

**KAS KUVVETİ İLE ÇALIŞTIRILAN VORTEKS
TÜPLERİNİN SOĞUTMA-ISITMA AMAÇLI
KULLANILMASINDA PERFORMANS ANALİZİ**

**2010
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Ayşe DANIŞ

**KAS KUVVETİ İLE ÇALIŞTIRILAN VORTEKS TÜPLERİNİN
SOĞUTMA-ISITMA AMAÇLI KULLANILMASINDA PERFORMANS
ANALİZİ**

Ayşe DANIŞ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Haziran 2010

Ayşe DANIŞ tarafından hazırlanan “KAS KUVVETİ İLE ÇALIŞTIRILAN VORTEKS TÜPLERİNİN SOĞUTMA-ISITMA AMAÇLI KULLANILMASINDA PERFORMANS ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında, Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 23/ 06/ 2010

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

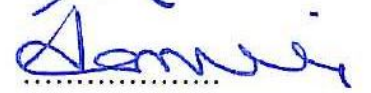
Başkan : Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ (KBÜ)



...../...../2010

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ayşe DANIŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAS KUVVETİ İLE ÇALIŞTIRILAN VORTEKS TÜPLERİNİN SOĞUTMA-ISITMA AMAÇLI KULLANILMASINDA PERFORMANS ANALİZİ

Ayşe DANIŞ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Haziran 2010, 53 Sayfa

İnsanların sıcak havalarda serinleme ve soğuk havalarda ısınma ihtiyaçlarını karşılamak için kullanabileceği herhangi bir enerji sistemine ihtiyaç duymadan kas kuvveti ile çalışan, soğutma-ısıtma sistemi tasarımı yapılmıştır. Sistem; vorteks tüpü, dizlik, 3 uzuvlu doğrusal hareket mekanizması ve yelekten oluşmaktadır.

Yürürken dizin yaptığı harekete bağlı olarak 3 uzuvlu mekanizmadaki piston strokunun ileri geri itilmesi sağlanmıştır. Bu ileri geri doğrusal hareket ile elde edilen basınçlı hava, hortumlar yardımıyla vorteks tüpüne iletilmektedir. Vorteks tüpünün içerisinde oluşan soğuk/sıcak hava, yelek içerisine belirli aralıklarla yerleştirilen hortumlar ile yelek yüzeyine taşınmaktadır.

Deneyleer yürüme ve koşma durumlarında gerçekleştirilmiş, tek piston ve çift piston kullanılarak elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Soğutma deneyleerinde yürüme durumunda elde edilen sıcaklık düşüşü değerleri, tek piston kullanımında 0,75°C, iki piston kullanımında 2,0°C'dir. Koşma durumunda elde edilen sıcaklık düşüşü değerleri, tek piston kullanımında 1,9°C ve iki piston kullanımında 3,2°C'dir. Isıtma deneyleerinde yürüme sonucu elde edilen sıcaklık artışı değerleri tek piston kullanımında 1,0°C, iki piston kullanımında 2,0°C'dir. Koşma sonucunda elde edilen sıcaklık artışı değerleri, tek piston kullanımında 2,5°C ve iki piston kullanımında 4,3°C'dir.

Sistem hafif ve giyilebilir olması her türlü çalışma koşulunda kullanımına olanak vermektedir. Böylece işgücü verimi artacak, kişilerin çalışma performansları yükselecektir. Bu da doğrudan ya da dolaylı olarak üretim kalitesine ve ekonomiye olumlu etkisi olacaktır.

Anahtar Kelime : Vorteks tp, soğutma, ısıtma.

Bilim Kodu : 626. 08. 01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PERFORMANCE ANALYSIS OF VORTEX TUBE OPERATED BY HUMAN MUSCLE FOR COOLING-WARMING PROCESSES

Ayşe DANIŞ

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Education**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

June 2010, 53 Pages

In this study, a cooling-warming system which can be operated by human muscle without needing any energy device was designed and a prototype was produced for people's cooling and warming needs. This system consists of a vortex tube, knee pad, linear motion mechanism with 3 components and a vest.

While walking, depending on knee's movement, a piston at linear motion mechanism was moved to forward and backward. Pressurized air was obtained from this forward and backward movement and it was sent to a vortex tube with pneumatic pipes. Cold-hot air in vortex tube was send on the vest surface with pipes which were placed on underneath of vest textile specific spaces.

Experiments were performed during walking and running. The results were obtained and estimated using single and double pistons. At cooling experiments during walking, the decrease of temperature was about 0.75°C with a single piston, and 2.0°C with double pistons. During running, the decrease was 1.9°C with a single piston, and 3.2°C with double pistons. On the other hand, at warming experiments during walking, the increase of temperature was about 1.0°C with single piston, and 2.0°C with double pistons. During running, the increase was about 2.5°C with single piston, and 4.3°C with double pistons.

The produced system is lightweight and wearable, so it can be used and operating environment. Thus efficiency of employees who will use it and their performances will increase. In this way, product quality in industry and economy can be affected positively.

Key Words : Vortex tube, cooling, warming.

Science Code : 626. 08. 01

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında yardımlarını, tüm desteğini ve yol gösterici fikirlerini esirgemedен beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA'ya; değerli fikirlerini esirgemeyen Doç. Dr. Cevdet GÖLOğLU'na, Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ'ye, Yrd. Doç. Dr. Metin Zeyveli'ye, Arő. Gör. Murat AYDIN'a, Arő. Gör. Yakup KAYA'ya, tüm hocalarıma, aileme, arkadaşlarıma sonsuz saygı ve teőekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI	2
1.2. LİTERATÜRDE BULUNAN ÇALIŞMALAR	2
BÖLÜM 2.	7
VORTEKS TÜPÜ	7
2.1. VORTEKS TÜP ÇEŞİTLERİ VE KONSTRÜKSİYONU	8
2.1.1. Vorteks Tüp Tipleri	8
2.1.1.1. Karşıt Akışlı Vorteks Tüpler	9
2.1.1.2. Paralel Akışlı Vorteks Tüpler	10
2.1.1.3. Adyabatik Vorteks Tüpler	10
2.1.1.4. Adyabatik Olmayan Vorteks Tüpler	10
2.1.1.5. Ayrık Akışlı Vorteks Tüpler	11
2.1.1.6. Direkt Tahliyeli Vorteks Tüpler	11
2.1.2. Vorteks Tüplerin Konstrüksiyonu	12
2.1.2.1. Gövde	13
2.1.2.2. Giriş Lüleleri	13
2.1.2.3. Soğuk Uç Orifisi (Soğuk Uç Diyaframı)	14

2.1.2.4. Sıcak Çıkış Valfi	14
2.1.2.5. Jeneratör	15
2.1.2.6. Susturucular	16
2.1.2.7. Basıncılı Akışkan Deposu	16
2.1.2.8. Basıncılı Hava Hatları	17
2.1.2.9. Kompresör	17
2.2. VORTEKS TÜPLERİNİN UYGULAMA ALANLARI	17
2.2.1. Isıtma ve Soğutma Uygulamaları	17
2.2.2. Elektrik-Elektronik Devrelerin ve Kontrol Elemanlarının Soğutulması	18
2.2.3. Bölgesel Soğutma Uygulamaları	19
2.2.4. Kişisel İklimlendirme Cihazları	20
2.2.5. Kar Üretimi	22
2.2.6. Klimalı Koltuk	22
2.2.7. Uygulamalı Ürün Vorteks Tüpler	22
BÖLÜM 3.	24
MATERYAL VE METOT	24
3.1. SİSTEMİN GENEL ÇALIŞMASININ TANITIMI TASARIMI VE PROTOTİPİ	24
3.2. SİSTEM ELEMANLARININ İNCELENMESİ	25
3.2.1. Hazır Elemanlar	25
3.2.1.1. Vorteks Tüpü	25
3.2.1.2. Piston	26
3.2.1.3. Rakor	27
3.2.1.4. Hortum	27
3.2.1.5. Tıbbi Medikal Ürün	27
3.2.2. İmal Edilen Parçalar	28
3.2.2.1. Piston Mekanizmasının ve Uzuvarın Tasarımı	28
3.2.2.2. Yelek Tasarımı	29
3.3. PİSTON MEKANİZMASININ ANALİZİ	29
3.4. ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI	32
3.5. SİSTEMİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	33

3.5.1. Sistemin Özellikleri	33
3.5.2. Piston Özellikleri	33
BÖLÜM 4.	35
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
4.1. SOĞUTMA DENEYİ	35
4.1.1. Yürüme Deneyi	35
4.1.1.1. Tek Pistonlu Yürüme Deneyi	35
4.1.1.2. İki Pistonlu Yürüme Deneyi	36
4.1.2. Koşma Deneyi	37
4.1.2.1. Tek Pistonlu Koşma Deneyi	37
4.1.2.2. İki Pistonlu Koşma Deneyi	37
4.1.3. Soğutma Deneyi Bulguları	38
4.2. ISITMA DENEYİ	39
4.2.1. Yürüme Deneyi	39
4.2.1.1. Tek Pistonlu Yürüme Deneyi	39
4.2.1.2. İki Pistonlu Yürüme Deneyi	40
4.2.2. Koşma Deneyi	40
4.2.2.1. Tek Pistonlu Koşma Deneyi	40
4.2.2.2. İki Pistonlu Koşma Deneyi	41
4.2.3. Isıtma Deneyi Bulguları	42
4.3. JENERATÖR ETKİSİ	42
4.4. KALORİ HESABI	46
BÖLÜM 5.	47
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
5.1. SONUÇLAR	47
5.2. ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Vorteks tüpü	7
Şekil 2.2. Karşıt akışlı vorteks tüpler	9
Şekil 2.3. Paralel akışlı vorteks tüpler	10
Şekil 2.4. Adyabatik olmayan (soğutulmuş) vorteks tüp	11
Şekil 2.5. Ayırık akışlı vorteks tüp	11
Şekil 2.6. Direkt tahliyeli vorteks tüp	12
Şekil 2.7. Jeneratörlü bir karşıt akışlı vorteks tüp	12
Şekil 2.8. Sıcak çıkış valfleri	15
Şekil 2.9. Jeneratör çeşitleri	16
Şekil 2.10. Susturucu iç yapısı	16
Şekil 2.11. Vorteks tüplü elektronik kabin soğutması	19
Şekil 2.12. Ultrasonik kaynağı soğutma	20
Şekil 2.13. Kişisel iklimlendirme cihazları	21
Şekil 2.14. Soğuk hava tabancası	23
Şekil 2.15. Soğuk hava tabanca sistemi	23
Şekil 3.1. Hazırlanan sistemin modeli	24
Şekil 3.2. Sistemin prototipi	25
Şekil 3.3. Deney düzeneğinde kullanılan vorteks tüpü	26
Şekil 3.4. Deney düzeneğinde kullanılan piston	26
Şekil 3.5. Deney düzeneğinde kullanılan rakorlar	27
Şekil 3.6. Medikal ürün çift hareket edebilen dizlik	28
Şekil 3.7. Piston mekanizması açık ve kapalı durumu	28
Şekil 3.8. Deney düzeneğinde kullanılan yelek	29
Şekil 3.9. Yelek yüzeyine hortum ve rakorların yerleştirilmesi	29
Şekil 3.10. Piston mekanizması üst ölü noktası	30
Şekil 3.11. Piston mekanizması alt ölü noktası	31
Şekil 3.12. Piston mekanizması açılı ve kurs mesafesi	31

Şekil 3.13. Dijital termometre	32
Şekil 3.14. Manometre	32
Şekil 3.15. Piston kesiti	33
Şekil 4.1. Tek pistonlu yürüme ile soğutma deneyi grafiği	36
Şekil 4.2. İki pistonlu yürüme ile soğutma deneyi grafiği	36
Şekil 4.3. Tek pistonlu koşma ile soğutma deneyi grafiği	37
Şekil 4.4. İki pistonlu koşma ile soğutma deneyi grafiği	38
Şekil 4.5. Soğutma deneyleri grafiği	38
Şekil 4.6. Tek pistonlu yürüme ile ısıtma deneyi grafiği	39
Şekil 4.7. İki pistonlu yürüme ile ısıtma deneyi grafiği	40
Şekil 4.8. Tek pistonlu koşma ile ısıtma deneyi grafiği	41
Şekil 4.9. İki pistonlu koşma ile ısıtma deneyi grafiği	41
Şekil 4.10. Isıtma deneyleri grafiği	42
Şekil 4.11. A jeneratörü	43
Şekil 4.12. A jeneratörlü sıcaklık değişim grafiği	43
Şekil 4.13. B jeneratörü	44
Şekil 4.14. B jeneratörlü sıcaklık değişim grafiği	44
Şekil 4.15. C jeneratörü	44
Şekil 4.16. C jeneratörlü sıcaklık değişim grafiği	45
Şekil 4.17. Jeneratörlü sıcaklık değişim grafiği	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Vorteks tüplerin sınıflandırması	9

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

y_c : Soğuk Akış Kütlesel Debi Oranı

y_h : Sıcak Akış Kütlesel Debi Oranı

L : Vorteks Tüp Boyu

D : Vorteks Tüp Çapı

KISALTMALAR

RVT : Ranque Vorteks Tüpü

RHVT : Ranque-Hilsch Vorteks Tüpü

HVT : Hilsch Vorteks Tüpü

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanoğlu günlük yaşantısını sürdürebilmek için ısıtma ve soğutma teknolojilerine her zaman ihtiyaç duymuştur. Bu nedenle, insanoğlu için yaşadığı ortamların ısıtılması, soğutulması ve iklimlendirilmesi daha rahat ve konforlu yaşayabilmesinin vazgeçilmez şartıdır. Günümüzde özellikle küçük, taşınabilir ve kısa sürede ısıtma veya soğutma yapabilen sistemlere ihtiyaç duyulmakta ve bu yönde ürünler geliştirilmektedir.

Isıtma ve soğutma sistemleri özellikle ev ve işyerleri için geliştirilmiş rezistanslı su ısıtıcıları, elektrik sobaları, mini buzdolapları, elektrikli battaniyeler, vantilatörler, klimalar gibi küçük, taşınabilir ve insan ihtiyaçları doğrultusunda geliştirilen hızlı çözümler üreten sistemlerdir. Bütün çözümler insan ihtiyaçları doğrultusunda teknolojiyle paralel olarak küçülmekte ve taşınabilir hale getirilme amaçlanmaktadır.

Hazırlanan bu çalışma, beş bölümden oluşmaktadır. Bunlardan birinci bölüm “Giriş” olup burada çalışmanın kısa özeti, çalışmanın amacı ve literatürde bulunan çalışmalarda kullanılan vorteks tüpleri incelenmiştir. İkinci bölümde, vorteks tüpü anlatılmıştır. Vorteks tüpünün çeşitleri, konstrüksiyonu ve uygulama alanları detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, soğutma ve ısıtma yapan sistemin çalışması ve tanıtımı yapılmış olup, sistem içerisinde kullanılan hazır elemanlar, imal edilen parçalar, piston mekanizması, uzuvlar ve yelek tasarımı anlatılmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde, soğutma-ısıtma deneyleri yapılmış ve sonuçları grafik olarak çizilmiş, değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmaların nihai sonuçlarının açıklandığı son bölümde, elde edilen bulgular, deneysel çalışmanın amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır.

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Çalışmanın amacı, insanların sıcak havalarda serinleme, soğuk havalarda ısınma ihtiyaçlarını taşınabilir bir sistem ile gidermektir. Vorteks tüpü kullanılarak ısıtma-soğutma yapabilen kişisel iklimlendirme cihazları üzerine yapılan çalışmalarda basınçlı hava, kompresörle elde edilmektedir [1]. Kompresörün büyüklüğü nedeniyle, her ortama taşınmasının problem yaratması düşünülerek bu çalışmada, herhangi bir enerji sistemine ihtiyaç duymadan, kas kuvvetiyle çalışan piston mekanizması ve soğutma-ısıtma yeleği tasarımının hafif ve taşınabilir olması hedeflenmiştir.

1.2. LİTERATÜRDE BULUNAN ÇALIŞMALAR

Özgür, yüksek lisans tez çalışmasında vorteks tüplerinin, sınıflandırılması ve uygulama alanlarını anlatılmış ve vorteks tüp boyunun (L), vorteks tüp çapına (D) oranı $L/D = 10$ olan bir vorteks tüp kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmada tüpe uygulanan basınç, sıcak akış çıkış vanası kesit alanı, soğuk akış çıkış çapı, giriş lülesi çapı gibi vorteks tüplerin çalışma kriterlerine etki eden faktörlerin performansa etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda en düşük soğuk akış kütleli debi oranı (y_c) 0,3 civarında, maksimum soğuk akış kütleli debi oranı (y_c) ise 0,7 civarında olduğu ve vorteks tüpe giren havanın basıncının artmasının performansı artırdığı belirlenmiştir. Vorteks tüplerin soğuk akış çıkış kesiti çapının ve sıcak akış çıkış kesitindeki vananın performansa direkt etki eden faktörler olduğu vurgulanmıştır [2].

Özgür vd., tarafından yayınlanan bir bildirimde vorteks tüplerinin soğutma amacıyla kullanıldıkları alanlar incelenmiştir. Vorteks tüplerin çalışma karakteristiklerine göre karşılaştırması yapılmış ve çalışma akışkanı olarak hava kullanıldığı durumlar için vorteks tüplerin uygulama alanları tartışılmıştır. Vorteks tüplerin ürettiği akışların sıcaklık değerlerinin değişiminin nedenleri açıklanmıştır [3].

