

# VORTEKS TÜPLER İLE SOĞUTMA UYGULAMALARI

Arif Emre ÖZGÜR  
Reşat SELBAŞ  
İbrahim ÜÇGÜL

## ÖZET

Vorteks tüplerin çalışma karakteristiklerine göre kıyaslaması yapılmıştır. Vorteks tüp içerisinde çalışma akışkanı olarak hava kullanıldığı durumlar için vorteks tüplerin uygulama alanları tartışılmıştır. Vorteks tüplerin ürettiği akışların sıcaklık değerlerinin değişiminin sebepleri açıklanmıştır. Vorteks tüp içerisinde gerçekleşen sıcaklık ayırımı olayının nedenlerine, cihaz tiplerine ve bu cihazların soğutma amacına yönelik kullanılabileceği alanlar tartışılmıştır.

## 1. GİRİŞ

1933 yılında Ranque tarafından keşfedilen ve 1946 yılında Hilsch tarafından geliştirilen vorteks tüpler, bir basınçlı giriş akışını, eşzamanlı, biri soğumuş diğeri ısınmış iki akışa ayıran cihazlardır. Gecikmesiz olarak rejime giren, kontrol vanası hariç hiçbir hareketli parçaları olmayan bu cihazlar, birçok soğutma ve ısıtma problemine çözüm olabilmektedirler. Ebatlarının küçük ve hafif olmaları, gecikmesiz rejime ulaşmaları, kimyasal soğutkanlar gerektirmemeleri ve dolayısıyla ekolojik açıdan zararsız olmaları gibi bir çok özellikleri ile vorteks tüpler günümüzde bazı alanlarda kullanılmaktadır.

Vorteks tüplerde sıkıştırılabilir akışkan olarak metan ( $CH_4$ ), karbondioksit ( $CO_2$ ) ve hava gibi akışkanların kullanıldığı çalışmalar mevcuttur [1]. Vorteks tüpler genellikle hava ile çalıştırılmakta olup bu çalışmada da çalışma gazı olarak hava dikkate alınacaktır. Vorteks tüpler hava ile çalıştırıldığında ve literatürdeki değerler dikkate alındığında, limit çalışma değerlerinin soğuk akış için  $-48\text{ }^\circ\text{C}$ , sıcak akış için  $+127\text{ }^\circ\text{C}$  olduğu görülmektedir. Bu değerler vorteks tüpleri birçok alanda uygulanabilir kılmaktadır.

## 2. VORTEKS TÜPLERİN SINIFLANDIRILMASI

Vorteks tüpler genellikle;

A-) Akış karakteristiklerine göre

- a-) Karşıt akışlı
- b-) Paralel akışlı

B-) Dizayn karakteristiklerine göre

- a-) Adyabatik
- b-) Adyabatik olmayan

vorteks tüpler olarak sınıflandırılabilirler. Vorteks tüpler böyle bir sınıflandırmaya tabi tutulmalarına rağmen tüm cihazların çalışma prensipleri aynı ilkelere dayanır. Bu ilkeler ve tüp içerisinde gerçekleşen sıcaklık ayırımı olayının sebepleri bölüm 3' te açıklanmaktadır.

### 3. VORTEKS TÜP İÇERİSİNDE GERÇEKLEŞEN SICAKLIK AYIRIMI OLAYININ SEBEPLERİ

#### 3.1. Adyabatik Vorteks Tüpler

Vorteks tüp ile farklı sıcaklıklarda akışlar elde edilmesinin temel prensibi, farklı açısal hızlarda dönen akışlar arasında gerçekleşen mekanik enerji transferidir. Basıncı hava akımı tüpe şekil 1’ de gösterildiği gibi teğetsel olarak gönderilir. Tüp girişinde giriş akışının kısılması ile hızı artırılır. Kısılma sonrası ses hızı değerlerinde (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. Bu etki neticesinde tüp merkezindeki basınç ile tüp cidarı arasındaki basınç arasında fark oluşur. 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. Bu sebepten dolayı tüp içerisinde iki farklı hızda dönen iki 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 merkez akışı soğuk akışı, cidardaki sürtünme enerjisinin etkisi ile ve merkezdeki akıştan aldığı mekanik enerjisinin etkisiyle de cidardaki akış sıcak akışı oluşturur. Karşıt akışlı bir vorteks tüp için düşünürsek, soğuk akış, sıcak akışın çıktığı uca yerleştirilmiş vananın ve tüp içindeki basıncın etkisi ile bir durgunluk noktasından geriye doğru yönelir. Bu sayede tüpün bir ucundan sıcak akış, diğer ucundan ise soğuk akış elde edilir. Akışların birbirlerine göre ters istikametlerde tüpü terk etmeleri nedeni ile bu tür tüpler “karşıt akışlı vorteks tüpler” olarak isimlendirilirler. Bundan farklı olarak birde “paralel akışlı vorteks tüpler” vardır. Bu cihazlarda tüpün bir ucu tamamen kapatılmıştır. Açık bırakılan diğer uçtan hem sıcak akış hem de soğuk akış alınır. Bu iki akışı birbirinden ayırmak için tüp çıkışına bir aparat yerleştirilmiştir.

