

VORTEKS TÜPÜNDE AKIŞKAN OLARAK KULLANILAN HAVA VE ARGONUN SOĞUTMA–ISITMA SICAKLIK PERFORMANSLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Volkan KIRMACI

Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 06500, Beşevler, Ankara, TÜRKİYE

Özet: 1931 yılında, bir metalurjist ve fizikçi olan Fransız bilim adamı Georges Joseph Ranque tarafından keşfedilmesinden itibaren, vorteks tüpleri, teorik ve pratik uygulama açısından oldukça ilgi çeken bir konu olmuştur. Genellikle vorteks tüpünde basınçlı akışkan olarak hava kullanılmaktadır. Bu çalışmada, hacimsel debileri ayarlamak için bir kontrol vanası hariç hiçbir hareketli parçası bulunmayan vorteks tüpü kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmalarda, sıcak akışkan çıkış tarafındaki kontrol vanası tam açık konumda bırakılmıştır. Yapılmış olan deneysel çalışmada, basınçlı akışkan olarak hava ile Argon gazı kullanılmıştır. Argon gazının kullanılmasındaki amaç, Argon gazının vorteks tüpündeki soğutma etkisinin, havaya göre değişimini incelemek olmuştur. Hava ve Argon vorteks tüpüne giriş basınçları 2,0 bar’dan 7,0 bara kadar 0,5 bar aralıklarla değişik basınçlarda uygulanmıştır. Bu çalışmada, vorteks tüplerde oluşan enerji ayrışma olayı iki farklı akışkan için deneysel olarak incelenmiştir ve deneysel sonuçlar dikkate alınarak Hava ve Argon gazlarına ait grafikler oluşturularak yorumlar yapılmıştır.

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

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF COOLING – HEATING PERFORMANCES OF AIR AND ARGON WHICH ARE USED AS THE VORTEX TUBE

Abstract : Since its discovery in 1931 by a Frenchman, metallurgist and physicist Georget Joseph Ranque, the vortex tube has been the subject of considerable interest both from the theoretical and practical application standpoints. Air is usually used as the pressurized fluid in the vortex tube. In this study, the vortex tube having no any moving parts, except the control valve was used in order to arrange volumetric flow rates. In the experimental studies, the control valve on the outlet side of the hot fluid was open position. In the executed experimental study, air and Argon gases, were used as pressured fluid. The objective of using Argon gases was to inspect change of cooling influence between air and Argon gases in the vortex tube. Air and Argon were applied to vortex tupe for inlet pressure from 2,0 bar to 7,0 bar in 0,5 bar intervals. In this study, energy–separation case which occurs in the vortex tubes was investigated experimentally for two different fluids and result were evaluated and suggested by graphiceses.

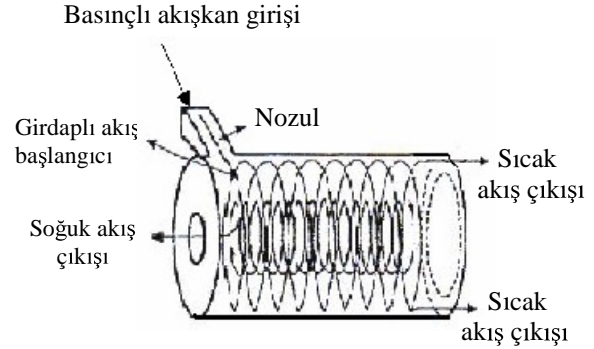
Keywords: *Ranque–Hilsch vortex tube, Energy separation, Cooling.*

