

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VORTEX TÜPÜNÜN ETKİSİYLE MEYDANA
GELEN SICAKLIK DEĞİŞİMLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selahattin KASAR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi. Ünal UYSAL

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VORTEX TÜPÜNÜN ETKİSİYLE MEYDANA
GELEN SICAKLIK DEĞİŞİMLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selahattin KASAR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 13.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Dr.Öğr.Üyesi
Ünal UYSAL
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr.
Cenk ÇELİK
Üye**

**Prof.Dr.
Mustafa ÖZDEMİR
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Selahattin KASAR

02.05.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi. Ünal UYSAL'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAPK) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2017-50-01-081) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLOLAR LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3.	
VORTEKS TÜPÜ	7
3.1. Vorteks Olayının Tanımı.....	7
3.2. Vorteks Tüpünü Belirleyen Parametreler.....	8
3.2.1. Soğuk akım.....	8
3.2.2. Soğuk havanın sıcaklığının düşmesi.....	8
3.2.3. Soğuk kısmın girişinin çapı.....	9
3.2.4. İzentropik verim.....	10
3.2.5. Etkinlik katsayısı.....	10
3.3. Vorteks Tüpünün Sınıflandırılması.....	10
3.3.1. Akımı iki yönlü vorteks tüpü.....	10

3.3.2. Tek yönlü vorteks tüpü.....	11
3.4. Uygulamaları.....	12
3.4.1. Vorteks tüpünün soğutucu hava pompası olarak kullanılması.....	13
3.4.2. Ürünlerin temizliğinin korunması.....	13
3.4.3. Elektrik kontrol levhalarının soğutulması.....	14
3.4.4. Gıda fabrikalarında.....	15
3.4.5. Makineleri çalıştırma işlemlerinde.....	16
3.5. Vorteks Tüpünün Olumlu ve Olumsuz Yönleri.....	17
3.5.1. Vorteks tüpünün olumlu yönleri.....	17
3.5.2. Vorteks tüpünün olumsuz yanları.....	17
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	18
4.1. Deney Modelleri.....	18
4.2. Deney Düzenegi.....	21
4.3. Deney Yapılışı.....	24
4.4. Deney Sonuçları.....	25
4.4.1. Vorteks tüpü (1).....	25
4.4.1.1. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklığının değişmesi.....	25
4.4.1.2. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklığının değişmesi.....	25
4.4.1.3. Vorteks tüpünde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi.....	26
4.4.2. Vorteks tüpü (2).....	27
4.4.2.1. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi.....	27

4.4.2.2.Vorteks tpnn CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi.....	28
4.4.2.3.Vorteks tpnde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi.....	28
4.4.3.Vorteks tüpü (3).....	29
4.4.3.1.Vorteks tpnde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi	29
4.4.3.2.Vorteks tpnn CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi.....	30
4.4.3.3.Vorteks tpnde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi	31
4.4.4.Vorteks tüpü (4).....	31
4.4.4.1.Vorteks tpnn CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk ve sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi.....	31
4.4.4.2.Vorteks tpnde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi	32
4.4.5.1.2.3. ve 4. Vorteks Tp Performanlarının Karşılaştırılması.....	33
4.4.6.Xair firmasına ait Vorteks tüp ile deneylerde kullanılan vortek tplerinin karşılaştırılması.....	35
4.4.7.Vorteks tplerinin 150 [m ³ /h] hacimsel debide farklı CMF oranları için soğuk ve sıcak akım değerlerinin karşılaştırılması	36
4.5. Hata Analizi.....	37

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER	38
----------------------------	----

KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	43

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CMF	: Cold Mass Fraction
M_i	: Hacimsel Giren Hava debi [m^3/h]
ΔT_c	: Soğuk Hava Sıcklık Değişmesi [$^{\circ}C$]
ΔT_h	: Sıcak Hava Sıcklık Değişmesi [$^{\circ}C$]
T_c	: Soğuk Hava Sıcklığı [$^{\circ}C$]
T_h	: Sıcak Hava Sıcklığı [$^{\circ}C$]
T_i	: Giren Hava Sıcaklığı [$^{\circ}C$]
P_i	: Giren Basınç [bar]
L_h	: Sıcak kanal uzunluğu [mm]
D_c	: Soğuk kanal çapı [mm]
L_c	: Soğuk kanal uzunluğu [mm]
D_{GD}	: Generatör dış çapı [mm]
D_{Gi}	: Generatör iç çapı [mm]
d	: Hava giriş çapı [mm]
l	: Hava giriş uzunluğu [mm]
D_K	: Köntrol vana çapı [mm]
L_k	: Köntrol vana uzunluğu [mm]

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Vörtex tüpü üç boyut görüntüsüdür	7
Şekil 3.2.	Vorteks tüpünün sınıflandırılması	10
Şekil 3.3.	Vorteks tüpünün soğutucu hava pompası olarak kullanılması.....	13
Şekil 3.4.	Vorteks tüpünün ürünlerinin temizliğinin korunması.....	14
Şekil 3.5.	Vörtex tüpü elektrik kontrol levhalarının soğutulmasında kullanılmak	14
Şekil 3.6.	Vörtex tüpünün gürültüyü azaltıcı.....	15
Şekil 3.7.	Vörtex Tüpü gıda fabrikalarında kullanmak.....	15
Şekil 3.8.	Vörtex tüpü makineleri çalıştırma işlemlerinde.....	16
Şekil 4.1.	Vorteks tüpü içindikiler.....	18
Şekil 4.2.	Sıcak kanal, soğuk kanal, ve basınç hava girişi gösterimi.....	18
Şekil 4.3.	Soğuk kanal kapağı gösterimi.....	19
Şekil 4.4.	Vorteks Tüpü generetörü gösterimi.....	19
Şekil 4.5.	Kontrol valfi gösterimi.....	19
Şekil 4.6.	Sıcak ve soğuk hava akımları arasındaki termal ayırım gösterimi.....	20
Şekil 4.7.	Vorteks tüpün geometrik parametrelerinin sembolleriyle.....	20
Şekil 4.8.	Yapılan Vorteks Tüpleri.....	20
Şekil 4.9.	Basınç göstergeli basınçlı hava depose görüntüsü.....	22
Şekil 4.10.	Manometre ayarlı regülatör görüntüsü.....	22
Şekil 4.11.	Basınçlı Hava Akışı Ölçer görüntüsü	23
Şekil 4.12.	Veri Toplama sistemine ait thermal çift bağlantı ekipmanı.....	23
Şekil 4.13.	Deneysel aparatın şematik gösterimi.....	24
Şekil 4.14.	Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklığının değişmesi.....	25
Şekil 4.15.	Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklığının değişmesi.....	26

Şekil 4.16. Birinci vorteks tûpünde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi.....	27
Şekil 4.17. Vorteks tûpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklık derecesinin değişmesie etkisi.....	27
Şekil 4.18. Vorteks tûpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesie etkisi.....	28
Şekil 4.19. İkinci vorteks tûpünde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi.....	29
Şekil 4.20. Vorteks tûpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklık derecesinin değişmesie etkisi.....	30
Şekil 4.21. Vorteks tûpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesie etkisi.....	30
Şekil 4.22. Üçüncü vorteks tûpünde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi.....	31
Şekil 4.23. Vorteks tûpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklık derecesinin değişmesie etkisi.....	32
Şekil 4.24. Vorteks tûpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesie etkisi.....	32
Şekil 4.25. Dtrüncü vorteks tûpünde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi.....	33
Şekil 4.26. 1.2.3. ve 4. Vorteks Tûp Performanlarının Karşılaştırılması.....	34
Şekil 4.27. Xair firmasına ait Vorteks tûp ile deneylerde kullanılan vortek tûplerinin karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.28. Vorteks tûplerinin 150 [m ³ /h] hacimsel debide farklı CMF oranları için soğuk ve sıcak akım değerlerinin karşılaştırılması.....	36

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Yapılan vorteks Tüplerin ölçüleri.....	20
---	----

ÖZET

Anahtar kelimeler: Vorteks Tüpü, Sıcak ve soğuk hava, hacimsel akımı.

Ranque-Hilsch tüpleri olarak da bilinen vorteks tüpleri, basınçlı havayı veya herhangi bir soy gazı sıcak ve soğuk akımlara ayıran mekanik bir cihazdır. Vorteks tüplerinin hareketli parçası yoktur. Basınçlı hava yüksek hızda dönmesini sağlayan bir “vortek jenaratörüne” doğru teğetsel olarak gönderilir. Hava tüp içinde yüksek hızda dönerek tüpün diğer ucuna doğru hareket eder. Bu uçta bulunan konik bir valf ile havanın sıcak taraftan dışarı atılmasını sağlar. Tüp içinde kalan hava, çapı daha küçük olan iç vorteks ile geri dönmeye ve jenaratörün merkez deliğinden geçerek soğut taraftan dışarı atılır. Vorteks tüpü içerideki havanın “katı cisim dönüş” hareketi yaptığı kabul edilir. Katı cisim dönüş hareketi, vorteks tüpü içerisinde ayrılan iç ve dış hava akımları arasındaki sürtünmeden kaynaklanmaktadır. Başka bir deyişle tüp içinde iç ve dış hava katmanı oluşur ve bunlara aynı açısız hıza sahiptir. Merkezkaç kuvvetinden dolayı, dış tarafta kalan hava akımı içeride kalan havadan daha fazla basınç değerine ulaşır. İç ve dış hava akımları aynı yönde ve açısız hızda dönmekteyken, içeride kalan akım açısız momentum değerini kaybetmektedir. Açısız momentumdaki azalma nedeniyle dış hava akımına kinetik enerji transferi olur. Böylece besleme havası sıcak ve soğuk hava akımlarına ayrılmış olur. Bu nedenle dış yüzeyde kalan hava akımının sıcaklığı iç kısımdaki havadan daha yüksektir. Vorteks tüpleri akış özelliklerine göre paralel ve karşıt akışlı şekilde, tasarım özelliklerine göre adyabatik ve adyabatik olmayan şekildedir.

Bu çalışmada karşıt akışlı 4 farklı vorteks tüp imalatı yapılarak her tüpde meydana gelen soğuk-sıcak akış değişimlerinin incelenecektir.

INVESTIGATION ON THE CHANGES IN THE TEMPERATURE THAT IS CAUSED IN VORTEX TUBE

SUMMARY

Keywords: Vortex tube; cold and hot air temperatures and cold mass fraction.

Vortex tube, also called Ranque and Hilsch tube (RHVT) who started creating and developing this device with a simple structure and wide application. It can separate a compressed stream into hot and cold streams. Vortex tube was discovered by Ranque. He got a French patent for the device in 1932, United States patent in 1934. The phenomenon of the temperature or energy separation in a RHVT was unexpectedly discovered by Ranque when he experimentally studied on the cyclone duct separator. Then, Hilsch improved the performance of the RHVT by adjusting the tubes geometry and inlet pressure conditions. After World War II, tubes and research that belong to Hilsch had been revealed and studied widely. Westley made more than 100 researches and references about the Vortex Tube. At the same time, there are a lot of articles that have been written by many researchers; for example: Nash, Dobratz, Kalvinskas, McGree, and Curley. By these articles that they made, they tried to improve the vortex tube and push it to be used in several applications.

This study presents the effect of cold mass friction, the rates of air flow, the inlet pressure, and time on hot and cold air temperatures that are generated in four different vortex tubes that are manufactured by simple equipments within low prices and different dimensions. That proves the simplification of the vortex tube. Although the efficiency of vortex tube is low, but it produces low temperatures without using expensive cooling machines.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Vorteks tüpü basınçlı akışkanın enerjisinin ayrışmaya sebep olan basit bir alettir. Vorteks tüpü; basınçlı akışkan teğetsel girişi, vorteks odası veya üretici, sıcak akım ve soğuk akım tarafından meydana gelir. Bu olay oldukça kompleks bir yapıdır. Vorteks tüpünde aynı anda hem soğuma hem de ısınma işlemi gerçekleşmektedir. Vorteks tüpüne basınçlandırılmış hava bir giriş ağzından sabit duran çeşitli tip ve sayıda vorteks oluşturan kanatlardan oluşan jenaratöre teğetsel olarak gönderilir, jenaratör yardımıyla basınçlı hava çok yüksek hızda dönerek tüpün uzun tarafına doğru vorteks oluşturarak ve merkezkaç kuvvetin etkisi ile tüp cidarına doğru açılmaya zorlanır. Tüp merkezindeki akışkan ile tüp cidarındaki akışkan arasında basınç farkı oluşur. Tüp cidarı ile tüp merkezi arasında oluşan iki farklı basınç nedeni ile akış merkezden tüp cidarına doğru genişler. Merkezdeki akışın açısız hızı, açısız momentumun korunumu ilkesi gereğince tüp cidarındaki akışın açısız hızından daha yüksek değerlere ulaşır. Bu sebepten dolayı tüp içerisinde iki farklı hızda dönen akış oluşur. Merkezdeki akış daha yüksek hıza sahip olduğundan cidardaki akışı ivmelendirmeye çalışır. Bu durumda merkezdeki akış cidardaki akışa mekanik enerji transferi gerçekleştirir. Mekanik enerjisinde azalma olan merkezdeki akış soğuk akış, tüp cidardaki sürtünme etkisi ve merkezdeki akıştan aldığı mekanik enerjiden dolayı tüp cidarındaki akış sıcak akıştır. Sıcak akış tüpün ucunda bulunan konik bir valf ile havanın dışarı atılmasını sağlar. Tüp içinde kalan hava, dönen havanın oluşturmuş olduğu vorteksin iç kısmından daha küçük olan vortekse havanın giriş yaptığı tarafa doğru geri dönmeye ve jenaratörün merkezinde bulunan delikten soğuk akış olarak dışarıya atılır. Vorteks tüpü içerideki havanın “katı cisim dönüşü” hareketi yaptığı kabul edilir. Bir diğer deyişle, iç tarafta bulunan hava katmanının dış tarafta bulunanla aynı dönme oranına yani aynı açısız hıza sahiptir. Çoğunlukla katı cisim dönüş hareketi, vorteks tüpü içerisinde ayrılan iç ve dış hava akımları arasındaki sürtünmeden kaynaklanmaktadır. Açıklamak gerekirse, merkezkaç kuvvetinden dolayı, dış tarafta kalan hava akımı içeride kalan havadan daha fazla basınca maruz olur. İç ve dış hava akımları aynı yönde ve açısız

