

VORTEKS TÜPÜNDE AKIŞKAN OLARAK HAVA OKSİJEN KARBONDİOKSİT VE AZOT KULLANILARAK ISITMA-SOĞUTMA SICAKLIK PERFORMANSLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

*Hüseyin USTA *Volkan KIRMACI

*G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, 06500, Beşevler, Ankara, TÜRKİYE
vkirmaci@gazi.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada iç çap 11mm, gövde uzunluğu 160mm olan Ranque-Hilsh vorteks tüpü ile hava, oksijen (O₂), karbondioksit (CO₂), ve azot (N₂) ısıtma soğutma sıcaklıkları deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan vorteks tüpünde hiçbir hareketli parça bulunmamaktadır. deney süresince hacimsel debileri ayarlamak için kullanılan sıcak çıkış tarafındaki kontrol vanası da tam açık konumda tutulmuştur. Vorteks tüpü deneylerinde genellikle akışkan olarak hava kullanılmaktadır. Hava; azot (%78.09), oksijen(%20.95), argon(%0.93), karbondioksit(%0.03) ve az oranda da başka gazları kapsamaktadır. Deneysel çalışmada giriş basıncı 2-7 bar arasında 1 bar aralıklarla ölçülerek havanın içinde bulunan gazların ısıtma-soğutma sıcaklık performansları ölçülerek havaya göre kıyaslanmıştır.

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

ABSTRACT

In this paper, using a Ranque-Hilsh vortex tube, inside diameter and body length of that are 11 mm and 160 mm respectively. Heating-cooling temperatures of air, oxygen (O₂), carbon dioxide (CO₂) and nitrogen (N₂) have been investigated experimentally. The vortex tube has no any moving part. In the experimental study, the control valve on the outlet side of the hot fluid has been in full open position. In generally, the air has been used in the vortex tube tests. The air includes 78.09 % of N₂, 20.95 % of O₂, 0.93 % of CO₂ and other gases at very less amount. The performances of gases have been determined by measuring heating-cooling temperatures of gases in the intake pressure intervals 1.0 bar between 2.0 bars and 7.0 bars and results have been compared with air.

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

1. GİRİŞ

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 [1]. 1931 yılında George Ranque tarafından bulunmuş ve Rudolph Hilsch tarafından geliştirilmiştir [2]. Vorteks tüpünde soğutma-ısıtma enerjinin ayrışımı ile meydana gelmektedir. Bu olay enerjinin ayrışımı ile ifade edilen karmaşık bir işlemdir. Vorteks tüplerinde üzerinde çalışmalar uzun süredir devam etmesine rağmen, vorteks tüplerinin içinde gerçekleşen olayın matematiksel olarak çözümü oldukça zordur [6]. Vorteks tüpü, gazların içindeki nemi alma işlemleri için de kullanılmaktadır [5]. Vorteks tüplerinde bulunan sıcak çıkış tarafındaki vananın kısılması ile enerji ayrışma olayı gerçekleşmektedir. Bu da Joule-Thomson mekanizmasıyla benzerlik göstermektedir [7].

Vorteks tüpüne basınçlı akışkan, Şekil 1’de görüldüğü gibi teğetsel olarak nozuldan verilir [8]. Bu teğetsel akış sayesinde tüp içinde çok yüksek hızlarda döner. Vorteks tüpün dış yüzeyindeki akışkan sıcak akış, tüpün merkezindeki akışkan ise soğuk akıştır. Vorteks tüpleri değişik özellikleri dikkate alındığında iki ana grupta toplanabilir. Bunlar; akış özellikleri ve tasarım özellikleridir.

