

**T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BASINÇLI DOĞALGAZ HATLARINDA VORTEKS TÜPÜNÜN  
ISITMA AMAÇLI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEKLİSANS TEZİ**

**SERDAR ÇULUN**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI  
Dr. Öğr. Üyesi Üsame DEMİR**

**BİNGÖL-2022**



T.C.  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BASINÇLI DOĞALGAZ HATLARINDA VORTEKS TÜPÜNÜN ISITMA  
AMAÇLI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK  
ARAŞTIRILMASI**

Dr. Öğr. Üyesi Üsame DEMİR danışmanlığında, Serdar ÇULUN tarafından hazırlanan bu çalışma ...../...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : *İmza* :  
Üye : *İmza* :  
Üye : *İmza* :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun ...../ ...../ ..... tarih ve ...../ .....  
nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Zafer ŞİAR**  
**Enstitü Müdürü**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖNSÖZ

Tez çalışması sürecinde desteklerini esirgemeyen değerli hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Üsame DEMİR'e teşekkür ederim. Tez çalışmasına kompresör ve deney seti ortamı için destek veren Mavi Çizgi Mobilya firmasına, farklı vorteks tüp ve farklı vorteks tüp üreteçleri ile destek veren Erkim Temsilcilik ve Ticaret Limited şirketi'ne teşekkür ederim. Ayrıca yaşamım boyunca bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen anne ve babama, tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı eşime, kızım ve oğluma teşekkürü bir borç bilirim.

**Serdar ÇULUN**

**Bingöl 2022**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	iv
TABLolar LİSTESİ .....	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Vorteks Tüplerin Çalışma Prensibi .....	2
1.1.1. Akış Şekline Göre Vorteks Tüpler.....	2
1.1.2. Tasarım Özelliğine Göre Vorteks Tüpler .....	4
1.2. Vorteks Tüplerin Kullanım Alanları .....	4
1.2.1. Vorteks Tüp Kar Üretim Sistemi .....	5
1.2.2. Vorteks Tüp Spot Soğutma Uygulamaları.....	6
1.2.3. Vorteks Tüpün Gazların Sıvılaştırılmasında Kullanılması .....	7
1.2.4. Karışım Halindeki Gazların Ayrıştırılması.....	8
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	10
2.1. Yurt İçi Çalışmalar ve Tezlerin Genel Değerlendirmesi .....	10
2.2. Yurt Dışı Çalışmaların Genel Değerlendirmesi .....	12
2.3. Vorteks Tüplerinin Isıtma Amaçlı Kullanımı Üzerine Literatür Araştırması ...	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	16
3.1. Deney Çalışması.....	16
3.2. Enerji Denkleminin Vorteks Tüplerine Uygulanışı.....	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR .....	24
4.1. Farklı Parametrelerin Vorteks Tüp Çıkış Sıcaklığına Etkisi .....	24
4.1.1. Basınç Değişiminin Çıkış Sıcaklıklarına Etkisi.....	24
4.1.2. Giriş Debisinin Çıkış Sıcaklıklarına Etkisi .....	29
4.1.3. Çıkış Debisinin Çıkış Sıcaklıklarına Etkisi .....	34
4.1.4. Farklı Üreteç Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	38
4.2. RMS-A İstasyonlarında Gazın Isıtılması.....	41

4.3. Vorteks Tüplerinin Doğalgaz İstasyonlarında Uygulanabilirliği .....	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	50
KAYNAKLAR .....	53
EKLER.....	57
Ek A1 Kompresör ve Etiket Detayı.....	57
EK A3 Sıcak Tel Anemometre İle Ölçümlerin Alınması.....	59
Ek A4 Sıcak Tel Anemometre ile Ölçümlerin Kaydedilmesi .....	59
Ek A5 Vorteks Üreteç Değişimi.....	60
Ek A6 Vorteks Üreteç Çeşitleri.....	61
Tablo A1 Bingöl İlli RMS-A Yakıt Hattı(2022) .....	62

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$P_g$	: Giriş Basıncı(Pa)
$P_ç$	: Çıkış basıncı(Pa)
$T_g$	: Giriş sıcaklığı(°C)
$T_ç$	: Çıkış sıcaklığı(°C)
$T_{ref}$	: Referans sıcaklık(°C)
$T_{sck}$	: Sıcak Akışkan sıcaklığı(°C )
$T_{sğk}$	: Soğuk akışkan sıcaklığı (°C)
$V_g$	: Giren akışkan hızı(m/s)
$V_{sck}$	: Sıcak akışkan çıkış hızı(m/s)
$V_{sğk}$	: Soğuk akışkan çıkış hızı (m/s)
$\dot{V}_g$	: Vorteks tüpüne giren akışkan hacimsel debisi(m <sup>3</sup> /s)
$\dot{V}_{sck}$	: Sıcak akışkan hacimsel debisi(m <sup>3</sup> /s)
$\dot{V}_{sğk}$	: Soğuk akışkan hacimsel debisi(m <sup>3</sup> /s)
$\dot{m}_g$	: Giren akışkanın kütleli debisi(kg/s)
$\dot{m}_{sck}$	: Sıcak akışkanın kütleli debisi(kg/s)
$\dot{m}_{sğk}$	: Soğuk akışkan kütleli debisi(kg/s)
$\gamma_{sck}, \gamma$	: Sıcak akışkan kütleli debi oranı
$\gamma_{sğk}$	: Soğuk akışkan kütleli debi oranı
$h_g$	: Giren akışkanın özgül entalpisi (kJ/kg)
$h_{çsck}$	: Çıkan sıcak akışkanın özgül entalpisi(kJ/kg)
$h_{çsğk}$	: Çıkan soğuk akışkanın özgül entalpisi(kJ/kg)
$\Delta h_{çsğk}$	: Soğuk çıkış ile giriş arasındaki entalpi farkı(kJ/kg)
$\Delta h_{çsck}$	: Sıcak çıkış ile giriş arasındaki entalpi farkı(kJ/kg)
$\Delta ke$	: Kinetik enerji değişimi(kJ/kg)
$\Delta pe$	: Potansiyel enerji değişimi(kJ/kg)
KVAP	: Kontrol Vanası Açıklık Pozisyonu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Vorteks tüp çeşitleri .....	3
Şekil 1. 2. Azarov (1998) Kar üretim sistemi .....	6
Şekil 1.3. Vorteks tüp spot soğutma uygulamaları, .....	7
Şekil 1.4. Linde-Hamson gazları sıvılaştırma diyagramı (Çengel ve Boles 2000).....	8
Şekil 1.5. Sıvı gaz tankları .....	8
Şekil 1.6. Havadan CO2'i ayrıştırma sistemi (Yun vd. , 2018) .....	9
Şekil 1.7. Gazlardan sıvı parçacıklarının ayıklanması (Yılmaz vd., 2007a).....	9
Şekil 3.1. Vorteks tüp, a) Vorteks tüp teknik resimi, b) Vorteks tüp fotoğrafı.....	17
Şekil 3.2. Vorteks tüp kesit görünüm.....	17
Şekil 3.3. Deney Düzenegi.....	18
Şekil 3.4. a) Kullanılan üreteçler, b) yan görünüş ve c) üst görünüş .....	19
Şekil 3.5. Vorteks tüpte ele alınan sistem sınırları.....	22
Şekil 4.1. Basınç değişiminin çıkış sıcaklıklarına etkisi (40-H üreteci) .....	26
Şekil 4.2. Basınç değişiminin çıkış sıcaklıklarına etkisi (30-C üreteci) .....	28
Şekil 4.3. Basınç değişiminin çıkış sıcaklıklarına etkisi (10-C üreteci) .....	29
Şekil 4.4. Vorteks tüp giriş debisinin etkisi (KVAP 7), 40-H üreteci.....	31
Şekil 4.5. Vorteks tüp giriş debisinin etkisi (KVAP 9), 40-H üreteci.....	32
Şekil 4.6. Vorteks tüp giriş debisinin çıkış sıcaklıklara etkisi, 30-C üreteci 7,5 bar ..	33
Şekil 4.7. Vorteks tüp giriş debisinin çıkış sıcaklıklara etkisi, 10-C üreteci 7,5 bar ..	33
Şekil 4.8. Sabit basınçta ( 7,5 bar ) farklı KVAP sayılarının karşılaştırılması.....	36
Şekil 4.9. Farklı üreteç etkilerinin karşılaştırılması (5,5 bar sabit).....	39
Şekil 4.10. Farklı üreteç etkilerinin karşılaştırılması ( 7,5 bar sabit) .....	40
Şekil 4.11. Farklı üreteç etkilerinin karşılaştırılması (9,5 bar sabit).....	41
Şekil 4.12. RMS-A doğalgaz istasyonu .....	42
Şekil 4.13. İstasyon cihaz verileri .....	43
Şekil 4.14. RMS-A istasyon otomasyon sistem ara yüzü .....	44
Şekil 4.15. Bingöl merkez RMS-A doğalgaz ısıtma kaskad sistemi.....	45
Şekil 4.16. RMS-A doğalgaz ısıtma eşanjörleri, gidiş-dönüş su boruları.....	45
Şekil 4.17. Vorteks pilot gaz ısıtıcısı .....	46
Şekil 4.18. Vorteks pilot ısıtıcı montaj örneği .....	47
Şekil 4.19 RMS-A sistemine doğrudan bağlanan vorteks tüp uygulaması.....	48
Şekil 4.20. Hatta doğrudan bağlanan paralel bağlı vorteks tüp uygulaması .....	49

## **TABLÖLAR LİSTESİ**



Tablo 1.1. Vorteks tüp uygulama alanları .....	4
Tablo 4.1. Farklı KVAP'larında sıcak akışkan debi oranları (y) .....	27
Tablo 4.2. Vorteks giriş ve çıkışlarına ait hız ve debi değerleri .....	30
Tablo 4.3. Vorteks giriş ve çıkışlarına ait hız ve debi değerleri .....	30
Tablo 4.4. 40-H üretici debi oran tablosu .....	35
Tablo 4.5. 30-C üretici debi oran tablosu .....	37
Tablo 4.6. 10-C üretici debi oran tablosu .....	37

**BASINÇLI DOĞALGAZ HATLARINDA VORTEKS TÜPÜNÜN  
ISITMA AMAÇLI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

## ÖZET

Bu çalışmada karşıt akışlı Ranque-Hilsch vorteks tüpünün doğalgaz hatlarında ısıtma amaçlı olarak kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Vorteks tüpünün doğalgaz hattında aktif kullanımının zorluğu sebebi ile deneylerde basınçlı hava kullanılmıştır. Farklı giriş basıncı, debi miktarı, sıcak çıkışta farklı debi ayarı ve farklı vorteks üreteçleri için ısıtma ve soğutma çıkışlarından veriler alınmıştır. Vorteks tüpünün ısıtma amaçlı olarak kullanılabilmesi için en uygun basınç, debi ve ayar parametreleri araştırılmıştır. Kullanılan çalışma parametrelerinden biri olan basınç değerleri vorteks tüpünün çalışma basınç aralığı da dikkate alınarak 5.5-9.5 bar aralığında 1 bar artırılarak değiştirilmiştir. Isınan çıkıştaki debi kontrol vanası farklı açıklık pozisyonlarının etkisini görmek amaçlı olarak farklı Kontrol Vanası Açıklık Pozisyonları(KVAP) için veriler elde edilmiştir. Vorteks üreteç etkisini görmek amaçlı olarak 40-H, 30-C, 10-C üreteçleri kullanılmıştır. Vorteks tüpünde değiştirilen bu parametreler sonucu ısınma etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Sıcak akışkan elde edilmesi amaçlı olarak kullanılması durumunda düşük basınç(5.5bar) ve KVAP 4'te 30-C üreteçlerinin daha iyi; KVAP 7, 9, 12 ve 7.5, 9.5 bar basınç'ta 40-H üretecinin daha iyi performans gösterdiği anlaşılmıştır. 40-H üretecinin ısıtma amaçlı olarak daha geniş parametrelerde kullanılabilmesi, bununla birlikte 30-C üretecinin de ısıtma amacı ile kullanılabilmesi anlaşılmıştır. 10-C üretecinin ise daha düşük sıcaklıklarda ısıtma yapabileceği anlaşılmıştır. Buradan her üretecin kullanım amacına ve kullanılan akışkana göre ısıtma veya soğutma optimum çalışma basınçları, farklı çıkış debisi (farklı KVAP için) optimum ya da maksimum giriş debisi ve optimum giriş basınçların kullanılmasının önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Vorteks tüpleri doğalgaz basınç istasyonlarında pilot ısıtıcı denilen, yani bir eşanjör şeklinde kullanılabilmesinin yanı sıra, uygulamada direkt olarak kısıma ve ısıtma amacı ile de kullanılabilmesi kanısına varılmıştır. Direkt olarak kullanılması durumunda hem bir basınç regülatörü gibi basınç düşürme amaçlı, hem de bir ısıtıcı amaçlı olarak kullanılması mümkündür. Ancak uygulamada bir takım güçlükler söz konusudur. Bunlardan biri vorteks tüpünün sisteme direkt bağlanarak basınç ve sıcaklık düşürme amaçlı olarak kullanılması için daha yüksek basınçlarda çalışan vorteks tüplerinin uygun imalat araştırmalarının yapılması gereklidir. Mevcut durumda doğalgaz RMS-A istasyonlarındaki yüksek basınçta direk kullanımına uygun yüksek giriş basınç vorteks tüp imalatı bulunmamaktadır. İkincisi sistemde direkt kullanılması durumunda soğuk uçtan çıkan gaz miktarının düşürülebilecek en alt düzeye düşürülmesi için birden fazla vortekslerin seri bağlanması veya ilk vorteks sonrası soğuk ve sıcak gazın karıştırılarak doğalgaz hattına verilmesi gibi çözüm yollarının denenmesi, ilgili çözüm senaryolarına ait enerji/ekserji ve ekonomik analizlerinin yapılması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Vorteks tüp, soğutma, ısıtma, doğalgaz, RMS-A.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION of THE USABILITY of VORTEX TUBE FOR HEATING IN PRESSURIZED NATURAL GAS LINES

## ABSTRACT

In this study, the usability of the counter-flow Ranque-Hilsch vortex tube for heating in natural gas lines was investigated experimentally. Compressed air was used in the experiments due to the difficulty of active use of the vortex tube from the natural gas line. Data were taken from the heating and cooling outlets for different inlet pressure, flow rate, different outlet flow rate setting and different generators type. The most suitable inlet pressure, flow rate, generator and adjustment parameters that the vortex tube can be used for heating have been investigated. Pressure values, one of the operating parameters used, were changed by increasing 1 bar in the range of 5.5-9.5 bar, taking into account the operating pressure range of the vortex tube. Data were obtained for different Control Valve Opening Positions (KVAP) to see the effect of different opening positions of the flow control valve at the heated outlet. In order to see the vortex generator effect, 40-H, 30-C, 10-C generators were used. As a result of these parameters changed in the vortex tube, the warming effects were investigated experimentally. If it is used for the purpose of obtaining hot fluid, 30-C generators are better at low pressure (5.5bar) and KVAP 4; It has been found that the 40-H generator performs better at KVAP 7, 9, 12 and 7.5, 9.5 bar pressure. It has been understood that the 40-H generator can be used for heating purposes with wider parameters, however, the 30-C generator can also be used for heating purposes. It has been understood that the 10-C generator can heat at lower temperatures. From this, it is understood that it is important to use optimum or maximum inlet flow rates and optimum inlet pressures for each generator, depending on the purpose of use and the fluid used.

It has been concluded that vortex tubes can be used in natural gas pressure stations as a pilot heater, that is, as a heat exchanger, as well as for direct throttling and heating purposes in practice. In case of direct use, it can be used both as a pressure regulator for pressure reduction and as a heater. However, there are some difficulties in practice. One of them is that the vortex tube should be directly connected to the system and used for pressure and temperature reduction purposes, appropriate manufacturing researches for vortex tubes operating at higher pressures should be made. Currently, there is no high inlet pressure vortex tube manufacturing suitable for direct use at high pressure in natural gas RMS-A stations. Secondly, in case of direct use in the system, solutions such as connecting more than one vortex in series or mixing cold and hot gas after the first vortex should be tried in order to reduce the amount of gas coming out of the cold end to the lowest level that can be reduced. Also energy/exergy and economic analyzes of the relevant solution scenarios are required.

**Keywords:** Vortex tube, cooling, heating, naturel gas, RMS-A.

## 1. GİRİŞ

Vorteks tüpü 1933 yılında Rangué ve 1947 yılında Hilsch'in fikirleri sonucu nihai şeklini almıştır. Vorteks tüpleri genel olarak gaz karışımlarının ayıklanmasında, iki fazlı gazların saflaştırılması, dehidrasyonu, çalışan takımların soğutulması, elektronik aygıt kabinelerinin soğutulması gibi endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Vorteks tüpünde basınçlı gazın giriş yaptığı bir adet giriş, soğuk gaz ve sıcak gaz çıkışı olmak üzere iki adet çıkış mevcuttur. Dolayısıyla bu cihazın hem ısıtma hem de soğutma amaçlı olarak kullanılması mümkündür. Oysa uygulamada genellikle soğutma amaçlı olarak kullanılmıştır.

İlgili literatür çalışmalarından da anlaşılacağı üzere kullanılan vorteks tüplerinin soğutma bölümünde çıkış yapan gazın miktarının giren gaz miktarına oranı genellikle %30'larda. Dolayısıyla sıcak taraftan çıkan sıcak gaz miktarı ise %70'lerde. Sıcak gaz çıkış oranı kısma vanasının farklı ayarları için artırılabilir. Aslında kısma vanası soğuk kesimden çıkan akışkanı kısarak daha fazla soğuma yapma esası için kullanılır. Ancak ısıtma amaçlı yapılacak araştırmalarda bu durumun avantaj olacağı düşünülmektedir.

