

VORTEKS TÜPLERİ : 1- Teknolojik Gelişim

Mehmet YILMAZ

Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

Ömer ÇOMAKLI

Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

Mehmet KAYA

Dr., Türk Hava Yolları

Süleyman KARSLI

Yrd., Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi, Pasinler Meslek Yüksek Okulu

ÖZET

1928 yılında, bir metalurjist ve fizikçi olan Fransız bilim adamı Georges Joseph Ranque tarafından keşfedilmesinden itibaren, vorteks tüpleri, teorik ve pratik uygulama açısından oldukça ilgi çeken bir konu olmuştur. Yaygın olarak "Ranque-Hilsch Vorteks Tüpü" ismi ile anılan bu tüpler günümüzde çok çeşitli kullanım alanları bulmakta ve ticari firmalar tarafından seri imalatları yapılmaktadır. İki bölümden oluşan makalenin bu bölümü, vorteks tüplerin sınıflandırılması, vorteks tüplerin konstrüksiyonu, vorteks tüplerde kullanılan akışkanlar, vorteks tüplerin kullanım alanları ve vorteks tüplerin ticari üretimi konu başlıklarını içermektedir. Vorteks tüp araştırmaları, vorteks tüp inceleme yöntemleri, vorteks tüplerde enerji ayrışması, vorteks tüplerin performansını etkileyen parametreler ve vorteks tüplerin performansı konuları ise makalenin ikinci bölümünde ayrıntılı olarak incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Vorteks tüpü, ranque-hilsch vorteks tüpü, vorteks tüpün kullanım alanları, vorteks tüpün ticari üretimi

ABSTRACT

Since its discovery in 1928 by a Frenchman, metallurgist and physicist Georges Joseph Ranque, the vortex tube has been the subject of considerable interest both from the theoretical and practical application standpoints. These tubes, widely called "Ranque-Hilsch Vortex Tube", have found many applications and are being mass-manufactured by commercial companies. First section of this article contains the classification of vortex tubes, the construction of vortex tubes, the working fluids in vortex tubes, the applications of vortex tubes, and the commercial production of vortex tubes. The investigations on vortex tubes, the methods of investigation on vortex tubes, energy separation mechanism, the parameters affecting performance, and the performance of vortex tubes will be described in detail in the second section of the article.

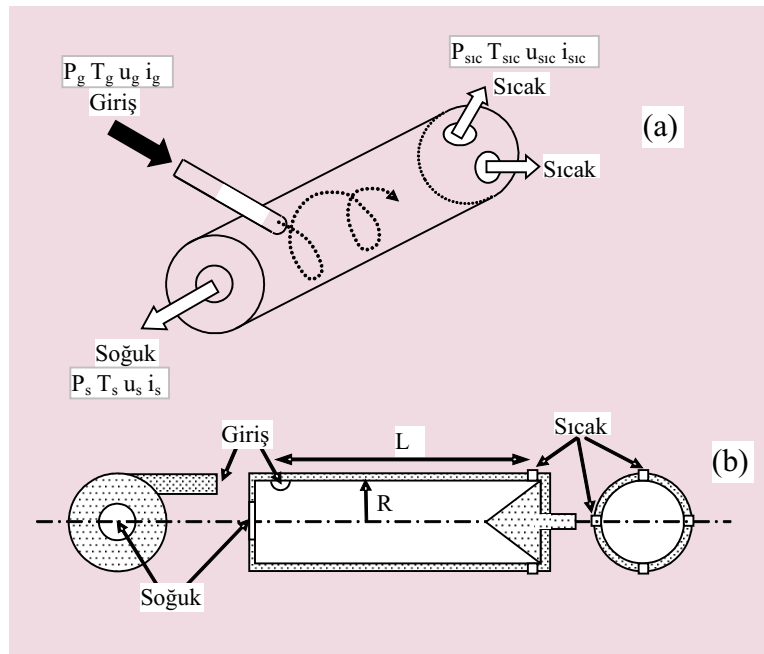
Keywords: Vortex tube, ranque-hilsch vortex tube, applications of vortex tube, commercial production of vortex tube

Giriş

Tornado gibi bir eksen etrafında dönen akışkan "vorteks" olarak adlandırılmaktadır. Vorteks tüpleri, sadece basınçlı gaz ile çalışan, kontrol vanası hariç hiçbir hareketli parçası olmayan basit bir mekanik cihazdır. Bu basit mekanik cihaz, tüpe teğetsel olarak giren yüksek basınçlı gaz akımını biri giriş gazından daha sıcak diğeri giriş gazından daha soğuk düşük basınçlı iki akıma ayırmaktadır. Şekil 1'de bir vorteks tüpünün çalışmasının ve tüp geometrisinin şematik resmi gösterilmiştir [1].