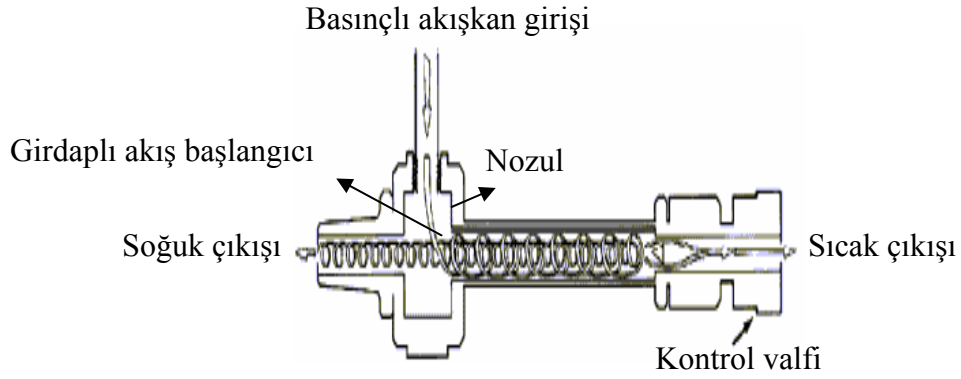
Akış özelliklerine göre;

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

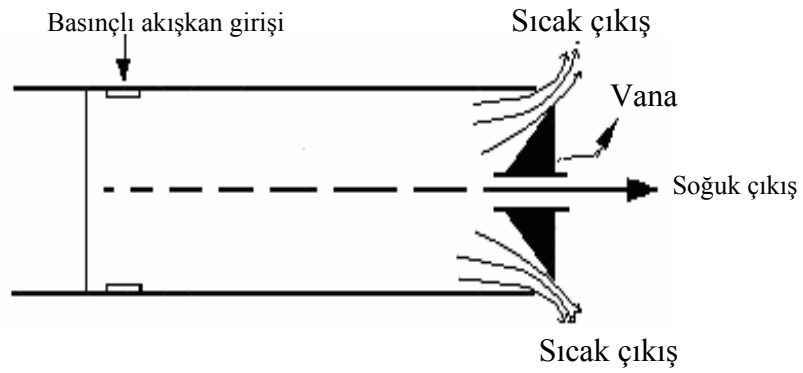
Tasarım özelliklerine göre;

1. Adyabatik vorteks tüpler,
2. Adyabatik olmayan vorteks tüpler olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar [8].

Karşıt akışlı ve paralel akışlı vorteks tüpü şekil 1 ve şekil 2 verilmiştir.



Şekil 1. Karşıt akışlı vorteks tüpünün yapısı

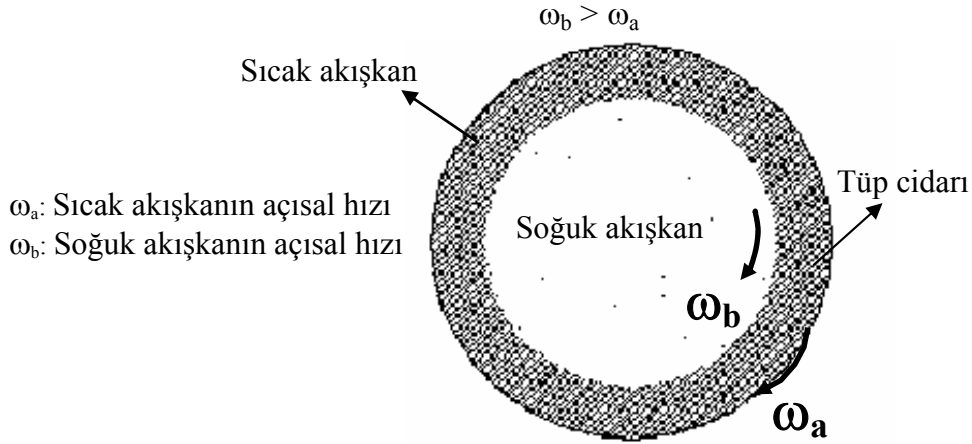


Şekil 2. Paralel akışlı vorteks tüpünün yapısı [8]

