

**VORTEKS TÜPÜNDE AKIŞKAN OLARAK KULLANILAN HAVA İLE OKSİJENİN SOĞUTMA SICAKLIK PERFORMANSLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Hüseyin USTA\* Kevser DİNCER\*\* Volkan KIRMACI\***

\* Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 06500, Ankara, Türkiye

\*\* Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Müh. ABD, Ankara, Türkiye

**ÖZET**

Bu çalışmada, hacimsel debileri ayarlamak için bir kontrol vanası hariç hiçbir hareketli parçası bulunmayan vorteks tüpü kullanılmıştır. Vorteks tüplerden, girişteki basınca bağımlı olarak iki farklı sıcaklıkta akışkan elde edilmektedir. Deneysel çalışmalarda, sıcak akışkan çıkış tarafındaki kontrol vanası tam açık konumda bırakılmıştır. Genellikle vorteks tüpünde basınçlı akışkan olarak hava kullanılmaktadır. Havada % 78.09 oranında Azot, % 20.95 oranında da Oksijen (O<sub>2</sub>) gazı bulunmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda, basınçlı akışkan olarak hava ile hava içinde bulunan O<sub>2</sub> gazı kullanılmıştır. O<sub>2</sub> gazının kullanılmasındaki amaç, hava içinde bulunan O<sub>2</sub>' nin vorteks tüpündeki soğutma etkisinin, havaya göre değişimini incelemek olmuştur. Gösterge basıncı 1.0 bar'dan başlayarak 0.5 bar aralıklarla 6.0 bar'a kadar değişik basınçlarda, O<sub>2</sub> ve Havaya vorteks tüp sistemi uygulanmıştır. Bu çalışmada, vorteks tüplerde oluşan enerji ayrışma olayı iki farklı akışkanda deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel sonuçlar neticesinde, O<sub>2</sub> ve Havaya ait grafikler oluşturulmuştur. Vorteks tüplerde O<sub>2</sub> ve Havaya ait soğutma sıcaklıkları cinsinden performansları incelenerek yorumlanmış ve soğutma sıcaklıklarının düşürülmesine yönelik öneriler getirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ranque – Hilsch vorteks tüp, Enerji ayrışımı, Soğutma

**EXPERIMENTAL STUDY OF COOLING-HEAT PERFORMANCE OF AIR AND OXYGEN WHICH ARE USED AS THE FLUID IN THE VORTEX TUBE**

**ABSTRACT**

In this study, the vortex tube having no one moving part, except the control valve was used in order to arrange volumetric flows. Fluid in two different heat as depending on intake pressure is obtained from vortex tubes. In the experimental studies, the control valve on the outlet side of heat fluid was left in full open position. Air is usually used as the pressured fluid in the vortex tube. 78.09% of nitrogen and 20.95% of oxygen (O<sub>2</sub>) exist in the air. In the executed experimental studies, air as pressured fluid and O<sub>2</sub> in the air, were used. The objective of using O<sub>2</sub> gas was to inspect change of cooling influence in the vortex tube compared to air of O<sub>2</sub> in the air. Vortex tube system was applied to the Air and O<sub>2</sub> as applying with indicative pressure from beginning 1.0 bar with 0.5 periods to 0.6 bars in the different pressures. In this study, energy – separation case which occurs in the vortex tubes was inspected experimentally in two different fluids. At the end of the experiments, the graphics on O<sub>2</sub> and Air were established. The performances in the cooling heats of O<sub>2</sub> and Air in the vortex tubes were interpreted by inspecting them, and there were suggestions on reducing the cooling heats.

**Key Words:**, Ranque – Hilsch vortex tube, Energy separation, Cooling

**1. GİRİŞ**

Vorteks tüpü, George Ranque tarafından 1931 yılında bulunmuştur. Rudoph Hilsch tarafından geliştirilmiştir. Vorteks tüpü, hareketli hiç bir parçası bulunmayan basit borudan ibaret olan basınçlı akışkan kullanılarak

çalışan bir sistemdir [1]. Vorteks tüplerinde enerji ayrışımı olayı gerçekleşmektedir. Bu olay oldukça kompleks bir yapıdır [2]. Vorteks tüpü, gazların içindeki nemi alma işlemleri için de kullanılmaktadır [3].

Vorteks tüpüne basınçlı akışkan teğetsel olarak nozullardan verilir. Basınçlı akışkan tüp içinde çok yüksek hızlarda döner. Vorteks tüpün cidarlarındaki akışkan sıcak akış, tüpün merkezindeki akışkan ise soğuk akıştır. Vorteks tüpler değişik özellikleri dikkate alındığında iki ana başlık altında gruplandırılırlar. Bunlar; akış özellikleri ve dizayn özellikleridir.

