

# SICAK ÇIKIŞ YÖNÜNDE GENİŞLEYEN KONİK VORTEKS TÜP PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Yiğit Serkan ŞAHİN  
Kemal KUVVET

## ÖZET

Bu çalışmada; farklı soğuk kütle oranları ve giriş basınçlarında, koniklik açısının vorteks tüp performansına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma, silindirik ve konik vorteks tüplerde gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar birbiriyle mukayese edilmiştir.

Deneyler, başlangıç iç çapı 10 mm, boyu 100 mm ( $L/D = 10$ ) olan, farklı koniklik açıları ( $0^\circ$  (=silindirik),  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ) imal edilen karşıt akışlı vorteks tüplerde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, iş akışkanı olarak hava kullanılmıştır. Vorteks tüp girişindeki ani yön değişiminden kaynaklanan basınç kayıplarını azaltmak için, literatürce önerilen helisel kanallı bir vorteks üretici kullanılmıştır. Ölçümler, farklı giriş basınçlarında (3,4,5 bar) ve değişen soğuk kütle oranlarında elde edilmiştir. Farklı çalışma parametrelerinde elde edilen sonuçlar, vorteks tüp giriş sıcaklığı ile sıcak ve soğuk çıkış sıcaklıkları arasındaki farkların değişimi şeklinde ifade edilmiştir. Deneyler neticesinde elde edilen bulgulara göre optimum koniklik açısı  $2^\circ$  olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Vorteks tüp, Konik vorteks tüp, Enerji ayrışması, Vorteks üretici.

## ABSTRACT

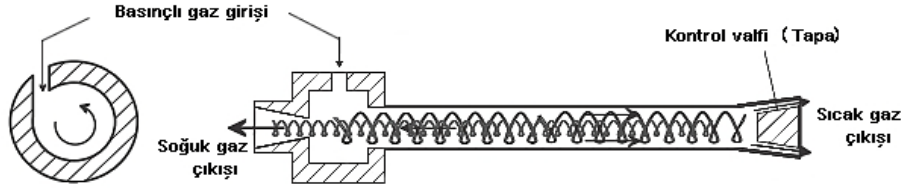
In this study; the effect of the divergence angle on the performance of the vortex tube investigated experimentally at different cold mass ratio and inlet pressure. The work is performed by using cylindrical and conical (divergent) vortex tubes, the results obtained were compared with each other. The experiments are carried out at vortex tubes produced as different divergence angles ( $0^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ), inside diameter is 10 mm and length of that is 100 mm ( $L/D = 10$ ). In the study, air is used as the working fluid. In order to reduce pressure losses caused by a sudden change of direction at the vortex tube entrance, used a helical swirl flow generator suggested by the literature. Measurements were obtained at the different input pressures (3, 4, 5 bar), and the changing rate of the cold mass ratio. The results of the different operating parameters are referred as change of the differences between vortex tube inlet temperature and hot and cold outlet temperature. According to the findings obtained as a result of the experiments optimum divergence angle has been identified as  $2^\circ$ .

**Key Words:** Vortex tube, Conical vortex tube, Energy separation, Vortex generator .

## 1. GİRİŞ

Vorteks tüpler; dışarıdan herhangi bir kimyasal etki ve ısı transferi olmaksızın basınçlı gaz akışını eş zamanlı olarak, biri sıcak diğeri soğuk olmak üzere farklı sıcaklıklarda iki akışa ayıran ve hareketli parçaları olmayan basit yapıları cihazlardır. Karşıt akışlı bir vorteks tüpe ait şematik görünüş Şekil 1'de verilmiştir. Basınçlı akışkan, bir ya da daha fazla giriş lülesinden geçerek vorteks tüpe yüksek hızlarda teğetsel olarak girer. Gaz akışı vorteks tüp içinde dönme hareketi kazanır ve biri sıcak diğeri soğuk

olmak üzere farklı sıcaklıkta iki akışa ayrılır. Soğuk akışkan giriş lülesi tarafındaki vorteks üreticinin merkezi boyunca ilerleyerek tüpü terk ederken, sıcak akışkan tüpün diğer ucundan cidar yakınından çevresel olarak tüpü terk eder.