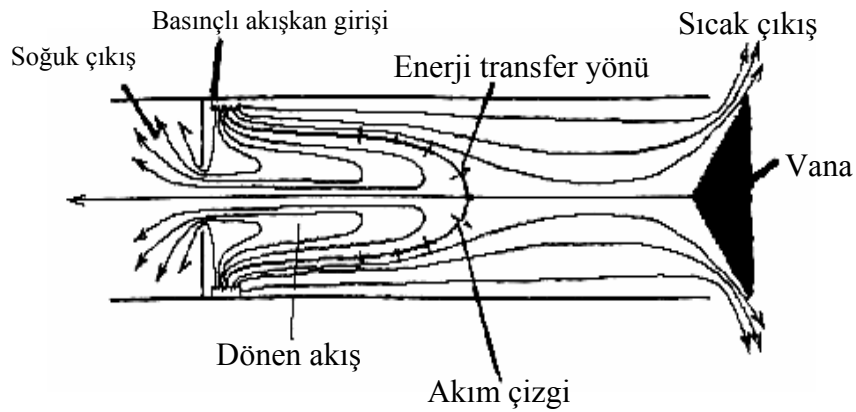
2. VORTEKS TÜPÜNÜN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE SOĞUTMA AMAÇLI UYGULAMA ALANLARI

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 açısız hızlarda dönen akışlar arasında, gerçekleşen mekanik enerji transferidir. Basıncı 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. Nozul sonrası hız, tüpe giren basınçlı akışkana bağımlı olarak tüpün silindirik yapısından dolayı dönmeye başlar. Çok yüksek açısız hızlarda dönen akış merkezkaç kuvvetinin etkisi ile tüp yüzeyine doğru açılmaya zorlanır. Bu etki neticesinde tüp merkezindeki akışkan ile tüp yüzeyinde akışkan arasındaki basınç farkı oluşur.



Şekil 3. Vorteks tüpünün içindeki sıcak ve soğuk akışın hareketi [7].



Şekil 4. Karşıt akışlı bir vorteks tüpteki akış [8]

Tüp yüzeyi 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 yüzeyindeki akışın açısal hızından daha yüksek değerlere ulaşır. Bu sebepten dolayı tüp içerisinde iki farklı hızda dönen iki akış oluşur. Merkezdeki akış daha yüksek hıza sahip olduğundan yüzeydeki akışı ivmelendirmeye çalışır. Bu durumda merkezdeki akış yüzeydeki akışa mekanik enerji transferi gerçekleştirir. Mekanik enerjisinde azalma olan merkezde ki akış soğuk akış, tüp cidardaki sürtünme etkisi ve merkezdeki akıştan aldığı mekanik enerjiden dolayı tüp yüzeyindeki akış sıcak akıştır.

Karşıt akışlı vorteks tüp şekil 1’de görüldüğü gibi, soğuk akış sıcak akışın çıktığı uca yerleştirilmiş olan vananın etkisi ile bir durgunluk noktasından sonra akış geriye doğru yönlenir. Bu sayede tüpün bir ucundan sıcak akış diğer ucundan ise soğuk akış elde edilir.

2.2 Vorteks Tüplerin Kullanım Alanları

Vorteks tüplerinin kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Vorteks tüpleri;

