımını iyileştirmek ve düzenli hale getirmek için gereken ana parametreler oldukları ifade edilmiştir [6].

Dil yapısı salyangozun 360° açığa denk gelecek noktasında konumlanır. Bu yapı çıkış konisi, salyangozun en dar bölgesi ve en geniş bölgesi arasında bir eklem görevi görür. Bu konum, dil yapısının, yatayda bakıldığında üzerindeki salyangozu terk eden akış ile altında salyangoza giren akış arasında ayırıcı plaka görevi gördüğü konumdur. Dil yapısı ön kenarı itibarıyla airfoil yapısına benzemektedir. Keskin dil yapısı mutlak pik verimi sağlarken, yuvarlak şeklindeki dil yapısı ise tasarım koşulu dışındaki yüklerde göreceli olarak daha iyi performans sağlar. Geleneksel salyangoz yapısı tasarımları iki boyutlu analizlere ve toplama fonksiyonunu geliştirmeye yöneliktir. Salyangoz yapılar genel olarak yayma işlevine yönelik olarak geliştirilmemiştir [6].

Daha önce dil yapısı üzerine yapılan bilimsel çalışmalarda dilin alt ve üst bölgelerinin her ikisinde de akış ayrılması olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözlemler, tasarımı geliştirirken akış yapısını anlamak açısından çok önemlidir. Tasarım akış debisinde salyangoz basınç dağılımı ve yapı içerisindeki kayıplar 3 boyutlu denklemler ile analiz edilmiştir. Analiz sonrası yapı üzerinde çeşitli geliştirmeler yapılarak iyi verim ve geniş çalışma aralığı açısından en uygun yarıçap bulunmuştur [6].

Salyangoz çıkış konisinde ve salyangoz girişinde toplam basınç ölçümleri ve sıcaklık ölçümleri 5'er adet olacak şekilde yapılarak sistemin performans karakteristiği belirlenmektedir. Bu çalışmada 4 tip dil yapısı incelenmiş ve her dil yapısı için 3 farklı çalışma koşulunda nümerik hesaplamalar yapılmıştır. Final tasarım için ise 5 farklı debide nümerik hesaplamalar yapılmıştır [6].

Sonuçlar incelendiğinde yuvarlak dil yapısının dil kenarında akışa blokaj uygulamasıyla birlikte ikincil akımın merkezini dil yapısından uzaklaştırdığı ve keskin dil yapısının daha düzenli bir basınç dağılımı içerdiği görülmektedir. Bu durum yuvarlak dil yapısının blokajından ötürü gelir [6].

Salyangoz yapı çıkışında keskin ve yuvarlaklaştırılmış dil yapıları için statik basınç incelendiğinde yuvarlak dil yapısının dil bölgesinde daha fazla kayba sebep olduğu, yüksek akış debilerinde yuvarlak dil yapısının basınç katsayısının keskin dil yapısına göre daha gelişmiş olduğu ve keskin dil yapısının mutlak pik basınç iyileşmesi için daha avantajlı olduğu gözlemlenmiştir [6].

Bu çalışmada genel anlamda geniş çalışma aralığında yuvarlak dil yapısının keskin dil yapısına göre daha iyi performans sağladığı gözlemlenmiştir [6].



TEORİK ARAŞTIRMALAR

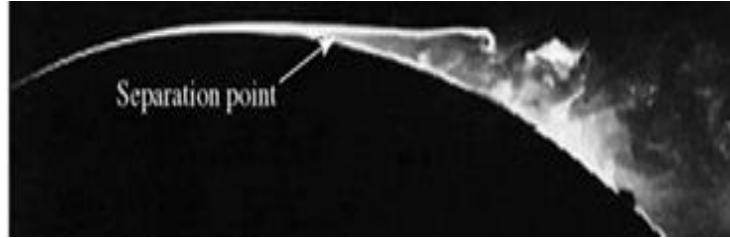
3.1 Sınır Tabaka

Bir katı çeper üzerindeki akışkan hareketi incelendiğinde, sürtünmeli akışkanlar için hız cidarda kaymama koşulu dolayısı ile sıfırdır. Çeperden uzak bir bölgede, cidarın yavaşlatıcı etkisinin olmadığı noktalarda hızın V_m olduğu düşünülürse, hızın cidar ile maksimum hıza eriştiği nokta arasında kalan alana sınır tabaka denir [7].

3.2 Sınır Tabakanın Ayrılması

Akış yönünde dış bükey bir cidarda, sınır tabakanın dışında akışkan hızının, akış yönünde azaldığı kabul edilirse hız azalmasının sınır tabakayı da etkilediği görülür. Hız azalması akışkan hızını yeterli derecede yavaşlatırsa akışkan partikülleri sürtünmenin de etkisiyle birlikte birbirlerini yavaşlatacak ve akış profili gittikçe basıklaşacaktır. Fakat bu hız azalması ya da başka bir deyişle hız enerjisinin basınç enerjisine dönüşmesi hızlı bir şekilde olursa akış yönündeki basınç artması, sınır tabakanın cidara çok yakın noktalarında zaten sıfıra yakın olan hızları eksiye çevirebilir. Bu kesitte cidara yakın bazı noktalar kinetik enerjilerinin hepsini kaybettiklerinden geriye doğru hız kazanırlar. Arkadan gelen diğer partiküllerde bu harekete katılırlar. Bu olay sebebiyle akış ile cidar arasında girdaplar ve çalkantılarla dolu bir bölge oluşur. Sınır tabakanın ayrılması denilen bu olaya serbest akış içerisine konmuş profilli cisimlerde rastlanabilir. Aynı geometri üzerinde türbülanslı sınır tabaka, laminar sınır tabakadan daha geç sınır tabakası ayrılmasına uğrar. Türbülanslı akışta iplikçikler arasındaki hareket miktarı

alışverişinin fazla olması, hızları yüksek olan tabakaların hızları azalan tabakaları daha kolay sürüklemesini sağlar ve sınır tabaka ayrılması bir dereceye kadar önlenir. Pürüzlü ve pürüzsüz cidara sahip iki küre üzerindeki akış yapısının incelenmesinden, pürüzlü kürede ayrılmanın gecikmiş olması örneği verilebilir [7].



Şekil 3. 1 Eğimli Bir Yüzey Üzerindeki Akışın Sınır Tabaka Ayrılması [8]

3.3 Sekonder Akımlar

Bir dirsek yapısı içerisindeki akışkan hareketindeki enerji kayıpları, normal sürtünme kayıpları, cidardan ayrılmalar ve çalkantı kayıpları ve sekonder akımlardan kaynaklı kayıplar olarak üçe ayrılabilir. Sekonder akımlar dirsek içerisindeki akışta sınır tabakada basınç kuvvetlerinin atalet kuvvetleri ile dengelenmemesi sonucunda doğar. Dönme eğriliğinin verdiği basınç gradyeni, borunun neredeyse tüm eksen boyunca büyük bir değişime uğramaz. Öte yandan cidara yakın sınır tabaka yüzünden hızlar burada düşük olduğundan bir akış partikülüne tesir eden merkezkaç kuvveti basınç kuvvetinden küçüktür. Bu kısımlarda dirseğin içerisine doğru ikinci derecede akımlar oluşur ve bu akımlar dirsek simetri düzlemine yakın kısımlarda ters dönerler. Sonuç olarak dirsek içerisinde iki helikoidal akış düzenlenmiş olur, bu akımlar dirsekten sonraki düz boru boyunca da devam ederler. Ancak sekonder akımların hızları, esas akımın hızı yanında düşük olduğundan bunların doğuracağı kayıplar büyük mertebede olmadığı gibi çoğu zaman ayrılma ve çalkantı kayıpları yanında ihmal edilebilir [7].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Deney Prototipi ve Parçaları

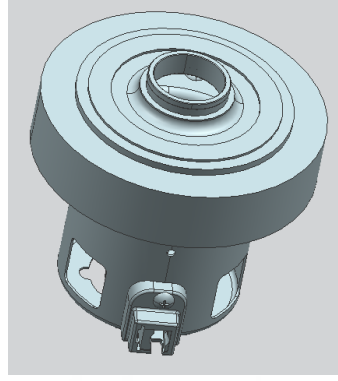
Yapılan deneylerde henüz tasarım aşamasında olan bir süpürge motorundan sonra gelen hava hareketlerini incelemek amacıyla bir süpürge prototipi tasarlanmış ve üretilmiştir. Süpürge prototipi motor, alt ve üst sönümleyici contalar, motor çevre süngeri, baza ve üst kapaktan oluşur. Motor ve motor çevre süngeri dışında diğer parçalar Unigraphics NX programı ile tasarlanmış ve Arçelik Ar-Ge Direktörlüğü Prototip Ar-Ge Laboratuvarlarında seçimli lazer sinterleme (SLS) teknolojisi ile üretilmiştir.

4.1.1 Motor

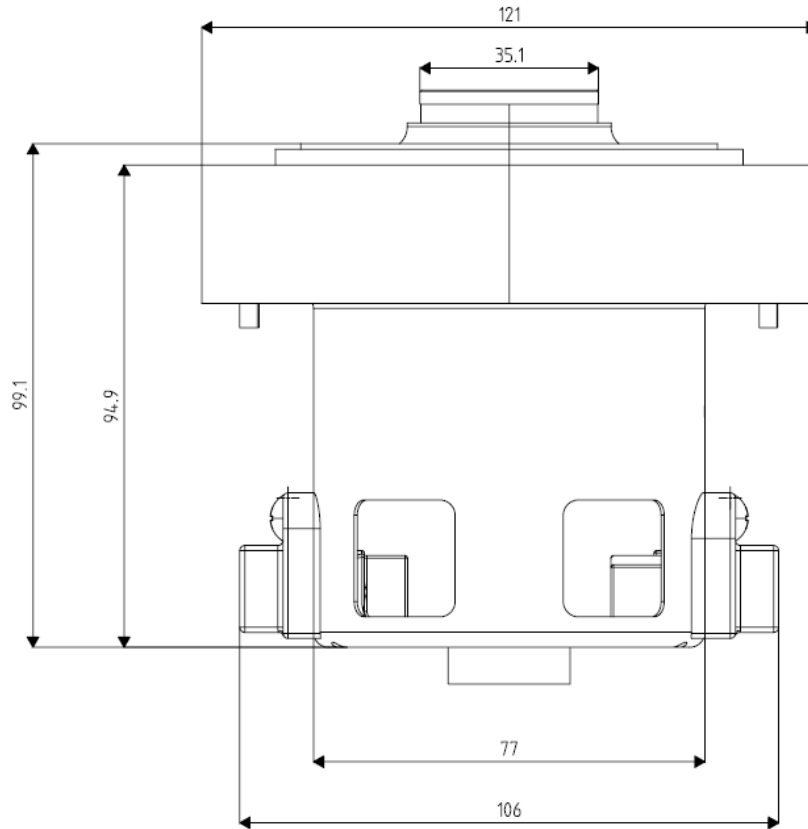
Bölüm 2 'de belirtildiği gibi süpürgelerde seri kuru tipi motor tercih edilmektedir. Buna bağlı olarak üzerinde çalışılacak süpürge prototipinin vakumunu sağlayacak motor, 900 W nominal güce sahip seri kuru tip olarak seçilmiştir. Motorun 230 V/50 Hz voltaj değerinde ölçülen ve firma tarafından deklare edilen özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Nominal Güç: 905 W
- Hava Debisi: 39 L/s
- Vakum: 21 kPa
- Emiş Gücü: 336 W
- Verimlilik : % 41,5

Bu değerler, tasarlanacak yatık toz torbalı süpürge de yeterince emiş gücü sağlamak için yeterli olmakla birlikte Arçelik Süpürge Kalite Laboratuvarında motorun performans değerleri ölçülerek bu değerler kontrol edilecektir.



şekil 4. 1 Süpürge Motoru



şekil 4. 2 Süpürge Motorunun “mm” Cinsinden lleri

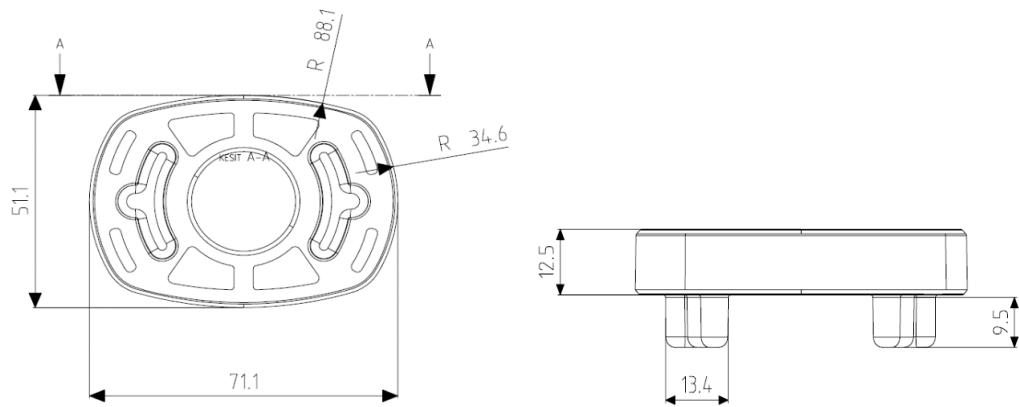
Süpürge prototipi, motorun ölçüleri temel alınarak tasarlanmıştır. Bu doğrultuda diğer parçaların tasarımında kritik bir öneme sahip olan motorun ölçüleri şekil 4.2 'de görülmektedir.

4.1.2 Alt ve Üst Titreşim Sönümleyici Contalar

Süpürge motoru, yüksek devirlerde çalıştığından dolayı ilk çalışma esnasında atalet momenti sebebiyle dönme hareketi yapar ve çalışma esnasında titreşim yayar. İlk çalışma esnasındaki dönme hareketi ve çalışma esnasındaki titreşimler, süpürge içerisinde güvenlik ve gürültü problemleri oluşturmaması için sönümlenmelidir. Bu amaç doğrultusunda süpürge motorunun alt ve üst duvarlarına motoru sabitleyen ve titreşimlerini sönümleyen parçalar tasarlanmıştır. Deney prototipimizde bu parçalar alt ve üst conta olarak adlandırılmıştır.