Vorteks tüplerin uygulama alanları, kompaktlık, güvenilirlik ve düşük cihaz maliyetlerinin temel faktörler olduğu alanlardır. Vorteks tüplerinin avantajları şöyle

özetlenebilir [2-5]: (i) Basit geometriye sahiptirler, ve imalatları kolaydır; (ii) ebatları küçük ve hafiftir; (iii) hareketli mekanik elemanları yoktur ve sızdırmazlık elemanı kullanılmasını gerektirmezler; (iv) hareketli elemanları olmadığından minimum aşınma ve erozyon oluşur; (v) kullanılması emniyetli ve portatifdir; (vi) ilk yatırım ve bakım maliyetleri düşüktür; (vii) rejime gecikmesiz olarak ulaşırlar; (viii) fanlar, ısı değiştiriciler, soğutkan, sızıntı oluşturabilen borular veya tesisat malzemeleri gerektirmezler ve defrost işlemine gereksinim duymazlar; (ix) ekolojik açıdan zararsızdırlar ve (x) elektriksel ve kimyasal güç gerektirmezler.

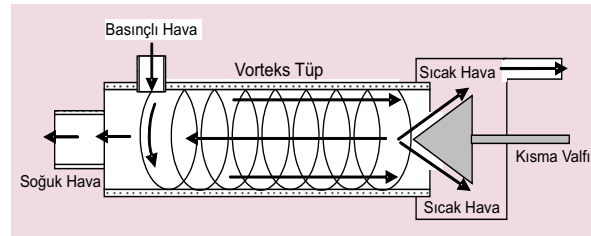


Şekil 1. Vorteks tüpü (a) Çalışma Şematiği ve Parametrelerin Tanımı. (b) Tüp Geometrisi [1]

VORTEKS TÜPLERİN SINIFLANDIRILMASI

Vorteks tüpler akış karakteristiklerine ve dizayn karakteristiklerine göre sınıflandırılmaktadır. Akış karakteristiklerine göre vorteks tüpler karşıt akışlı vorteks tüpler ve paralel akışlı vorteks tüpler, dizayn karakteristiklerine göre ise adyabatik vorteks tüpler ve adyabatik olmayan vorteks tüpler olarak sınıflandırılmaktadır [4, 6].

Karşıt akışlı vorteks tüplerde, yüksek basınçlı gaz silindirik boru şeklinde olan vorteks tüpünün bir ucunun yakınından bir veya daha fazla teğetsel lüleden tüpe teğetsel olarak girmektedir. Bu, giren gaza swirl veya vorteks hareketi kazandırır. Tüpün lüleden uzakta olan diğer ucunda bir valf bulunur. Bu valf genellikle eksenli tüp eksenine aynı olan konik şekilli bir tıkaçtır. Bu uç, tüpün sıcak ucu olarak adlandırılır. Borunun lüle bulunan ucunda bir dairesel orifis bulunur. Orifisin çapı borunun çapından küçüktür. Borunun bu ucuna soğuk uç adı verilir. Tüpe teğetsel olarak giren yüksek basınçlı gaz bir durma noktasından itibaren iki kısma ayrılarak farklı uçlardan tüpü terk eder: soğuk gaz soğuk uçtan, sıcak gaz ise sıcak uçtan çıkar (Şekil 2).

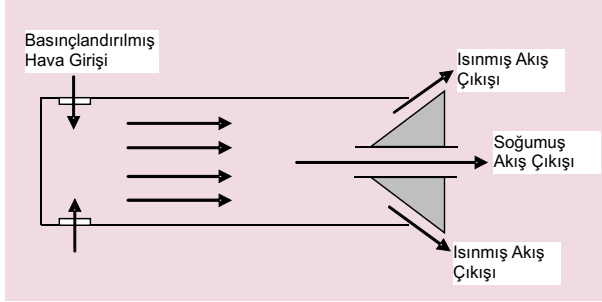


Şekil 2. Karşıt Akışlı Bir Vorteks Tüpüdeki Akış [14]

Paralel akışlı vorteks tüpler tek bir çıkış açıklığına sahiptir, ve lülelerin bulunduğu uç tamamen kapalıdır. Tüm akış lülelerin uzağında bulunan diğer uçtan tüpü terk eder (Şekil 3). Soğuk akışkan tüpün ortasındaki delikten, sıcak akışkan ise çevresel yoldan tüpü terk etmektedir. Sıcak akışkanın geçtiği kesit alanının değişmesine imkan veren bir düzenleme kullanılarak soğuk ve sıcak akış sıcaklıklarının değişmesi sağlanır. Paralel akışlı vorteks tüpler, akışlar içinde oluşabilecek dağınıklar sebebi ile sıcak akış ve soğuk akışın birbirine belli oranlarda karışması ve akışların sıcaklıklarının olumsuz etkilenmesi olası olduğundan genellikle tercih edilen bir konstrüksiyon değildir [2, 4].

Gövdesi üzerinden çevre atmosfere ısı transferinin

ihmal edildiği vorteks tüplere *adyabatik vorteks tüpler* denmektedir. Gövdesi üzerinden çevre atmosfere ısı transferinin olduğu tüpler *adyabatik olmayan vorteks tüpler* adıyla anılırlar.



Şekil 3. Paralel Akışlı Bir Vorteks Tüp [2]

VORTEKS TÜPLERİN KONSTRÜKSİYONU

Vorteks tüplerin temel elemanları; gövde, giriş lüleleri ve çıkış orifis(ler)idir. Bu temel elemanların yanında, jeneratör, filtre, regülatör, susturucular, kompresör, basınçlı hava tankı, basınçlı hava hattı, termostat, solenoid valf gibi çeşitli elemanlar da bulunmaktadır.