hızda dönmekteyken, içerde kalan akım açısal momentum değerini kaybetmektedir. Açısal momentumdaki azalma, dış hava akımına kinetik enerji transferine neden olur. Böylece besleme havası sıcak ve soğuk hava akımlarına ayrılmış olur. Bu nedenle dış yüzeyde kalan hava akımının sıcaklığı içeride kalandan daha yüksektir. Akış özelliklerine göre paralel ve karşıt akışlı, tasarım özelliklerine göre adyabatik ve adyabatik olmayan vorteks tüpleri mevcuttur. Bu çalışmada karşıt akışlı 4 farklı vorteks tüpü imalatı yapılarak her tüpte meydana gelen soğuk-sıcak akış değişimleri incelenecektir.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Vorteks tüpleri Fizik bilim adamı olan Ranque tarafından icat edilmiştir [1, 2]. 1932 yılında Fransız patenti ve 1934 yılında Amerikan patentini almıştır. Vorteks tüpleri uzun yıllar mühendislerin dikkatini çok çekmediği için kullanılmamıştır. Bu tüpe olan ilgi, vorteks tüplerinin verimliliğini arttıracak birçok çalışma yaparak vorteks tüplerine katkı sağlayan Hilsch adında Alman bir mühendis sayesinde yenilenmiştir. Birçok araştırmacı basınçlı hava kullanılan fabrikalarda vorteks tüplerinin kullanımını tavsiye etmiştir. Vorteks tüplerinden en düşük maliyette ve en iyi performansı elde etmek için birçok çalışma yapılmıştır. Bunlarda genellikle vorteks tüpünün şekli, üretildiği malzeme, akışkan giriş kanal sayısının etkisi, tüp çapı ve tüp uzunluğu gibi geometrik parametreler ve soğuk-sıcak ayrımı oranları incelenmiştir. Özellikle hava basıncının ve geometrik parametrelerin vorteks tüpünün performansına olan bağlantısı konusunda çok çalışma yürütmüştür [3]. Hilsch'ten sonra da Scheper tarafından deneyler düzenlenmiştir. Scheper [4] tüp içindeki hız ve basınç değişiminin yanı sıra toplam sıcaklığı da incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda tüp içerisindeki sıcaklığın çıkış çapına doğru azaldığını gözlemlemiştir. Martynoviski ve Alekseev [5] vorteks tüplerinin birçok geometrik parametrelerini inceleyen deneyler yapmıştır. Brown ve Scheller [6] ve vorteks tüpü içindeki basınç ve sıcaklığı ele alarak Scheper'ın dediği gibi sıcaklığın çıkış çapına doğru azaldığını göstermiştir. Blatt ve Trusch [7] vorteks tüplerinin performansıyla ilgili deneyler yapmıştır. Tüpün kısa tarafına konik valf yerine radyal difüzör eklemenin daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Giriş ve çıkış sıcaklık farkını arttırmak için tüpün geometrik yapısıyla ilgili yapılan çalışmalarda, tüpün uzunluğu ve giriş şekli gibi etkenler değiştirilmiştir. Linderstorm-Lang tüpün şeklinde farklı gazlar kullanılmasının, sıcak ve soğuk hava ayırımına nasıl etki edeceğini ele almıştır. Bu araştırmalarda gazların ayrımı olayının sıcak ve soğuk hava oranlarıyla ilgili olduğunu göstermiştir. Takahama'nın [8] ters akışlı vorteks tüpleri konusundaki araştırmaları daha verimli ve iyi enerji ayrımlı tüplerin

tasarlanmasına yardımcı olmuştur. Takahama ve Soga Takahama'nın [9] daha önce kullandığı tüpleri kullanarak enerji ayrımı prosesi ve tüp içindeki hava akışı oranının tüp içindeki sıcaklık ve hızı nasıl etkilediğini incelemiştir. Vennos [10] tüp içindeki hızı, sıcaklığı, ve toplam basıncı ölçmüş ve tüp içerisinde radyal hızın varlığını belirtmiştir. Nash [11] kendi kullandığı vorteks tüpünün geometrik ölçümlerinin özetini sunmuştur. Marshall [12] farklı gaz karışımlarını farklı boyutlardaki tüplerde denemiştir ve Linderstorm-Lang'in [13] sonuçlarına karşılaştırmış ve ayrımın maksimum değerlerini elde ettiği kritik Reynolds sayılarını belirlemiştir. Yokosawa ve Takahama [14] ana tüpün uzunluğunu kısaltmayı denemiştir. Perulekar, Otten, Raiskii ve Tunkel [15,16,17] vorteks odası içerisinde genişletilebilir tüpler kullanarak ve çıkışlardaki maksimum ve minimum sıcaklıklara odaklanarak vorteks tüpünün verimliliğini ve enerji ayrımındaki performansı arttırmıştır. Schlenz [18] tek yönlü vorteks tüplerinde LDA kullanarak hız ölçümleri ile deneyler yapmıştır. Kısa boylu vorteks tüplerinde ters akış hakkında da bir çok çalışma vardır. Amitani ve diğerleri [19] $L/D=6$ oranlarındaki kısa tüplerin uzunlarla aynı verimliliğe sahip olduğunu kanıtlamıştır. Lin ve diğerleri [20] vorteks tüpü içindeki sıcaklık hareketini incelemiştir. Ahlborn ve diğerleri [21] termal ayrım limitlerinin hesaplanması için prototiplerin oluşturulması amacıyla vorteks tüplerinde bir çok deney yapmıştır.

Vorteks tüpündeki akımın sıcak ve soğuk olarak ayrılma olayını etkileyen parametreler genellikle iki bölüme ayrılır biri geometrik parametreler; yani tüpün geometrik yapısı ve temel boyutlarıyla ilgilidir. Bu parametreler; tüpün uzunluğu (L/D), soğuk kısmın giriş çapı, giriş kısmın sayısı ve kontrol vanasının açısını içermektedir. Diğer termofizik parametreler: İşletim sisteminin fiziki ve termodinamik özellikleriyle ilgilidir. Bu parametreler; giren havanın basınç ve derecesini (T ve P), giren havanın içerdiği nem derecesini, kullanılan gazın türünü içermektedir.

Baki ve Aydın [22] Ana tüpünün çap ve uzunluğunun performansa etkileri göz önüne alınarak, tüp için çeşitli ölçüler denenip test edilmiştir. $L=350\text{mm}$ değerinde için en yüksek sıcaklık farkı bulunmuştur. Buna bağlı olarak da ($\frac{L}{D} \approx 20$ tüpün iç çapı için $D = 18\text{ mm}$) sonucuna ulaşılmaktadır. Saidi ve Valipour [23]; Belirli bir basınç

ve CMF değerinde ,soğuk ve giriş hava sıcaklık farkının, soğuk kısmın giriş çapı d_c ile değişimini anlayabilmek için, değişik çaplarda d_c delikler tasarlanıp test edilmiştir. soğuk hava çapı oranının (*giren havanın çapı / soğuk hava çapı = d_c^**) soğuk hava ile değişimini dikkate almıştır. $d_c^* < 0.5$ değerlerinde soğuk hava sıcaklık farkının artmasına neden olduğu fark edilmekte, $d_c^* > 0.5$ değerlerinde ise soğuk hava sıcaklık farkının düştüğü farkedilmiştir.

Muller ve Nimbalker [24] tütün soğuk tarafından çıkan debinin sıkıştırılmasında tüp giriş bölümünün oynadığı rolü bir araştırmada ayrıntılı bir şekilde incelemişlerdir. Bu araştırmanın amacı ise, enerji debinin ayırımının koşullarını, azami sıcaklık ve parametrelerin özel bir alanında tespit etmektir. Ayrıca soğuk kısımdaki delik çapının vorteks tütünün toplam enerjisinin ayrılması üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Giriş çapları değişik olan birkaç jeneratör kullanılmış olup, model No 3299 Exair şirketinin ürettiği vorteks tüpü üzerinde deneme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Giriş basıncı 690 kpa'da azami hacimsel akım $5kg/min$ 'dir. Hacimsel debinin çeşitli değerleri alınarak deneyler yapılmıştır.

Deneyleerde kullanılan vorteks tütünün iç çapı $D = 1.905\text{ cm}$ ve uzunluğu ise $L = 25.4\text{ cm}$, tüp paslanmaz çelikten yapılmış olup stabil bir durumu elde ederek sıcaklıktan oluşabilecek hatalardan kaçınmak amacıyla dışarıdaki ortamdan termik olarak izole edilmiştir. (%60 üzerinde olan CMF'deki yüksek değerler) dışında sıcak bölümdeki enerjinin ayrılması ile elde edilen verimler hemen hemen doğrusal bir şekilde değişmektedir. Stephan ve diğerleri [25] Ancak tam tersi CMF'de enerji ayrılması verimlerinin %60 ın altında sabit kalmasına ya da yavaşça azalmasına neden olur. Hacimsel debinin ortalamalarının vorteks tüpü davranışı üzerindeki etkisin göz önüne alarak hacimsel debinin ayrılmasının verimi olarak bir tanım karşımıza çıkmaktadır, bu da enerjinin soğuk veya sıcak bölüme ayrılma akım oranının, basıncın izotropi işleyişine bölerek hesaplanır. Sonuçlar şunu belirtmekte ki, %60 ın altındaki CMF değeri enerji akımları hemen hemen doğrusal olarak değişmekte olup giriş bölümünün etkisi çok az olmaktadır. Ancak %60'a yakın olan bölgede ise giriş bölümünün etkisi belirgindir. İlk olarak, CMF'in artmasıyla enerji akımının

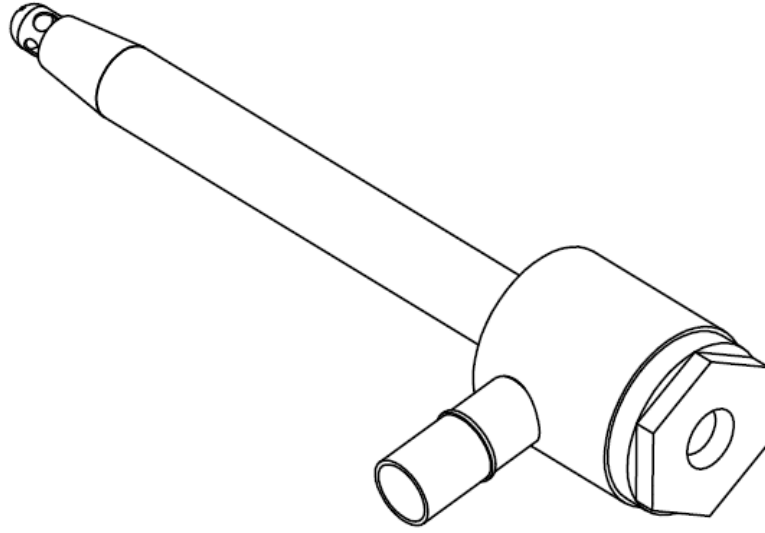
ayrılmasının verimi düşmektedir ve sabit bir CMF'de giriş bölümü çapının artmasıyla artar. Bundan şunu anlayabiliriz ki, vorteks tüpünü %60 üzerinde CMF değerinde çalıştırdığımızda, daha büyük bir giriş çapı seçmek, daha iyi bir enerji akımı verimi verecektir.

Saidi ve Valipour [23]'e göre basınçlı akışkan giriş bölümünün etkisini araştırmak için sabit kesitte ve 3-4 girişli iki farklı giriş bölümü tasarlanmıştır. Soğuk hava sıcaklığı, Vorteks verimi ve CMF oranındaki değişimler tespit edilmiştir. Giriş bölümlerindeki giriş sayısı arttığında, giren akımlarla birlikte ana tüpteki akım daha düzensiz hale gelmektedir. Bundan dolayı soğuk ve sıcak akım ana tüpte birleşir, bu da hem gücün düşümüne hem de CMF oranının düşmesine neden olduğunu ve sonuçta soğutma verimine göre, üç girişli giriş bölümü daha iyi performans sağladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca; Hamdan ve diğerleri [26] yapmış oldukları deneysel çalışmalarda nozül sayısının, jeneratörün nozül giriş açısının ve vorteks durdurucu lokasyonunun enerji ayrıştırma performansı üzerindeki incelemiştir. Yüksek basınç değerlerinde daha yüksek sıcaklıklar elde edildiğini, 4 nozullu vorteks jeneratör kullanıldığında ve vorteks durdurucuyu sıcak tüpün başlangıcından 6 cm uzağa yerleştirildiğinde, CMF oranının maksimum olduğunu ifade etmişlerdir. Gord ve Sadi [27], farklı soğuk çıkış delik açıları ve çapları ile deneylerinde altı farklı vorteks üreticisi kullanılmış ve soğuk akım çıkış delik açısının değiştirilmesinin tüpün içinde hareket eden akışı etkilediğini, akışın etkilenmesinin sonucu olarak tüpün termal verimliliğinin değiştiğini ifade etmişlerdir. Deneyler sırasında elde edilen çalışmalar sonucunda 4,1 çıkış delik açısında ve 6,4 mm çıkış delik çapında, CMF= 0,6 oranı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, vorteks jeneratör geometrisi ve nozul sayısının VT verimini etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğu ifade edilmiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde vorteks üretici konusundaki çalışmaların olduğu ve tüp sonuna doğru bir türbülans durdurucu konulmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada kullanılacak tasarımlarda tüp sonuna bir türbülans engelleyici/stoper veya akış doğrultucu konulması ve farklı büyüklüklerde vorteks tüpler kullanılması planlanmıştır.