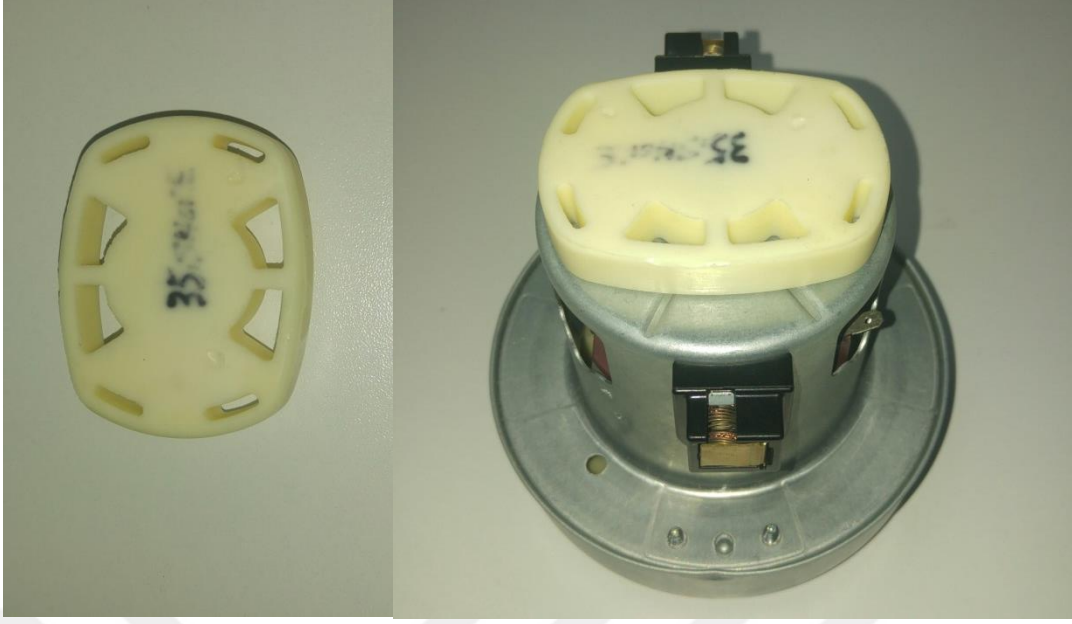
4.1.2.1 Alt Conta

Alt conta, motorun alt duvarla arasında motoru sabitlemeye ve titreşimini sönümlemeye yarayan ilk parçadır. Arçelik Araştırma Geliştirme Direktörlüğü Prototip Bölümünde üretilen prototip, 35 Shore A değerinde sertliğe sahip ve özel bir silikon malzemeden üretilmiştir.



Şekil 4. 3 Alt Contanın “mm” Cinsinden Ölçüleri

Şekil 4.3 'de “mm” cinsinden ölçüleri görülen alt conta, süpürge motorunun ölçülerine uygun olacak şekilde Unigraphics NX programı ile tasarlanmış ve silikon prototipi üretilmiştir.

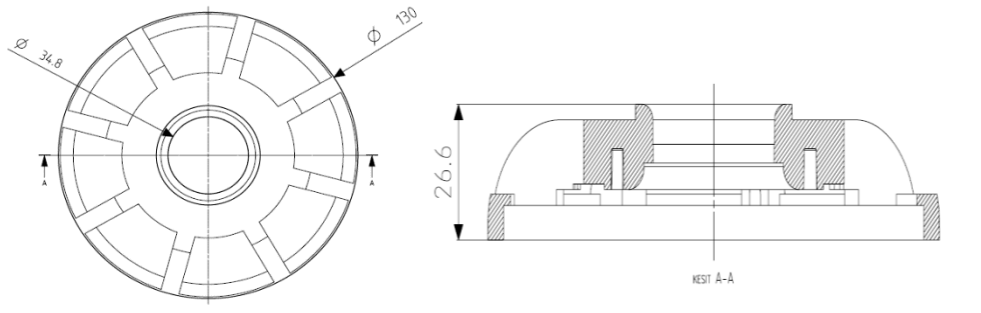


Şekil 4. 4 Alt Conta ve Motora Monte Edilmiş Şekilde Resimleri

Şekil 4.4 'de silikon alt contanın ve motor altına yerleştirilmiş şekilde resimleri görülmektedir. Şekil 4.3 'de alt tarafta görülen kesit resimdeki alt bacaklar, motorun boşluklarına geçerek motorun atalet momentinden ileri gelen dönme hareketini engeller.

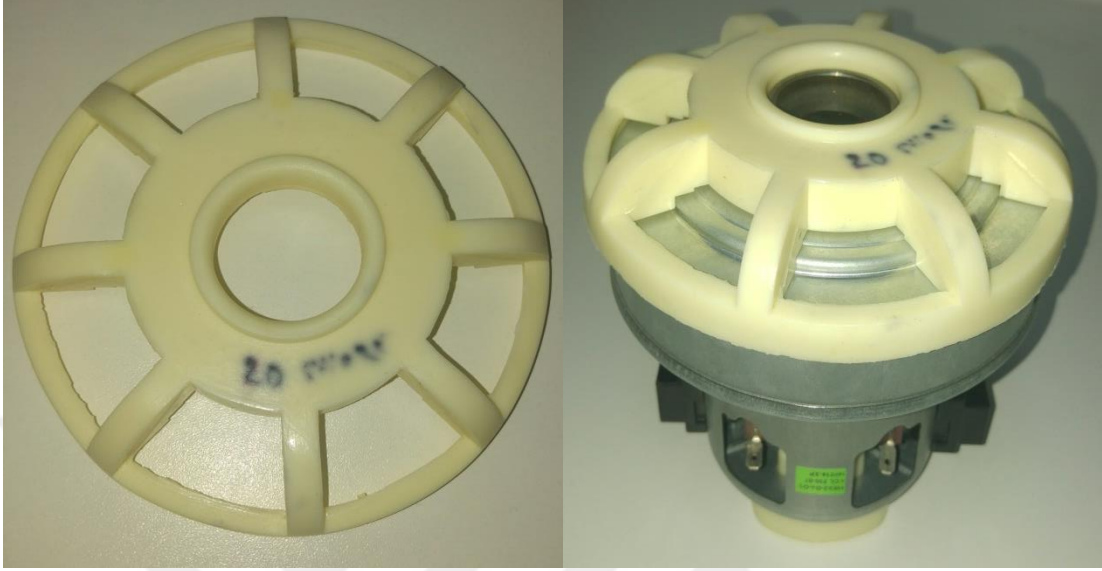
4.1.2.2 Üst Conta

Üst conta, motorun üst duvarla arasında, motoru sabitlemeye ve titreşimini söndürmeye yarayan ikinci parçadır. Arçelik Araştırma Geliştirme Direktörlüğü Prototip Bölümünde üretilen prototip, 20 Shore A değerinde sertliğe sahip ve özel bir silikon malzemedan üretilmiştir.



Şekil 4. 5 Üst Contanın “mm” Cinsinden Ölçüleri

Şekil 4. 5 'de “mm” cinsinden ölçüleri görülen üst conta, süpürge motorunun ölçülerine uygun olacak şekilde Unigraphics NX programı ile tasarlanmış ve silikon prototipi üretilmiştir.



Şekil 4. 6 Üst Conta ve Motora Monte Edilmiş Şekilde Resimleri

Şekil 4.6 'da silikon üst contanın ve motor üzerine yerleştirilmiş şekilde resimleri görülmektedir. Conta, motorun üst kısmını kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Üst conta, motorun, üst duvarla arasında titreşimleri sönümleme görevi ile birlikte motora havanın girdiği bölümde, motorla süpürge duvarı arasına hava kaçağını önleme görevi de görür.

4.1.3 Motor Çevre Süngeri

Motorun hava çıkış tarafında, motorun kül atmasını önlemek amaçlı motor çevre süngeri konulmuştur. Sıcaklık ve basınçtan etkilenmeyen malzemeden yapılmış 30 PPI boşluk oranına sahip, 10 mm kalınlıktaki sünger motorun etrafına sarılmıştır. Arçelik Temin Ürün Direktörlüğü Ar-Ge Bölümünde daha önce yapılan birçok çalışmada bu süngerin, süpürge emiş performansı üzerinde olumsuz bir etkisinin görülmediği saptanmıştır.

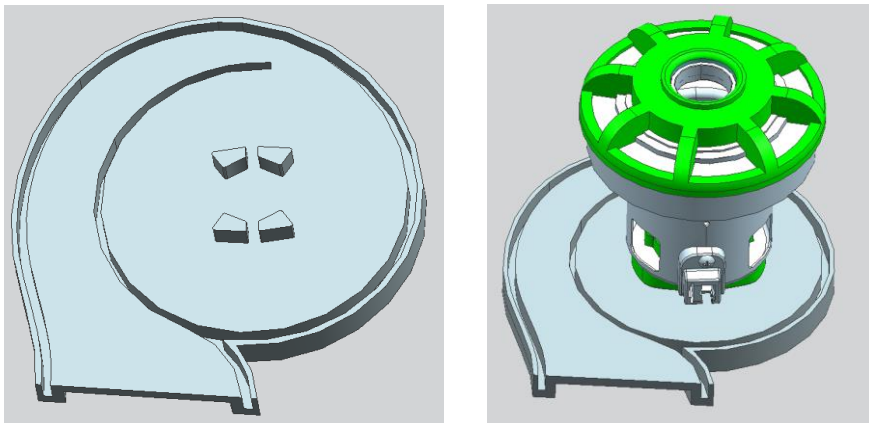


Şekil 4. 7 Motor Çevre Süngeri

Şekil 4.7 'de şeffaf süpürge prototipi içerisinde motor çevre süngeri görülmektedir.

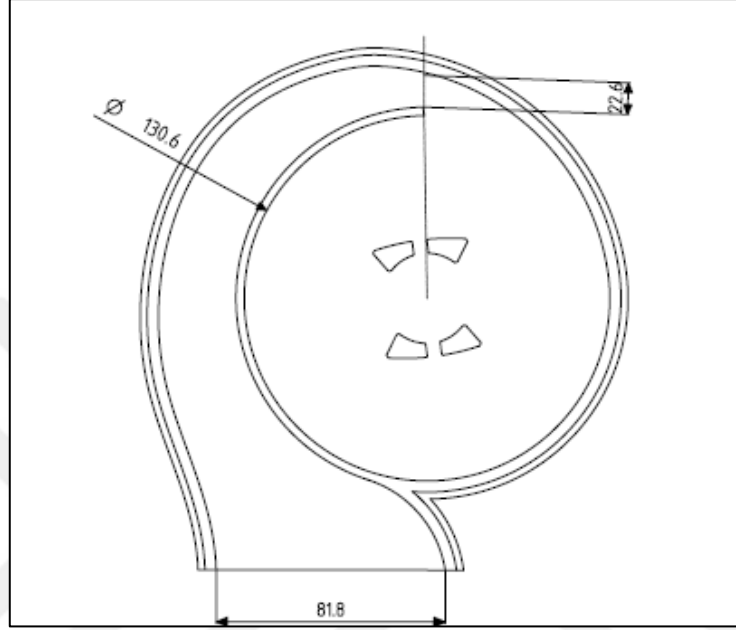
4.1.4 Baza

Baza olarak adlandırılan alt duvar, süpürge prototipinde alt contanın yerleştiği, dolayısıyla motora ve diğer parçalara baza görevi gören parçadır. Unigraphics NX programı ile tasarımı yapılan parça, SLS (Seçimli Lazer Sinterleme) teknolojisi ile Arçelik Araştırma Geliştirme Direktörlüğü Prototip Bölümünde poliamid malzemeden üretilmiştir.



Şekil 4. 8 Baza Tasarım Resmi ve Alt Conta, Motor ve Üst Contanın Baza Üzerinde Yerleşimi

Şekil 4.8 'de görülen baza, alt contaların geçmesi için orta kısmında dört adet bacağı sahiptir. Alt conta bu bacaklara yerleşir ve motorun sabitlenmesine yarar, böylece motorun ilk çalışma anındaki dönme hareketi engellenmiş olur. Ayrıca baza kenarlarında üst duvarın baza üzerine yerleştirildiğinde sıkı geçme yöntemi ile birleşmesi için 3 mm genişliğinde boşluklar bırakılmıştır.

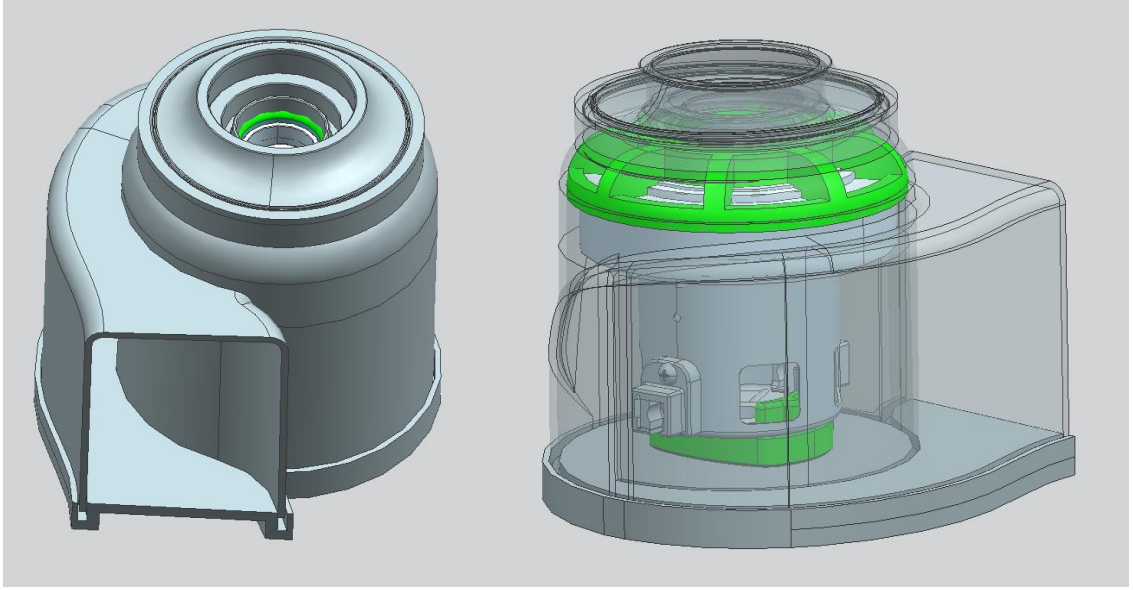


Şekil 4. 9 Baza “mm” Cinsinden Ölçüler

Şekil 4.9 'da bazanın “mm” cinsinden ölçüleri görülmektedir. Görüldüğü üzere dil (tongue) açısı 0° 'dir ve 22,6 mm açıklığa sahiptir. Ayrıca motor kısmında salyangozun çapı 130 mm 'dir. Bu durumda, motor hava çıkışları ile süpürge duvarı arasında 20 mm 'lik genişlik oluşmaktadır.