**Şekil 1.** Karşıt Akışlı Bir Vorteks Tüpün Şematik Gösterimi[1].

Kontrol valfi hariç hareketli parçasının olmaması, basit yapılı, küçük ve hafif olması, maliyetinin düşük olması, bakım gerektirmemesi, anında soğuk ve kısmen sıcak hava sağlaması, elektriksel veya kimyasal güce ihtiyaç duymaması, sıcaklığın ayarlanabilmesi, çevreye zararlı soğutucu akışkanların kullanılmaması vorteks tüplerin başlıca avantajlarıdır. Bununla birlikte ısı verimlerinin düşük olması, sıkıştırılmış gaz gerektirmesi ve gürültülü çalışması ise dezavantaj olarak sayılabilir [1,2,3]. Bahsedilen avantajlarından ötürü uygulamada geniş bir alanı kapsayan vorteks tüplerin başlıca kullanım alanları arasında; kesici takımların, CNC tezgahlarının elektronik ünitelerinin, termal kamera merceklelerinin ve çözeltilerin soğutulması; gaz karışımlarının ayrıştırılması, gazların sıvılaştırılması, gazların kurutulması, DNA uygulamaları ve kar yapımı sayılabilir. [2,3,4,5,6,7]

Vorteks tüplerdeki enerji ayrışmasının Ranque tarafından keşfedilmesinin üzerinden yaklaşık 80 yıl geçmiş ve vorteks tüplerle ilgili gerek teorik gerekse deneysel yüzlerce çalışma gerçekleştirilmiş olmasına rağmen; enerji ayrışmasının fiziksel açıklaması tam olarak yapılamamıştır. Bundan dolayı vorteks tüpler ilgi odağı olmaya devam etmektedir. Vorteks tüplerle ilgili deneysel çalışmaların büyük bir kısmı silindirik vorteks tüpler kullanılarak gerçekleştirilmiş olup konik vorteks tüplerin kullanıldığı çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır [8]. Parulekar [9], kısa bir vorteks tüp tasarlayarak çeşitli koniklik açılarının performansa olan etkisini incelemiş ve L/D oranının 3'e kadar kısaltılabileceğini bulmuştur. Gulyaev[10], 2.3° koniklik açısına ve 400-840 mm uzunluğa sahip uzun konik vorteks tüpler kullandığı çalışmasının neticesinde konik vorteks tüplerin termal etkinliğinin ve soğutma kapasitesinin silindirik vorteks tüplerden %20-25 daha iyi olduğu bulgusunu elde etmiştir. Borisenko vd. [11], 1° - 5° arasında değişen koniklik açıları ve sabit uzunlukta (L/D=14) deneyler gerçekleştirmişler, 3° 'lik koniklik açısının en iyi performansı sağladığını belirtmişlerdir. Raiskii ve Tunkel [12], yaptıkları deneysel çalışmada uzun boylu silindirik ve konik vorteks tüpler karşılaştırıldığında, konik vorteks tüpün verimliliğinin silindirik tüplerden daha düşük olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Takahama ve Yokosowa[13], çalışmalarında vorteks tüpün boyunu kısaltırken enerji ayrışması performansının aynı kalmasını amaçlamışlar ve 1.72° ve 5.15° lik koniklik açılarına sahip vorteks tüplerde deneyler gerçekleştirmişler, aynı uzunluktaki konik bir vorteks tüpün enerji ayrışma performansının düz bir vorteks tüpe göre %10 daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Chang vd. [8], soğuk kütle oranının 0.2 ve koniklik açısı 4° derece iken koniklik olmayan duruma göre yaklaşık %11.7 daha yüksek performans elde etmişlerdir. Buradan konikliğin performansı artırdığı ve maksimum soğutma performansını elde etmek için optimum bir koniklik açısı olduğunu göstermişlerdir. Pouraria ve Zangoee [14], konik tüp kullanımının etkisini incelemek ve optimum koniklik açısını bulmak için sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sayısal çözümlerini 0°(=silindirik), 2°, 3°, 4° ve 6° koniklik açılarındaki diğer tüm parametreleri sabit tutarak gerçekleştirmişlerdir. Silindirik vorteks tüplerdeki sıcaklık düşüşünün konik vorteks tüplerdekine oranla daha az olduğunu gözlemlemişler, optimum koniklik açısını ise  $\beta=2^\circ$  olarak tespit etmişlerdir.