**Şekil 1.** Karşıt akışlı vorteks tüpteki akış olayları [2].

Vorteks tüplerin endüstride en çok kullanılan tipi olan karşıt akışlı vorteks tüplerdeki akış olayı şekil 2 ‘de görülmektedir. Tüpe teğetsel olarak giren bir basınçlı akış, bir durgunluk noktasından (D) itibaren iki kısma ayrılarak farklı uçlardan tüpü terk etmektedir. Durgunluk noktası olarak tarif edilen izafi noktanın yerinin tam olarak tespit edilmesi zor bir durum olarak nitelendirilebilir. Çünkü tüpe uygulanan akışın basınç değerinin ve tüp geometrisinin değişmesi gibi daha başka birçok parametrenin değişmesi bu noktanın yerini değiştiren faktörlerdir. Tüp içerisindeki akışın böyle bir noktadan itibaren ters yönelmesi umulan bir durumdur. Tüpün sağ ve sol ucunun atmosfere açık olması ve tüp cidarındaki akışın basıncının, tüpün merkezine radyal yönde ilerleyen merkez akışının basıncından yüksek olması (merkezkaç kuvvetler etkisi ile) bir noktadan itibaren akışın geri yönelmesini sağlayan faktörlerdir.

**Şekil 2.** Karşıt akışlı bir vorteks tüpteki akış [3].

Karşıt akışlı vorteks tüp üreticisi firmaların ürettiği basit bir cihaza ait şematik gösterim şekil 3' de verilmektedir. Bu tür cihazlarda jeneratör olarak isimlendirilen bir parça mevcuttur. Bu parçanın görevi akışa yön ve hız kazandırmaktır. Bu parçanın değiştirilmesi cihazın performansına etki eder.

**Şekil 3.** Jeneratöre sahip bir karşıt akışlı vorteks tüp [4].

- |                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| 1- Gövde       | 4- Basınçlı akış girişi     |
| 2- İğneli vana | 5- Jeneratör tespit elemanı |
| 3- Jeneratör   | 6- O – ring                 |

**3.2. Adyabatik Olmayan Vorteks Tüpler**

Adyabatik olmayan vorteks tüplerde gövde üzerinden çevre atmosfere ısı transferi vardır ve tüpten dışarıya sıcak akış çıkışı yoktur. Fakat vorteks tüp gövdesi içerisinde sirküle ettirilen bir sıcak akış mevcuttur. Bu sıcak akışın sahip olduğu ısı enerjisi gövde üzerine yerleştirilmiş kanatçıklarla çevre atmosfere atılır.

Adyabatik olmayan vorteks tüpler üzerinde araştırma yapan ilk bilim adamı Azarov' dur. Adyabatik olmayan vorteks tüpler ile çeşitli dizaynları ve çalışmaları vardır. Şekil 4' de Azarov tarafından dizayn edilen adyabatik olmayan bir vorteks tüp gösterilmektedir.

Burada;

- 1- Sızdırmaz contalar
- 2- Delikli diskler
- 3- Vorteks hücresi
- 4- Giriş
- 5- Soğuk akış çıkışı

ifade etmektedir.