4.1.5 Üst Kapak

Üst kapak, süpürge prototipinde baza üzerine gelen duvarlarla birlikte motoru üst contanın üzerinden çevreleyen ve akış alanını tamamlayan parçadır. Unigraphics NX programı ile tasarımı yapılan parça, SLS (Seçimli Lazer Sinterleme) teknolojisi ile Arçelik Araştırma Geliştirme Direktörlüğü Prototip Bölümünde poliamid malzemeden üretilmiştir. Ayrıca parçanın üst kısmında motora hava girişini engellemeyecek şekilde daire şeklinde bir boşluk vardır.



Şekil 4. 10 Üst Kapak Yerleştirilmiş Şekilde Prototipin Görünümü

Şekil 4.10 'da üst kapak, baza üzerine oturmuştur ve süpürge prototipi tamamlanmıştır. Üst kapak parçası duvarları 3 mm kalınlığa sahiptir ve baza üzerine sıkı geçme şeklinde geçmektedir. Ayrıca prototipleme sırasında baza ile üst kapağın birleşme noktaları boyunca sıcak silikon ile sızdırmazlık sağlamlaştırılmaktadır.

4.2 Performans Ölçüm Deney Düzeneği ve Deneyin Gerçekleştirilmesi

Performans ölçümü deneyi bir süpürgenin nominal giriş gücü, motorun emiş gücü, verimi ve debisi gibi özelliklerini ölçmek amacıyla yapılmaktadır. Deney bir süpürge, vakum alanı, orifis çapları ve bir mikro manometre yardımıyla yapılır. Özet olarak bu deney, vakum alanının girişine çeşitli çaplarda orifisler yerleştirilmesi ve vakum alanına bağlanan süpürgenin 230 Volt elektrik ile çalıştırılarak vakum alanında yarattığı basıncın bir mikro manometre ile ölçülüp çeşitli denklemlerle emiş gücü, nominal giriş gücü, debi ve verim gibi ifadelerin çıkarılmasından oluşur.

4.2.1 Deney Teçhizatları

Performans ölçümü, dijital mikro manometre, vakum alanı ve orifis çapları ile yapılır.

4.2.1.1 Dijital Mikro Manometre

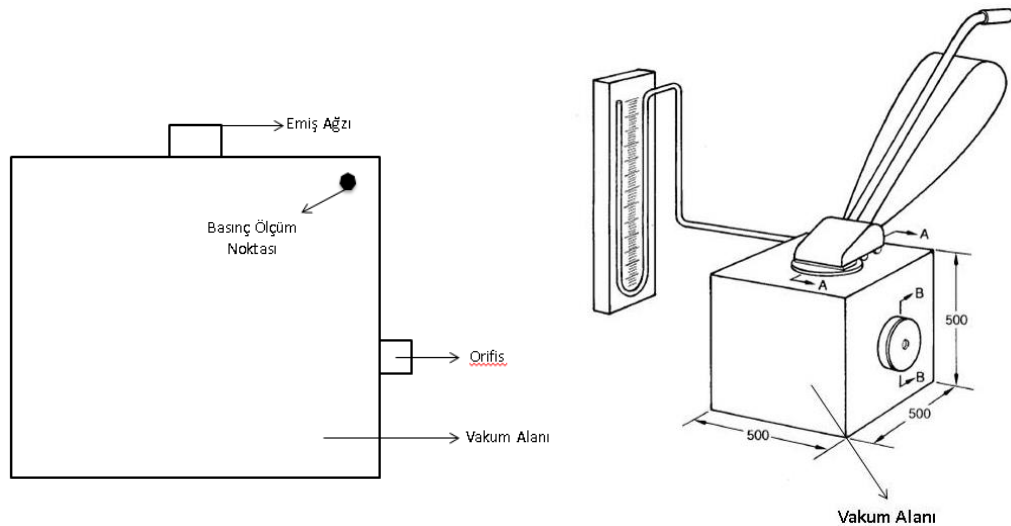
Furness Control FCO510 Dijital mikro manometre, düşük değerdeki basınçları ölçmeye yarar. 5 mm kalınlığındaki manometre borusu basınç ölçülmek istenen noktaya yerleştirilir ve dijital ekrandan mbar cinsinde basınç değeri okunur. 1 mbar basamak için hata oranı % 0,25 'dir.



Şekil 4. 11 Furness Control FCO510 Dijital mikro manometre [9]

4.2.1.2 Vakum Alanı

Vakum alanı, üzerinde emiş ağzı ve orifis açıklığı bulunan ve süpürgenin vakum alanında oluşturduğu basıncı ölçmeye yarayan boş alandır.



Şekil 4. 12 Vakum Alanı Şematik Resmi ve Uygulama Örneği [10]

Şekil 4.12 'de görüldüğü gibi vakum alanı, süpürgenin bağlandığı emiş ağzı ve orifis açıklığı ile birlikte basınç ölçümünün yapıldığı delikten oluşur. Süpürge, emiş ağzına hava sızdırmayacak şekilde yerleştirilir ardından süpürgenin çektiği hava değiştirilebilir

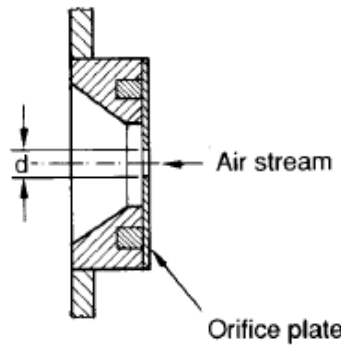
çapta orifisten geçerek vakum alanında bir basınç oluşturur. Bu basınç vakum alanı köşesinde ve her duvara 15 mm uzaktan olacak şekildeki delikten bir dijital mikro manometre yardımıyla ölçülür. Böylece süpürgein sağladığı emiş basıncı ölçülmüş olur. Daha sonra bu değer, çeşitli varyasyonlar yapılarak süpürgein emiş gücü, verim ve debi gibi diğer özelliklerine çevrilir.

4.2.1.3 Orifis Çapları

Vakum alanı üzerindeki orifis bölgesine takılan 2 mm kalınlıktaki çelik sac levhadan yapılmış parçalardır. Havanın geçtiği orifis çapları çizelge 4.1 'deki gibidir. Bu değerlerin her biri için performans değerleri ölçülür ve hesaplanır.

Çizelge 4. 1 Orifis Çapları Tablosu [10]

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_o(\text{mm})$	0	7	10	13	16	19	23	30	40	50



Şekil 4. 13 Orifis Kesit Resmi [10]

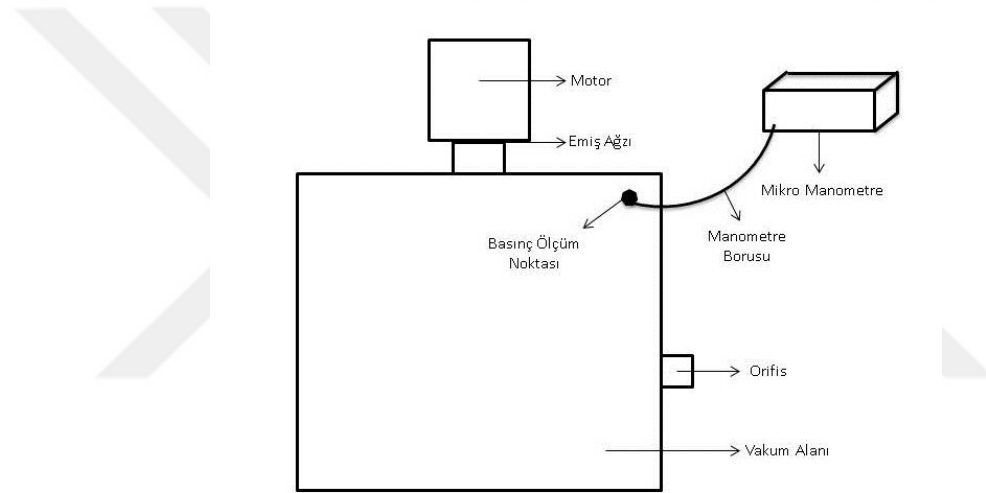
4.2.2 Performans Ölçüm Deneylerinin Gerçekleştirilmesi

Arçelik A.Ş. Temin Ürün Direktörlüğü Kalite Laboratuvarında yapılan performans ölçüm deneyleri vakum alanı basınç ölçümünde 1 mbar için % 0,25 hata değerindeki mikro manometre ile % 3 ölçüm toleransı olacak şekilde tekil motor ve süpürge performans ölçümü olmak üzere iki ana kısımda, 900 W tasarım ve 700 W tasarım dışı nominal güçlerinde yapılmıştır. Her iki nominal güç içinde ilk olarak tekil motor performans ölçümü yapılarak motorun tekil bir şekilde çalışırken performans değerleri elde edilmiş ardından süpürge prototipi performans ölçümü yapılarak motorun sağladığı emiş gücü

performansının süpürge akış alanı ile birlikte ne kadarlık bir düşüşe uğradığı saptanmıştır.

4.2.2.1 Tekil Motor Performans Ölçümü Deneyi

Tekil motor performans ölçümü, motor üzerinde emiş gücünü etkileyecek herhangi bir süpürge bileşeni olmadan, motorun performansını ölçmek amacıyla yapılmaktadır. Performans ölçümü ile motorun emiş gücü, verimi, nominal giriş gücü ve debi gibi değerleri farklı orifis çaplarında elde edilir ve motorun hangi orifis çapında pik emiş gücü sağladığı görülür. Ölçümler 20 °C sıcaklıkta, 102 kPa ortam basınçlı ve %50 bağıl nemli oda şartlarında yapılmıştır. Motora 230 V, 50 Hz voltaj verilmiştir.



Şekil 4. 14 Tekil Motor Performans Ölçümü Deney Düzeneği

Şekil 4.14 'de tekil motor performans ölçüm deney düzeneği görülmektedir. Motor, vakum alanı emiş ağızına, hava kaçağı olmayacak bir şekilde yerleştirilir ve orifis çapları değiştirilerek vakum alanı üzerindeki basınç ölçüm noktasından vakum alanı içerisindeki basınç değeri, mikro manometre yardımıyla okunur.

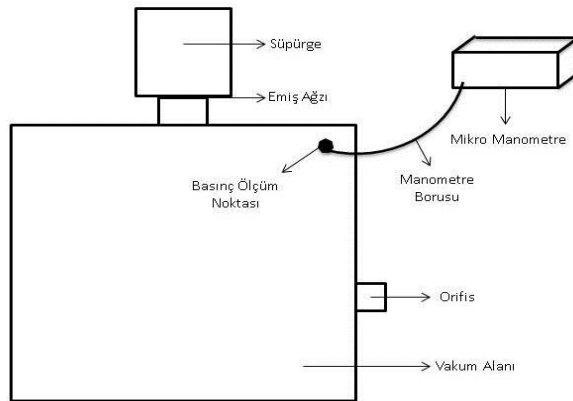


Şekil 4. 15 Tekil Motor Performans Ölçüm Deneyi Motor-Emiş Ağız Bağlantısı

Motor, emiş ağızına şekil 4.15 'deki gibi hava kaçaklarını önleyecek şekilde yerleştirilip bağlanır. Ardından her bir orifis çapı için emiş gücü, nominal giriş gücü, debi ve verim gibi ifadeler daha önce açıklanan formüllere dayandırılarak hesaplanır ve motorun performans tablosu elde edilir.

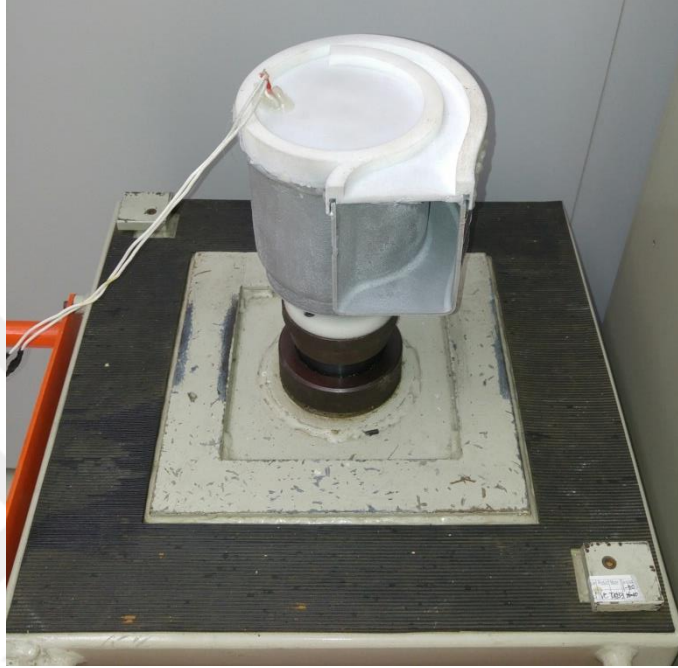
4.2.2.2 Süpürge Performans Ölçümü Deneyi

Süpürge performans ölçümü, motor üzerine daha önce detaylı olarak bahsedildiği üzere inşa edilen süpürge prototipinin emiş gücünü ölçmek amacıyla yapılmaktadır. Performans ölçümü ile süpürgenin emiş gücü, verimi, nominal giriş gücü ve debi gibi değerleri farklı orifis çaplarında elde edilir ve emiş gücünün tekil motora göre enerji kayıplarından ötürü ne kadar azaldığı görülür. Ölçümler 20 °C sıcaklıkta, 102 kPa ortam basıncı ve %50 bağıl nemli oda şartlarında yapılmıştır.