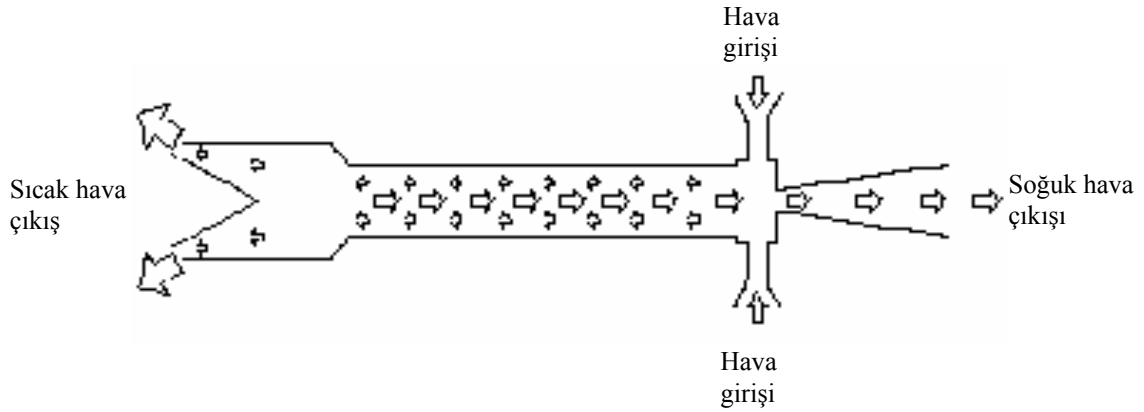
Akış özelliklerine göre;

1. Karşıt akışlı vorteks tüpler,
2. Paralel akışlı vorteks tüpler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.

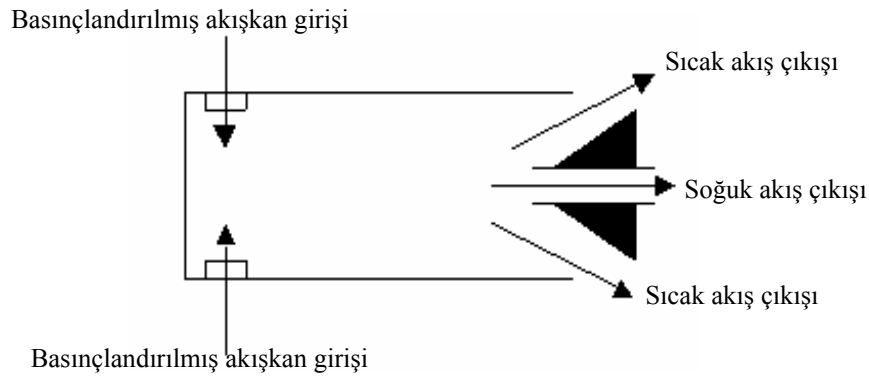
Dizayn özelliklerine göre;

1. Adyabatik vorteks tüpler,
2. Adyabatik olmayan vorteks tüpler olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar [4].

Karşıt akışlı ve paralel akışlı vorteks tüpünün çalışma prensibi şekil 1.1 ve şekil 1.2 verilmiştir.



Şekil 1.1 Karşıt Akışlı Vorteks Tüpünün Yapısı



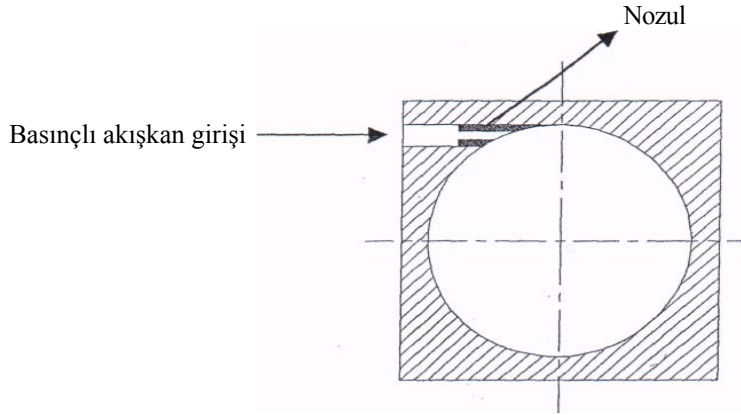
Şekil 1.2 Paralel Akışlı Vorteks Tüpünün Yapısı [5]

## 2. VORTEKS TÜPÜNÜN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE SOĞUTMA AMAÇLI UYGULAMA ALANLARI

### 2.1. Vorteks Tüpünün Çalışma Prensibi

Vorteks tüp ile farklı sıcaklıklarda akışkanlar elde edilmesinin temel prensibi, farklı açılarda dönen akışlar arasında gerçekleşen mekanik enerji transferidir. Basınçlı bir hava tüpe, tüpün giriş ağzında yer alan nozuldan geçerek şekil 2.1' de gösterildiği gibi teğetsel olarak girer. Tüp girişinde nozul kullanılmasının sebebi, basıncı düşürülerek hızın artmasını sağlamaktır. Nozul sonrası hız tüpe uygulanan basınca bağımlı olarak tüpün silindirik

yapısından dolayı dönmeye başlar. Çok yüksek açısız hızlarda dönen akış merkezkaç kuvvetin etkisi ile tüp cidarına doğru açılmaya zorlanır. Bu etki neticesinde tüp merkezindeki basınç ile tüp cidarı arasındaki basınç arasında fark oluşur.