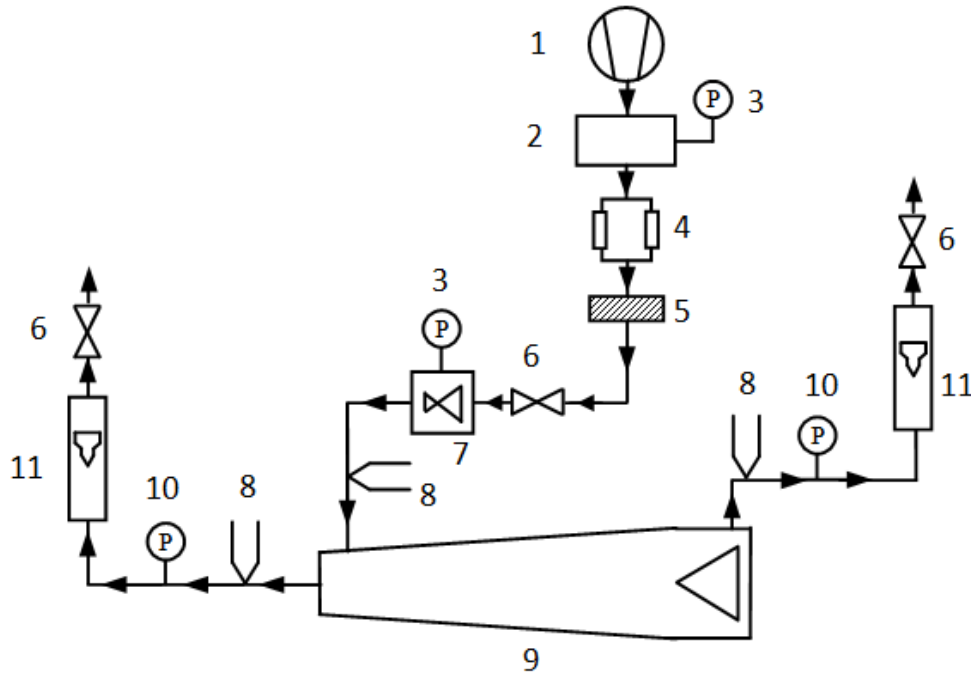
Bu çalışmada, L/D=10 olan farklı koniklik açılarındaki (0° (=silindirik), 2°, 4°, 6°) imal edilen karşıt akışlı vorteks tüpler kullanılarak, koniklik açısının vorteks tüp performansına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Ölçümler, farklı giriş basınçlarında (3, 4, 5 bar) ve değişen soğuk kütle oranlarında elde edilmiştir. Farklı çalışma parametrelerinde elde edilen sonuçlar, vorteks tüp giriş sıcaklığı ile sıcak ve soğuk çıkış sıcaklıkları arasındaki farkların değişimi şeklinde ifade edilmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1. Deney Düzenegi

Çalışmada kullanılan deney düzeneginin şematik gösterimi Şekil 2'de sunulmuştur. Vidalı kompresör vasıtasıyla sıkıştırılan hava basınçlı hava tankında depolanmakta; hava tankından gelen hava kurutulup filtrelendikten sonra basınçlı hava hattı boyunca ilerleyerek basınç regülatörüne gelmektedir. İstenilen çalışma basıncında vorteks tüp içerisine teğetsel olarak giren hava molekülleri enerji ayrışmasına uğrayarak vorteks tüpü sıcak ve soğuk çıkışlardan terk etmektedir.