BÖLÜM 3. VORTEKS TÜPÜ

Vorteks tüpü enerjide ayrışmaya sebep olan basit bir alettir. Vorteks tüpü; giriş, vorteks odası, sıcak kısım için bir vana, soğuk kısım için bir vana ve içinde hareketli bir parça olmayan bir tüpten oluşmaktadır. Vorteks Tüpünü çalıştırdığımızda sıkıştırılmış gaz girişte genişleyecektir, daha sonra vorteks tüpüne hızlı ve girdaba benzeyen bir şekilde girecektir. Giren gaz, düşük basınç altında iki akıma ayrılır (soğuk-sıcak).



Şekil 3.1. Vörtex tüpü üç boyut görüntüsüdür

3.1. Vorteks Olayının Tanımı

Vorteks tüpü, hareketli parçalara ihtiyaç olmadan soğutma aleti gibi çalışan mekanik bir alettir. Çalışma sistemi ise sıkıştırılmış gazı sıcaklık derecesi düşük ve yüksek olan bölgelere ayırmaktır. Bu cereyandaki ayrışmaya, sıcaklık derecesinin ya da enerjinin ayrışımı denir.

Vorteks t p n n sanayi alanında kullanımı yaygın olmamasına rağmen sıcak ve soğuk gazların üretiminde önemli bir yer taşımaktadır. Çalışma sistemini anlamak için birçok hipotez ortaya koymuşlardır ancak bu hipotezler iyi bir şekilde desteklenmemiştir. Gelişme aşamasında olan yeni tüpler vardır bundan dolayı herkes tarafından benimsenen bir hipotezin ortaya konması gerekmektedir. Bu hipotezlerden en önemlileri, D YOK  niversitesinden mezun olan ABDli VOLTUN ve JENERAL ELEKTRİK şirketinin şİPER hipotezidir. Voltun hipotezi, olayı şu şekilde anlatmaktadır: Hava, hiçbir iç yapmadan yüksek basınçtan düşük basın ca genişlediği zaman basit bir soğuma olur (JOUL İZİ, TOMSON), ancak genişleyen havaya iç yapma izni verdiği zaman çok büyük miktarda enerji kaybettiği için soğutma miktarı da büyük olacaktır, bu da gerçekleşmektedir.

3.2.Vorteks Tüpünü Belirleyen Parametreler

Bu bölümde vorteks tüpüyle ilgi araştırmalarda sıklıca kullanılan bazı kavramlar ele alınmaktadır:

3.2.1.Soğuk akım, Cold mass fraction (CMF)

Vorteks tüpü içerisinde enerjinin veya sıcaklığın ayrışımını ve pozisyonunu belirleyen en önemli parametredir. Soğuk akım, soğuk havanın giren havaya hacimsel akımı oranı olarak belirlenir. Vorteks t p n n sonunda sıcak havanın geçtiği konik vanayı kullanarak soğuk akımı yönetebiliriz. Ve şöyle ifade edebiliriz:

$$CMF = \frac{M_c}{M_i} \quad (3.1)$$

M_c çıkan soğuk havanın hacimsel akımı, M_i giren havanın hacimsel akımı.

3.2.2.Soğuk havanın sıcaklığının düşmesi

Soğuk havanın sıcaklığının düşmesi veya sıcaklık derecesinin düşmesi, soğuk hava ile giren hava arasındaki fark olarak belirlenir.

$$\Delta T = T_i - T_c \quad (3.2)$$

T_i giren havanın sıcaklığı, T_c soğuk havanın sıcaklığı.

3.2.3. Soğuk kısmın girişinin çapı

Soğuk kısmın çapının oranı β ; Soğuk kısım girişinin çapının d , vorteks tüpünün çapına D_h oranı olarak belirlenir.

$$\beta = \frac{d}{D_h} \quad (3.3)$$

3.2.4. İzentropik verim

Vorteks tüpünün soğutma verimini hesaplamak için, ideal gazın adyabatik genleşme prensibini kullanabiliriz. Genleşme, vorteks tüpünde izentropik bir işlemle gerçekleşir ve şöyle yazılır:

$$\eta_{is} = \frac{T_i - T_c}{T_i \left(1 - \left(\frac{P_a}{P_i}\right)^{\gamma - \frac{1}{\gamma}}\right)} \quad (3.4)$$

η_{is} , P_i , P_a, γ sırasıyla; izentropik verim, giriş basıncı, hava basıncı ve özgül ısı oranıdır.

3.2.5. Etkinlik katsayısı

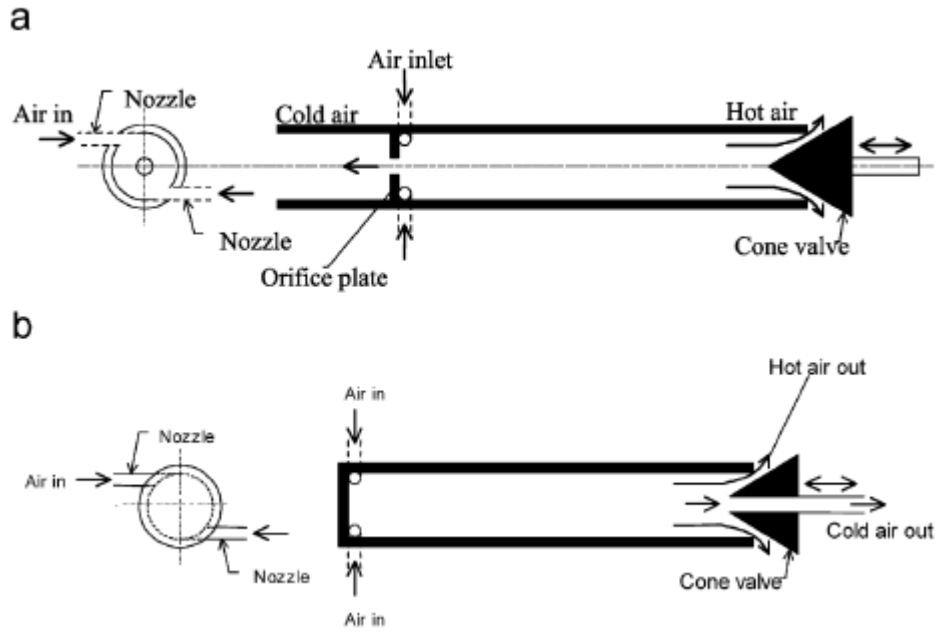
Etkinlik katsayısı (COP), soğutma oranının kullanılan enerjiye bölünmesi olarak belirlenir. Bu katsayıyı bulabilmek için ideal gazın izentropik genleşme prensibi kullanılır ve denklem şu şekilde olur:

$$COP = \frac{CMF \cdot C_p (T_i - T_c)}{(\gamma/\gamma - 1) RT_i \left[\left(\frac{P_i}{P_a} \right)^{\gamma-1/\gamma} - 1 \right]} \quad COP = \frac{Q_c}{W} \quad (3.5)$$

Q_c Vorteks tüpüne giren hava biriminin soğutma oranı, W her giren hava birimini soğutmada kullanılan mekanik güç. P_i , P_a , γ giriş basıncı, hava basıncı ve özgül ısı oranıdır.

3.3.Vorteks Tüpünün Sınıflandırılması

Genellikle vorteks tüpünü iki türe ayrılmaktadır. Birincisi akımı iki yönlü olan, ikincisi ise akımı tek yönlü olan türdür. Şekil 3.2.'de iki türde gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Vorteks tüpünün sınıflandırılması İki yönlü vorteks tüpü (a), tek yönlü vorteks tüpü (b)

3.3.1. Akımı iki yönlü vorteks tüpü

Şekil 3.2a.'da gösterilen iki yönlü vorteks tüpü, nozullarla bağlantılı bir merkezi kanal, vorteks tüpü (veya sıcak tüp), konik vanayı içermektedir. Bir çeşit basınçlı gaz (mesela hava), vorteks tüpüne yüksek basınçla bir veya birden fazla giriş nozullarıyla teğetsel olarak girer ve vorteks tüpü içerisinde hızlıca dönerek genişler. Hava akışı, nozul

girişlerine yakın olan merkezi kanal boyunca akmak yerine tüp boyunca olur; bunun sebebi giriş çapının tüpün çapından daha küçük olmasıdır. Genelde tüpün uzunluğu tüpün çapının 30-50 katı kadardır. Bu aralıklar içinde belirli bir ideal değer yoktur. Tüpte hava genişlediğinde hava basıncı, atmosferik basınç civarında hızlı bir düşüş yapar ve hava hızı ses hızına kadar ulaşabilir.

Tüpten çıkan havanın miktarını, akımı kontrol eden konik biçimli bir vana ile değiştirebiliriz. Çıkan havanın miktarı toplam havanın miktarının 30% ile 70% idir. Kalan hava ise ters yönlü bir akım ile tüpün merkezinden dönüştürülür. Tüpte girdap oluştuğunda eksendeki hava soğur, çevredeki havanın sıcaklığı ise giren havanın sıcaklığıyla karşılaştırıldığında daha sıcaktır. Bu olay sıcaklığın ayrışımı (veya Rank Helsh) olarak da bilinir. Sonuç olarak girişten çıkan hava soğuktur, sıcak gaz ters bir şekilde dışarıya akın eder. Bu aletin özgünlüğü çalıştırılma mantığının basit olması ve hareketli parçasının bulunmamasıdır [28].

3.3.2. Tek yönlü vorteks tüpü

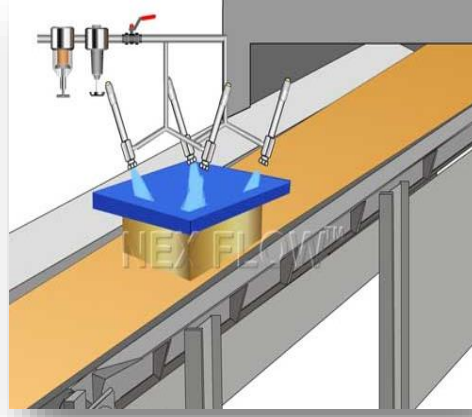
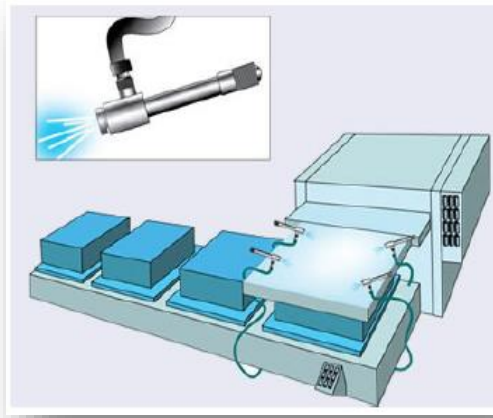
Şekil 3.2b.'de gösterilen tek yönlü vorteks tüpü, giriş nozullarını içeren giriş bloğu, bir vorteks tüpü ve merkezli giriş içeren konik vanadan oluşmaktadır. Giren hava tüp içerisinde dairesel akışla ilerler; ısınan sıcak hava dairesel şekilde valf kenarlarından çıkarken soğuk hava yoğun şekilde valf merkezinden çıkar. Tek yönlü vorteks tüpünün çalışması iki yönlü vorteks tüpünün çalışmasına benzemektedir. Çıkıştan çıkan soğuk ve sıcak havanın sıcaklık farkı 140 -160 °C arasında değişebilir. Camassar tarafından 230°C'ye kadar varan çok büyük sıcaklık farkı ölçülmüştür. Genellikle düşük sıcaklığın uygulama değeri -40°C dir ancak araştırma uygulamalarında -50°C gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklığın uygulama derecesi 190°C'dir ancak Bruno tarafından 255°C'yi aşan bir dereceye ulaşıldı. Vorteks tüpünün genel uygulamalarındaki temel faktörleri boyutunun küçük olması, güvenilirliği ve düşük maliyetli olmasıdır verimliliği bu faktörlere göre ikinci plandadır. Bazı standart uygulamalarına uçaklardaki sistemlerin soğutulmasını , maden ve uzay elbiselerini, malzeme soğutucularını ve endüstri çalışmalarındaki soğutmayı örnek verebiliriz.

