

VORTEKS TÜPÜNDE AKIŞKAN OLARAK KULLANILAN HAVA, OKSİJEN, KARBONDİOKSİT, KARIŞIM GAZININ SOĞUTMA- ISITMA SICAKLIK PERFORMANSLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Volkan KIRMACI*

*Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 74100, Bartın, TÜRKİYE

ÖZET

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. Yapılmış olan deneysel çalışmada, basınçlı akışkan olarak Hava, Oksijen, Karbondioksit ve Karışım gazı kullanılmıştır. Hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazı vorteks tüpüne giriş basınçları 2.0 bar'dan 7.0 bara kadar 1.0 bar aralıklarla değişik basınçlarda uygulanmıştır. Bu çalışmada, vorteks tüplerde oluşan enerji ayrışma olayı dört farklı akışkanda deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonuçları dikkate alınarak, Hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazına ait grafikler oluşturulmuştur. Vorteks tüpünde, oksijen, karbondioksit ve karışım gazına ait grafikler incelenerek performanslarının artırılmasına yönelik öneriler getirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ranque–Hilsch vorteks tüp, enerji ayrışımı, soğutma, ısıtma

EXPERIMENTAL STUDY OF COOLING – HEATING PERFORMANCES OF AIR, OXYGEN, CARBON DIOXIDE AND MIX GASES WHICH ARE USED AS 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. In the experimental studies, the control valve on the outlet side of the hot fluid was open

position. In the executed experimental study, Air, oxygen, carbon dioxide and mix gases as pressured fluid were used. Air, oxygen, carbon dioxide and mix gases were applied to vortex tube for inlet pressure from 2.0 bar to 7.0 bar in 1.0 bar intervals. In this study, energy–separation case which occurs in the vortex tubes was investigated experimentally for four different fluids and the thermodynamic investigations studied. At the end of the experiments, the graphics on Air, oxygen, carbon dioxide and mix gases were established. The graphics on Air, oxygen, carbon dioxide and mix gases in vortex tube were interpreted by inspecting them, and there were suggestions on increasing their performances.

Key words: Ranque–Hilsch vortex tube, energy separation, exergy analysis.

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 ısınma işlemi gerçekleştirebilen bir sistemdir [3]. Ebatlarının küçük ve hafif olmaları, gecikmesiz rejime ulaşmaları, kimyasal soğutkanlar gerektirmemeleri ve dolayısıyla ekolojik açıdan zararlı olmamaları gibi birçok özellikleri ile vorteks tüpler günümüzde birçok soğutma ve ısıtma problemine çözüm olabilmektedirler [4, 5].

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

A-) Akış özelliklerine göre;

I. Karşıt akışlı vorteks tüpler,

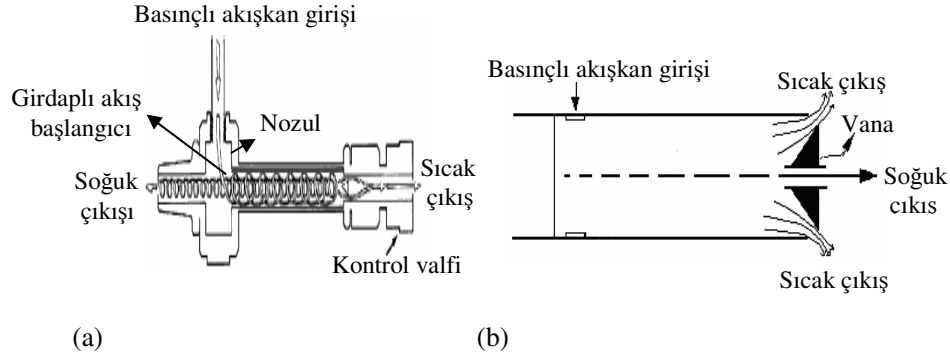
II. Paralel akışlı vorteks tüpler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.