Şekil 2.1 Basınçlı Akışın Vorteks Tüpe Teğetsel Olarak Girmesi

Tüp cidarı ile tüp merkezi arasında oluşan basınç farkı nedeni ile akış radyal yönde merkeze doğru genişler. Merkeze gelen 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 iki 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 merkez akışı soğuk akış, tüp cidardaki sürtünme etkisi ile ve merkezdeki akıştan aldığı mekanik enerjiden dolayı tüp cidarındaki akış ise sıcak akıştır [4].

Karşıt akışlı bir vorteks tüp için şekil 1.1'den de görüldüğü gibi, soğuk akış sıcak akışın çıktığı uca yerleştirilmiş olan vananın etkisi ile bir durgunluk noktasından sonra akış geriye doğru yönelir. Bu sayede tüpün bir ucundan sıcak akış diğer ucundan ise soğuk akış elde edilir [6].

## 2.2 Vorteks Tüplerin Soğutma Amacıyla Kullanım Alanları

Vorteks tüplerden hem sıcak hem de soğuk akışkan elde edilmektedir. Vorteks tüplerin soğutma amacıyla kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Programlanabilir makine elemanlarının, otomatik hatların ve robotize uygulamalarının elektronik ünitelerinin soğutulması,
2. Kesici takımların ve taşlama taşlarının soğutulması,
3. Termal kameraların merceklerinin soğutulması,
4. Sürekli kaynak yapan ve ısınan punto kaynak cihazlarının uçlarının soğutulması,
5. Bilgisayar ünitelerinin ve CNC cihazlarının devrelerinin soğutulması,
6. İp üreten cihazlarda sürtünmeden ısınan iplerin ve cihaz ekipmanlarının soğutulması,
7. Rigo tezgahlarında mamul köşelerinin soğutulmasında [4].

## 3. TERMODİNAMİĞİN 1. KANUNUNUN VORTEKS TÜPLERE UYGULANIŞI

Bir giriş ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistemler için enerjinin korunumu denklemi;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} (\Delta h + \Delta ke + \Delta pe) \quad (1)$$

$\dot{Q}$  : Birim zamanda ısı geçişi, (kW)

$\dot{W}$  : Güç, (kW)

$\dot{m}$  : Kütleli debi, (kg/s)

$\Delta h$  : Entalpi değişimi, (kJ/kg)  
 $\Delta ke$  : Kinetik enerji değişimi, (kJ/kg)  
 $\Delta pe$  : Potansiyel enerji değişimi, (kJ/kg).

Deneysel çalışmalarımızda kullandığımız vorteks tüp adyabatiktir. Çevresi ile iş ve ısı alış-verişinin olmadığı kabul edildiğinde 1 no'lu denklem yeniden düzenlenirse, (2) nolu denklem elde edilir.

$$\begin{array}{c} \cancel{Q} - \cancel{W} = m (\Delta h + \cancel{\Delta ke} + \cancel{\Delta pe}) \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \quad \quad \downarrow \quad \downarrow \\ 0 \quad 0 \quad \quad \quad 0 \quad 0 \end{array} \quad (1)$$

$$m \Delta h = m(h_{gir} - h_{\cancel{cu}}) \quad (2)$$

Deneysel çalışmada kullanılan vorteks tüp 1 girişli, soğuk ve sıcak olmak üzere 2 çıkışlıdır. Eşitlik 2, deneysel çalışma için düzenlenirse, 3 nolu eşitlik elde edilir.

$$m \Delta h = m[h_{gir} - (h_a - h_b)] \quad (3)$$

yukardaki eşitlikteki ;

$h_{gir}$  : Girişteki entalpi  
 $h_a$  : Sıcak çıkıştaki entalpi  
 $h_b$  : Soğuk çıkıştaki entalpi' dir [7].

(1) nolu eşitlik vorteks tüplere uygulanacak olursa;

$$m_{gir} \Delta h_{gir} = m_a \Delta h_a + m_b \Delta h_b \quad (4)$$

4 no'lu eşitlikte;

$$\Delta h_{gir} = c_p (T_{gir} - T_{refsic}) \quad (5)$$

$$\Delta h_a = c_p (T_a - T_{gir}) \quad (6)$$

$$\Delta h_b = c_p (T_{gir} - T_b) \quad (7)$$

(5) nolu denklem (8) nolu denklem gibi yazılır ve  $T_{refsic} \approx 0$  K'dır.

$$\Delta h_{gir} = c_p T_{gir} \quad (8)$$

(4) nolu denklemdeki  $\Delta h_{gir}$ ,  $\Delta h_a$ ,  $\Delta h_b$  değerleri (5), (6) ve (7) nolu eşitliklerden faydalanarak yerine yazıldığında;

$$m_{gir} c_p T_{gir} = m_a c_p (T_a - T_{gir}) + m_b c_p (T_{gir} - T_b) \quad (9)$$

$T_{gir}$  : Girişteki akışkan sıcaklığı, (K)  
 $T_a$  : Sıcak akışkanın sıcaklığı, (K)  
 $T_b$  : Soğuk akışkanın sıcaklığı, (K)

Vorteks tüplerinde  $y_c$  olarak tanımlanan eşitlik (10) nolu denklem ile verilmiştir.

$$y_c = \frac{m_b}{m_{gir}} \quad (10)$$

(10) nolu denklemdeki;

$m_{gir}$  : Girişteki akışkanın kütleli debisi, kg/s

$m_a$  : Sıcak akışkanın kütleli debisi, kg/s

$m_b$  : Soğuk akışkanın kütleli debisidir, kg/s [8].