Guillaume et al., iki kademeli vorteks tüpünde yaptıkları çalışmalarda eşzamanlı çalışan seri bağlı iki vorteks tüpünün bağımsız olarak çalışan her bir vorteks

tüpünden daha fazla sıcaklık farkı (T_c-T_g) oluşturduğunu bulmuşlardır. $-17,37\text{ }^\circ\text{C}$ ve $-16,17\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık farkına sahip olan iki adet tek kademeli tüpün iki kademeli olarak çalıştırıldığında $-19,33\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık farkı oluşturacağı belirlenmiştir. Sonuç olarak vorteks tüpün soğutma kapasitesinin kademe uygulaması ile arttırılabileceği vurgulanmıştır [4].

Ma et al., akışkan olarak havayı kullandıkları vorteks tüpünde yaptıkları deneysel çalışmalarda enerji ayrışma performansını farklı çalışma koşullarında incelemiştir. Çalışmalarında 10 mm iç çapında, 137 mm uzunluğunda paslanmaz çelik vorteks tüp kullanmışlardır. Giriş basıncı 2,5-7 bar, giriş sıcaklığı $12-36\text{ }^\circ\text{C}$, debi ise $18\text{ }^\circ\text{C}$ çevre sıcaklığında $2-12,8\text{ m}^3/\text{h}$ arasında değişmiştir. Giriş basıncının ayrışma performansını çok etkilediği ancak giriş sıcaklığının etkisinin ihmal edilebileceği bulunmuştur. Ayrıca optimum enerji ayrışmasının soğuk akış kütleli debi oranını değiştirerek elde edilebileceği vurgulanmıştır. Optimum sıcaklık ayrışmasının soğuk akış kütleli debi oranının %70-80 değerlerinde elde edildiği belirlenmiştir [5].

Saidi et al., tarafından vorteks tüp sisteminin davranışını tümüyle anlayabilmek amacıyla bir deneysel çalışma yapılmıştır. Araştırma vorteks tüp çalışmasını etkileyen parametrelerin sınıflandırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Etkin parametreler geometrik ve termodinamik parametreler olarak iki farklı tipe ayrılmıştır. Geometrik parametreler olarak tüpün çapı ve uzunluğu, çıkış orifisinin çapı ve giriş lülesinin şekli; termodinamik parametreler olarak ise giriş gaz basıncı, gazın tipi, soğuk akış kütleli debi oranı ve giriş gazının nemli dikkate alınmıştır. Geometrik ve termodinamik parametrelerin soğuk gaz sıcaklık farkı ve verime etkisi incelenmiştir. Giriş basıncının artmasıyla soğuk hava sıcaklık farkı artmakta ve belirli bir giriş basıncında optimum verim elde edilmektedir. Tüpe giren akışın nemli olması durumunda enerji ayrışması azalmaktadır. Özgül ısı oranı, vorteks tüpünde enerji ayrışma miktarını etkileyen bir giriş gaz parametresidir. Özgül ısı oranının artmasıyla soğuk sıcaklık farkı artmaktadır sonuçlarına varılmıştır [6].

Dinçer vd., giriş ve çıkış kütleli debilerinin vorteks tüpünün performansına etkisini deneysel olarak incelemek amacıyla giriş ve çıkış kütleli debileri (sıcak ve soğuk

çıkış) ayarlanabilir bir Ranque-Hilsch Vorteks Tube (RHVT) imal etmişlerdir. Vorteks tütün performansı üç grup deney yapılarak incelenmiştir. Birinci grup deneylerde deneysel sistemin sıcak çıkış ve soğuk çıkışındaki vanalar tamamen açık konumda bırakılmıştır. İkinci grup deneylerde sıcak taraftaki vana tamamen açık konumundan tam kapalı duruma gelinceye kadar kademe kademe kapatılmış ve soğuk taraftaki vana tamamen açık bırakılmıştır. Üçüncü grup deneylerde ise soğuk tarafta bulunan vana tam açık konumundan tam kapalı duruma gelinceye kadar kademe kademe kapatılmış ve bu esnada sıcak çıkış tarafındaki vana tam açık konumunda tutulmuştur. Giriş basıncı, giriş sıcaklığı, sıcak çıkış tarafındaki sıcaklık, soğuk çıkış tarafındaki sıcaklık, sıcak çıkış tarafındaki ve soğuk çıkış tarafındaki hızlar ölçülmüştür. Akımın sıcak çıkış tarafından kontrol edildiği durum için, vorteks tüplerin performanslarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir [7].

Singh et al., vorteks tütündeki ısı transfer karakteristiklerini soğuk ve sıcak akımların kütleli debisi, giriş lülesinin alanı, soğuk orifis alanı, sıcak çıkış alanı ve L/D oranına bağlı olarak incelemiştir. Deneysel çalışmalarda maksimum sıcaklık düşümü dizaynı ve maksimum soğutma etkisi dizaynı olarak iki temel dizayn incelenmiştir. Bulunan sonuçlar şöyle özetlenebilir; Maksimum sıcaklık düşümü tasarımına sahip vorteks tütünde yüksek sıcaklıklar elde edilmektedir. Maksimum soğutma etkisi tasarımına sahip vorteks tütünde ise yüksek soğuk akış kütleli debi oranı ve yüksek adyabatik verim elde edilmektedir. Tüp uzunluğunun, 45-55 L/D oranı aralığında vorteks tütün performansına etkisi yoktur [8].

Shannak, vorteks tütündeki enerji ayrışmasını ve sürtünme kayıplarını ayrıntılı olarak inceleyen bir çalışma yapmıştır. Deneylerde giriş basıncı 3,5-5-7,5 ve 9 bar, giriş sıcaklığı 292,15 ve 298,15 K, soğuk akış kütleli debi oranı 0-1 aralığında değişmiştir. Sıcak akış sıcaklığı, soğuk akış kütleli debi oranının 0,82 değerinde maksimum olmuş, minimum soğuk akış sıcaklığı ise 0,3 değerindeki soğuk akış kütleli debi oranında elde edilmiştir. Giriş basıncındaki %40'lık bir değişim sıcak ve soğuk akım sıcaklıklarında %2'lik bir değişime yol açmıştır. Giriş sıcaklığındaki %2'lik bir değişim ise sıcak ve soğuk akım sıcaklıklarında %2'ye kadar bir değişim oluşturmuştur. Enerji ve kütle korunum yasaları ve deneysel sonuçlara dayanarak

sıcak ve soğuk akış çıkış gaz sıcaklığını belirlemek için yeni bir model önerilmiştir [9].

Baki, yüksek lisans tez çalışmasında, akışkanın vorteks tüpe girdiği vorteks tüp girişi için yeni bir yapılandırma tasarlanmış ve bu yeni giriş geometrisi, vorteks tüp boru uzunluğu, ayar valfi gibi parametrelere göre optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Optimizasyonda amaç olarak gerek sıcak gerekse soğuk çıkış için sıcaklık farkının maksimum yapılması hedeflenmiştir. Optimum geometri kullanılarak farklı giriş basınçlarında, cidar basınç ve sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Akış gözetleme deneyleri de yapılarak iç akış profilleri gözlemlenmiştir. Ayrıca boyut analizi yapılarak vorteks tüp performansını etkileyen parametreler belirlenmiş ve sıcak ve soğuk hava sıcaklıklarının kütleli debi oranına bağlı olarak değiştiği kanıtlanmıştır. Deneysel veriler termodinamiğin 1. ve 2. yasasına göre analiz edilmiş ve teorik verilerle deneysel sonuçların uyduğu görülmüştür. Baki çalışmaları vorteks tüpün performansının bilinen vorteks tüplere göre daha yüksek olduğunu ifade etmektedir [10].

Usta vd., çalışmalarında vorteks tüpünde akışkan olarak hava ile oksijeni kullanmışlardır ve soğutma sıcaklık performanslarını deneysel olarak incelemiştir. Hava içinde bulunan O_2 'nin vorteks tüpündeki soğutmaya etkisinin havaya göre değişimini incelemek amacıyla O_2 gazı kullanılmıştır. Gösterge basıncı 1 bar'dan başlayarak 0,5 bar aralıklarla 6 bar'a kadar değişik basınçlarda deneyler yapılmış ve deneylerde y_c oranı sabit tutulmuştur. Oksijen gazı kullanıldığında, soğuk akışkanın sıcaklık performansının havaya göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Vorteks tüpüne giren akışkanın giriş basıncı arttırıldıkça, soğuk akışkan sıcaklığının da performansı yükselmiştir. Havanın içinde bulunan O_2 gazı miktarı arttırılırsa, vorteks tüplerindeki soğutma performanslarının daha da artacağı ifade edilmiştir [11].

Usta vd., diğer bir çalışmada basınçlı akışkan olarak hava ile hava içinde bulunan O_2 ve CO_2 gazını kullanmışlardır. Hava, O_2 ve CO_2 için vorteks tüpüne giriş basınçları 2 bar'dan 7 bar'a kadar 1 bar aralıklarla değiştirilmiştir. Havada bulunan O_2 ve CO_2 miktarı arttırıldığında, soğuk çıkıştaki akışkan sıcaklığının daha da düşük

olacağı belirlenmiştir. En düşük soğuk akım sıcaklığı CO₂ gazı kullanıldığında elde edilmiştir [12].

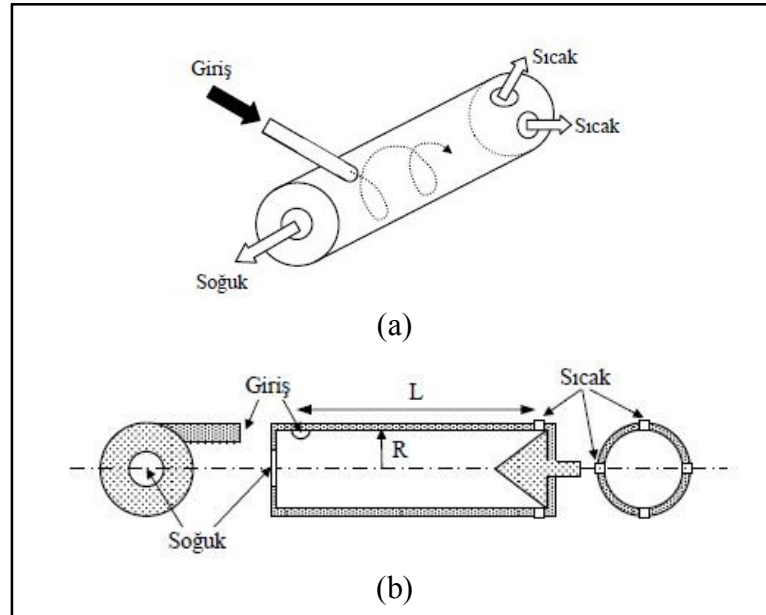
Dinçer vd., iç çapı 9 mm, L/D oranı 10, 15 ve 18 ve lüle sayısı 4 olan bir vorteks tüpünün performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Giriş basıncı 200 kPa ile 320 kPa arasında değiştirilmiştir. Giriş akımının ve çıkış akımlarının hız ve sıcaklık ölçümleri kullanılarak vorteks tüplerin performansı ve etkinliği deneysel olarak incelenmiştir. Sıcak ve soğuk akım sıcaklıkları arasındaki farkın 14-56 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. L/D oranı 18 olduğunda çıkış akımları arasındaki sıcaklık farkının bu akımların akış hızlarına ve giriş basıncına göre çok düzensiz davranışlar sergilediği görülmüştür. Buna karşın L/D oranı 10 ve 15 olduğunda çıkış akımları arasındaki sıcaklık farkının soğuk akımın akış hızıyla ve girişteki basıncın artması ile düzenli bir şekilde arttığı belirlenmiştir. Sonuçlara dayanılarak endüstriyel uygulamalar için vorteks tüpünün L/D oranının 15 veya daha küçük olması, giriş basıncının mümkün olduğunca yüksek olması ve istenen sıcaklıklara sıcak çıkış akımının hızının kontrol edilerek ulaşılması önerilmiştir [13].

BÖLÜM 2

VORTEKS TÜPÜ

Vorteks tüpler ilk olarak Ranque tarafından keşfedilmiş ve daha sonraları Hilsch tarafından geliştirilmiştir. Tüpler, Ranque Vorteks Tüpü (RVT), Hilsch Vorteks Tüpü (HVT) ve Ranque-Hilsch Vorteks Tüpü (RHVT) olarak adlandırılmıştır [14, 15].

Vorteks tüpleri, sadece basınçlı gaz ile çalışan, kontrol vanası hariç hiçbir hareketli parçası olmayan basit mekanik bir cihazdır. Bu basit mekanik cihaz, tüpe teğetsel olarak giren yüksek basınçlı gaz akımını biri giriş gazından daha sıcak diğeri giriş gazından daha soğuk düşük basınçlı iki akıma ayırmaktadır. Vorteks tüpünün uzunluğu (L) ve yarıçapı (R) olarak gösterilmiştir. Şekil 2.1’de bir tüpünün çalışmasının ve tüp geometrisinin şematik resmi verilmiştir.



Şekil 2.1. Vorteks tüpü; a) çalışma şematığı ve parametrelerin tanımı, b) tüp geometrisi [14].

Vorteks tüplerin uygulama alanları, güvenilirlik ve düşük cihaz maliyetlerinin temel faktörler olduğu alanlardır. Vorteks tüpler normal soğutma cihazlarına göre birçok avantajlara sahiptirler [14, 16, 17].

1. Basit geometriye sahiptirler ve imatları kolaydır,
2. Ebatları küçük ve hafiftir,
3. Hareketli mekanik elemanları yoktur ve sızdırmazlık elemanı kullanılmasını gerektirmezler,
4. Hareketli elemanları olmadığından minimum aşınma oluşur,
5. Kullanılması emniyetli ve portatiftir,
6. İlk yatırım ve bakım maliyetleri düşüktür,
7. Rejime gecikmesiz olarak ulaşırlar,
8. Fanlar, ısı değiştiriciler, soğutkan, sızıntı oluşturabilen borular veya tesisat malzemeleri gerektirmezler,
9. Ekolojik açıdan zararsızdırlar,
10. Elektriksel ve kimyasal güç gerektirmezler,
11. Bakım gerektirmezler,
12. Sıcaklık ayarı kolayca yapılabilmektedir,

Vorteks tüplerin bu avantajlarının yanında aşağıda belirtilen dezavantajları da bulunmaktadır. Düşük ısı verime sahiptirler. Bu ise uygulama alanlarına önemli sınırlamalar getirmektedir. Gürültü seviyeleri yüksektir. Hazır basınçlı gaz kaynağı gerektirirler [14, 16, 17].

2.1. VORTEKS TÜP ÇEŞİTLERİ VE KONSTRÜKSİYONU

2.1.1. Vorteks Tüp Tipleri

Vorteks tüpler teknolojik ve tasarım özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu özellikler akış karakteristikleri, ısı ikmal (çekme) yöntemi ve düşük basınçlı gazın tüpten alınma yöntemidir [18].

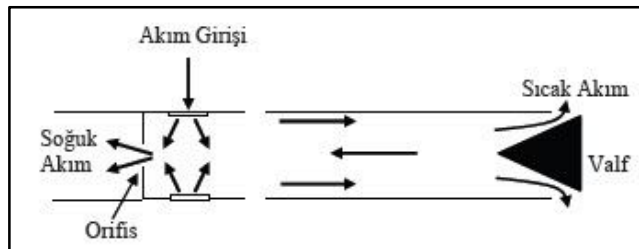
Akış karakteristiklerine göre vorteks tüpler karşıt akışlı vorteks tüpler ve paralel akışlı vorteks tüpler olmak üzere iki temel sınıfa ayrılmaktadır. Isı ikmal (çekme) yöntemine göre vorteks tüpler adyabatik vorteks tüpler ve adyabatik olmayan vorteks tüpler, düşük basınçlı gazın tüpten alınma yöntemine göre ise ayrık akışlı vorteks tüpler, direkt tahliyeli vorteks tüpler ve vorteks ejektörler olmak üzere sınıflandırılmaktadır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Vorteks tüplerin sınıflandırması [19].

Yöntem	Sınıflandırma
Akış karakteristikleri	Karşıt akışlı vorteks tüpler Paralel akışlı vorteks tüpler
Isı ikmal (çekme) yöntemi	Adyabatik vorteks tüpler Adyabatik olmayan vorteks tüpler
Düşük basınçlı gazın tüpten alınma yöntemi	Ayrık akışlı vorteks tüpler Direkt tahliyeli vorteks tüpler Vorteks ejektörler

2.1.1.1. Karşıt Akışlı Vorteks Tüpler

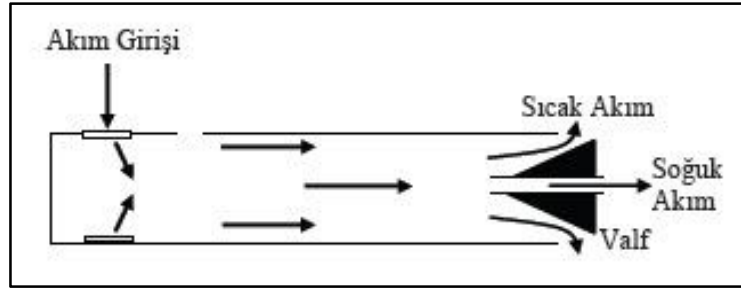
Karşıt akışlı vorteks tüplerde, yüksek basınçlı akışkan silindirik boru şeklinde olan vorteks tüpünün bir ucunun yakınından bir veya daha fazla teğetsel lüleden tüpe teğetsel olarak girer. Bu, giren gaza dönme hareketi kazandırır. Tüpün lüleden uzakta olan diğer ucunda bir valf bulunur. Bu valf genellikle ekseni tüp eksenine aynı olan konik şekilli bir tıkaçtır. Bu uç, tüpün sıcak ucu olarak adlandırılır. Tüpün lüle bulunan ucunda bir dairesel orifis bulunur. Orifisin çapı tüpün çapından küçüktür. Tüpün bu ucuna soğuk uç adı verilir. Tüpe teğetsel olarak giren yüksek basınçlı akışkan bir durma noktasından itibaren iki kısma ayrılarak soğuk akım soğuk uçtan, sıcak akım ise sıcak uçtan tüpü terk eder (Şekil 2.2) [18].



