

Altı Nozullu Vorteks Tüpünün Soğutma–Isıtma Sıcaklık Performanslarının Deneysel Olarak İncelenmesi

Volkan KIRMACI
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada, hacimsel debileri ayarlamak için bir kontrol vanası hariç hiçbir hareketli parçası bulunmayan vorteks tüpü kullanılmıştır. İç çapı 10 mm, uzunluğunun çapa oranı 15, 6 nozullu olan vorteks tüp imal edilmiş ve hava ile denenmiştir. Vorteks tüpü giriş basıncı 150 kPa'dan başlayarak 50 kPa aralıklarla 700 kPa kadar farklı basınçlar ve 0,50'den başlayarak 0,20 aralıklarında değiştirilerek 0,70 γ_c oranlarında oluşan enerji ayrışma olayı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçları grafiklerle değerlendirilmiştir.

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

Experimental Investigation of Cooling–Heating Performance of A Six Nozzle Vortex Tube

ABSTRACT

In this study a vortex tube which has no moving parts excluding a control valve adjusting the volumetric flow rates has been used. The vortex tube has an internal diameter of 10 mm and a length to diameter ratio of 15 and 6 nozzles was produced and tested with air. Vortex tube with inlet pressures ranging from 150 kPa to 700 kPa in 50 kPa intervals with and for γ_c ratio from 0,5 to 0,7 in 0,20 intervals energy–separation case was investigated experimentally. Experimental results were evaluated by graphicness.

Key words: Ranque–Hilsch vortex tube, Energy separation, Cooling.

1. GİRİŞ

Vorteks tüpü, 1931 yılında metalurjist ve fizikçi olan George Joseph Ranque tarafından bulunmuş ve Rudolph Hilsch tarafından geliştirilmiştir (1). Vorteks tüpü, hareketli bir parçası bulunmayan basit bir borudan ibaret olan basınçlı akışkan kullanılarak aynı anda hem soğutma hem de ısıtma işlemi gerçekleştirebilen bir sistemdir (2).

Aynı anda sıcak ve soğuk akış üretimi yapılabilmesinden dolayı vorteks tüplerin pek çok endüstriyel uygulaması vardır. Vorteks tüpün tek hareketli parçası olan ve sıcak akış çıkış ucuna yerleştirilen ayar vanası, sıcak ve soğuk akışların debi değerlerini ayarlamak için kullanılır. Vorteks tüplerde meydana gelen sıcaklık ayırımı olayına etki eden bazı faktörler vardır. Akışkanın giriş basıncı, tüpün geometrik özellikleri, giriş kesitindeki nozulun etkisi, tüpün iç cidar pürüzlülüğü gibi faktörler bunlara örnektir (3,4).

Ebatlarının küçük ve hafif olması, gecikme olmaksızın rejime ulaşmaları, kimyasal soğutkanlar gerektirmemeleri ve dolayısıyla ekolojik açıdan zararlı olmamaları gibi özellikleri ile vorteks tüpler günümüzde değişik uygulama alanlarında kullanılırlar (5).

Vorteks tüpleri akış ve tasarım özelliklerine göre iki ana grupta toplanabilir. Bunlar;

- a-) Akış özelliklerine göre;
 - a. Karşıt akışlı vorteks tüpler,
 - b. Paralel akışlı vorteks tüpler,
- b-) Tasarım özelliklerine göre;
 - a. Adyabatik vorteks tüpler,
 - b. Adyabatik olmayan vorteks tüpler,

olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar (6).

Vorteks tüpler böyle bir gruplandırmaya tabi tutulmalarına rağmen vorteks tüplerinin çalışma prensipleri aynı ilkelere dayanır. Karşıt ve paralel akışlı vorteks tüplerinin çalışma prensibi Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir

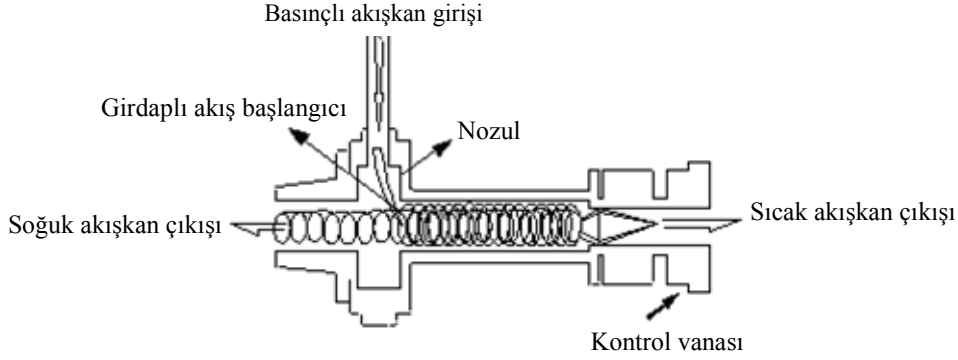
2. VORTEKS TÜPÜNÜN ÇALIŞMA PRENSİBİ ve UYGULAMA ALANLARI