Elde basınçlı gaz olması durumunda hiçbir ek harcama yapmadan vorteks tüpü ile ısıtma ya da soğutma yapılması mümkündür. Dolayısıyla vorteks tüp kullanımı için ihtiyaç olan tek şey basınçlı gazdır. Öte yandan doğalgaz gibi bir takım basınçlı gaz sektörlerinde ısınma ya da soğutma ihtiyacı için önemli enerji harcamaları gerçekleşmektedir. Basınçlı gaz; su, elektrik ve gazdan sonra dördüncü enerji olarak bilinir. Literatür araştırmalarında da detaylı olarak bahsedileceği gibi bu tip basınçlı gazların olması durumunda vorteks tüpleri soğutma amaçlı olarak aktif kullanım alanına sahip iken; ısıtma amaçlı olarak kullanımı ise oldukça sınırlıdır. Bahsedilen sebeplerden bu çalışmada vortek tüpünün ısıtma amaçlı olarak doğalgaz sektöründe kullanılabilirliği araştırılmıştır. Doğalgaz dağıtım şirketleri ya da Botaş gaz boru hatlarında yüksek basınçlı gazın sıcaklığı düşüktür. Bu ise ilgili gazın basıncını düşürmek için basınç regülatörüne direk olarak verilememesine sebep olmaktadır. Regülatöre basınç düşürmek için verilen soğuk gaz, basınç

regülatöründe genişlemesi durumunda regülatörde meydana gelen soğumadan (Joule-Thomson etkisi) dolayı istenmeyen yoğunlaşmalara sebep olmaktadır. Dolayısıyla regülatör öncesi gazın bir miktar ısıtılması gerekmektedir. Mevcut uygulamada bu ısıtma kaskad sistemleri ile yapılmaktadır. Bu durum ise önemli oranlarda enerji harcamalarını gerektirmektedir (Tablo A1-A7). Vorteks tüpü kullanımı ile hem ısınma ihtiyacının giderilmesi hem de basınç düşümüne yardımcı olması bakımından bu harcamaların önüne geçmek mümkün olacaktır.

Vorteks tüplerinde çeşitli parametrelerin değişimi ile farklı sonuçların elde edilmesi mümkündür. Örneğin vorteks tüplerinin verimlerinin giriş basıncı, giriş hızı, farklı akışkanların kullanımı, farklı nozul sayıları, farklı nozul geometrileri, farklı tüp uzunlukları, farklı üreteçler ile değişimi olasıdır (Usta vd., 2004; Dinçer, 2005; Kırmacı vd. 2007; Cebeci, 2013; Kırmacı ve Uluer, 2008). Bu parametrelerdeki değişimler, sonuçları önemli oranda değiştirecektir. Bu bakımdan mevcut çalışmada basınçlı hava farklı giriş basıncı, debi, farklı kontrol vanası ayar pozisyonu (KVAP) ve farklı vorteks üreteçleri için sıcaklık verileri alınmış ve değerlendirilmiştir. Bu parametreler ışığında vorteks tüpünün doğalgaz hatlarında ısınma amaçlı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

## **1.1. Vorteks Tüplerin Çalışma Prensibi**

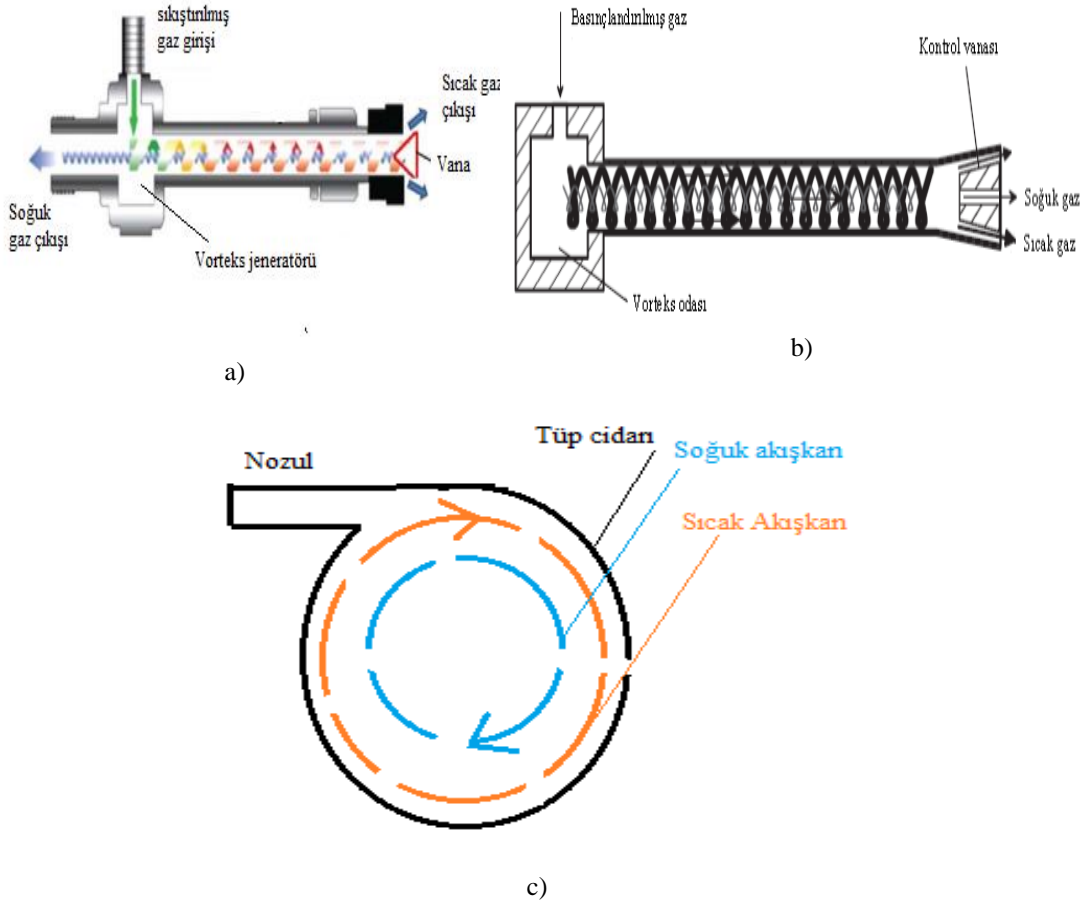
Vorteks tüpleri en geniş şekilde izentropik, iki bileşenli, ısı pompası, shannak, cockerill, ikinci sirkülasyon, Fulton şeklinde sınıflandırılrsa da (Yıldız, 2009), genel anlamda akış şekillerine göre paralel ve karşıt akışlı olarak; tasarım özelliklerine göre ise adyabatik ve adyabatik olmayan şeklinde iki temel sınıfa ayrılır (Özgür, 2001).

### **1.1.1. Akış Şekline Göre Vorteks Tüpler**

Vorteks tüpü basınçlı bir gazın üreteçlere çarpıp bir boru boyunca akışa devam ederken merkez kaç kuvvet etkisi ile dönmeye başlayan akışkanda enerji ayrışması prensibine göre çalışır. Merkezde ve cidardaki gaz arasında basınç ve hız farkı oluşur. Tüp cidarı ve tüp merkezi arasında oluşan basınç ve hız farkı nedeniyle gaz akışkan boru cidarında ısınırken boru merkezinde ise soğur (Cebeci, 2013). Buna enerji ayrışması denir. Bu ısınan ve

soğuyan gazlar farklı iki çıkıştan verilerek soğutma ya da ısıtma amaçlı kullanılabilir (Şekil 1.1).

Vorteks tüpler temel olarak akış şekillerine göre paralel ve karşıt akışlı; tasarım özelliklerine göre adyabatik ve adyabatik olmayan şeklinde sınıflandırılır (Filiz, 2015).



Şekil 1.1. Vorteks tüp çeşitleri a) Karşıt akışlı (Attala vd., 2017), b) Paralel akışlı vorteks tüpü (Yıldız, 2009), c) vorteks tüp kesit görünüşü

Isınan ve soğuyan gazlar Şekil 1.1a'deki gibi farklı taraftan çıkış yaptığında karşıt akışlı vorteks tüp olarak adlandırılırken, aynı taraftan çıkış yaptığında ise paralel akışlı vorteks tüp olarak isimlendirilir (Şekil 1b). Karşıt akışlı vorteks tüplerde merkezdeki soğuk akışkan enerjisini cidarkı akışkana verdikten sonra bir durma noktası sonrası veya sıcak uca konulan bir engel nedeniyle geri döner. Akışkan tüpe radyal olarak tek ya da birden fazla girişten girebilir (Şekil 1.1c). Araştırmalara göre karşıt akışlı vorteks tüp

performansının paralel akışlı olana göre daha yüksek olduğu ve dolayısıyla daha fazla tercih edilme sebebi olduğu anlaşılmaktadır.

### 1.1.2. Tasarım Özelliğine Göre Vorteks Tüpler

Vorteks tüplerinin sınıflandırmalarından biri de tasarım özelliğine göre adyabatik veya adyabatik olmayan vorteks tüpler şeklinde sınıflandırılmaktadırlar (Yılmaz vd., 2007a). Tüp üzerinden çevre ile ısı alış verişi yok veya yok denecek kadar az ise adyabatik; ısı alışverişi var ise adyabatik olmayan olarak isimlendirilir. Yapılan çalışmalardan vorteks tüplerinden çevreye olan ısı geçişinin genel olarak az olduğu bu bakımdan da adyabatik kabul edilebilir oldukları anlaşılmıştır (Dinçer, 2005).

## 1.2. Vorteks Tüplerin Kullanım Alanları

Vorteks tüplerini diğer soğutma türlerinden ayıran temel avantajları vardır. Bu avantajları sayesinde diğer soğutma sistemlerine tercih edilirler. Vorteks tüpler hareketli parçalar içermezler bu bakımdan sessiz çalışırlar. Elektrikle değil basınçlı havayla çalışırlar bu bakımdan kullanılmayan basınçlı havanın varlığı durumunda tamamen maliyetsiz olurlar.

Tablo 1.1. Vorteks tüp uygulama alanları

Soğutma Uygulama Alanları	Isıtma Uygulama Alanları
Reaktörlerin soğutulması	Roketlerin tepki kuvvetinde sıcaklığı arttırmak için ısıtma amaçlı olarak kullanılması
Uçak uzay araçları, madenlerin soğutulması	Basınçlı doğalgaz hatlarında basınç düşümü ve ısıtma amaçlı olarak kullanılması
Elektronik devrelerin soğutulması	Peltier soğutucu çiftleri ile birlikte performans artırıcı olarak
Takım tezgahlarında soğutma amaçlı kullanılması	Gaz karışımlarının ayrıştırılması
İtfaiyeciler elbiselerinin soğutulması	Termoelektrik üreteç modül yardımı ile elektrik üretme
Spot soğutma uygulamaları	Kurutma amacı ile kullanılmaktadır.
Düşük sıcaklıklı soğutmalarda – Gıda soğutma, apay kar eldesi , sıcaklık sensörlerinin test edilmesi	Gazların kurutulması
Gazların ayrıştırılması	Meyve ve sebzelerin kurutulması
Gazların sıvılaştırılması	

Vorteks tüpleri küçük, hafif ve taşınabilir olmaları sayesinde artı bir özellik taşırlar. Bakım ihtiyacı olmayan uzun ömürlü paslanmaz çelik ve metal parçalardan üretilmiştir, sıcaklık

ayarları yapılabilir, kurulumları kolaydır. Tüm bu özelliklerinden dolayı vorteks tüple soğutma uygulamalarının genellikle endüstriyel tip soğutma alanlarında kullanıldığı ve genel olarak hava akışkanının kullanıldığı bilinmektedir (Mohiuddin and Elbel, 2014).

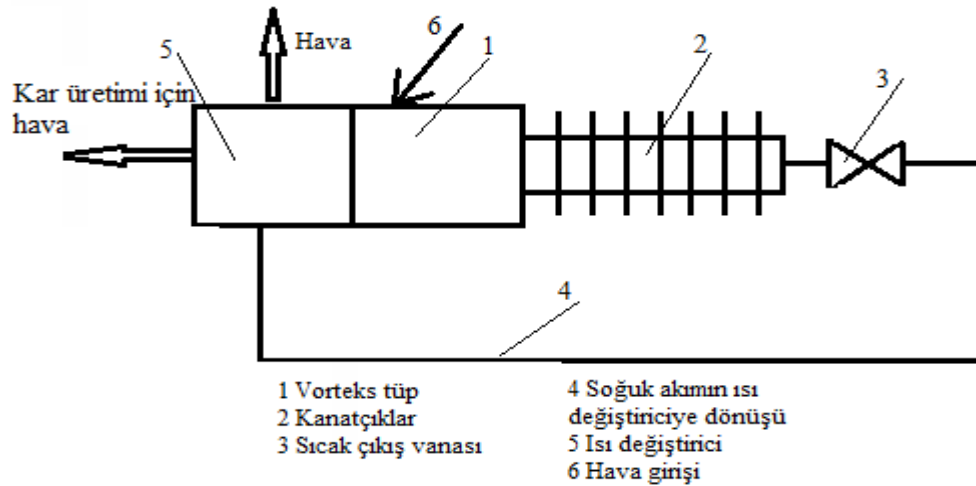
Vorteks tüpleri genel olarak gaz karışımlarının ayıklanmasında, iki fazlı gazların saflaştırılması, dehidrasyonu, çalışan takımların soğutulması (Filiz, 2015; Gürkan vd., 2020), elektronik aygıt kabinelerinin soğutulması, spot soğutma gibi endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Vorteks tüpleri çoğunlukla soğutma amaçlı olarak kullanılsa da ısınma amaçlı olarak kullanılan sınırlı uygulamaları da vardır. Tablo 1.1’de detaylı kullanım alanları verilmiştir.

Vorteks tüplerinin bu tablonun dışında medikal ve diğer uygulama alanları da vardır. Isıtma ve soğutmanın aynı anda gerekli olduğu kullanım alanları da vardır. Özellikle spot soğutma uygulamaları geniş yer kaplamaktadır. Sürekli kaynak yapan punto kaynak uçlarının soğutulması, elektrik panoları, bilgisayar üniteleri, CNC panolarının soğutulması, kesici takım-ış parçasının soğutulması, taşlama taşlarının soğutulmasında, fabrikaların üretim hatlarında, ip üreten cihazlarda ip ve cihazların soğutulması (Özgür, 2001, Cebeci, 2013) Sıcakta serinleme , soğuk ısınma amaçlı olarak kuvveti ile çalışan dizlik-yelek tipi soğutma-ısıtma sistemi tasarımı yapılmıştır (Danış, 2010). Sistem; vorteks tüpü, dizlik, 3 uzuvlu doğrusal hareket mekanizması ve yelekten oluşmaktadır.

### **1.2.1.Vorteks Tüp Kar Üretim Sistemi**

Vorteks tüpünde elde edilen soğuk hava akımı, bir su jetinden pülverize olarak püskürtülen su ile kesiştirilerek kar üretilmektedir. Azarov tarafından geliştirilen vorteks tüp destekli kar üretim sistemi şematik resmi Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi çıkan soğuk havanın sıcaklığının belirli bir değerde tutulması için sıcak çıkış havasının sıcaklığı bir kanatlı eşanjör yardımı ile kontrol ediliyor. Vorteksin sol tarafından çıkan soğuk akıştan dolayı oluşan buzlanmayı önlemek amaçlı olarak bir ısıtıcı daha konulmuştur (Özgür, 2001).



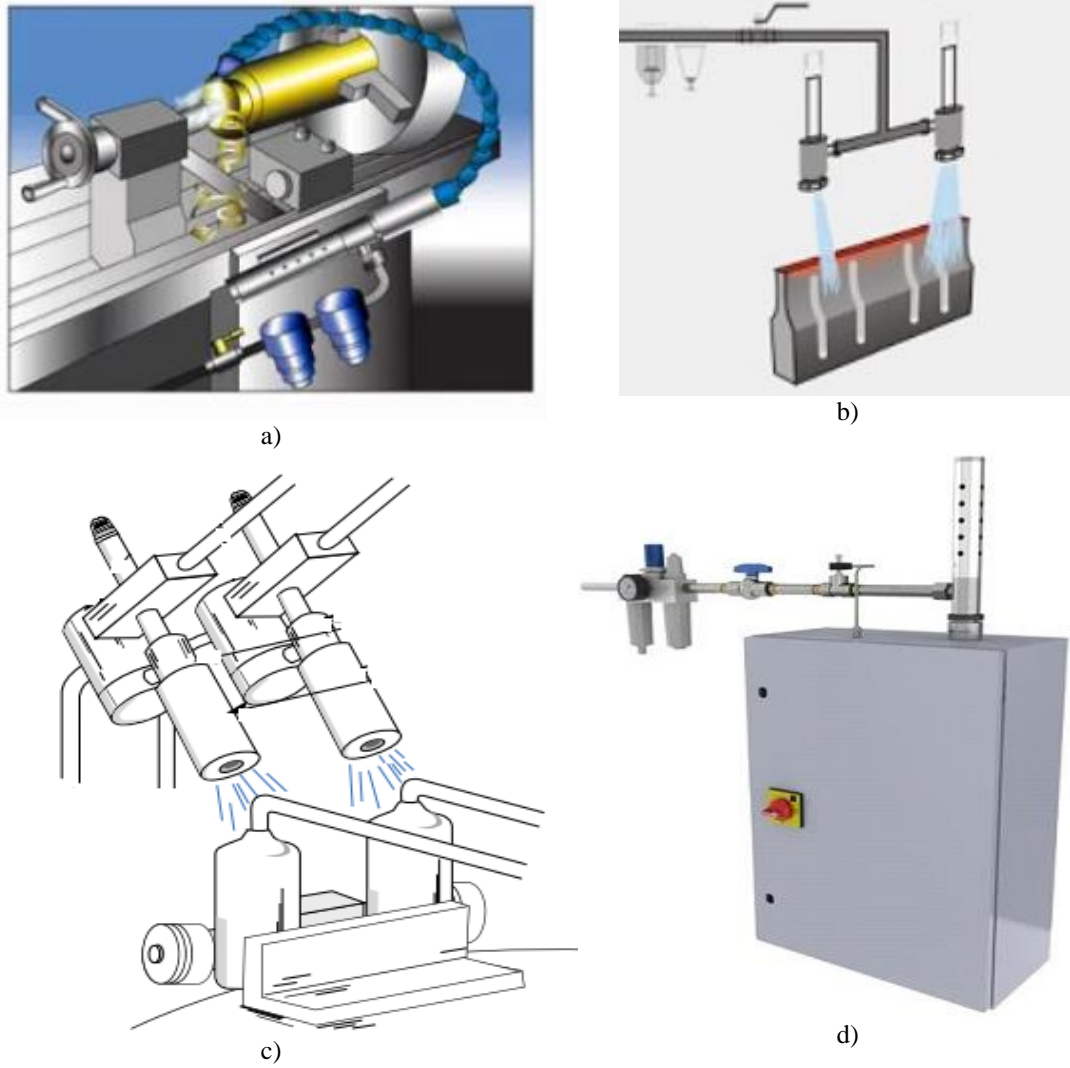


Şekil 1. 2. Azarov (1998) Kar üretim sistemi

Bu şekilde vorteks tüpten elde edilen soğuk hava buz elde etmek üzere pülverise edilen basınçlı su ile karıştırılmaktadır. Kar üretmek için sıcaklık donma noktasının çok aşağısına düşmesine gerek yoktur. Üretilen kar ise bir tankta depolanmakta ve ihtiyaç halinde boşaltılmaktadır. Kar haline gelmeyen su ise tahliye edilmektedir (Cebeci, 2013).