3.4. Uygulamaları

Verimliliğinin düşük olması ve sadece bilimsel araştırmalarına mahsus olmamasına rağmen Vorteks tüpü birçok alanda kullanılmaktadır. Vorteks tüpü sıcaklığı düşük uygulamalarda ticari bir şekilde kullanılır örneğin, makinelerin parçalarının soğutulmasında, kaynak yapılırken soğutmada, elektronik ve elektrik kontrol depolarının soğutulmasında, gıdaların soğutulması ve sıcaklık cihazların test edilmesinde kullanılmaktadır. Diğer bilimsel uygulamalar ise, buhar enerjisinin hızlı üretiminde, doğal gazın sıvılaştırılmasında, gazların temizlenmesinde, patlayıcı maddeler içeren laboratuvarlarda malzemelerin soğutulmasında, DNA uygulamalarında, dalgıçların tüplerinin hava deposunun sıcaklığının kontrol edilmesinde, yüksek basınçlı odalarda, yanan gazlarda parçacıkların ayrılmasında, nükleer reaktörlerde, ambulans çalışanların elbiselerinin soğutulmasında ve birçok farklı alanlarda küçük boyutlu, güvenilirliği yüksek, düşük maliyetli işlerde ve verimliliğin çok yüksek olmasına gerek olmayan yerlerde kullanılmaktadır.

3.4.1. Vorteks tüpünün soğutucu hava pompası olarak kullanılması

Şekilde 3.3.'de gösterilen vorteks tüpü ürünlerin yüzeyinde bulunan çatlakların ve küçük deliklerin soğutulması ve ondan kurtulmak için soğutucu hava pompası olarak kullanılır, bu da şu şekilde olur; soğuk ışın çatlağın başına yüksek sıcaklı soğutucular vasıtasıyla çevrilir daha sonra belirli bir hız ile tüp kontrol edilir bu hız genelde yavaş olur, bu tüpün sayesinde aşağıda gösterilen şekildeki köşelere ve karmaşık bölgelere ulaşmak mümkün olur.



Şekil 3.3. Vorteks tüpünün soğutucu hava pompası olarak kullanılması

3.4.2. Ürünlerin temizliğinin korunması

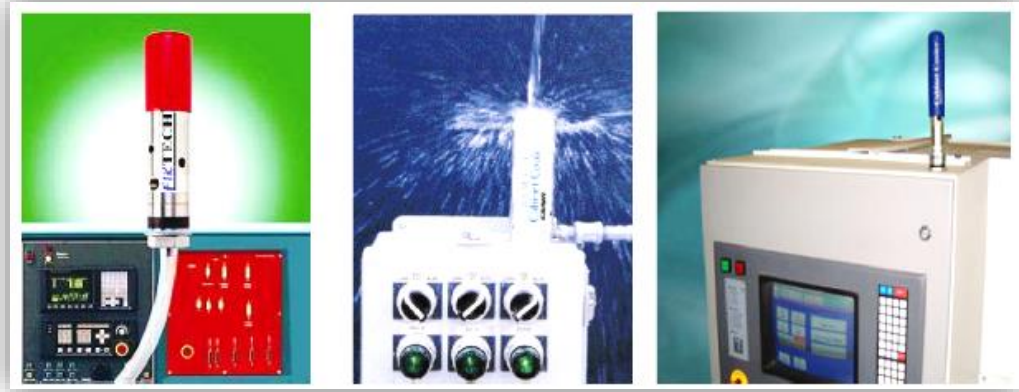
Şekil 3.4.'de gösterildiği gibi vorteks tüpünden çıkan soğuk hava akımı özel kanallar vasıtasıyla plastik ürünlerin dökülmesi işlemi yapılan kalıplara aktarılır. Bu işlemde temel amaç ürünlerde oluşabilecek plastik fiberglaslara engel olmaktır, bu şekilde soğutucu sıvılara ve üretimin çoğaltılmasına ihtiyaç olmadan ürünlerin korunması ve soğutulması mümkün olacaktır.



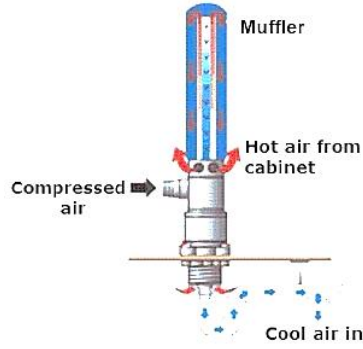
Şekil 3.4. Vorteks tüpünün ürünlerinin temizliğinin korunması

3.4.3. Elektrik kontrol levhalarının soğutulması

Fabrikalarda elektrik kontrol levhasının soğutulmasında kullanılır, elektrik devrelerinin sıcaklığı yükselir bu da genelde tozların birikmesi nedeniyle olup kontrol etme sisteminde problemlere yol açar, bu gibi durumda vorteks tüpü tozdan kurtulmak ve aynı anda soğutmak için kullanılır. Şekil 3.5.'de kontrol levhasında tüpün yerleşim yerini göstermektedir. Vorteks tüpü bu görev için kullanıldığında çıkan gürültüyü azaltmak için vorteks tüpüne Şekil 3.6.'da gösterildiği gibi susturucu sistemi eklenir.



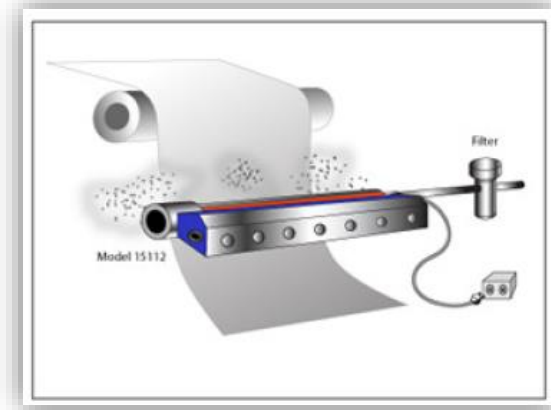
Şekil 3.5. Vortex tüpü elektrik kontrol levhalarının soğutulmasında kullanılmak



Şekil 3.6. Vörtex tüpünün gürültüyü azaltıyıcı

3.4.4. Gıda fabrikalarında

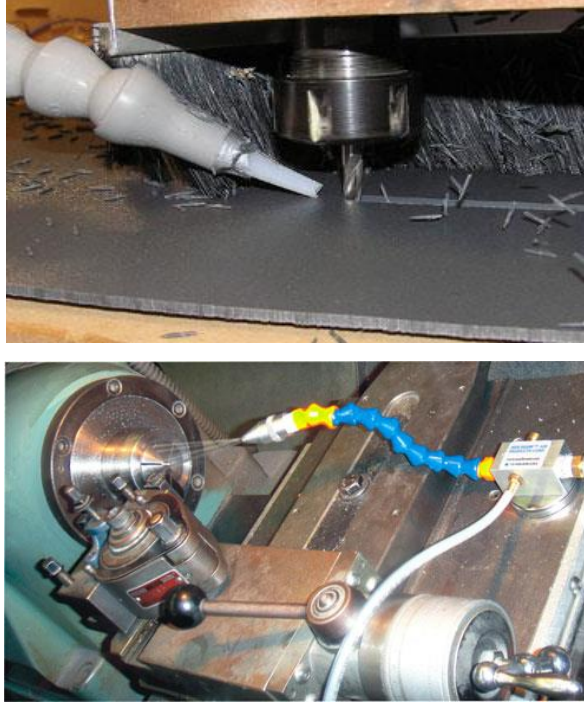
Peynir fabrikalarında paketleme bölümünde sıcak nedeniyle toz parçacıkları plastik ambalajına yapışabilir, ve çevredeki hava durumu nedeniyle ambalaja yapışan tozları kaldırmak zor olur, bu durumda yapışan tozları kaldırmak için bir üfleme gücünün bulunması gerekir. Vorteks tüpünün bir türünü kullanarak tozların çekilmesini engellemek ve ambalajdaki yapışan tozları kaldırmak mümkündür, ayrıca bu bize ürününün temiz kalmasında da yardımcı olacaktır Şekil 3.7.'de.



Şekil 3.7. Vörtex Tüpü gıda fabrikalarında kullanmak

3.4.5. Makineleri çalıştırma işlemlerinde

Maden, plastik, lastik, seramik veya çeşitli maddeleri işlerken vorteks tüpünü kullanabiliriz, bu sayede etkili bir soğutma sağlar ve aynı zamanda parçaların ömrünün uzaması ve gıda oranlarının yüksek olmasını sağlar. Ayrıca cilalamak ve kesmede kullanılabilir, bu amaçla kullanılan soğuk hava tabancası Şekil 3.8.'de gösterilmektedir. Şekil 3.8.'de vorteks tüpünü freze işleminde uygulaması gösterilmektedir. Sıcaklık derecesi yükseldiği durumda bozulma noktasına ulaşabilir, onun için delme işleminin olduğu yeri soğutmak ve delme işleminden kaynaklanan çapakları temizlemek için vorteks tüpü kullanılmaktadır. Ayrıca Şekil 14.2'de gösterildiği gibi taşlama işleminde de kullanılabilir; bu işlem sırasında yüzeylere kaliteli bir sonuç verir ve taşlama taşının yüzeyde hızlı hareket etmesini mümkün kılar. Sürtüşme sebebiyle yükselen sıcaklığını azaltmak için ve aynı zamanda iyi bir yüzey sonuçlarını elde etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 3.8. Vörtex tüpü makineleri çalıştırma işlemlerinde

3.5.Vorteks tpnn olumlu ve olumsuz yönleri

3.5.1. Vorteks tpnn olumlu yönleri

Yapay soğutma işlemlerinde kullanılan çeşitli soğutma yöntemleriyle karılatırılırsa vorteks tüpü, soğutmada diğer klasik yöntemlerden çok daha fazla avantajlıdır. Bunlardan birkaçını şöyle sıralanabilir:

- 1) Tasarımın basitliği (Herhangi bir hareketli parça kullanılmamaktadır).
- 2) Elektriksel veya kimyasal maddeler kullanılmamaktadır.
- 3) Küçük boyutlu ve hafif ağırlıklıdır.
- 4) Maliyetleri düşüktür.
- 5) Sıcak ve soğuk hava üretimi hızlıdır.
- 6) Dayanıklısıdır çünkü çoğu zaman paslanmayı engelleyen demirden üretilir.
- 7) Hava sıcaklığı ve tüpten dışarıya çıkan hava ayarlanabilir.

3.5.2. Vorteks tpnn olumsuz yanları

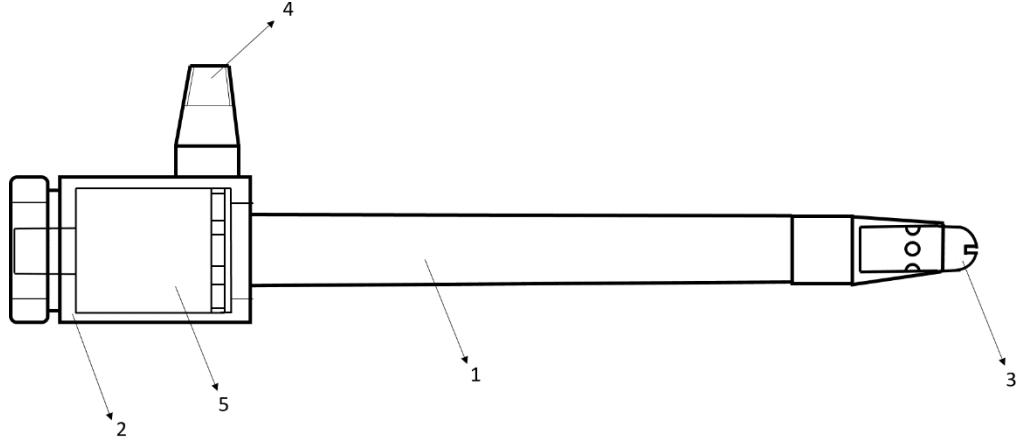
Yukarıda söylediğimiz olumlu yanlarına rağmen soğutma işlemlerinde kullanımını azaltan birkaç olumsuzluk da bulunmaktadır. Bunlar da şöyle sıralanabilir:

- 1) Vorteks tplerinin verimi azdır.
- 2) alıtırıldığında tüpten hava çıkması esnasında ayrıca gürültü de oluşur.
- 3) Sadece basınçlı hava bulunan yerlerde kullanılır bu yüzden ekonomik değildir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deney Modelleri

Vorteks tüpünün giriş bölümünden basınçla hava girer, girdiğinden sonra ve sıcak tüpte cereyanı esnasında ise esneyip Şekil 4.1.'de ve Şekil 4.2.'de belirtildiği üzere iki akıntıya – soğuk ve sıcak- ayrılır.



Şekil 4.1. Ana tüp .1) sıcak kanal. 2) soğuk kanal. 3) kontrol valfi. 4) Basınç hava girişi. 5) Generetör.