2.1. Vorteks Tüpünün Çalışma Prensibi

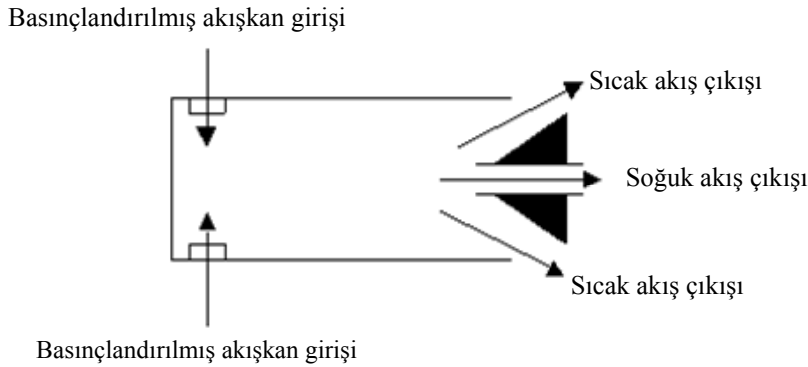
Vorteks tüpe basınçlı akışkan, Şekil 3'te gösterildiği gibi bir nozuldan geçtikten sonra tüpe teğetsel olarak gönderilir. Bu etki ve tüpün silindirik şekli sayesinde tüp içerisinde çok yüksek açılal hızla

sahip akış oluşur. Bu akış merkezkaç kuvvetler etkisi altında tüp cidarına doğru açılmaya zorlanır.

ğince artar. Dolayısıyla tüp içerisinde birbirinden farklı açısız hızlarda döneren iki akış oluşur.



Şekil 1. Karşıt akışlı vorteks tüpünün yapısı [7].



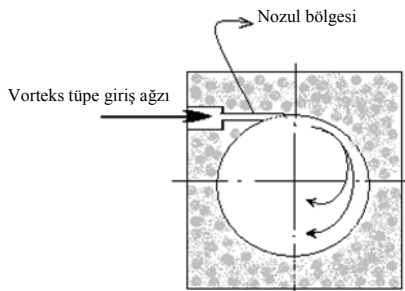
Şekil 2. Paralel akışlı vorteks tüpünün yapısı [8].

2. VORTEKS TÜPÜNÜN ÇALIŞMA PRENSİBİ ve UYGULAMA ALANLARI

2.1. Vorteks Tüpünün Çalışma Prensibi

Vorteks tüpe basınçlı akışkan, Şekil 3'te gösterildiği gibi bir nozuldan geçtikten sonra tüpe teğetsel olarak gönderilir. Bu etki ve tüpün silindirik şekli sayesinde tüp içerisinde çok yüksek açısız hızla sahip akış oluşur. Bu akış merkezkaç kuvvetler etkisi altında tüp cidarına doğru açılmaya zorlanır.

Bu arada tüp cidarındaki akışın basıncı, tüp merkezine oranla daha yüksek olur. Bu sebeple akışın bir kısmı radyal yönde tüp merkezine doğru genişler. Bu akışın açısız hızı, açısız momentumun korunumu gere-



Şekil 3. Akışın vorteks tüpe teğetsel olarak nozuldan gönderilmesi

Tüp merkezine yakın ve daha yüksek hızlı akış, tüp cidarına yakın olan ve daha düşük hızlı akışı ivmelenmeye çalışır. Tüp cidarındaki akışkan, cidardaki sürtünmenin etkisi ile, tüp merkezindeki akışkanın hızına göre daha düşüktür.

Bu sebepten dolayı merkezdeki akışkan tüp cidarındaki akışkana enerji transfer eder ve bir durma noktasından sonra vorteks tüpün geometrik yapısına bağlı olarak ters yönde hareket ederek vorteks tüpü terk eder (Şekil 1). Enerjisini transfer eden soğuk akışkan, enerji transfer edilen ise sıcak akışkandır (4).