1. GİRİŞ

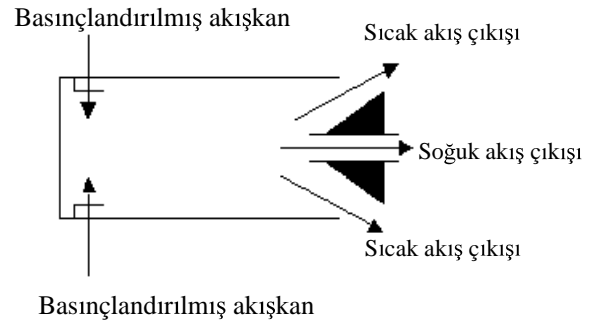
Vorteks tüpler, 1931 yılında metalurjist ve fizikçi olan George Joseph Ranque tarafından bulunmuş ve Rudolph Hilsch tarafından geliştirilmiştir [1,2]. Vorteks tüpü, hareketli bir parçası bulunmayan basit bir borudan ibaret olan basınçlı akışkan kullanılarak aynı anda hem soğuma hem de ısıtma işlemi gerçekleştirebilen bir sistemdir [3]. Gecikmesiz olarak rejime giren, kontrol vanası hariç hiçbir hareketli parçaları olmayan bu sistem, birçok soğutma ve ısıtma problemine çözüm olabilmektedirler [4]. Ebatlarının küçük ve hafif olması, gecikmesiz rejime ulaşmaları, kimyasal soğutkanlar gerektirmemeleri ve dolayısıyla ekolojik açıdan zararlı olmamaları gibi bir çok özellikleri ile vorteks tüpler günümüzde bazı alanlarda kullanılmaktadır [5]. Vorteks tüpünde soğutma-ısıtma enerjinin ayrışımı ile meydana gelmektedir. Bu olay enerjinin ayrışımı ile ifade edilen karmaşık bir işlemdir. Vorteks tüpler üzerinde çalışmalar uzun süredir devam etmesine rağmen, vorteks tüplerin içinde gerçekleşen olayın matematiksel olarak çözümü oldukça zordur [6].

Vorteks tüpleri değişik özellikleri dikkate alındığında iki ana grupta toplanabilir. Bunlar; akış özellikleri ve tasarım özellikleridir.

- A-) Akış özelliklerine göre;
- Karşıt akışlı vorteks tüpler,
 - Paralel akışlı vorteks tüpler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.
- B-) Tasarım özelliklerine göre;
- Adyabatik vorteks tüpler,
 - Adyabatik olmayan vorteks tüpler, olmak üzere iki ayrı bölümde sınıflandırılmaktadırlar [7]. Vorteks tüpler böyle bir sınıflandırmaya tabi tutulmalarına rağmen tüm cihazların çalışma prensipleri aynı ilkelere dayanır [8]. Karşıt akışlı ve paralel akışlı vorteks tüpünün çalışma prensibi Şekil 1 ve Şekil 2 'de verilmiştir.



Şekil 1. Karşıt akışlı vorteks tüpünün yapısı [8].



Şekil 2. Paralel akışlı vorteks tüpünün yapısı [9].

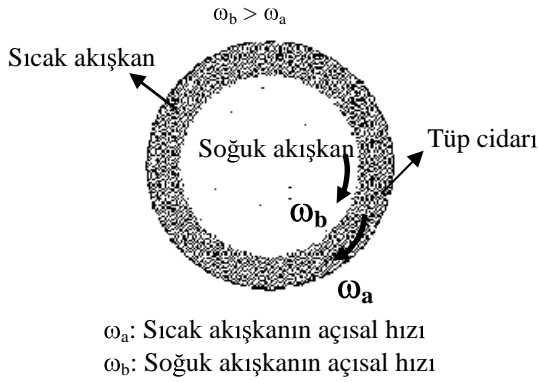
2.VORTEKS TÜPÜNÜN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE UYGULAMA ALANLARI

2.1. Vorteks Tüpünün Çalışma Prensibi

Vorteks tüpü ile iki farklı sıcaklıkta akışkan elde edilmesinin temel prensibi, Şekil 3 ve Şekil 4'de görüldüğü gibi iki farklı açılarda dönen akışlar arasında, gerçekleşen mekanik enerji transferidir. Basınçlı bir akışkan vorteks tüpüne, tüpün giriş ağzında yer alan nozuldan geçerek vorteks tüpüne teğetsel olarak girer. Tüp girişinde nozul kullanılmasının sebebi, basıncın düşürülerek hızın artmasını sağlamaktır. Kısılma sonrası ses hızı değerlerine (tüpe uygulanan basınca bağımlı olarak) olan akış,

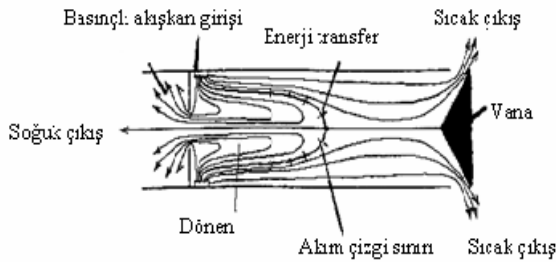
tüpün silindirik formu nedeni ile dönmeye başlar.