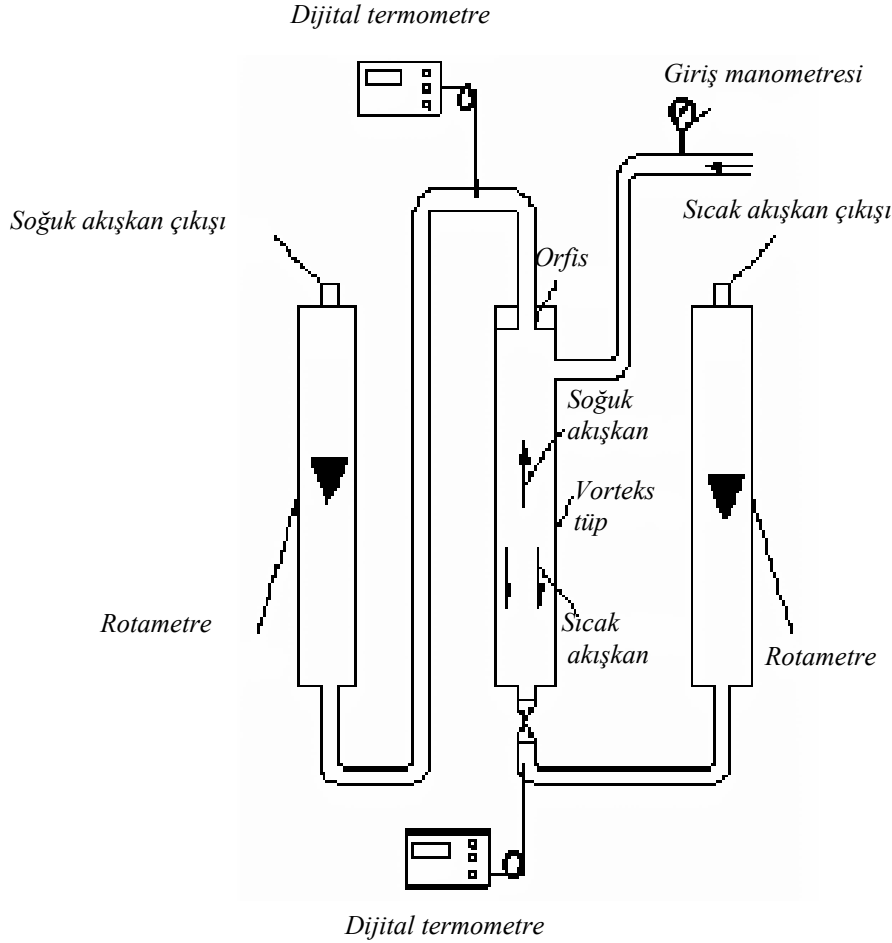
1. Spot soğutma amacıyla kullanımı,
2. Kimyasal analizlerde,
3. Orta sıcaklıklı kromatografik analizlerde,
4. Kromatografik şırınganın soğutulmasında,
5. Çözeltilerin soğutulmasında,
6. Nem alınmasında,
7. Kızılötesi analizlerde numunenin soğutulmasında,
8. Düşük sıcaklık işlemlerin,
9. Elektronik devrelerin soğutulmasında,
10. Gaz endüstrisinde kurutma işlerinde,
11. Buz elde etmekte alanlarında kullanılmaktadır [8].

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 tüpünden çıkan sıcak akışkanın sıcaklığı ile soğuk akışkanın sıcaklık performansı incelenmiştir.



Şekil 5. Deneysel sistem

3.2. Deneylerin Yapılışı

Vorteks tüpünün girişindeki vana ile hava kompresörü arasına yüksek basın a 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 hava kompresör bağlantısı sistemden çıkarılarak, yerine sırasıyla O₂, CO₂ ve N₂ gazlarının muhafaza edildiği tüpler bağlanmıştır. Vorteks tüpünde akışkan olarak kullanılan O₂, CO₂ ve N₂ gazları için 2,0 bar ve 7,0 bar basınç değeri arasındaki deneysel işlemler hava deneylerinde yapılan işlemler yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

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

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

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

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

şeklinde yazılabilir. Eşitlik 1 vorteks tüpü için Eşitlik 2 şeklinde yazılabilir.

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

Vorteks tüpünde, soğuk akışkanın kütle debisinin girişteki akışkanın kütle debisine oranı y_c olarak tanımlanmış ve Eşitlik 3 ile verilmiştir.

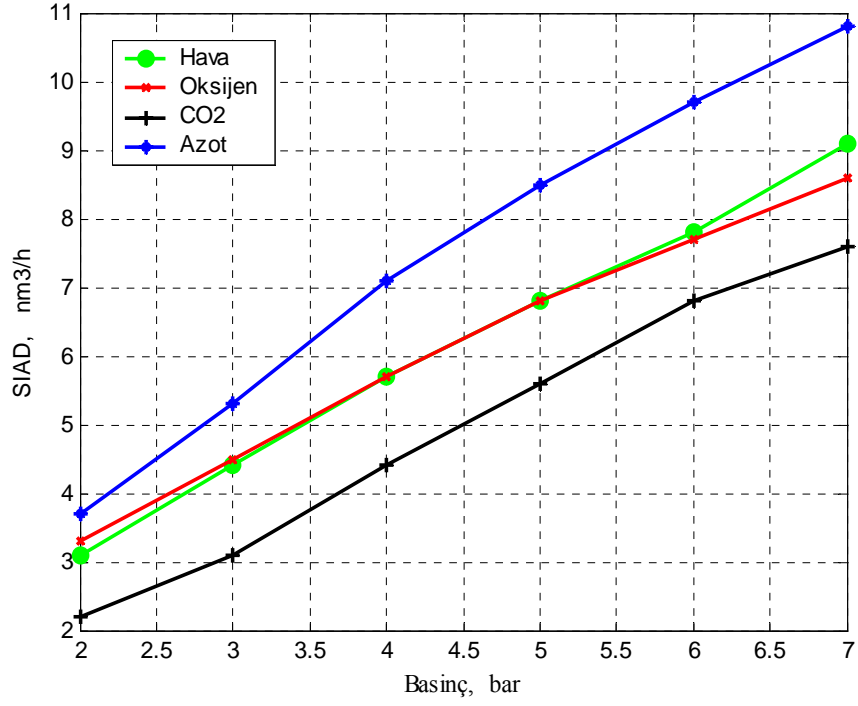
$$y_c = \frac{\dot{m}_b}{\dot{m}_{\text{gir}}} \quad (3)$$