2.2. Vorteks Tüplerin Kullanım Alanları

Vorteks tüplerden aynı anda hem sıcak hem de soğuk akışkan elde edilmektedir. Vorteks tüplerinin kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Vorteks tüpler;

- Spot soğutma uygulamalarında,
- Kimyasal analizlerde,
- Orta sıcaklıklı kromatografik analizlerde,
- Kromatografik şırınganın soğutulmasında,
- Çözeltilerin soğutulmasında,
- Nem alınmasında,
- Kızılötesi analizlerde numunenin soğutulmasında,
- Düşük sıcaklık işlemlerinde,

- Elektronik devrelerin soğutulmasında,
- Gaz endüstrisinde kurutma işlerinde,
- Kar elde etmek,

amacıyla kullanılmaktadır (9).

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

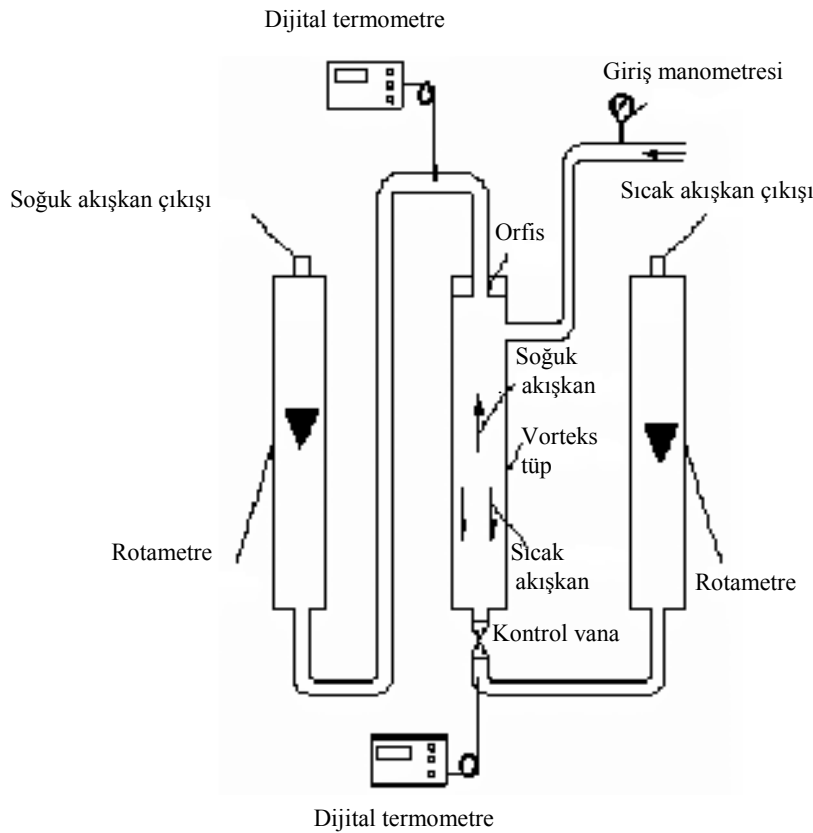
3.1. Deneysel Sistem

Bu çalışmada, iç çapı 10 mm, gövde uzunluğu 150 mm, 6 nozullu 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 şeklinde geçirilmiştir. Vorteks tüp, genişliği 50 cm, yüksekliği 60 cm, kalınlığı 2 mm olan bir levha üzerine kontrol vanası aşağı tarafta olacak şekilde dik konumda Şekil 4 'teki gibi yerleştirilmiştir.

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

3.2. Deneyleerin Yapılışı

Vorteks tüpünün girişindeki vana ile hava kompresörü arasına yüksek basınca dayanıklı plastik hortum kelepçeler yardımıyla bağlanmıştır. Vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkan tarafında bulunan vana tam açık konumdayken, hava kompresörü çalıştırılmış ve vorteks



Şekil 4. Deneysel sistem

Vorteks tüpüne, giren basınçlı akışkanın basıncını ölçmek için %1 hassasiyetinde manometre, çıkan soğuk ve sıcak akışkanın hacimsel debilerini ölçmek için rotametreler bağlanmıştır. Rotametreler havanın hacimsel debisini ölçmek üzere kalibre edilmiş olup, skala değeri üzerinden $\pm\%2$ hassasiyetle ölçüm yapmaktadır.