B-) Tasarım özelliklerine göre;

I. Adyabatik vorteks tüpler,

II. Adyabatik olmayan vorteks tüpler,

olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar [6,7]. 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 a ve b’de verilmiştir.



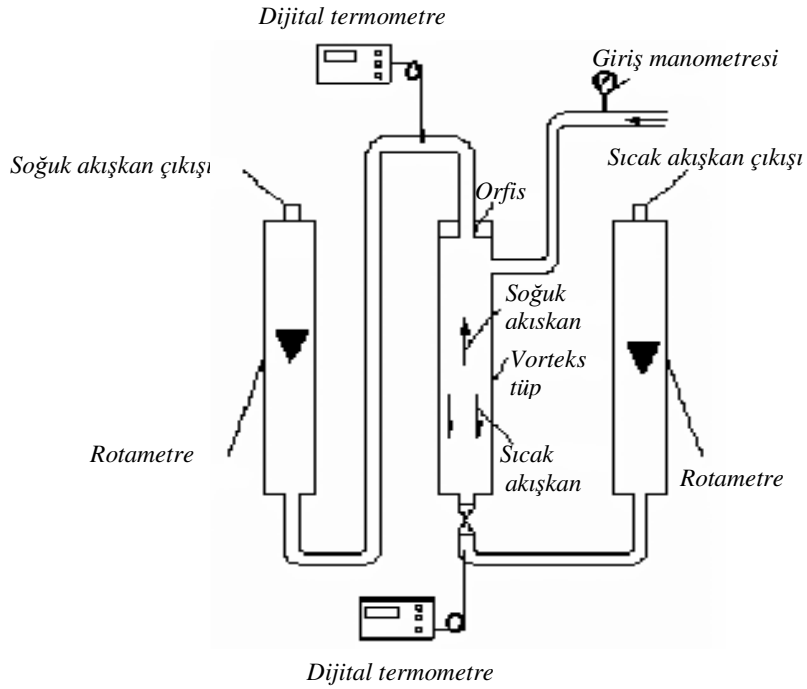
Şekil 1. Vorteks tüpünün yapısı [9].

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. 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 2'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. 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 3,0 bar olan basınç değerindeki 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 3,0 bar olan basınç değerindeki deney yapılmaya başlanmıştır. 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 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 basınçlı hava akışını sağlayan kompresör bağlantısı sistemden çıkarılmıştır. Daha sonra oksijen, karbondioksit ve karışım gazının muhafaza edildiği tüpler sırasıyla bağlanarak 2,0 bar ve 7,0 bar basınç değeri arasındaki deneysel işlemler hava deneyinde yapılan işlemler yapılmıştır.



3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bir giriş ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistemler için kütle korunumu,

$$\sum \dot{m}_{gir} = \sum \dot{m}_{çık} \quad (1)$$

\dot{m}_{gir} : Girişteki akışkanın kütleli debisi, kg/s

$\dot{m}_{çıkş}$: Çıkıştaki akışkanın kütleli debisi, kg/s

şeklinde [10]. Eşitlik 1 vorteks tüpler için Eşitlik 2 şeklinde yazılabilir.

$$\dot{m}_{çık} = \dot{m}_a + \dot{m}_b \quad (2)$$

Vorteks tüplerinde, soğuk akışkanın kütle debisinin girişteki akışkanın kütle debisine oranı y_c olarak tanımlanmış ve Eşitlik 3 ile verilmiştir. $1-y_c$ ise sıcak akışkanın kütle debisinin girişteki akışkanın kütle debisine oranıdır ve Eşitlik 4'de ki gibi yazılabilir.

$$y_c = \frac{\dot{m}_b}{\dot{m}_{gir}} \quad (3)$$

$$1 - y_c = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{gir}} \quad (4)$$