Deneyler, başlangıç iç çapı 10 mm, boyu 100 mm (L/D=10) olan, farklı koniklik açılarında (0°, 2°, 4°, 6°) imal edilen karşıt akışlı vorteks tüplerde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, iş akışkanı olarak hava kullanılmıştır. Basınçlı havanın vorteks tüpe girişinde meydana gelen ani yön değiştirmelerden kaynaklanan basınç kayıplarını en aza indirmek amacıyla, literatürce önerilen kesit alanı 9 mm<sup>2</sup> olan helisel kanallı bir vorteks üretici kullanılmıştır [15,16]. Vorteks tüpü ve 45° lik uç açısına sahip tapa kestamid malzemeden, helisel kanallı vorteks üretici ise prınç malzemeden üretilmiştir.



Şekil 2. Deney Düzeneginin Şematik Gösterimi

1. Kompresör
2. Basınçlı hava tankı
3. Basınç göstergesi
4. Kurutucu
5. Filtre
6. Kontrol valfi
7. Basınç regülâtörü
8. Termoeleman
9. Vorteks tüp
10. Manometre
11. Rotametre

### 2.2. Deneylerin Yapılışı ve Deneysel Ölçüm Prosedürü

Vorteks tüpün girişindeki basınç regülatörü yardımıyla giriş basıncı  $P_i$  (3, 4, 5 bar) ayarlandıktan sonra hava sisteme girmektedir. Başlangıçta soğuk ve sıcak çıkışlardaki her iki vana tam açık durumda olup;

sistem kararlı hale gelene kadar beklendikten sonra sıcaklık, basınç ve debi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sıcak çıkıştaki vana kademeli olarak kapatılarak farklı  $Y_c$  oranlarının oluşması sağlanmış ve yukarıdaki işlemler her defasında tekrarlanmıştır. Deneyler boyunca soğuk çıkış tarafındaki vana tam açık konumda tutulmuş, akış kontrolü sıcak çıkış tarafındaki vana ile sağlanmıştır.

DeneySEL çalışmalarında havanın giriş sıcaklığı, vorteks tüp girişinden 10 mm önce; vorteks tüp soğuk ve sıcak çıkış sıcaklıkları çıkışlardan 10'ar mm sonra ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümleri, K tipi termoelemanlar ve dört kanallı bir dijital termometre kullanılarak belirlenmiştir. Vorteks tüp girişinde, deneyler boyunca istenilen değerlerde sabit basınçta hava geçişine müsaade eden bir basınç regülatörü bulunmakta ve basınç regülatörü üzerine yerleştirilmiş olan 0-10 bar aralığında ölçüm yapabilen bir analog manometre yardımıyla girişteki basınç değerleri okunmaktadır. Sıcak ve soğuk çıkışlardaki basınçlar ise; çıkışlardan 10 mm sonra açılan basınç prizlerinden, dijital manometre kullanılarak ölçülmüştür. Sıcak ve soğuk çıkışlardaki hacimsel debilerin ölçümü için çalışma sıcaklıklarına ve basınçlarına uygun olarak seçilmiş, 30-560 litre/dakika aralığında ölçüm yapabilen geniş skalalı rotametreler kullanılmıştır. DeneySEL ölçümlerde kullanılan ölçüm cihazlarının belirsizlik değerleri Tablo 1 'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Ölçüm Cihazlarının Ölçüm Aralıkları ve Belirsizlik Değerleri

Cihaz	Ölçüm aralığı	Belirsizlik
Analog manometre	0 – 10 (bar)	± 2.5 %
Dijital manometre	0 – 6.9 (bar)	± 0.05 %
Dijital termometre	-195 – +1000 (°C)	± 0.1 %
Rotametre	30 – 560 (L/d)	± 3 %
Barometre	300 – 1200 (mbar)	± 3 %