Vorteks tüpünden çıkan soğuk ve sıcak akışkanların sıcaklıklarını ölçmek için $\pm 1^\circ\text{C}$ 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.

tüpe akışkan girişindeki vana yardımıyla deneylerde başlangıç basıncı olan 150 kPa 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, vorteks tüpünden çıkan sıcak ve soğuk akışkanın sıcaklık değerleriyle birlikte hacimsel debileri de okunmuştur. Daha sonra aynı basınç değerinde vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkan tarafında bulunan vana yavaş yavaş kapatılarak soğuk ve sıcak akışkan sıcaklıkları termometrelerden

okunmuştur. Daha sonra 200 kPa 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 beklenmiştir. Okunan değerler eşitlendikten sonra 200 kPa olan basınç değerindeki deneye yapılmaya başlanmıştır. Bu işlem, deneysel çalışmadaki diğer basınçlar için uygulamalarında tekrarlanmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

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

$$\sum m_{gir} = \sum m_{çkş} \quad (1)$$

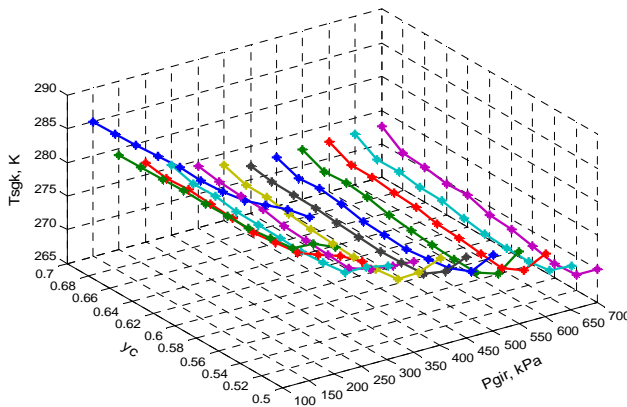
şeklinde yazılabilir. Eşitlik 1 vorteks tüpü için Eşitlik 2 şeklinde yazılabilir (14).

$$m_{çkş} = m_a + m_b \quad (2)$$

eşitlikte ile ifade etmektedir. Vorteks tüpünde, soğuk akışkanın kütleli debisinin girişteki akışkanın kütleli debisine oranı y_c olarak tanımlanmış ve eşitlik 3 ile verilmiştir (10).

$$y_c = \frac{m_b}{m_{gir}} \quad (3)$$

Vorteks tüplerinde, sıcak akışın çıkış tarafında bulunan vananın açılıp kapanması ile y_c oranı değişmektedir. Yapılmış olan bu deneysel çalışmada, vorteks tüpün sıcak akışkan çıkışındaki vana tam açık konumda iken ilk deneye başlanmış ve yavaş yavaş kapatılarak 0,50 'den başlayarak 0,02 aralıklarında değiştirilerek 0,70 y_c oranlarında değişik basınçlarda deneyler yapılmıştır. Şekil 5'de havaya ait soğuk akışkan sıcaklığı ile giriş basıncının y_c göre değişim değerleri gösterilmiştir.



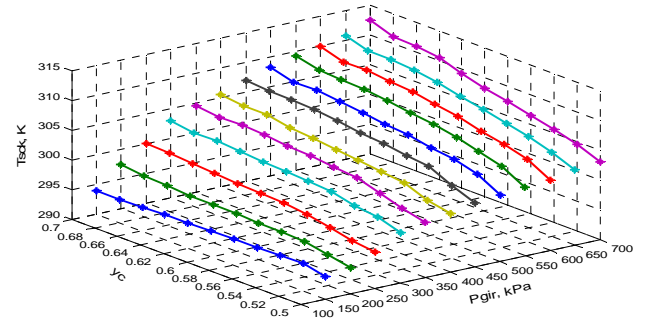
Şekil 5. Vorteks tüpünde girişteki basıncının çıkan soğuk akışkan sıcaklığının y_c 'ye göre değişimi

Vorteks tüpünün sıcak akışkan çıkış tarafındaki vana tam açık konumda y_c oranı 0.5 olmaktadır. Şekil 5'de görüldüğü gibi y_c oranını 0.50 - 0.64 değerleri

arasında vorteks tüpüne giriş basıncı arttıkça, vorteks tüpünden çıkan soğuk akışkan sıcaklığı düşmektedir.

y_c 0.50 giriş basıncı 150 kPa'da soğuk akışkan sıcaklığı 289.4 K iken 700 kPa basıncında soğuk akışkan sıcaklığı 269.9 K; y_c oranı 0.64 giriş basıncı 150 kPa'da soğuk akışkan sıcaklığı 285.4 K iken 700 kPa basıncında soğuk akışkan sıcaklığı 269.7 K'dır. Deneyler elde edilen en düşük soğuk akışkan sıcaklığı 0.54 y_c oranında 700 kPa basıncında 267 K olarak ölçülmüştür.