**Şekil 4.** Gövdesi kanatçıklarla kaplı iki uçtan beslemeli adyabatik olmayan vorteks tüp [5].

Şekil 4' de gösterilen vorteks tüpte soğuk akışlar 5 numara ile ifade edilen çıkışlardan elde edilmektedir. Isınan akışın ısı ise 2 numara ile gösterilen ısı transfer kanatçıkları ile çevre atmosfere atılmaktadır. Vorteks tüp içindeki cidar akışının sıcaklığı ile merkezindeki akışın sıcaklığı arasındaki fark, adyabatik olmayan vorteks tüplerde, adyabatik vorteks tüplere nazaran daha küçüktür [5]. Bunun sebebi de adyabatik olmayan vorteks tüplerde, tüpten sıcak akış çıkışının olmamasıdır. Sıcak akış gövde ve gövde üzerine yerleştirilmiş kanatçıklardan ısınıp attıktan sonra tüpten çıkan soğuk akış içerisinde karışmaktadır. Buda merkez akışı (soğuk akış) ile cidar akışı (sıcak akış) arasındaki farkı azaltmaktadır.

### 3.3. Adyabatik Vorteks Tüplerde Sıcaklık Ayırımı Olayı

Adyabatik bir vorteks tüp için soğuk akış kütleli akış oranının tanımı aşağıdaki gibidir;

$$y_c = \frac{\text{Soğuk akışın kütleli debisi}}{\text{Giriş akışının kütleli debisi}} \quad (1)$$

Tüpe giren akışın kütleli debisinin ne oranda soğuk akışa dönüştüğü şeklinde tanımlanan  $y_c$  oranı, vorteks tüpün iki farklı seçenekte çalıştırılabilmesini mümkün kılar. Bunlar maksimum soğutma kapasitesi seçeneği ile en düşük soğuk akış sıcaklığı seçeneğidir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde,  $y_c$  nin 0,30 civarında olduğu durumlarda en düşük soğuk akış sıcaklığının sağlandığı,  $y_c$  nin 0,70 civarında olduğu durumlarda da maksimum soğutma kapasitesinin elde edildiği görülmektedir [6].

Vorteks tüpten elde edilebilecek soğutma kapasitesi (2) eşitliğinden elde edilebilir.

$$Q_A = y_C \dot{m} c_p (T_A - T_C) \quad (2)$$

Burada,  $\dot{m}$  vorteks tüpe gelen akışın kütleli debisini,  $y_c$  soğuk akış kütleli akış oranını,  $c_p$  çalışma gazının sabit basınçtaki ısınma ısını,  $T_A$  ısı çekilecek ortamın veya nesnenin sıcaklığı ve  $T_C$  soğuk akış sıcaklığını ifade etmektedir.

Adyabatik bir vorteks tüp için havanın ideal gaz olarak kabulü ve havanın  $c_p$  katsayısının sıcaklığa bağımlılığını ihmal ederek, termodinamiğin 1. yasası aşağıdaki gibi yazılabilir [6];

$$c_p T_{\text{giriş}} = y_c c_p T_c + (1 - y_c) c_p T_h \quad (3)$$

Ayrıca yine aynı kabullere ilave olarak vorteks tüp iç cidarı ile hava arasındaki sürtünmenin olmadığı kabulü ile tüp içerisindeki entropi üretiminin olmadığı bir vorteks tüp için düşünülen bir kontrol hacminde termodinamiğin 2. yasası aşağıdaki gibi yazılabilir [6];

$$(\dot{S})_{\text{üretim}} = \dot{m}_g c_p \ln \left[ \left( \frac{T_c}{T_h} \right)^{y_c} \left( 1 + y_c \left( \frac{T_c}{T_h} - 1 \right) \right)^{-1} \right] - \dot{m}_g R \ln \left( \frac{P_h}{P_g} \right) > 0 \quad (4)$$

### Şekil 5. Vorteks tüpteki akışlar arası enerji transferi [2].

Bir vorteks tüp içindeki farklı açısal hızlarda dönen akışlar arasındaki enerji transferi Şekil 5' te gösterilmektedir. İç akıştan dış akışa olan mekanik enerji transferi  $E_M$  ile dış akıştan iç akışa olan difüz enerji transferi  $E_D$  ile ifade edilmiştir.  $E_M > E_D$  olduğu durumlarda vorteks tüpten iki farklı sıcaklıklı akış elde edilmektedir.

## 4. VORTEKS TÜPLER İLE SOĞUTMA UYGULAMALARI

Vorteks tüplerin soğutma amacı ile kullanıldıkları alanlar;

- Bölgesel soğutma uygulamaları,
- Kimyasal analizlerde numunenin soğutulması,
- Düşük kapasiteli gıda soğutucularda kullanılması,
- Kokpit ve kabinlerin bölgesel soğutulması,
- Gaz sıvılaştırılması ve gazdan nem alınması işlemleri,
- Suni kar üretimi cihazlarında soğutucu eleman olarak kullanılması,

olarak sıralanabilir. Bu uygulama alanlarının bazılarında vorteks tüplerin kullanımı şöyle açıklanabilir.