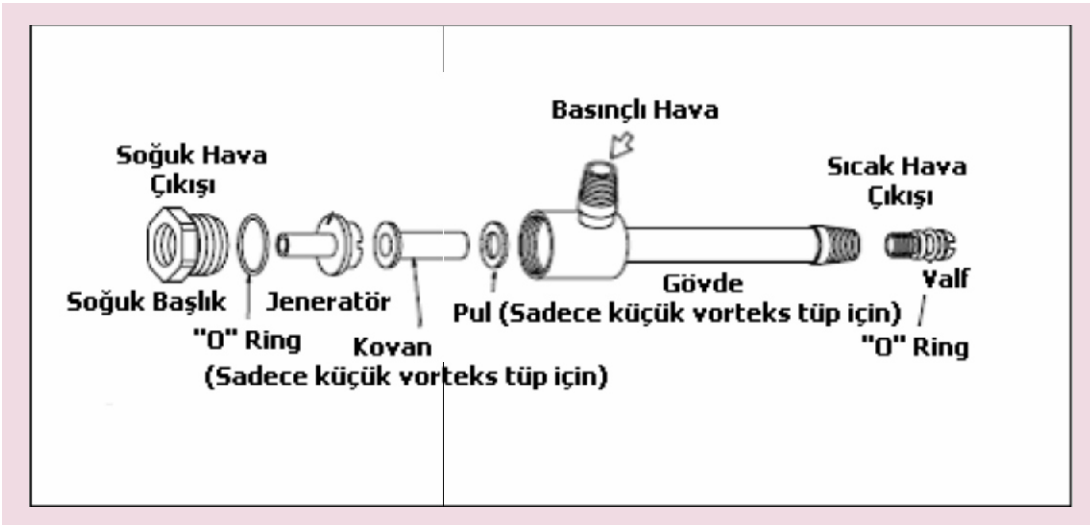
1. Gövde: Silindirik bir şekle sahip olan vorteks tüpünün gövdesi, mukavemeti ve rezilyansı nedeniyle genellikle çelik gibi metallerden imal edilmektedir. Bununla birlikte, metaller iyi bir ısı iletkeni olduklarından tüpün verimi, soğuk tüpte çevreden, sıcak tüpte ise çevreye olan ısı geçişi nedeniyle azalabilir. Bu tip kayıp veya kazançlar tüpü ısıya dayanıklı yaparak veya sabit sıcaklıklı bir su banyosuna sahip bir su cekeci yaparak minimize edilebilir. Bunun yanında gövde malzemesi olarak pirinç, perspex, plexiglas vb. malzemeler de kullanılmaktadır. Perspex; şeffaf olması ve iç akışın nitel anlaşılmasını sağlayacak tüp içerisindeki gerçek akışın incelenmesine olanak vermesi, basınçlı akışkanın yüksek basıncına dayanabilecek mukavemette olması ve ısı iletim katsayısı düşük olduğundan çevreye iletimle olan ısı transferini minimize etmesi nedeniyle araştırmalarda kullanılan bir malzemedir. Pirinç malzemede ise, ısı iletim katsayısının yüksek olması nedeniyle tüpün dış cidarı

boyunca olan sıcaklık profili, tüpteki çevresel vorteks akışa uyum sağlamaktadır [10].

2. Giriş Lüleleri: Basınçlı akışkan vorteks tüpüne, tüpün giriş ağzı yakınında olan giriş lülelerinden geçerek teğetsel olarak girer. Giriş lülelerinin fonksiyonu, basınçlı gazın tüpe girişini sağlamak ve aynı zamanda akışın giriş hızını artırmaktır. Lüle çıkışında ses hızı değerlerine erişebilen akış, tüpün silindirik olması nedeniyle dönmeye başlar.

3. Çıkış Orifisi: Vorteks tüpe giren akışkanın bir kısmı sıcak çıkış ucunda bulunan ayarlanabilir bir valf vasıtasıyla tüpten çıkmaktadır. Bu valfin ayarlanması yoluyla, sıcak akış debisi artırılıp azaltılmakta ve böylece soğuk uçtan çıkan akışkanın debisi ve sıcaklığı ayarlanabilmektedir. Valf, vorteks tüpün ısıtma ve soğutma kapasitelerinin değiştirilebilmesine imkan vermektedir.