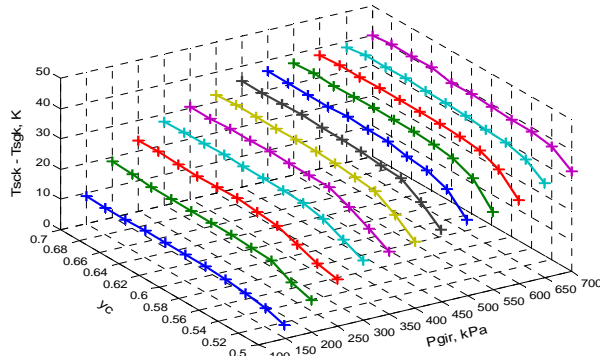
y_c 0.66 ile 0.70 oranları arasında ise vorteks tüpünden çıkan soğuk akışkan sıcaklığı, y_c 0.50 ile 0.64 oranları arasındaki sıcaklıklara kıyaslandığında daha yüksek olarak ölçülmüştür. y_c 0.66 oranında giriş basıncı 150 kPa'da soğuk akışkan sıcaklığı 285.3 K iken 700 kPa basıncında soğuk akışkan sıcaklığı 270.3 K; y_c oranı 0.70 giriş basıncı 150 kPa'da soğuk akışkan sıcaklığı 285.0 K iken 700 kPa basıncında soğuk akışkan sıcaklığı 272.7 K'dır. Şekil 6'da vorteks tüpünde, girişteki basıncın 150 kPa'dan başlayarak 50 kPa aralıklarla 700 kPa'a kadar yükseltilerek çıkan sıcak akışkan sıcaklığının, y_c 'ye göre değişimi verilmiştir.



Şekil 6. Vorteks tüpünde girişteki basıncının çıkan sıcak akışkan sıcaklığının y_c 'ye göre değişimi

Şekil 6'da görüldüğü gibi y_c 0.50 ile 0.70 oranları arasında vorteks tüpüne giriş basıncı arttıkça, vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkan sıcaklığı artmaktadır. y_c 0.50 oranında giriş basıncı 150 kPa'da sıcak akışkan sıcaklığı 293.9 K iken 700 kPa basıncında sıcak akışkan sıcaklığı 303.0 K; y_c oranı 0.70 giriş basıncı 150 kPa'da sıcak akışkan sıcaklığı 293.9 K iken 700 kPa basıncında sıcak akışkan sıcaklığı 312.6 K'dır.

Deneysel sistemin performansı, sıcak akışkanın sıcaklığı (T_{sck}) ile soğuk akışkanın sıcaklığı (T_{sgk}) arasındaki fark olan ($T_{sck} - T_{sgk}$) cinsinden ifade edilmiştir. Şekil 7'de vorteks tüpüne girişteki basıncın 150 kPa'dan başlayarak 50 kPa aralıklarla 700 kPa'a kadar yükseltilerek vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkan (T_{sck}) ile soğuk akışkan (T_{sgk}) sıcaklıklarının farkları cinsinden ($T_{sck} - T_{sgk}$), y_c oranlarına göre değişimi verilmiştir.



Şekil 7. Vorteks tüpünde girişteki basıncının $T_{sck}-T_{sgk}$ farkının y_c 'ye göre değişimi

Şekil 7'de görüldüğü gibi y_c 0.50 ile 0.70 arasında vorteks tüpüne giriş basıncı arttıkça, vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkan sıcaklığı ile soğuk akışkan sıcaklığı arasındaki fark artmaktadır. y_c 0.50 oranında giriş basıncı 150 kPa'da $T_{sck}-T_{sgk}$ farkı 4.5 K iken 700 kPa basıncında $T_{sck}-T_{sgk}$ farkı 33.1 K; y_c oranı 0.70 giriş basıncı 150 kPa'da $T_{sck}-T_{sgk}$ farkı 8.9 K iken 700 kPa basıncında $T_{sck}-T_{sgk}$ farkı 39.9 K'dır. Deneyler elde edilen en yüksek $T_{sck}-T_{sgk}$ farkı 0.64 y_c oranında 700 kPa basıncında 40.8 K olarak tespit edilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Vorteks tüpü girişindeki hava basıncı, 150 kPa'dan başlayarak 50 kPa aralıklarla 700 kPa'a kadar değiştirilmiştir. Vorteks tüpünde, soğuk akışkanın kütle debisinin girişteki akışkanın kütle debisine oranı olarak tanımlanan y_c 0.5 oranından başlayarak 0.02 aralıklarla 0.7'e kadar değiştirilerek tüm basınç değerlerine göre çıkan soğuk ve sıcak akışkan sıcaklıklarının performansları deneysel olarak incelenmiştir.