Şekil 4. 16 Süpürge Performans Ölçümü Deney Düzeneği

Şekil 4.16 'da süpürge performans ölçüm deney düzeneği görülmektedir. Tekil motor performans ölçümü deney düzeneğinden farklı olarak süpürge prototipi, vakum alanına hava kaçağı olmayacak bir şekilde yerleştirilir ve orifis çapları değiştirilerek vakum alanı üzerindeki basınç ölçüm noktasından vakum alanı içerisindeki basınç değeri, mikro manometre yardımıyla okunur.



Şekil 4. 17 Süpürge Ölçüm Deneyi Motor-Emiş Ağzı Bağlantısı

Süpürge prototipi, emiş ağzına şekil 4.17 'deki gibi hava kaçaklarını önleyecek şekilde yerleştirilir. Ardından her bir orifis çapı için emiş gücü, nominal giriş gücü, debi ve verim gibi ifadeler daha önce açıklanan formüllere dayandırılarak hesaplanır ve süpürge prototipinin performans tablosu elde edilir.

4.2.3 Deneylerin Okunması

Çeşitli orifis çaplarında mikro manometre yardımıyla, vakum alanında ölçülen basınç ve ürünün nominal gücü ifadeleri türetilerek test edilen süpürge'nin debi, emiş gücü, verimlilik gibi ifadeler bulunur.

İlk olarak orifis sabiti "a" hesaplanır;

$$a = 0,595 + \left(0,0776 * \frac{s}{d}\right) - (0,0017 * h) \quad (4.1)$$

s: 2 mm orifis kalınlığı

d: mm cinsinden orifis çapı (50, 40, 30, 23, 19, 16, 13, 10, 7, 0 mm)

h: kPa cinsinden mikro manometre ile okunan vakum basınç değeridir.

Ardından debi “Q” , L/s cinsinden hesaplanır;

$$Q = a * 0,032 * d^2 * \sqrt{h} \quad (4.2)$$

a: orifis sabiti

d: mm cinsinden orifis çapı (50, 40, 30, 23, 19, 16, 13, 10, 7, 0 mm)

h: kPa cinsinden mikro manometre ile okunan basınç değeridir.

Emiş gücü “P₂” , Watt cinsinden;

$$P_2 = Q * h \quad (4.3)$$

Q: L/s cinsinden debi

h: kPa cinsinden mikro manometre ile okunan vakum basınç değeridir.

Giriş Gücü “P₁” , Watt cinsinden;

$$P_1 = V * A * \cos \phi_i \quad (4.4)$$

V: voltaj değeri

A: süpürge motorunun çektiği akım değeri

cos fi: güç faktörü

şeklinde hesaplanır.

Daha sonra yüzde ifadesiyle süpürge verimliliği olarak adlandırılan;

$$\% Verim = \eta = \frac{P_2}{P_1} * 100 \quad (4.5)$$

P₂: Emiş Gücü (W)

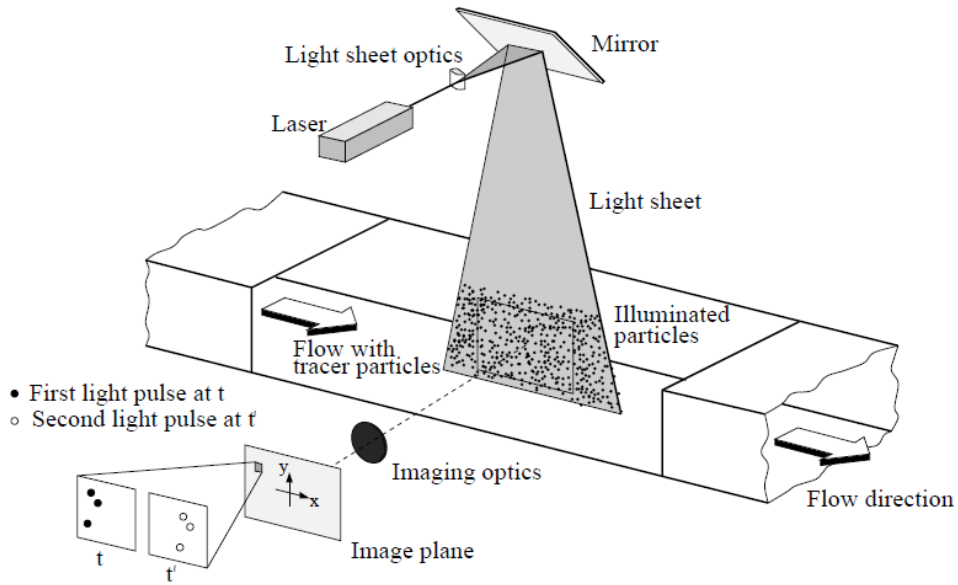
P₁: Nominal Güç (W)

ifadesi türetilir.

Türetilen bu ifadeler, performans okuma açısından kritik öneme sahiptir [10].

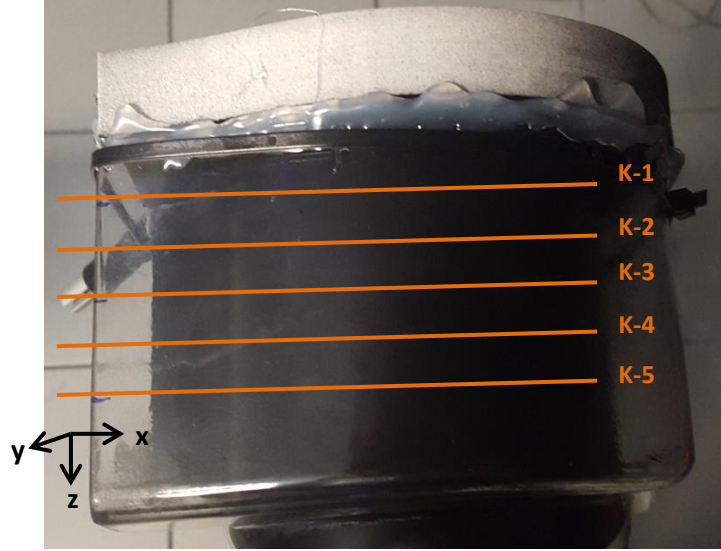
4.3 PIV (Partikül Hız Dağılımı Görselleştirme) Deney Düzeneği ve Deneylerin Yapılışı

Bu deneyde, Bölüm 4.1 'de detaylı olarak açıklanan süpürge prototipinin “salyangoz” olarak adlandırılan kanalının içerisinde hız dağılımları PIV (Partikül Hız Dağılımı Görselleştirme) yöntemi ile 900 W tasarım ve 700 W tasarım dışı nominal güçlerinde ölçülmüştür.



Şekil 4. 18 Tipik Bir PIV Düzenekinin Şeması [11]

Şekil 4.18 'de tipik bir düzenek şeması görülen PIV deneyi kısaca, akışı takip edilebilen parçacıkların akışa katılması, ölçüm yapılacak yerin lazer ile aydınlatılması ve çok kısa zaman farkı ile 2 adet resim çekilerek parçacıkların hareketlerinden düzlemdeki hız vektörlerinin hesaplanması olarak açıklanabilir. İki fotoğraf arasında parçacıkların aldığı mesafeden yola çıkılarak ölçüm yapılan düzlemdeki hız vektörünün iki komponenti (2D) hesaplanabilir [11].

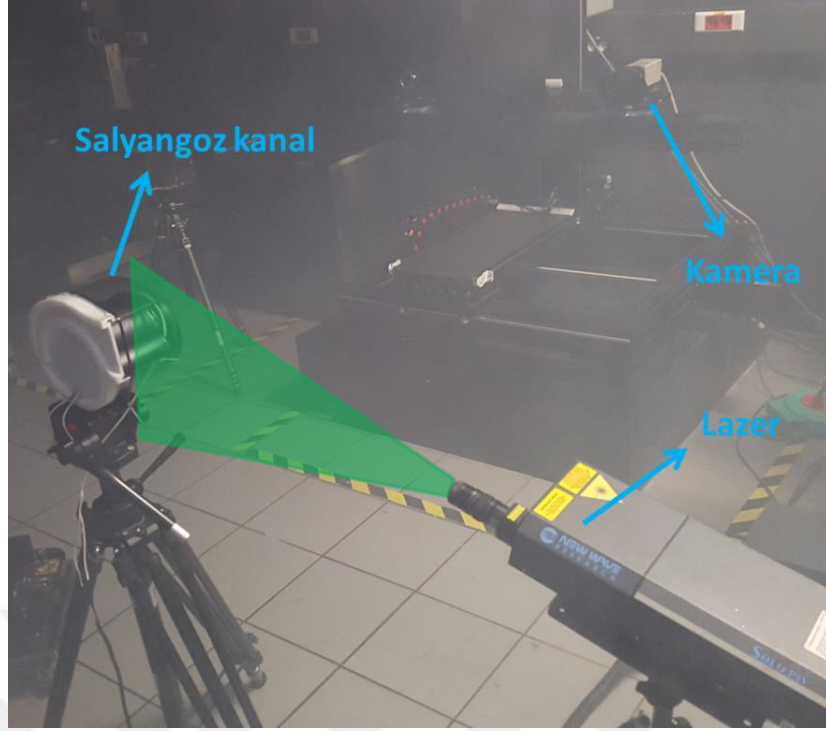


Şekil 4. 19 PIV Deney Düzenegi Süpürge Prototipi Üzerinde Ölçüm Yapılan Kesitler

Bu deneyde, kameranın görselleştirebilmesi açısından daha önce bölüm 4.1.5 'de açıklanan üst kapak parçasının bir kısmı, Arçelik A.Ş Ar-Ge Direktörlüğü Prototip laboratuvarlarında şeffaf olarak üretilmiştir.

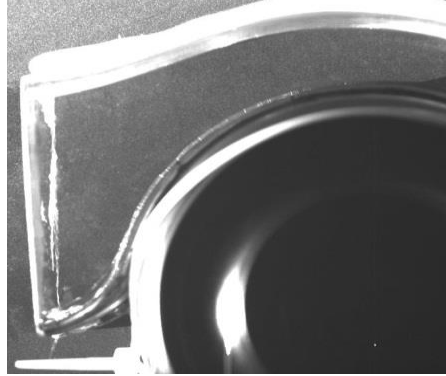
Şekil 4.19 'da prototip üzerinde ölçüm alınan kesitler ve koordinat sistemi görülmektedir. Birbirini takip eden düzlemler alt yüzeye 25 mm uzaklıktaki "K-1" kesitinden başlayarak z düzlemi boyunca 12,5 mm aralıklarla olacak şekilde "K-2", "K-3", "K-4" ve "K-5" olarak adlandırılmıştır. "K-3" olarak adlandırılan kesit, z düzleminde kanalın tam ortasına gelecek şekilde ayarlanmıştır.

Hız dağılımı ölçümleri Arçelik A.Ş Ar-Ge Direktörlüğü Akışkanlar Dinamiği Ailesi bünyesindeki PIV Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Akışa katılan parçacıkların ortalama çapı 1,5 mikrometre olup, yağ dumanından elde edilmiştir. Parçacıkların aydınlatılmasında ışık kalınlığı ve aydınlatma zamanlaması hassas olarak ayarlanabilen 532 nm dalga boyunda Nd:YAG lazer kullanılmıştır. Parçacıkların görüntüleri lazer düzlemine dik olarak yerleştirilen 12-bit HiSense Mk II kamera ile 1344 x 1024 pixel çözünürlükte kaydedilmiştir.



Şekil 4. 20 PIV Deney Düzeneği

Şekil 4.20 'de süpürge prototipi ile yapılan PIV deneyinin düzeneği görülmektedir. Lazer, kanala atmosfere açılan kısımdan girmekte ve kamera, lazer ile aydınlatılan bölgeyi süpürgeğin üzerinden görmektedir.

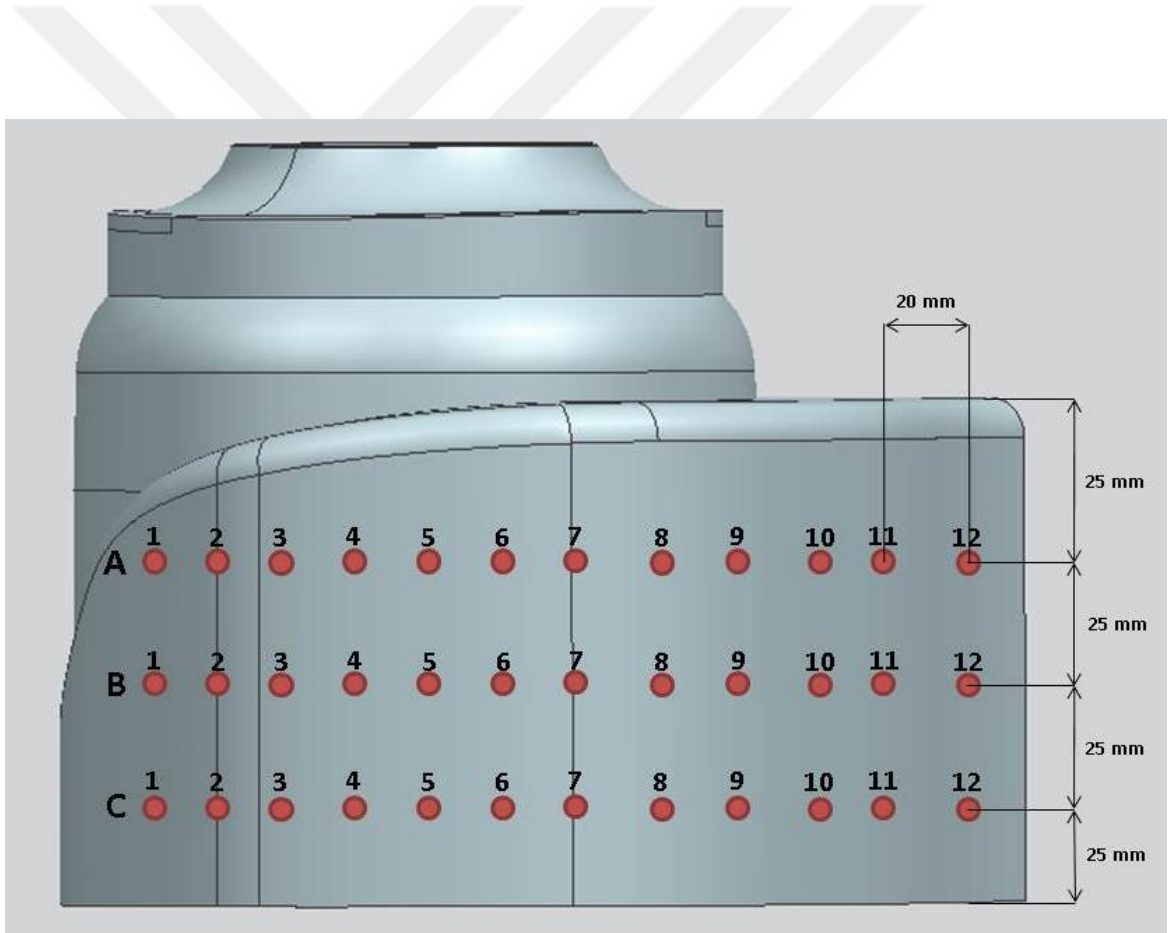


Şekil 4. 21 Süpürge Prototipi Kamera Görüş Alanı

Ölçümler süpürge'nin alt yüzeyine paralel doğrultudaki "K-1", "K-2", "K-3", "K-4" ve "K-5" düzlemlerinde gerçekleştirilmiştir. Süpürge'de salyangoz yapısının içerisindeki ölçümler, şekil 4.21 'deki kamera görüş alanında yapılmıştır. Ortalama hız dağılımları hesaplanırken kaydedilen 500 adet resim çiftinden elde edilen vektör alanlarının aritmetik ortalaması alınmıştır.