(9) nolu denklemdeki eşitliğin her iki tarafı  $\frac{1}{m_{gir}C_p}$  ile çarpıldığında (11) nolu eşitlik elde edilir.

$$T_{gir} = \frac{m_a}{m_{gir}} (T_a - T_{gir}) + \frac{m_b}{m_{gir}} (T_{gir} - T_b) \quad (11)$$

Denklem 11'de yeniden düzenlendiğinde,

$$T_{gir} = (1 - y_c) (T_a - T_{gir}) + y_c (T_{gir} - T_b) \quad (12)$$

elde edilir.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

##### 4.1 Deneysel Sistemin Hazırlanması

Bu çalışmada, iç çapı 11 mm ve uzunluğu 160 mm olan karşıt akışlı bir vorteks tüpü kullanılmıştır. Yüksek basınca karşı dayanımını arttırmak için iç çapı 14 mm olan çelik bir boru vorteks tüpün üzerine geçirilmiştir. Vorteks tüpünün sıcak akışkan çıkış ucuna hacimsel debileri ayarlamak için bir kontrol valfi bağlanmıştır.

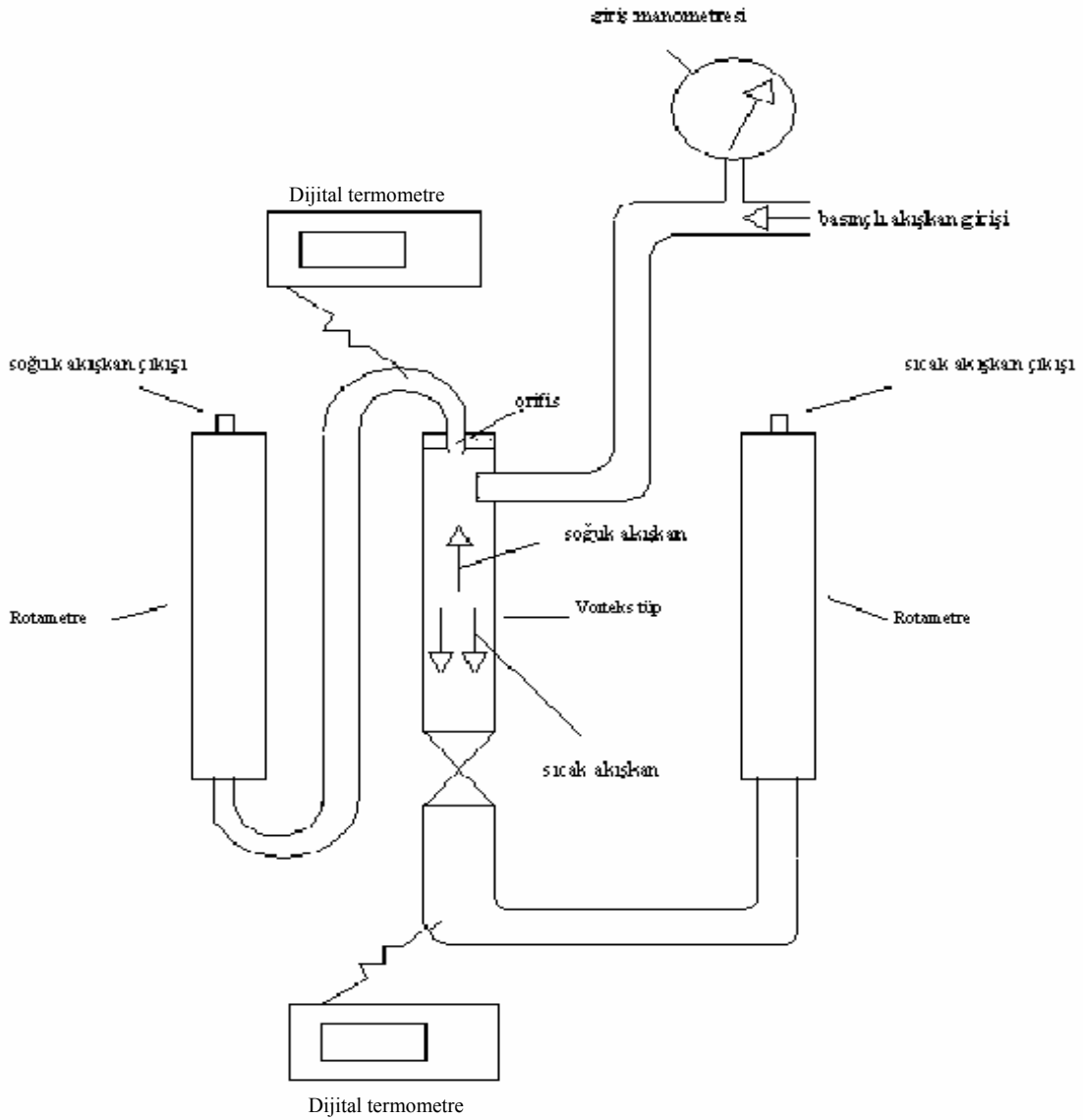
Vorteks tüp, genişliği 50 cm, yüksekliği 60 cm, et kalınlığı 2 mm olan bir levha üzerine kontrol valfi aşağı tarafta olacak şekilde dik konumda şekil 4.1'deki gibi yerleştirilmiştir. Vorteks tüpünden çıkan soğuk ve sıcak akışkanın hacimsel debilerini ölçmek için rotametreler bağlanmıştır. Vorteks tüpünden çıkan soğuk ve sıcak akışkanların sıcaklıklarını ölçmek için  $\pm 1$  °C hassasiyetinde olan dijital termometreler kullanılmıştır. Dijital termometrelerin probaları vorteks tüpünün sıcak ve soğuk çıkış taraflarından 1 cm ilerisine 1 mm çapında delinmiş tüpün merkezine gelecek şekilde yerleştirilmiş, etrafı silikonla sıvanarak sızdırmazlık sağlanmış ve sistem deneysel çalışma için çalışır konuma getirilmiştir.