Çok yüksek açısal hızlarda dönen akış merkezkaç kuvvetin etkisi ile tüp cidarına doğru açılmaya zorlanır [8]. Bu etki neticesinde tüp merkezindeki akışkan ile tüp cidarındaki akışkan arasındaki basınç farkı oluşur.



Şekil 3. Vorteks tüpünün içindeki sıcak ve soğuk akışın hareketi [10].

Tüp cidarı ile tüp merkezi arasında oluşan basınç farkı nedeni ile akış radyal yönde merkeze doğru genişler. Merkeze gelen akışın açısal hızı, açısal momentumun korunumu ilkesi gereğince tüp cidarındaki akışın açısal hızından daha yüksek değerlere ulaşır.



Şekil 4. Karşıt akışlı bir vorteks tüpteki akış [11]

İç akışın açısal hızın, dış akışın açısal hızı oranla daha yüksek olduğunu açısal momentumun tanımından türetmek mümkündür. Açısal momentum kısaca, bir

cisme etkiyen dış kuvvetlerin aynı noktaya göre toplam momentumuna eşit olduğunu ifade etmekte olup ω ile ifade edilir. Açısal momentum 1 nolu eşitlikte erimiştir.

$$\vec{r} \times m \vec{V} = \omega \quad (1)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} \times m \vec{V} + \vec{r} \times m \frac{d\vec{V}}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \vec{V} \times m \vec{V} + \vec{r} \times m \vec{a} \quad (3)$$

3 nolu eşitlikte \vec{V} ve $m \vec{V}$ vektörleri aynı doğru üzerinde bulduklarından elde edilen ifadenin sağ tarafının ilk terimi sıfırdır. Eşitliğin sağ tarafındaki ikinci teriminde moment ifadesinin eşit olduğu kolaylıkla görülebilmektedir. Eşitlik 3 aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{d\omega}{dt} = \vec{M} \quad (4)$$

$$\int_1^2 d\omega = \int_1^2 \vec{M} dt \quad (5)$$

$$\omega_2 - \omega_1 = \int_1^2 \vec{M} dt \quad (6)$$

$$m \vec{V}_1 \times r_1 + \int_1^2 \vec{M} dt = m \vec{V}_2 \times r_2 \quad (7)$$

Moment teriminin de ihmal edilmesi ile;

$$m \vec{V}_1 \times r_1 = m \vec{V}_2 \times r_2 \quad (8)$$

dir. Akışkan partikülünün kütlelerinde bir değişme olmadığına göre azalan yarıçap

vektörüne karşılık hız vektörünün artması gerektiği Eşitlik 8'den görülebilmektedir. Dolayısı ile vorteks tüpte soğuk akışı oluşturan iç akışın açısız hızı sıcak akışı oluşturan dış akışın açısız hızından daha büyüktür. 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 ise sıcak akıştır [7].

2.2. Vorteks Tüplerin Kullanım Alanları

Oluşturdukları ısıl ayrışma, vorteks tüplerin ısıtma ve soğutma gereksinimi gösteren uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmasını sağlamaktadır. Şüphesiz ki uygulama alanı, tüpten elde edilebilecek ısıtma ve soğutma kapasitesine son derece bağlıdır. Vorteks tüplerin verimi, geleneksel soğutma sistemlerine göre oldukça düşük olmasına rağmen, düşük ilk yatırım maliyetleri ve gecikmesiz olarak rejime girmesi bu dezavantajı giderebilmektedir. Hazır bir basınçlı akışkan kaynağı var ise gerekli olan ısıtma ve soğutma hemen hemen maliyetsiz olarak sağlanabilir [12,13].