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

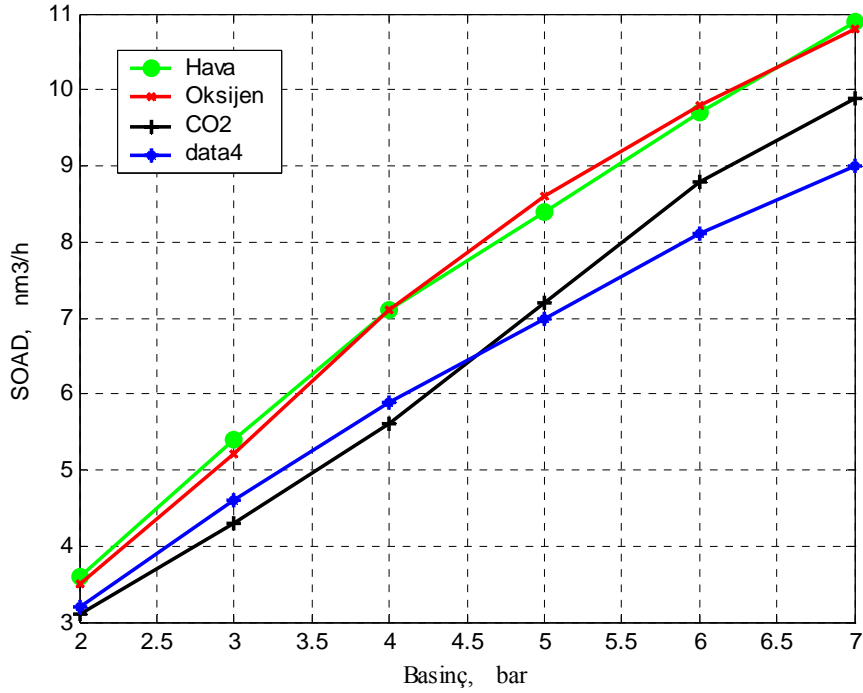
\dot{m}_b : Soğuk akışkanın kütleli debisidir, kg/s [13].

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

Şekil 6 ve Şekil 7'de hava, O₂, CO₂ ve N₂'e ait sıcak ve soğuk akışkanın hacimsel debilerinin vorteks tüpüne giriş basıncına göre değişim değerleri gösterilmiştir.



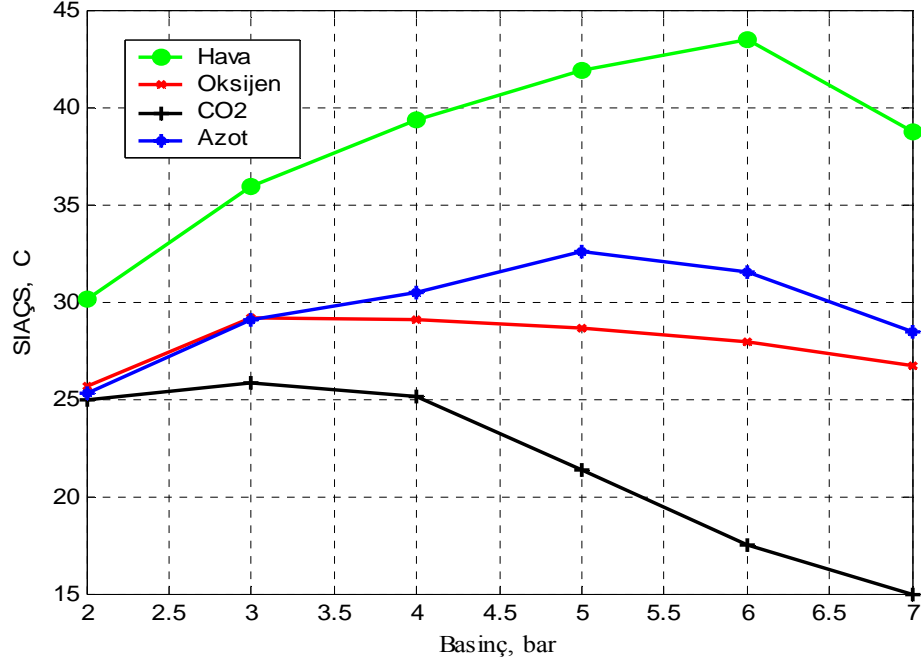
Şekil 6. Hava, O₂ ve CO₂ 'tin vorteks tüpünden çıkan sıcak hacimsel debilerinin vorteks tüpüne girişteki basınca göre değişimi