##### 4.2 Deneğin Yapılışı

Vorteks tüpünün girişindeki vana ile hava kompresörü arasında yüksek basınca dayanıklı plastik hortum kelepçe yardımıyla bağlanmıştır. Hava kompresörü çalıştırılmış ve vorteks tüpe akışkan girişindeki vana yardımıyla deneylerde başlangıç basıncı olan 1.0 bar'lık basınç sağlanmıştır. Yapılan basınç ayarlamasından sonra vorteks tüpünün sıcak ve soğuk akışkan çıkışına monte edilen dijital termometrelerle okunan sıcaklık değerleri sabit oluncaya kadar aynı basınçta hava kompresörden gönderilmiştir.

Okunan sıcak ve soğuk akışkan sıcaklık değerleri ve hacimsel debilerden sonra vorteks tüpüne basınçlı hava sağlayan kompresör durdurulmuştur. Daha sonra 1.5 bar basınç değerinde deneye başlamadan önce vorteks tüpünün soğuk ve sıcak akışkan sıcaklığını ölçen dijital termometre ile ortam sıcaklığını ölçen dijital termometrelerin eşit sıcaklık değerine gelinceye kadar beklenmiş ve okunan değerler eşitlendikten sonra 1.5 bar basınç değerindeki deney yapılmaya başlanmıştır. 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 ve 6.0 bar basınç değerleri için yapılan deneysel çalışmalarda, 1 bar'da ki yapılan işlemler tekrarlanmıştır.

Vorteks tüpünde 1.0 bar ve 6.0 bar arasında basınçlı hava gönderilerek yapılan deneyler tamamlandıktan sonra hava kompresörü sistemden çıkarılarak, yerine oksijen tüpü bağlanmıştır. Vorteks tüpünde akışkan olarak kullanılan O<sub>2</sub> gazı için 1.0 bar ve 6.0 bar basınç değeri arasındaki deneylerdeki işlemler hava deneylerinde yapılan işlemlerin aynısıdır.



Şekil 4.1 Deneysel Sistem

## 5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, hiç bir hareketli parçası bulunmayan ve sıcak akışkan çıkış tarafında ki vana ile hacimsel debileri ayarlanan deneysel sisteminde, sıcak akışkan çıkış tarafındaki kontrol vanası tam açık konumda bırakılmıştır. Gösterge basıncı 1.0 bar'dan başlayarak 0.5 bar aralıklarla 6.0 bar'a kadar değişik basınçlarda akışkan olarak hava ve O<sub>2</sub> gazı kullanılarak deneyler yapılmış ve grafikler oluşturulmuştur.

Vorteks tüpüne değişik değerlerde basınçlı hava gönderilerek yapılan deneyler sonucunda elde edilen sıcak akışkanın sıcaklık değeri, soğuk akışkanın sıcaklık değeri, sıcak ve soğuk akışkanın sıcaklıkları arasındaki fark, sıcak akışın hacimsel debisi ve soğuk akışın hacimsel debileri çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Hava İle Yapılan Deneylere Ait Sonuçlar

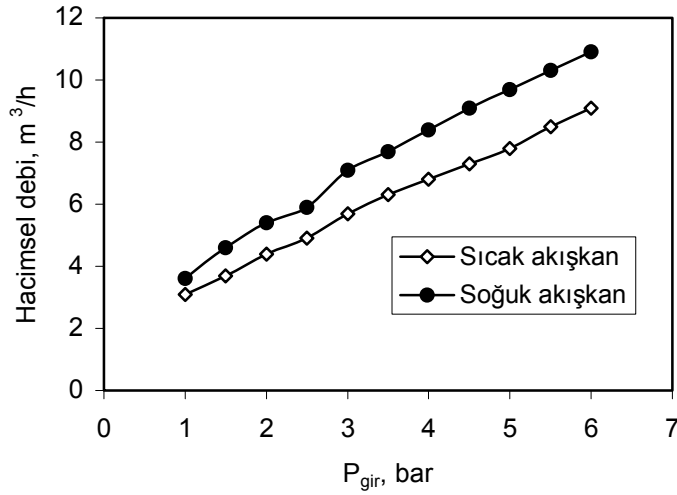
$P_{gir}$ , bar	$T_a$ , °C	$T_b$ , °C	$(T_a-T_b)$ , °C	$Q_a$ , m <sup>3</sup> /h	$Q_b$ , m <sup>3</sup> /h
1.0	30.1	14.3	27.0	3,1	3,6
1.5	33.3	9.6	29.6	3,7	4,6
2.0	35.9	6.1	31.5	4,4	5,4
2.5	38.2	4.6	33.3	4,9	5,9
3.0	39.3	3.3	33.6	5,7	7,1
3.5	40.8	2.2	34.5	6,3	7,7
4.0	41.9	1.1	35.1	6,8	8,4
4.5	42.9	0.3	35.6	7,3	9,1
5.0	43.5	-0.2	35.7	7,8	9,7
5.5	41.3	-0.9	32.8	8,5	10,3
6.0	38.7	-2.1	29.6	9,1	10,9