4. Jeneratör: Bir kısım vorteks tüplerinde basınçlı akışkan tüpe "jeneratör" denilen elemanlar vasıtasıyla girmektedir. Jeneratörler, vorteks tüpünden daha büyük boyutta yapılırlar ve silindirik bir geometriye sahiptirler. Jeneratörde bulunan çeşitli sayıdaki kanallar, akışa yön vererek tüp içerisindeki vorteks akışın oluşmasını sağlarlar. Soğuk hava, jeneratörün ortasında bulunan delikten akmakta ve soğuk hava çıkış portundan dışarı çıkmaktadır. Jeneratörün soğuk akış tarafındaki çapı küçük yapılmak suretiyle, jeneratör kullanılmayan vorteks tüplerinde soğuk akış çıkışında bulunan orifisin işlevi görülmektedir. Değiştirilebilir bir eleman olan jeneratör, basınçlı akışkanın debisini kontrol etmekte ve elde edilen sıcaklıkları etkilemektedir. Böylece, vorteks tüpüyle elde edilebilecek akış debileri ve sıcaklık aralıkları değiştirilebilmekte ve jeneratör değiştirilerek vorteks tüpünün soğutma kapasitesinin ayarlanması mümkün olmaktadır [5, 7-9]. Çeşitli kapasitelerde üretilen jeneratörlerin iki temel tipi bulunmaktadır: çok düşük soğuk sıcaklıklar üreten jeneratörler ve maksimum



Şekil 4. Jeneratöre Sahip Bir Karşıt Akışlı Vorteks Tüp [5]

soğutma kapasitesi üreten jeneratörler. Maksimum soğuk sıcaklık üreten jeneratörlere "C jeneratörleri", maksimum soğutma üreten jeneratörlere ise "H jeneratörleri" adı verilmektedir [7]. Şekil 4'de jeneratörlü karşıt akışlı bir vorteks tüp şematik olarak gösterilmiştir.

5. Filtreler: Vorteks tüpüne giren basınçlı akışkanın, toz, nem ve yağdan arındırılması gereklidir. Bu, uygun filtre seperatörler ve yağ ayırma filtreleri kullanılarak sağlanır. Bu arındırılmanın yapılmasıyla vorteks tüpleri, yıllar boyu bakım gereksinimi olmaksızın çalışabilir. Yağ ayırma filtresi, otomatik drenaj filtre separatöründen daha sonraya konulmalıdır [5].

6. Regülatörler: Elde edilen soğutmanın, uygulama gereksinimleri ile uyuşması için basıncın ayarlanması gerekir. Bunun için basınç regülatörleri kullanılır. Sıcaklığı kontrol etmenin diğer bir yöntemi, vorteks tüpüne tam basınçla akışkanı göndermek, daha sonra termostat ile kontrol edilen bir solenoid valf vasıtasıyla akışkan akışını açıp kapamaktadır [5, 8].

7. Susturucular: Vorteks tüplerin çalışması sonucu üretilen ses seviyesi insan sağlığı için rahatsızlık verici seviyelere ulaşabilmektedir. Tüp içerisindeki ses, ses hızı seviyelerine erişebilmektedir. Tüp içerisindeki akış hızı ne kadar yüksek olursa ses seviyesi o kadar artar. Sesin oluşturduğu rahatsızlık susturucular kullanılarak

azaltılabilir. Vorteks tüplerin hem sıcak hem de soğuk uçlarında susturucu kullanılabilir.

8. Basınçlı Akışkan Deposu: Vorteks tüplerine basınçlı akışkanın depolandığı elemandır. Depo, vorteks tüpünün çalışacağı maksimum basınca dayanacak dayanımda ve tüpe yeterli debi sağlayacak kapasitede olmalıdır.

9. Basınçlı Hava Hatları: Vorteks tüplerinde basınçlı hava hatları, basınç düşümünü minimum yapacak şekilde boyutlandırılmalı ve aşırı basınç düşümü oluşturacak elemanlar kullanılmaktan kaçınılmalıdır.

10. Solenoid Valf Termostat: Uygulama gereksinimleri ile uyuşan soğutma elde etmek amacıyla solenoid valf ve termostat kullanılmaktadır. Termostat, solenoid valfi kontrol ederek akışkan akış miktarını ayarlamaktadır.

11. Kompresör: Vorteks tüplerde kullanılan akışkanın sıkıştırılmasını ve istenilen basınca getirilmesini sağlayan elemandır. Akışkan basıncı, vorteks tüplerinin en önemli çalışma parametrelerinden birisidir. Literatür taraması vorteks tüpüne giriş basıncının 2-7 bar aralığında olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, kullanılan kompresörün sistem için gerekli giriş basıncını ve debisini sağlayacak kapasite ve özelliklerde olması gerekmektedir. Bu amaçla vidalı kompresörler, pistonlu

vb. çeşitli kompresörler kullanılmaktadır. Kararlı akışkan depo basıncı elde etmek için kompresör, başlangıçta yeterli süre çalıştırılmalıdır.

VORTEKS TÜPLERDE KULLANILAN AKIŞKANLAR

Vorteks tüplerinde basınçlı akışkan olarak genellikle hava kullanılmakta ve oldukça düşük sıcaklıklar elde edilebilmektedir. Bunun yanında, buhar, hidrokarbonlar ve diğer gazların kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Vorteks tüplerinde yaygın olarak kullanılan hava dışındaki akışkanlar Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1, ayrıca bu akışkanlara ait performans karakteristik sonuçlarını da kısaca içermektedir. Genel olarak, vorteks tüpün veriminin ıslaklık oranının artmasıyla

azaldığı ve buhar ile hidrokarbonlar kullanıldığında elde edilen sonuçların havanıninkine büyük oranda benzediği ifade edilebilir [2, 10].