Şekil 2.2. Karşıt akışlı vorteks tüp.

2.1.1.2. Paralel Akışlı Vorteks Tüpler

Paralel akışlı vorteks tüpler tek bir çıkış açıklığına sahiptir ve lülelerin bulunduğu uç tamamen kapalıdır. Tüm akış, lülelerin uzağında bulunan diğer uçtan tüpü terk eder (Şekil 2.3). Soğuk akışkan tüpün ortasındaki delikten, sıcak akışkan ise çevresel yoldan tüpü terk eder. Sıcak akışkanın geçtiği kesit alanının değişmesine imkân veren bir düzenleme kullanılarak soğuk ve sıcak akış sıcaklıklarının değişmesi sağlanır. Paralel akışlı vorteks tüpler, akışlar içinde oluşabilecek dağılmalar sebebi ile sıcak akış ve soğuk akışın birbirine belli oranlarda karışması ve akışların sıcaklıklarının olumsuz etkilenmesi olası olduğundan genellikle tercih edilen bir konstrüksiyon değildir [2, 17].



Şekil 2.3. Paralel akışlı vorteks tüp.

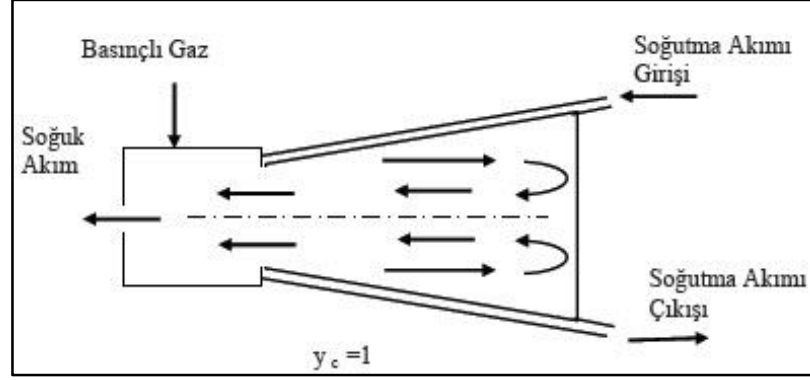
2.1.1.3. Adyabatik Vorteks Tüpler

Gövdesi üzerinden çevre atmosfere ısı transferinin ihmal edildiği vorteks tüplere adyabatik vorteks tüpler denilmektedir.

2.1.1.4. Adyabatik Olmayan Vorteks Tüpler

Gövdesi üzerinden çevreye ısı transferinin olduğu tüpler adyabatik olmayan vorteks tüpler adıyla anılırlar. Bu tüpler ayrıca “soğutulmuş vorteks tüp (cooled vortex tube)” olarak da anılmaktadır. Şekil 2.4’de böyle bir vorteks tüp gösterilmiştir. Bu vorteks tüpün ayrık akışlı vorteks tüpünden farkı sıcak ucunun kapalı olmasıdır. Vorteks tüp soğutma akımı beslenen bir dış ceket içerisine yerleştirilmektedir. Lüleden giren tüm gaz soğutulmuş (20-30°C) olarak orifisten çıkmaktadır. Soğuk akış kütleli debi

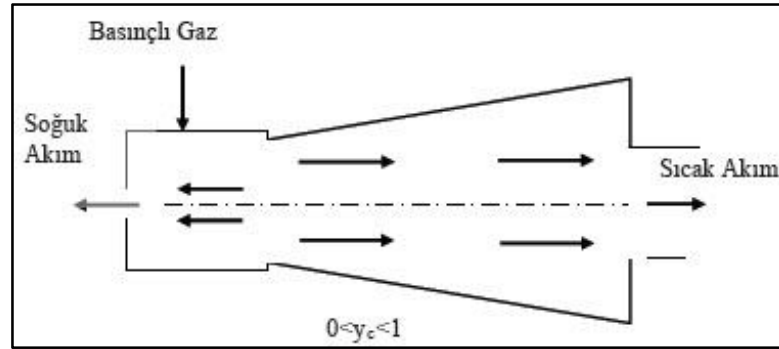
oranı 1'e eşittir. Soğutulmuş vorteks tüpler çok düşük sıcaklıklar oluşturmamasına rağmen diğer vorteks tüplerine göre maksimum soğutma kapasitesi oluşturmaktadır. [18, 19].



Şekil 2.4. Adyabatik olmayan (soğutulmuş) vorteks tüp [19].

2.1.1.5. Ayrık Akışlı Vorteks Tüpler

Ayrık akışlı vorteks tüp (dividing vortex tube) en iyi bilinen ve en yaygın olarak kullanılan vorteks tüp tipidir. Bu tüplerde hem sıcak hem de soğuk akım mevcuttur. 10 çeşide kadar tasarımı vardır ve çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır [19]. Ayrık akışlı vorteks tüp şematik olarak Şekil 2.5'de gösterilmiştir.

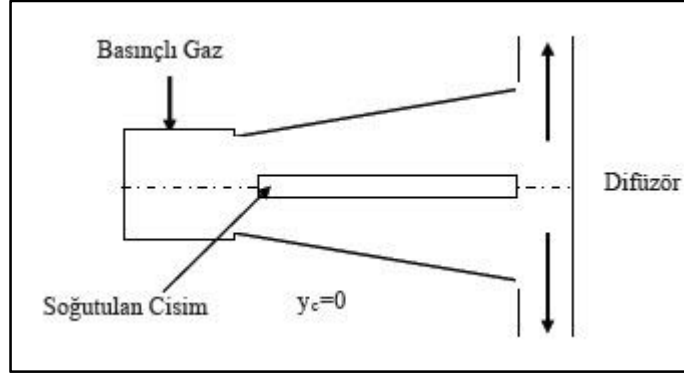


Şekil 2.5. Ayrık akışlı vorteks tüp.

2.1.1.6. Direkt Tahliyeli Vorteks Tüpler

Direkt tahliyeli vorteks tüpte (self-evacuating vortex tube) sıcak uçta bir veya iki adet düz yarık difüzörler bulunmaktadır. Bu difüzörler nedeniyle eksene yakın

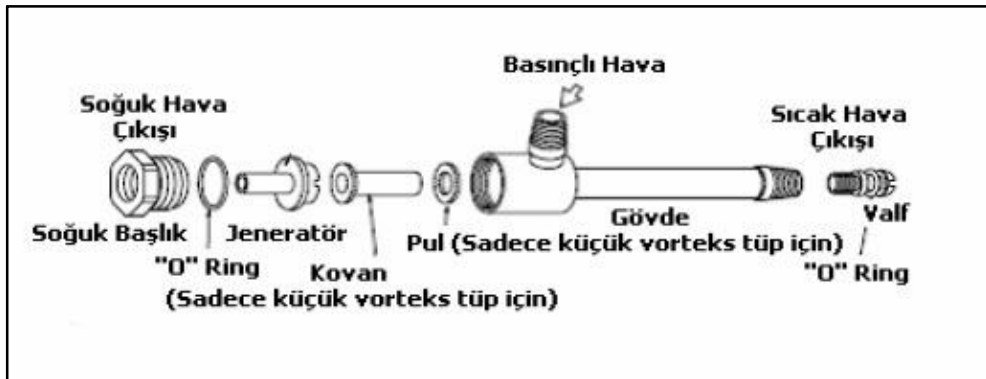
bölgede basınç düşümü olduğundan tüm vorteks tüp tipleri arasında en yüksek maksimum soğutma etkisi sağlayan vorteks tüpüdür. Direkt tahliyeli vorteks tüpler soğuk gaz akımının çevreye çıkmasına olanak vermez ve esas olarak silindirik cisimlerin derin soğutulmasında kullanılmak için tasarlanırlar (Şekil 2.6) [19].



Şekil 2.6. Direkt tahliyeli vorteks tüp.

2.1.2. Vorteks Tüplerin Konstrüksiyonu

Vorteks tüplerin temel elemanları; gövde, giriş lüleleri, soğuk uç orifisi (diyafram) ve sıcak uç kontrol valfidir. Bu temel elemanların yanında, jeneratör, filtre, regülatör, susturucular, kompresör, basınçlı hava tankı, basınçlı hava hattı, termostat, selenoid valf gibi sistemin çalışması için gerekli ve/veya yardımcı elemanlar da bulunmaktadır (Şekil 2.7) [14].



Şekil 2.7. Jeneratörlü bir karşıt akışlı vorteks tüp [20].

2.1.2.1. Gövde

Genellikle silindirik bazen de konik bir Őekle sahip olan vorteks tüpünün gövdesi çeşitli malzemelerden imal edilmektedir. Bu malzemeler “metal” ve plastik” olmak üzere iki genel gruba ayrılabilir. Metal malzemeler olarak elik, alüminyum veya alaŐımlar kullanılırken, plastik malzemeler olarak perspeks, kaprolan, polistiren vb. malzemeler kullanılmaktadır [14, 21].

elik: Ticari vorteks tüplerin gövdesi mukavemeti ve esnekliği nedeniyle genellikle elik gibi metallerden imal edilmektedir. Bununla birlikte, metallere iyi bir ısı iletkeni olduklarından tüpün verimi, soğuk tüpte çevreden, sıcak tüpte ise çevreye olan ısı geçiŐi nedeniyle azalabilir. Bu tip kayıp veya kazançlar tüpü yalıtılarak veya sabit sıcaklıklı bir su banyosuna sahip bir su ceketini yaparak minimize edilebilir.

Pirinç: Pirinin ısı iletim katsayısı yüksektir. Bu ise çevreye yüksek ısı kaybına neden olur ve tüpün verimini azaltır.

Perspeks: Perspeks, Őeffaf olması ve i akışın nitel anlaŐılmasını sağlayarak tp içerisindeki gerçek akışın incelenmesine olanak vermesi, basıncılı akışkanın yüksek basıncına dayanabilecek mukavemette olması ve ısı iletim katsayısı dŐuk olduğundan çevreye olan ısı transferini minimize etmesi nedeniyle araŐtırmalarda kullanılan bir malzemedir.

Vorteks tüp malzemesinin pürüzsüz olması ve ısı iletim katsayısı dŐuk malzemeleri kullanmak gerekmektedir. Isıl zelliklerin yanında vorteks tüpün tüm fizibil çalışmalarında tp imalatı için dayanıklı bir malzeme seçiminin de önemini vurgulamak gerekir [18, 22].

2.1.2.2. Giriş Lüleleri

Basıncılı akışkan vorteks tüpüne, tüpün giriş ağzı yakınında olan giriş llelerinden geçerek teğetsel olarak girer. Giriş llelerinin fonksiyonu, basıncılı gazın tüpe giriŐini sağlamak ve aynı zamanda akışın giriş hızını artırmaktır. Lle çıkıŐında ses hızı

değerlerine erişebilen akış, tüpün silindirik olması nedeniyle dönmeye başlar. Vorteks tüplerde lüle şekli, lüle sayısı ve lüle çapı performansa önemli ölçüde etki yapmaktadır. [14, 18, 22].

2.1.2.3. Soğuk Uç Orifisi (Soğuk Uç Diyaframı)

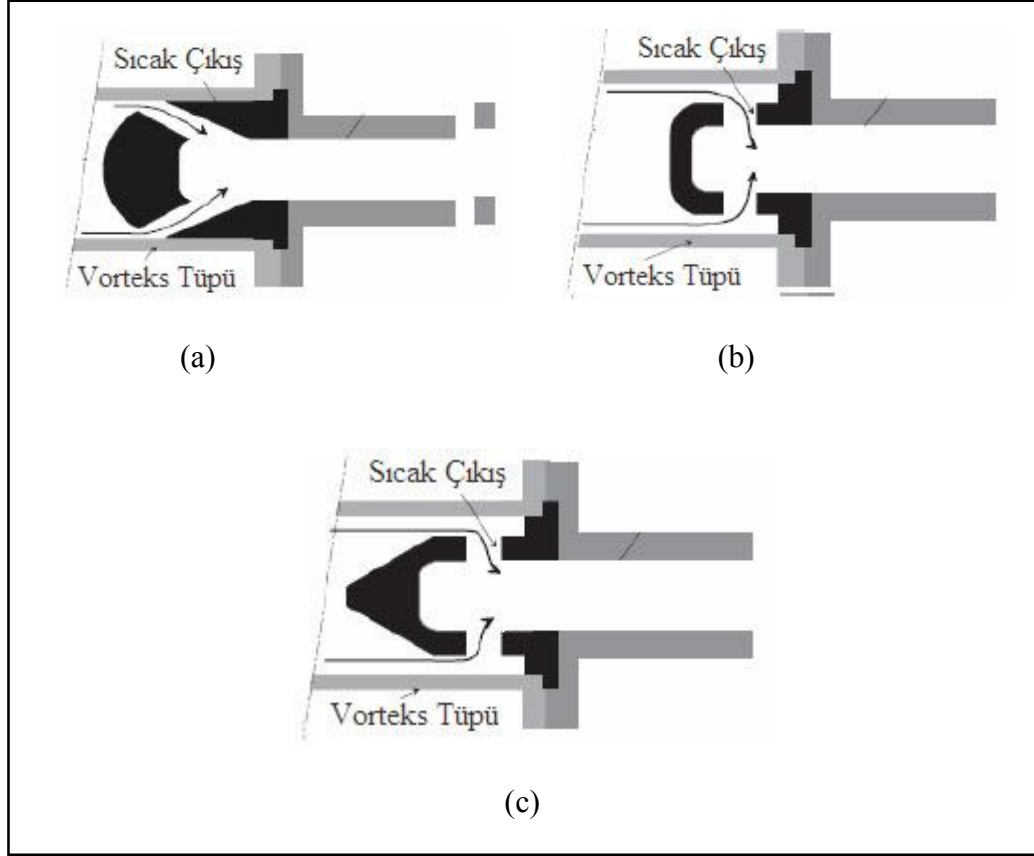
Paralel akışlı vorteks tüplerde lülelerin bulunduğu uç tamamen kapalıdır ve tüm akış lülelerin uzağında bulunan diğer uçtan tüpü terk eder. Soğuk akışkan tüpün ortasında bulunan bir orifisten, sıcak akışkan ise çevresel yoldan tüpü terk eder (Şekil 2.3).

Karşıt akışlı vorteks tüplerde ise giriş lülelerinin olduğu tarafta ve genellikle dairesel kesite sahip olan bir orifis bulunur. Vorteks tüp çapından daha küçük çapa sahip olan bu orifise “soğuk uç orifisi (diyaframı)” adı verilir (Şekil 2.2). Bu orifis genellikle dairesel bir orifisdir. Eşeksenli delikli diyafram diğer diyafram konfigürasyonlarına (eksantrik diyaframlar, diyafram lüleleri, dairesel kesit haricinde geometriye sahip diyaframlar) göre daha büyük sıcaklık farkları oluşturmaktadır. Optimum orifis çapı çoğunlukla $0,4 < D < 0,6$ aralığında olmaktadır [18, 22].

2.1.2.4. Sıcak Çıkış Valfi

Vorteks tüpe giren akışkanın bir kısmı sıcak çıkış ucunda bulunan ayarlanabilir bir valf vasıtasıyla tüpten çıkmaktadır. Bu valfin ayarlanması yoluyla, sıcak akış debisi artırılıp azaltılmakta ve böylece soğuk uçtan çıkan akışkanın debisi ve sıcaklığı ayarlanabilmektedir.

Valf, vorteks tüpün ısıtma ve soğutma kapasitelerinin değiştirilebilmesine olanak vermektedir. Çeşitli valf tasarımları yapılmıştır. En çok kullanılan valf konik şekilli valftir. Şekil 2.8’de Gao tarafından araştırılan çeşitli valf tasarımları gösterilmiştir. Gao’ya göre sıcak çıkış valfleri RHVT sisteminin kritik bir elemanı değildir [23].



Şekil 2.8. Sıcak çıkış valfleri, a) Küresel valf, b) Plaka valf, c) Konik valf [22].

2.1.2.5. Jeneratör

Ticari olarak üretilen vorteks tüplerinde basınçlı akışkan, tüpe “jeneratör” denilen elemanlar vasıtasıyla girmektedir. Jeneratörler, vorteks tüpünden daha büyük boyutta yapırlar ve silindirik bir geometriye sahiptirler. Jeneratörde bulunan çeşitli sayıdaki kanallar, akışa yön vererek tüp içerisindeki vorteks akışın oluşmasını sağlarlar.

Soğuk hava, jeneratörün ortasında bulunan delikten akmakta ve soğuk hava çıkış portundan dışarı çıkmaktadır. Değiştirilebilir bir eleman olan jeneratör, basınçlı akışkanın debisini kontrol etmekte ve elde edilen sıcaklıkları etkilemektedir. Böylece, vorteks tüpüyle elde edilebilecek akış debileri ve sıcaklık aralıkları değiştirilebilmekte ve jeneratör değiştirilerek vorteks tüpünün soğutma kapasitesinin ayarlanması mümkün olmaktadır [24]. Şekil 2.9’da karşıt akışlı bir vorteks tüpteki jeneratör görülmektedir.



Şekil 2.9. Jeneratör çeşitleri.

2.1.2.6. Susturucular

Vorteks tüplerin çalışması sonucu üretilen bu ses seviyesi insan sağlığı için rahatsızlık verici seviyelere ulaşabilmektedir. Tüp içerisindeki akış hızı ne kadar yüksek olursa ses seviyesi o kadar artar. Vorteks tüplerin hem sıcak hem de soğuk uçlarında susturucu kullanılabilir [14, 20].