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Vorteks tüplerde enerji ayrışması üzerinde etkili olan önemli parametrelerden biri soğuk kütle oranıdır. Soğuk kütle oranı,  $Y_c$ , soğuk akışkanın kütleli debisinin girişteki akışkanın kütleli debisine oranı olarak tanımlanır ve eşitlik 1'de verilmiştir.  $Y_c$ , değeri tüpün sıcak çıkış tarafında bulunan küresel vana kullanılarak değiştirilmektedir.

$$Y_c = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_i} \quad (1)$$

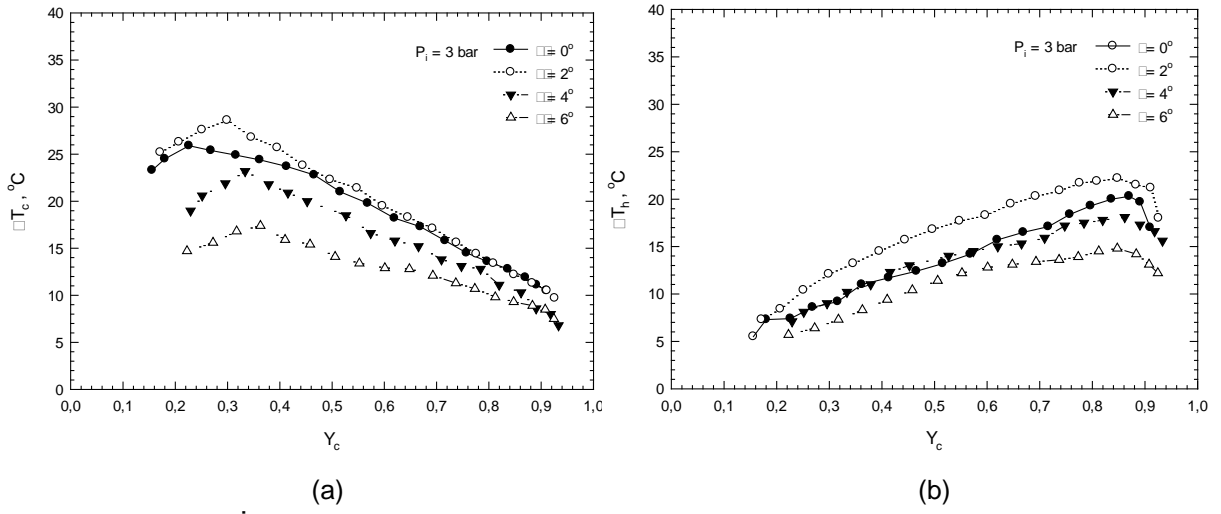
(1) eşitliğinde yer alan  $\dot{m}_c$  (kg/s) ve  $\dot{m}_i$  (kg/s) sırasıyla soğuk akışkanın kütleli debisini ve girişteki akışkanın kütleli debisini ifade etmektedir.

Aşağıda, vorteks tüplerde kullanılan sıcaklık farkı ifadeleri verilmiştir. Burada  $T(^{\circ}\text{C})$  sıcaklık olup, h, c ve i alt indisleri ise sırasıyla sıcak çıkış, soğuk çıkış ve giriş özelliklerini göstermektedir.