Vorteks tüplerin uygulama alanları;

1. Spot soğutma amacıyla kullanımı,
2. Kimyasal analizlerde,
3. Orta sıcaklıklı kromatografik analizlerde,
4. Kromatografik sıvırganın soğutulmasında,
5. Çözeltilerin soğutulmasında,
6. Nem alınmasında,
7. Kızılötesi analizlerde numunenin soğutulmasında,
8. Düşük sıcaklık (soğutma) işlemlerin,
9. Elektronik devrelerin soğutulmasında,
10. Gaz endüstrisinde kurutma işlerinde,

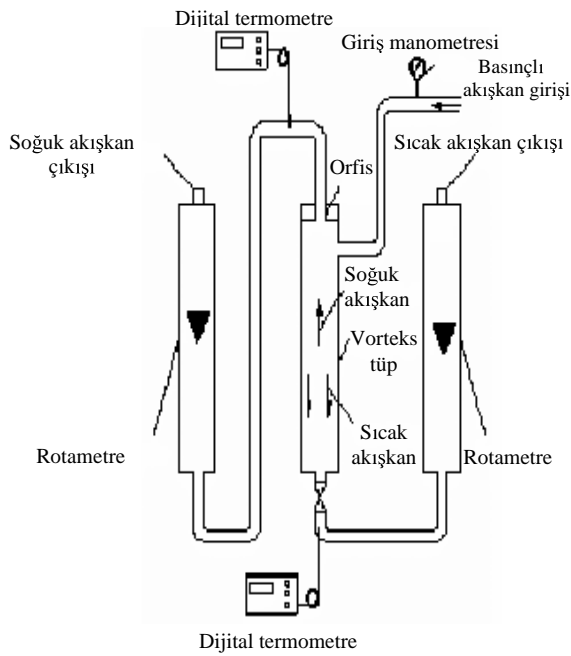
11. Buz elde etmekte,
 12. Uçaklar, uzay araçları ve madenlerin soğutulmasında,
 13. Buharlı güç üretim sistemlerinin çabuk çalışmaya başlaması için,
 14. İtfaiyeciler elbiselerinin soğutulmasında,
 15. Peltier soğutucuların performansını geliştirmek için termoçiftlerle birlikte,
 16. Dalgıçların hava ikmal kaynaklarının sıcaklık kontrolünde,
 17. Sualtı araştırma habitatı içerisindeki havanın şartlandırılmasında,
 18. Hiperbasınçlı odalarda,
 19. Lokal ısınmanın olduğu alanlarda soğutma,
 20. Düşük kapasiteli gıda soğutucularında kullanılması,
- olarak sıralanabilir [7].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deneysel Sistem

Bu çalışmada, iç çapı 11 mm, gövde uzunluğu 160 mm olan abyabatik-karşıt akışlı bir vorteks tüpü kullanılmıştır. Yüksek basınca karşı dayanımını arttırmak için iç çapı 14 mm olan çelik bir boru vorteks tüpün üzerine kafes amacıyla geçirilmiştir. Vorteks tüp, genişliği 50 cm, yüksekliği 60 cm, kalınlığı 2 mm olan bir levha üzerine kontrol valfi aşağı tarafta olacak şekilde dik konumda şekil 5 'deki gibi yerleştirilmiştir. Vorteks tüpüne, giren basınçlı akışkanın basıncını ölçmek için %1 hassasiyetinde manometre, çıkan soğuk ve sıcak akışkanın hacimsel debilerini ölçmek için %2 hassasiyetindeki rotametreler bağlanmıştır. Vorteks tüpünden çıkan soğuk ve sıcak akışkanların sıcaklıklarını ölçmek için ± 1 °C hassasiyetinde olan dijital termometreler kullanılmıştır. Dijital termometrelerin problemleri vorteks tüpünün sıcak ve soğuk çıkış taraflarından 1 cm ilerisine 1 mm çapında delinmiş tüpün merkezine gelecek şekilde yerleştirilmiş, etrafı silikonla kapatılarak sızdırmazlık sağlanmıştır.

Vorteks tüpünün sıcak akışkanın çıkış ucuna hacimsel debileri ayarlamak için bir kontrol valfi monte edilmiştir. Bu vananın açılıp kapanmasına bağlı olarak çalışan vorteks tüpünün performansı sıcak akışkanın sıcaklığı (T_a) ile soğuk akışkanın sıcaklığı (T_b) arasındaki fark olan $T_a - T_b$ cinsinden incelenmiştir. Dolayısı ile vorteks tüp deneysel sistemi çevre şartlarından bağımsızdır.