Şekil 2.10 Susturucu ve içyapısı.

2.1.2.7. Basınçlı Akışkan Deposu

Vorteks tüplerinde kullanım için basınçlı akışkanın depolandığı elemandır. Depo, vorteks tüpünün çalışacağı maksimum basınca dayanacak dayanımda ve tüpe yeterli debi sağlayacak kapasitede olmalıdır.

2.1.2.8. Basınçlı Hava Hatları

Vorteks tüplerinde basınçlı hava hatları, basınç düşümünü minimum yapacak şekilde boyutlandırılmalı ve aşırı basınç düşümü oluşturacak elemanlar kullanılmaktan kaçınılmalıdır.

2.1.2.9. Kompresör

Vorteks tüplerde kullanılan akışkanın sıkıştırılmasını ve istenilen basınca getirilmesini sağlayan elemandır. Akışkan basıncı, vorteks tüplerinin en önemli çalışma parametrelerinden birisidir. Literatür taraması vorteks tüpüne giriş basıncının genellikle 2-9 bar aralığında olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, kullanılan kompresörün sistem için gerekli giriş basıncını ve debisini sağlayacak kapasite ve özelliklerde olması gerekmektedir. Bu amaçla vidalı, pistonlu vb. çeşitli kompresörler kullanılmaktadır. Kararlı akışkan depo basıncı elde etmek için kompresör, başlangıçta yeterli süre çalıştırılmalıdır. Çoğu büyük sistemlerde kompresörün boyutu birçok vorteks tüpün eşzamanlı çalışmasını sağlayabilecek kadar yeterlidir [14].

2.2. VORTEKS TÜPLERİN UYGULAMA ALANLARI

Kompaktlık, güvenilirlik ve düşük cihaz maliyetlerinin temel faktörler olduğu alanlarda vorteks tüpleri, birçok uygulama alanı bulmaktadır [16]. Bu uygulama alanları; gazların sıvılaştırılması, gaz karışımlarının ayrıştırılması, gazların kurutulması, kimyasal endüstride kullanılması, elektrik üretimi, kar üretimi, medikal uygulamalar olarak sıralanabilir.

2.2.1. Isıtma ve Soğutma Uygulamaları

Vorteks tüpler orta kapasitedeki ısıtma ve soğutma gereksinimlerinde uygulama alanı bulmaktadır. Vorteks tüplerin verimi, geleneksel soğutma cihazlarına göre oldukça küçük olmasına rağmen düşük ilk yatırım maliyetleri bu dezavantajı giderebilmektedir. Hazır bir basınçlı gaz ikmal kaynağının mevcut olduğu yerlerde

gerekli olan ısıtma ve soğutma hemen hemen maliyetsiz olarak sağlanabilir [14, 16, 17].

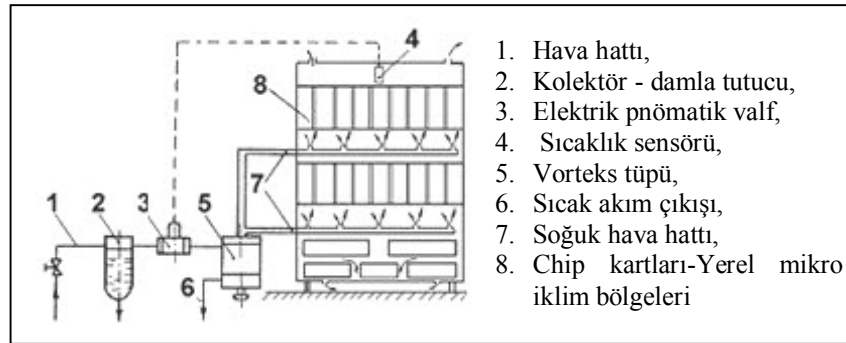
Isıtma ve soğutma alanında; elektronik devrelerin ve kontrol elemanlarının soğutulmasında [21], çığ noktası ölçüm cihazlarında soğutma kaynağı olarak [25], yüksek sıcaklık reaktörlerinin tamir için çalışmadığı zamanlarda soğutulması için, itfaiyeci elbiselerinin soğutulmasında, roketlerin tepki kuvvetinde sıcaklığı artırmak için ısı kaynağı olarak [26], peltier soğutucuların performansını geliştirmek için termoçiftlerle birlikte [27], buharlı güç üretim sistemlerinin çabuk çalışmaya başlaması için [28], ısıl tahribatsız muayeneler için konvektif tahrik kaynağı olarak [29-31], dalgıçların hava ikmal kaynaklarının sıcaklık kontrolünde [32], sualtı araştırma habitatı içerisindeki havanın şartlandırılmasında [33], patlayıcı kimyasallar ile uğraşan laboratuvarlarda soğutma deneylerinde [34], madenlerin soğutulmasında, makine işlemleri yapan hassas malzemelerin soğutulmasında, lokal ısınmanın olduğu alanlarda, CCTV kameralarının soğutulmasında, sıcak yapıştırma işlemlerinin ayarlanmasında, kaynak yapılmış parçaların soğutulmasında, gaz numunelerinin soğutulmasında vorteks tüpleri kullanılmaktadır.

2.2.2. Elektrik-Elektronik Devrelerin ve Kontrol Elemanlarının Soğutulması

Günümüzde küçük ve kompakt, çok fonksiyonlu elektronik kontrol devreleri, değişken hızlı tahrik devreleri, servolar ve programlanabilir mantıksal kontrolörler ısı ve kirlenmeye karşı oldukça duyarlıdır. Bu cihazların çalışmaları esnasında açığa çıkan ısının, bu cihazların çalışmalarının devamı için sistemden atılması gerekmektedir. Aşırı ısı elemanların yanmasına, dijital göstergelerin yanlış okumasına, kontrolün sapmasına ve devre kesicilerin kendi yüklerinin aşağısına düşmesine neden olur. Tüm bunların sonucunda üretim kaybı veya hat arızaları meydana gelir. Fan genellikle yetersiz soğutma yapar ve yaygın olarak kirli, nemli havayı çekerek diğer bir arıza kaynağı oluşturur. İklimlendirme cihazları sürekli bakım gerektirirler ve nispeten pahalı, büyük ve montajları zordur. Tüm bunlar ve ayrıca enerji ve ekonomik sınırlamalar nedeniyle bu gibi elektrik-elektronik devrelerin sistemin toplam iklimlendirmesinin uygun olmadığı yüksek sıcaklıktaki odalarda buldukları göz önüne alındığında bu tip yerlerde vorteks tüplerinin

sorunsuz elektrik elektronik çalışma problemi için iyi ve güvenilir bir çözüm olduğu açığa çıkmaktadır [1].

Şekil 2.11'de vorteks tüplü elektronik devre soğutmasına ait bir şematik resim gösterilmiştir. Yüksek çevre sıcaklıkları koşullarında elektronik kontrol ünitelerinde aşırı ısı oluştuğu zaman sistem manuel veya otomatik olarak açılır ve vorteks tüpün soğuk hava çıkışından elde edilen soğuk hava, soğuk hava kanalları vasıtasıyla elektronik devre üzerine gönderilerek devreyi soğutur. Kabin sıcaklığı istenen değere ulaştığında sıcaklık sensörünün kontrol ettiği selenoid vana vorteks tüpün hava beslemesini kapatır. Vorteks tüplerin elektrik-elektronik kontrol devrelerinin soğutulmasında kullanımına diğer örnekler olarak fırınlar, şekerleme fabrikaları, motor üretim tesisleri, gıda işletmelerinde kullanımı verilebilir. Örneğin KamAZ motor sistemlerinin esas üretim hattındaki elektronik kontrol ünitelerinde 3162 adet vorteks soğutucu kullanılmaktadır [21].



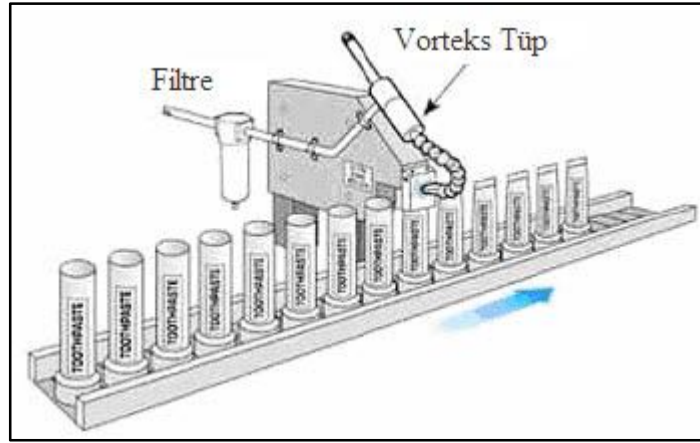
Şekil 2.11. Vorteks tüplü elektronik kabin soğutması [21].

2.2.3. Bölgesel Soğutma Uygulamaları

Vorteks tüplerin soğutma amacıyla kullanıldığı alanlar içerisinde, bölgesel soğutma uygulamaları oldukça geniş bir yer tutmaktadır. Programlanabilir makine elemanlarının, otomatik hatların ve robotize uygulamaların elektronik ünitelerinin soğutulmasında, kesici takımların ve taşlama taşlarının soğutulmasında, basınçlı hava hatlarında havanın nemden arındırılmasında, termal kameraların merceklelerinin soğutulmasında, sürekli kaynak yapan ve ısınan punto kaynak cihazlarının uçlarının soğutulmasında, bilgisayar ünitelerinin ve CNC cihazlarının devrelerinin

soğutulmasında, ip üreten cihazlarda sürtünmeden dolayı ısınan iplerin ve cihaz ekipmanlarının soğutulmasında, fabrikaların üretim hatlarındaki teknolojik bölgelerin soğutulmasında vorteks tüpleri kullanılmaktadır.

Diş macunu üretiminde plastik tüpler diş macunu ile doldurulmadan önce ultrasonik kaynak ile uçları kaynak edilir. Kaynak edicinin ucunda ısı biriktiğinden tüplerin normal hale gelmesi gecikir. Bu durumda çok sıcak olan tüpler sızdırmaz olmayacak ve yüksek hızla deforme olacaktır. Bunu önlemek amacıyla kaynağın uç tarafına soğuk hava yönlendiren vorteks tüpler kullanılır (Şekil 2.12). Tüpün kaynak yapılan bölgesine soğuk hava gönderilerek proses süresi azaltılır ve deforme tüplerin oluşması engellenir [3].

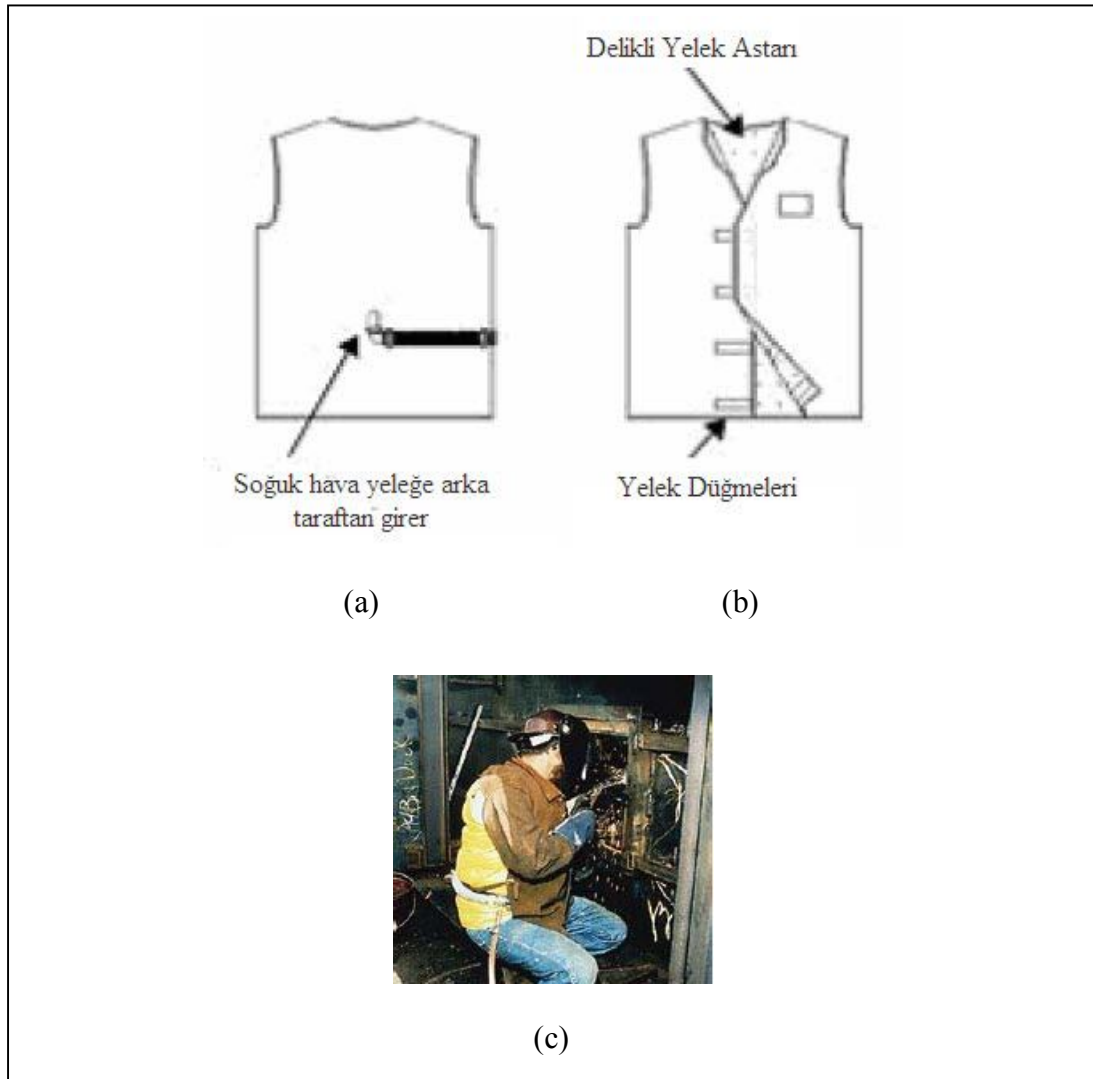


Şekil 2.12. Ultrasonik kaynağı soğutma [20].

2.2.4. Kişisel İklimlendirme Cihazları

Kişisel iklimlendirme cihazları son derece sıcak ve soğuk alanlarda işçilerin rahatını sağlayabilmek amacıyla filtre edilmiş basınçlı hava ve vorteks tüp teknolojisini kullanan cihazlardır (Şekil 2.13). Bu cihazlar soğuk veya sıcak havayı vücudun üst tarafına dağıtmak için geliştirilmiş bulunan “dağıtıcı hava yelekleri”ni kullanırlar. “Buz paketi” tipi yeleklerden farklı olarak kişisel iklimlendirme cihazları sıcak çevrelerde ısıl gerilmeyi minimize etmek ve işçilerin üretkenliğini artırmak için uygun ve sürekli soğutma sağlarlar. Yelek, hava debisi sınırlaması olmaksızın tam harekete olanak tanır. Bir kemere takılan vorteks tüp ünitesi giriş sıcaklığını $\pm 15^{\circ}\text{C}$

soğutabilir veya ısıtabilir. Kişisel iklimlendirme cihazları dökümhaneler, kazan odaları, çelik haddehaneleri, cam sistemleri, güç sistemleri, dövme atölyeleri, döküm atölyeleri, kaynak işlemleri, boya fırın işlemleri, toz kaplama, madenler, asbest giderme, tehlikeli atık giderme vb. alanlarda veya yakınlarında çalışan işçiler için uygun olan cihazlardır. 732 W (2500 Btu/h) kapasiteye kadar kişisel iklimlendirme cihazları ticari olarak üretilmektedir [1].



Şekil 2.13. Kişisel iklimlendirme cihazları; a) Dağıtıcı hava yeleği, b) Kişisel ısıtma-soğutma vorteks tüpü, c) Kişisel iklimlendirme cihazı kullanılırken [1].

2.2.5. Kar Üretimi

Vorteks tüpler kullanılarak kar üretilmesi ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmış ve patentler alınmıştır. Bunlar arasında Lawless et al. [35] ve Tunkel et al. [36], tarafından yapılan araştırmalar sayılabilir. Lawless et al. [35], -1°C ile 4°C çevre sıcaklıkları arasında ticari olarak kar üretme yeteneğine sahip vorteks tüplü yapay kar üretme sistemi geliştirmişlerdir. Tunkel et al. [36], geniş çevre havası sıcaklık koşullarında verimli bir şekilde çalışabilen çeşitli vorteks tüplü kar üretme sistemleri tasarlamışlardır.

2.2.6. Klimalı Koltuk

Vorteks tüpten elde edilen soğuk ve sıcak hava koltuğu soğutmak veya ısıtmak amacıyla kullanılarak klimalı koltuklar geliştirilmiştir. Klimalı koltuk; vorteks tüp, vorteks tüpün uçlarına ve koltuğa bağlanan hava iletim hatları, vorteks tüp uçlarından hava akışını ayarlayan bir veya daha fazla valf ve koltuk çevresinden oluşmaktadır. Koltuk sıcaklığını düzenleyen sistem de eklenmiştir. Birden fazla koltuk içeren sistemler ise bir veya daha fazla koltuk, bir veya daha fazla vorteks tüp, çeşitli bağlantı hatları ve valfleri, basınçlı hava kaynağı ve basınçlı hava deposundan oluşmaktadır [1].