### 4.1. Vorteks Tüplerin Bölgesel Soğutma Amacıyla Kullanımı

Vorteks tüplerin soğutma amacıyla kullanıldığı alanlar içerisinde, bölgesel (spot) soğutma uygulamaları oldukça geniş bir yer tutmaktadır. Bu tür uygulamalar için kullanılan vorteks tüpler çoğunlukla maksimum soğutma kapasitesinin elde edildiği yaklaşık 0,7 $y_c$  oranında çalıştırılırlar. Vorteks tüplerin ebatlarının küçük olmaları, hafif olmaları ve titreşimsiz çalışmaları gibi özellikleri ile ısının üretildiği ortama monte edilip, o ortamın direk soğutulmasında kullanılırlar.

Vorteks tüpler bölgesel soğutma amacıyla,

- Programlanabilir makine elemanlarının, otomatik hatların ve robotize uygulamaların elektronik ünitelerinin soğutulması,
- Kesici takımların ve taşlama taşlarının soğutulması,
- Basıncılı hava hatlarında havanın nemden arındırılması,
- Termal kameraların merceklelerinin soğutulması,
- Sürekli kaynak yapan ve ısınan punto kaynak cihazlarının uçlarının soğutulması,
- Bilgisayar ünitelerinin ve CNC cihazlarının devrelerinin soğutulması,
- İp üreten cihazlarda sürtünmeden ısınan iplerin ve cihaz ekipmanlarının soğutulması,
- Rigo tezgahlarında mamul köşelerinin soğutulması,
- Fabrikaların üretim hatlarındaki teknolojik bölgelerin soğutulması,

gibi bir çok alanlarda (lokal ısınmanın olduğu) yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

#### 4.1.1. Elektronik Devrelerin Soğutulması

Elektronik devrelerin çalışmaları esnasında açığa çıkan ısının, bu devrelerin çalışmalarının devamı için sistemden alınması gerekmektedir. Şekil 6' da bir elektronik devre sisteminin şematik soğutma prensibi gösterilmiştir.

Şekil 6' da 2 numara ile gösterilen vorteks tüpten elde edilen soğuk hava akımı 4 numara ile gösterilen soğuk hava kanalları aracılığı ile devreler üzerine gönderilmektedir. 1 numara ile gösterilen selenoid vana 3 numara ile gösterilen termostatın kontrolünde iç ortam sıcaklığı istenen değere ulaştığında vorteks tüpün hava beslemesini kapatmaktadır.

**Şekil 6.** Bir elektronik devre sisteminin vorteks tüp soğutma sistemiyle soğutulması [5].

#### 4.1.2. Kesici Takımların Soğutulması

Şekil 7' de görüldüğü gibi bir torna tezgahında kesici takımın ısısının alınması amacıyla bir vorteks tüp kullanılmıştır. Benzer şekilde taşlama tezgahlarında ve freze tezgahlarında da kesici takımların soğutulması amacıyla vorteks tüplerin kullanılması mümkündür. Bu uygulamalar için vorteks tüpün ürettiği soğuk hava akımı biçimlendirilebilir bir hortum vasıtasıyla direk kesici takımın üzerine nakledilebilir.

**Şekil 7.** Bir torna tezgahında kesici takımın vorteks tüp ile soğutulması [7].

#### 4.1.3. Basıncı Hava Hatlarının Nemden Arındırılması

Basıncı hava hatlarında nakledilen hava nem içerebilir. Pnömatik sistemlerde hava içerisindeki nem, bazı durumlarda arzu edilmeyen durumlar meydana getirebilmektedir. Bu sebeple hava içerisindeki nemin alınması pnömatik sistemlerin çalışma şartları açısından önem arz etmektedir. Bu işlem için nem absorblayıcı madde içeren bir kurutucu, basıncı hava hattına bağlanabilir. Fakat böyle bir kurutucunun zamanla bakım gereksinimi ortaya çıkarması muhtemeldir. Bu sebeple şekil 8' de gösterilen ve kendi kendine kurutmalı olarak tabir edilen bir kurutucu hava hattına bağlanabilir.