Şekil 4.2. Sıcak kanal, soğuk kanal, ve basınç hava girişi



Şekil 4.3. Soğuk kanal kapağı

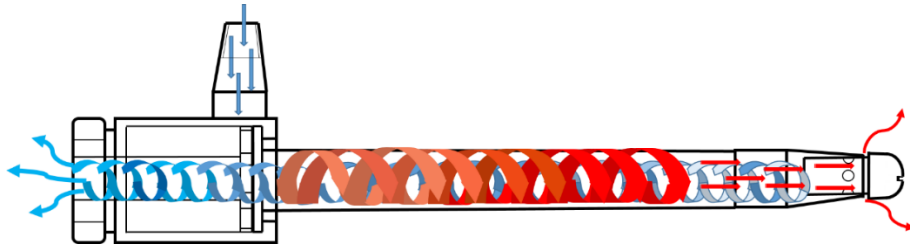


Şekil 4.4. Vorteks Tüpü generetörü

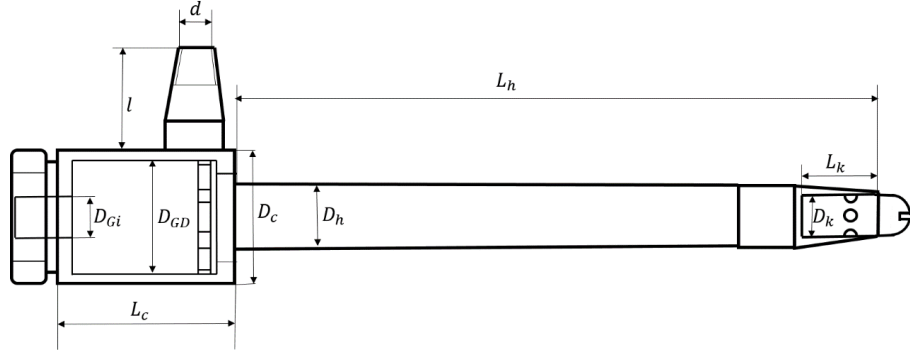


Şekil 4.5. Kontrol valfi

Sıcak hava tüpün etrafında dolaşıp hareketlilik gösterdikten sonra halka şeklinde çıkışı gerçekleşir, soğuk hava ise merkezde kalır ve sıcak hava ile gider, diğer bölümden geri dönüp merkezi bir şekilde soğuk hava giriş bölümünden çıkar.

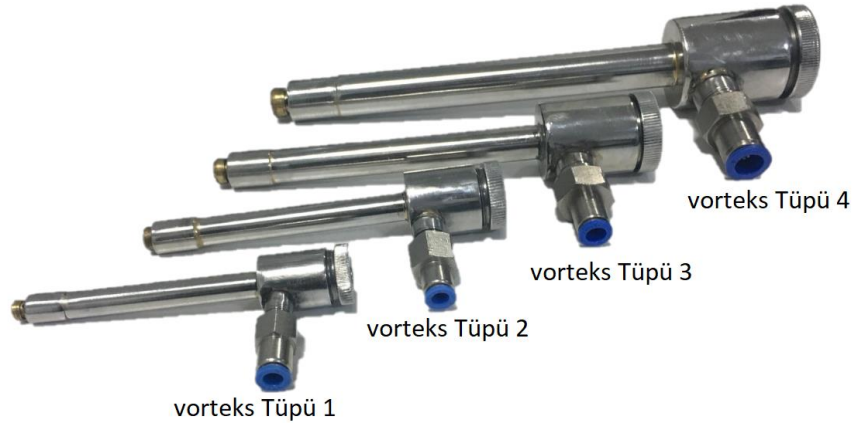


Şekil 4.6. Sıcak ve soğuk hava akımları arasındaki termal ayrım gösterimi.



Şekil 4.7. Vorteks tüpün geometrik parametrelerinin sembolleriyle

Şekil 4.7.'de vorteks tüpünde geometrik parametrelerinin sembollerin bulunmaktadır. Bu parametrelere dayanarak, dört farklı vorteks tüpü, Tablo 4.1.'de gösterildiği gibi belirli ölçümlerle tasarlanmış ve üretilmiştir.



Şekil 4.8. Yapılan Vorteks Tüpleri

Tablo 4.1. Vorteks Tüplerin ölçüleri

Vorteks Tüpü Numarası	Vorteks Tüpü 1	Vorteks Tüpü 2	Vorteks Tüpü 3	Vorteks Tüpü 4
Sıcak Kanal çapı D_h [mm]	8	9.7	14	19.3
Sıcak kanal uzunluğu L_h [mm]	76.2	92.4	133.4	183.8
Soğuk kanal çapı D_c [mm]	12	14.7	18.5	23
Soğuk kanal uzunluğu L_c [mm]	17	20.7	25	31.5
Generatör dış çapı D_{GD} [mm]	15.2	19	24	34
Generatör iç çapı D_{Gi} [mm]	5	7	9	11
Hava giriş çapı d [mm]	6	8	9	11
Hava giriş uzunluğu l [mm]	4	6	7.5	9
Könlröl vana çapı D_K [mm]	12	15	18.5	24
Könlröl vana uzunluğu L_k [mm]	17.6	22	26.5	35
L_h/D_h	9,5	9,5	9,5	9,5
d/D_h	0,75	0,82	0,64	0,57

Şekil 4.4.'de dört tane farklı vörtex tüpü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAPK) destek alınarak Sanai bölgesinde yapılmıştır.

4.2. Deney Düzenegi

Deneyler sırasında kullanılan ekipman ve cihazlar aşağıdaki gösterilmiştir:

- 1) Hava kompresörü ve Tankı: laboratuvar dışına konulan bir kompresörden elde edilen basınçlı hava Şekil 4.9.'de gösterildiği gibi kapasitesi 1500 lt çalışma basıncı (işletme basıncı) 10 bar olan bir hava tankında depolanmaktadır.



Şekil 4.9. Basınç göstergeli basınçlı hava deposu

- 2) Regülatör: Şekil 4.10.'de gösterildiği gibi. Bu cihaz, hava basıncını kontrol etmek için kullanılır. Deney sırasında 5 bar sabit basınç olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.10. Manometre ayarlı regülatör.

- 3) Hava Debisi Ölçer: Bu cihaz basınçlandırılmış havanın debisini ölçmek için kullanılmaktadır. Bir küresel kısma valfi kullanarak geçen hava debisi belirlenebilir. Testo 6444 tarafından yapılan Şekil 4.11.'de gösterilen ve ölçüm aralığı $700 \text{ Nm}^3/h$ kadardır.



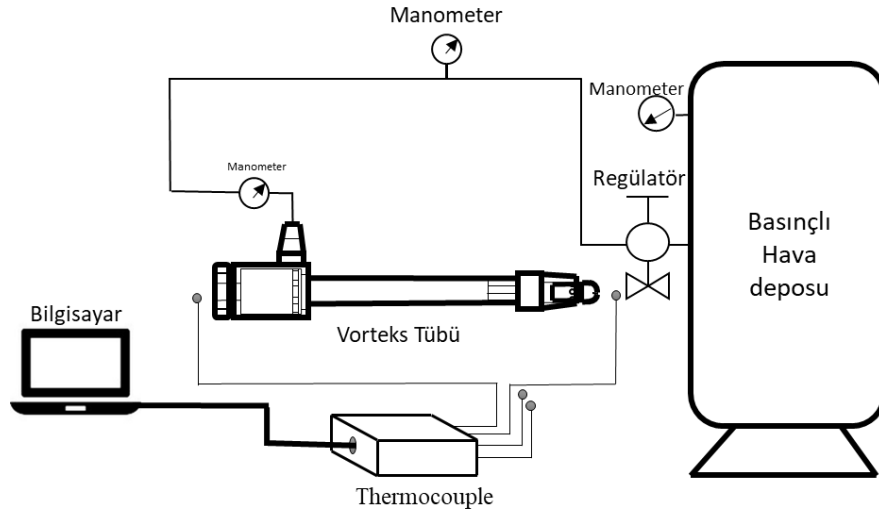
Şekil 4.11. Compressed Air Flowmeter

- 4) Veri Toplama Sistemi ve Termal çift: Veri toplama sistemine bağlanmış olan termal çiftler yardımıyla Vorteks tüpün soğuk ve sıcak akım tarafından çıkan havanın sıcaklığı saniyede 10 adet ölçülerek bilgisayara kaydedilmiştir. Şekil 4.12.'de gösterilen Veri toplama sistemi görülmektedir.



Şekil 4.12. Veri Toplama sistemine ait termal çift bağlantı ekipmanı

4.3. Deney Yapılışı



Şekil 4.13. Deneysel aparatın şematik gösterimi

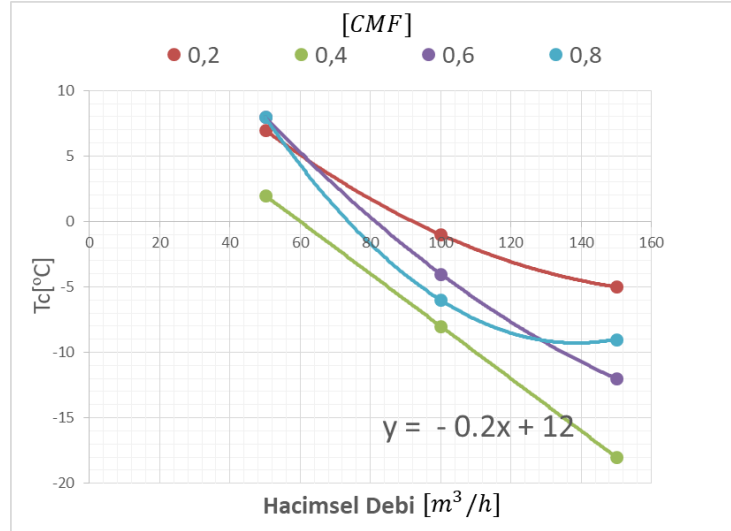
Şekil 4.13.'deki şemada gösterildiği gibi, deney düzeneği hava tankı, debi metre, veri toplama sistemi ve vorteks tüpten meydana gelmiştir. Deneye başlamadan önce vorteks tüpüne bir hortum yardımıyla bağlanır, sıcaklık ölçmek için vorteks tüpünün soğuk ve sıcak çıkış bölgelerine termalçiftler yerleştirilir. Kompresörde üretilen basınçlı hava tanka depolanır. Deney sistemine gönderilen hava basıncı regülatör yardımıyla 5 bar'a ayarlanır. Debi metre ve kısma valfi yardımıyla istenen debi değerinde 5 bar basıncında hava vorteks tüpe gönderilir. Vorteks tüp sıcak tarafında bulunan valf yardımıyla sıcak akım debisi ayarlanır. Deneyler sırasında her giriş debisi için 5 farklı (0,2-0,4-0,6-0,8,1,0) oranda sıcak akım debisi ayarlanarak Vorteks tüpünün CMF değiştirilerek ölçümler yapılmıştır. Soğuk ve sıcak taraftan çıkan havanın sıcaklığı anlık olarak ölçülmektedir. Sıcak ve soğuk hava sıcaklıkları maksimum değerlere ulaşıncaya kadar deneye devam edilir. Bu sırada sıcaklıklar sürekli olarak veri toplama sistemi yardımıyla kaydedilir.

4.4. Deney Sonuçları

4.4.1. Vorteks tüpü (1)

4.4.1.1. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debisinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklığının değişmesi

Şekil 3.14. deki grafikte görüldüğü gibi, 5 bar sabit basınçta ve 22°C sıcaklıkta giren hava, 50[m³/h] debisinde; CMF 0.2 oranında soğutma tarafındaki hava sıcaklığının 7°C ve CMF 0.4'te ise 2°C olduğu tespit edilmiştir. CMF 0.6 ve 0.8'de ise soğuk taraf sıcaklığının 8°C olduğu görülmüştür. Hava debisinin 100[m³/h] çıkarılması durumunda, CMF değeri 0.2 iken -1°C, CMF değeri 0.4 iken -8°C ve CMF oranı değeri 0.8 iken -6°C olduğu analımlmıştır. Bu değerlere göre; hava debisi arttıkça soğuk hava sıcaklığının düştüğü tespit edilmiştir. CMF oranının 0.4 için yapılan deneylerde soğuk hava sıcaklığı en düşük değere (-18 °C) ulaştığı tespit edilmiştir.

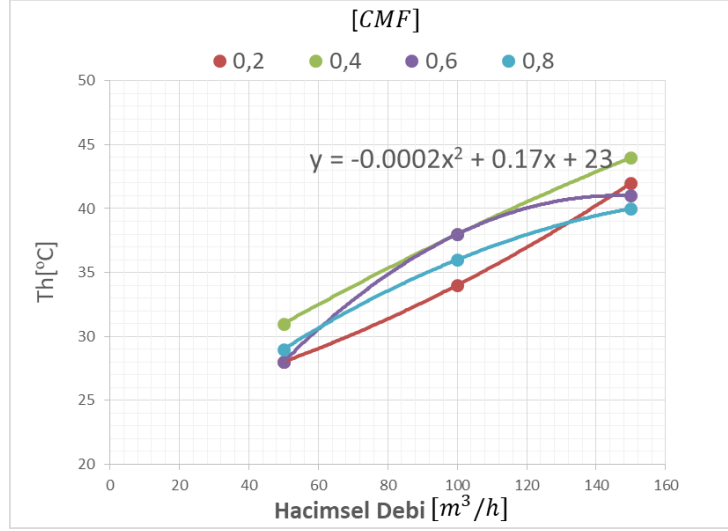


Şekil 4.14. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklığının değişmesi

4.4.1.2. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklığının değişmesi

Grafikte gösterildiği gibi Şekil 4.15. CMF'in çeşitli değerlerinde, havanın debisinin artmasıyla birlikte sıcak havanın sıcaklık derecesi de artarak, sıcak hava sıcaklığı basınçlı havanın 50[m³/h] debi için CMF 0.2, 0.4, 0.6 ve 0.8'de yapılan deneylerde,