2.2.7. Uygulamalı Ürün Vorteks Tüpler

Yıllar boyunca vorteks tüpleri yüzlerce endüstriyel soğutma uygulamalarında kullanılmıştır. Bunlardan bazıları popüler olmuş ve özel uygulamalar için tasarlanan “uygulamalı ürün” şekline dönüşmüştür. Bunlar ayarlanabilir spot soğutucular, mini soğutucular, soğuk ve sıcak hava tabancaları ve kabin soğutucularıdır.

Basınçlı hava (5-7 bar) ve vorteks tüp teknolojisini kullanan soğuk hava tabancaları, endüstriyel spot soğutma amacıyla sıfırın altındaki sıcaklıklarda hava üretmek için kullanılırlar (Şekil 2.14. ve 2.15). Soğuk hava tabancaları çeşitli endüstriyel proses, imalat, montaj ve paketlenme işlemlerinde çok yönlü spot soğutma cihazı olarak kullanılırlar. En popüler uygulamaları metaller, plastikler, ahşap, kauçuk, seramik ve

diğer malzemelerin işlenmesi esnasında soğutulmasını kapsamaktadır. Sıcak hava tabancaları ise spot ısıtma için vorteks tüpten çıkan sıcak havayı kullanırlar. Uygulama üretilen, epoksi ve akrilik yapıştırıcılar ve tabakaların ön ve/veya son ısıtmasını, solventle temizlenen cisimlerin evaporatif kurutmasını, filmleri ısıtmayı, parçaları ısıtmayı ve malzemeleri yumuşatmayı kapsamaktadır.



Şekil 2.14. Soğuk hava tabancası [37].



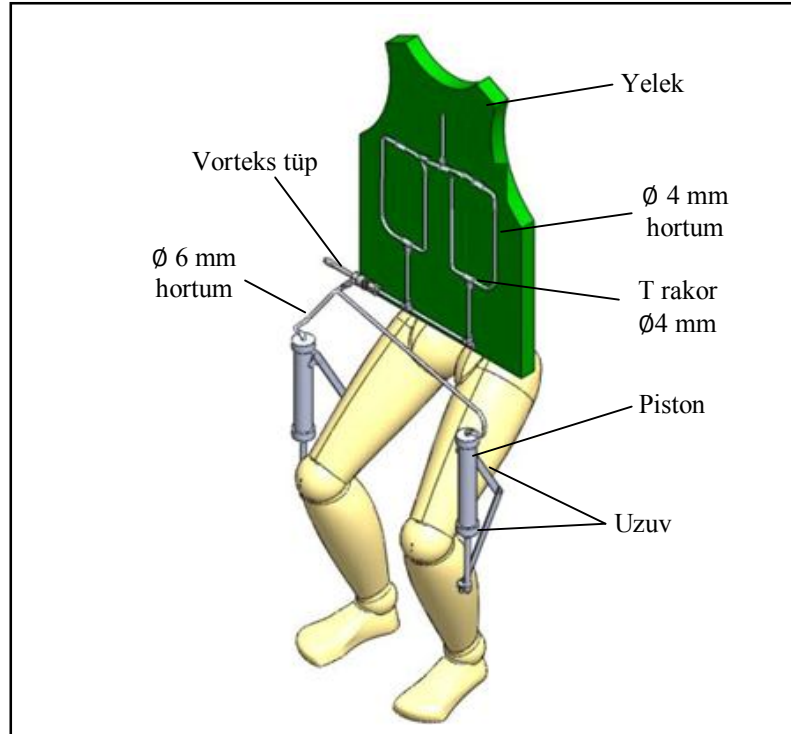
Şekil 2.15. Soğuk hava tabancası sistemi [37].

BÖLÜM 3

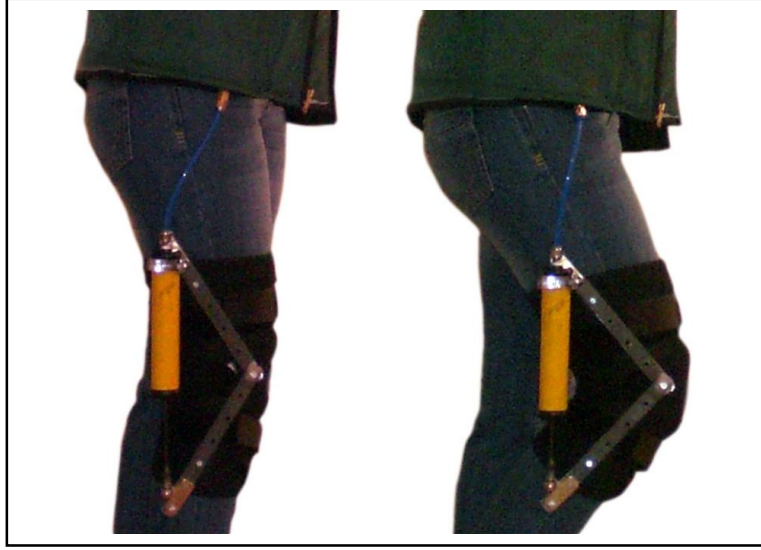
MATERYAL VE METOT

3.1. SİSTEMİN GENEL ÇALIŞMASININ TANITIMI TASARIMI VE PROTOTİPİ

Vorteks tüpünün kullanıldığı soğutma ve ısıtma sisteminin şematik resmi Şekil 3.1'de, prototipi Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Sistemde havanın manuel olarak pompalanmasını sağlayan piston, pistona hareketi kas kuvvetinden ileten uzuv mekanizması, pistondan havayı vorteks tüpüne taşıyan hortumlar, pistondan gelen havayı soğuk-sıcak havaya çeviren vorteks tüpü, vorteks tüpünden çıkan soğuk-sıcak havayı yelek içerisine dağıtan hortumlar ve hortumların dağıtılmasında rakorlar kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Hazırlanan sistemin modeli.



Şekil 3.2. Sistemin prototipi.

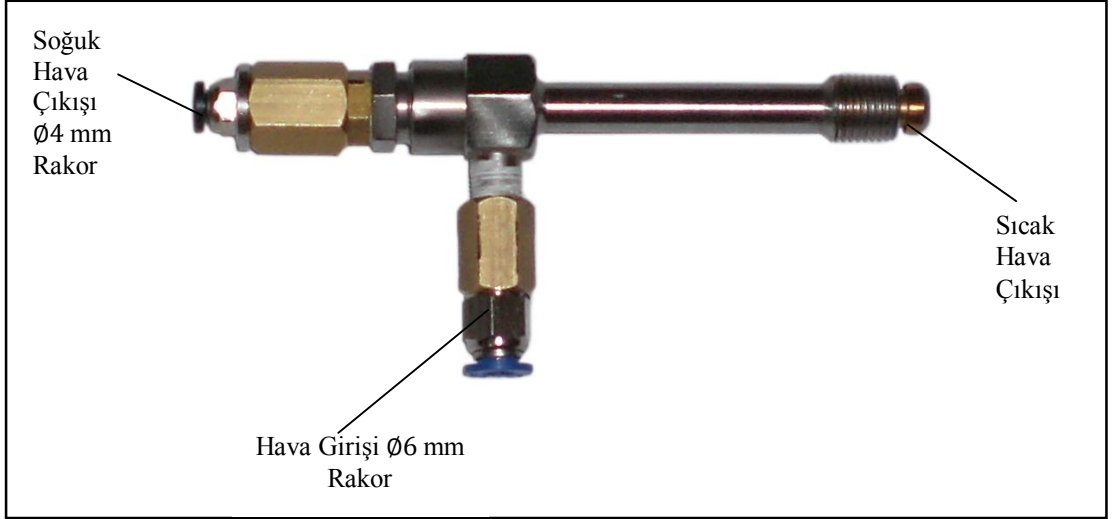
Pistonun bağlandığı uzuv mekanizmasında uzuvların arasındaki açı hareket ile küçülerek piston miline bağlı pistonun yerçekimine ters olarak hareket etmesi sağlanmaktadır. Bu hareket ile piston, piston gömleği içindeki havayı basınçlı bir şekilde vorteks tüpüne iletmektedir. Uzuv mekanizmasındaki açı büyüdükçe piston yerçekimi yönünde hareket ederek havanın hızlanması sağlanmaktadır.

3.2. SİSTEM ELEMANLARININ İNCELENMESİ

3.2.1. Hazır Elemanlar

3.2.1.1. Vorteks Tüpü

İç çapı 9 mm, uzunluğu 102 mm olan karışık akışlı bir vorteks tüpü kullanılmıştır. Vorteks tüpüne, giren basınçlı akışkanın basıncını ölçmek için %1 hassasiyetinde manometre, vorteks tüpünden çıkan soğuk-sıcak akışkanların sıcaklıklarını ölçmek için $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ hassasiyetinde olan dijital termometre kullanılmıştır. Dijital termometrenin probu, vorteks tüpünün sıcak ve soğuk çıkış hortumlarının 10 mm ilerisine yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Şekil 3.3'te deney düzeneğinde kullanılan vorteks tüpü gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Deneý düzeneğinde kullanılan vorteks tüpü.

3.2.1.2. Piston

Piston kolu 200 mm uzunluğunda, silindir gömleği çapı 36 mm ve et kalınlığı 1 mm'dir. Deneýlerde kullanılan %1 hassasiyetli manometre ile ölçülen piston basıncı 0,5 bar olarak ölçülmüştür. Piston malzemesi olarak sert plastik malzeme kullanılmıştır. Pistonun ileri hareketi ile hava basması ön kapaktan gerçekteşmektedir. Ön kapak üzerine yerleştiren rakor yardımıyla hava akışı hortumlara taşınmaktadır. Pistonun uzuvlara montajında boru kelepçesi ve özel aksenal olarak dönebilen bağlantı elemanları kullanılmıştır. Şekil 3.4.'de deneý düzeneğinde kullanılan piston ve uzuvların dizlikle birleştiren hali gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Deneý düzeneğinde kullanılan piston.

3.2.1.3. Rakor

Deney düzeneğinde tek giriş iki çıkışlı 8 adet T rakor kullanılmıştır. T rakorlar yelek astarına dikilerek hortumların yelek yüzeyine dağıtılması sağlanmıştır. Vorteks tüpünün giriş ucuna 6 mm çapında 1 adet rakor ve çıkış ucuna 4 mm çapında 1 adet rakor kullanılmıştır. Şekil 3.5.'te deney düzeneğinde kullanılan T ve giriş rakorları gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Deney düzeneğinde kullanılan rakorlar.

3.2.1.4. Hortum

Vorteks tüpüne hava girişi sağlamak için 6 mm çapında hortum kullanılmıştır. Vorteks tüpünden çıkan havayı yelek içerisine dağıtmak için çapı 4 mm'lik dağıtıcı hortumlar kullanılmıştır. Bu sayede ağırlıktan tasarruf edildiği gibi kesit daralmasından dolayı havanın hızı arttırılmıştır.

3.2.1.5. Tıbbi Medikal Ürün

Bacak ergonomisine uygun olması nedeniyle medikal ürün tercih edilmiştir. Yanlarda bulunan ek parçalar sayesinde mekanizma hareketi kolaylaştırılmıştır. Yürürken herhangi bir rahatsızlık hissi vermemesi sağlanmıştır. Ürünün üzerindeki bantlar sistemin bacadan çıkmasını önlediği gibi, mekanizmanın istenildiğinde çıkarılabilmesi için de pratiklik sağlamıştır. Sistem, mekanizmanın hiçbir

fonksiyonuna dokunulmadan, çıkarılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3.6.'da medikal ürün menteşeli dizlik gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Medikal ürün çift hareket edebilen dizlik.

3.2.2. İmal Edilen Parçalar

3.2.2.1. Piston Mekanizmasının ve Uzunların Tasarımı

Sistemde piston kolunun uzunluğu 200 mm. olarak tasarlanmıştır. Silindir gömleğinin çapı 36 mm ve et kalınlığı 1 mm'dir. Uzun uzunlukları 230 mm, kalınlıkları 1 mm olan St 37 çelik malzeme kullanılmıştır. Bağlantı elemanları olarak M4 vida ve somunlar kullanılmıştır. Şekil 3.7.'de piston mekanizmasının dizdeki duruşu gösterilmiştir.



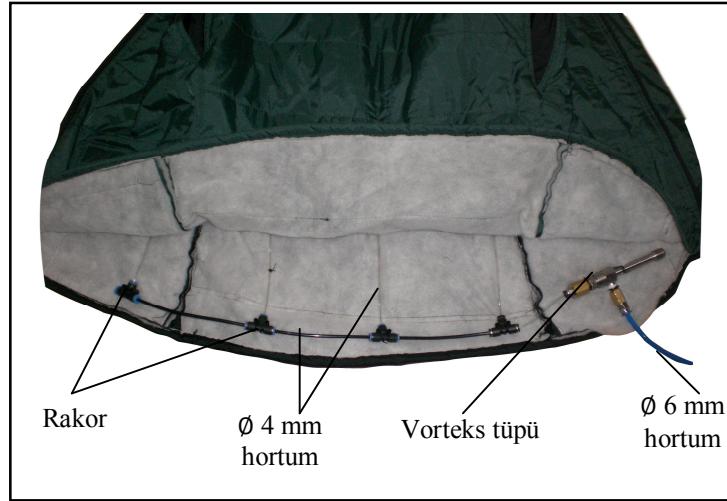
Şekil 3.7. Piston mekanizması açık ve kapalı durumu.

3.2.2.2. Yelek Tasarımı

Sistem için, astarlı yelek kullanılmıştır. Astar içerisinden 4 mm çapındaki hortumlar rakorlar yarımıyla yelek yüzeyine dağıtılarak dikilmiştir. Tek giriş iki çıkışlı 4 mm'lik 8 adet rakor kullanılmıştır. Şekil 3.8.'de deney düzeneğinde kullanılan yelek, Şekil 3.9.'da yelek yüzeyine yerleştirilen hortum ve rakorlar gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Deney düzeneğinde kullanılan yelek.

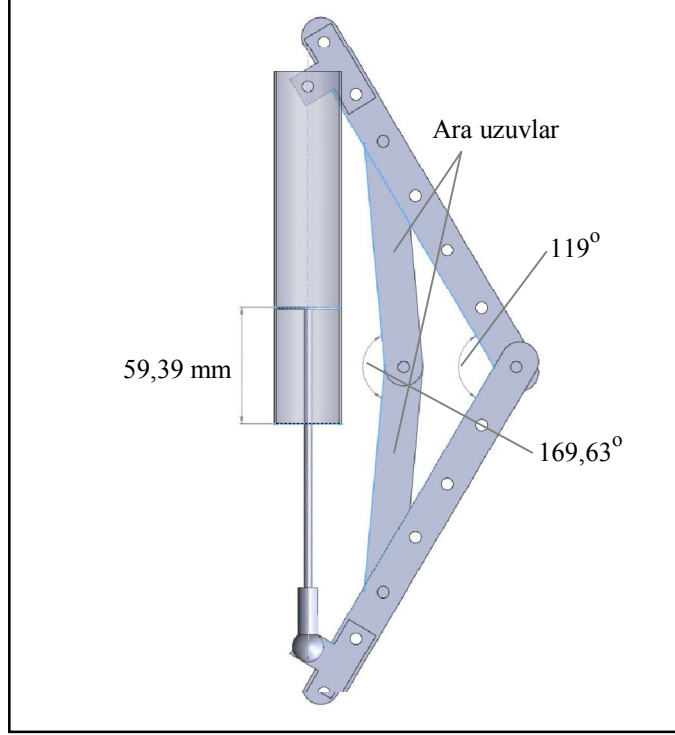


Şekil 3.9. Yelek yüzeyine hortum ve rakorların yerleştirilmesi.

3.3. PİSTON MEKANİZMASININ ANALİZİ

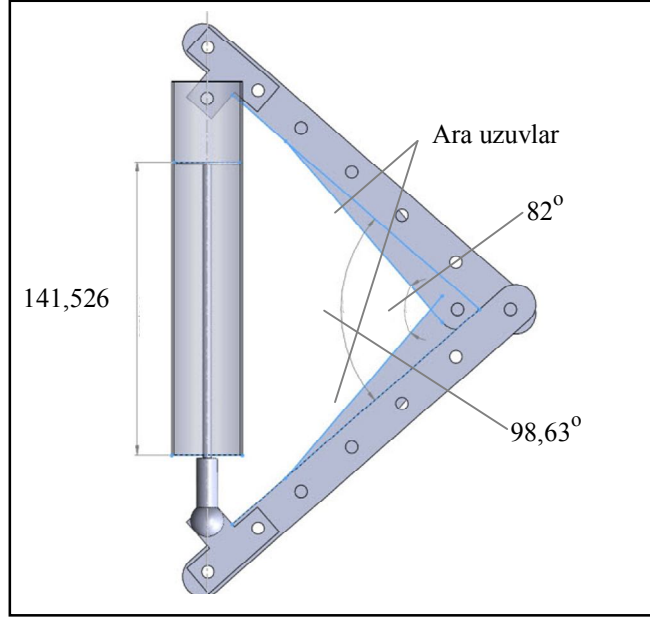
Sistemin çalışmasında uzuvların maksimum açılma derecesi 119° 'dir. Bu açıda pistonun gömlek kapağına olan uzaklığı 59,39 mm'dir. 119° iken ara uzuv

elemanlarının açısı $169,63^{\circ}$ 'dir. Şekil 3.10.'da piston mekanizması modeli verilmiştir.