Şekil 8' de basıncı hava servis girişinden girerek alt kısma geçer ve burada küçük bir delik aracılığı ile bir vorteks tüpü besler. Vorteks tüpten elde edilen soğuk hava akımı, servis hattı havası ile temasta olan bir ısı değiştiricisine gönderilir. Tüpten çıkan sıcak hava akımı da kurutucunun üst kısmından ortama bırakılır. Böyle bir sistemde genellikle  $-25^{\circ}\text{C}$  lık bir ısı değiştirici yüzey sıcaklığı servis havası neminin alınmasına olanak sağlamaktadır. Bu şartlar altında da bu sistemdeki bir vorteks tüp toplam servis havasının yaklaşık % 20 sini tüketmektedir. Bu değerden geriye kalan hava debisi bir çok pnömatik cihazın çalışması için yeterlidir [8].

**Şekil 8.** Vorteks tüp soğutmalı bir basınçlı hava kurutucusu [8].

#### 4.2. Vorteks Tüplerin Kimyasal Analizlerde Kullanılması

Kimyasal analizlerde vorteks tüplerin kullanımında günden güne artan bir durum söz konusudur. Üretilen soğuk akış sıcaklığının yeterli olması ve cihaz ebatlarının küçük olması nedenleri ile vorteks tüpler kimyasal analizlerde sıkça tercih edilen bir uygulama haline gelmişlerdir.

##### 4.2.1. Orta Sıcaklıklı Kromatografik Analizlerde Vorteks Tüp Kullanılması

-40 °C değerine kadar olan analizlere orta sıcaklıklı kromatografik analizler denmektedir. Bu işlem için düşük sıcaklıklarda buharlaşan sıvı soğutkanlar (kriojenik akışkan) kullanılabilir. Fakat kromatografik analizlerde bu tür düşük buharlaşma sıcaklıklı akışkanların kullanımı için "Dewar konteynırı" olarak tabir edilen boyutları büyük haznelere kullanmak gerekmektedir. Ayrıca bu kriojenik akışkanlar yanıcı ve patlayıcı olabilmektedir. Aynı analiz için bir Peltier etkili soğutucunun kullanılması da pek sık rastlanılan bir metot değildir. Orta sıcaklıklı kromatografik analizler için uygun bir alternatif olarak, bir vorteks tüpten alınan soğuk hava akımının, analiz için kullanılan kolon fırını içine enjekte edilmesi olarak düşünülebilir. Böyle bir durumda 15 veya 20 dakika içinde kolon sıcaklığı -30 °C ile -40 °C değerlerine ulaşabilmektedir [8].

##### 4.2.2. Çözeltilerin Soğutulması

Bir sıvı çözelti içinde çözünen maddenin konsantrasyonunu arttırmak için çözücü maddenin buharlaşmasının kontrol edilmesi gerekir. Bu işlem için bir vorteks tüpten faydalanmak mümkündür. Bu amaç için kullanılan düzenek şekil 9' da gösterilmektedir. Bu sistemde iki hazneye ayrılmış gövdenin üst kısmına vorteks tüpün sıcak hava akımı, alt tarafına ise soğuk hava akımı verilmektedir. Isıl etkileşim sonrası oluşan atık hava bir susturucudan geçirilerek dış ortama atılmaktadır. Bu şekilde dizayn edilen bir konsantre edici cihazda soğuk parmak olarak tabir edilen alt uç ile üst uç arasında bir sıcaklık farkı oluşturulur.

**Şekil 9.** Vorteks tüp kullanılan konsantre edici [8].

#### 4.2.3. Numunenin Nemden Arındırılması

Özellikle baca gazının analizinin yapılması ve buna benzer analizlerde numunenin nemden arındırılması gerekir. Baca gazı analizinin yapıldığı cihazın sensörünün elektroliti neme duyarlı olan bir malzemedir. Bu sebepten dolayı numunenin nemden arındırılması bazı kimyasal analizlerde önem arz etmektedir. Ancak bu şekilde güvenilir ve doğru sonuçlar elde edilebilir. Bu tür bir işlem için vorteks tüp ile bir soğutma sistemi dizayn edilebilir. Böyle bir sistem şekil 10' da gösterilmektedir.