Vorteks tüpüne değişik değerlerde basınçlı Oksijen gazı gönderilerek yapılan deneyler sonucunda elde edilen sıcak akışkanın sıcaklık değeri, soğuk akışkanın sıcaklık değeri, sıcak ve soğuk akışkanın sıcaklıkları arasındaki fark, sıcak akışım hacimsel debisi ve soğuk akışım hacimsel debileri 5.2 de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Oksijen Gazı İle Yapılan Deneylere Ait Sonuçlar

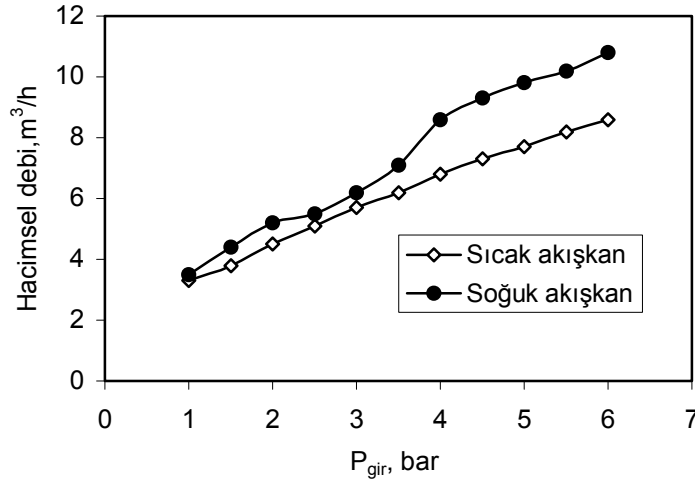
$P_{gir}$ , bar	$T_a$ , °C	$T_b$ , °C	$(T_a-T_b)$ , °C	$Q_a$ , m <sup>3</sup> /h	$Q_b$ , m <sup>3</sup> /h
1.0	25.7	11.2	25.2	3,3	3,5
1.5	28.7	6.2	24.9	3,8	4,4
2.0	29.2	-0.5	24.7	4,5	5,2
2.5	29.5	-4.2	24.4	5,1	5,5
3.0	29.1	-6.5	23.4	5,7	6,2
3.5	28.9	-9.6	22.7	6,2	7,1
4.0	28.6	-11.4	21.8	6,8	8,6
4.5	28.3	-12.6	21.0	7,3	9,3
5.0	27.9	-13.7	20.2	7,7	9,8
5.5	27.2	-15.1	19.0	8,2	10,2
6.0	26.7	-16.4	18.1	8,6	10,8

Vorteks tüpe girişteki basıncın 1.0 bar'dan başlayarak 0.5 bar aralıklarla 6.0 bar'a kadar artırıldığında hava ile oksijenin hacimsel debileri kıyaslandığında; soğuk akışkanların hacimsel debilerinde, havanın daha düzgün bir lineer doğru boyunca arttığı görülürken, Oksijenin lineer doğru çizgisinden bazı noktalarda sapma olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.1'de havaya ait soğuk ve sıcak akışkanların hacimsel debilerinin vorteks tüpüne giriş basıncına göre değişim değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Soğuk Ve Sıcak Akışkanların Hacimsel Debilerinin Vorteks Tüpüne Girişteki Basınca Göre Değişimi (Hava)

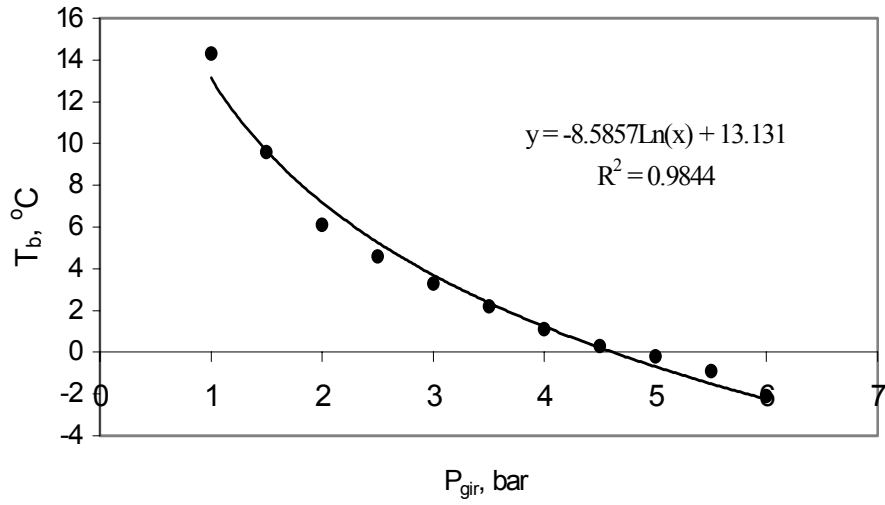
Şekil 5.2'de ise oksijen gazına ait soğuk ve sıcak akışkanların hacimsel debilerinin vorteks tüpüne giriş basıncına göre değişim değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 5.2 Soğuk Ve Sıcak Akışkanların Hacimsel Debilerinin Vorteks Tüpüne Girişteki Basınca Göre Değişimi (Oksijen)