### 1.2.2. Vorteks Tüp Spot Soğutma Uygulamaları

Vorteks soğutma uygulamaları daha çok endüstriyel spot soğutmalarda karşımıza çıkmaktadır. Bu uygulamalarda vorteks tüpleri oda sıcaklığından  $-35^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa kadar sıcaklık düşüşlerini sağlayabilmektedirler. Şekil 3'de görüldüğü gibi bunların başlıcaları, takımların ve talaş alma işleminin soğutulması, ultrasonik kaynak soğutma işlemi, lehim soğutma işlemi, elektrik panolarının soğutma işlemi vb.



Şekil 1.3. Vorteks tüp spot soğutma uygulamaları, a) Takım tezgahının soğutulması<sup>1</sup>, b) Ultrasonik kaynak soğutma<sup>2</sup>,c)Lehimlenen parçanın soğutulması<sup>3</sup>, d) Elektrik panosu soğutma<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Nex Flow leading technology into the future'den alınmıştır.

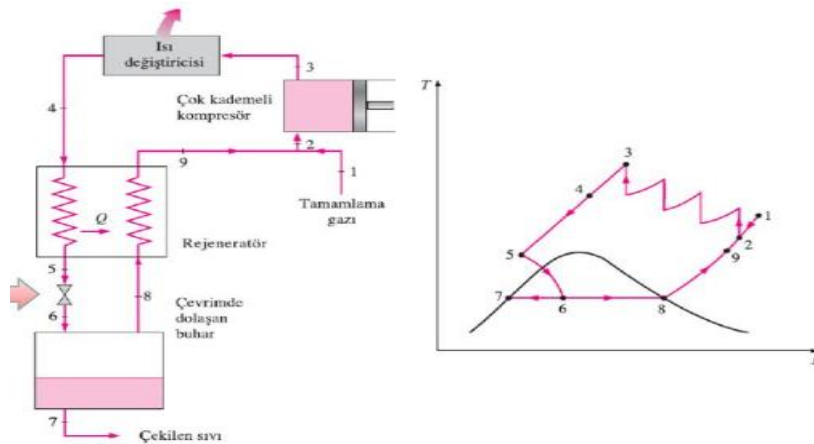
<sup>2</sup>Exair.com sitesinden alınmıştır.

<sup>3</sup>Master mühendislik web sayfasından alınmıştır.

### 1.2.3. Vorteks Tüpün Gazların Sıvılaştırılmasında Kullanılması

Kriyojenik soğutma olarak da bilinen gazların sıvılaştırılması  $-100^{\circ}\text{C}$  gibi çok düşük sıcaklıklarda gerçekleşir ve soğutma sistemlerinin önemli alanını oluşturur. Oksijen ve azotun havadan ayrılması, roketler için yakıt hazırlanması, süper iletkenlerin incelenmesi gibi durumlarda Linde-Hamson çevrimi kullanılmaktadır. Vorteks tüpler bu sıcaklığı direkt sağlayacak kapasiteye sahip olmadıklarından, gaz sıvılaştırma sistemlerinde genişleme amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Vorteks tüpler linde prosesinde (Şekil 1.4) kısma aşamasında (5-6 arası) kullanılmaktadır. Linde prosesinde ön soğutma yapmadan sadece

genleşme işlemi kullanılarak Joule-Thomson soğutma etkisinden faydalanılmaktadır (Cebeci, 2013; Yılmaz vd., 2007). Şekil 1.5'te linde prosesine göre sıvılaştırılmış gaz tankları görülmektedir.



Şekil 1.4. Linde-Hamson gazları sıvılaştırma diyagramı (Çengel ve Boles 2000)



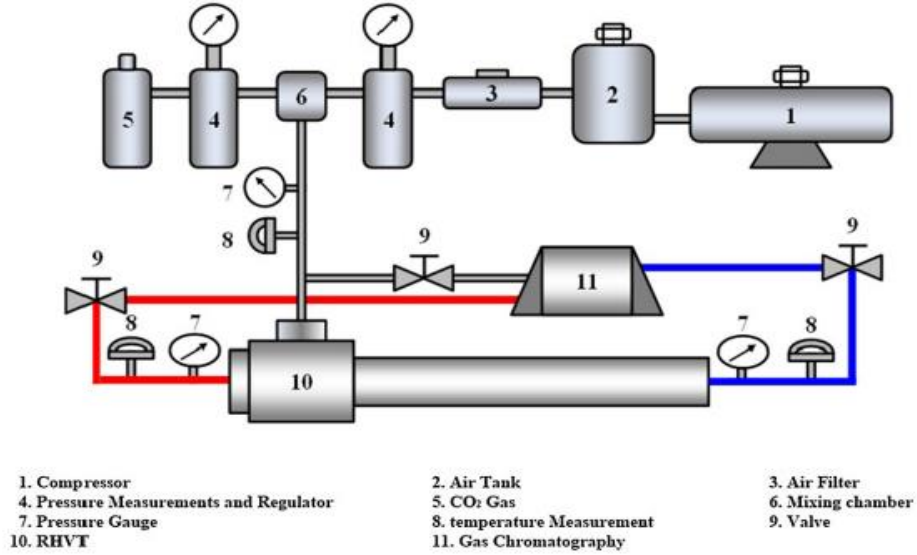
Şekil 1.5. Sıvı gaz tankları

(Linde Türkiye web sitesi: [https://www.lindegaz.com.tr/tr/products\\_and\\_supply/liquid-gas/liquidnitrogen.html](https://www.lindegaz.com.tr/tr/products_and_supply/liquid-gas/liquidnitrogen.html))

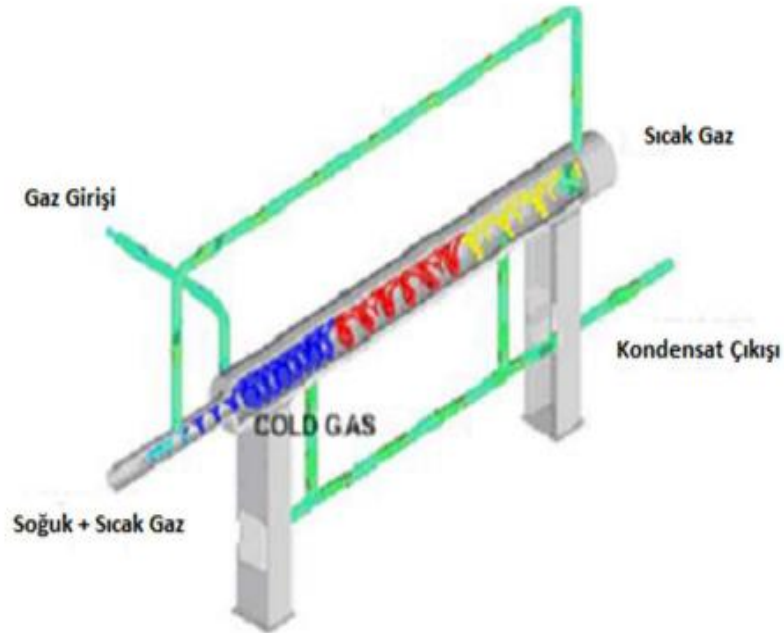
#### 1.2.4. Karışım Halindeki Gazların Ayırıştırılması

Vorteks tüp günümüzde doğalgaz içerisindeki hidrokarbonların ayıklanmasında, petrolden propan ve bütanın ayrılmasında kullanılmaktadır (Yılmaz vd., 2007b). Yoğunluk farkları başta olmak üzere, ısınma, soğuma durumundaki farklı özelliklerinden dolayı kimi gazlar vorteks tüp merkezinde toplanırken, kimi gazlarda daha hafif olması sebebi ile vorteks tüp cidarında toplanır. Bu özellikten fayda olarak vorteks tüpler gaz karışımlarının ayırıştırılmasında kullanılabilir. Şekil 6'da görüldüğü gibi örnek çalışmalardan birinde atmosferik sıcaklıkta CO<sub>2</sub> ve hava karışımı olan 3 bar basıncındaki gazdan %7,4 oranında

CO<sub>2</sub> ayrıştırılmıştır (Yun vd., 2018). Şekil 7’de görüldüğü gibi vorteks tüp ayrıca sıvı karışmış gazlarda sıvının ayıklanmasında da kullanılmaktadır.



Şekil 1.6. Havadan CO<sub>2</sub>'i ayrıştırma sistemi (Yun vd. , 2018)



Şekil 1.7. Gazlardan sıvı parçacıklarının ayıklanması (Yılmaz vd., 2007a)

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Yurt İçi Çalışmalar ve Tezlerin Genel Değerlendirmesi

Vorteks tüplerinde sonuçları etkileyen pek çok parametre mevcuttur. Örneğin vorteks tüpünün fiziksel yapısı (tüp uzunluğu, giriş çapı, nozul sayısı, çıkış çapları vb.), akışkan yapısı, giriş sıcaklığı, basıncı, vorteks üreteç yapısı, çıkış vana ayarı vb. parametrelerin değişimi ile sonuçların değiştiği pek çok literatürde belirtilmiştir. Bu bakımdan literatür çalışmalarının bu parametre kategorileri baz alınarak verilmesi uygun görülmüştür.

Vorteks tüp performansını etkileyen parametrelerden biri vorteks tüp fiziksel boyutlardır. Vorteks tüp performans analizlerine bakıldığında Dinçer (2005) Ranque-Hilsch karşıt akışlı vorteks tüp çalışmasında sıcak çıkıştaki 5mm çapındaki vida açısının 30 ve 60 , tüp uzunluğunun ele alınan en uzun tüp olması 162mm(90mm, 135mm ve 162mm tüpler arasından), dört nozullu giriş kullanılması durumunda en iyi sonuçların elde edildiği ifade edilmektedir.  $L/D = 15$  olan vorteks tüpde ısıtma performansının  $L/D = 10$  olan vorteks tüpe göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sıcak akış elde etmek için oldukça önemli olan tüp geometrisinde optimum  $L/D$  oranının  $40 < L/D < 50$  arasında olmasının ideal olduğu bilinmektedir (Martynovskii vd., 1957). Azeez vd. (2010) çalışmasında artan  $L/D$  oranı ile enerji ayrışmasının iyileştiğini tespit etmiştir. Söz konusu tüpte hava, oksijen ( $O_2$ ), Azot( $N_2$ ) ve  $CO_2$  'de kullanılmıştır. Yüksek performanslı tüp Etanol-su karışım damıtılmasında kullanılmıştır. Cebeci ve Kırmacı yaptıkları başka bir çalışmada çelik ve alüminyum malzeden yapılan vorteks tüp kullanarak 1,5 -7 bar sıcak ve soğuk akışkan sıcaklıklarını incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre çelik malzemedan yapılan vortekslerin (7 bar basıncında ve 6 nozullu) daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Kırmacı ve Uluer (2008) çalışmalarında farklı nozul sayıları için yaptıkları araştırmada sıcak ve soğuk çıkışlardaki sıcaklık farkının nozul sayısı ile azaldığını tespit etmişlerdir. Vorteks tüp giriş Mach sayısının 0,3-1 arasında artış göstermesi durumunda sıcak ve soğuk akışkan sıcaklık farklarının da artış gösterdiği bilinmektedir. İç prüzüzlüğünün sağlanmasının performansı %20'ye kadar arttırabilmektedir. Vorteks tüp giriş kesitinin dikdörtgen veya kare olmasının; ayrıca  $3^\circ$ 'ye kadar konik tasarımların performansı

arttıracağı belirtilmektedir (Gao vd., 2005). Kasar (2019) tezinde 5 bar basıncında havayı dört farklı geometrideki vorteks tüplerde kullanmış ve en yüksek sıcaklığın  $75^{\circ}\text{C}$  olduğunu aynı tüp için en soğuk akışkan sıcaklığının  $-17^{\circ}\text{C}$  olduğunu tespit etmiştir.

Vorteks tüp parametrelerinden olan giriş basıncına göre değerlendirmelere bakıldığında 2-7 bar basınç aralığında 0,5 bar değişimlerle yapılan deneylere göre giriş basıncı arttıkça sıcak çıkıştan çıkan akışkan sıcaklığının arttığı, soğuk taraftan çıkan akışkan sıcaklığının düştüğü; başka bir deyişle sıcak ve soğuk taraftan çıkan akışkanların sıcaklık farkının arttığı tespit edilmiştir (Kırmacı vd. 2007a; Kırmacı ve Uluer 2008). Aydın ve Baki (2006) üç farklı akışka için yaptıkları vorteks parametre çalışmasında etkinliği arttıran en önemli parametrenin giriş basıncı ve soğuk akışkan oranı ( $y_c$ ) olduğunu belirtmişlerdir.

Vorteks tüp araştırmalarında araştırılan diğer parametre ise kuşkusuz kullanılan akışkan türüdür. Yılmaz vd. (2007a) çalışmasından vorteks tüplerinde buhar, su, metan ( $\text{CH}_4$  doğalgaz), propan, Argon, Hava, Helyum vb. gazların kullanılabileceği anlaşılmaktadır. bunların dışında Azot, Oksijen, Karbondioksit gazlarının da kullanıldığı literatür çalışmaları da vardır. Usta (2004) çalışmasında hava ve Azot gazını 1-6 bar basınç aralıklarında yapmış olduğu vorteks deneylerinde azot gazının daha iyi bir soğutma performansı gösterdiğinden bahsederken, elde edilen grafiklerden kullanılan havanın ise ısıtma amaçlı olarak daha iyi bir performans gösterdiği ( $45^{\circ}\text{C}$ 'ye varan ısıtma elde edilmiştir.) anlaşılmıştır. Daha önce bahsedilen Dinçer (2005) çalışmasında hava, oksijen ( $\text{O}_2$ ), Azot ( $\text{N}_2$ ) ve  $\text{CO}_2$  akışkanları denenmiştir. Isınma amaçlı olarak en iyi performansın havaya ait olduğu en düşük performansın ise  $\text{CO}_2$ 'ye ait olduğu tespit edilmiştir. Soğutma etkisi bakımından en iyi performansın  $\text{CO}_2$ 'ye ait iken en düşük performans ise havaya ait olmuştur. Usta ve Kırmacı (2006) benzer çalışmasında soğutmada  $\text{CO}_2$  ve Oksijenin havaya göre daha iyi performans gösterdiğini tespit etmiştir. Kırmacı vd. (2007) çalışmasında Argon'un  $-30^{\circ}\text{C}$  ye varan soğutması ile daha iyi soğutma yaptığını, öte yandan  $45^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ile havanın da ısıtma amaçlı olarak daha iyi performans gösterdiğini tespiti etmiştir. Farklı akışkanlar için oluşan genel kanı olarak vorteks tüpünün ne amaçlı kullanılacağı önem taşımaktadır. Isınma amaçlı kullanılması durumunda hava akışkanının en iyi sonucu vereceği anlaşılmıştır. Akışkan olarak hidrokarbonların ve buharın hava ile benzer performans gösterdiği de bilinmektedir (WILLIAMS, 1971; Yılmaz vd., 2006).

Çelik (2012) tez çalışmasında dizel motorlarında soğukta ilk hareket zorluğu ve emisyonun azaltılması amaçlı olarak vorteks tüp kullanılmıştır. Deneyle kış şartlarında  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $-3^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$  ve  $4^{\circ}\text{C}$  çevre sıcaklıklarında yapılmıştır. Vorteks tüpün soğukta motor ilk hareketine ve emisyon oranlarının düşmesine ve de motorun daha kararlı çalışmasına olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

## 2.2. Yurt Dışı Çalışmaların Genel Değerlendirmesi

Saidi ve Yazdi (1999), PVC ve Çelik malzeme kullanarak yapılan bir Ranque-Hilsch vorteks tüpünde en yüksek ekserji analizinin PVC malzemeye ait olduğunu belirtmişlerdir. Takahama ve Yokosawa (1981) konik ve daha kısa bir vorteks tüp ile normal bir vorteks tüpün sağladığı enerji ayrışması elde etmişlerdir. Böylece vorteks tüplerinin sıcak uca doğru çapının genişlemesi ile daha iyi sonuçların alanabileceğini düşündürmüşlerdir. Balmer (1988) çalışmasında vorteks tüplerine yüksek basınçlı ve sıkıştırılmaz sıvılarında kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Hajdik vd. (1997) çalışmasında gaz-sıvı karışımından sıvının ayrıştırılması için vorteks tüpünün kullanılabileceğini tespit etmiştir. Gao vd. (2005) çalışmasında sıkıştırılmaz olan sıvı akışkanlarda da 20-50 bar basınca kadar enerji ayrışmasının mümkün olduğundan bahsetmektedir. Deissler ve Perlmutter (1960), vorteks tüplerinde en önemli enerji ayrışması sebebi olarak türbülans oluşumunu ileri sürmüşlerdir. Bu bakımdan vortekslerin enerji ayrışmasının iyileştirilmesi için farklı tür üreteçlerin incelenmesinde fayda vardır.

Pnar (2009) çalışmasında vorteks tüp parametrelerine Taguchi Metodunu uygulamış ve %89,89 ile basıncın daha büyük etki oluşturduğunu tespit etmiştir. Vorteks tüplerinin talaşlı imalatta kullanımlarında mevcuttur. Choi vd. (2001) çalışmasında CNC makinalarında iş parçasının ve takımın soğutulmasında vorteks tüp kullanımında iş parçasının daha pürüzsüz olduğunu tespit etmiştir.

Vorteks tüp kullanım alanları gittikçe artmaktadır. Vorteks tüplerinin en güncel uygulamalarından biri de buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde sabit entalpide genişleme yerine vorteks tüp kullanılarak izentropik genişlemenin sağlanmasıdır (Mohiuddin ve Elbel, 2014). Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde sabit entalpide kısma uygulamalarında kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada bunun umut vadeci

olduğu, bunun üzerine daha fazla uygulama çalışmalarına ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir (Mohiuddin ve Elbel 2014). Sarkar (2013) amonyak, Propan ve izobütan kullandığı buharlı soğutma sisteminde vorteks tüp ile yaptığı genleşme işleminde izobutan ve propan için %12 daha verimli soğut sistemi sağlarken, amonyakta herhangi bir iyileşme gözlenmemiştir. Vorteks tüpün farklı yoğunlukta gaz karışımlarından yoğunluk ve enerji ayrışım farkından faydalanarak gaz karışımlarının ayrıştırılması da mümkündür. Yun (2018) çalışmasında 3 bar basıncındaki hava, CO<sub>2</sub> karışımından CO<sub>2</sub> ayrıştırmıştır.