**Şekil 10.** Vorteks tüp ile soğutulan bir gaz numuneden nem alma sistemi [8].

Bu sistemde vorteks tüpten elde edilen soğuk hava akımı bir ters akımlı ısı değiştiricisine nakledilirken ısı değiştiricinin diğer ucuna da nemden arındırılacak ve analize tabi tutulacak numune nakledilir. Yoğuşan nem yerçekiminin etkisi altında numunenin ısı değiştiricisine girdiği uçtan, ısı değiştiricinin altına bağlanmış bir haznede biriktirilerek numuneden uzaklaştırılır.

#### 4.3. Vorteks Tüpün Bir Soğutucu İçinde Soğutma Sistemi Olarak Kullanılması

Bu şekilde;

- 1- Basınçlı hava girişi
- 2- Basınçlı havanın soğutulduğu ısı eşanjörü
- 3- Vorteks hücresi (D = 5 mm lik nozul)
- 4- Soğuk hava çıkışı
- 5- Adyabatik olmayan vorteks tüpün dış yüzeyi
- 6- Dış havaya açılan uç

olarak gösterilmektedir.

Azarov tarafından dizayn edilen ve şekil 11' de gösterilen soğutucunun, soğutma hücresinin arkasında kalan haznede bir sıvı vardır. Bu sıvı su, su+yağ veya su+NaCl olabilmektedir. Bu sıvı 4 numara ile gösterilen soğuk hava çıkışına maruzdur ve bu akış tarafından soğutulur. Bu sıvı cihaz içinde aşağıdaki görevleri yerine getirir.



**Şekil 11.** Vorteks tüp kullanılan bir mini buzdolabı [5].

a-) Soğuk enerjisini depo eder ve soğutulan iç hacmin sıcaklığını uzun süre korumaya yardımcı olur.

b-) Vorteks tüplerde açığa çıkan gürültüyü absorblayarak, bir susturucu görevi görür.

c-) Bu sıvının donması ile soğuk havanın çıkış kesiti de tıkanır. Bu sayede soğutma sisteminin otomatik kontrolü için bir girdi sağlanabilir.

Farklı bir vorteks tüp sistemi kullanılan bir mini buzdolabı şekil 12' de gösterilmektedir. Bu soğutucunun farkı, kademeli bir sisteme sahip olmasıdır.

Şekil 12' de; 1, 2 ve 3 harfleri birbirine seri bağlanmış vorteks tüpleri, 5 ve 6 adyabatik olmayan vorteks tüplerin gövdesi üzerine yerleştirilmiş kanatçıkları, 4 numara ise soğutulan mahali göstermektedir.

Şekil 12' deki sistemde, 1 nolu tüpe giren hava soğuk ve sıcak olarak iki akıma ayrılır. Bu tüpten çıkan soğuk hava 2 nolu tüpe girer ve bu tüpten de çıkan hava 3 nolu tüpe girer. Bu işlemler esnasında havanın giriş basıncı bir tüp için gerekenden biraz yüksek tutulabilir ve soğuk hava akımının sıcaklığı oldukça düşük olarak elde edilebilir. Soğuk hava menfezlerden içeriye doğru yönelir. İç hacmi soğutan hava, tüplerin sıcak hava uçları üzerinden geçirilir ve bu sayede sıcak uçlarda soğutulabilir. Bu soğutucu özellikle kuruma riski olmayan gıdaların soğutulması için ideal bir sistem olarak değerlendirilebilir.

**Şekil 12.** Birbirine seri bağlı adyabatik olmayan vorteks tüpler ile çalıştırılan bir soğutucu [5].

#### 4.4. Vorteks Tüp Yardımıyla Kar Üretimi

Vorteks tüpün sağladığı soğuk akışın sıcaklığının kar üretimi için kullanılması fikri ilk olarak 1999 yılında L.Tunkel vd. tarafından düşünülmüştür. Vorteks tüpten elde edilen soğuk akış, bir su jetinden pülverize olarak püskürtülen su hüzmesi ile kesiştirilerek kar üretmek amaçlanır. Bu tür bir yolla kar elde etmek için vorteks tüp dizaynında bazı ilave elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. İlave elemanlarla donatılmış vorteks tüpe ait şekil, şekil 13' de gösterilmektedir.