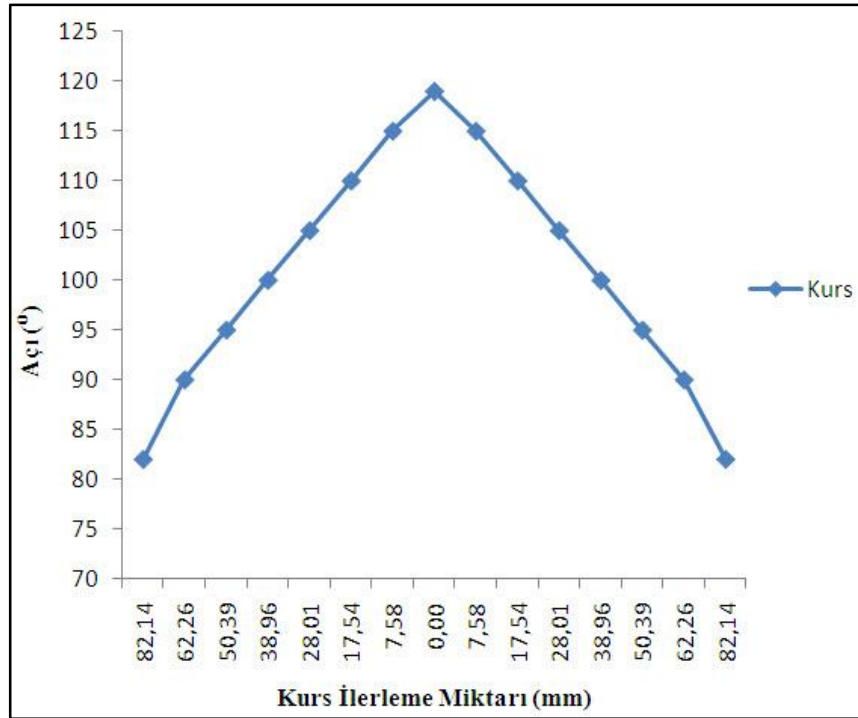
Şekil 3.10. Piston mekanizması üst ölü noktası.

Uzuvların tam kapanma açısı ya da piston mekanizmasının ölü noktası 82° derecede gerçekleşmektedir. Bu derecede ara uzuvlar birbirlerine $98,63^{\circ}$ 'lik açı yapmaktadır. Pistonun ise gömlek kapağına olan uzaklığı 141,526 mm'dir. Piston kursu 82,136 mm hareket etmiştir. Şekil 3.11.'da piston mekanizması modeli verilmiştir.



Şekil 3.11. Piston mekanizması alt ölü noktası.

Şekil 3.12’de uzuvlar arasındaki açığa bağlı olarak kurs boyunun grafiği verilmiştir. Ölü noktalar 82° ve 119° ’dir.



Şekil 3.12. Piston mekanizması açığı ve kurs mesafesi.

3.4. ÖLÇÜMLERİN YAPILMASI

Kurulan soğutma-ısıtma sisteminin çalışması ile gözlenecek parametre, sıcaklık değeridir. Bu sıcaklık değerlerinin ölçülmesi için $\pm 0,1$ hassasiyetle ölçüm yapan dijital termometre kullanılmıştır. Sıcaklık değerlerinin değişimi video kamera ile kaydedilerek değişim noktaları elde edilmiştir. Şekil 3.13’de ölçümlerde kullanılan dijital termometre gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Dijital termometre.

Havanın basıncını ölçmek için manometre kullanılmıştır. Şekil 3.14.’de sistemde kullanılan manometre gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Manometre.

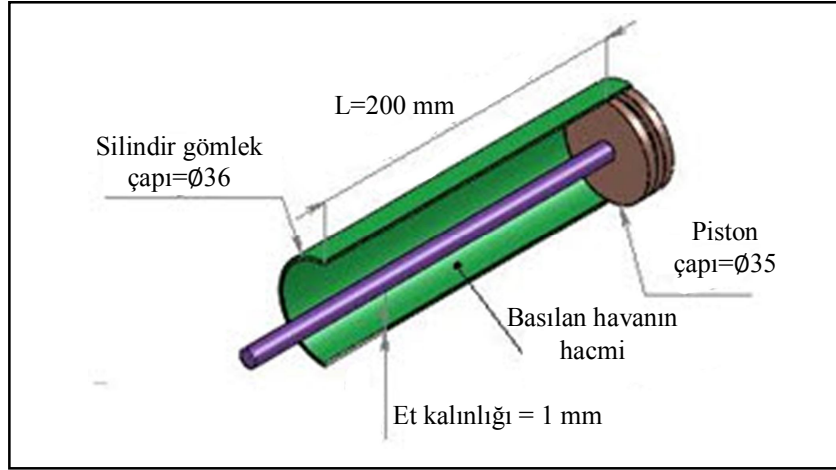
3.5. SİSTEMİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

3.5.1. Sistemin Özellikleri

Sistemin toplam ağırlığı 1,89 kg'dır. Bir bacağa gelen ağırlık 0,636 kg olurken iki bacağa gelen toplam ağırlık 1,272 kg olmaktadır. Yelek ve vorteks tüp ağırlığı dolayısıyla göydeye gelen ağırlık 0,618 kg'dır.

3.5.2. Piston Özellikleri

Kurulan sistemde havanın manuel olarak basılmasını sağlayan sistem piston mekanizması ve piston mekanizmasının kas gücü ile harekete geçirilmesini sağlayan uzuvlardır. Piston mekanizmasında piston kolu uzunluğu 200 mm'dir. Silindir gömleğinin çapı 36 mm ve et kalınlığı 1 mm'dir. Havanın basınçlı bir şekilde aktarımını sağlayan pistonun çapı ise 35 mm'dir. Şekil 3.15.'de bu değerler ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Piston kesiti.

35 mm çapındaki pistonun 200 mm strok kursu ile tek seferde bastığı havanın hacmi;

$$H = (\pi \cdot r^2) \cdot h \quad (3.1)$$

$$H = (3,14 \cdot 0,0175^2) \cdot 0,2$$

Buradan tek seferde basılan havanın hacmi (H) $1,9242255 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ 'dür.

Bu hava aktarımı toplamda 1 saniyede gerçekleştiği için, sistemin debisi olarak da kabul edilebilir. Havanın debisi (Q) $1,9242255 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanır. Basıncılı hava piston mekanizmasından çapı 6 mm'lik hortumla vorteks tüpüne iletilmektedir. Elde edilen debi değerinin kullanılmasıyla vorteks tüpüne giren havanın hızı;

$$Q = (\pi \cdot r^2) \cdot V \quad (3.2)$$

$$1,9242255 \cdot 10^{-4} = (3,14 \cdot 0,003^2) \cdot V$$

$V = 6,805556 \text{ m/s}$ hesaplanır.

Piston alanı;

$$A = 0,785 \cdot (D^2 - d^2) \quad (3.3)$$

$$A = 0,785 \cdot (3,5^2 - 0,5^2)$$

$A = 9,42 \text{ cm}^2$ olarak hesaplanır.

Pistonun itme kuvveti;

$$F = P \cdot A \cdot \eta \quad (3.4)$$

$$F = 0,5 \cdot 9,42 \cdot 0,6$$

$F = 2,826 \text{ kgf} = 27,6 \text{ N}$ olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{F_1}{\sin 30,5} = \frac{2,862}{\sin 119} \Rightarrow F_1 = 1,639 \text{ kgf} = 16,06 \text{ N}$$

Denklem 3.5 ile bacak kasına gelen kuvvet hesaplanmıştır.

Piston mekanizmasının çalışması esnasında yaptığı iş Denklem 3.6'dan bulunmaktadır. Burada pistonun 1 saniyede aldığı yol kullanılarak iş hesaplanmıştır.

$$W = F \cdot x \quad (3.5)$$

$$W = 16,06 \cdot 0,082 \Rightarrow W = 1,316 \text{ joule}$$

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan deneysel çalışmalar, soğutma ve ısıtma olmak üzere iki türlü ele alınmıştır. Deneilerin yapılmasında 70 kg ağırlığında bir erkek sporcu kullanılmıştır. Sistemin belirlenen periyotlar süresince çalışması sonucunda elde edilen sıcaklık değerleri dijital termometreyle ölçülerek video ile kaydedilmiştir.

4.1. SOĞUTMA DENEYİ

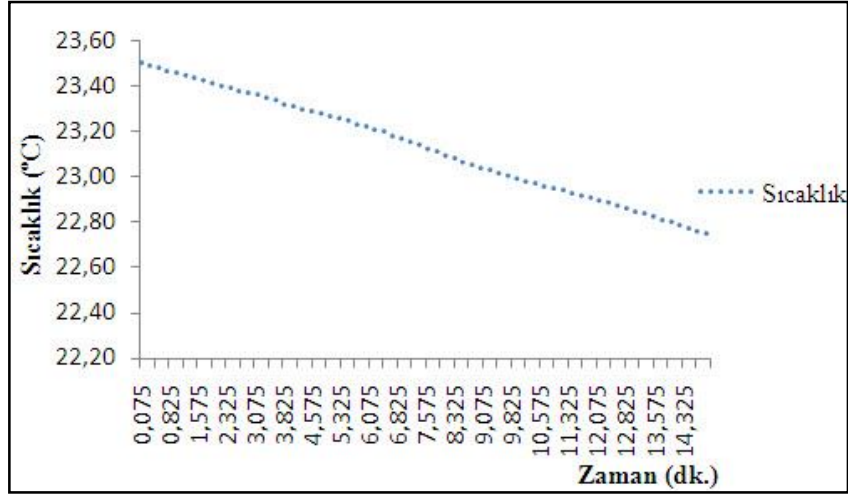
Deneiler, 15 dakikalık yürüme deneyi ile başlamıştır. Öncelikle tek bacağa bağlanan mekanizma ile yürüme deneyi yapılmış, daha sonra iki bacağa bağlanan mekanizma ile deneyler sürdürülmüştür.

Sporcunun koşması sonucunda pistonuna basılan havanın daha seri ve daha hızlı olması ve bu doğrultuda soğutmanın daha fazla olacağı düşünülerek yürüme deneyinde olduğu gibi tek ve çift piston kullanılarak koşma deneyleri yapılmıştır.

4.1.1. Yürüme Deneyi

4.1.1.1. Tek Pistonlu Yürüme Deneyi

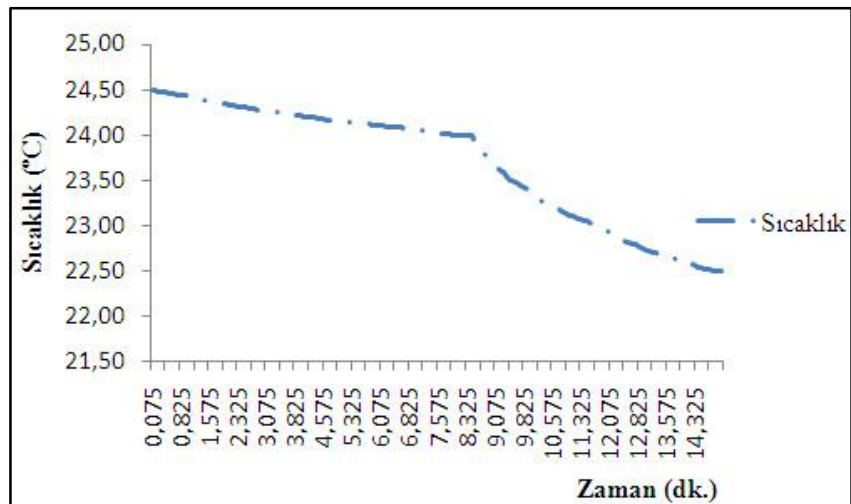
Piston mekanizması ile sisteme aralıksız 0,5 barlık basınçta 15 dk.'lık hava aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bu hava aktarımı ile ortam sıcaklığı 23,50°C'lik sıcaklığı 22,75°C'ye düşürülmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1'de 15 dakika boyunca sabit 0,5 barlık hava aktarımı ile elde edilen sıcaklık grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Tek pistonlu yürüme ile soğutma deneyi grafiği.

4.1.1.2. İki Pistonlu Yürüme Deneyi

İki bacakta kullanılan piston mekanizmaları ile sisteme aralıksız 0,5 barlık basınçta 15 dk.'lık hava aktarımı gerçekleştirilmiştir. İki piston kullanımıyla sisteme aynı zaman diliminde daha fazla hava basılması sağlanmıştır. Bu hava aktarımı ile ortam sıcaklığı 24,50°C'lik sıcaklığı 22,50°C'ye düşürülmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2'de 15 dakika boyunca sabit 0,5 barlık hava aktarımı ile elde edilen sıcaklık grafiği gösterilmiştir.

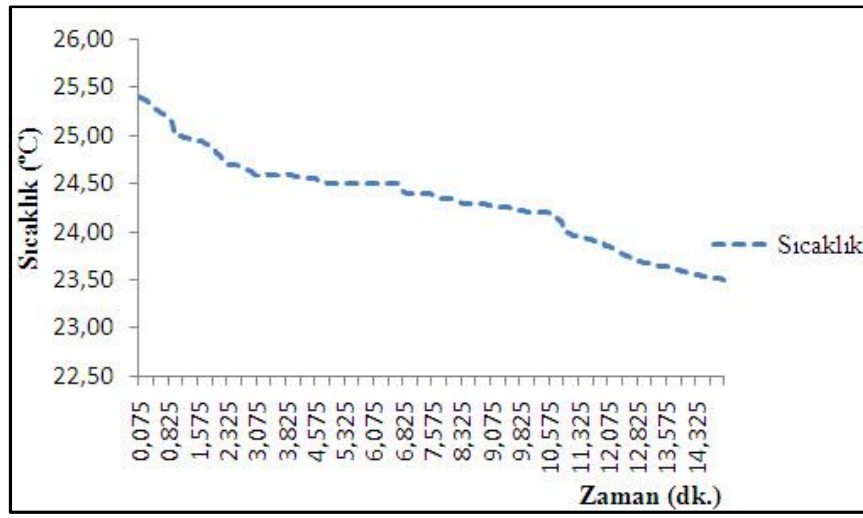


Şekil 4.2. İki pistonlu yürüme ile soğutma deneyi grafiği.

4.1.2. Koşma Deneyi

4.1.2.1. Tek Pistonlu Koşma Deneyi

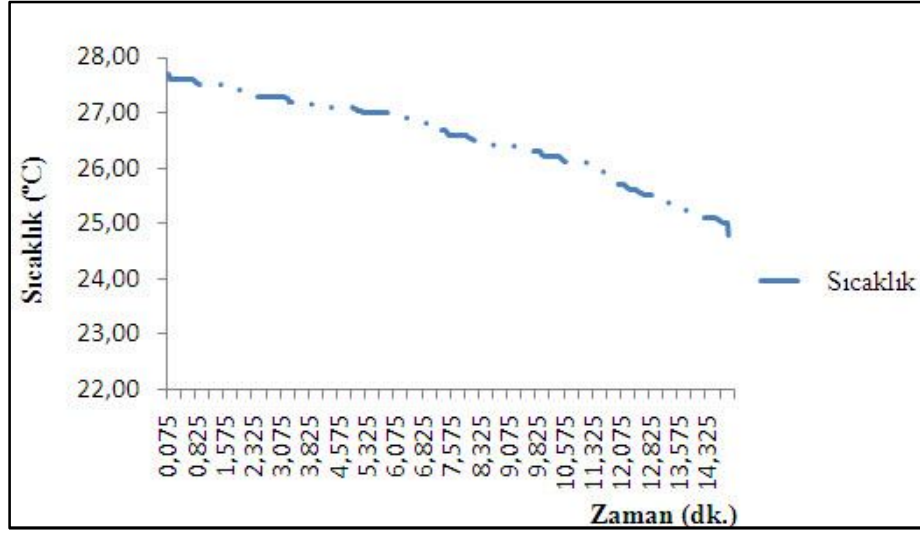
Piston mekanizması ile sisteme aralıksız 0,5 barlık basınçta 15 dk.'lık hava aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bu hava aktarımı ile ortam sıcaklığı 25,40°C'lik sıcaklığı 23,50°C'ye düşürülmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3'de 15 dakika boyunca sabit 0,5 barlık hava aktarımı ile elde edilen sıcaklık grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Tek pistonlu koşma ile soğutma deneyi grafiği.

4.1.2.2. İki Pistonlu Koşma Deneyi

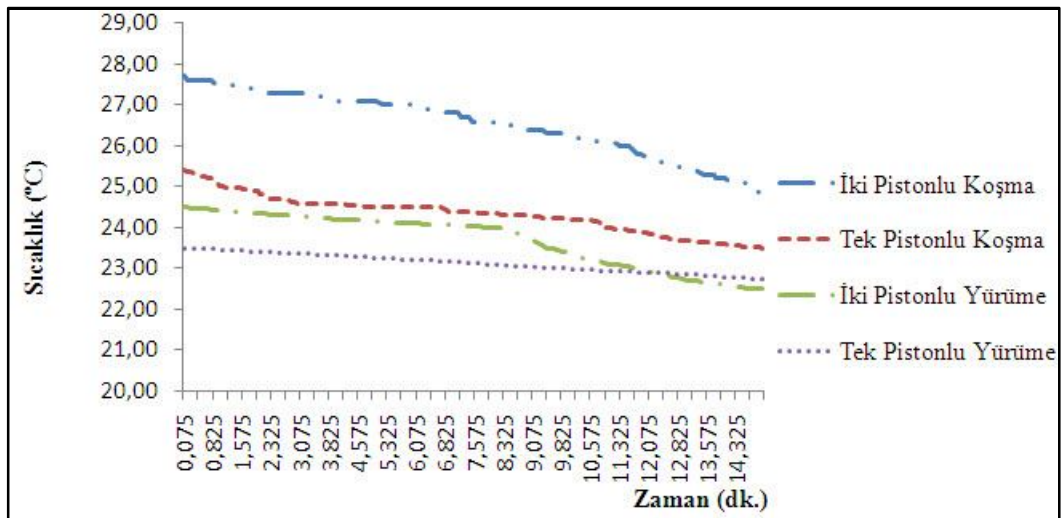
İki bacakta kullanılan piston mekanizmaları ile sisteme aralıksız 0,5 barlık basınçta 15 dk.'lık hava aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bu hava aktarımı ile ortam sıcaklığı 27,70°C'lik sıcaklığı 24,50°C'ye düşürülmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4'de 15 dakika boyunca sabit 0,5 barlık hava aktarımı ile elde edilen sıcaklık grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.4. İki pistonlu koşma ile soğutma deneyi grafiği.