### **2.3. Vorteks Tüplerinin Isıtma Amaçlı Kullanımı Üzerine Literatür Araştırması**

Normal bir ısıtma sistemine kıyasla vorteks tüp ile ısıtmanın tercih edilme başlıca sebepleri olarak basit, hareketli parçaların olmaması, herhangi bir elektrik enerjisinin harcanmaması, küçük ve hafif olması, düşük maliyetli ve bakım masraflarının olmaması, sürekli sıcak akışkan sağlayabilmesi ve sıcaklık ayarlamasının yapılabilmesi gibi avantajlar sayılabilir (Gao vd., 2005). Bu avantajlara rağmen yetersiz araştırma çalışmalarından dolayı vorteks tüplerinin ısıtma alanında kullanımları yaygın değildir. Daha çok soğutma alanında kullanılmaktadır. Bu bakımdan vorteks tüplerinin ısıtma amaçlı olarak aktif şekilde kullanımları için araştırılması gereken önemli parametreler vardır. Örneğin hangi basınç aralıklarında hangi sıcaklıkların elde edilebileceği, ya da hangi akışkanların ısıtma amaçlı olarak kullanılmasının isabetli olduğu, hangi boyutlardaki vorteks tüplerde ve veya hangi üreteç modellerinde daha sıcak akışkan elde edilebilir olduğu, vorteks tüplerin maksimum hangi basınçlarda kullanılabilir olduğu bu ve benzeri soruların geniş akademik araştırmalar sayesinde netleşmesi gerekir.

Vorteks tüplerinde araştırılıp değerlendirmeye muhtaç pek çok parametre olsa da en önemli iki bağımlı parametre kuşkusuz giriş basıncı ve çıkış sıcaklıklarıdır. Vorteks tüpün ısıtma alanında kullanımını kısıtlayan en önemli parametre çıkış sıcaklıklarındaki belirsizlik. Kasar (2019) tezinde 5 bar basıncında havayı dört farklı geometrideki vorteks tüplerde kullanmış ve en yüksek sıcaklığın 75°C olduğunu aynı tüp için en soğuk akışkan sıcaklığının -17°C olduğunu tespit etmiştir. Bu hususa yapılan araştırmalara bakılırsa 20°C sıcaklık ve 6 bar basıncındaki bir gaz için vorteks tüpte 100° C sıcaklıkta sıcak gaz ve -50° C sıcaklıkta soğuk gazın elde edilebildiği bilinmektedir (Yıldız, 2009). Ayrıca paralel



akışlı vorteks tüpünde soğuk akışkanın  $-50^{\circ}\text{C}$ 'ye, sıcak akışkanın ise  $190^{\circ}\text{C}$ 'ye çıktığından bahsedilmektedir.

Vorteks tüplerin orta kapasiteli ısıtma ve soğutma uygulamalarında kullanılabileceği bilinmektedir (Yılmaz, 2007b). Bu bakımdan yapılan literatür araştırmalarında vorteks tüplerinin soğutmanın yanı sıra ısıtma kapasiteleri üzerine yapılan bir takım çalışmalar da vardır (Kırmacı vd., 2007; Kırmacı, 2007; Kırmacı, 2008; Usta vd. 2005). Damış (2010) çalışmasında kışın kas kuvvetini kullanarak kişinin ısınması, yazın kas kuvveti yardımı serinlemesine dair sistem geliştirmiştir. Wu vd. (2007) çalışmasında ısınma ve soğuma verimlerinin yayıcı tipi bir lüle kullanılması durumunda daha da arttığını belirlemektedirler. Vorteks tüpün ısıtma olarak kurutma işlemlerinde kullanıldığı bilinmektedir (Şentürk Acar, 2016). Şentürk Acar (2016) çalışmasında hibrit soğutma ve kurutma sisteminin termodinamik analizini yapmışlardır. Vorteks tüplerin önemli uygulama alanlarında biri doğalgaz istasyonların regülatörlerin pilotlarının donmasını önlemek amaçlı olarak vorteks pilot ısıtıcılarının kullanılmasıdır. Vorteks pilot ısıtıcılar ülkemizde TÜBİTAK desteği ile geliştirilmiş milli bir tasarımdır. Şentürk Acar (2017) tasarladıkları vorteks tüp entegreli elektrikli kurutma sisteminin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Çalışmada 8 farklı vorteks üretici ve 3 farklı kontrol vana açıları kullanılmıştır. Çalışmada vorteks tüp entegreli kurutma sisteminin elektrikli kurutma sistemine göre daha ekonomik olduğu ve yatırım yapmaya değer olduğundan bahsedilmektedir. Ayrıca bu tür sistemlerde eş zamanlı olarak soğuk havanın soğutma amaçlı olarak değerlendirilerek hibrit sistemlerin termodinamik açıdan daha verimli olacağına işaret edilmektedir.

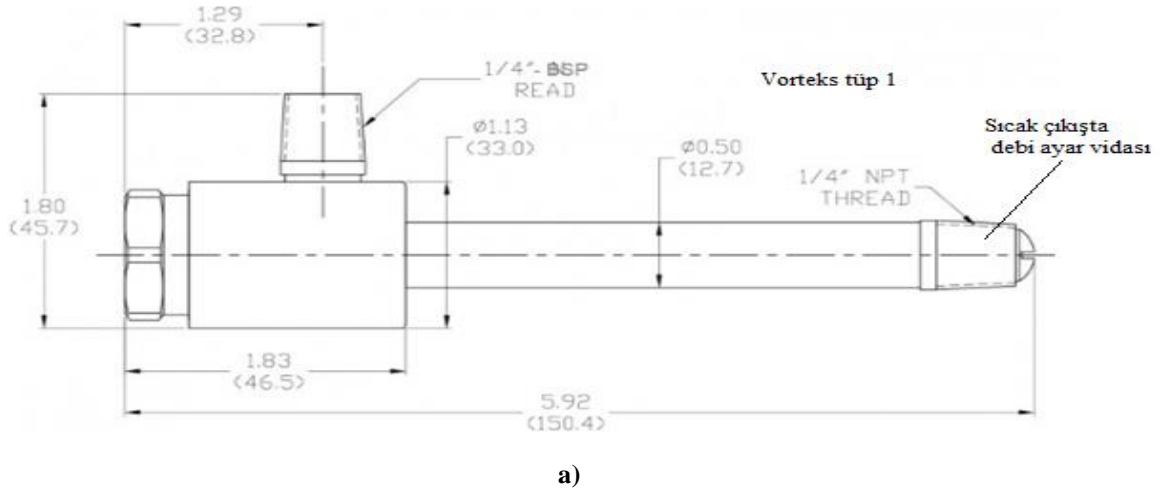
Vorteks tüplerin yüksek basınçlarda çalışması üzerine yapılan araştırmalar yok denecek kadar azdır. Bu çalışmalardan biri olan Liang vd. (2019) sayısal çalışmasında gerçek gaz modeli metan gazına uygulanarak yüksek basınçlarda vorteks tüp performansı sayısal olarak denenmiştir. Vorteks tüpün düşük basınç ve yüksek basınçta gösterdiği performanslar karşılaştırılmıştır. Fiziksel özellik hesaplamaları için gerçek gaz modeli kullanılmıştır. Bulunan sonuçlara yüksek basınçlarda daha düşük sıcaklıklara ulaşılmıştır. Sıcak akışkan sıcaklığı giriş sıcaklığından bile düşük çıkmıştır. Vorteks tüp boyutunun soğuk akışkan sıcaklık farkı üzerinde yüksek etkisi var iken , sıcak gaz akışkan üzerinde vorteks boyut etkisinin az olduğundan bahsedilmiştir (Liang vd., 2019).

Vorteks tüplerin kaskad sistem olarak kullanılması da mümkündür. Soğutma sistemi için böyle bir kaskat sistemde çok düşük sıcaklıkların elde edilebilir olduğu bilinmektedir (Yılmaz vd., 2007b). Dolayısıyla ısıtma amaçlı olarak kullanılacak kaskad sistemde ısıtmanın da benzer şekilde daha da iyileştirilmesi mümkündür. Vorteks tüp kaskad sistem soğutma alanı başta olmak üzere ısıtma alanında da gerekli araştırmaların yapılmasına ihtiyaç vardır.

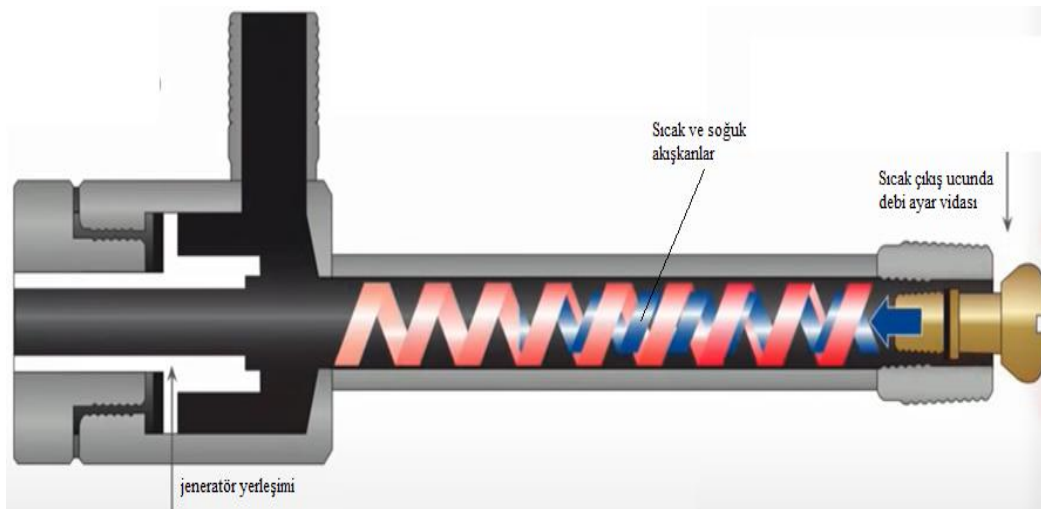
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Deney Çalışması

Bu çalışmada bir vorteks tüpünde basınçlı hava kullanılarak sıcak havanın performansı farklı parametreler için değerlendirilmiştir. Bu parametreler ışığında söz konusu vorteks tüplerinin doğalgaz basınç düşürme istasyonlarında kullanımı değerlendirilmiştir. Bu amaçlı olarak detayları daha önce anlatılan karşıt akışlı Ranque-Hilsch vorteks tüp kullanılmış olup, teknik resmi Şekil 3.1’de görülmektedir. İlgili şekilde de görüldüğü gibi bir adet giriş nozulu, birer adet soğuk ve sıcak çıkış mevcuttur (Şekil 3.1). Girişte farklı debilerin sonuçlara etkisinin gözlenmesi için manul tip debi ayar vanası kullanılarak nispeten yüksek ve düşük debi olmak üzere iki farklı debi ayarı sağlanmıştır. Her iki çıkıştan alınan hızlar yardımı ile nihai giriş debileri süreklilik denklemi yardımı ile elde edilmiştir. Sıcak çıkışta kütleli debi miktarının ayarlanması amaçlı olarak vidalı ayarlı debi kontrol vanası bulunmaktadır. İlk durumda tam olarak sıkılmış olan vidalı debi kontrol vanasının uygun açılma yönünde döndürülerek farklı Kontrol Vanası Açıklık Pozisyonlarında(KVAP) farklı çıkış debisi elde etmek mümkündür. Farklı KVAP’ları için sıcak çıkış debisinin ayarlanması ve dolayısıyla soğuk çıkış debisinin ayarlanması, bu sayede ise akışkan sıcaklık kontrolü sağlanabilmektedir (Şekil 3.1b ve Şekil 3.2). Her farklı giriş basıncı için sıcak çıkış kontrol vanası kademeli olarak farklı açıklık pozisyonlarında açılmış farklı çıkış debileri sağlanmıştır. İlk durumda tam kapalı olan kontrol vanası açılma yönünde bir devir döndürülmesi durumunda kontrol vanası açıklık pozisyonu 1 ile tanımlanmıştır. Buna göre kontrol vanası açıklık durumu 2, 3, 4 vb. durumları için KVAP 2, KVAP 3, KVAP 4 şeklinde ifade edilmiştir. Vorteks tüplerinde ortalama 5 dakika gibi kısa sürelerde sürekli şartlara ulaşıldığından her parametre değişimlerinden ortalama 5 dakika sonra ölçümler alınmaya başlanmıştır. Bingöl yaz aylarında gerçekleştirilen deney için ortam sıcaklıkları 25-29°C aralığında değişmekle birlikte detaylı bilgi sonuçlar kısmında sunulmuştur.



Şekil 3.1. Vorteks tüpü, a) Vorteks tüpü teknik resimi, b) Vorteks tüpü fotoğrafı



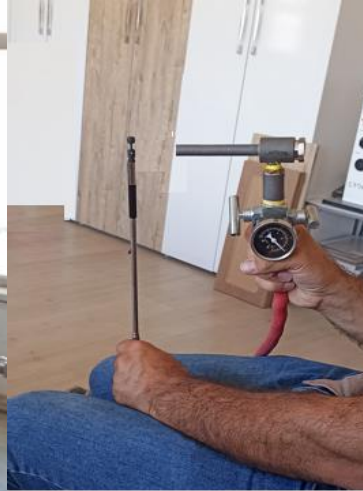
Akışkan giriş basıncı, giriş debisi, sıcak akışkan çıkış debisi değiştirilerek deneysel veriler elde edilmiştir. Deney seti Şekil 3.3'te görülmektedir. Akışkan giriş tarafında vorteks nozulunda basıncı ( $P_g$ ), sıcaklığı ( $T_g$ ) ve debisi ( $m_g$ ); çıkışta sıcak akışkan ve soğuk akışkan sıcaklık ve akışkan hızları ölçülmüştür. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi vorteks tüp girişinde basınç ve debinin ayarlanması için ayar vanalı basınç ve debi cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.3a).



a)



b)



c)



d)

Şekil 3.3. Deney Düzeneği a) Vorteks tüp, debi ve basınç ayar cihazı, b) vidalı kompresör, c) Akış hızı ve sıcaklık ölçümü, d) Veri kaydı

Şekil 3.3b' de görüldüğü gibi basınçlı hava sağlamak amacı ile Smart 301 FD model vidalı tip kompresör kullanılmıştır. Kompresör işletme basıncı 10 bar, debisi  $2,47m^3/dk$ 'dır (Ek A1). Sıcak ve soğuk uçtan alınan hava sıcaklık ve hızları CEM-DT 8880 model sıcak tel anemometre yardımı ile ölçülmüştür (Şekil 3.3a ve c). Anemometre ile ilgili detaylı bilgi Ek A2'de yer almaktadır.

Vorteks tüp üreteç etkisinin anlaşılması için dört farklı üreteç denenmiştir (şekil 3.4). rete olarak şekil 3.4'te görülen 40-H, 30-C, ve 10-C pirinç üreteçler kullanılmıştır. rete değişimi için bakınız Ek A5. şekil 3.4b ve c'de farklı üreteç sonuçlarının farklı çıkmasında temel etken olan çentik detayları verilmiştir. entiklerde temel parametrenin ise çentik derinlikleri ve çentik açıları olduğu anlaşılmaktadır.



a)



b)



c)

şekil 3.4. a) Kullanılan reteler, b) yan görünüş ve c) st görünüş

Anemometre yardımı ile alınan hızlar ve ilgili vorteks çıkış kesitleri baz alınarak çıkış debileri srekliplik denklemi olan denklem 3.1 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{sck} + \dot{m}_{s\check{g}k} \quad (3.1)$$

Bu denklem hacimsel debi ve yoğunluk cinsinden 3.2 denklemi gibi düzenlenebilir.

$$\dot{Q}_g \rho_g = \dot{Q}_{sck} \rho_{sck} + \dot{Q}_{s\check{g}k} \rho_{s\check{g}k} \quad (3.2)$$

Akışkanın sıkıştırılabilirliği 3.3 denklemi ile gösterilen Mach sayısı ile ölçülür.

$$\text{Mach Sayısı} = \frac{V}{c} \quad (3.3)$$

Mach sayısı 0,3'ten küçük ise akışkan sıkıştırılmaz kabul edilebilir. Bu durumda 3.2 denklemindeki yoğunluklar sadeleşirse;

$$\dot{Q}_g = \dot{Q}_{\check{c}sck} + \dot{Q}_{\check{c}s\check{g}k} \quad (3.4)$$

Hacimsel debi eşitliği yazılabilir. Bu da hız ve kesit alanı cinsinden 3.5 cinsinden yazılır. Burada  $V$  sembolü hızı ifade etmektedir.

$$V_g A_g = V_{sck} A_{sck} + V_{s\check{g}k} A_{s\check{g}k} \quad (3.5)$$

Literatür çalışmalarında vorteks tüpünde soğuk akışkan oranı  $y_c$  ile gösterilmekte (Usta 2004; Akyüzlü 2008) bu durumda soğutma ve ısıtma amaçlı olarak soğuk akışkan kütleli debi oranı ve sıcak akışkan kütleli debi oranları sırasıyla  $y_{s\check{g}k}$ ,  $y_{sck}$  şeklinde 3.6 ve 3.7 denklemlerinde verilmiştir.

$$y_{s\check{g}k} = \frac{\text{Soğuk akışkanın kütleli debisi}}{\text{giren akışkanın kütleli debisi}} = \frac{\dot{m}_{s\check{g}k}}{\dot{m}_g} \quad (3.6)$$

$$y_{sck} = y = \frac{\text{Sıcak akışkanın kütleli debisi}}{\text{giren akışkanın kütleli debisi}} = \frac{\dot{m}_{sck}}{\dot{m}_g} \quad (3.7)$$

Bu çalışmada vorteks tüplerin sadece ısıtma kapasiteleri incelendiği için aksi belirtilmediği sürece  $y$  sıcak akışkanın debi oranını ifade edecektir.

$\dot{m}_{s\check{g}k}$ ,  $\dot{m}_{sck}$  soğuk ve sıcak akışkan kütleli debisini,  $\dot{m}_g$  vorteks tüpüne giren akışkan kütleli debisini ifade eder. Akış sıkıştırılmaz kabulü yapılıyor ise bu denklem 3.7'deki gibi hacimsel debi ifadeleri cinsinden de kullanılabilir.

$$y_{s\check{g}k} = \frac{\dot{V}_{s\check{g}k}}{\dot{V}_g} \quad y_{sck} = y = \frac{\dot{V}_{sck}}{\dot{V}_g} \quad (3.7)$$

Burada  $\dot{V}_{s\check{g}k}$ ,  $\dot{V}_{sck}$  soğuk ve sıcak akışkan hacimsel debisini,  $\dot{V}_g$  vorteks tüpüne giren akışkan hacimsel debisini ifade eder.