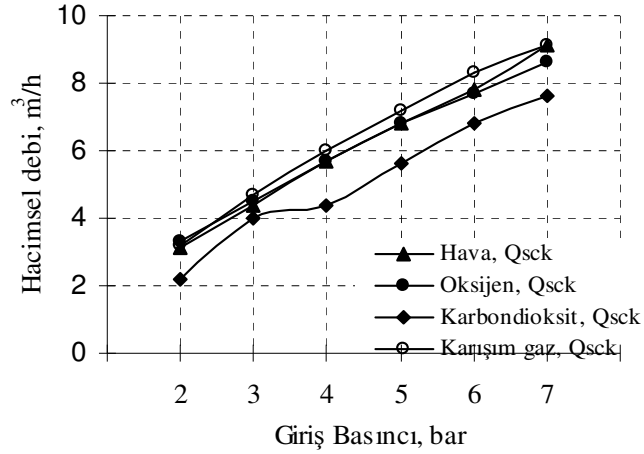
\dot{m}_a : Sıcak akışkanın kütleli debisi, kg/s

\dot{m}_b : Soğuk akışkanın kütleli debisidir, kg/s [11].

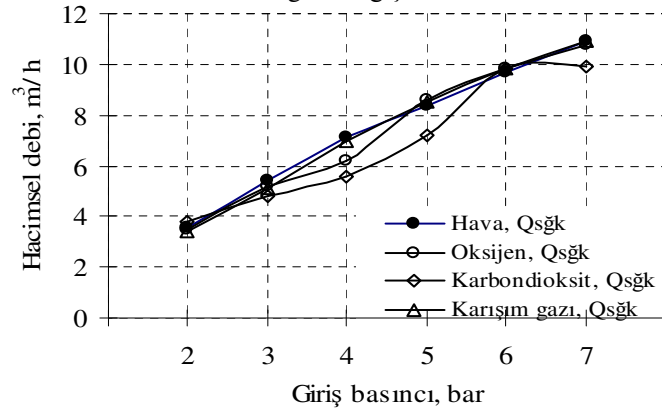
Vorteks tüplerde, sıcak akışın çıkış tarafında bulunan vananın açılıp kapanması ile y_c oranı değişmektedir. Yapılmış olan deneysel çalışmada ise vana tam açık konumda bırakılarak deneyler yapıldığından dolayı y_c oranı sabit tutulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmada ilk olarak hava ve hava içinde bulunan oksijen ve karbondioksit gazları vorteks tüpünden denenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre bir tüp içerisine %50 oksijen ile %50 karbondioksit gazı basılarak bir karışım gazı elde edilmiştir. Elde edilen karışım gazı hava, oksijen ve karbondioksit gazlarının vorteks tüpündeki performansları karşılaştırılmıştır.

Şekil 3 ve Şekil 4’de hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazına ait sıcak ve soğuk akışkanın hacimsel debilerinin vorteks tüpüne giriş basıncına göre değişim değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazının vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkanın hacimsel debilerinin vorteks tüpüne girişteki basınca göre değişimi.

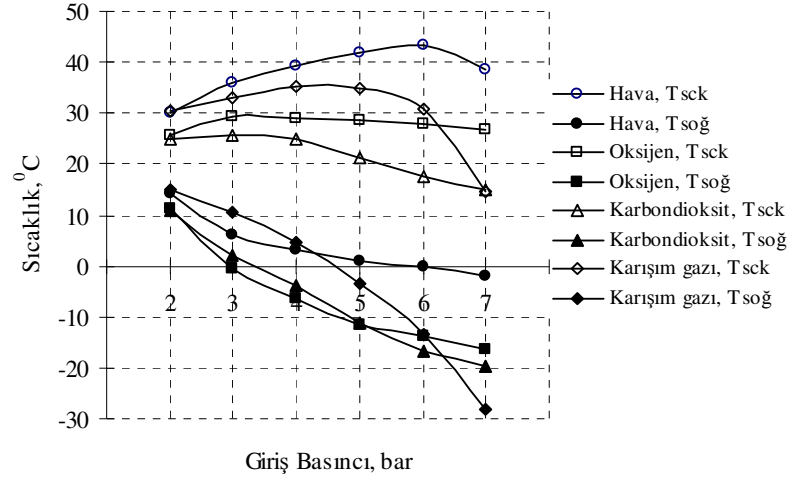


Şekil 4. Hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazının vorteks tüpünden çıkan soğuk akışkanın hacimsel debilerinin vorteks tüpüne girişteki basınca göre değişimi.