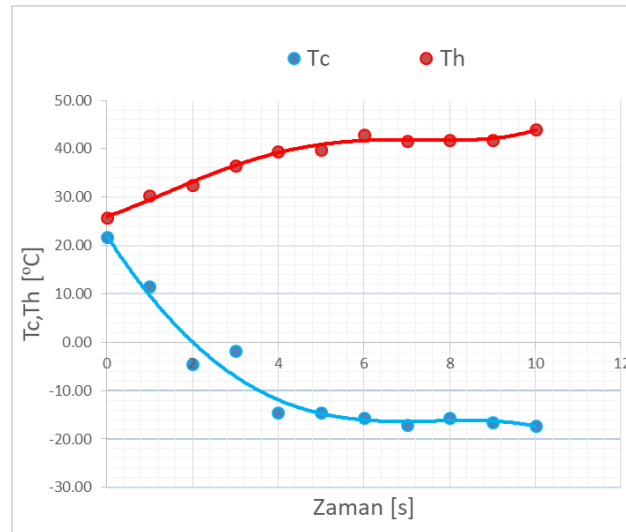
sırasıyla 28,31,28,29°C meydana geldiği görülmüştür. 100[m³/h] debide ise CMF'in çeşitli değerlerinde alanın 34-38°C arasında değişerek sıcaklık derecelerinde yüksek artışlar gözükmemektedir. En yüksek sıcak taraf sıcaklık değerinin 150[m³/h] hava debisinde ve CMF'in 0.4 olduğu oranda 44°C olarak meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklığının değişmesi

4.4.1.3. Vorteks tüpünde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi

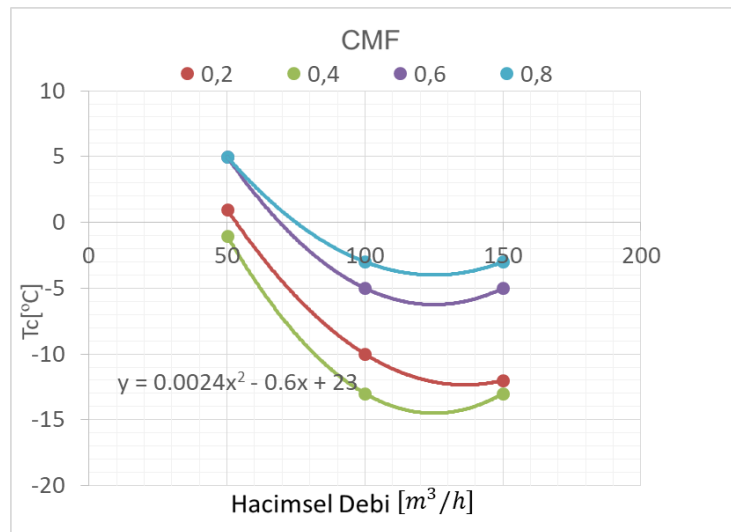
Soğuk ve sıcak akım sıcaklıklarının zamana göre değişimi için 5 bar basıncında ve 0,4 CMF değerinde elde edilen değerler Şekil 4.16.'da verilen grafikte görülmektedir. Soğuk çıkışındaki hava sıcaklığı 1,5 saniyede 22°C'den -1°C, 6. saniyede ise -15°C düştüğü görülmüştür. 6.sn den 10. saniyeye kadar sıcaklık -15-18°C değerleri arasında salınım yaptığı görülmüştür. Sıcak çıkışındaki hava sıcaklığına baktığımızda hava sıcaklığının ilk 6 sn'de 41°C'ye kadar yükseldiği, 6-10 sn ler arasında soğuk akıma benzer şekilde 41-45 aralığında salınım yaptığı görülmektedir.



Şekil 4.16. Birinci vorteks tüpünde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi

4.4.2. Vorteks tüpü (2)

4.4.2.1. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi

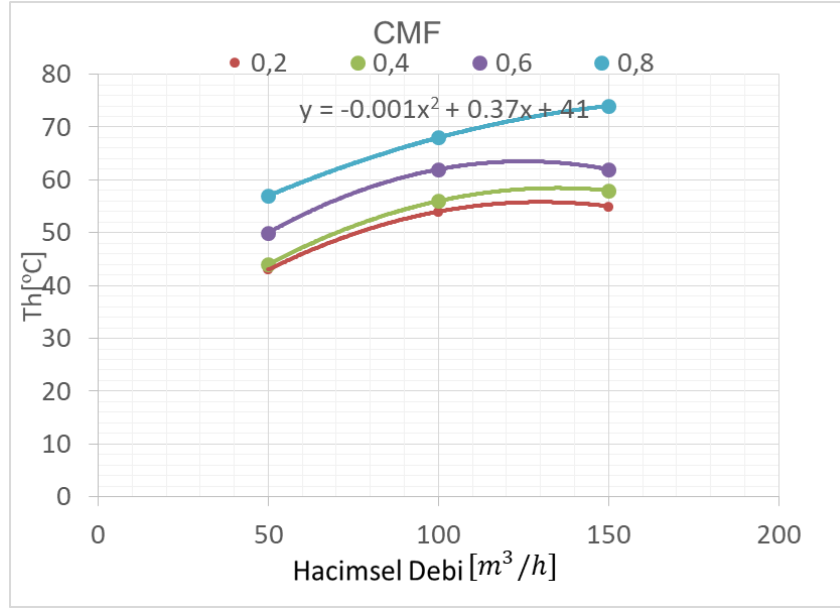


Şekil 4.17. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi

Şekil 4.17.'de verilen grafikte gösterildiği gibi CMF oranının artmasıyla vorteks tüpü soğuk akım tarafındaki sıcaklık değerinin düştüğü görülmüştür. CMF oranı 0,4 ve 50[m³/h] debisinde soğuk hava sıcaklığının -1°C olduğu görülmüştür. Aynı CMF oranında 100[m³/h] debisinde ise -13°C 'te düştüğü görülmektedir.

4.4.2.2.Vorteks t p n n CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesie etkisi

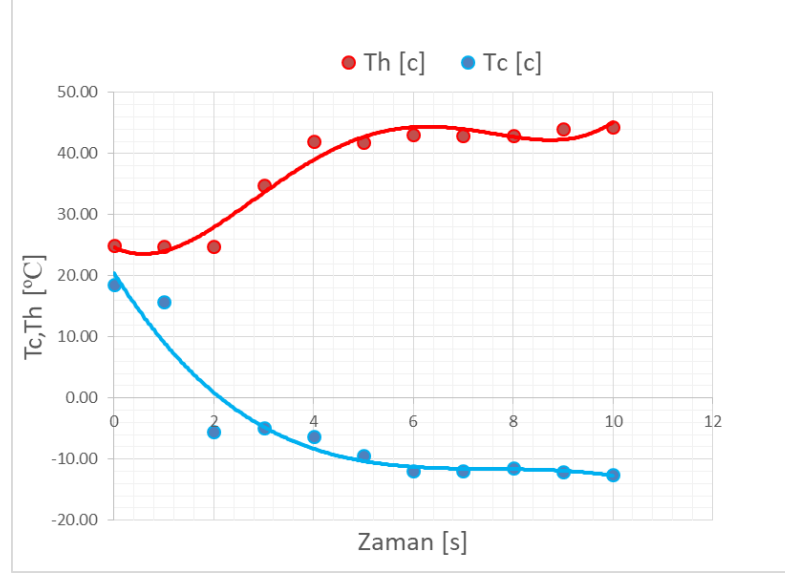
Grafikte gösterildiği gibi Şekil 4.18.'de Sıcak hava çıkışında, sıcaklık değerinin CMF oranının ve debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Bu vortek t p nde yapılan deneylerde özellikle CMF oranın 0,8 ve 150[m³/h] hava debisinde olduğunda sıcak akım sıcaklığının tüm deneylerin en yüksek sıcaklığı olan 74 C ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.18. Vorteks t p n n CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesie etkisi

4.4.2.3.Vorteks t p nde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi

Soğuk ve sıcak akım sıcaklıklarının zamana göre değişimi Şekil 4.19.'da verilen grafikte görülmektedir. Soğuk akım ve sıcak akım sıcaklıkları ilk altı saniyede hızla yükseldiği, daha sonrasında ise +- 2 derece salınım yaptığı görülmektedir. Bu vorteks tüpün için verilen değerlere bakıldığında; -12 ile +45 sıcaklıklara hızla ulaştığı tespit edilmiştir.

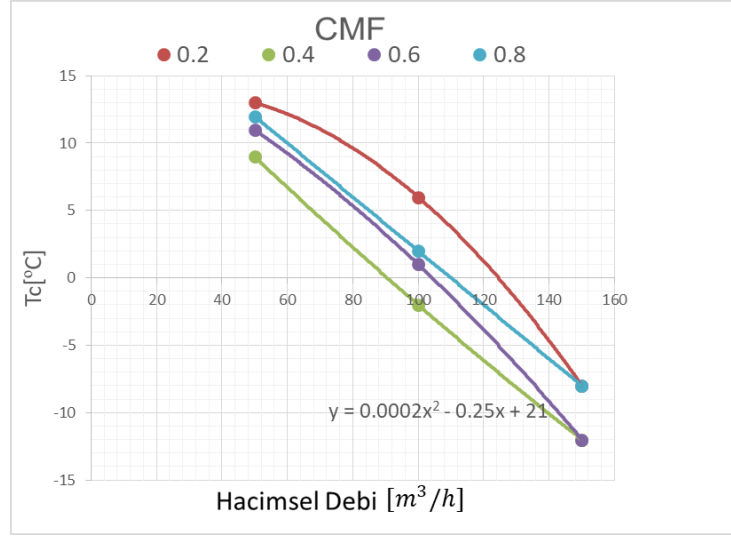


Şekil 4.19. İkinci vorteks tüpünde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi

4.4.3. Vorteks tüpü (3)

4.4.3.1. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi

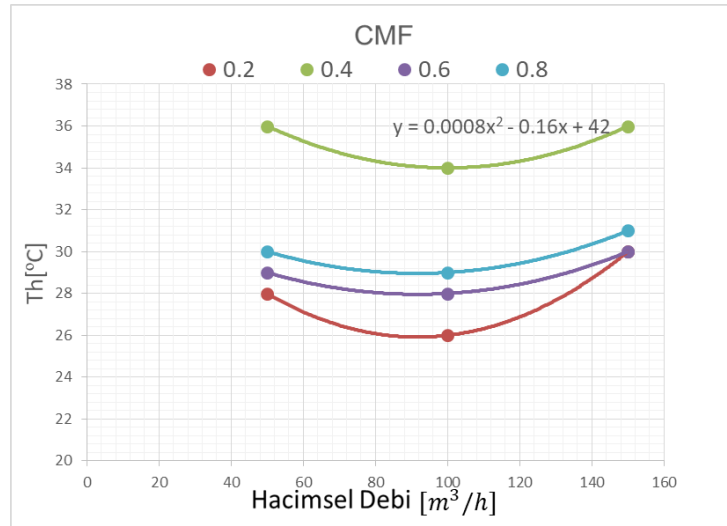
Şekil 4.20. deki grafikte görüldüğü gibi soğuk akım tarafındaki değişikliklerin diğer tüplere benzer nitelikte olduğu, CMF oranının arttırılması ve debinin arttırılmasıyla birlikte soğuk akım sıcaklığının düştüğü tespit edilmiştir. Aynı debide fakat farklı CMF oranlarının uygulandığı deneylerde soğuk akım sıcaklık değerlerinin yaklaşık 2 C lık bir fark oluşturduğu görülmektedir. Bu nedenle debi sabit kalsa dahi CMF oranını değişimi soğuk akım sıcaklığında düşüşünde etken olduğu görülmektedir.



Şekil 4.20. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi

4.4.3.2. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi

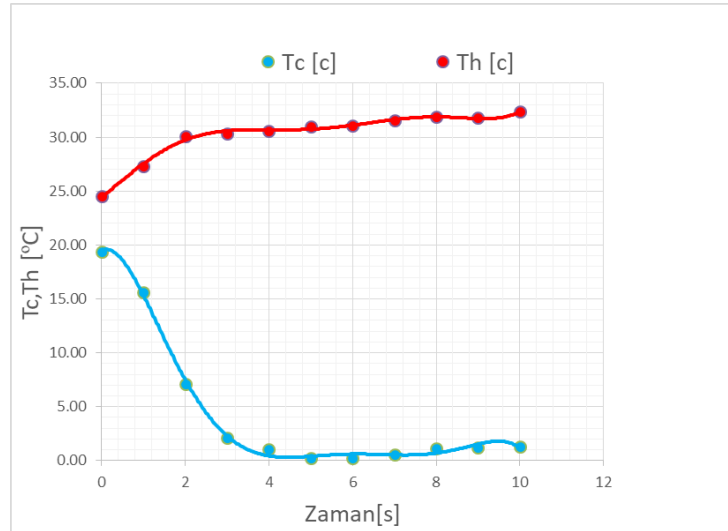
Grafikte gösterildiği gibi Şekil 4.21.'de 50[m³/h], 100[m³/h] ve 150[m³/h] debide farklı CMF 0.2, 0.4, 0.6 ve 0.8'de oranlarında deneyler yapılmıştır. Deneysel değerler incelendiğinde genel olarak 0,4 CMF oranının uygulandığı her debi değerinde maksimum sıcaklık değerlerinin elde edilmiş olduğu görülmektedir. Diğer CMF oranlarda ise hemen hemen aynı sıcaklık değerlerinin meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.21. Vorteks tüpünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi

4.4.3.3.Vorteks t p nde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi

Şekil 4.22. verilen grafikte sıcak ve soğuk akım değerlerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Grafikten sıcaklık düşüşünün yukarıda bahsedilen 1 ve 2. Vorteks tüplerinden daha kısa sürede sıcaklık düşüşü ve yükselmesi meydana geldiği g r lm ştir. Grafiğe bakıldığında 4. saniyeden itibaren sıcak ve soğuk akım sıcaklıklarının hızla düşmeye başladığı görülmektedir. Sıcak akım tarafından 4. Saniye ulaşılan sıcaklığın 32°C olduğu, soğuk akım tarafındaki sıcaklık düşüşünün ise 0°C kadar hızla düştüğü sonrasında hem sıcak hem de soğuk akım tarafında sıcaklığın ± 1 derece salınım yaptığı analışılmıştır.