4.1.3. Soğutma Deneyi Bulguları

Yürüme deneyleri sonuçlarında, tek piston kullanılarak $0,75^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık düşüşü, iki piston kullanılarak $2,0^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık düşüşü elde edilmiştir. Koşarak yapılan deneylerde tek piston kullanılarak $1,9^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık düşüşü elde edilirken, iki piston kullanımıyla $3,2^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık düşüşü elde edilmiştir. Tek ve iki pistonun kullanıldığı koşma ve yürüme deneylerinden elde edilen grafiklerin karşılaştırılması Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Soğutma deneyleri grafiği.

4.2. ISITMA DENEYİ

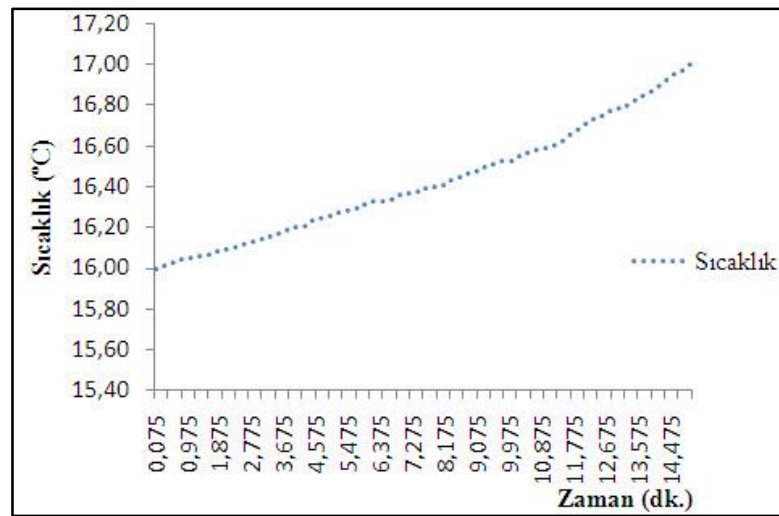
Soğutma deneyleri yapıldıktan sonra, soğuk hava deposunda ısıtma deneyleri yapılmıştır. Sistemde vorteks tüpü ters çevrilerek yelek içerisine verilen havanın sıcak olması sağlanmıştır. Deneyler 15 dakikalık yürüme deneyi ile başlamıştır. Öncelikle tek bacağa bağlanan mekanizma ile yürüme deneyi yapılmış daha sonra iki bacağa bağlanan mekanizma ile deney sürdürülmüştür.

Sporcunun koşması sonucunda pistonuna basılan havanın daha seri ve daha hızlı olması ve bu doğrultuda ısıtmanın daha fazla olacağı düşünülerek yürüme deneyinde olduğu gibi tek ve çift piston kullanılarak koşma deneyleri yapılmıştır.

4.2.1. Yürüme Deneyi

4.2.1.1. Tek Pistonlu Yürüme Deneyi

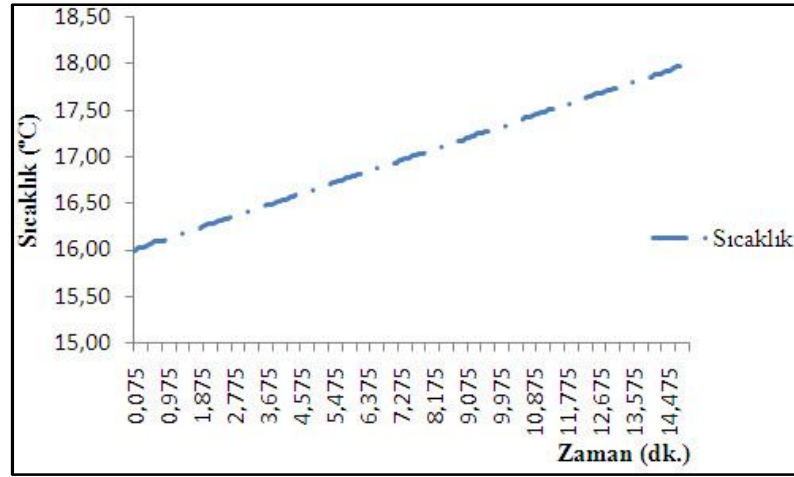
Piston mekanizması ile sisteme aralıksız 0,5 barlık basınçta 15 dk.'lık hava aktarımı gerçekleştirilmiştir. Soğuk hava deposunun sıcaklığı 16,0°C'de sabit tutulmuştur. 16,0°C'lik sıcaklık 17,0°C'ye yükselmiştir. Şekil 4.6'da 15 dakika boyunca sabit 0,5 barlık hava aktarımı ile elde edilen sıcaklık grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Tek pistonlu yürüme ile ısıtma deneyi grafiği.

4.2.1.2. İki Pistonlu Yürüme Deneyi

İki bacakta kullanılan piston mekanizmaları ile sisteme aralıksız 0,5 barlık basınçta 15 dk.'lık hava aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bu hava aktarımı ile 16,0°C'lik sabit tutulan ortam sıcaklığı 18,0°C'ye yükseltilmiştir. Şekil 4.7'de 15 dakika boyunca sabit 0,5 barlık hava aktarımı ile elde edilen sıcaklık grafiği gösterilmiştir.

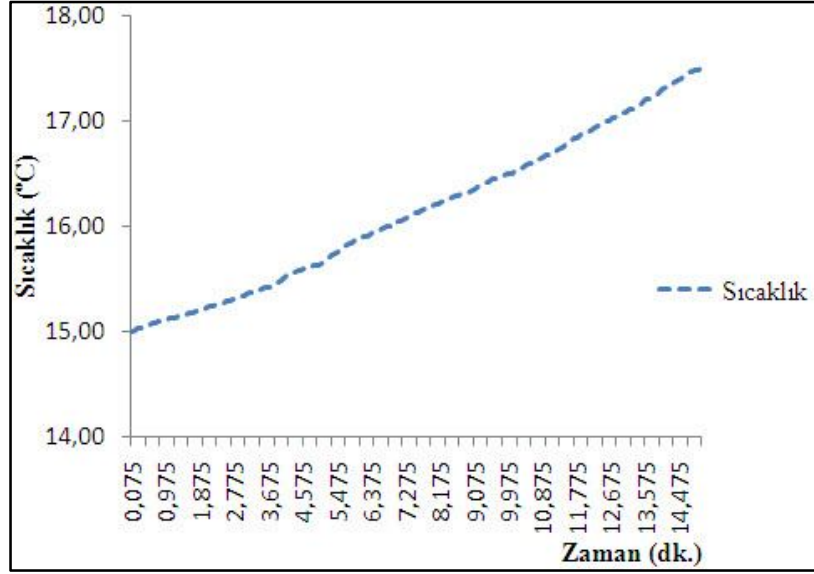


Şekil 4.7. İki pistonlu yürüme ile ısıtma deneyi grafiği.

4.2.2. Koşma Deneyi

4.2.2.1. Tek Pistonlu Koşma Deneyi

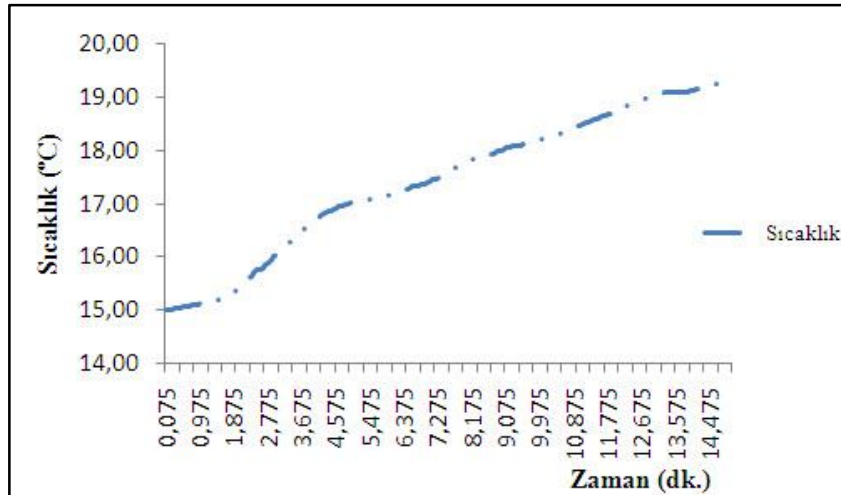
Piston mekanizması ile sisteme aralıksız 0,5 barlık basınçta 15 dk.'lık hava aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bu hava aktarımı ile ortam sıcaklığı 15,0°C'lik sıcaklık 17,50°C'ye yükselmiştir. Şekil 4.8'de 15 dakika boyunca sabit 0,5 barlık hava aktarımı ile elde edilen sıcaklık grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Tek pistonlu koşma ile ısıtma deneyi grafiği.

4.2.2.2. İki Pistonlu Koşma Deneyi

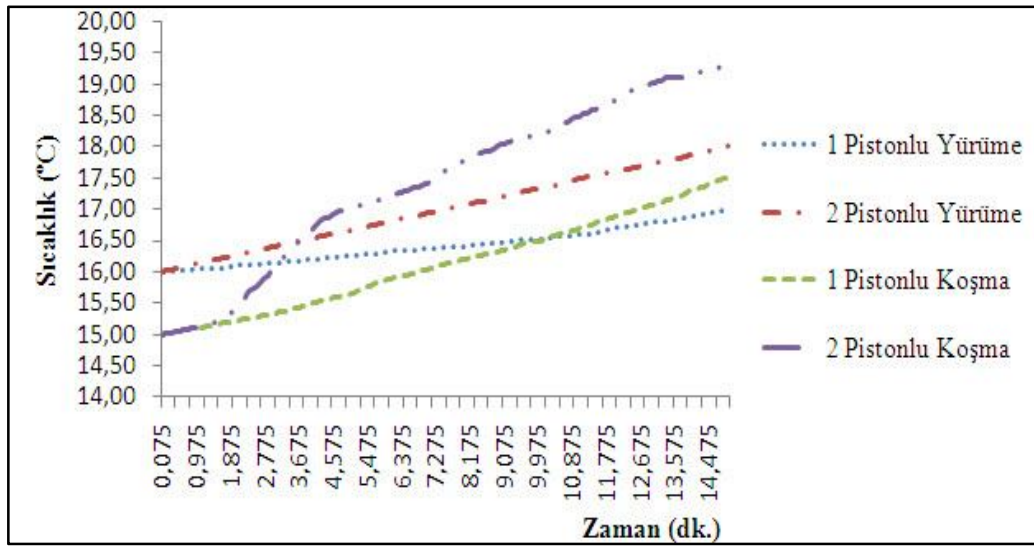
İki bacakta kullanılan piston mekanizmaları ile sisteme aralıksız 0,5 barlık basınçta 15 dk.'lık hava aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bu hava aktarımı ile ortam sıcaklığı 15,0°C'lik sıcaklık 19,30°C'ye yükselmiştir. Şekil 4.9'da 15 dakika boyunca sabit 0,5 barlık hava aktarımı ile elde edilen sıcaklık grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.9. İki pistonlu koşma ile ısıtma deneyi grafiği.

4.2.3. Isıtma Deneyi Bulguları

Yürüme deneyleri sonuçlarında, tek piston kullanılarak 1°C'lik sıcaklık artışı, iki piston kullanılarak 2,0°C'lik sıcaklık artışı elde edilmiştir. Koşarak yapılan deneylerde tek piston kullanılarak 2,5°C'lik sıcaklık artışı elde edilirken, iki piston kullanımıyla 4,3°C'lik sıcaklık artışı elde edilmiştir. Tek ve çift pistonun kullanıldığı yürüme ve koşma deneylerinin grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 4.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Isıtma deneyleri grafiği.

4.3. JENERATÖR ETKİSİ

Vorteks tüpü hareketli parçası olmayan en az iki gövde elemanından oluşan bir sistemdir. Farklı soğutma-ısıtma sıcaklıkları elde etmek için jeneratörler kullanılmaktadır.

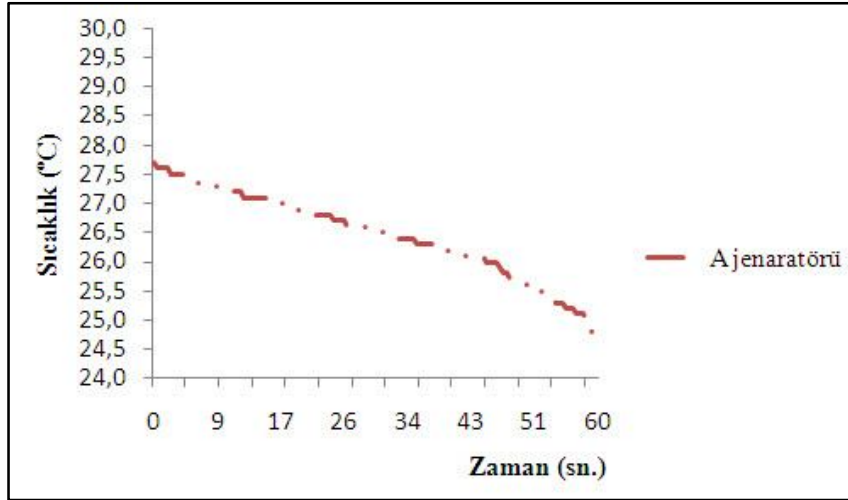
Isıtma ve soğutmanın performansını etkilemesi nedeniyle sistemde kullanılacak jeneratör seçimi, 0,5 bar basınçta, 60sn.'lik çalışma ile tespit edilmiştir.

Şekil 4.11.'de kullanılan A jeneratörü gösterilmiştir. Jeneratörlerin dış çapları ve yükseklikleri aynı şartıyla iç çaplarında ve kanallarda değişim söz konusudur. Kullanılan A jeneratörü 6 kanallı olup, iç çapı 3,99 mm'dir.



Şekil 4.11. A jeneratörü.

A jeneratörünün kullanılarak yapılan soğutma deneyine ait sıcaklık değişimi Şekil 4.12'de gösterilmiştir. A jeneratörünün kullanımı ile maksimum 27,7°C, minimum ise 24,5°C elde edilmiştir.



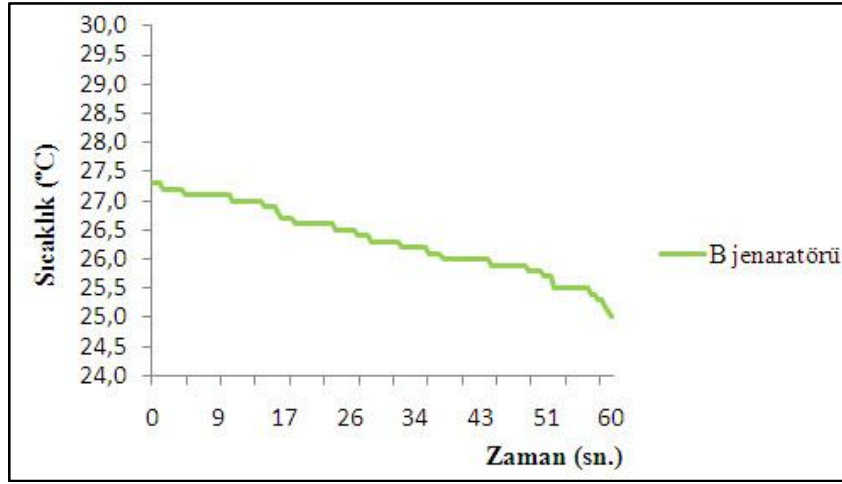
Şekil 4.12. A jeneratörlü sıcaklık değişim grafiği.

A jeneratörü kullanımından sonra iç çapı 2,36 mm ve kanal sayısı 6 olan B jeneratörü kullanılmıştır. Şekil 4.13.'te kullanılan B jeneratörü, Şekil 4.14.'de ise B jeneratörlü sıcaklık değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.13. B jeneratörü.

B jeneratörünün kullanımı ile yapılan deneyde maksimum 27,3°C, minimum ise 25°C sıcaklık değişimi elde edilmiştir.

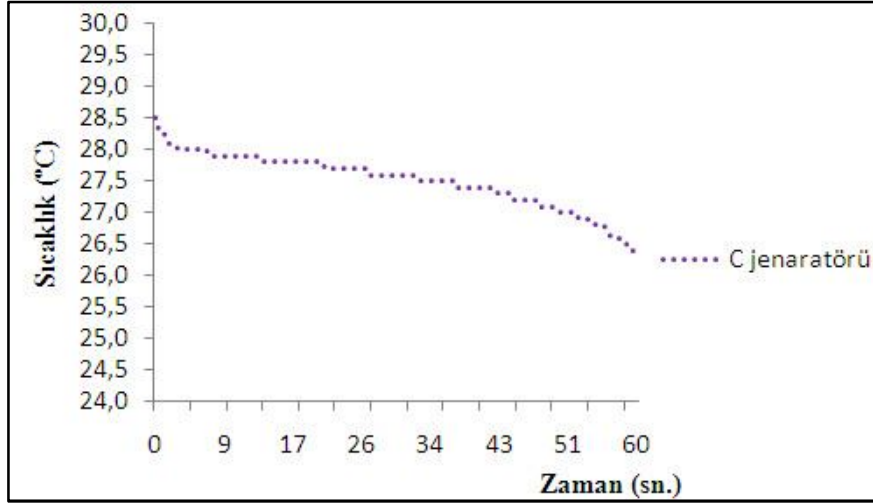


Şekil 4.14. B jeneratörlü sıcaklık değişim grafiği.