Soğuk taraf kütleli debi oranı  $y_{s\check{g}k}$  ve çıkış sıcaklığı  $T_{s\check{g}k}$  bilinmesi durumunda, vorteks tüpünün başlangıçta  $T_o$  sıcaklığında olan bir ortamı soğutma kapasitesi 3.8 denklemin ile ifade edilebilir (Akyüzlü, 2008);

$$Q_{s\check{g}k} = y_{s\check{g}k} \dot{m}_g C_p (T_o - T_{s\check{g}k}) \quad (3.8)$$

Sıcak taraf kütleli debi oranı  $y_{sck}$  ve çıkış sıcaklığı  $T_{sck}$  bilinmesi durumunda, vorteks tüpünün başlangıçta  $T_o$  sıcaklığında olan bir ortamı ısıtma kapasitesi 3.9 denklemin ile ifade edilebilir;

$$Q_{sck} = y_{sck} \dot{m}_g C_p (T_o - T_{sck}) \quad (3.9)$$

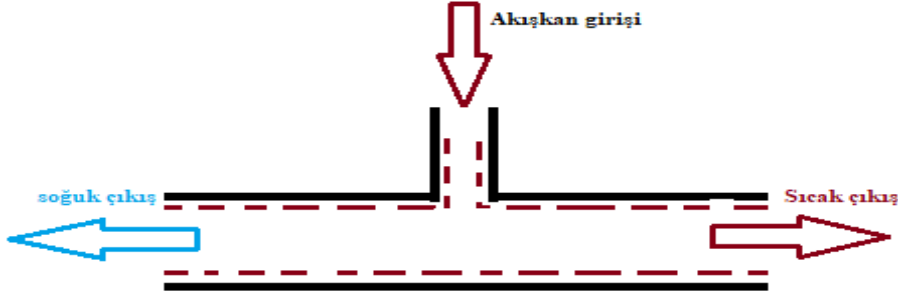
### 3.2. Enerji Denkleminin Vorteks Tüplerine Uygulanışı

Şekil 3.5'te verilen vorteks tüp sürekli akışlı açık sistem (SASA sistem) sınırlarına Termodinamiğin 1. Kanunu denklem 3.10'daki gibi uygulansın.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} (\Delta h + \Delta ke + \Delta pe) \quad (3.10)$$

Burada ele alınan sistemde ısı kaybı istenmez ( $\dot{Q} = 0$ ) ve de bir mekanik iş yoktur ( $\dot{W} = 0$ ). Ayrıca bu tür cihazlarda çap değerleri birbirine yakın olduğu için kinetik enerji ( $\Delta ke = 0$ ) ve giriş çıkış arasında kod farkı da ihmal edilebilir olduğundan potansiyel enerji ihmal edilebilecek kadar küçüktür ( $\Delta pe = 0$ ).





Şekil 3.5. Vorteks tüpte ele alınan sistem sınırları

Denklemin nihai hali 3.11'deki gibi olur.

$$\dot{m} \Delta h = 0 \quad (3.11)$$

Bu ifade birden fazla giriş ve çıkış için genel olarak ;

$$\sum \Delta h_g = \sum \Delta h_c \quad (3.12)$$

Şeklinde , Bir giriş, bir sıcak ve diğer soğuk olan iki çıkış için ise;

$$\dot{m}_g h_g = \dot{m}_{\text{çsck}} h_{\text{çsck}} + \dot{m}_{\text{çsğk}} h_{\text{çsğk}} \quad (3.13)$$

Şeklinde yazılabilir. Burada  $\dot{m}_g$ ,  $\dot{m}_{\text{çsck}}$ ,  $\dot{m}_{\text{çsğk}}$ ,  $h_g$ ,  $h_{\text{çsck}}$ ,  $h_{\text{çsğk}}$  Sırasıyla giriş, sıcak akışkan çıkış, soğuk akışkan çıkış entalpilerini gösterir.

$$\Delta h_g = C_p (T_g - T_{ref}) \quad (3.14)$$

Burada referans sıcaklık değeri 0°K alınır (Usta, 2004) 3.15 denklemi elde edilir.

$$\Delta h_g = C_p T_g \quad (3.15)$$

$$\Delta h_{\text{çsğk}} = C_p (T_g - T_{\text{çsğk}}) \quad (3.16)$$

$$\Delta h_{\text{çsck}} = C_p (T_{\text{çsck}} - T_g) \quad (3.17)$$

3.15, 3.16, 3.17 denklemleri 3.12 denkleminde yerine yazılırsa 3.18 denklemi elde edilir.

$$C_p T_g = C_p (T_g - T_{\text{çsğk}}) + C_p (T_{\text{çsck}} - T_g) \quad (3.18)$$

Küçük sıcaklık aralıklarında giriş ve her iki çıkışta  $C_p$  değerleri aynı alınırsa birim kütle için 3.19 denklemi yazılabilir.

$$T_g = (T_g - T_{\text{çsğk}}) + (T_{\text{çsck}} - T_g) \quad (3.19)$$

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu deneysel çalışmada Bölüm 3'te detayları verilen vorteks tüp ve ilgili üreteçler kullanılarak farklı giriş basıncı, farklı giriş debisi, farklı çıkış debi ayarları (KVAP) için elde edilen sıcak havanın sıcaklıkları incelenmiştir. Sonuçlar bu parametreler bakımından kategorize edilerek ilgili başlıklar altında detaylı olarak sunulmuştur. sonuçlar da göz önüne alınarak vorteks tüplerinin basınçlı doğalgaz hatlarında kullanımları değerlendirilmiştir. 40-H ve 30-C üreteçlerine ait tüm veriler Nisan ayında, 10-C üreteci için verilerin bir kısmı ise Ağustos ayında alınmıştır. İlgili ayların aylık ortalama dış sıcaklıkları sırasıyla 15°C ve 29°C olarak değerlendirilmiştir.

### 4.1. Farklı Parametrelerin Vorteks Tüp Çıkış Sıcaklığına Etkisi

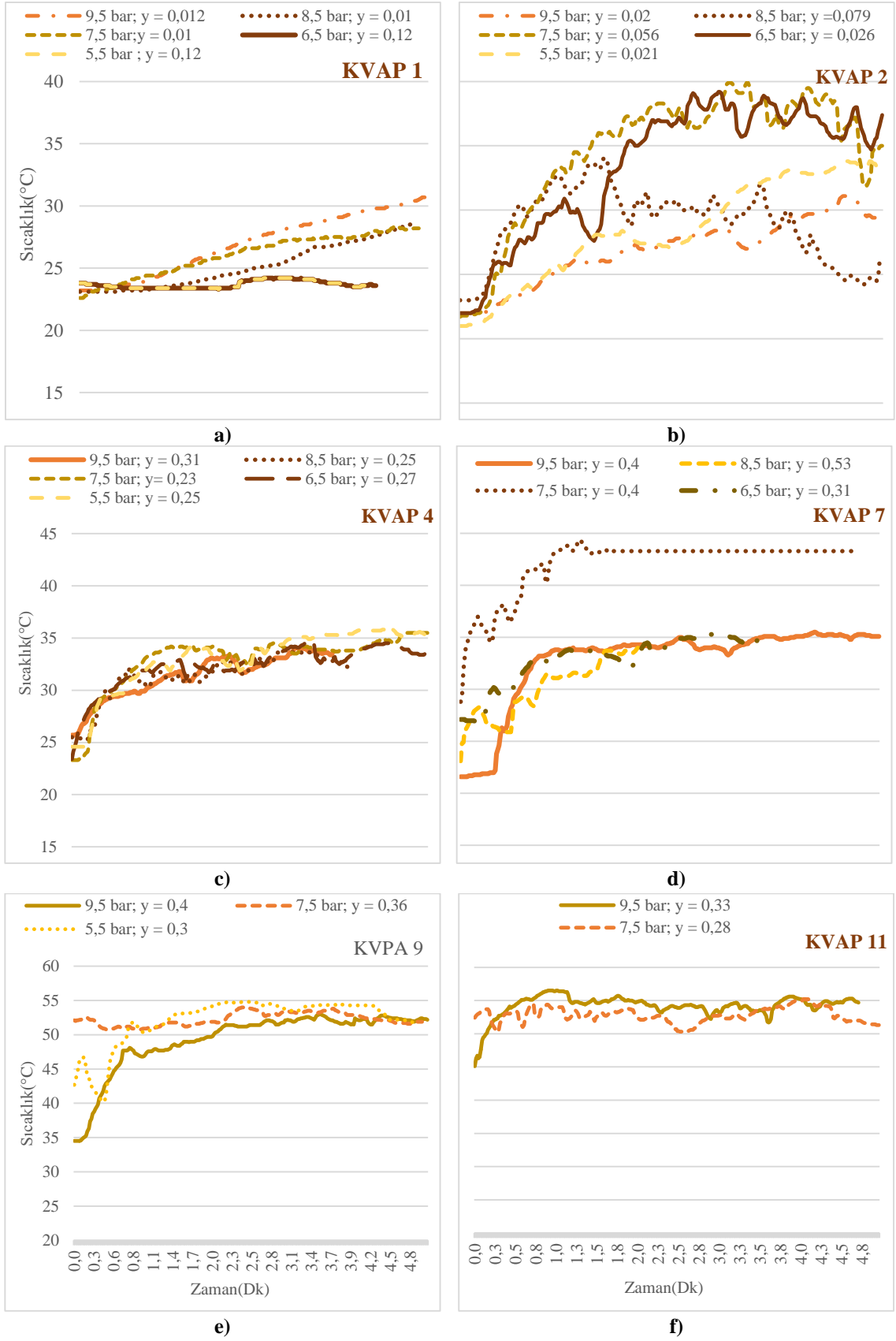
#### 4.1.1. Basınç Değişiminin Çıkış Sıcaklıklarına Etkisi

Kullanılan vorteks tüpü basınç aralığı 5-11 bar aralığında ise de kullanılan manometre maksimum 10 bar basınca ayarlı olduğundan denek olarak 5,5; 6,5; 7,5; 8,5; 9,5 bar basınçlar kullanılmıştır. Farklı KVAP'ları için basınçlar yeniden değiştirilmiştir. Buna ait grafikler Şekil 4.1'de bir arada verilmiştir. Şekil 4.1'de farklı KVAP ayarları için (KVAP 1, 2, 4, 7, 9, 11, 12 için) sonuçlar sırasıyla Şekil 4.1 a, b, c, d, e, f'de gösterilmiştir. KVAP 1'de (5,5 bar basınçta) sıcak akışkan sıcaklıkları 22°C oda sıcaklıklarından başlamak üzere artan basınçla birlikte genel olarak 33°C'ye kadar artmıştır. Bu grafikte en yüksek sıcak havanın 9,5 bar'da sağlanırken, en düşük sıcak hava sıcaklığı ise 5,5 bar'a ait olduğu görülmektedir (Şekil 4.1a). KVAP 2 için farklı basınçlara bakılırsa (Şekil 4.1b) yüksek basınçta (9,5 bar) hava sıcaklığı en düşük iken, 7,5 bar basınçta en yüksek hava sıcaklığı

elde edilmiştir. Ayrıca bir önceki grafikte (KVAP 1 için) sıcaklıklar  $35^{\circ}\text{C}$ 'nin altında iken, artan KVAP ile birlikte akışkan sıcaklığının  $35^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıktığı görülmektedir. Şekil 4.1b'de yüksek ve düşük basınçlarda (5,5 bar ve 9,5 bar) daha düşük; 6,5 ve 7,5 bar basınçlarda daha yüksek sıcaklığın elde edildiği görülmektedir. Bu durum vorteks tüplerinin optimum bir çalışma basıncında çalıştığını düşündürmektedir. Şekil 4.1d'de en yüksek sıcaklığın 7,5 bar'de elde edilmesi; Şekil 4.1e ve Şekil 5.1f'de kullanılan basınçlar için yakın sonuçların çıkması da optimum basınç düşüncesini güçlendirmektedir. Şekil 4.1d grafiğinde göze çarpan değer olarak KVAP 7'de 7,5 bar için sıcaklığın artarak  $45^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar yükselbildiği; KVAP 9 ve 11 şeklinde artması ile sıcaklık değerinin artmaya devam ettiği, nihayet  $55^{\circ}\text{C}$  civarına geldiği anlaşılmaktadır. Şekil 4.1 grafiklerinden genel ve ortak bir sonuç olarak çıkış debisi artışı ile akışkan sıcaklığının önemli derece arttığı, en iyi sonucun optimum basınç için (7 bar) sağlandığı anlaşılmaktadır.

Şekil 4.1'in genel bir değerlendirmesini yapmak gerekirse sıcak çıkış tarafı en kısık durumda iken (KVAP 1) yüksek basınçta hava sıcaklığı  $35^{\circ}\text{C}$ 'lerde olup en yüksek değerini almakta (Şekil 4.1a); KVAP 2 için en yüksek sıcaklık değerinin 6,5 ve 7,5 bar basınç için yaklaşık  $40^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.1b). KVAP 4 için tüm basınçlarda sıcaklık değerleri yakın olup  $35^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindedir (Şekil 4.1c). KVAP 7 için en iyi sonuçlar 7,5 bar basınçta yaklaşık  $45^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.1d). Genel olarak en iyi sıcak akışkan sıcaklıkları 7,5 ve 6,5 bar basınçlarında elde edilmiştir. Dolayısıyla vorteks tüplerinde bir optimum basınç değerinden bahsedilebilir. 40-H üreteç sonuçlarına göre en sıcak akışkanın KVAP 9 ve 11'de iken  $55^{\circ}\text{C}$  olarak elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.1e ve Şekil 4.1f). Şekil 4.1a'dan Şekil 4.1f'ye kadar yani KVAP 1'den KVAP 11'e kadar artış ile sıcaklık değeri  $30^{\circ}\text{C}$ 'den  $55^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düzenli olarak artmıştır.

Tablo 4.1'de 40-H üretecinde farklı KVAP'larında sıcak akışkan debi oranı (y) verilmiştir. İlgili tablodan KVAP 'nun artan sayılarında çıkışta sıcak akışkan debi oranının da genel olarak arttığı anlaşılmaktadır. Örneğin KVAP 1 için  $y = 0,12$  iken , KVAP 9 ve 11'de y değerlerinin 0,3-0,4'e ulaştığı görülmektedir. KVAP'nun artması ile meydana gelen sıcak akışkan debi oranındaki artış, sıcaklığın da artışı olarak sonuçlara yansımıştır.



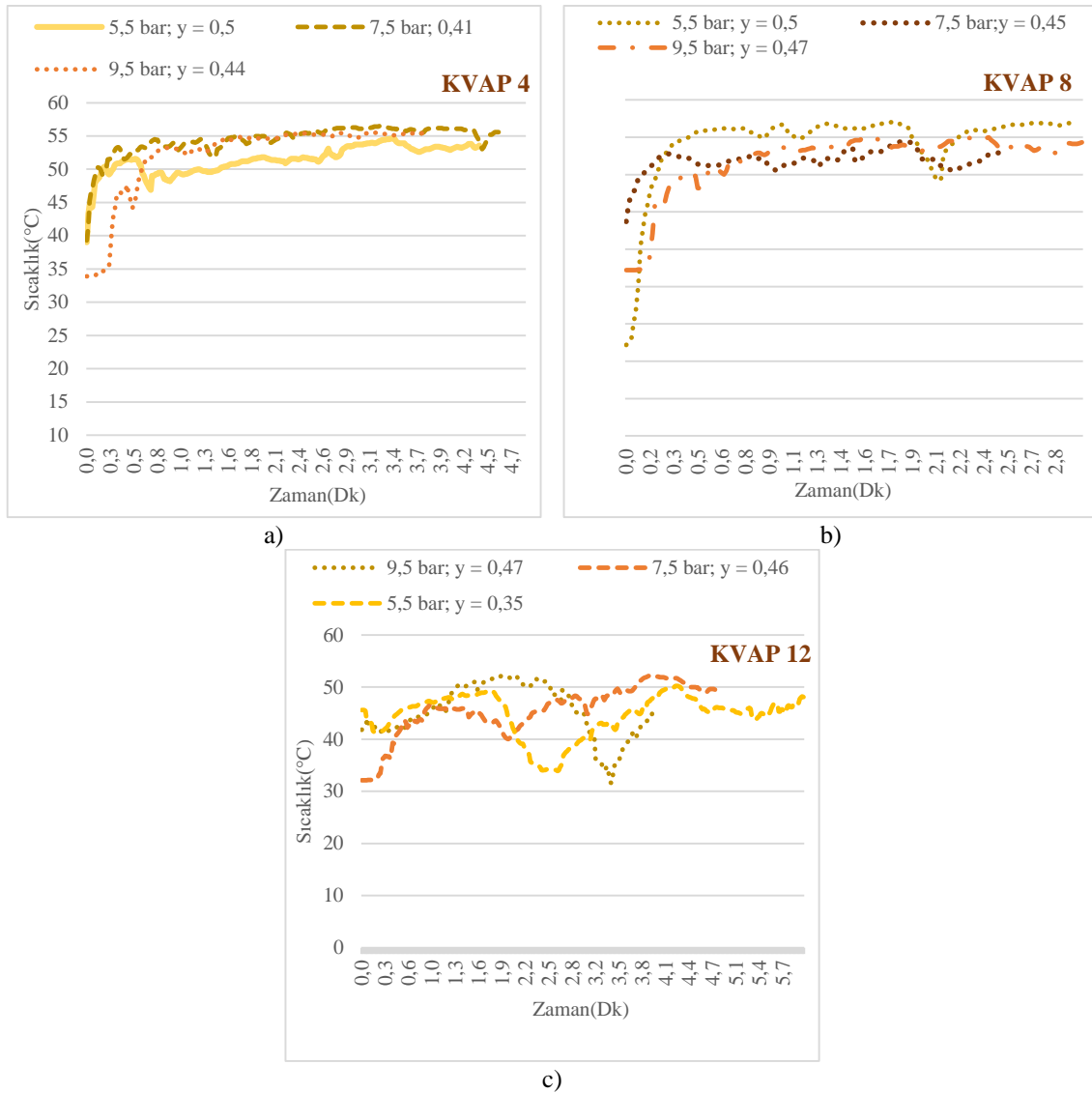
Şekil 4.1. Basınç değişiminin çıkış sıcaklıklarına etkisi (40-H üretici)

Tablo 4.1. Farklı KVAP'larında sıcak akışkan debi oranları (y)

40H Üretici , Sıcak akışkan oranı (y)						
Basınç (bar)	KVAP 1	KVAP 2	KVAP 4	KVAP 7	KVAP 9	KVAP 11
5,5	0,12	0,021	0,25	0,41	0,33	
6,5	0,12	0,026	0,27	0,32	-	
7,5	0,01	0,056	0,23	0,4	0,36	0,28
8,5	0,01	0,079	0,25	0,38	0,39	
9,5	0,012	0,02	0,31	0,4	-	0,33

Giriş basıncının etkisi için diğer kıyaslama 30-C üretici sonuçları için Şekil 4.2'de verilmiştir. KVAP 4, 8 ve 12 için elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 4.2a, b ve c'de verilmiştir. KVAP arttıkça sıcak çıkış tarafında sıcaklığın düştüğü, kararsız durum olduğu anlaşılmaktadır. Nitekim Şekil 4.2a'da KVAP 4 için her üç basınç türüne ait sonuçların yakın ve yaklaşık 55°C'ye varan sıcaklığa sahip olduğu, KVAP 8'de bu sıcaklığın bir miktar düşerek 50°C'lere indiği görülmektedir (Şekil 4.2b). KVAP 12'de olması durumunda sıcaklık değerinin 40-50°C aralığına düştüğü ve sıcak akışta kararsız bir durumun göstergesi olan sıcaklık dalgalanmalarının olduğu, görülmektedir.