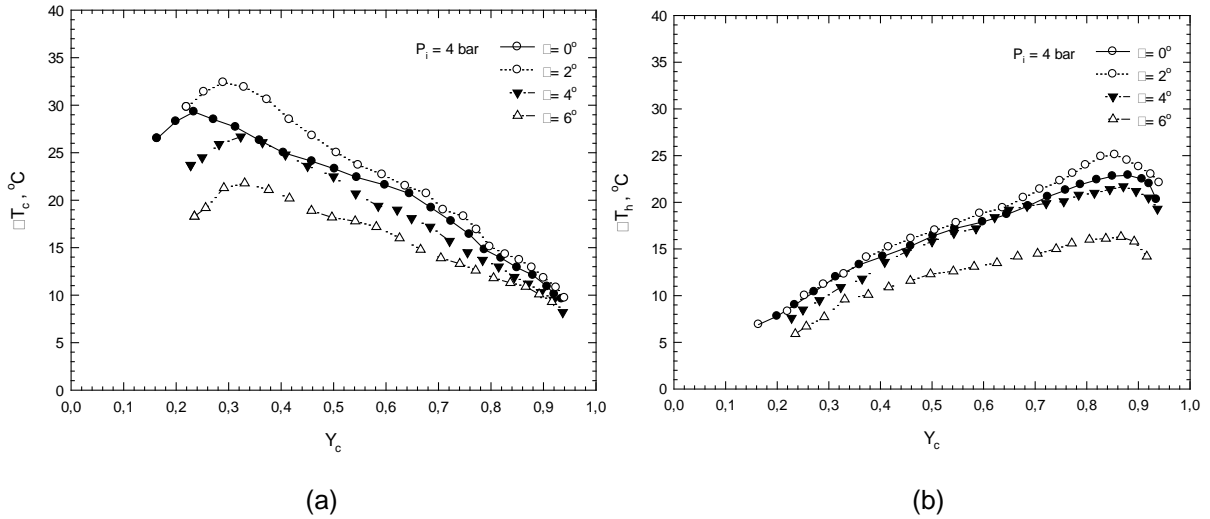
$$\Delta T_c = T_i - T_c \quad (2)$$

$$\Delta T_h = T_h - T_i \quad (3)$$

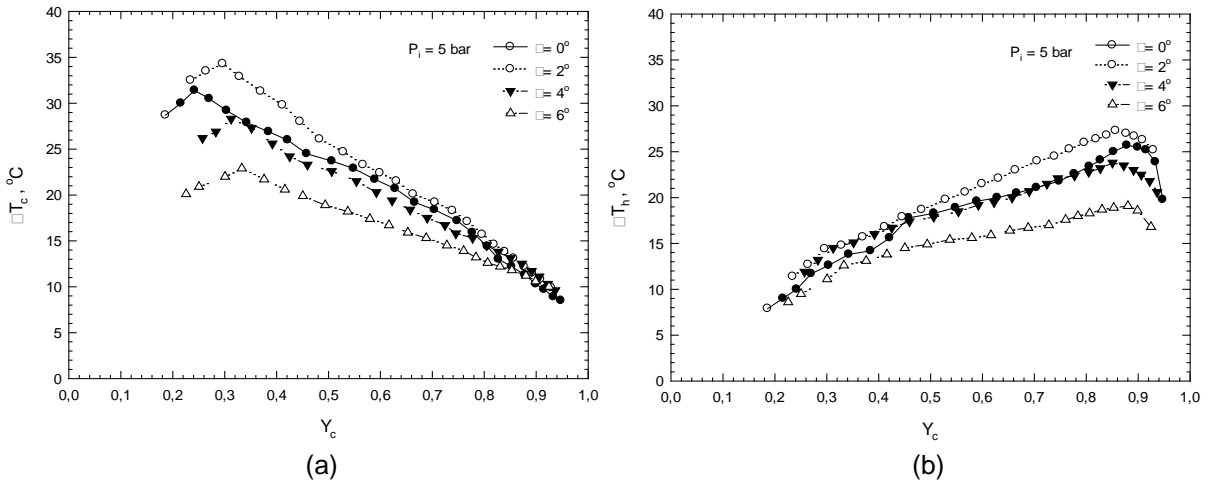
Pi = 3, 4 ve 5 bar için farklı koniklik açılarında çıkış sıcaklık farklarının  $Y_c$  ile değişimleri sırasıyla Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te sunulmuştur.