Şekil 5. Deneysel sistem

3.2. Deneylein Yapılışı

Vorteks tüpünün girişindeki vana ile hava kompresörü arasında yüksek basınca dayanıklı plastik hortum kelepçeler yardımıyla bağlanmıştır. Hava kompresörü çalıştırılmış ve vorteks tüpe akışkan girişindeki vana yardımıyla deneylerde başlangıç basıncı olan 2,0 bar'lık basınç sağlanmıştır. Yapılan basınç ayarlamasından sonra vorteks tüpünün sıcak ve soğuk akışkan çıkışına monte edilen dijital termometrelerdeki okunan sıcaklık değerleri sabit oluncaya kadar aynı basınçta hava kompresörden gönderilmiştir. Vorteks tüpe

girişteki basınç, sıcak ve soğuk akışkanın sıcaklık değerleriyle birlikte hacimsel debileri de okunmuştur. Daha sonra 2,5 bar olan basınç değerindeki deney 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 2,5 bar olan basınç değerindeki deney yapılmaya başlanmıştır. Burada, 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 ve 7,0 bar basınç değerleri için yapılan deneysel çalışmalarda, 2,0 bar'daki yapılan işlemler tekrarlanmıştır. Vorteks tüpünde 2,0 bar ve 7,0 bar arasında basınçlı hava gönderilerek yapılan deneyler tamamlandıktan sonra hava kompresörü sistemden çıkarılarak, yerine Argon gazının muhafaza edildiği tüp bağlanmıştır. Vorteks tüpünde akışkan olarak kullanılan Argon gazı için 2,0 bar ve 7,0 bar basınç değeri arasındaki deneylerdeki işlemler hava deneylerinde yapılan işlemlerin aynısıdır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bir girişli ve bir daimi akışlı açık sistemler için kütle korunumu prensibi,

$$\sum \dot{m}_{gir} = \sum \dot{m}_{çık} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir [10]. Eşitlik 9 vorteks tüpler için Eşitlik 10 şeklinde yazılabilir.

$$\dot{m}_{çık} = \dot{m}_a + \dot{m}_b \quad (10)$$

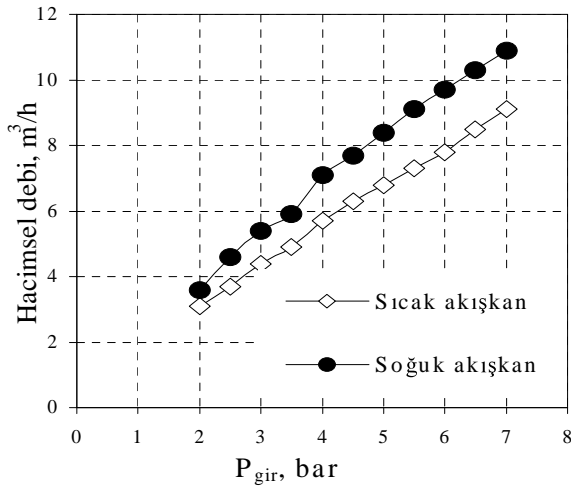
Vorteks tüplerinde, soğuk akışkanın kütle debisinin girişteki akışkanın kütle debisine oranı y_c olarak tanımlanmış ve Eşitlik 11 ile verilmiştir. $1 - y_c$ ise sıcak akışkanın kütle debisinin girişteki akışkanın kütle debisine oranıdır ve Eşitlik 12'deki gibi yazılabilir [14].

$$y_c = \frac{\dot{m}_b}{\dot{m}_{gir}} \quad (11)$$

$$1 - y_c = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{gir}} \quad (12)$$

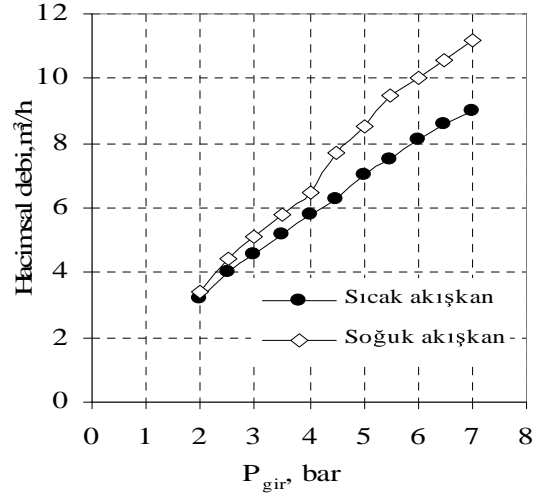
Vorteks tüplerde, sıcak akışın çıkış tarafında bulunan vananın açılıp kapanması ile y_c oranı değişmektedir. Yapılmış olan deneysel çalışmada ise vana tam olarak açık konumda bırakılarak deneyler yapıldığından dolayı y_c oranı sabit tutulmuştur.