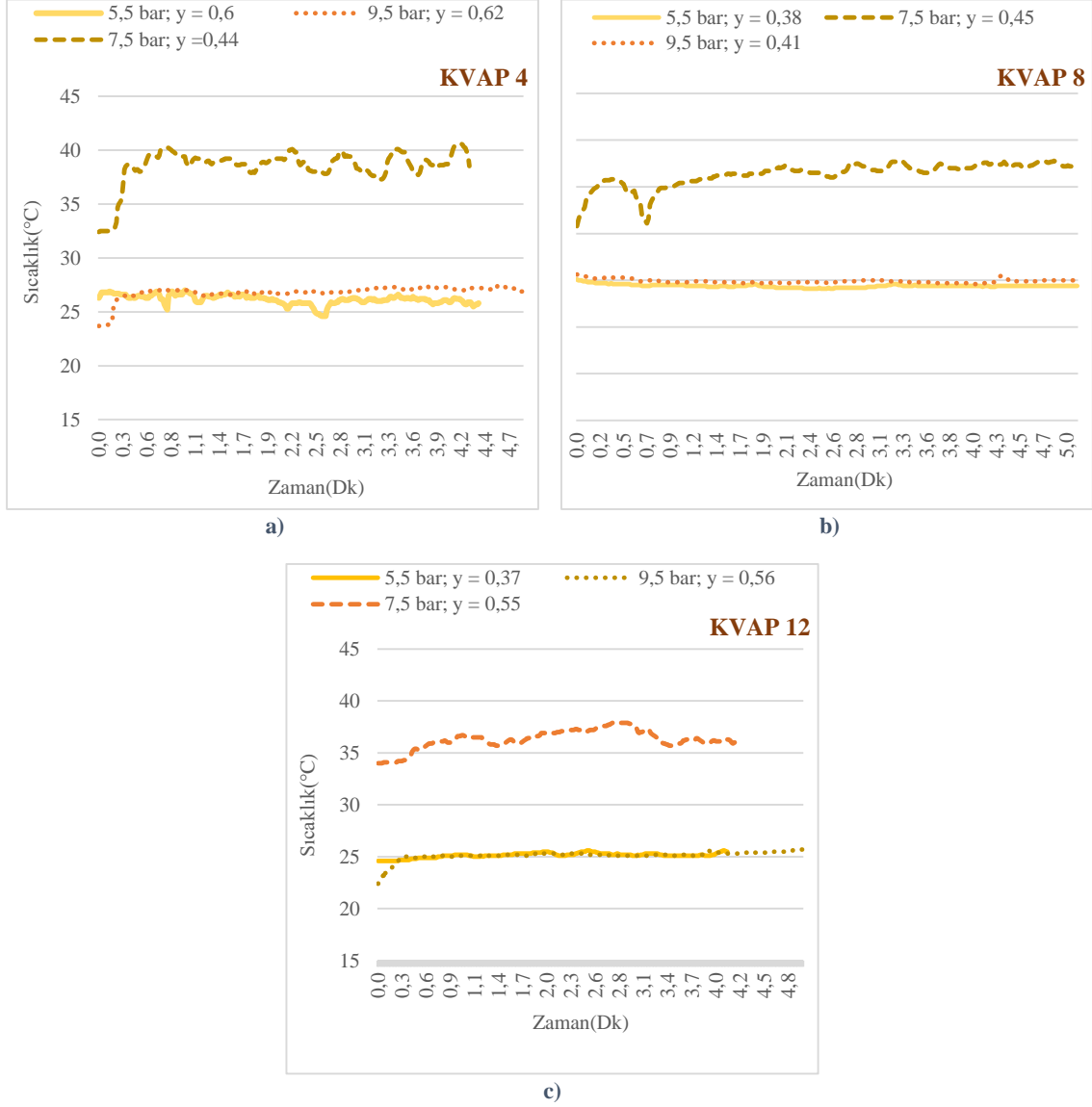
30-C üreteçlerinde en iyi sıcak akışkan sonuçlarının düşük KVAP'larında elde edildiği anlaşılmaktadır. KVAP 4'te daha sıcak akışkan; KVAP 12'de daha az sıcak akışkan elde edilmektedir. Bu bakımdan ısıtma ya da soğutma ihtiyacına göre vorteks tüpünün amaca uygun olarak optimum KVAP'larında kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.2. Basınç değişiminin çıkış sıcaklıklarına etkisi (30-C üretici)

10-C üretici için basınç etkisini gösteren grafikler 5,5; 7,5 ve 9,5 bar basınç için Şekil 4.3'te sunulmuştur. KVAP 4, 8 ve 12 sonuçları sırasıyla Şekil 4.3 a, b, c'de sunulmuştur. KVAP 4 sabit değeri için karşılaştırılan farklı basınç sonuçlarına göre 7.5 bar basınç  $y = 0.44$  debi oranında en yüksek çıkış sıcaklığı  $40^{\circ}\text{C}$  civarındadır (Şekil 4.3a). Öte yandan 5,5 ve 9,5 bar basınç sonuçları daha yüksek debiye sahip olmalarına rağmen ( $y = 0,6$  veya  $0,62$ ) birbirine benzer olup ilgili sıcaklık değeri  $26-27^{\circ}\text{C}$  arasındadır. KVAP 8 sabit değerinde, 7,5 bar basınçta en yüksek sıcaklık değeri  $35-37^{\circ}\text{C}$  aralığındadır (Şekil 4.3b). 5,5 ve 9,5 bar basınç sonuçları ise birbiri ile benzer olup ilgili sıcaklıklar  $24-25^{\circ}\text{C}$  arasındadır. KVAP 12 ve 7,5 bar basınçta  $37-38^{\circ}\text{C}$ 'lerde olup, 5,5 ve 9,5 bar basınç sonuçları  $25^{\circ}\text{C}$ 'dedir (Şekil 4.3c). 10-C üretici için varılan genel sonuca göre en yüksek

çıkış sıcaklığı 7,5 bar basınçta ve düşük KVAP'unda (örneğin KVAP 4'te) elde edilmektedir. 5,5 ve 9,5 bar basınçlarda sıcaklıklar 25°C gibi düşük değerler almıştır.



Şekil 4.3. Basınç değişiminin çıkış sıcaklıklarına etkisi (10-C üretici)

#### 4.1.2. Giriş Debisinin Çıkış Sıcaklıklarına Etkisi

40-H üretici için çıkış uçlarından alınan anlık hız değerlerine bağlı olarak hesaplanan giriş, sıcak akışkan, soğuk akışkan debileri (KVAP 7 ve KVAP 9 için) Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te verilmiştir. İlgili parametreler için iki farklı giriş debisi kullanılmıştır (Giriş 1 ve Giriş 2) Her giriş debisi için bir sıcak (Sıcak hava 1, Sıcak hava 2), bir de soğuk (Soğuk hava 1,



Soğuk hava 2) şeklinde debiler elde edilmiştir. İlgili tablolardan da görüldüğü gibi ikinci deneyde giriş debisi arttırılarak maksimum debi kullanılmıştır. Buna paralel olarak sıcak ve soğuk çıkışların debisi 3.5 denklemi (süreklilik denklemi) gereği artmıştır. KVAP 7 olması durumunda soğuk akışkan debisi sıcak akışkan debisine göre yaklaşık olarak iki kat daha fazladır (Tablo 4.2). Benzer değerleri KVAP 9 için Tablo 4.3'ten de okunabilir.

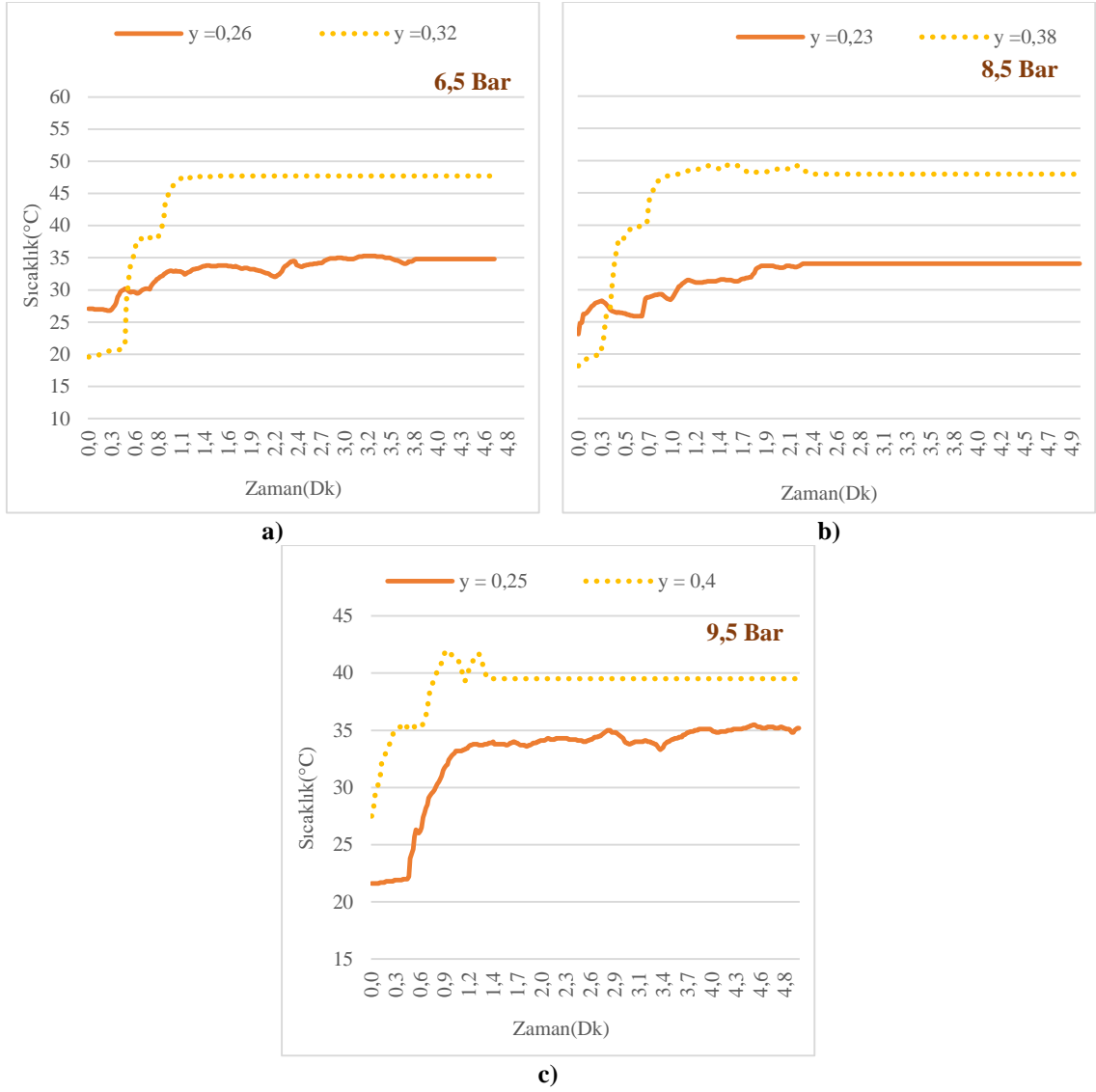
Tablo 4.2. Vorteks giriş ve çıkışlarına ait hız ve debi değerleri

KVAP 7	Ortalama Debi (m <sup>3</sup> /h)		
	6,5 bar	8,5 bar	9,5 bar
Giriş 1	10	14,5	14,4
Giriş 2	16,2	20,2	19,6
Sıcak hava 1	2,5	3,3	3,7
Sıcak Hava 2	5,2	7,7	7,7
Soğuk hava 1	7,5	11,3	10,7
Soğuk hava 2	11	12,5	11,9

Tablo 4.3. Vorteks giriş ve çıkışlarına ait hız ve debi değerleri

KVAP 9	Ortalama debi (m <sup>3</sup> /h)	
	5,5 bar	7,5 bar
Giriş 1	13,26	13,49
Giriş 2	18,44	20,89
Sıcak hava 1	4,35	6,74
Sıcak Hava 2	6,17	7,53
Soğuk hava 1	8,92	6,74
Soğuk hava 2	12,27	13,36

Şekil 4.4'te vorteks tüp KVAP 7 ve giriş basıncının 6,5; 8,5 ve 9,5 bar basınçlarında, düşük/yüksek iki farklı giriş debisi (sıcak hava 1, sıcak hava 2; soğuk hava 1, soğuk hava 2) sonuçları karşılaştırılmıştır. Giriş ve çıkış debi göstergesi olarak sıcak akışkan oranını gösteren  $y$  ifadeleri kullanılmıştır. Şekil 4.4a, b ve c sırasıyla 6,5; 8,5 ve 9,5 bar için elde edilen sonuçları göstermektedir. Öncelikle her üç grafikte de anlaşılan ortak bir durum söz konusudur. Şöyle ki giriş debisi arttıkça sıcak akışkan sıcaklığı artmıştır. Örneğin Şekil 4.5a'da 6,5 Bar basınçta birinci giriş debisi için ( $y = 0,32$ ) elde edilen sıcaklık ikinci giriş debisinden ( $y = 0,26$ ) daha yüksektir. Ele alınan her üç basınç için de bunu söylemek mümkündür. 6,5 bar ve 8,5 bar giriş basınçlarında akışkan sıcaklığı 50°C gibi yüksek bir sıcaklıkta iken, 9,5 bar basınçta sıcaklık değeri düşmüştür. Bu da daha önce belirtildiği gibi optimum bir çalışma basıncında çalışılması gerekliliğini teyit etmektedir.

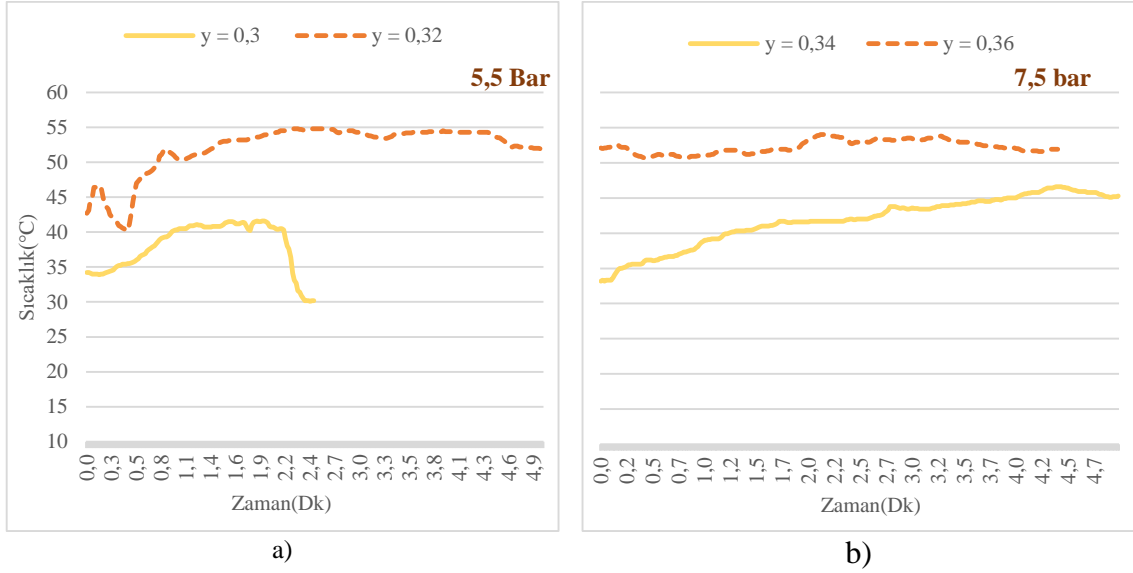


Şekil 4.4. Vorteks tüp giriş debisinin etkisi (KVAP 7), 40-H üretici

KVAP 9 için yüksek ve düşük giriş debisi etkisi 5,5 ve 7,5 bar için sırasıyla Şekil 4.5a ve Şekil 4.5b'de verilmiştir. Hem Şekil 4.5a hem de Şekil 4.5b'den anlaşıldığı gibi yüksek debide daha yüksek sıcaklıklı sıcak akışkan elde edilmiştir. Her iki debi için(Sıcak hava 1 ve sıcak hava 2 için) en iyi sıcak akışkan sonuçları 7,5 bar basınçta olduğu görülmektedir.