4.4 Basınç Ölçümü Deney Düzeneği ve Deneyin Yapılışı

Basınç ölçüm deneyleri ile bölüm 4.1 'de detaylı olarak açıklanan salyangoz süpürge prototipinin yan duvarlarında statik basınç ölçümü yapılarak süpürge duvarındaki basınç dağılımını elde etmek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda süpürge duvarında 5 mm çapında ve 3 mm derinlikte (süpürge duvarı kalınlığı kadar) delikler açılmış ve bir dijital mikro manometre yardımıyla basınç ölçülmüştür. Süpürge motorundan sonra gelen bu bölümde basınç pozitifdir. Deneyler 900 W tasarım ve 700 W tasarım dışı nominal güçlerinde, 20 °C sıcaklıkta, 102 kPa basınçta ve %50 bağıl nemde şartlandırılmış odada yapılmıştır. Ölçümler hata oranı 1 mbar basamak için % 0,25 olan mikro manometre ile %3 ölçüm toleransı dahilinde yapılmıştır.



Şekil 4. 22 Basınç Ölçüm Delikleri Konumu ve Ölçülendirilmeleri

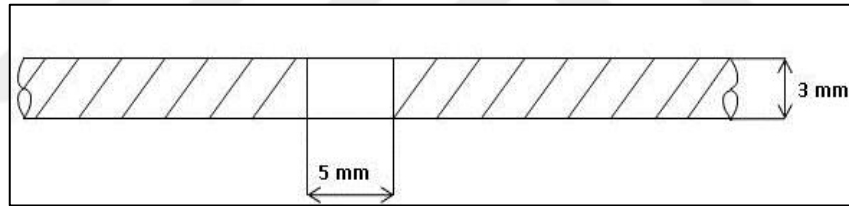
Şekil 4.22 'de 5 mm çaptaki basınç ölçüm noktalarının konumları ve ölçüleri görülmektedir. Her bir delik arası çevresel uzunlukta 20 mm'ye denk gelmektedir. Her bir sırada 12 delik olacak şekilde ve "A", "B" ve "C" olarak adlandırılan 3 sıra vardır.

Sıraların konumları daha önceki PIV deneyinde olduğu gibi dikey doğrultuda duvarlara ve birbirlerine eşit ve 25 mm uzaklıkta olacak şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 4. 23 Basınç Ölçüm Delikleri

Basınç ölçümü deliklerinin prototip üzerindeki uygulaması şekil 4.23 'de görülmektedir.



Şekil 4. 24 Basınç Ölçüm Deliği Kesit Resmi

Şekil 4.24 'de süpürge prototipi duvarı üzerinde açılan basınç ölçüm deliğinin kesit resmi görülmektedir. Delik çapı 5 mm ve deliğin derinliği 3 mm'dir.

Basınç ölçümü, basınç ölçümü delikleri üzerinden silikon tüp ve bir dijital mikro manometre ile okunur.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER**5.1 Sonuçlar****5.1.1 Performans Deneyleri Sonuçları**

Bölüm 4 'de söz edildiği üzere ilk olarak tekil motor performans ölçümleri yapılmıştır. Buradaki amaç, motorun performansını ölçmektir. Performans ölçümü ile motorun emiş gücü, verimi, nominal giriş gücü ve debi gibi değerleri farklı orifis çaplarında (d) elde edilir ve motorun hangi orifis çapında pik emiş gücü sağladığı görülür.

Tekil motorun, 900 W nominal gücünde ve farklı orifis çaplarındaki performans değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

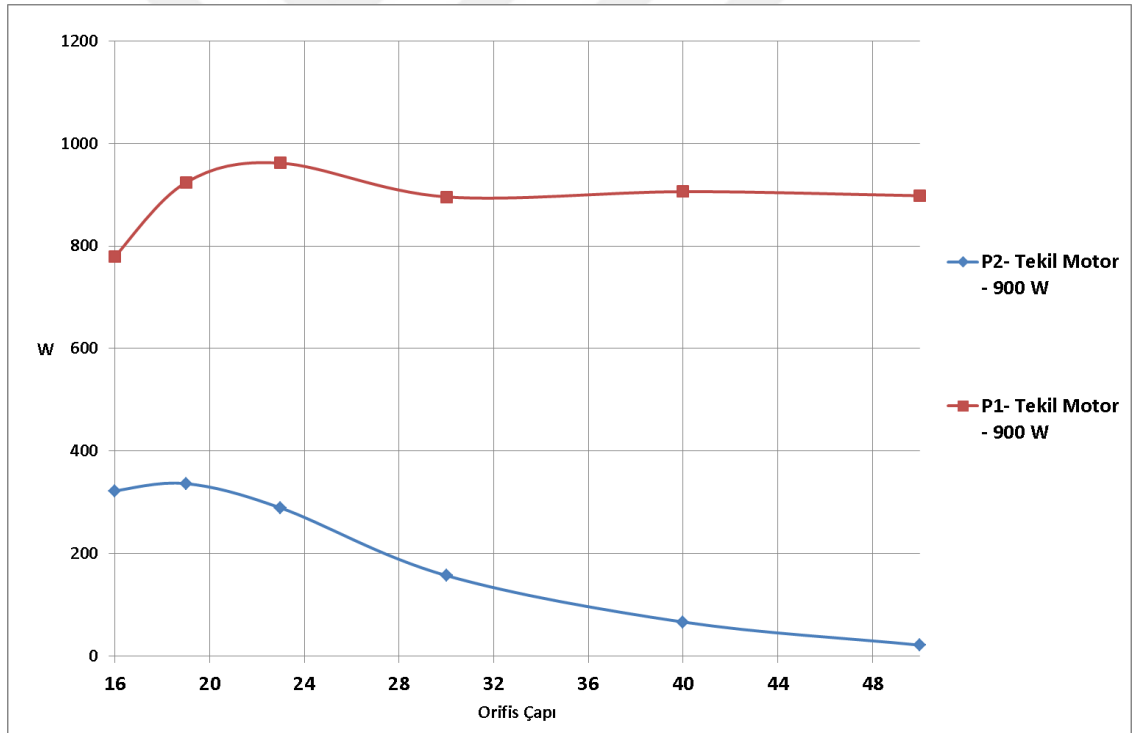
Çizelge 5. 1 Farklı Orifis Çaplarında 900 W Tekil Motor Performans Değerleri

d (mm)	h (kPa)	Q (L/s)	P₂ (W)	P₁ (W)	η %
50	0,58	36,6	21,30	893,08	2,37
40	1,67	39,68	66,32	905,98	7,32
30	4,35	36,04	157	895,84	17,55
23	9,32	30,99	288,90	861,64	33,42
19	13,3	25,27	336,41	823,96	40,83
16	16,26	16,26	322,34	779,55	41,48

Çizelge 5.1 'de görüldüğü üzere, farklı orifis çalarında (d) ölçülen vakum basınç değerlerinden yola çıkılarak emiş gücü (P_2), debi (Q) ve yüzde verim (η) gibi ifadeler elde edilmiştir. Ek olarak motorun çektiği akım ve voltaj değerlerinden yola çıkılarak nominal gücü (P_1) elde edilmiştir.

Daha sonra detaylı olarak bahsedilecek salyangoz süpürge ölçümünde, prototipin mekanik dayanımının, oluşan vakum basıncına dayanıklı olmaması sebebiyle 16 mm'den daha küçük çaplı orifislerde ölçüm alınmamıştır. Bu yüzden tekil motor ölçümü de 16 mm orifis çapına kadar yapılmıştır.

Tabloda görüldüğü üzere tekil motor, maksimum emiş gücünü 19 mm orifis çapında sağlamaktadır. Bu durum motorun karakteristiğinden ve tasarımından ileri gelmektedir. Motorun tasarımına göre farklı orifis çaplarında maksimum emiş gücü sağlanabilir. Süpürge performans ölçümleri yapılırken önemli olan faktör emiş gücüdür.



Şekil 5. 1 900 W Tekil Motor Performans Grafiği

Şekil 5.1 'de motorun farklı orifis çaplarında sağladığı debiye göre nominal giriş gücü P_1 ve emiş gücü P_2 'nin Watt cinsinden grafiği görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere motorun maksimum emiş gücü sağladığı değer 19 mm orifis çapına denk gelmektedir.

Ayrıca görüldüğü üzere motor, nominal gücünün yalnızca %40'ını emiş gücüne çevirebilmektedir.

Tekil motor performans ölçümünün ardından motor, salyangoz süpürge prototipine yerleştirilerek süpürge performans ölçümü yapılmıştır. Buradaki amaç daha önce bahsedildiği üzere, motorun süpürge içerisine yerleştirildiğinde, basınç ve enerji kayıpları dolayısıyla emiş gücünden ne kadar kaybettiğini görmektir.

Salyangoz süpürge, 900 W nominal gücünde farklı orifis çaplarındaki performans değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

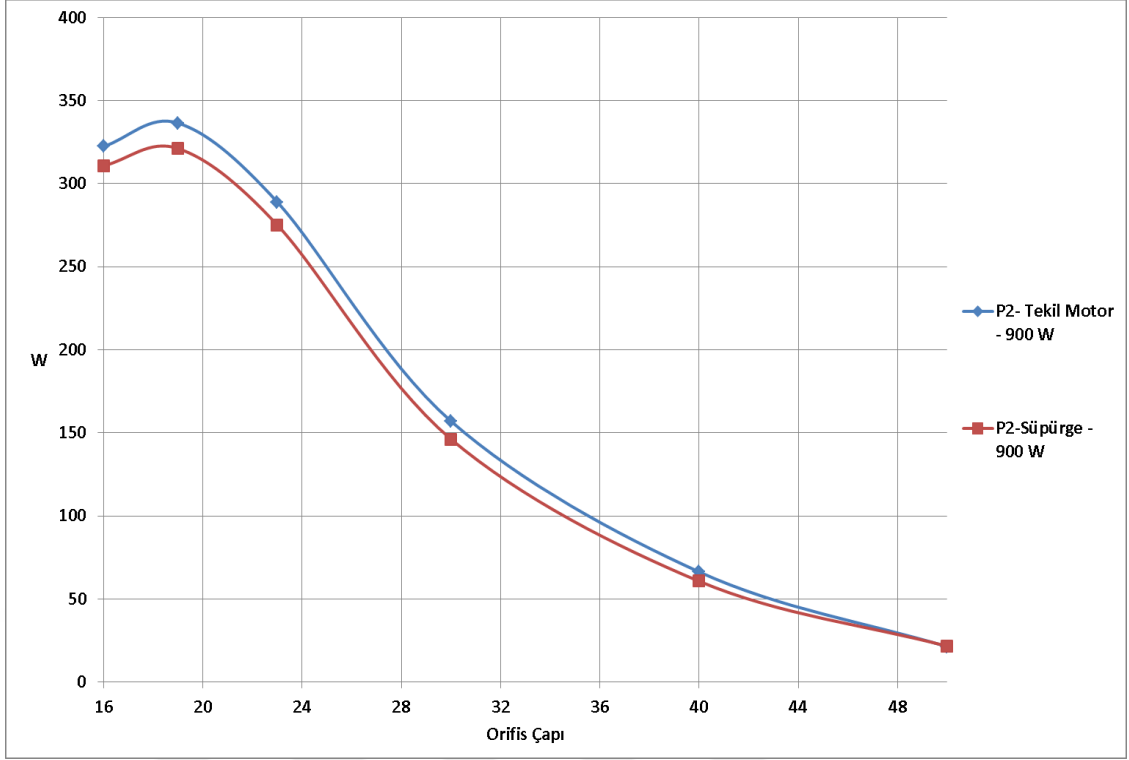
Çizelge 5. 2 Farklı Orifis Çaplarında 900 W Süpürge Performans Değerleri

d (mm)	h (kPa)	Q (L/s)	P ₂ (W)	P ₁ (W)	η %
50	0,59	36,75	21,57	887,77	2,44
40	1,57	38,52	60,67	897,41	6,76
30	4,15	35,19	146,19	881,02	16,59
23	9,02	30,48	275,09	849,87	32,21
19	12,9	24,88	321,11	806,5	39,71
16	15,87	19,57	310,75	763,21	40,75

Süpürge prototipi performans ölçümleri, prototipin yüksek vakum oluşturulan 13 mm ve daha küçük orifis çapı değerlerinde çatlamasını önlemek amacıyla ölçümler 16 mm orifis çapına kadar yapılmıştır.

Motorun karakteristiğinden dolayı görüldüğü gibi süpürge de en yüksek emiş gücünü 19 mm orifis çapında sağlamaktadır.