**Şekil 3.**  $P_1 = 3$  bar için Farklı Koniklik Açılarında Çıkış Sıcaklık Farklarının ( a-soğuk, b-sıcak )  $Y_c$  ile Değişimi



**Şekil 4.**  $P_1 = 4$  bar için Farklı Koniklik Açılarında Çıkış Sıcaklık Farklarının ( a-soğuk, b-sıcak )  $Y_c$  ile Değişimi



**Şekil 5.**  $P_1 = 5$  bar için Farklı Koniklik Açılarında Çıkış Sıcaklık Farklarının ( a-soğuk, b-sıcak )  $Y_c$  ile Değişimi

Şekil 3 'te görüldüğü gibi  $P_i=3$  bar için soğuk çıkış sıcaklık farkının en yüksek değeri  $2^\circ$  ' lik koniklik açısına sahip vorteks tüpte  $Y_c$  yaklaşık 0.3 iken  $28.6^\circ\text{C}$  (a), sıcak çıkış sıcaklık farkının en yüksek değeri ise  $Y_c$  yaklaşık 0.85 iken  $22.2^\circ\text{C}$ 'dir. Şekil 4 'te  $P_i=4$  bar için soğuk çıkış sıcaklık farkının en yüksek değerinin  $2^\circ$  ' lik koniklik açısına sahip vorteks tüpte  $Y_c$  oranının yaklaşık 0.3 değerinde  $32.4^\circ\text{C}$  (a), sıcak çıkış sıcaklık farkının en yüksek değerinin ise  $Y_c$  oranının yaklaşık 0.85 değerinde  $25.1^\circ\text{C}$  ve Şekil 5 'te  $P_i=5$  bar için soğuk çıkış sıcaklık farkının  $2^\circ$  ' lik koniklik açısına sahip vorteks tüpte  $Y_c$  oranı yaklaşık 0.3 iken  $34.3^\circ\text{C}$  (a), sıcak çıkış sıcaklık farkının ise  $Y_c$  oranı yaklaşık 0.85 iken  $27.3^\circ\text{C}$  ile maksimum olduğu görülmektedir.

Bütün koniklik açılarında artan giriş basıncı ile hem  $\Delta T_c$  hem de  $\Delta T_h$  değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Artan  $Y_c$  oranlarında  $\Delta T_c$  değerlerinin arasındaki fark azalırken,  $\Delta T_h$  değerleri arasındaki fark artmaktadır. Ayrıca, maksimum  $\Delta T_c$  sıcaklık farklarının elde edildiği  $Y_c$  değerlerinin silindirik vorteks tüplerdeki  $Y_c$  değerlerinden daha yüksek olduğu;  $\Delta T_h$  için ise daha düşük olduğu görülmüştür.

## SONUÇLAR

Koniklik açısının vorteks tüp performansına olan etkisinin belirlenmesi amacıyla  $L/D=10$  olan farklı koniklik açılara sahip ( $0^\circ$  (=silindirik),  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ) vorteks tüpler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonucunda; koniklik açısının vorteks tüplerin soğutma ve ısıtma performansları üzerinde etkili bir parametre olduğu; bununla birlikte kritik bir koniklik açısının varlığı ve bu açığa kadar vorteks tüpün soğutma ve ısıtma performansları artarken bu kritik değerden sonra ise performansların azaldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada optimum koniklik açısı  $2^\circ$  olarak tespit edilmiştir. Bütün sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde farklı koniklik açılarının  $\Delta T_c$  ve  $\Delta T_h$  üzerine etkileri iyiden kötüye doğru;  $2^\circ > 0^\circ > 4^\circ > 6^\circ$  olarak belirlenmiştir.

## SEMBOLLER ve YUNAN HARFLERİ

D	tüpün başlangıç iç çapı (mm)
L	vorteks tüp uzunluğu (mm)
$\dot{m}$	soğuk kütle oranı ( $\text{kg s}^{-1}$ )
P	basınç (bar)
T	sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ )
$\Delta T_c$	sıcaklık farkı ( $^\circ\text{C}$ )
$Y_c$	soğuk kütle oranı
$\beta$	koniklik açısı

## Alt indisler

c	soğuk çıkış (cold)
h	sıcak çıkış (hot)
i	giriş (inlet)

## KAYNAKLAR

- [1] GAO, C.M., "Experimental Study on the Ranque-Hilsch Vortex Tube", PhD Thesis, Technische Universiteit Eindhoven., 2005.
- [2] YILMAZ, M., ÇOMAKLI, Ö., KAYA, M. VE KARSLI, S., "Vorteks Tüpleri: 1 Teknolojik Gelişim. Mühendis ve Makine", 47 (553), 46-54., 2006a.