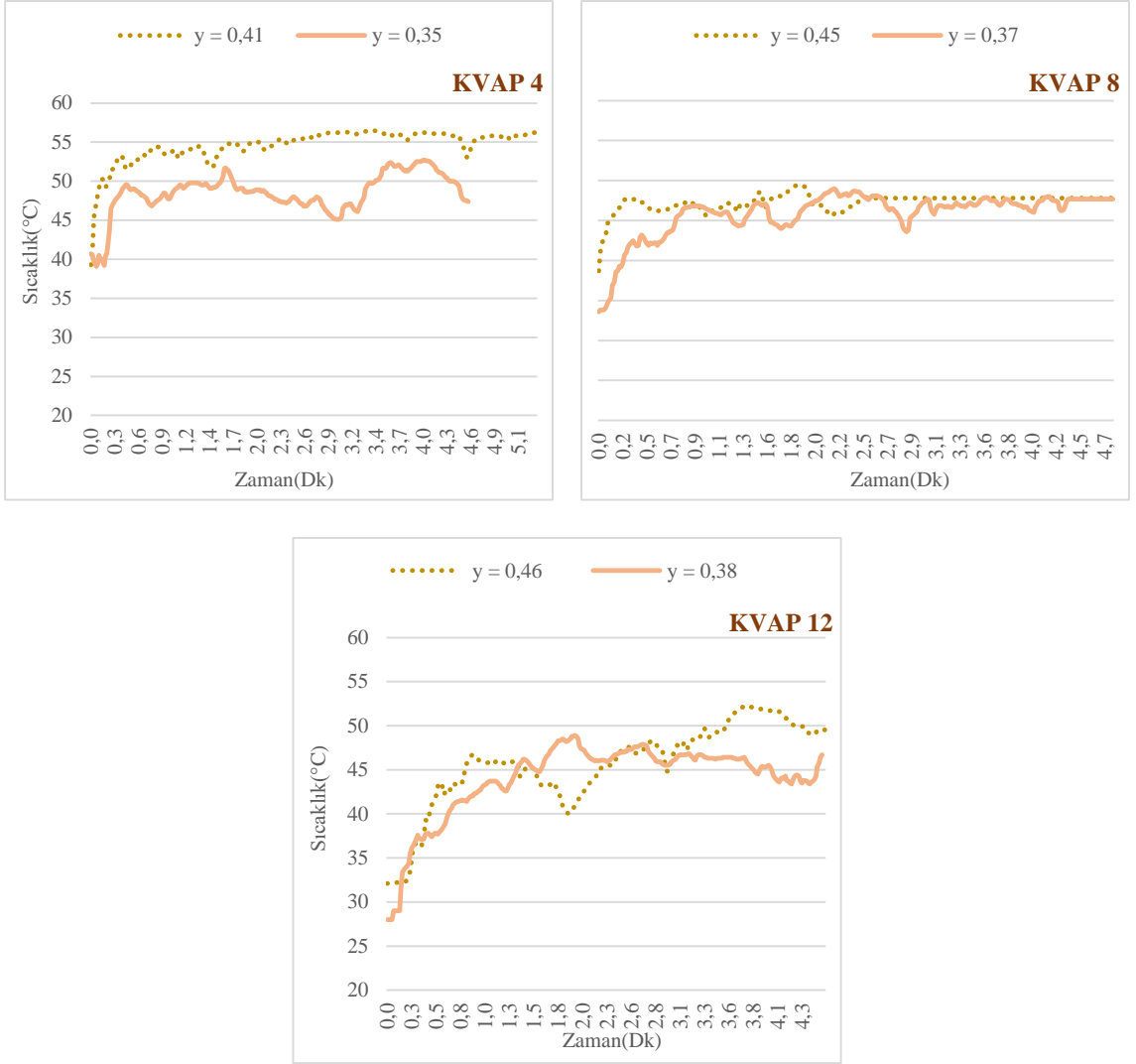
30-C üretici giriş debi etkisi için Şekil 4.6'da KVAP 4, 8 ve 12 için iki farklı giriş debilerine ait sıcak akışkan oranları karşılaştırılmıştır. Artan giriş debisi ile orantılı olarak sıcak akışkan çıkış debisi de arttığı için sıcak akışkan çıkış debileri baz alınmıştır. 7,5 bar sabit basınç için karşılaştırılan debi oranlarına göre KVAP 4'te debi oran etkisinin sonucu

olarak akışkan sıcaklığı daha yüksektir. %41 debi oranında 55°C'ye varan yüksek sıcaklık oluşurken, %35 debi oranında sıcaklık 50°C civarındadır. KVAP 8 ve 12'de debi oran etkisi azalmıştır ve sıcaklıklar 50°C'nin altına düşmüştür.

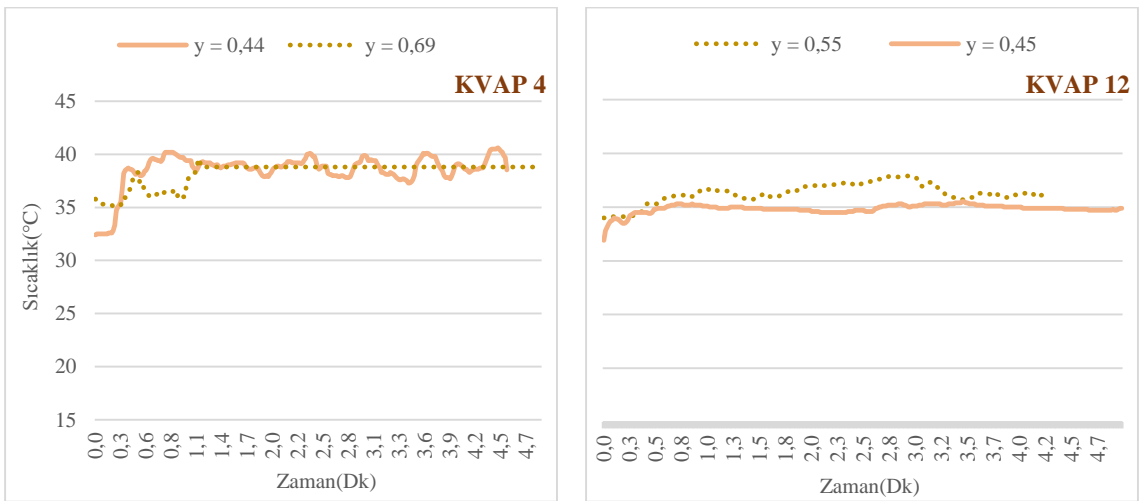


Şekil 4.5. Vorteks tüp giriş debisinin etkisi (KVAP 9), 40-H üretici

Şekil 4.7'de 10-C üretici farklı giriş debilerine ait sıcaklık karşılaştırılmıştır. KVAP 4 ve KVAP 12 için ayrı ayrı verilen şekillere göre KVAP 4 olması durumunda her iki debi arasında önemli bir fark oluşmadığı, KVAP 12 için ise artan debi oranı ile sıcaklığın arttığı anlaşılmaktadır. Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de farklı giriş debilerine ait 40-H, 30-C ve 10-C grafiklerinden 40-H üreticinde giriş debisinin hemen hemen tüm parametrelerde çıkış sıcaklığını önemli derece etkilediği anlaşılmıştır. Öte yandan 30-C üreticinde KVAP 4'te giriş debi etkisi daha belirgin iken KVAP 8 ve 12 olması durumunda giriş debisinin arttırılmasının çıkış sıcaklığına etki etmediği anlaşılmaktadır. 10-C üreticinde ise KVAP 4 olması durumunda debi etkisi belirsiz iken KVAP 12 olduğunda giriş debisinin artışı ile sıcaklığın arttığı görülmektedir.



Şekil 4.6. Vorteks tüp giriş debisinin çıkış sıcaklıklara etkisi, 30-C üretici 7,5 bar



Şekil 4.7. Vorteks tüp giriş debisinin çıkış sıcaklıklara etkisi, 10-C üretici 7,5 bar

### 4.1.3. Çıkış Debinin Çıkış Sıcaklıklarına Etkisi

Vorteks tüp çıkış uçlarından geçen debinin çıkış sıcaklıklarına etkisini göstermek amaçlı olarak vorteks tüpü sıcak çıkışında yer alan ayar vidalı kontrol vanası farklı pozisyonları ile farklı çıkış debileri sağlanmıştır. KVAP 1, 2, 4,7, 9, 11, 12 gibi sıcak uçtan geçen debinin ayarlanması ile soğuk uçtan geçen debi miktarı da otomatik olarak değişmiştir. Farklı KVAP etkisi 40-H, 30-C ve 10-C üreteçleri için sırasıyla Şekil 4.8a, b ve c’de sunulmuştur. Şekil 4.8a’da 40-H üretici için farklı KVAP sayılarının etkisi gözlemlenmiştir. KVAP 9 ve 11 gibi yüksek değerde akışkanın daha yüksek sıcaklıkta çıktığı (50-55°C gibi), KVAP 7’de 45°C gibi sıcaklıkta, KVAP 2 ve 4’te ise sıcaklığın 30-35°C aralığına düştüğü, nihayet KVAP 1’de ise 25°C olduğu görülmektedir. 40-H üreticinde KVAP’nu arttıkça sıcak akışkan sıcaklığının arttığı, azaldıkça sıcak akışkan sıcaklığının azaldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca aynı diyagramdan KVAP’nu arttıkça çıkış debisinin de genel olarak arttığı anlaşılmaktadır. İlgili sıcaklık artışında üreteç etkisinin dışında, debi artışının da etkili olduğu söylenebilir.

Şekil 4.8b ve c’de 30-C ve 10-C üreteçleri ve 7,5 bar sabit basınç için farklı KVAP sayılarının etkisi karşılaştırılmıştır. KVAP 4, 8 ve 12 için sonuçlarının kıyaslandığı şekilde artan KVAP sayısı ile akışkan sıcaklığının düştüğü anlaşılmaktadır. 30-C üretici için KVAP oranının etkisine bakılırsa 40-H üreticinin tam tersine KVAP oranı arttıkça sıcaklığın düştüğü görülmektedir (Şekil 4.9b). Örneğin KVAP 4’te en yüksek sıcaklık, KVAP 12’de ise en düşük sıcaklık elde edilmiştir. İlgili debilerin (y değerlerinin) yakın değerler olduğu göz önünde bulundurulursa elde edilen sonuçlarda en etkili parametrenin üreteç türü olduğu anlaşılmaktadır. 10-C üreticinde de 30-C üreticine benzer etkiyi görmek mümkündür (Şekil 4.8c). 10-C için KVAP 4’te elde edilen sıcaklığı KVAP 8 ve KVAP 12’ye göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.8 ile varılan genel kanıya göre 40-H, 30-C ve 10-C üreteçleri için sıcak akışkan sıcaklık aralıkları sırasıyla 55-25°C, 55-40°C ve 40-35°C aralığındadır. Her üç üreteçte de ısınmanın gerçekleştiği ancak 40-H ve 30-C üretici ile en iyi ısınmanın (yaklaşık 55°C’ye kadar) sağlandığı anlaşılmaktadır.

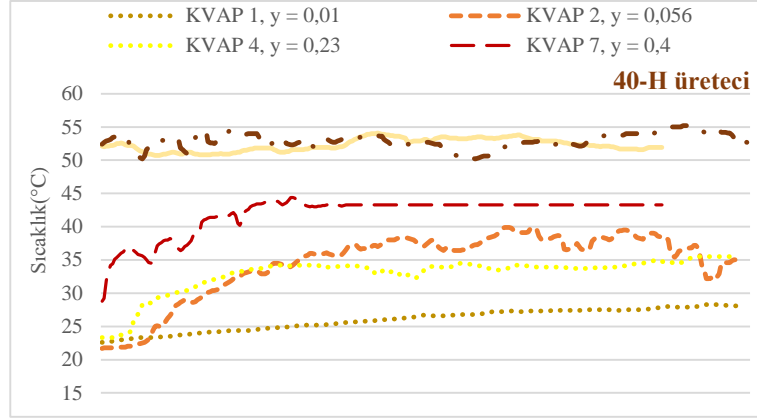
Tablo 4.4’te 40-H üretici için elde edilen sonuçların ortalamaları verilmiştir. KVAP 7’de en iyi ısınma %38 sıcak akışkan oranı ile 7,5 bar için elde edilmiştir. 6,5; 8,5 ve 9,5 bar basınçta %17, %23, %26 oranlarında sıcak akışkan için elde edilen sıcaklık değerleri

sırasıyla 32; 30; 32,8°C şeklindedir. Aynı üreticinin KVAP 9’da 5,5; 7,5 ve 9,5 bar basınç ve %33,%36, %39 sıcak akışkan oranları için akışkan sıcaklıkları birbirine yakın olup ortalama 52°C’dir. 11.tur da ise 7,5 ve 9,5 bar basınçlarında ve %28, %34 sıcak akışkan oranında ortalama sıcaklık 53°C’dir. Görüldüğü gibi KVAP arttıkça sıcak çıkışta debi oranı arttığından, akışkan sıcaklığı da artmıştır. Sözkonusu etkinin debinin yanı sıra üreticinin türüne de bağlı olduğu yadsınmaz.

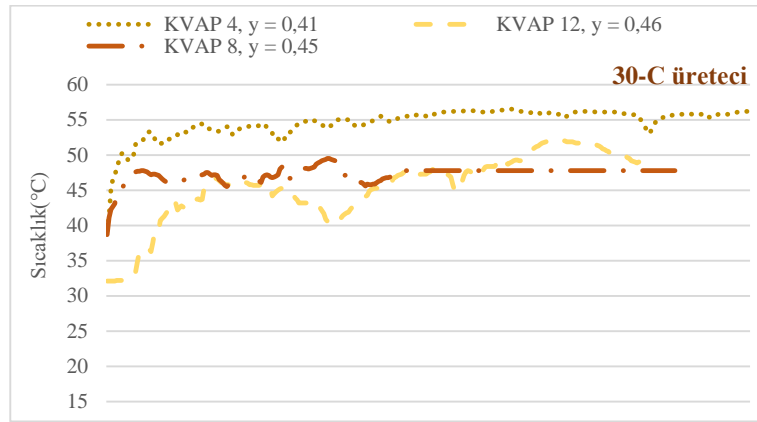
Tablo 4.4. 40-H üreticinin debi oranı tablosu

<b>40-H Üreticisi</b>					
<b>Giriş Basıncı(bar)</b>	<b>Sıcak akışkan Ortalama sıcaklığı(°C)</b>	<b>Soğuk akışkan ortalama sıcaklığı(°C)</b>	<b>Sıcak akışkan debisi(m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Soğuk akışkan debisi(m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>y(%)</b>
<b>KVAP 7</b>					
6,5	32	19	2,2	11	17
7,5	40,15	20	7	11,6	38
8,5	30	18,9	3,3	11	23
9,5	32,8	19,7	3,7	10,7	26
<b>KVAP 9</b>					
5,5	52	27	6,1	12,3	33
7,5	52,2	26	7,5	13,3	36
9,5	51,1	26,5	8,2	13	39
<b>KVAP 11</b>					
7,5	52,8	27,15	5,3	13,4	28
9,5	54,2	32,6	5	9,9	34

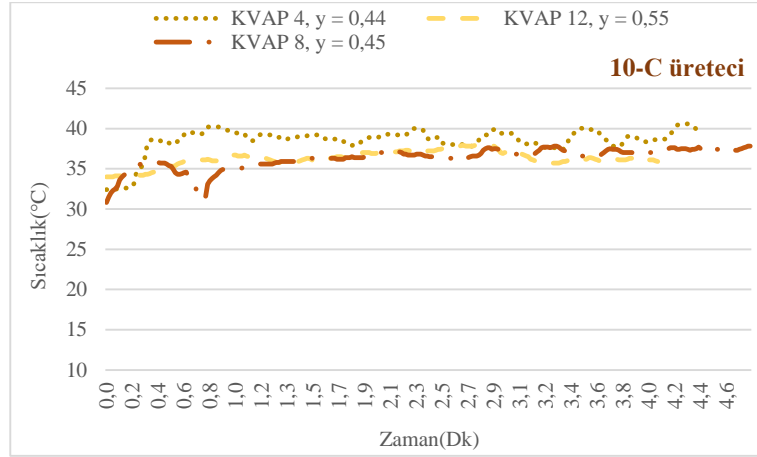
30-C üreticisi için elde edilen ortalama sonuçlar Tablo 4.5’te sunulmuştur. KVAP 4 sonuçları 5,5; 7,5 ve 9,5bar basınçta ve %50, %42, %44 debi oranlarında sıcak akışkan için elde edilen ortalama sıcaklıklar sırasıyla 51,4; 54,6; 53,1°C’dir. KVAP 8’de 5,5; 7,5 ve 9,5 bar basınç ve %49, 45, 46 debi oranlarında sıcak akışkan sıcaklıkları ortalama 48°C’dir. KVAP 12’de aynı basınçlar için %37, %36, %47 debi oranlarındaki sıcak akışkan için elde edilen sıcaklıklar ortalama 45°C’dir. KVAP arttıkça akışkan ortalama sıcaklığının azaldığı anlaşılmaktadır. Isıtma amaçlı kullanılacak vorteks tüpte doğal olarak sıcak hava oranlarının yüksek olması, soğuk hava oranının düşük olması tercih edilecektir. Burada gözlemlenen önemli bir husus da %45’in üzerinde sıcak hava oranı sağlaması bakımından 30-C üreticisi, 40-H üreticisine göre daha avantajlı hale gelmektedir.



a)



b)



c)

Şekil 4.8. Sabit basınçta ( 7,5 bar ) farklı KVAP sayılarının karşılaştırılması  
a)40-H üreteci, b) 30-C üreteci, c) 10-C üreteci

Tablo 4.5. 30-C üretici debi oran tablosu

30-C Üretici					
Giriş Basıncı(bar)	Sıcak akışkan Ortalama sıcaklığı(°C)	Soğuk akışkan ortalama sıcaklığı(°C)	Sıcak akışkan debisi(m <sup>3</sup> /h)	Soğuk akışkan debisi(m <sup>3</sup> /h)	y(%)
<b>KVAP 4</b>					
5,5	51,4	23,2	12,9	12,9	50
7,5	54,6	23,8	8,9	12,5	42
9,5	53,1	23,5	10,3	13,1	44
<b>KVAP 8</b>					
5,5	49,4	20,9	12,2	12,9	49
7,5	46,9	18,3	10,5	12,7	45
9,5	46,9	20,7	11,11	12,8	46
<b>KVAP 12</b>					
5,5	44,5	19,5	7,7	13,2	37
7,5	45,6	22,8	7,1	12,1	36
9,5	45,4	19,3	11,8	13,2	47

10-C üretici debi oran tablosu 7,5bar basınçta KVAP 4, 8 ve 12'de %44, %45 ve %52 sıcak akışkan oranları ile elde edilen sıcaklıklar ortalama 37°C çıkmıştır. Yüksek oranda sıcak hava avantajı 10-C üreticinde de görülmektedir. Nitekim %60 üzerinde sıcak hava oranı elde edilmesi mümkündür.