Şekil 7. Hava, O₂ ve CO₂ 'tin vorteks tüpünden çıkan soğuk hacimsel debilerinin vorteks tüpüne girişteki basınca göre değişimi

Şekil 6 ve Şekil 7’de görüldüğü gibi, Hava, O₂, CO₂ ve N₂’in soğuk ve sıcak akışkanların hacimsel debileri lineer bir doğru şeklinde artmıştır. Hava, O₂, CO₂ ve N₂ gazlarının soğuk akışın hacimsel debisinin, sıcak akışın hacimsel debisinden daha fazla olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir.

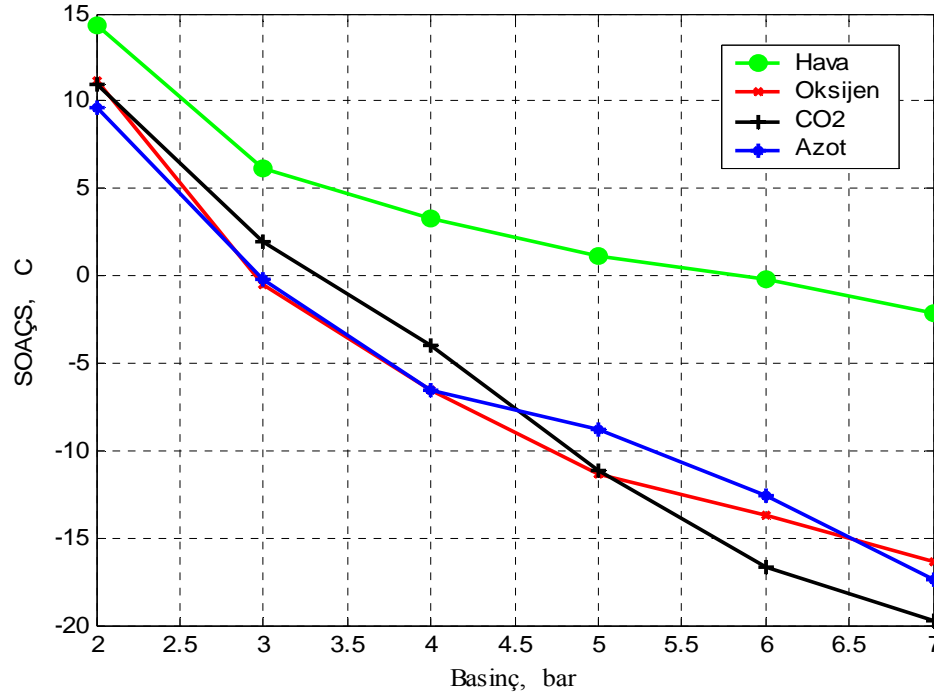
Şekil 8’de hava, O₂, CO₂ ve N₂ gazlarının vorteks tüpünden, çıkan sıcak akışkanın sıcaklığının girişteki basınç ile değişimi verilmiştir.