Vorteks tüpünde yapılan deneyler sonucunda soğuk akışkan sıcaklığı y_c oranı 0.50 ile 0.64 arasında vorteks tüpüne giriş basıncı arttıkça, vorteks tüpünden çıkan soğuk akışkan sıcaklığı düşmektedir. y_c oranı 0.64'den sonra artırıldığında vorteks tüpünden çıkan soğuk akışkanın sıcaklığı yükselmektedir.

Vorteks tüpünde yapılan deneyler sonucunda sıcak akışkan sıcaklığı y_c oranı 0.50 ile 0.70 arasında vorteks tüpüne giriş basıncı arttıkça, vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkan sıcaklığı artmaktadır. Sıcak çıkıştaki akışkanın sıcaklığı ile soğuk çıkıştaki akışkanın sıcaklığı arasındaki fark ($T_{sck}-T_{sgk}$), 0.5 ile 0.7 y_c oranlarında vorteks tüpüne giriş basıncı yükseldikçe artmaktadır. Vorteks tüpü girişindeki basınç daha çok arttırılırsa çıkıştaki sıcak akışkanın sıcaklığı ile soğuk akışkanın sıcaklığı arasındaki fark ($T_{sck}-T_{sgk}$) artacaktır.

6. SİMGELER

- m_{gir} : Girişteki akışkanın kütleli debisi, kg/s
 $m_{çkş}$: Çıkıştaki akışkanın kütleli debisi, kg/s
 m_a : Sıcak akışkanın , (kg/s)
 m_b : Soğuk akışkanın debisi, (kg/s)
 y_c : Soğuk akışkanın kütleli debisinin, girişteki akışkanın kütleli debisine oranı

7. KAYNAKLAR

1. Yılmaz M., Çomaklı Ö., Kaya M., Karlı S. "Vorteks Tüpleri:1-Teknolojik Gelişim", Mühendis ve Makine, 47: (554) 42-51 (2006).
2. Althouse A. D., Turnquist C. H., Bracciano A. F. "Modern Refrigeration and Air Conditioning", The Goodheart-Willcox Company Inc., South Holland, (1979).
3. Dinçer, K., Başkaya, Ş., Üçgül, İ., Uysal B., Z., 2003 Giriş ve çıkış kütleli debilerinin bir vorteks tüpün performansına etkisinin deneysel incelenmesi ULIBTK' 03, 14. Ulusal Isı Bilim ve Tekniği Kongresi, s 6-12, 3-5 Eylül 2003, Isparta
4. Dinçer, K., Üçgül, İ., Başkaya, Ş., Sivrioğlu M., Uysal B. Z., 2005, Bulanık Mantık Yöntemiyle Vorteks Tüp Performansının İncelenmesi, ULIBTK'05, 15. Ulusal Isı Bilim ve Tekniği Kongresi, 608-613, 7-9 Eylül 2005, Trabzon.
5. Özgür A., E., Selbaş R., Üçgül İ. "Vorteks Tüpler İle Soğutma Uygulamaları", V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 387-397 (2002).
6. Özgür A. E., Vorteks Tüplerin Çalışma Kriterlerine Etki Eden Faktörlerin ve Endüstrideki Kullanım Alanlarının Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Üniversitesi Fen Bil. Enst., (2001).
7. Cocerill T., Thermodynamics and Fluid Mechanics of a Ranque Hilsch Vortex Tube, MSc Thesis, University of Cambridge, (1998).
8. Usta, H., Dincer K., Kırmacı V., "Vorteks Tüpünde Akışkan Olarak Kullanılan Hava İle Oksijenin Soğutma Sıcaklık Performanslarının Deneysel İncelenmesi", Teknoloji, Cilt 7, Sayı 3, S. 415-425, 2004.
9. Usta, H., Kırmacı V., Dincer K., "Vorteks Tüpünde Akışkan Olarak Kullanılan Hava İle Azot Gazının Soğutma Sıcaklık Performanslarının Deneysel İncelenmesi", BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, S. 67-76, 2004.
10. 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.