VORTEKS TÜPLERİN KULLANIM ALANLARI

Vorteks tüplerinin giriş kısmında belirtildiği gibi birçok avantajlara sahip olmaları, bunları endüstriyel uygulamalar için cazip yapmaktadır. Kompaktlık, güvenilirlik ve düşük cihaz maliyetlerinin temel faktörler olduğu alanlarda vorteks tüpleri, birçok uygulama alanı bulmaktadır [3].

1. Isıtma ve Soğutma Uygulamaları: Oluşturdukları ısı ayrışma, vorteks tüplerin ısıtma ve soğutma gereksinimi gösteren uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmasını sağlamaktadır. Şüphesiz ki uygulama

Tablo 1. Vorteks Tüplerinde Kullanılan Hava Dışındaki Akışkanlar

Akışkan	Yazar(lar)	Performans
Buhar	Starostin ve Itkin [11] Takahama vd. [12]	1- Performans, hava kullanıldığında elde edilen performansa oldukça benzerdir. 2- Sıcak ve soğuk akımlar arasında esaslı bir ayrışma için havadan daha büyük bir giriş depo basıncı gereklidir. 3- Buharın ıslaklık oranı arttıkça Ranque-Hilsch etkisi azalmaktadır.
Metan (CH ₄)	Williams [13]	1- Performans, hava kullanıldığında elde edilen performansa oldukça benzerdir. 2- Vorteks tüpler, doğal gaz içerisindeki nemin ve diğer maddelerin yoğunlaştırılarak alınması amacıyla kullanılabilir.
Propan	Collins ve Lovelace [15]	1- ıslaklık oranı 0.2'den büyük olunca performans azalmaktadır.
Oksijen (O ₂)	Usta vd. [16] Stephan vd. [19]	1- O ₂ gazı kullanıldığında, soğuk akışkanın sıcaklık performansı havaya göre daha yüksek olmaktadır. 2- Havanın içinde bulunan O ₂ gazı miktarı artırılırsa, vorteks tüplerindeki soğutma performansları daha da artırılabilir.
Azot (N ₂)	Gao vd. [17]	1- Vorteks tüpler tarafından üretilen sıcaklık farkı akışkanın tipine bağlıdır.
Helyum (He)	Stephan vd. [19]	1- Soğuk gazın gerçek sıcaklık düşümünün maksimum sıcaklık düşümüne oranı ($\Delta T_c/\Delta T_{c,max}$) çalışma koşullarından ve tüpte kullanılan akışkan tipinden bağımsızdır.
Su	Balmer [18]	1- Dikkate değer bir sıcaklık ayrışma olayının gerçekleşmesi için çok yüksek giriş basınçları gereklidir. 2- 20-50 MPa basınçlar arasında tüpe gönderilen su ile 10-20°C sıcaklık farkları oluşmuştur. 3- Net soğutma olmamasına rağmen, enerji ayrışması viskoz etkilerden kaynaklanıyor görünmektedir.

alanı, tüpten elde edilebilecek ısıtma ve soğutma kapasitesine son derece bağımlıdır. Vorteks tüplerin verimi, geleneksel soğutma cihazlarına göre oldukça küçük olmasına rağmen, düşük ilk yatırım maliyetleri bu dezavantajı giderebilmektedir. Eğer, hazır bir basınçlı gaz ikmal kaynağı var ise gerekli olan ısıtma ve soğutma hemen hemen maliyetsiz olarak sağlanabilir. Vorteks tüpler, çeşitli ısıtma ve soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır [2-6, 20]:

- (i) Yüksek sıcaklıklı reaktörlerin soğutulmasında
- (ii) Uçaklar, uzay araçları ve madenlerin soğutulmasında
- (iii) Elektronik devrelerin ve kontrol elemanlarının soğutulmasında
- (iv) Kimyasal analizlerde numunelerin soğutulmasında
- (v) İtfaiyeci elbiselerinin soğutulmasında
- (vi) Çiğ noktası ölçüm cihazlarında soğutma kaynağı olarak
- (vii) Roketlerin tepki kuvvetinde sıcaklığı artırmak için ısı kaynağı olarak
- (viii) Buharlı güç üretim sistemlerinin çabuk çalışmaya başlaması için
- (ix) Isıl tahribatsız muayeneler için konvektif tahrik kaynağı olarak
- (x) Peltier soğutucuların performansını geliştirmek için termoçiftlerle birlikte
- (xi) Dalgiçların hava ikmal kaynaklarının sıcaklık kontrolünde
- (xii) Sualtı araştırma habitatı içerisindeki havanın şartlandırılmasında
- (xiii) Hiperbasınçlı odalarda
- (xiv) Lokal ısınmanın olduğu alanlarda soğutma (spot soğutma)

Spot soğutma uygulamalarına örnek olarak, kesici takım ve taşlama taşlarının soğutulması, sürekli kaynak yapan ve ısınan punto kaynak cihazlarının uçlarının soğutulması, bilgisayar ünitelerinin ve CNC cihazlarının

devrelerinin soğutulması, termal kameraların merceklelerinin soğutulması verilebilir [4].