Vorteks tüpe girişteki basıncın 2,0 bar'dan başlayarak 0.5 bar aralıklarla 7,0 bar'a kadar artırıldığında Hava ile Argon gazının, soğuk ve sıcak akışkanların hacimsel debilerinin vorteks tüpüne giriş basıncına göre değişim değerleri Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Hava ve Argon'unun soğuk ve sıcak akışkanların hacimsel debileri lineer bir doğru şeklinde artmıştır.



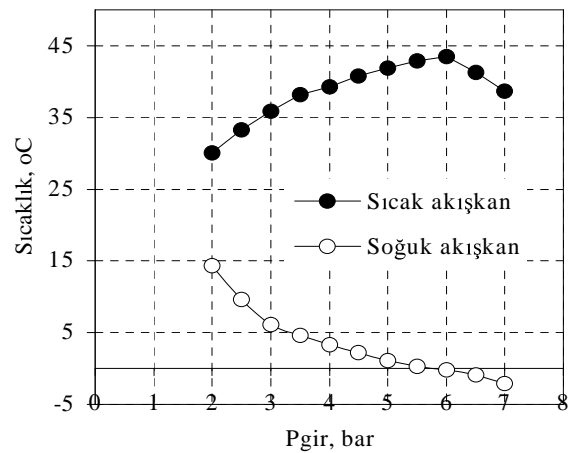
Şekil 6. Hava'nın vorteks tüpünden çıkan soğuk ve sıcak akışkanların hacimsel debilerinin girişteki gösterge basınca göre değişimi

Şekil 6 ve şekil 7'de görüldüğü gibi, hava ve argon gazının soğuk akışın hacimsel debisinin, sıcak akışın hacimsel debisinden daha fazla olduğu görülmektedir.

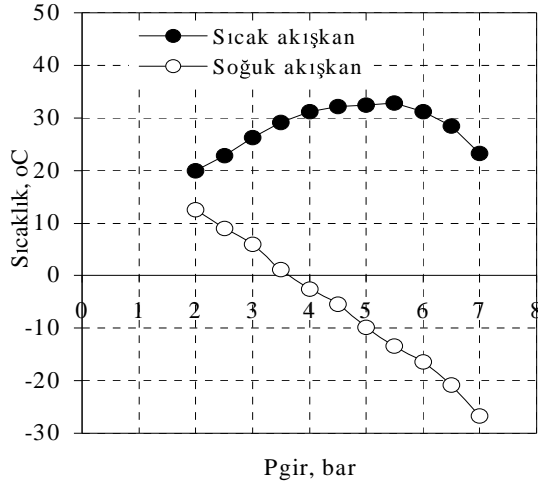


Şekil 7. Argon'un vorteks tüpünden çıkan soğuk ve sıcak akışkanların hacimsel debilerinin girişteki gösterge basınca göre değişimi

Şekil 8 ve Şekil 9'de Hava ve Argona ait vorteks tüpünden çıkan soğuk ve sıcak akışkan sıcaklık değerlerinin, vorteks tüpüne giriş gösterge basınç değerine göre değişimi verilmiştir.