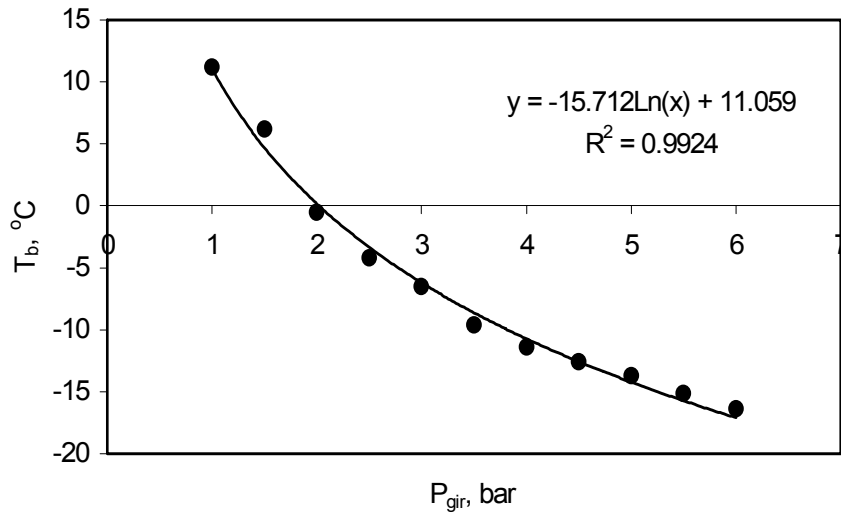
Vorteks tüpe girişteki basıncın 1.0 bar'dan başlayarak 0.5 bar aralıklarla 6.0 bar'a kadar artırıldığında hava ile oksijenin soğuk çıkıştaki akışkanın sıcaklıkları dikkate alınarak mukayese edilirse; Oksijenin havaya göre daha fazla soğuduğu deneysel olarak gözlemlenmiştir. Havanın 6.0 bar gösterge basıncında  $-2.1$  °C'e kadar soğurken aynı basınçta Oksijen gazının sıcaklığı  $-16.4$  °C'ye kadar soğuduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.3'de soğuk hava sıcaklığının, vorteks tüpüne giren çeşitli basınçlarda ki değişimi verilmiştir.





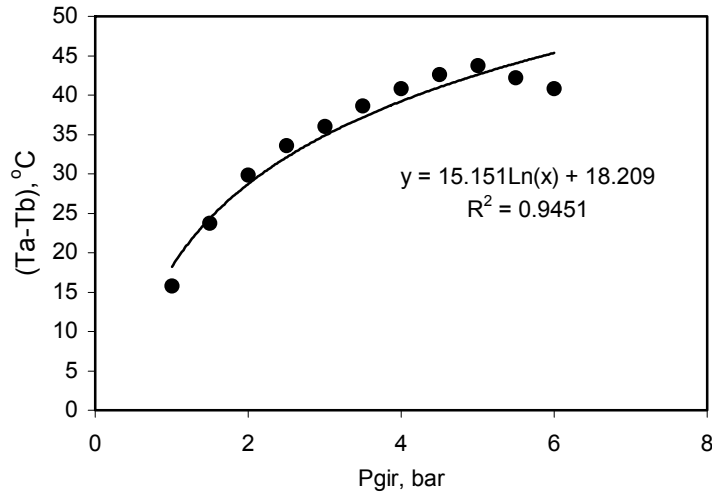
Şekil 5.3 Soğuk Akışkanın Sıcaklığının Girişteki Basınca Göre Değişimi (Hava)

Şekil 5.4'de ise vorteks tüpünden çıkan soğuk akışkan sıcaklığının, vorteks tüpüne giren çeşitli basınçlardaki değişimi verilmiştir.