2. Gazların Sıvılaştırılması: Bilimsel araştırma ve mühendislikle ilgili birçok işlem, kriyojenik sıcaklıklarda (-100°C 'nin altında) gerçekleşir ve sıvılaştırılmış gazların kullanılmasına dayanır. Bu nedenle, gazların sıvılaştırılması soğutma uygulamalarının her zaman önemli bir bölümünü oluşturmuştur. Tüm gaz sıvılaştırma problemlerinin yöntemlerinde temel ilke, gazı, doyma bölgesinde termodinamik bir hale getirmektir. Yüksek kaynama noktalarına sahip gazların (hidrokarbonların alkali serisi gibi) sıvılaştırılmasında, kaskat geleneksel soğutma sistemleri kullanılır. Kaynama noktaları kriyojenik sıcaklıklarda olan gazlarda ise, yüksek basınçta yapılan bazı genişleme prosesleri kullanılarak sıvılaştırma yapılır. Vorteks tüpleri, düşük performansları nedeniyle gazların sıvılaştırılması prosesinde geleneksel soğutucu olarak kullanılmazlar. Bunun yerine, kriyojenik sistem tasarımlarında genişleme motoru olarak kullanılırlar. Bunlardan en basit uygulama vorteks tüpünün Linde Prosesinde kullanılmasıdır [2, 21].

3. Gaz Karışımlarının Ayrıştırılması: Vorteks tüpler, bir çok gaz karışımlarının ayrıştırılması işlemlerinde kullanılmaktadır [2, 22, 23]:

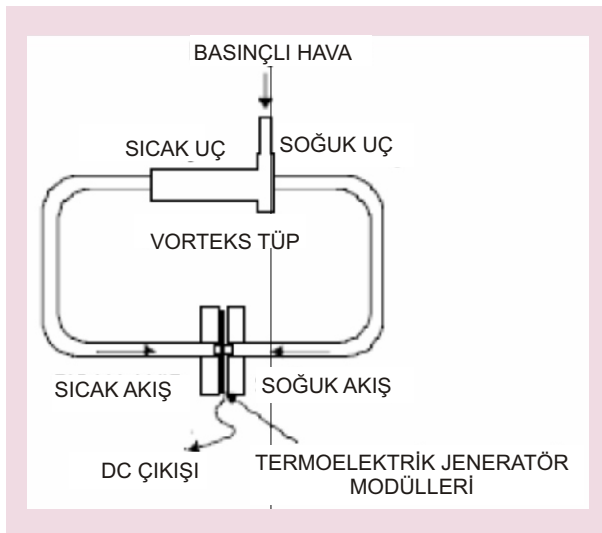
- (i) Doğal gazdan ağır hidrokarbonların ayrıştırılmasında
- (ii) Doğal gazdan ve baca gazından CO_2 'nin ayrıştırılmasında
- (iii) Havanın ayrıştırılmasında
- (iv) Uranyum izotoplarının ayrıştırılmasında

4. Düşük Sıcaklıklı Uygulamalar: Vorteks tüplerin kademeli olarak kullanılmasıyla çok düşük sıcaklıklara erişebilmek mümkün olmaktadır. Kaskat sistemler olarak adlandırılan bu sistemlerde bir tüpten çıkan soğuk akış diğer tüpün giriş ağzına bağlanmakta ve böylece çok düşük sıcaklıklar elde edilebilmektedir. Vorteks tüplerin

düşük sıcaklıklı uygulamalarda kullanılmasına ait bazı örnekler şunlardır [2, 4]:

- (i) Gıda maddelerinin soğutulması ve dondurulması
- (ii) Yapay kar üretimi için tohum olarak işlev gören buz kristallerinin üretimi
- (iii) Gazların nemini gidermek işlemi
- (iv) Elektronik kontrol kabinlerinin soğutulması
- (v) Sıcaklık sensörlerinin test edilmesi

5. Elektrik Üretimi: Vorteks tüplerinin diğer bir kullanım alanı termoelektrik üretimidir. Tippetts ve Boucher [25] pnömomatik olarak tahrik edilen hareketli parçası olmayan termoelektrik jeneratörü tanımlamıştır (Şekil 5). Bu konsept ilk olarak British Gas araştırmacıları (Trevor Smith) tarafından önerilmiş ve demonstrasyonu yapılmıştır. Vorteks tüpünden çıkan sıcak ve soğuk hava termoelektrik jeneratör modülleri üzerine çarpmakta, bu ise tipik olarak düşük voltajlı DC elektrik akımı üretmektedir. Birçok hücrenin seri bağlanmasıyla bu akım yararlı seviyelere getirilmektedir. Tippetts ve Boucher tarafından yapılan deneylerde 4 bar efektif basınçtaki 400 lt/dak debiye sahip havadan 3.5 volt'da 0.266 Watt elektrik üretilmiştir. Toplam verim çok küçük olduğundan (%0.024) bu cihazların oldukça



Şekil 5. Vorteks Tüp Tahrikli Termoelektrik Jeneratör [25]

geliştirilmesi gerekmektedir. Tippetts ve Boucher tarafından yapılan araştırmaya gelecekte bu konuda yapılacak araştırmaların ilk basamağı olarak bakılabilir.