Süpürge performans değerlerini yorumlarken tekil motor ölçümleriyle karşılaştırarak emiş gücünden ne kadar kaybettiğini görmek gerekmektedir. Böylece motorun etrafına çevrelenen hava akış patikasında akış kaynaklı emiş gücü kayıplarının hangi mertebeye olduğu görülecektir.



Şekil 5. 2 900 W Süpürge ve Tekil Motor Emiş Gücü Karşılaştırması

Şekil 5.2 'de görüldüğü üzere süpürge motorun üzerine gelmesiyle birlikte debi ve emiş gücü kayıpları oluşmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta emiş gücünün en fazla olduğu noktadır. Süpürge ile birlikte motorun sağladığı emiş gücünden 15,3 Watt emiş gücü kaybı oluşmaktadır. Bu değer, bir süpürge motorundan sonraki hava akış patikası açısından oldukça fazla bir değerdir. Süpürge daha önceki, bölümlerde bahsedildiği üzere filtrasyon sistemi, toz torbası, motor giriş filtresi ve hepa filtre gibi emiş gücünü olumsuz yönde etkileyebilecek birçok farklı eleman vardır. Bu elemanlar olmaksızın süpürge sadece hava akış patikası kaynaklı olarak emiş gücünden 15,3 W kaybetmesi kesinlikle istenmeyen bir durumdur.

Süpürge herhangi bir orifis çapına bağlanmadan, bir anemometre yardımıyla yapılan debi ölçümünde süpürge debisi yaklaşık olarak 25 L/s çıkmıştır. Bu ölçüm performans ölçüm deneylerinde en yüksek emiş gücünü sağlayan 19 mm orifis çapındaki debi değerine oldukça yakındır ve değerlendirmelerin bu orifis çapında yapılması gerektiğini doğrulamaktadır.

Tekil motorun, 700 W tasarım dışı nominal gücünde ve farklı orifis çaplarındaki performans değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Çizelge 5. 3 Farklı Orifis Çaplarında 700 W Tekil Motor Performans Değerleri

d (mm)	h (kPa)	Q (L/s)	P₂ (W)	P₁ (W)	η %
50	0,09	14,02	32,4	700,5	4,17
40	1,28	34,75	44,56	700,36	6,36
30	3,36	31,67	106,59	694,27	15,35
23	7,34	27,5	201,99	677,18	29,8
19	10,42	22,36	233,13	647,08	36,01
16	12,9	17,64	227,8	614,8	37,07

Tabloda görüldüğü üzere tekil motor 700 W tasarım dışı nominal gücünde çalıştırıldığında da maksimum emiş gücünü 19 mm orifis çapında sağlamaktadır. Ek olarak motorun verimi % 36 mertebelerine düşmüştür.

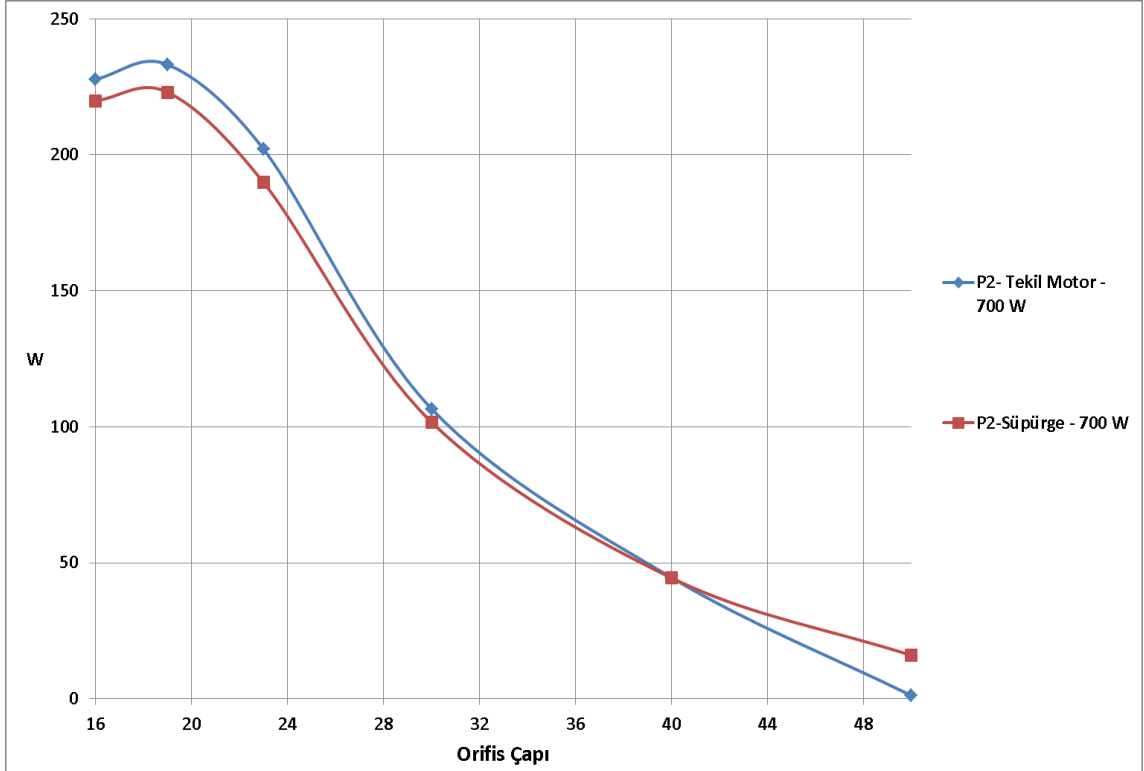
Tekil motor performans ölçümünün ardından motor, salyangoz süpürge prototipine yerleştirilerek süpürge performans ölçümü yapılmıştır. Buradaki amaç daha önce bahsedildiği üzere, motorun süpürge içerisine yerleştirildiğinde, basınç ve enerji kayıpları dolayısıyla emiş gücünden ne kadar kaybettiğini görmektir.

Salyangoz süpürge, 700 W tasarım dışı nominal gücünde farklı orifis çaplarındaki performans değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Çizelge 5. 4 Farklı Orifis Çaplarında 700 W Süpürge Performans Değerleri

d (mm)	h (kPa)	Q (L/s)	P ₂ (W)	P ₁ (W)	η %
50	0,48	33,24	15,97	700,4	2,28
40	1,28	34,73	44,45	696,14	6,38
30	3,26	31,18	101,66	687,75	14,81
23	7,04	26,93	189,75	669,37	28,35
19	10,12	22,03	222,95	642,65	34,64
16	12,6	17,44	219,85	608,12	36,15

Motorun karakteristiğinden dolayı görüldüğü gibi süpürge de en yüksek emiş gücünü 19 mm orifis çapında sağlamaktadır.

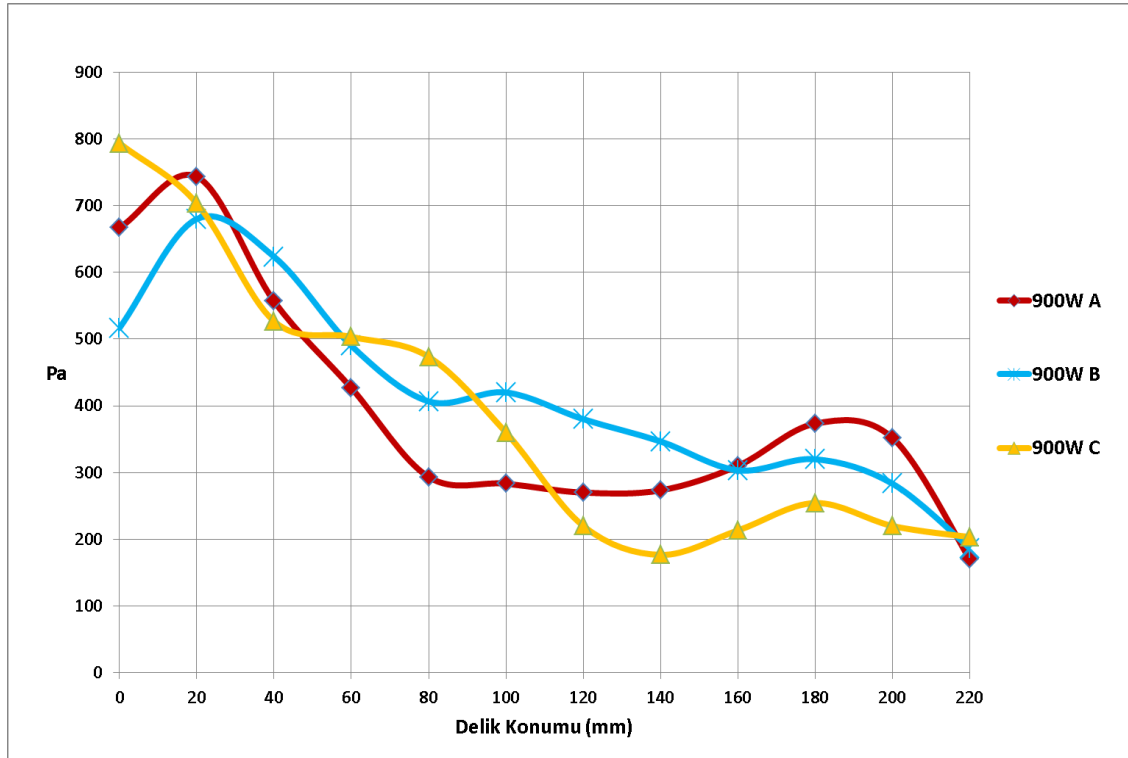


Şekil 5. 3 700 W Süpürge ve Tekil Motor Emiş Gücü Karşılaştırması

Şekil 5.3 'de görüldüğü üzere süpürge motorun üzerine gelmesiyle birlikte debi ve emiş gücü kayıpları oluşmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta emiş gücünün en fazla olduğu noktadır. Süpürge ile birlikte motorun sağladığı emiş gücünden yaklaşık 11 Watt emiş gücü kaybı oluşmaktadır.

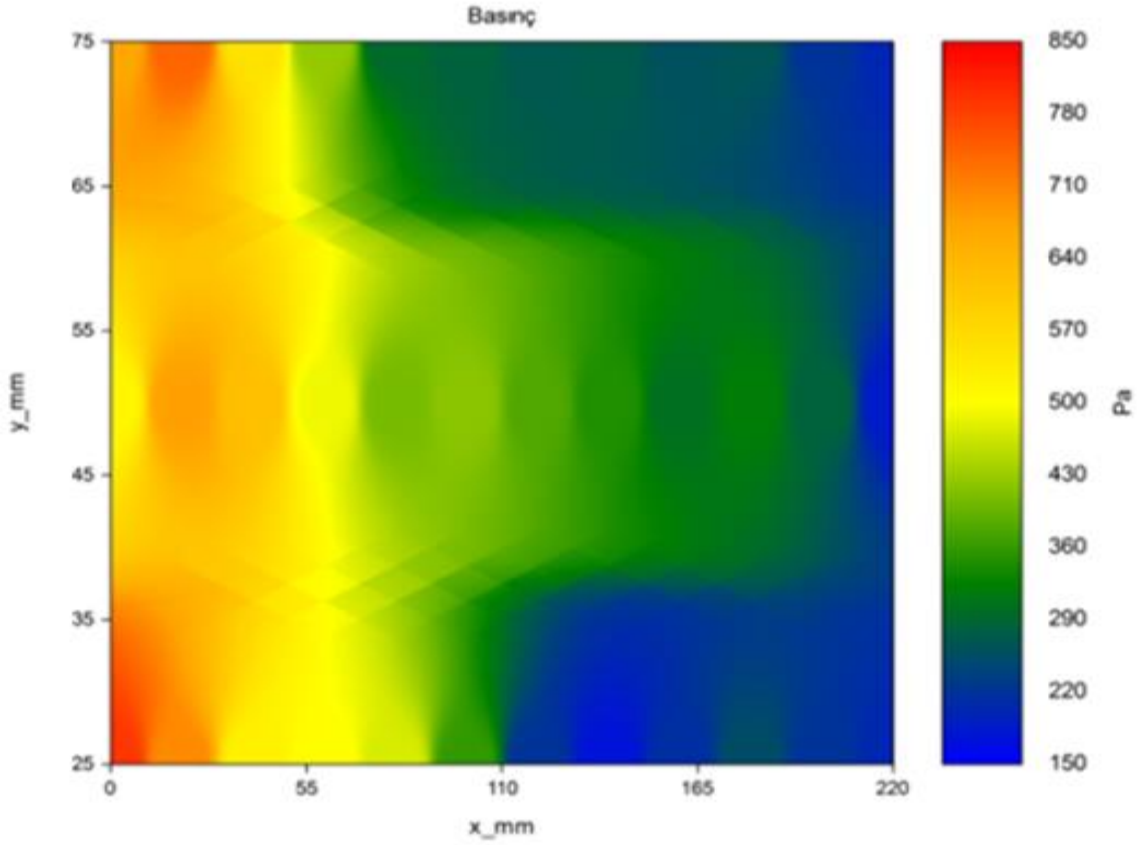
5.1.2 Basınç Ölçümü Sonuçları

Basınç ölçümü deneyi bölüm 4.4 'de anlatıldığı üzere süpürge prototipinin yan duvarlarında basınç ölçüm delikleri açılarak ve bir dijital mikro manometre yardımıyla 900 W tasarım ve 700 W tasarım dışı nominal güçlerinde yapılmıştır. Ölçülen statik basınç değerleri NCSS Data Analysis programı ile görselleştirilmiştir.