**Şekil 13.** Kar üretimi amacıyla tasarlanmış vorteks tüpün şematik gösterimi [9].

Kar üretimi için kullanılan vorteks tüpün gövdesi üzerine yerleştirilen kanatçıklar ve soğuk akış çıkış ucuna yerleştirilen bir ısı eşanjörü, sisteme ilave edilen elemanlardır. Tüpe gönderilen basınçlı hava akımı, tüp içerisindeki enerji seperasyonu sonucu iki kısma ayrılmakta ve şekil 13' de görüldüğü gibi soğuk akış tüpün sol ucundan, sıcak akış ise vanadan geçerek tüpün sağ tarafından elde edilir. Gövde üzerine yerleştirilen kanatçıklar sıcak akış sıcaklığını belli bir değere düşürmek amacıyla tasarlanmıştır. Isınmış akış, vorteks tüpün sol ucuna yerleştirilen bir ısı eşanjörüne, bir sıcak hava hattı ile bağlanmıştır. Bu ısı değiştiricisinin görevi, vorteks tüpün soğuk uç çıkışında oluşabilecek buz formasyonunu dolayısıyla da soğuk akış çıkış kesitinin tıkanmasını önlemektir [9]. Fakat bu ısı değiştiricisine gelen sıcak akışın sıcaklık değerinin yüksek olması arzulanmaz. Aksi takdirde vorteks tüpten elde edilen soğuk akışın sıcaklık değerinde bir artış gözlenebilir. Bu durum da kar oluşumuna olumsuz yönde etki edebilir.

## 6. SONUÇ

Bir basınçlı giriş akışını, biri sıcak diğeri soğuk iki eş zamanlı akışa ayıran vorteks tüpler, bazı soğutma ve ısıtma uygulamalarında alternatif çözümler olabilmektedir. Vorteks tüpler, hiçbir hareketli parçaya sahip olmamaları nedeni ile bakım gereksinimi yok olarak nitelendirilen cihazlardır. Ayrıca ilk yatırım maliyelerinin düşük olması, çalışmaları için gereken beslemenin yalnızca basınçlı bir akış olması, ebatlarının büyük olmaması, gecikmesiz olarak rejime girebilmeleri, ayarlanan şartlardaki çalışma hassasiyetlerinin istenen seviyelerde olması ( $\pm 1$  °C çalışma hassasiyeti) ve ekolojik açıdan zararlı sayılan soğutucu akışkanlara bağımlı bir çalışma karakteristiği olmamaları gibi diğer özellikleri, vorteks tüpleri endüstriyel amaçlarla bir çok alanda alternatif çözüm olarak değerlendirilebilir kılmaktadır.

Vorteks tüpler soğutma ve ısıtma uygulamaları için tasarlandıklarında, çalışma akışkanı olarak genellikle hava kullanılmaktadır. Basınçlı havanın atmosferde bol ve serbest halde olması, bir çok endüstriyel kuruluşta basınçlı hava tesisatının olması gibi özelliklerle hava tercih edilmektedir. Bu durumdan farklı olarak, vorteks tüp bir ayırıcı olarak kullanılmak istendiğinde, doğalgaz gibi gazlar vorteks tüpün çalışması için kullanılabilir. Ayrıca vorteks tüplere karbondioksit, oksijen ve helyum gibi değişik gazlar, deneysel amaçlarla uygulanmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar oldukça az ve yenidir.

Bir vorteks tüp soğutma amacı için kullanıldığında iki farklı çalışma modu söz konusudur. Bunlar en düşük soğuk akış sıcaklığı modu ile maksimum soğutma kapasitesi modudur. En düşük soğuk akış sıcaklık modu,  $y_c$  nin 0.3 civarında olduğu durumlarda elde edilebilmektedir. Maksimum soğutma modu ise vorteks tüplerle yapılan birçok çalışmada belirtildiği gibi  $y_c$  nin 0.7 civarında olduğu durumlarda elde edilebilmektedir. Çünkü bu değerde, soğuk akışın sıcaklığı ve soğuk akışın kütleli debisi değerlerinin bileşimi en fazla soğutma kapasitesini vermektedir.