Şekil 3 ve Şekil 4’de görüldüğü gibi, Hava, oksijen, karbondioksit, karışım gazının soğuk ve sıcak akışkanların hacimsel debileri lineer bir doğru

şeklinde artmıştır. Hava, oksijen, karbondioksit, karışım gazlarının soğuk akışın hacimsel debisinin, sıcak akışın hacimsel debisinden daha fazla olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5’de hava, oksijen, karbondioksit, ve karışım gazlarının vorteks tüpünden, çıkan sıcak akışkanın sıcaklığı (T_{sck}) ve soğuk akışkanın sıcaklığının ($T_{soğ}$) girişteki basınç ile değişimi verilmiştir.



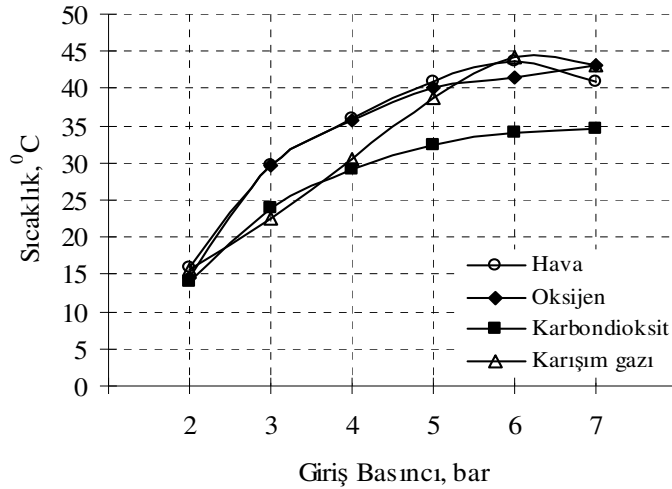
Şekil 5. Hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazının T_{sck} ve $T_{soğ}$ 'nın vorteks tüpü girişteki basınç ile değişimleri.

Hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazının vorteks tüpünün soğuk çıkış tarafından çıkan akışkan sıcaklıkları dikkate alınarak mukayese edilirse; 7 bar basınçta vorteks tüpüne giren karışım gazı, karbondioksit, oksijen ve havanın, vorteks tüpünden çıkan soğuk akışkan sıcaklıkları sırasıyla -28,2 °C -19,7 °C; -16,4 °C ve -2,1 °C olmaktadır. Karışım gazının, karbondioksitin, oksijen ve havaya göre daha düşük sıcaklıklara soğuduğu deneysel olarak gözlemlenmiştir. Hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazının 7 bar basınçta vorteks tüpünün sıcak akışkan çıkış sıcaklığındaki sıcaklık değeri sırasıyla 38,7 °C; 26,7 °C; 15 °C; 14,7 °C ölçülmüştür.

Ayrıca yapılan deneylerde vorteks tüpünden çıkan maksimum sıcak akışkan sıcaklıkları sırasıyla, hava; 6 bar basıncında 43,5 °C, oksijen; 3 bar basıncında 29,2 °C, karbondioksit; 3 bar basıncında 28,8 °C, karışım gazı; 4 bar basıncında 35,4 °C'dır.

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 6'da Hava, oksijen, karbondioksit ve karışım 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.

Hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazlarının vorteks tüpünden çıkan soğuk akışkanın sıcaklığı ile sıcak akışkanın sıcaklıklarının farkları cinsinden performansları dikkate alınarak mukayese edilirse; karışım gazı, hava, oksijen ve karbondioksit gazının T_a-T_b cinsinden değeri vorteks tüpe girişteki 7 bar basıncındaki sıcaklık değerleri sırasıyla 43 °C; 40,8 °C; 43,1 °C; ve 34,7 °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.