6. Diğer Uygulama Alanları: Vorteks tüpler yukarıda anlatılan uygulama alanları dışında şu alanlarda da kullanılmaktadır [2, 24, 26]: (i) Gaz endüstrisinde kurutma amacıyla kullanılması, (ii) Kar Üretimi

VORTEKS TÜPLERİN TİCARİ ÜRETİMİ

Vorteks tüpü ilk olarak, 1928 yılında Fransız Fizikçi Georges Ranque tarafından keşfedilmiştir. Vorteks tüp etkisini endüstriyel uygulamalar için pratik, etkin soğutma çözümleri geliştirmek amacıyla kullanan ilk ticari firma olan Vortec Corporation, 1961 yılında kurulmuştur. Günümüzde, Türkiye'de vorteks tüplerini ticari olarak üreten firma bulunmamaktadır. Türkiye dışında ise çeşitli ülkelerde vorteks tüplerinin ticari üretimini yapan firmalar bulunmaktadır. Bunların başlıcaları şunlardır: Vortec Corporation [8], Exair Corporation [5], Newman Tools Inc. [9], AiRTX International The Air Research Technology Company [27], NATCO Group [28], Meech Air Technology [29], Transonix Corporation [30], Arizona Vortex Corporation [31], Amazonvortex Corporation [32].

Endüstriyel uygulamalarda vorteks tüp soğutmasında öncü firma olan Vortec firması, ısıyla ilişkili problemleri çözecek çok geniş ürünler sunmaktadır. 1961 yılında kurulduğundan beri, vorteks tüp uygulamalarını geliştirmiş ve genişletmiştir. Vortec ürünlerinin soğutma kapasitesi, 400-5000 BTUH arasında değişmektedir. Enerji tasarrufunda bulunmak amacıyla termostatik kontrol kullanılmakta ve tüm modeller 5-micronluk oto-drenajlı hava hattı filtreleri içermektedir [8]. Exair Corp. tarafından üretilen paslanmaz çelik vorteks tüpleri, -46 ila +127°C sıcaklıklar, 1-150SCFM debiler ve 2571 kcal/h'e kadar soğutma kapasiteleri

üretebilmektedir. Sıcaklık, debi ve soğutma değerleri, sıcak uçta bulunan kontrol valfi vasıtasıyla çok geniş aralıklarda ayarlanabilmektedir [5]. Newman Tools Inc. tarafından üretilen ITW Vortec vorteks tüpleri, çoğu proses ve spot soğutma uygulamalarının gereksinimlerini karşılayacak geniş boyut aralıklarında üretilmektedir. Filtre edilmiş basınçlı hava güç kaynağı olarak kullanılarak, 6.9 Bar basınç ve 21°C giriş sıcaklığındaki havadan, 6000 BTUH (1512 kcal/H) veya -40°C sıcaklıklar üretilmektedir. Bu firma, ayrıca çeşitli jeneratörler, soğuk ve sıcak uç susturucuları üretmektedir [9]. The Air Research Technology Company modüler dizayn vorteks tüpleri üretmekte ve tek bir vorteks tüpünden sadece vorteks jeneratörü değiştirilerek on adet performans aralığı elde edilmektedir. Jeneratörler tekil olarak satın alınabildiği gibi, tüm boyutları kapsayan bir kit halinde de alınabilmektedir. Firma, sıcak ve soğuk uç susturucuları, hava filtreleri, regülatörler, termostatlar ve solenoid valflerden oluşan aksesuarlar da üretmektedir [27]. NATCO Group tarafından Porta-Test Whirlscrub™ isimli doğal gaz ve buhar servislerinden sıvıları ayırıştırmak için bir vorteks tüpü dizayn edilmiştir. Bu vorteks tüpü 10 mikrona kadar katı ve sıvı partiküllerinin %99.9'unu ayırıştırmaktadır [28]. Meech Air Technology tarafından üretilen paslanmaz çelik vorteks tüpleri, -60°C ila +110°C sıcaklıklar üretebilmekte ve sıcaklıkları +/-0.6°C'de tutabilmektedir [29]. Vorteks tüpleri ticari olarak üreten firmalar bunlarla sınırlı değildir. Burada, sadece başlıcalarından söz edilmiştir.

Teşekkür

Bu makale Atatürk Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen 2005/20 nolu "Vorteks Tüplerin Soğutma Tekniğinde Kullanılması" ve TÜBİTAK tarafından desteklenen 105M028 nolu "Vorteks Tüplerin Soğutma

Tekniğinde Kullanılması" isimli projeler kapsamında hazırlanmıştır. Yazarlar, destekleri nedeniyle Atatürk Üniversitesi Araştırma Fonu ve TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