Şekil 8. Hava'nın vorteks tüpünden çıkan sıcak ve soğuk akışkan sıcaklıklarının vorteks tüpe girişteki gösterge basınç değerine göre değişimi

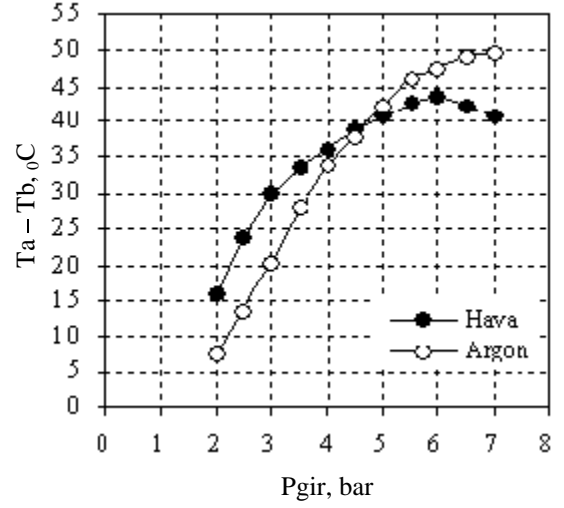


Şekil 9. Argon'un vorteks tüpünden çıkan sıcak ve soğuk akışkan sıcaklıklarının vorteks tüpe girişteki gösterge basınç değerine göre değişimi

Şekil 8 ve şekil 9 mukayese edilirse; Argon'un, havaya göre daha fazla soğuduğu deneysel olarak gözlemlenmiştir. Havanın 7,0 bar basıncındaki soğuk çıkış tarafındaki sıcaklığı -2.1 °C'e kadar soğurken aynı basınçta argon gazının soğuk çıkıştaki sıcaklığı ise -26.7 °C'ya kadar soğuduğu gözlemlenmiştir.

Vorteks tüpündeki sıcak akış çıkışındaki hava akışkanındaki maksimum sıcaklık değeri 6,0 bar basıncında 43.5 °C olduğu gözlemlenmiştir. Vorteks tüpündeki sıcak akış çıkışındaki argon gazı akışkanındaki maksimum sıcaklık değeri 5,5 bar basıncında 32.8 °C olduğu gözlemlenmiştir.

Deneysel sistemin performansı, sıcak akışkanın sıcaklığı (T_a) ile soğuk akışkanın sıcaklığı (T_b) arasındaki fark olan ($T_a - T_b$) cinsinden ifade edilmiştir. Şekil 10'da Hava ve argon gazlarına ait vorteks tüpüne giriş basıncına göre vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkan (T_a) ile soğuk akışkan (T_b) sıcaklıklarının farkları cinsinden ($T_a - T_b$) karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 10. Hava ve Argon'a ait vorteks tüpünden çıkan sıcak akışın sıcaklığı ile soğuk akışın sıcaklıkları farkının girişteki basınca göre değişimi

Hava ve argon gazlarının vorteks tüpünden çıkan soğuk akışkanın sıcaklığı ile sıcak akışkanın sıcaklıklarının farkları cinsinden performansları dikkate alınarak mukayese edilirse; Hava ve argon gazının $T_a - T_b$ cinsinden değeri vorteks tüpe girişteki 7 bar basıncındaki sıcaklık değerleri sırasıyla 40.8 °C ve 49.9 °C olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir. Havanın maksimum $T_a - T_b$ değeri 6 bar basınç'ta 43.7 °C'dir. Havanın $T_a - T_b$ değeri 6 bar basınç'dan sonra düşmeye başlamıştır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, 2,0 bar basıncından başlayarak 0,5 bar aralıkla 7,0 bar'a kadar değişik basınçlarda, hava ve Argon gazları ayrı ayrı vorteks tüp sistemine uygulanmıştır. Vorteks tüpünde oluşan enerji ayrışma olayı iki farklı akışkanda incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın sonuçları dikkate alınarak yorumlar getirilmiştir.

Deneysel olarak yapılan çalışmada y_c oranı sabit tutulmuştur. Sabit y_c oranına göre, vorteks tüpünde hava ve Argon gazları değişik

basınçlardaki performansları deneysel olarak incelenmiştir. Vorteks tüpünde yapılan deneyler sonucunda akışkan olarak Argon gazı kullanıldığında, soğuk akışkanın çıkış sıcaklığının havaya göre daha düşük olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir. Vorteks tüpüne giren akışkanın giriş basıncı arttırıldıkça, soğuk çıkıştaki akışkanların sıcaklığı hava ve Argon gazlarında düşmektedir. Argon gazı havaya göre soğuk çıkış akışkan sıcaklığının daha düşük olduğu görülmüştür. Sıcak çıkıştaki akışkanın sıcaklığı ile soğuk çıkıştaki akışkanın sıcaklığı arasındaki fark (T_a-T_b) hava ve Argon aralarında mukayese edildiğinde, Argon gazının performansı havaya göre yüksek olduğu deneysel olarak görülmüştür. Vorteks tüpüne giriş basıncı arttıktıkça hava ve Argon gazlarının performansıda artmıştır.