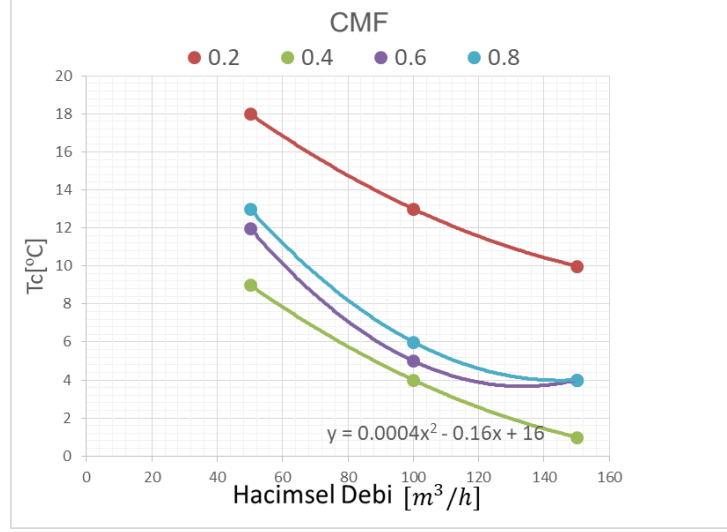


Şekil 4.22.  ç nc  vorteks t p nde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi

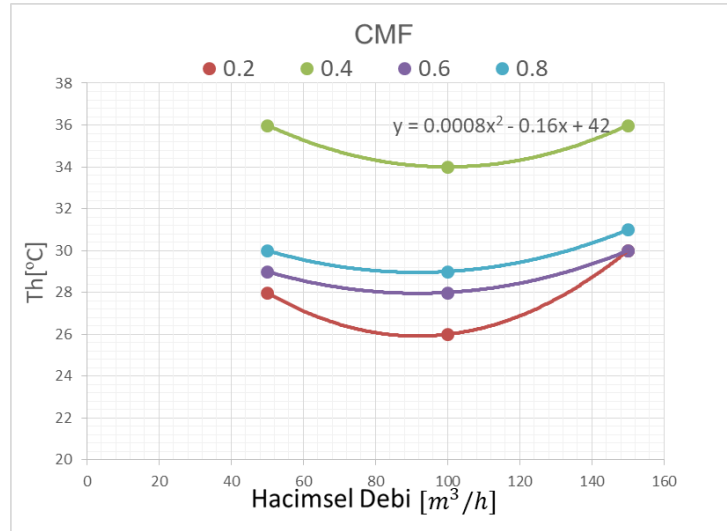
4.4.4. Vorteks tüpü (4)

4.4.4.1.Vorteks t p n n CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk ve sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesie etkisi

Şekil 4.23. ve Şekil 4.24.'de verilen grafiklerde gösterildiği gibi, 4.Vorteks t p nde sıcak akım ve soğuk akım maksimum performanslarının diğer tüplerde olduğu gibi CMF oranının 0,4 olduğunda, en düşük performansın ise CMF oranının 0.2 olduğunda gerekleřtiręi anlaşılmıştır. 4. Vorteks tüpteki sıcaklık değişimlerinin 3. Vortek t p nde meydana gelen sıcaklık değişimlerine benzer olduğu anlaşılmıştır.



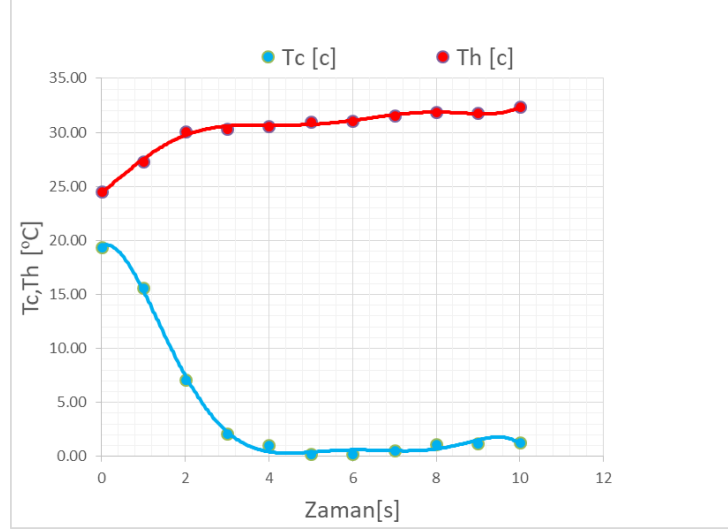
Şekil 4.23. Vorteks tütünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle soğuk hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi



Şekil 4.24. Vorteks tütünün CMF çeşitli değerlerinde basınçlı hava debinin değişmesiyle sıcak hava sıcaklık derecesinin değişmesi etkisi

4.4.4.2. Vorteks tütünde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi

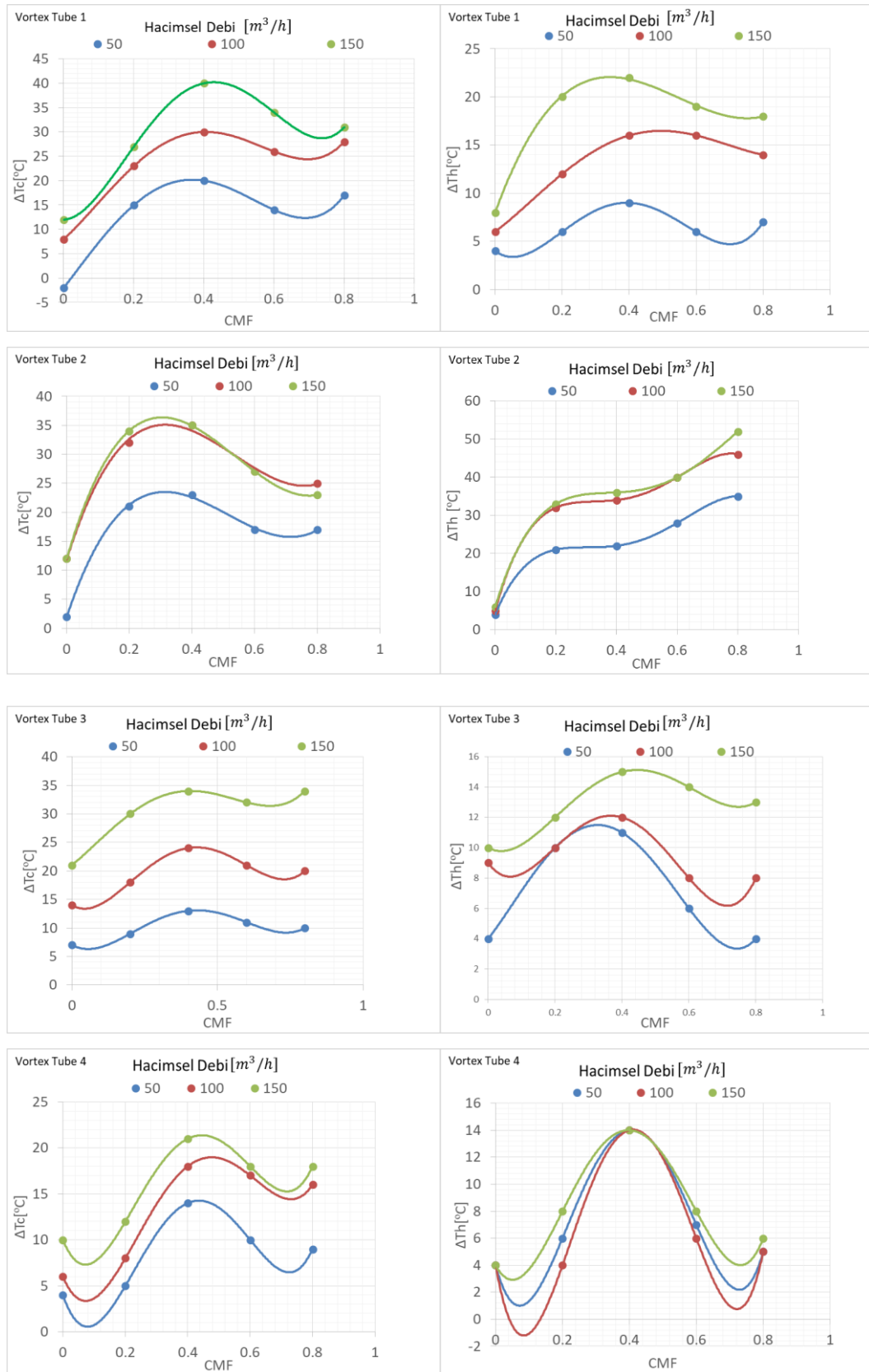
Şekil 4.25. 4. Vorteks tüpteki sıcak ve soğuk akımın zamana göre değişimi gösterilmiştir. Grafiklere dikkat edilirse, 1,2 ve 3. Vorteks tüp sıcaklık düşüş zamanlarından daha kısa sürede sıcaklığın düştüğü görülmektedir. Buna göre tüp çapının değişimi sıcaklık değişim hızını arttırdığı, ancak üretilen sıcak ve soğuk akım değerlerine negatif etkide bulunduğu görülmüştür.



Şekil 4.25. Dötrüncü vorteks tüpünde meydana gelen soğuk ve sıcak hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi

4.4.5.1.2.3. ve 4. Vorteks Tüp Performanlarının Karşılaştırılması

Genel olarak CMF oranının artması sıcak ve soğuk akım performanslarını etkilediği anlaşılmıştır. Ancak şekil 4.26. deneylerde kullanılan dört vorteks tüpe ait CMF, Soğuk akım, sıcak akım sıcaklıkları ve debiye göre değişimleri verilmiştir. Her bir vorteks tüp için verilen grafikler karşılaştırıldığında Vorteks tüp 1,3 ve 4 de maksimum performansın meydana geldiği, Vortek tüp 2 de ise CMF 0,8 de maksimum performansın meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca sıcak akım performansı açısından değerlendirildiğinde en yüksek Vortek 2 de en yüksek sıcaklığa ulaşıldığı, soğuk akım performansı açısından ise vorteks tüp 1 de maksimum performansların meydana geldiği görülmektedir



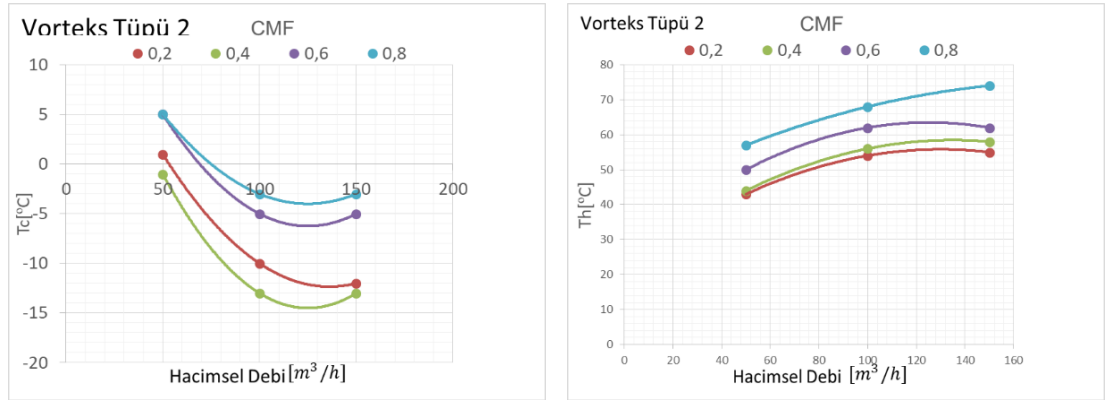
Şekil 4.26. 1.2.3. ve 4. Vorteks Tüp Performanlarının Karşılaştırılması