Vorteks tüplerin en sık kullanıldığı soğutma uygulamaları bölgesel soğutma uygulamalarıdır. Vorteks tüplerden elde edilen soğutma kapasitesi değerinin yüksek olmaması sebebi ile yüksek kapasiteli soğutucular gibi uygulamalarda vorteks tüplerin kullanımı söz konusu değildir. Aynı zamanda vorteks tüpten elde edilen soğutma kapasitesi, cihaza gönderilen akışkan debisinin bir fonksiyonudur. Bu debi değerinin artması, cihazın ekonomik olarak işletilmesine engel olabilmektedir. Vorteks tüp teknolojisinin gaz sıvılaştırma gibi işlemler için kullanılması söz konusudur. Bu tür uygulamalar için kaskad sistemler olarak isimlendirilen sistemler kullanılır. Bu alandaki çalışmalar az ve yeni olma özelliği taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] BALMER, R., Pressure Driven Ranque – Hilsch Temperature Separation in Liquids, J. of Fluids Engineering – Trans. of Asme, 110 (2), 161- 164, 1988.
- [2] FRÖHLINGSDORF W., Untersuchungen Zur Kompressiblen Strömung und Energietrennung im Wirbelrohr nach Ranque und Hilsch. Fakultat für Maschinenbau der Ruhr – Universtat Bochum, Erlangung des Grades Doktor – Ingenieur, 144 s, Bochum, 1997.
- [3] COCKERILL T., The Ranque – Hilsch Vortex Tube. Cambridge University Engineering Department, PhD. Thesis, 243 s, Sunderland, 1995.
- [4] EXAIR CORP., Exair Vortex Tubes, 1250 Century Circle N., Cincinnati, OH, 1998.
- [5] AZAROV, A., Qualimetric Method of Comprasion of Refrigerating Systems According to the Totality of Their Technological and Operational Characteristics, Int Conf. Resources Saving in Food Industry, 143 – 144, 1998.
- [6] ÖZGÜR, A, Vorteks Tüplerin Çalışma Kriterlerine Etki Eden Faktörlerin ve Endüstrideki Kullanım Alanlarının Tespiti, Yük. Lis. Tezi, S.D.Ü. Fen Bil. Ens., 46-50, 2001.
- [7] VORTECNOLOGY Application Notes, Vortec Corp., Cincinnati, OH, 8, 1984.



- [8] BRUNO, T., Applications of the Vortex Tube in Chemical Analysis. Process Control and Quality, 3, 195 – 207, 1992.
- [9] TUNKEL L., KRASOVITSKI B., FOSTER R., Vortex Tubes for Snow Making. Patent Institute of United States, Patent no: 5,937,654, 1999.

## ÖZGEÇMİŞLER

### Arif Emre ÖZGÜR

1977 Eskişehir doğumludur. 1998 yılında S. D. Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği Bölümünden, 2001 yılında yine aynı üniversitenin Fen Bil. Ens. Makine Eğt. Bölümünden Yüksek Lisans derecesi alarak mezun oldu. Yine 1998 yılında mezun olduğu bölümde Araştırma Görevlisi oldu. 2001 yılında S.D.Ü. Fen Bil. Ens. Makine Müh. Ana Bilim dalında Doktora öğrencisi olmaya hak kazandı. Halen bitirdiği bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Çalışma konuları ısı tekniği ve akışkanlar üzerinde yoğunlaşmıştır.

### Reşat SELBAŞ

3.3.1963 tarihinde Isparta' da doğdu. 1987 yılında Akdeniz Üni. Isparta Müh. Fak., Mak. Müh. Böl.'nde lisans öğrenimini, 1989 tarihinde Akdeniz Üni. Fen Bil. Ens.de yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 1990 yılında Akdeniz Üni. Isparta Müh. Fak. Mak. Müh. Böl.ne araştırma görevlisi olarak atandı. 1999 yılında S.D.Ü. Fen Bil. Ens. Mak. Müh. Ana Bilim Dalında doktor ünvanı aldı. Şu anda S.D.Ü. Teknik Eğt. Fak. Makine Eğitimi Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Almanca bilmektedir.

### İbrahim ÜÇGÜL

06.06.1963 yılında İstanbul' da doğdu. 1988 yılında Akdeniz Üni. Isparta Müh. Fak. Makine Müh. Böl.' de Lisans öğrenimini tamamladı. Aynı yıl bitirdiği bölümün Termodinamik Ana Bilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. 1991 yılında Akdeniz Üni. Fen Bil. Ens. Mak. Müh. Ana Bilim Dalında yüksek lisansını, 1995 yılında da Yıldız Teknik Üni. Fen Bil. Ens. Mak. Müh. Ana Bilim Dalında Doktora çalışmasını tamamladı. Aynı yıl S.D.Ü. Müh. Mim. Fak. Tekstil Müh. Bölümüne Yardımcı Doçent olarak atandı. Şu anda bu bölümde, Bölüm Başkanı olarak çalışmaktadır.