Şekil 5. 4 900 W Nominal Güçte “A”, “B” ve “C” Sıralarında Delik Konumlarına Göre Pascal Cinsinden Basınç Dağılımı

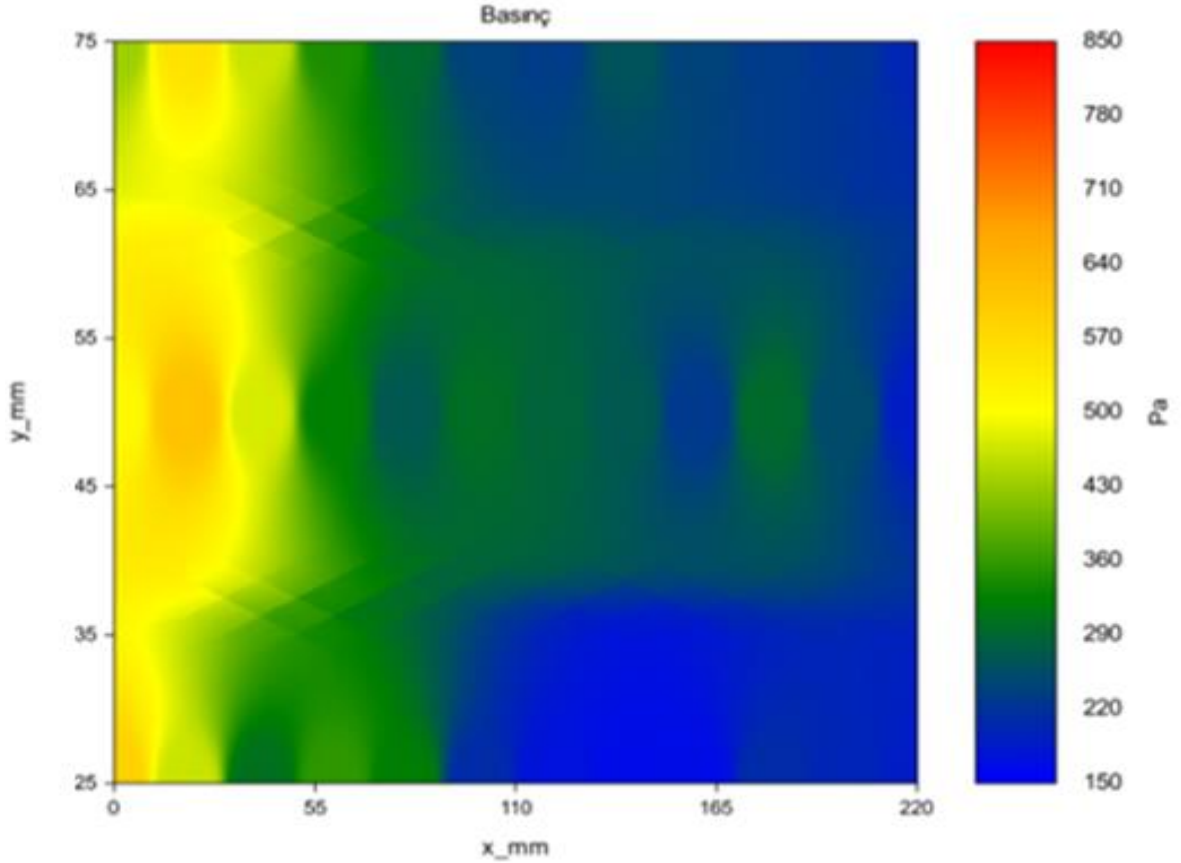
Şekil 5.4 'de deliklerin konumu “mm” cinsinden ifade edilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi delikler arasındaki uzaklık 20 mm'dir. Süpürge motoru, havaya enerji transfer ettiğinden dolayı motordan çıkan havanın basıncı atmosfer basıncından yüksektir. Salyangoz yapının atmosfere açılan bölümünde yani 100 mm 'ye denk gelen 6. Delikten sonrasında basınç dağılımları üç düzlemde de yakın ve atmosfer basıncına yakın seyretmektedir.



Şekil 5. 5 900 W Nominal Güçte Basınç Dağılımının Kontur Gösterimi

Şekil 5.5 'de kavisli yapıdaki salyangoz üzerindeki deliklerin 900 W nominal güçteki basınç değerleri çevresel konumlarına göre x-y düzleminde kontur olarak gösterilmektedir. Y ekseninde "A", "B" ve "C" sıraları sırasıyla "75", "50" ve "25" mm değerlerine denk gelmektedir.

Salyangoz dil bölgesi, x düzleminde "0" noktasına denk gelen y eksenini boyunca devam etmektedir. Şekil 5.4 ile paralel olarak x ekseninde 110 mm'den itibaren, basınç dağılımı atmosfer basıncına yaklaşmaktadır. Basınç düşüşü oldukça net olarak görülmektedir.



Şekil 5. 6 700 W Nominal Güçte Basınç Dağılımının Kontur Gösterimi

Şekil 5.6 'da kavisli yapıdaki salyangoz üzerindeki deliklerin 700 W tasarım dışı nominal güçteki basınç değerleri çevresel konumlarına göre x-y düzleminde kontur olarak gösterilmektedir. Y ekseninde "A", "B" ve "C" sıraları sırasıyla "75", "50" ve "25" mm değerlerine denk gelmektedir.

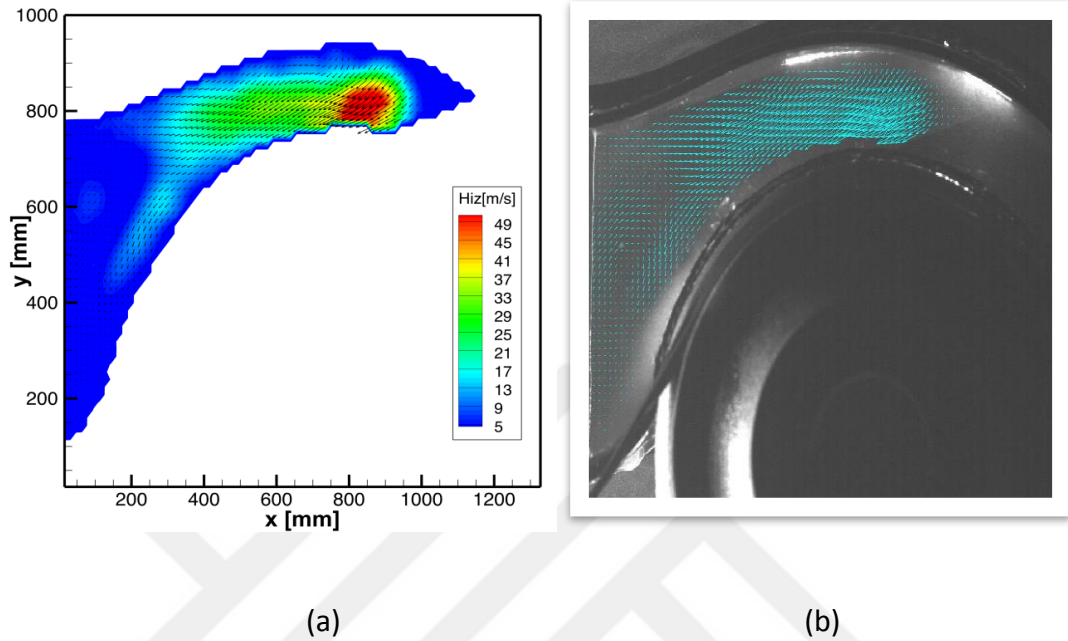
900 W nominal güç ile çalışan süpürge üzerindeki basınç ölçüm sonuçlarıyla 700 W nominal güçteki basınç dağılımı paraleldir. 900 W nominal güçte çalışan süpürge de en yüksek basınç değeri 800 Pa mertebelerindeyken 700 W nominal güçte çalışan süpürge de bu değer 660 Pa mertebelerine düşmüştür, bu durum nominal gücün azalmasından kaynaklanmaktadır.

5.1.3 PIV (Partikül Hız Dağılımı Görselleştirme) Deneyi Sonuçları

PIV deneyi sonunda bölüm 4.3 'de açıklandığı üzere 5 farklı kesitteki hız dağılımları elde edilmiştir.

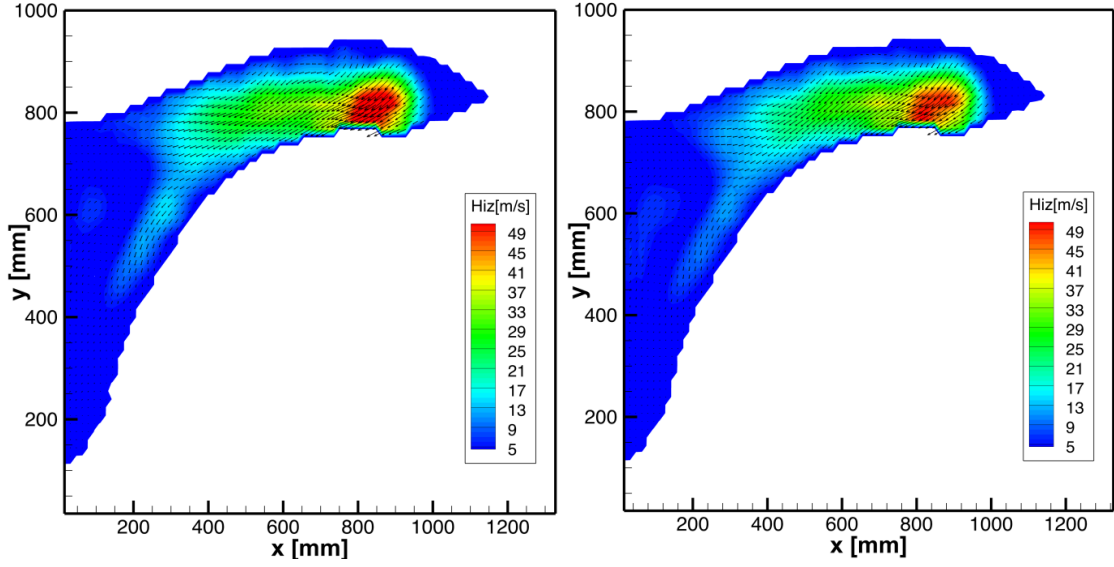
5.1.3.1 Hız Dağılımları

İlk olarak salyangoz yapılı süpürge içerisindeki hız dağılımları 900 W tasarım ve 700 W tasarım dışı nominal güçlerinde ölçülmüştür.



Şekil 5. 7 (a) Salyangoz İç Kısımda K-1 Kesitindeki Ortalama Hız Dağılımı Görseli ve (b) Salyangoz Yapı İçerisinde Ölçüm Alınan Alan

Salyangoz yapı içerisinde yapılan ölçüm, lazer ışığının ulaşabildiği en uç kısma kadar olan alanı kapsamaktadır. Şekil 5.7 (a) 'da K-1 kesitindeki ortalama hız vektörü dağılımları ve (b) 'de hız dağılımlarının alındığı alanın salyangoz yapı üzerindeki konumu görülmektedir.

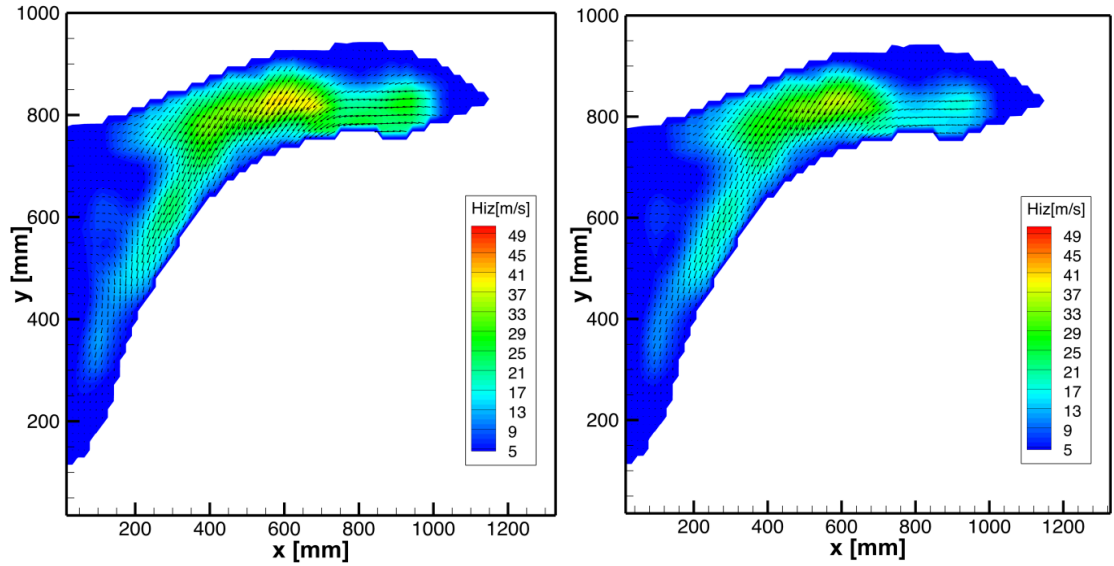


(a)

(b)

Şekil 5. 8 (a) 900 W, (b) 700 W K-1 Kesiti Vektör Hız Dağılımı

900 ve 700 W nominal güçlerinde, K-1 kesitindeki salyangoz yapısı hız dağılımları Şekil 5.8 'de görülmektedir. Şekilde görülen hız dağılımları incelendiğinde 700 W ve 900 W arasında belirgin bir fark olmadığı görülmektedir. Hızların salyangoz yapının dil kısmına yakın olan bölgelerinde iç duvara yakın kısımda yüksek hızlara çıktığı görülmektedir. Bu durumun sebebi motor bölümünden dil bölgesine giriş yapan havanın düzensiz bir rejimde akmasıdır.