Şekil 8. Hava, O₂, CO₂ ve N₂ gazlarının vorteks tüpü, çıkan sıcak akışkan sıcaklığının giriş basınç ile değişimleri

Şekil 8’de sıcak akışkanın sıcaklığının en fazla havada, en az ise CO₂’de olduğu görülmektedir. Vorteks tüpüne, 7 bar giriş basıncında, hava, Azot, Oksijen ve Karbondioksit gazlarının, tüpün sıcak çıkış tarafındaki sıcaklık değerleri sırasıyla 38,7 °C; 28,5 °C; 26,7; °C; 15 °C olduğu görülmektedir.

Şekil 9’da hava, O₂, CO₂ ve N₂ gazlarının vorteks tüpünden, çıkan soğuk akışkanın sıcaklığının girişteki basınç ile değişimi verilmiştir.



Şekil 9. Hava, O₂, CO₂ ve N₂ gazlarının vorteks tüpü, çıkan soğuk akışkan sıcaklığının giriş basınç ile değişimleri

CO₂'in en az ısınmasına rağmen, en fazla soğuma olayı CO₂ gazında olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir (Şekil 9). Şekil 9'da görüldüğü gibi vorteks tüpü giriş basıncının 7 bar olduğunda, Karbondioksit, Azot, Oksijen ve havanın, vorteks tüpünden çıkan soğuk çıkış sıcaklıkları sırasıyla -19,7 °C; -17,4 °C; -16,4 °C ve -2,1 °C'dır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, y_c oranı sabit tutulmuştur. Sabit y_c oranına göre, vorteks tüpünde hava, N₂, O₂ ve CO₂ gazları değişik basınçlarda, vorteks tüpe giriş basıncına göre çıkan soğuk ve sıcak akışkan sıcaklık performansları deneysel olarak incelenmiştir. Vorteks tüpünde yapılan deneyler sonucunda akışkan olarak N₂, O₂ ve CO₂ gazları kullanıldığında, soğuk çıkıştaki akışkanın sıcaklığının havaya göre daha düşük olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir. Vorteks tüpe girişteki akışkanın basıncı arttırıldıkça, soğuk çıkıştaki akışkanın (hava, O₂, CO₂ ve N₂) sıcaklığı da düşmüştür. CO₂, N₂ ve O₂ gazları, havaya göre daha fazla soğuduğu görülmüştür. CO₂, N₂ ve O₂ gazları vorteks tüpünden çıkan soğuk akış sıcaklığı birbiri ile mukayese edildiğinde, CO₂ gazının performansının N₂ ve O₂'e göre daha düşük olduğu deneysel olarak görülmüştür. Yapılan deneysel çalışma sonuçları dikkate alınırsa, havada bulunan O₂, CO₂ ve N₂ gazlarından N₂ gazının miktarı arttırıldığında, soğuk çıkıştaki akışkan sıcaklığının daha da soğuk olacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1]. Özkul N., “Uygulamalı Soğutma Tekniği”, **Makina Mühendisleri Odası**, Yayın No:115, Ankara, s. 24-25, 1999.
- [2].Dincer K., Başkaya Ş., Üçgül İ., Uysal B. Z., “Giriş ve Çıkış Kütleli Debilerinin Bir Vorteks Tüpünün Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, **14.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiri Kitabı**, Isparta, s.13-18, 2003.
- [3].Cockerill T., “The Ranque-Hilsch vortex Tube”, Ph. D. Thesis, **Cambridge University Engineering Department**, Susderland, 1995.
- [4].Althouse A. D., Turnquist C. H., Bracciano A. F., “Modern Refrigeration and Air Conditioning”, **The Goodheart-Willcox Company Inc.**, South Holland, s.633, 1979.
- [5].Bruno T., “Laboratory Applications of Vortex Tube”, **Journal of Chemical Education**, 64, (11), p. 987-988, 1987.
- [6].Gulyaev A. I., “Investigation of Conical Vortex Tubes”, **Inzherno-Fizicheskii Zhurnal**, 10: (3), p. 326-331, 1966.
- [7].Hajdık B., Lorey M., Steinle J., Thomas K., “Vortex Tube can Increase Liquid Hydrocarbon Recovery at Plant Inlet”, **Oil-Journal**, 8, p. 76-83, 1997.
- [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, p. 415-422, 1999.
- [9].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.
- [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), 344-348, 1983.