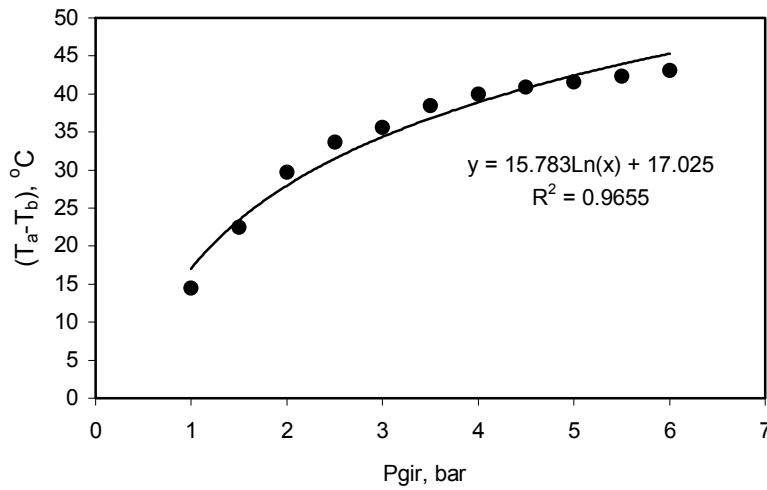


Şekil 5.4. Soğuk Akışkanın Sıcaklığının Girişteki Basınca Göre Değişimi (Oksijen)

Vorteks tüpe girişteki basıncın 1.0 bar'dan başlayarak 0.5 bar aralıklarla 6.0 bar'a kadar artırıldığında hava ile oksijenin sıcak akışkanın sıcaklığı ile soğuk akışkanın sıcaklıklarının farkları cinsinden performansları dikkate alınarak mukayese edilirse; Havanın 40.8 °C, Oksijenin ise 43.1 °C olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir. Şekil 5.5 ile Şekil 5.6'dan da görüldüğü gibi, Oksijen gazının sıcak akışkanın sıcaklığı ile soğuk akışkanın sıcaklıklarının farkları cinsinden performansları havaya göre daha yüksektir.



Şekil 5.5 Sıcak Akışkanın Sıcaklığı İle Soğuk Akışkan Sıcaklığı Arasındaki Farkın Vorteks Tüpüne Girişteki Basıncına Göre Değişimi (Hava)



Şekil 5.6 Sıcak Akışkanın Sıcaklığı İle Soğuk Akışkan Sıcaklığı Arasındaki Farkın Vorteks Tüpüne Girişteki Basıncına Göre Değişimi (Oksijen)

## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, hacimsel debileri ayarlamak için bir kontrol vanası hariç hiçbir hareketli parçası bulunmayan vorteks tüpü kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, sıcak akışkan çıkış tarafındaki kontrol vanası tam açık konumda bırakılmıştır. Bu deneylerde 1.0 bar basıncından başlayarak 0.5 bar aralıklarla 6.0 bar'a kadar değişik basınçlarda, Hava ve O<sub>2</sub> gazı vorteks tüp sistemine uygulanmıştır. Vorteks tüplerde oluşan enerji ayrıştırma olayı farklı iki akışkanda incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonuçları doğrultusunda şekiller oluşturulmuştur. Oluşturulan bu şekiller dikkate alınarak yorumlar getirilmiştir.

Vorteks tüpünde yapılan deneyler sonucunda akışkan olarak O<sub>2</sub> gazı kullanıldığında, soğuk akışkanın sıcaklık performansının havaya göre daha yüksek olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir. Vorteks tüpüne giren akışkanın giriş basıncı arttırıldıkça, soğuk akışkan sıcaklığında performansı yükselmiştir.

Deneysel olarak yapılan çalışmada  $y_c$  oranı sabit tutulmuştur. Sabit  $y_c$  oranına göre, vorteks tüpün hava ve O<sub>2</sub> gazının değişik basınçlardaki performansları deneysel olarak incelenmiştir. O<sub>2</sub>'nin havaya göre soğuk

akışkanın sıcaklığının daha yüksek olduğu görülmüştür. Havanın içinde bulunan O<sub>2</sub> gazı miktarı artırılırsa, vorteks tüplerindeki soğutma performanslarının daha da artacağı önerilmektedir.

#### KAYNAKLAR

1. Özkul N., Uygulamalı Soğutma Tekniği, **Makine Mühendisleri Odası** Yayın No:115, Ankara,1999.
2. Cockerill T., “The Ranque Hilsch vortex Tube”, Ph.D. Thesis, **Cambridge University** Engineering Department, Susderland, 1995.
3. Bruno T., “Laboratory Applications of Vortex Tube”, **Journal of Chemical Education**, 64 (11), pp. 987-988, 1987.
4. Özgür A. E., “Vorteks Tüplerin Çalışma Kriterlerine Etki Eden Faktörlerin ve Endüstrideki Kullanım Alanlarının Tespiti”, Yüksek Lisans, **Isparta Üniversitesi** Fen Bil. Enst.,Isparta, Ocak 2001.
5. Althouse A. D., Turnquist C. H., Bracciano A. F., Modern Refrigeration and Air conditioning, **The Goodheart-Willcox Company Inc.**, South Holland, 1979.
6. Balmer R. T., “Choromatographie Cryofocusing Cryotrapping With The Vortex Tube”, **Journal of Chromatographic Science**, 32, pp. 112-115, 1994.
7. Çengel Y., Boles M., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, **Literatür Yayıncılık Ltd.**, İstanbul, 1996.
8. Stephan K., Lin S., Durst M., Huang F., Seher D., “An Investigation of Energy Separation In A Vortex Tube”, **Journal of Heat Mass Transfer**, vol. 26, No 3, pp. 344-348, 1983.