1. **B. Ahlborn, J U Keller, R Staudt, G Treitz, and E Rebhen**, "Limits of Temperature Separation in a Vortex tube", Journal of Physics, D: Applied Physics, 27:pp. 480488, 1994.
2. **T. Coccerill**, "Thermodynamics and Fluid Mechanics of a RanqueHilsch Vortex Tube", MSc thesis, University of Cambridge, 1998.
3. **N. Nabhani**, "Hot-Wire Anemometry Study of Confined Turbulent Swirling Flow", PhD Thesis, Bradford University, Bradford, U.K., 1989.
4. **A.E. Özgür**, "Vorteks Tüplerin Çalışma Kriterlerine Etki Eden Faktörlerin Ve Endüstrideki Kullanım Alanlarının Tespiti", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2001.
5. **Exair Vortex Tubes**. Online. Available: <http://www.exair.com>, 20 October 2005.
6. **A. Azarov**, "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.
7. **Frigid-X™ Vortex Tubes**. Online. Available: <http://www.process-controls.com>. 20 October 2005.
8. **Vortec**, 10125 Carver Rd.-Cincinnati, OH Online. Available: <http://www.itwvortec.com>.
9. **Newman Tools Inc.** Vortex Tubes for Spot Cooling. 1998. Online. Available: <http://www.newmantools.com>. 20 October 2005.
10. **K. Singh**, "Ranque-Hilsch Vortex Tube", Online. Available: <http://sps.nus.edu.sg>, 20 October 2005.
11. **Pl. Starostin and M.S. Ikin**, "Operation of a vortex tube on high pressure superheated steam", Teploenergetika, 15(8);pp. 3135, 1968.
12. **H. Takahama, H Kawamura, S Kato, and H. Yokosawa**, "Performance Characteristics of Energy Separation in a Steam-Operated Vortex Tube", International Journal of Engineering Science, 17:pp. 735744, 1979.
13. **A. Williams**, "The Cooling of Methane With Vortex Tubes",

Journal of Mechanical Engineering Science, 13(6):pp. 369375, 1971.

14. **P.K. Singh, R.G. Tathgir, D. Gangacharyulu, G.S. Grewal**, "An Experimental Performance Evaluation of Vortex Tube", IE (I) Journal MC, Vol 84, 149-153, 2004.
15. **R.L. Collins and R.B. Lovelace**, "Experimental Study of Two-Phase Propane Expanded Through the Ranque-Hilsch tube", Transactions of the ASME : Journal of Heat Transfer, 101 :pp. 300305, May 1979.
16. **H. Usta, K. Dinçer, V.Kırmacı**, "Vorteks Tüpünde Akışkan Olarak Kullanılan Hava İle Oksijenin Soğutma Sıcaklık Performanslarının Deneysel İncelenmesi", Teknoloji, Cilt 7, Sayı 3, 415-425, 2004.
17. **C.M.Gao, K.J.Bosschaart, J.C.H.Zeegers, A.T.A.M.de Waele**, "Experimental Study on a Simple Ranque Hillsch Vortex Tube", Cryogenics 45, 173 183, 2005.
18. **R.T. Balmer**, "Pressure-Driven Ranque-Hilsch Temperature Separation in Liquids", Transactions of the ASME : Journal of Fluids Engineering, 110:pp. 161164, June 1988.
19. **K. Stephan, S. Lin, M. Durst, F. Huang, and D. Seher**, "A Similarity Relation for Energy Separation in a Vortex Tube", International Journal of Heat and Mass Transfer, 27(6):pp. 911920, 1984.
20. **T. Bruno**, "Applications of the Vortex Tube in Chemical Analysis", Process Control and Quality, 3, 195 207, 1992.
21. **A.Y. Çengel, M.A. Boles**, "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik", Literatür Yayıncılık, İSTANBUL, 1996.
22. **C.U. Linderstrom-Lang**, "Gas Separation in the RanqueHilsch Vortex Tube", International Journal of Heat and Mass Transfer, 7:pp. 11951206, 1964.
23. **K.T. Raterman, M. McKellar, A. Podgorney, D. Stacey, T. Turner**, "A Vortex Contactor for Carbon Dioxide Separations", Online. Available: <http://www.netl.doe.gov>, 20 October 2005.
24. **B. Hajdik, M. Lorey, J. Steinle, K. Thomas**, "Vortex tube can increase liquid hydrocarbon recovery at plant inlet", Oil and Gas Journal, 8, pp. 88-94, 1997.
25. **J.R. Tippetts, R.F. Boucher**, "Vortex-Tube-Driven Thermo-Electricity", Department of Chemical Principal and Vice Chancellor and Process Engineering UMIST University of Sheffield PO Box 88, 2005.
26. **L. Tunkel, B. Krasovitski, R. Foster**, "Vortex Tubes for Snow

Making", Patent Instute of United States, Patent no: 5,937,654, 1999.

27. **AIRTX** International The Air Research Technology Company, Online. Available: <http://www.airtxinternational.com>, 20 October 2005.
28. **NATCO Group**, NATCO Group Head Office Houston, USA, Online. Available: <http://www.natcogroup.com>, 20 October 2005.
29. Meech Air Technology Online. Available: <http://www.meechairtec.co.uk>, 20 October 2005.
30. Transonix Corporation, 44 Stedman Street, Lowell, MA 01851, (616)-453-7860, technical contact: Jaques Abrams.
31. Arizona Vortex Corporation. Online. Available: <http://www.arizonavortex.com>, 20 October 2005.
32. Amazonvortex Corporation. Online. Available: <http://www.amazonvortex.com>, 20 October 2005.

DAHA ETKİN BİR

ODA İÇİN

ÜYELİK

ÖDENTİLERİMİZİ

ZAMANINDA

ÖDEYELİM