Vorteks tüpünde basıncı akışkan olarak hava kullanılmaktadır. Yapılan deneysel çalışma sonuçları dikkate alınırca, havada bulunan Argon miktarı arttırıldığında, soğuk çıkıştaki akışkan sıcaklığının daha da soğuk olacağı düşünülmektedir. Hava ve Argon gazlarının vorteks tüpüne giriş basıncı arttırıldığında sıcak çıkış ve soğuk çıkış sıcaklıklarının farkları da artacaktır. Yapılmış olan literatür çalışmalarında bu tür bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

6. SEMBOLLER

A	: Kesit alan, m ²
\dot{m}	: Kütleli debi, kg/s
M	: Momentum, Nm
ρ	: Girişteki akışkanın yoğunluğu, kg/m ³
V	: Hız, m/s
ρ	: Yoğunluk, kg/m ³
Q	: Hacimsel debi, m ³ /s
r	: Yarıçap, m
ω	: Açısal momentum, rad/s

y_c : Soğuk akışın kütle debisinin girişteki akışın kütle debisine oranı

İndisler

A	: sıcak akış
b	: soğuk akış
çık	: çıkış
gir	: giriş

6. KAYNAKLAR

- Özkul N., “Uygulamalı Soğutma Tekniği”, Makina Mühendisleri Odası, Yayın No:115, Ankara, 24-25 (1999).
- Yılmaz M., Çomaklı Ö., Kaya M., Karslı S., “Vorteks Tüpler: 1-Teknolojik Gelişim”, Mühendis ve Makine, 47 (554): 42-51 (2006).
- Althouse A. D., Turnquist C. H., Bracciano A. F., “Modern Refrigeration and Air Conditioning”, The Goodheart-Willcox Company Inc., South Holland, 633 (1979).
- Balmer R., “Pressure Driven Ranque-Hilsch Temperature Separation in Liquids”, Journal of Fluids Engineering-Trans. of Asme, 110 (2): 161-164 (1988).
- Özgür A., E., Selbaş R., Üçgül İ., “Vorteks Tüpler İle Soğutma Uygulamaları”, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 387-397 (2001).
- Gulyaev A. I., “Investigation of Conical Vortex Tubes”, Inzherno-Fizicheskii Zhurnal, 10 (3): 326-331 (1966).
- Özgür A. E., “Vorteks Tüplerin Çalışma Kriterlerine Etki Eden Faktörlerin ve Endüstrideki Kullanım Alanlarının Tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Isparta, 70 (2001).
- Fröhlingsdorf W., Unger H., “Numerical Investigations of Compressible Flow and the Energy Separation in the Ranque-Hilsch Vortex Tube. int”. International Journal of Heat and Mass Transfer, 42: 415-422 (1999).
- Cockerill T., “The Ranque-Hilsch vortex Tube”, Ph. D. Thesis, Cambridge University Engineering Department, Susderland, 243, (1995).
- Nabhani N., “Hot-wire Anemometry Study of Confined Turbulent Swirling Flow”, PhD

- Thesis. Bradford University, Bradford, U.K. (1989).
11. Dincer K., Başkaya Ş., Üçgül İ., Uysal B. Z., “Giriş ve Çıkış Kütleli Debilerinin Bir Vorteks Tüpün Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, 14.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiri Kitabı, Isparta, 13-18 (2003).
 12. Azarov A., “Qualimetric Method of Comparison of Refrigeration Systems According to the Totality of Their Technological and Operational Characteristic. Int. Conf.”, Resources Saving in Food Industry, 143-144 (1998).
 13. Bruno T., “Applications of The Vortex Tube in Chemical Analysis”, Process Control and Quality, 3: 195-207 (1992).
 14. Stephan K., Lin S., Durst M., Huang F., Seher D., “An Investigation of Energy Separation In A Vortex Tube”, Journal of Heat Mass Transfer, 26 (3): 344-348 (1983).

Geliş Tarihi: 14/11/2006

Kabul Tarihi: 30/01/2007