- [3] ÖZGÜR, A. E., “Vorteks Tüplerin Çalışma Kriterlerine Etki Eden Faktörlerin ve Endüstrideki Kullanım Alanlarının Tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2001.
- [4] DİNÇER, K., “Karşıt Akışlı Ranque-Hilsch Vorteks Tüpün Performansının İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2005.
- [5] AZAROV, A., “Qualimetric Method Of Comparison Of Refrigerating Systems According To The Totality of Their Technological and Operational Characteristic”, Int. Conf. Resources Saving in Food Industry, 143-144, 1998.
- [6] BRUNO, T., “Applications of The Vortex Tube in Chemical Analysis”, Process Control and Quality, 3, 195-207, 1992.
- [7] TUNKEL, L., KRASOVITSKI, B., FOSTER, R., “Vortex Tubes for Snow Making”, Patent Institute of United States, Patent No:5,937,654, 1999.
- [8] CHANG, K., LI, Q., ZHOU, G., LI, Q., “Experimental Investigation of Vortex Tube Refrigerator with A Divergent Hot Tube.” International Journal of Refrigeration”; 34:322-327, 2011.
- [9] PARULEKAR, B.B., “The short vortex tube”, The Journal of Refrigeration, 4:74–80, 1961.
- [10] GULYAEV, A.I., “Investigation of Conical Vortex Tubes”, Journal of Engineering Physics, 10(3):193–195, 1966.
- [11] BORISENKO, A.I., SAFONOV, V.A., YAKOVLEV, A.I., “The Effect of Geometric Parameters on the Characteristics of A Conical Vortex Cooling Unit” Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 15(6):1158–1162, 1968.
- [12] RAISKII, Y.D., TUNKEL, L.E., “Influence of Vortex-Tube Configuration and Length on the Process of Energetic Gas Separation”, Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 27(6):1578-1581, 1974.
- [13] TAKAHAMA, H., YOKOSAWA, H., “Energy Separation in Vortex Tubes with a Divergent Chamber”, Trans. ASME, J. Heat Transfer, 103:196–203, 1981.
- [14] POURARIA, H., ZANGOEE, M. R., “Numerical Investigation of Vortex Tube Refrigerator with a Divergent Hot Tube”, Energy Procedia, 14:1554-1559, 2012.
- [15] AYDIN, O., MARKAL, B., AVCI, M., “A New Vortex Generator Geometry for a Counter-Flow Ranque-Hilsch Vortex Tube”, Applied Thermal Engineering, 30:2505-2511, 2010.
- [16] AVCI, M., “The Effects of Nozzle Aspect Ratio and Nozzle Number on the Performance of the Ranque-Hilsch Vortex Tube”, Applied Thermal Engineering, 50:302-308, 2013.

## ÖZGEÇMİŞ

### Yiğit Serkan ŞAHİN

1988 yılında Ankara’da doğdu. 2010 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde lisans, 2012 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 2011 yılından beri Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı’nda Arş. Gör. olarak görev yapmaktadır. Evlidir.

### Kemal KUVVET

1972 yılında Trabzon’da doğdu. İlk, orta ve öğrenimini Trabzon’da tamamladı. 1992 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde Lisans, 1995 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans, 2002 yılında ise Doktora eğitimini tamamladı. 1993-2000 yılları arasında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2000-2009 yılları arasında K.T.Ü. Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu’nda Öğretim Görevlisi ve Öğretim Üyesi olarak çalıştı. 2009 yılından itibaren Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.