Şekil 6. Hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazına ait sıcak akışın sıcaklığı ve soğuk akışın sıcaklıkları farkının girişteki basınca göre değişimi.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, 2,0 bar basınçtan başlayarak 1,0 bar aralıklarla 7,0 bar'a kadar değişik basınçlarda, hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazları ayrı ayrı vorteks tüp sistemine uygulanmıştır. Vorteks tüpünde oluşan enerji

ayırışma olayı dört 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, oksijen, karbondioksit ve karışım gazları değişik basınçlardaki performansları deneysel olarak incelenmiştir. Vorteks tüpünde yapılan deneyler sonucunda akışkan olarak oksijen ve karbondioksit gazı kullanıldığında, soğuk akışkanın çıkış sıcaklığının performansının havaya göre daha düşük olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir. Oksijen ve karbondioksitin eşit oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen karışım gazı, oksijen ve karbondioksit gazından elde edilen soğuk akışkanın sıcaklığından daha da düşük sıcaklıkta olmaktadır (Şekil 6).

Vorteks tüpüne giren akışkanın giriş basıncı arttırıldıkça, soğuk çıkıştaki akışkanların sıcaklığı hava, oksijen karbondioksit ve karışım gazında düşmektedir. Karışım gazı, oksijen ve karbondioksit gazları 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, karışım gazı oksijen ve karbondioksit aralarında mukayese edildiğinde, karbondioksit gazının performansı hava, karışım gazı ve oksijene göre daha düşük olduğu deneysel olarak görülmüştür (Şekil 6). Vorteks tüpüne giriş basıncı arttııkça hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazlarının performansı da artmıştır.

Yapılan deneysel çalışma sonuçları dikkate alınırca, havada bulunan O_2 ve CO_2 miktarı arttırıldığında, soğuk çıkıştaki akışkan sıcaklığının daha da soğuk olacağı düşünülmektedir. Hava, oksijen, karbondioksit ve karışım gazlarının vorteks tüpüne giriş basıncı arttırıldığında sıcak çıkış ve soğuk çıkış sıcaklıklarının farkları da artacaktır. Yapılmış olan literatür çalışmalarında bu tür bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Özkul, N., “Uygulamalı Soğutma Tekniği”, Makina Mühendisleri Odası, Yayın No:115, Ankara, s. 24-25, (1999).
2. Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Kay, M., Karlı, S., “Vorteks Tüpler: 1- Teknolojik Gelişim”, Mühendis ve Makine, 47, 554, s. 42-51, (2006).

3. Althouse, A. D., Turnquist, C. H., Bracciano, A. F., “Modern Refrigeration and Air Conditioning”, The Goodheart-Willcox Company Inc., South Holland, pp. 633, (1979).
4. Balmer, R., “Pressure Driven Ranque-Hilsch Temperature Separation in Liquids”, Journal of Fluids Engineering-Trans. of Asme, 110, 2, pp.161-164, (1988).
5. Özgür, A., E., Selbaş, R., Üçgül, İ., “Vorteks Tüpler İle Soğutma Uygulamaları”, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 387-397, (2001).
6. 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, s. 70, (2001).
7. Usta, H., Dincer, K., Kırmacı, V., “Vorteks Tüpünde Akışkan Olarak Kullanılan Hava İle Oksijenin Soğutma Sıcaklık Performanslarının Deneysel İncelenmesi”, Teknoloji, 7, 3, s. 415-425, (2004).
8. 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, pp. 415-422, (1999).
9. Cockerill, T., “The Ranque-Hilsch vortex Tube”, Ph. D. Thesis, Cambridge University Engineering Department, Susderland, pp. 243, (1995).
10. Çengel, Y., Boles, M., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, Literatür Yayıncılık Ltd., İstanbul, s.780, (1996).
11. 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, s. 344-348, (1983).