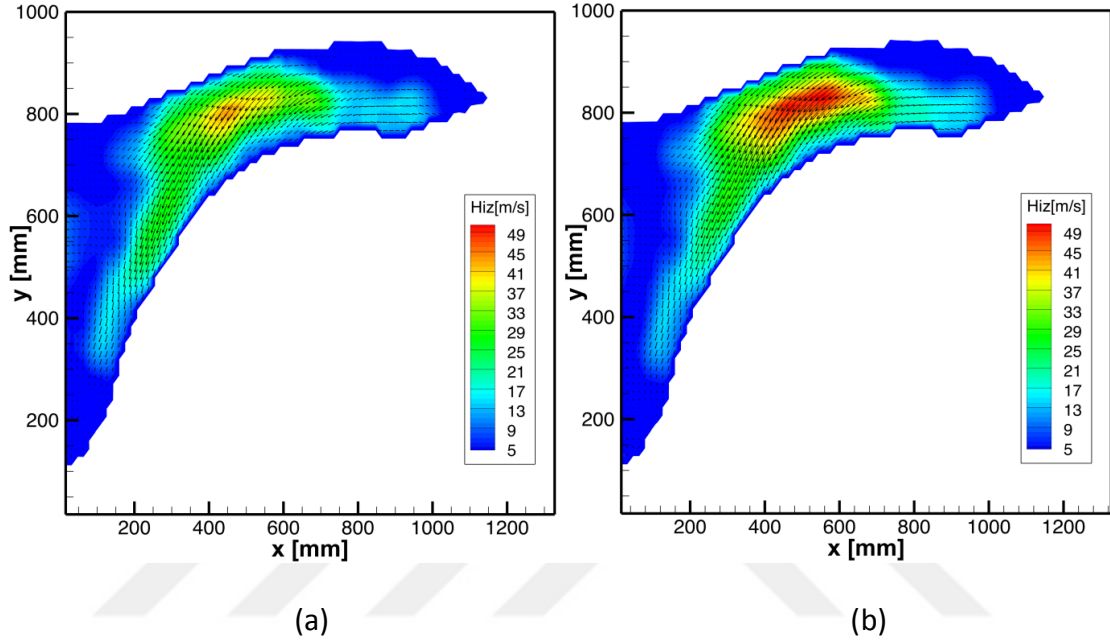


(a)

(b)

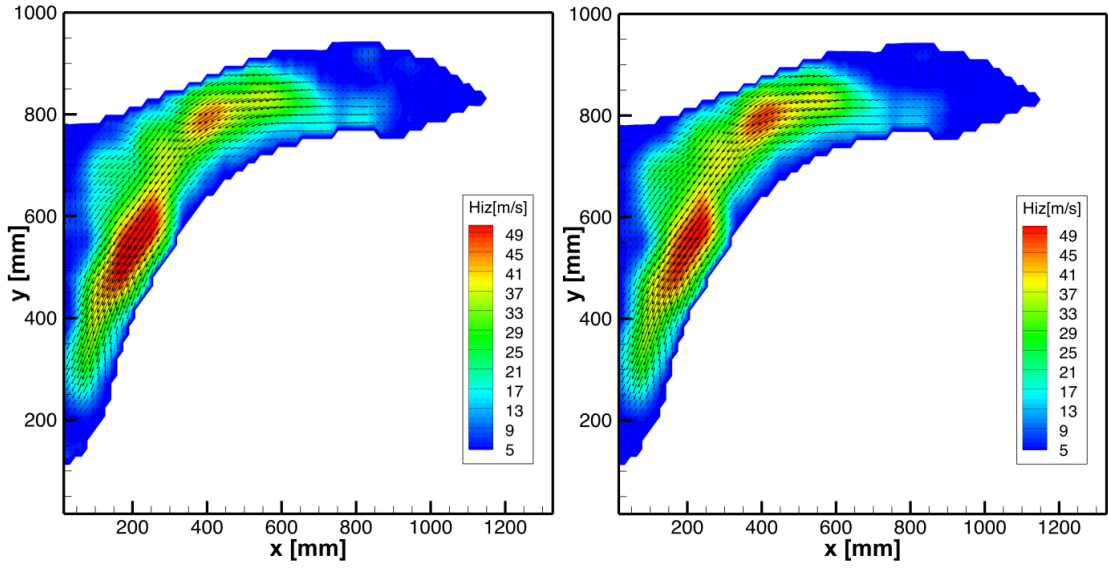
Şekil 5. 9 (a) 900 W, (b) 700 W K-2 Kesiti Vektör Hız Dağılımı

Şekil 5.9 'da K-2 kesitindeki hız dağılımları görülmektedir. K-1 kesitinde belirgin olmayan hız dağılımı farkları bu kesitte bir miktar belirginleşmiştir. Ancak gene de çok farklı bir akış yapısından söz edilemez. K-1 kesitindeki yüksek hızlı bölgenin bu kesitte etkisi 900 W gücünde daha belirgindir. Ek olarak akışın salyangoz çıkış bölgesine doğru yaklaştıkça {200,600} genişlemeyle birlikte girdaplı (vortex) akış bölgeleri görülmektedir.



Şekil 5. 10 (a) 900 W, (b) 700 W K-3 Kesiti Vektör Hız Dağılımı

K-3 kesitindeki hız dağılımları Şekil 5.10 'da görülmektedir. K-1 kesitinde dil bölgesine yakın bölümde görülen ve K-2 kesitinde de etkisi olan yüksek hız dağılımı K-3 kesitinde 900 ve 700 W güçlerinin her ikisi için de görülmemektedir. Salyangoz yapının başladığı dil bölgesinden itibaren z ekseninde +z yönünde genişlemesi, kesitlerde +z yönünde ilerledikçe dil bölümünde düşük hızlı ve düşük enerjili bölgenin görülmesine sebep olmaktadır. Bu durum akışın z ekseninde +z yönünde akış ayrışmasına uğradığını göstermektedir ve akışın homojenliğini bozmaktadır. Ek olarak bu bozulma ikincil akımların oluşmasına da sebep olabilir. K-3 kesitinde 900 W gücündeki hız dağılımı 700 W 'a göre daha düzenlidir. Hızların salyangoz çıkış kısmına doğru genişlemeyle birlikte oldukça düştüğü görülmektedir.

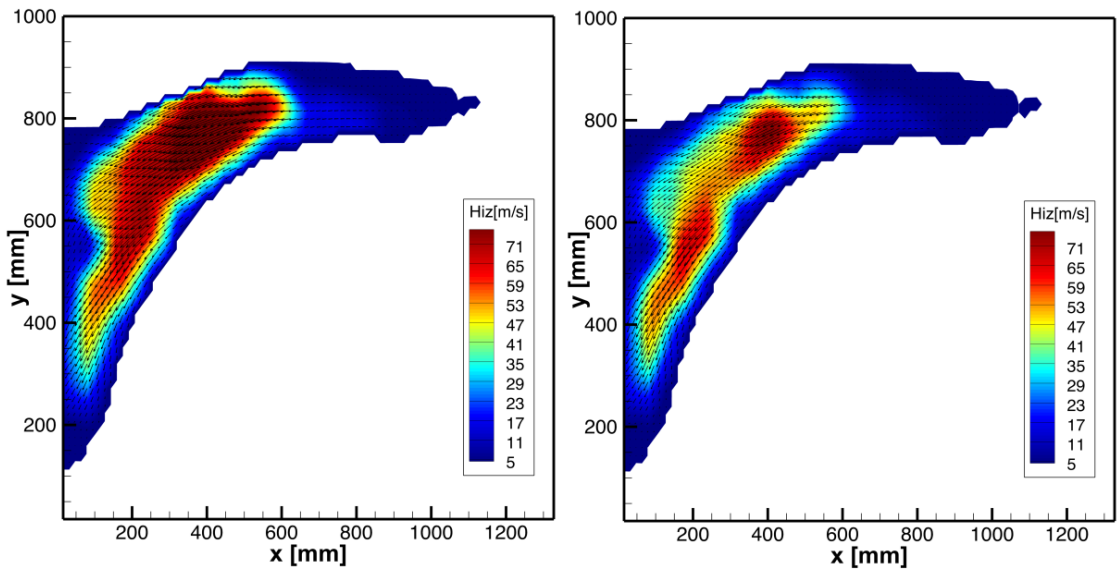


(a)

(b)

Şekil 5. 11 (a) 900 W, (b) 700 W K-4 Kesiti Vektör Hız Dağılımı

K-4 kesitindeki hız dağılımları şekil 5.11 'de görülmektedir. Bu kesitte gene iki güç arasında belirgin bir fark görülmemektedir. Dil bölgesi yakınında hızların oldukça düşük olduğu bu kesitte gene görülmektedir. Daha önceki kesitlerde düşük hız dağılımına sahip olan salyangoz çıkış bölümü bu kesitte daha yüksek hız dağılımına sahiptir. Bu durumda akışın salyangoz yapı içerisinde z ekseninde de hareket ettiği belirginleşmiştir. Ek olarak kaymama şartı bu kesitte belirgin şekilde görülmektedir.



(a)

(b)

Şekil 5. 12 (a) 900 W, (b) 700 W K-5 Kesiti Vektör Hız Dağılımı

Şekil 5.12 'de görülen K-5 kesitinde hızlar oldukça yüksektir. Dil bölgesine yakın olan kısmın neredeyse yarısı akış dağılımına çok düşük katılımlıdır ve bu durum düzensizlik ve enerji kayıpları sağlamaktadır. Hava akışı salyangoz yapı çıkışında oldukça hızlı yapıdadır. Diğer kesitlerle karşılaştırıldığında en yüksek hızlar bu kesitte görülmektedir. 900 W gücündeki hava akışı, 700 W gücüne göre daha hızlıdır. Bu kesitte gene sınır tabakalar belirgin bir şekilde görülmektedir. Ayrıca akış hızının dil bölgesinde K-1 kesitinden K-5 kesitine kadar giderek düşmesi ve düşük hızlı bölgenin gittikçe genişlemesi, dil bölgesinden sonra formunu almaya başlayan salyangoz yapıda akış ayrılması ve z ekseninde +z yönünde bir akış hareketini keskinleştirmektedir.

5.2 Değerlendirmeler

Bu tez çalışmasında, tasarım aşamasında olan bir süpürge salyangoz hava çıkış bölümündeki hava hareketleri performans ölçümü, basınç ölçümü ve partikül hız dağılımı görselleştirme deneyleri ile deneysel bir şekilde incelenmiştir.

Performans ölçümleri sonucunda 900 W nominal gücündeki motorun, salyangoz süpürge prototipi içerisine monte edildiğinde hava akış patikasında 15 W emiş gücü kaybettiği ve motor nominal gücü 700 W gücüne ayarlandığında yaklaşık 12 W emiş gücü kaybettiği görülmüştür. Emiş gücünü etkileyecek diğer parametrelerin süpürgeye eklenmesiyle kayıp değeri artacaktır. Hava akış patikasından ileri gelen bu kayıp, süpürge salyangoz bölümü tasarımının geliştirilmeye oldukça açık olduğunu göstermektedir. 900 W nominal gücünde 336 W emiş gücü sağlayabilen bir motor ile tasarlanacak süpürge, diğer parametrelerin eklenmesiyle birlikte en az 230 W 'lık bir emiş gücü hedeflenmiştir. Bu durumda salyangoz yapı 900 W için %15 'lik bir emiş gücü kaybı meydana getirir.

Yapılan basınç ölçümü deneyi ile salyangoz kısmındaki basınç dağılımı ile ilgili öngörüler elde edilmiştir. Sonuç verilerine göre, salyangozun dil bölgesinden sonra basıncın x ekseninde ilk delikten itibaren 100 mm kadar görece yüksek daha sonrasında ise giderek atmosfer basıncına yaklaşarak düşük seviyede olduğu görülmektedir.

Partikül hız dağılımı görselleştirme deneyleri sonucunda, akışın salyangoz alanında 3 boyutlu bir şekilde hareket ettiği, dil bölgesine yakın konumlarda akış K-1 ve K-2

kesitlerinde hız kazanmışken k-5 kesitine doğru yani yukarıya doğru gidildikçe akışın dil bölgesinde durgun ve düşük enerjili olduğu, salyangoz çıkış bölgesinde (atmosfere açıldığı bölgede) daha hızlı bir görüntü izlediği görülmektedir. Ayrıca akışın salyangoz yapıya giriş yaptığı dil bölgesinden çıktıktan sonra z ekseninde +z yönünde, geniş havzaya açılma etkisi ile bir akış ayrışmasına uğradığı görülmektedir. Bu sonuçlar bize akışın dil bölgesinden itibaren alttan üste doğru yoğunlaşarak çapraz bir hareket sergilediğini ve düzensizliklerin olduğu bir profil izlediğini göstermektedir.

Bu çalışma ışığında süpürge salyangoz yapısının yapısal değişikliklerle daha iyi tasarlanması mümkündür. Bilgisayar ortamında tasarlanan süpürge ile CFD çalışmaları yapılarak akış yapısı benzetilebilir ve ardından yapısal değişiklikler ile en iyi performans sonucu verecek tasarım elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Arçelik A.Ş, (2014). Yatık Toz Torbalı Elektrikli Süpürge, Yayın No: 3, İstanbul.
- [2] EU, (2013). COMMISSION DELEGATED REGULATION Yayın No: 665/2013, Brussels.
- [3] Sinha, M., Pınarbaşı, A. ve Katz, J., (2001). “The Flow Structure During Onset and Developed States of Rotating Stall Within a Vaned Diffuser of a Centrifugal Pump”, Journal of Fluids Engineering, 123:490-499.
- [4] Sinha, M. ve Katz, J., (2000). “Quantitative Visualization of the Flow in a Centrifugal Pump With Diffuser Vanes-1: On Flow Structures and Turbulence”, Journal of Engineering for Power, 122:97-107.
- [5] Iversen, H. W., Rolling, R. E. ve Carlson, J. J., (1960). “Volute Pressure Distribution, Radial Force on the Impeller, and Volute Mixing Losses of a Radial Flow Centrifugal Pump”, Journal of Fluids Engineering, April:136-143.
- [6] Xu, C. ve Muller, M. (2005). “Development and Design of a Centrifugal Compressor Volute”, International Journal of Rotating Machinery, 3:190-196.
- [7] İleri Akışkanlar Mekaniği Ders Notları, <http://www.yildiz.edu.tr/~alipnrbs/>, Erişim Tarihi: 03.11.2014
- [8] Çengel, Y. Ve Cimbala, J. M., (2010). Fluid Mechanics Fundamentals and Applications, Second Edition, Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- [9] Furness Control Dijital Mikromanometre, www.furnesscontrols.com
- [10] IEC 60312-1, (2011). Vacuum cleaners for household use- Part 1: Dry vacuum cleaners- Methods for measuring the performance, IEC, Edition 1.1. , Geneve.

[11] Raffel, M., Willert, C. E., Wereley, S. T., Kompenhans, J. (2007). Particle Image Velocimetry: A Practical Guide, Springer, Berlin.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emirhan ERDİL
Doğum Tarihi ve Yeri : 30.01.1992 / KADIKÖY
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : erdilemirhan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Isı Proses (Mak. Müh.)	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Matematik-Fen	Kenan Evren Anadolu Lisesi	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014- Devam Ediyor	ARÇELİK A.Ş. Temin Ürün Direktörlüğü	Ar-Ge Mühendis
2014-2014	ARÇELİK A.Ş. Merkez Ar-Ge	Uzun Dönem Stajyer
2013-2013	FRİTERM A.Ş.	Stajyer