4.4.6. Xair firmasına ait Vorteks tüp ile deneylerde kullanılan vortek tüplerinin karşılaştırılması:

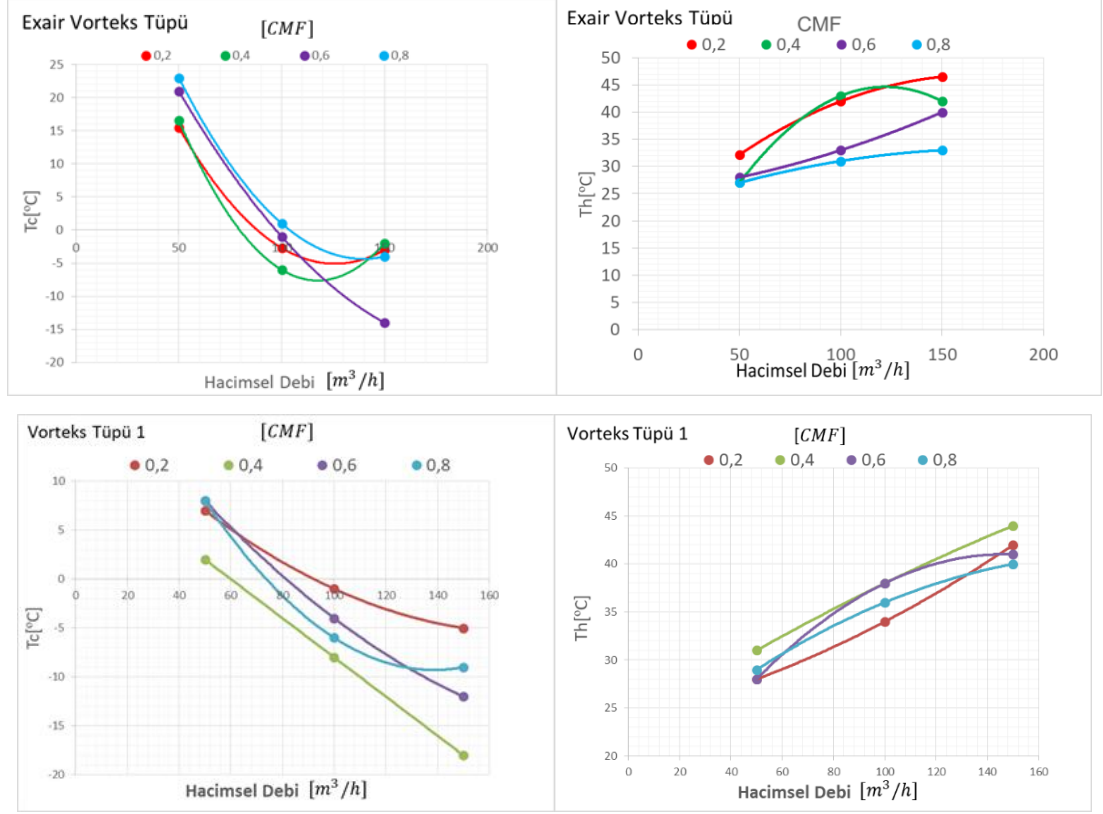
Yasarım öncesinde piyasada satılan Xair firmasına ait vortek tüp üzerinde incelemeler ve araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan faydalanılarak 4 farklı vorteks tüp tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tüplerin bir tanesi Xair firmasına ait tüp ile aynı çapa diğerleri ise büyük ve küçük çaplarda olacak şekilde imalatı yapılmıştır. şekil 4.27'de deneyde kullanılan vortek tüpleri ile Xair firması tarafından üretilen aynı çaptaki vortek tüpü aynı şartlarda testleri yapılarak benzer grafikler çizilmiştir.

Xair firmasına iat vorteks tüp ile aynı çapta fakat farklı vorteks generatör ve giriş geometrisine sahip olan vorteks tüp 2 karşılaştırıldığında; Soğuk akımda Xair firmasının performansının benzer olduğu, sıcak akımda ise tasarlanan Vorteks tüp 2'nin performansından daha yüksek olduğu görölmüştür.

Vortek tüp 1 ile Xair firmasına iat vorteks tüp karşılaştırıldığında sıcak akım performansının benzer olduğu, soğuk akım performansının ise vorteks 1 tüpünün daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

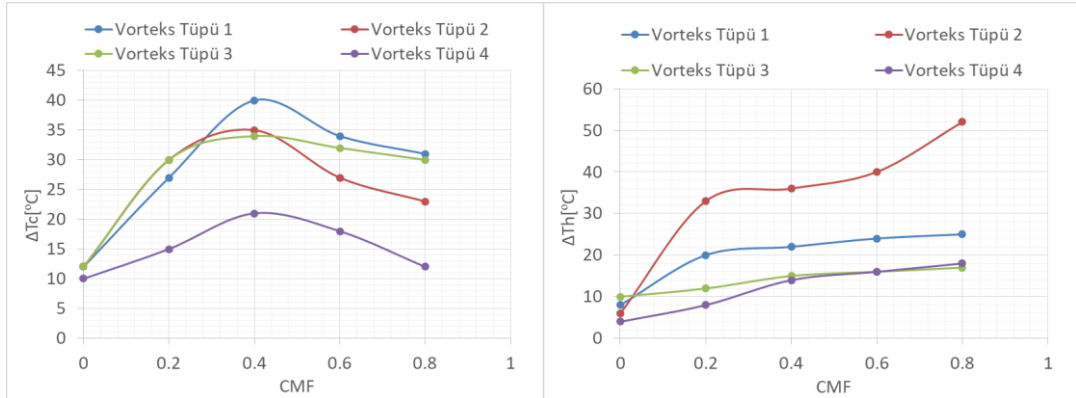


şekil 4.27. 1. ve 2. vortex tüplerinde ve x air'da soğuk ve sıcak havanın sıcaklık derecesinin değişmesi ile zaman arasındaki ilişkinin karşılaştırılması



Şekil 4.27. (Devamı)

4.4.7. Vorteks tüplerinin 150 [m³/h] hacimsel debide farklı CMF oranları için soğuk ve sıcak akım değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.28. Vorteks tüpünün 150 [m³/h] hacimsel hava debisinin çeşitli değerlerinde CMF değişmesiyle soğuk ve sıcak hava sıcaklık derecesinin dört tane vorteks tüpüne karşılaştırarak değişmesine etkisidir.

Şekil 4.28.'de Vorteks tüplerinin 150 [m³/h] debi değerinde farklı CMF oranlarında yapılan deneysel değerleri görülmektedir. Bun göre soğuk akım değişiminin en yüksek

vorteks tüp 1 de meydana geldiği, sıcak akım değişimini ise vorteks tüp 2 de meydana geldiği görülmektedir.

4.5.Hata Analizi

$$Hata = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{ortalama}} \times 100\% \quad (4.1)$$

T_{max} : En yüksek hava sıcaklığı

T_{min} : En düşük hava sıcaklığı

$T_{ortalama}$: Hava sıcaklıklarının ortalaması

Vorteks tüpünden çıkan sıcak hava sıcaklığının hatası: $\pm 3,972 \%$

Vorteks tüpünden çıkan soğuk hava sıcaklığının hatası: $\pm 2,33$

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Dört Vorteks tüpü üzerinde yapmış olduğumu deneme araştırmalarından sonuç olarak şunları özetleyebiliriz:

Vorteks tüp giriş hava debisinin arttırılması vortek tüpün performansını pozitif yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Vortek tüpü sıcak akım tarafındaki valf ile CMF oranının değiştirilmesi sonucunda sıcak ve soğuk akım performanslarında bir değişim olduğu, ancak en iyi performansın genel olarak 0,4 CMF oranında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Vorteks tüpü çapının küçültülmesi vortek tüpü sıcak ve soğuk akım değerilerini arttırdığı tespit edilmiştir.

Vortek tüpü çapının büyütülmesi soğuk ve sıcak akım üretim hızını arttırmaktadır. Ancak soğuk ve sıcak akım değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Deneme çalışmasında sıcaklık derecesinin değişmesi tüpün sadece sıcak ve soğuk akım çıkış bölgesinde değil, tüpün bütününde değişmektedir. Bununla beraber tüpün uzunluğunun çeşitliliği soğuk ve sıcak akım sıcaklığını etkilemektedir. Ancak iyi bir verim elde etmek için büyük tüplerin debisinin arttırılması gerekmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda en yüksek sıcak akım değerine vorteks tüp 1'de 74 olarak ulaşılmıştır ve aynı vortex tüpünde soğuk akım sıcaklığı ise -17 kadar ulaşmıştır.

Vortex tüpü basit ve düşük maliyetli parçalarla yapılmıştır bu da vortex tpnn basitliğini vurgulamaktadır. Veriminin az olmasına rağmen bazı yerlerde yüksek fiyatlı soğutma cihazlarının kullanılması yerine geçebilir.

Deneysel çalışmada soğuk akım tarafında sıcaklık derecesinin düşmesi (ve sıcak akım tarafında yükselmesi) birkaç nedene bağlıdır: Bunlar sırasıyla; Vortex tpnn sıcak akım tarafında bulunan kontrol vanasının konumu ve bunun sıcak ve soğuk bölümden çıkan havanın akım miktarını belirlemektedir. Vortex tüpüne giren havanın debisi, Vortex tüpüne giren havanın basıncıdır.

Çok daha düşük sıcaklık değerlerinin elde edilmesi için vortex jeneratörü ile ilgili çalışmalar veya iyileştirmeler yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Ranque GJ. Experiments on expansion in a vortex with simultaneous exhaust of hot air and cold air. *J phys Radium (Paris)* 1933;4:112-4 S-115, June. Also translated as General Electric Co., Schenectady Works Library 1947; T.F. 3294.
- [2] Ranque GJ. Method and apparatus for obtaining from a fluid under pressure two outputs of fluid at different temperature. US patent 1:952,281, 1934.
- [3] Hilsch R. The use of expansion of gases in a centrifugal field as a cooling process. *Rev Sci Instrum* 1947;18(2):108-13.
- [4] Scheper GW. The vortex tube; internal flow data and a heat transfer theory. *J ASRE Refrig Eng* 1951;95:9859.
- [5] V.S. Martynovskii, V.P. Alekseev, Investigation of the vortex thermal separation effect for gasses and vapors, *Soviet Phys.* (1957) 2233–2243.
- [6] Scheller WA, Brown GM. The Ranque–Hilsch vortex tube. *J Ind Eng Chem* 1957;49(6):1013–6.
- [7] Blatt TA, Trusch RB. An experimental investigation of an improved vortex cooling device. American Society of Mechanical Engineers, Winter Annual Meeting, America, 1962.
- [8] Takahama H. Studies on vortex tubes. *Bull Jpn Soc Mech Eng* 1965;8(31):433–40.
- [9] Takahama H, Soga N. Studies on vortex tubes 2nd report, Reynolds no. the effects of the cold air rate and partial admission of nozzle on the energy separation. *Bull Jpn Soc Mech Eng* 1966;9(33):121–30.
- [10] Vennos SLN. An experimental investigation of the gaseous vortex. PhD thesis. Rensselaer Polytechnic Institute, 1968.
- [11] Nash JM. Vortex heat exchanger cooling for infrared detectors. USA: Annual Meeting of the Optical Society of America; 1974.

- [12] Marshall J. Effect of operating conditions, physical size and fluid characteristics on the gas separation performance of the Linderstrom–Lang vortex tube. *Int J Heat Mass Transfer* 1977;20:227–31.
- [13] Linderstrom-Lang C. U., 1971, *J.Fluid Mech*, vol. 45, pp. 161-187.
- [14] Takahama H, Yokosawa H. Energy separation in vortex tubes with a divergent chamber. *Trans ASME J Heat Transfer* 1981;103:196–203.
- [15] Parulekar BB. The short vortex tube. *J Refrig* 1961;4:74–80.
- [16] Otten EH. *Production of cold air*. London: Engineering; 1958. 154pp.
- [17] Raiskii Yu D, Tankel LE. Influence of vortex-tube saturation and length on the process of energetic gas separation. *J Eng Phys* 1974;27(6):1578–81.
- [18] Schlenz D. *Kompressible strahlgetriebene drallströmung in rotationssymmetrischen Kanälen*. PhD thesis. Technische Fakultät Universität, Erlangen-Nurnberg, 1982.
- [19] Amitani T, Adachi T, Kato T. A study on temperature separation in a large vortex tube. *Trans JSME* 1983;49:877–84.
- [20] Lin S, Chen JR, Vastistas GH. A heat transfer relation for swirl flow in a vortex tube. *Can J Chem Eng J* 1990;68(6):944–7.
- [21] Ahlborn B, Keller JU, Staudt R, Treitz G, Rebhan E. Limits of temperature separation in a vortex tube. *J Phys D: Appl Phys* 1994;27:480–8.
- [22] Aydın O, Baki M. An experimental study on the design parameters of a counter flow vortex tube. *EnergyJ* 2006;31(14):2763-72.
- [23] M.H. Saidi, M.S. Valipour, Experimental modeling of vortex tube refrigeration, *Appl. Therm. Eng.* 23 (2003) 1971–1980.
- [24] S.U. Nimbalkar, M.R. Muller, An experimental investigation of the optimum geometry for the cold end orifice of a vortex tube, *Appl. Therm. Eng.* 29 (2009) 509–514.
- [25] 509–514.
- [26] K. Stephan, S. Lin, et al., An investigation of energy separation in a vortex tube, *Int. J. Heat Mass Transfer* 26 (3) (1983) 341–348.
- [27] M.O. Hamdan, B. Alsayyed, Nozzle parameters affecting vortex tube energy separation performance, *Int. J. Heat Mass Transfer* 10.1007/s00231-012-1099-2.

- [28] M.F. Gord, M. Sadi, Improving vortex tube performance based on vortex generator design, *EnergyJ* 72 (2014) 492e500.
- [29] S. Eiamsa-ard, P. Promvonge, Review of Ranque–Hilsch effects in vortex tubes, *Renew. Sust. Energy Rev.* (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Selahattin KASAR, 01.01.1992'da Şam'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Şam'da tamamladı. 2010 yılında başladığı Damascuse Üniversitesi Beş yıllık Makina Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2015 yılında Türkiye'ye geldi. Gelir gelmez 8 aylık Türkçe'yi öğrendi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılında Sakarya Üniversitesi'nde Teknokent'te Patent Ofisinde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Aynı zamanda Teknokente iki tane patent başvurdu. Biri Ayak Kurtma Makinası (2017/23595) diğeri Bir Otomatik İkramlık Sistemi (2018/11592). 2018 yılın sonunda Akpa Alüminyum Şirketinde Bakım Şefi olarak çalışmaya başladı. Hala aynı şirkette İhracat Satış bölümünde çalışmaya devam ediyor.