B jeneratörü kullanımından sonra kanalsız bir jeneratör kullanılarak soğutma deneyi yapılmıştır. Bu deneyde iç çapı 4,82 mm olan C jeneratörü kullanılmıştır. Kullanılan C jeneratörü Şekil 4.15’de, elde edilen sıcaklık değişim grafiği ise Şekil 4.16.’da gösterilmiştir.



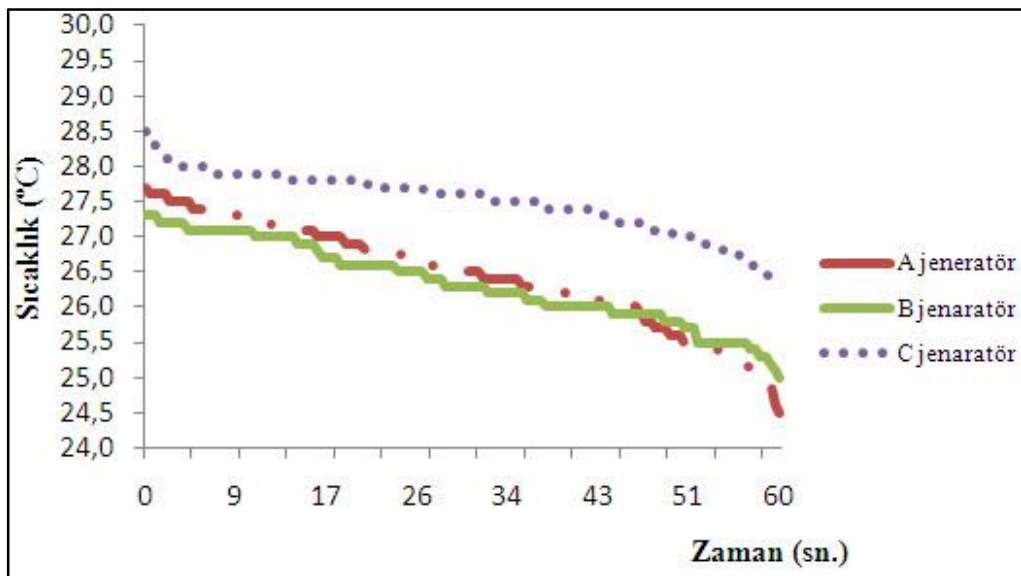
Şekil 4.15. C jeneratörü.



Şekil 4.16. C jeneratörlü sıcaklık değişim grafiği.

C jeneratörünün kullanımı ile yapılan deneyde maksimum 26,4°C, minimum ise 28,5°C sıcaklık değişimi elde edilmiştir.

Jeneratörlerin karşılaştırılmasıyla kanalların olmadığı C jeneratörü ile soğutma daha az miktarda gerçekleşmiştir. Buradan etkili bir soğutma için kanallı jeneratörün kullanımı gerekliliği ortaya çıkmıştır. A jeneratörünün iç çapının B jeneratörüne göre büyük olması soğutma için etkili bir faktördür. Şekil 4.17’de üç jeneratörün birlikte verildiği sıcaklık grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Jeneratörlü sıcaklık değişim grafiği.

4.4. KALORİ HESABI

Sistem kullanılırken, harcanan kalori hesabının yapılması amacıyla teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Pistonun %60 verim ile çalıştığı düşünülerek yapılan hesaplarda 0,5 bar basınç ile piston kolunda oluşan kuvvet 27,6 N'dur. Sinüs teoremi ile bacak kasına gelen kuvvet 16,06 N olarak hesaplanmıştır. Piston mekanizması kullanımında 1 sn'de yapılan iş 1,316 joule olarak tespit edilmiştir. 1 sn.'de 0,31 cal. harcanırken 15 dk.'lık yürüyüş esnasında 279 cal. harcandığı bulunmuştur.

Kondisyon bisikleti ile ortalama 8 km/saat hızla 15 dk.'lık bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada ilk olarak, sistem kullanılmadan harcanan kalori miktarı ölçülmüştür. Daha sonra tek piston mekanizmasının takılması sonucu harcanan enerji ve iki piston mekanizmasının takılması sonucu harcanan enerji ölçümleri yapılmıştır. Kondisyon bisikleti ile yapılan deneyler sonucunda, piston mekanizması kullanılmadan harcanan enerji 138 cal. olarak ölçülmüştür. Tek piston mekanizmasının dize takılması sonucunda 140 cal. ölçülürken, iki piston mekanizmasının dize takılması sonucunda 142 cal. ölçülmüştür. Bu çalışma sonucunda, tek piston mekanizması kullanımında fazladan 2 kalori, iki piston mekanizmasının kullanımında ise 4 kalori harcandığı tespit edilmiştir.

Bir insan merdiven çıkarken harcadığı kalori 1 saatte 1110 cal.[38], 15 dakikada ise 275,5 cal.'dir. Buradan görüldüğü gibi kondisyon bisikleti ile harcanan enerji, merdiven çıkarken harcanan enerjinin yarısı civarındadır. Sistem ile normal yolda yürümenin, sistemsiz merdiven çıkmaya yakın olduğu dikkate alınarak teorik çalışma sonucu bulunan 279 cal. ile sistem ile yürürken elde edilen 275,5 cal. birbirine yakın değerlerdir. Tek piston mekanizmasının kas enerjisine ekstra ilavesi 3,5 cal.'dir. Bu değer kondisyon aletinde ölçülen tek piston mekanizması ile kas kuvvetine ekstra 2 cal. harcamaya neden olmasıyla örtüşmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

Sonuç olarak vorteks tüpünün kullanıldığı taşınabilir soğutma-ısıtma sisteminin tasarımı yapıp üretimi gerçekleştirilmiştir. Sisteme tek piston ve çift piston ile 0,5 barlık basınçlı hava 15 dk. boyunca, yürüme ve daha sonra koşma ile yelek yüzeyine gönderilmiştir. İki piston kullanımıyla aynı zaman diliminde sisteme basılan havanın daha hızlı olması sağlanmıştır.

1. Soğutma deneyinde, yürüme ile elde edilen sıcaklık düşüşü değerleri; tek piston kullanımı ile $0,75^{\circ}\text{C}$, iki piston kullanımı ile $2,0^{\circ}\text{C}$ 'dir. Koşma ile elde edilen sıcaklık düşüşü değerleri tek piston ile $1,9^{\circ}\text{C}$, iki piston ile $3,2^{\circ}\text{C}$ 'dir.
2. Isıtma deneyinde, yürüme ile elde edilen sıcaklık artışı değerleri; tek piston kullanımı ile $1,0^{\circ}\text{C}$, iki piston kullanımı ile $2,0^{\circ}\text{C}$ 'dir. Koşma ile elde edilen sıcaklık artışı değerleri tek piston ile $2,5^{\circ}\text{C}$, iki piston ile $4,3^{\circ}\text{C}$ 'dir.
3. Sistemde iki piston kullanımı ile daha yüksek soğutma-ısıtma derecesi elde edilmiştir.
4. 6 kanallı, iç çapı 3,99 mm olan A jeneratörü ile ortam sıcaklığı $27,7^{\circ}\text{C}$ iken vorteks tüpünden çıkan ve yelek yüzeyine gönderilen basınçlı havanın sıcaklığı $24,5^{\circ}\text{C}$ ölçülmüştür. A jeneratörünün kullanımı ile $3,2^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık düşüşü elde edilmiştir. 6 kanallı, iç çapı 2,36 mm olan B jeneratörü ile ortam sıcaklığı $27,3^{\circ}\text{C}$ iken vorteks tüpünden çıkan yelek yüzeyine gönderilen basınçlı havanın sıcaklığı 25°C e ölçülmüştür. B jeneratörünün kullanımı ile $2,3^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık düşüşü elde edilmiştir. Kanalsız iç çapı 4,82 mm olan C jeneratörü ile ortam sıcaklığı $28,5^{\circ}\text{C}$ iken vorteks tüpünden çıkan yelek

yüzeyine gönderilen basınçlı havanın sıcaklığı 26,4°C ölçülmüştür. C jeneratörünün kullanımı ile 2,1°C'lik sıcaklık düşüşü elde edilmiştir.

5. Jeneratörlerin karşılaştırılmasıyla kanalların olmadığı C jeneratörü ile soğutma daha az miktarda gerçekleşmiştir. Buradan etkili bir soğutma için kanalı jeneratörün kullanımı gerekliliği ortaya çıkmıştır. A jeneratörünün iç çapının B jeneratörüne göre büyük olması soğutma için etkili bir faktördür.
6. Piston mekanizma ölü noktaları, 82°'de sistem kapalı konumda ve piston kurs hareketi 82,136 mm.dir. 119° de sistem açık konumda ve piston kurs hareketi 59,390 mm olmaktadır.
7. Bir insan merdiven çıkarken harcadığı kalori 1 saatte 1110 cal.[38], 15 dakikada ise 275,5 cal.'dir. Sistem ile normal yolda yürümenin, systemsiz merdiven çıkmaya yakın olduğu dikkate alınarak teorik çalışma sonucu bulunan 279 cal. ile sistem ile yürürken elde edilen 275,5 cal. birbirine yakın değerlerdir. Tek piston mekanizmasının kas enerjisine ekstra ilavesi 3,5 cal.'dir.
8. Kondisyon bisikleti ile yapılan enerji sarfıyatı deneyinde 8 km/saat hız ve 15 dk.'lık çalışma sonucunda sistem olmadan 138 cal. kalori harcanmıştır. Tek piston mekanizması kullanımında 140 cal., iki piston mekanizmasının kullanımında 142 cal. kalori harcanmıştır. Tek piston mekanizmasının kas enerjisine ekstra ilavesi 2 cal.'dir.

5.2. ÖNERİLER

1. Manuel olarak çalıştırılan piston mekanizmasının daha çok soğutma yapmasını sağlamak için sisteme gönderilen havanın basıncı yüksek ve sürekli olması sağlanabilir.
2. Bacak yapısına uygun yeni bir piston tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: ITW Air Management “Vortex Enclosure Cooling” <http://www.itwvortec.com> (2010).
2. Özgür, A. E., “Vorteks tüplerin çalışma kriterlerine etki eden faktörlerin ve endüstrideki kullanım alanlarının tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 25-30 (2001).
3. Özgür, A. E., Selbaş, R. ve Üçgül, İ., “Vorteks tüpler ile soğutma uygulamaları”, **V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi**, İzmir, 387-396 (2001).
4. Guillaume, D. W. and Jolly, J. L., “Demonstrating the achievement of lower temperatures with two-stage vortex tubes”, **Review of Scientific Instruments**, 72 (8): 3446-3449 (2001).
5. Ma, T. Q., Zhao, Q. G., Yu, J., Ye, F. and Ma, C. F., “Experimental investigation on energy separation by vortex tubes”, **12th International Heat Transfer Conference**, Paris, 1-4 (2002).
6. Saidi, M. H. and Valipour, M. S., “Experimental modeling of vortex tube refrigerator”, **Applied Thermal Engineering**, 23 (15): 1971-1980 (2003).
7. Dinçer, K., Başkaya, Ş., Üçgül, İ. ve Uysal, B. Z., “Giriş ve çıkış kütleli debilerinin bir vorteks tüpün performansına etkisinin deneysel incelenmesi”, **14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi**, Isparta, 13-18 (2003).
8. Singh, P. K., Tathgir, R. G., Gangacharyulu, D. and Grewal, G. S., “An experimental performance evaluation of vortex tube”, **IE (I) Journal MC**, 84: 149-153 (2004).
9. Shannak, B. A., “Temperature separation and friction losses in vortex tube”, **Heat and Mass Transfer**, 40 (10): 779-785 (2004).
10. Baki, M., “An experimental study on performance of a vortex tube”, MS Thesis, **Karadeniz Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences**, Trabzon, 40-43 (2004).

11. Usta, H., Dinçer, K. ve Kırmacı, V., “Vorteks tûpünde akışkan olarak kullanılan hava ile oksijenin soğutma sıcaklık performanslarının deneysel incelenmesi”, *Teknoloji*, 7 (3): 415-425 (2004).
12. Usta, H., Kırmacı, V. ve Dinçer, K., “Vorteks tûpünde akışkan olarak kullanılan hava, oksijen ve karbondioksitin soğutma-ısıtma sıcaklık performanslarının deneysel olarak incelenmesi”, *Teknoloji*, 8 (4): 311-319 (2005).
13. Dinçer, K., Uysal, B. Z., Başkaya, Ş., Sivrioğlu, M. ve Üçgöl, İ., “Dört nozullu vorteks tûpünün performansının deneysel incelenmesi”, *15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Trabzon, 596-601 (2005).
14. Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Kaya, M. ve Karslı, S., “Vorteks tûpleri: 1-Teknolojik gelişim”, *Mühendis ve Makine*, 47 (553): 46-54 (2006).
15. Özkul, N., “Uygulamalı Soğutma Tekniği”, *Makine Mühendisleri Odası*, Ankara, 24-25 (1999).
16. Nabhani, N., “Hot-wire anemometry study of confined turbulent swirling flow”, PhD Thesis, *Bradford University*, Bradford-UK, 40-50 (1989).
17. Cockerill, T. T., “Thermodynamics and fluid mechanics of a Ranque-Hilsch vortex tube”, PhD Thesis, *University of Cambridge*, England, 50-55 (1998).
18. Yılmaz, M., Kaya, M., Karagöz, Ş. ve Erdoğan, S., “Vorteks tûp tasarımı”, *MakinaTek*, 116: 100-106 (2007).
19. Poshernev, N. V. and Khodorkov, I. L., “Experience from the operation of a conical vortex tube with natural gas”, *Chemical and Petroleum Engineering*, 39 (9-10): 602-607 (2003).
20. İnternet: Exair Corporation “Vortex Tubes and Spot Cooling Products” <http://www.exair.com> (2010).
21. İnternet: Azarov, A. I., “Modular Multi-Chambers Vortex Tubes” <http://www.ecoteco.ru> (2010).
22. Yılmaz, M., Kaya, M., Karagöz, Ş. ve Erdoğan, S., “Vorteks tûp tasarımı II”, *MakinaTek*, 117: 102-107 (2007).
23. Gao, C. M., “Experimental study on the Ranque-Hilsch vortex tube”, PhD Thesis, *Eindhoven University of Technology*, Eindhoven, 60-63 (2005).

24. Internet: Frigid-X™ “Vortex Tube” <http://nexflowtech.com> (2010).
25. Hooper, F. C. and Juhasz, I. C., “Electric dew point meter cooled by vortex tube”, *Refrigerating Engineering*, 60: 1196-1203 (1952).
26. Metcalfe, T. B., “The vortex tube-heat source and sink”, *British Chemical Engineering*, 11: 854-859 (1966).
27. Landecker, K., “A two stage refrigeration and power producing arrangement consisting of a vortex cooling tube and a thermoelectric stage”, *Energy Conversion*, 17 (2-3): 119-122 (1977).
28. Takahama, H., Kawamura, H., Kato, S. and Yokosawa, H., “Performance characteristics of energy separation in a steam-operated vortex tube”, *International Journal of Engineering Science*, 17 (6): 735-744 (1979).
29. Gavinskii, Iu. V., “Effectiveness of a vortex tube as a source of excitation for objects of nondestructive inspection by the thermal method”, *Soviet Journal of Nondestructive Testing*, 17 (2): 125-127 (1981).
30. Gavinskii, Iu. V., “A device for thermal probing of materials and structures with the use of a vortex tube”, *Soviet Journal of Nondestructive Testing*, 17 (2): 128-130 (1981).
31. Gavinskii, Iu. V., Vorozhtsov, B. I., Kitsanov, A. S. and Nemirov, Iu. V. “Vortex tubes in thermal non-destructive inspection”, *Soviet Journal of Nondestructive Testing*, 15: 791-796 (1979).
32. Baz, A., Johnston, R. and Uhler, D., “The dynamic characteristics of vortex tube-assisted hyperbaric chambers”, *Ocean Engineering*, 13 (4): 387-408 (1986).
33. Baz, A., Gilheany, J. and Kalvaitis, A., “Feasibility of vortex tube-assisted environmental control of a manned underwater research habitat”, *Ocean Engineering*, 15 (1): 33-54 (1988).
34. Bruno, T. J., “Laboratory applications of the vortex tube”, *Journal of Chemical Education*, 64 (11): 987-995 (1987).
35. Lawless, J. F., Leonard, J. O. and William, M. E., “Artificial snow making method”, A.B.D., Patent No: 3969908, (1976).
36. Tunkel, L., Krasovitski, B. and Foster, R. L., “Vortex tube for snow making”, A.B.D., Patent No: 5937654, (1999).

37. İnternet: Universal Vortex Inc. (UVI) “Vortex pressure regulation”
<http://www.univers Alvortex.com> (2010).
38. Tuzlacı, U., Toygar, A. ve Baltaş, A., “Sağlıklı yaşam”, *Remzi Kitapevi*, İstanbul, 19-20 (1998).

ÖZGEÇMİŞ

Ayşe DANIŞ, 1982 yılında Erzurum’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Kocaeli ilinde tamamladı. Lise eğitimini, Kocaeli Teknik Lisesi, Bilgisayar Yazılım Bölümünde, Ön Lisans Eğitimini 2003 yılında Uludağ Üniversitesi Orhangazi Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Destekli Tasarım Bölümünde, Lisans Eğitimini 2008 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği bölümünde tamamladı. Yüksek Lisans Eğitimine 2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda başladı. Yüksek Lisans eğitimini 2010 yılı Haziran ayında tamamlamıştır.