Tablo 4.6. 10-C üretici debi oran tablosu

10-C Üretici					
Giriş Basıncı(bar)	Sıcak akışkan Ortalama sıcaklığı(°C)	Soğuk akışkan ortalama sıcaklığı(°C)	Sıcak akışkan debisi(m <sup>3</sup> /h)	Soğuk akışkan debisi(m <sup>3</sup> /h)	y(%)
<b>KVAP 4</b>					
5,5	26	8,5	13,2	8,7	60
7,5	38,5	25,17	10	12,8	44
9,5	26,8	13	12,7	7,6	62
<b>KVAP 8</b>					
5,5	24,4	16	6,1	9,6	38
7,5	36,6	23	9,8	11,9	45
9,5	25	11,7	5	7,1	58
<b>KVAP 12</b>					
5,5	25,1	7,9	6,3	10,4	37
7,5	36	26	10,2	9,3	52
9,5	25,1	9,4	4,7	3,7	55



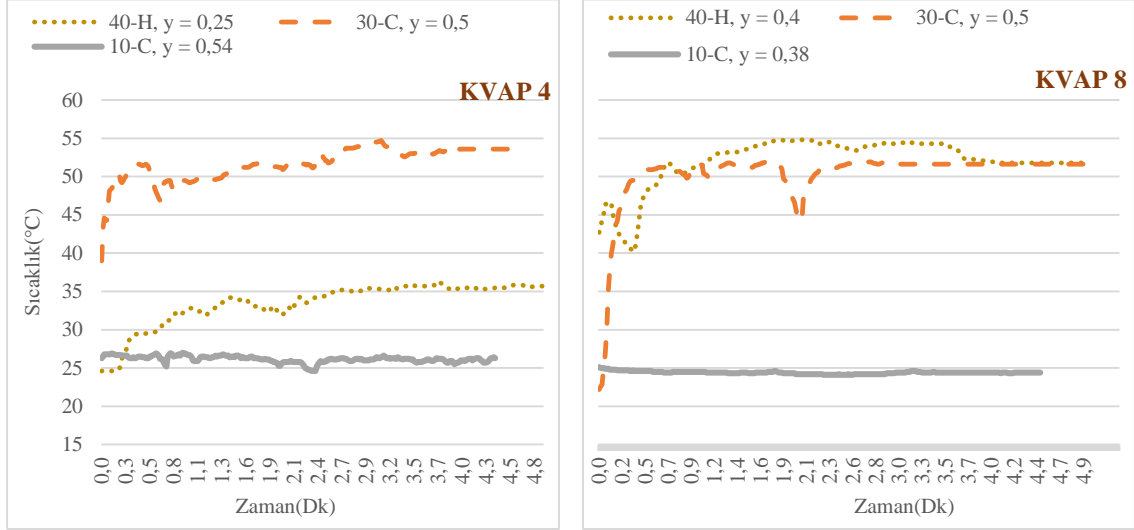
Debi oran tablolarında 40-H üreticinde yüksek turlarda (KVAP 9 ve 11) ve 5,5; 7,5 ve 9,5 bar basınçlarda elde edilen sıcaklıklar yüksek olup 50°C'nin üzerindedir. 30-C üretici için KVAP 4'te 50°C'nin üzerinde sıcaklık elde edilmiş ancak, KVAP 8 ve 12'de sıcaklıklar 45-50°C aralığına düşmüştür. 10-C üreticine göre 40-H ve 30-C üreteçlerinin ısıtma amaçlı kullanımlara daha uygun olduğu, daha geniş parametrelerde yüksek performans sağlaması bakımından 40-H'in, daha yüksek sıcak hava oranı sağlaması bakımından 30-C üreticinin tercih edilmesinin avantajlı olduğu anlaşılmaktadır.

#### 4.1.4. Farklı Üreteç Sonuçlarının Karşılaştırılması

Burada 8-C, 10-C, 30-C ve 40-H olmak üzere dört farklı üreteç için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. KVAP 4, 8 ve 12 için elde edilen sonuçlar farklı basınçlar için sırasıyla Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de 5,5; 7,5 ve 9,5 bar sabit basınçları için sunulmuştur. Şekil 4.9'da 40-H ve 30-C üreteçleri için 5,5 sabit basınçlı akışkan sonuçları KVAP 4 ve 8 için karşılaştırılmıştır. 5,5 bar giriş basıncında KVAP 4'te 30-C üreticinde sıcak akışkan sıcaklığı 55°C'ye ulaşırken; 40-H üretici için sıcaklık 30-35°C aralığında; 10-C üreticinde ise 26°C civarındadır (Şekil 4.9a). İlgili şekle göre aynı KVAP için 10-C üreteç debisi fazla olmasına rağmen 30-C üreteç sıcaklığı daha yüksektir. KVAP 8 olması durumunda 30-C üreteç debisi daha yüksek görünmesine rağmen 40-H üretici daha yüksek sıcaklıklara ulaşmıştır. Öte yandan diğer üreteçlerle yakın debiye sahip olmasına rağmen 10-C üretici KVAP 8 için de yaklaşık 25°C değerini göstermektedir. Buradan çıkış sıcaklıklarını etkileyen en önemli parametrenin öncelikle üreteç olduğu anlaşılmaktadır.

Benzer şekilde 7,5 bar sabit basınç için düzenlenen Şekil 4.10a'da sıcak akışkan sıcaklık değeri 30-C üreticinde daha yüksek (56-50°C aralığında), 10-C üreticinde yaklaşık 40°C'de, 40-H üreticinde ise 30-35°C'dir. KVAP 4'te 30-C ve 10-C üreteçlerinin 40-H'a göre daha yüksek sıcaklığa sahip olduğu anlaşılmaktadır. Düşük KVAP'nun da 40-H üreticinde debinin daha fazla düşmesinin çıkış sıcaklıklarını olumsuz etkilediği sonucuna götürmektedir. Nitekim KVAP 8'de 40-H üreteç debi değeri ile diğer üreteç debi değerlerinin yakın olması durumuna bakıldığında en yüksek sıcaklıklara 40-H ile ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca yüksek KVAP'larında 40-H debisi diğer üreteçlere göre az olsa bile daha yüksek çıkış sıcaklıklarının elde edildiği görülmektedir (Şeki 4.10c). Arıca aynı

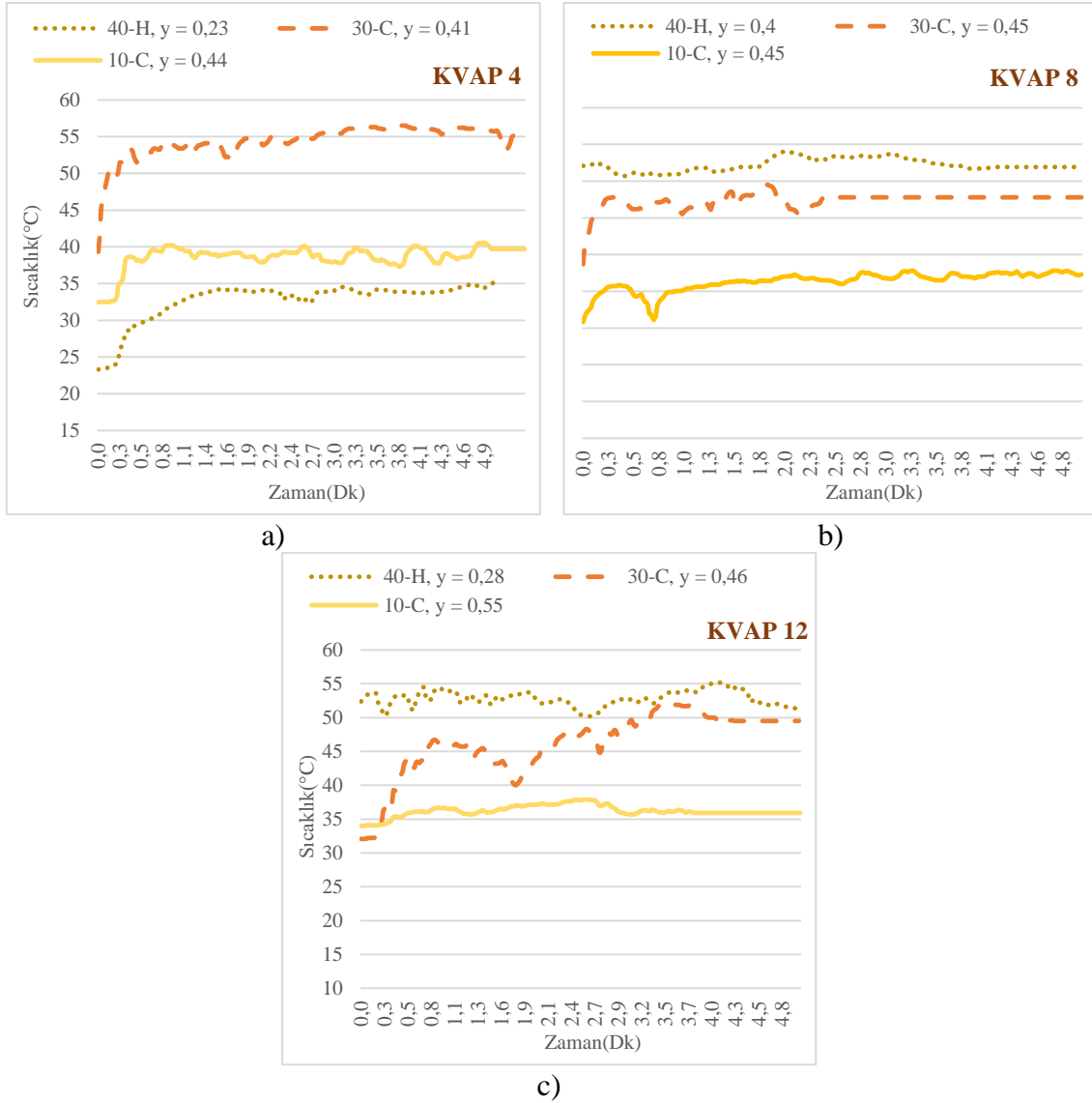
KVAP ve yaklaşık aynı debide olmalarına rağmen 30-C üreticinde daha yüksek akışkan sıcaklığının elde edildiği görülmektedir (Şekil 4.10b ve Şekil 4.10c).



Şekil 4.9. Farklı üreticilerin karşılaştırılması (5,5 bar sabit)

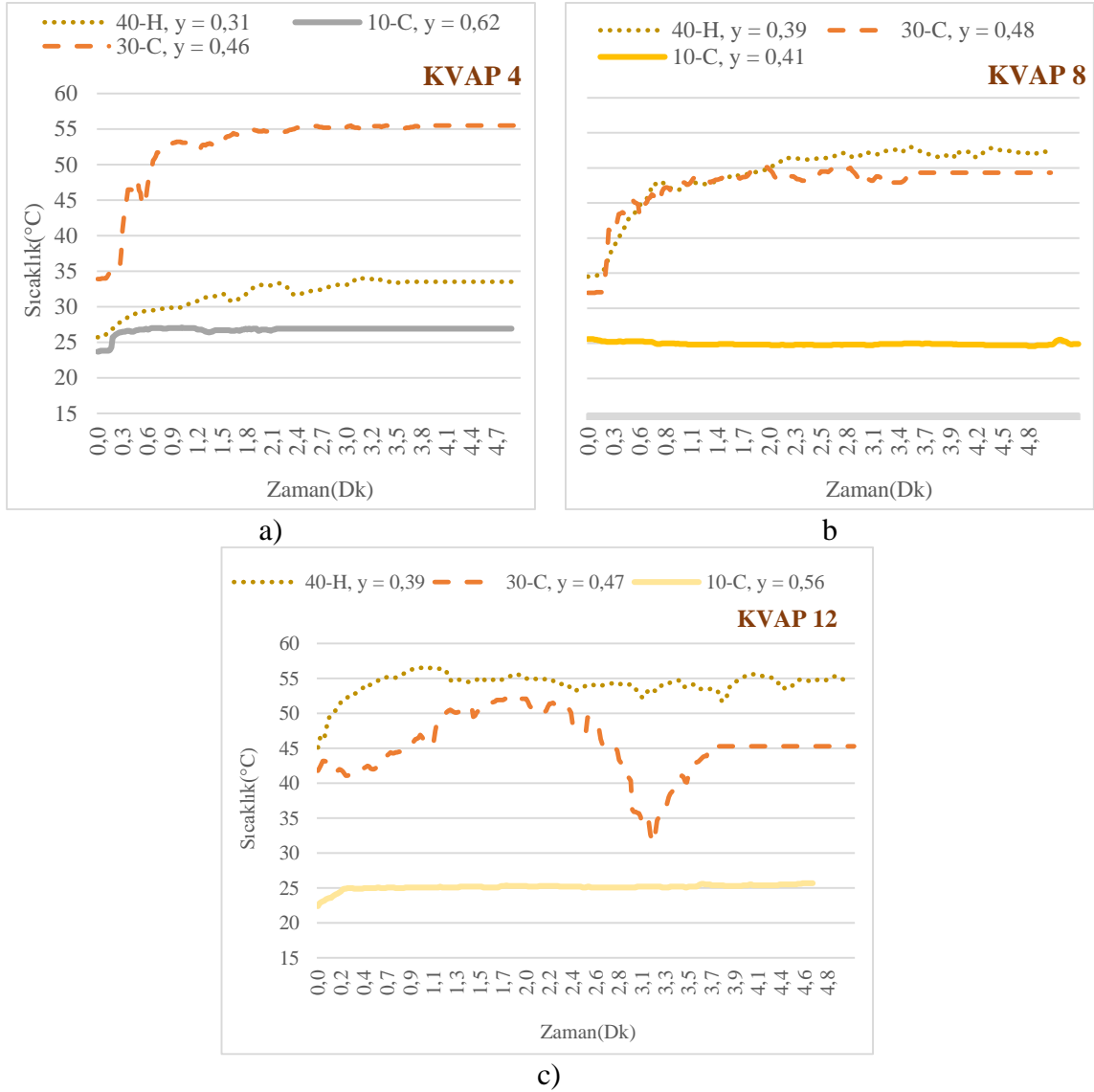
Benzer şekilde 9,5 bar basınç için düzenlenen Şekil 4.11a'da KVAP 4 için en iyi sonuçların 30-C üreticisine ait olduğu ; KVAP 8 ve 12 olması durumunda 40-H üreticinde daha yüksek sıcaklığın elde edildiği görülmektedir. 10-C üreticinin 9,5 bar basınçta sıcaklık değerinin 25°C'ye düştüğü anlaşılmaktadır.

Üreticiler farklarını ortaya koymak amaçlı sunulan Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'den varılan genel kanıya göre 10-C üreticinin 5,5 ve 9,5 bar basınçta sıcaklık değerinin 25°C'de iken, 7,5 barda ise 35°C'ye yükseldiği, hatta ilgili basınçta KVAP 4'te 40°C'ye kadar yükseldiği anlaşılmaktadır. 40-H üreticinin KVAP 8 ve 12 gibi yüksek KVAP değerlerinde daha yüksek sıcaklık sağlarken, 30-C üreticinin KVAP 4 ve 8'de daha yüksek sıcaklık sağladığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.10. Farklı üretçer etkilerinin karşılaştırılması ( 7,5 bar sabit)

Sıcak akışkan elde edilmesi amaçlı olarak kullanılması durumunda düşük basınçta (5,5 bar) ve düşük KVAP'larında (örneğin KVAP 4) 30-C üreticinin daha iyi (Şekil 4.9a, Şekil 4.10a ve Şekil 4.11a); yüksek KVAP'larında (örneğin KVAP 8 ve 12'de) ve yüksek basınçta 40-H üreticinin daha iyi performans gösterdiği anlaşılmaktadır. 40-H üreticinin daha geniş parametrelerde ısıtma amaçlı olarak en uygun olacağı, bununla birlikte 5,5-9,5 bar basınç aralığında hem 40-H hem de 30-C üreticinin ısıtma amacı ile kullanılabileceği anlaşılmaktadır. 10-C üreticinin ise 7,5 bar basınçta 35°C'ye varan ısıtmalar için kullanılabileceği anlaşılmaktadır. KVAP bakımından 10-C ve 30-C üreticilerinin benzer karakter gösterdiği anlaşılmıştır. Nitekim KVAP'ları arttıkça her iki üreticinin ısıtma performansı düşmüştür. Bu performans düşüklüğü 10-C üreticinde daha açıktır.



Şekil 4.11. Farklı üretec etkilerinin karşılaştırılması (9,5 bar sabit)

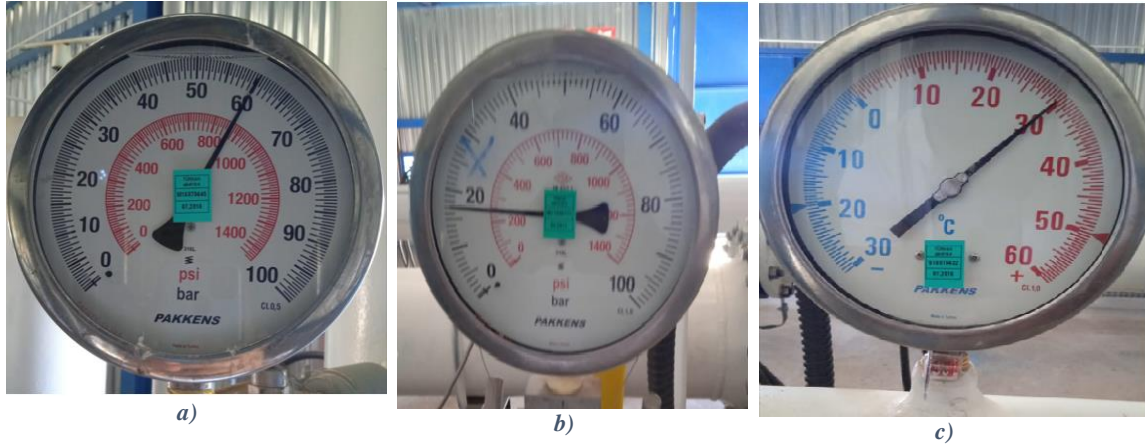
## 4.2. RMS-A İstasyonlarında Gazın Isıtılması

Doğalgaz istasyonlarında genel ortalama olarak basınç 70-90 bar'da, debi ise şehir ihtiyaçlarına göre değişebilmektedir. Örneğin Bingöl RMS-A şehir istasyonunda debi 60 000m<sup>3</sup>/h değerlerindedir. Bu basınç ve debi değerleri tüketici mahaline ulaşana kadar düzenli olarak düşürülür. Şehir girişlerinde ana basınç istasyonu olan RMS-A'ya 60- 70 bar olarak giriş yapan gaz basınç regülatörü noktasından önce ısıtılmakta ardından da basınç regülatöründe basınç düşürme gerçekleşmektedir (Şekil 5.12).



Şekil 4.12. RMS-A doğalgaz istasyonu

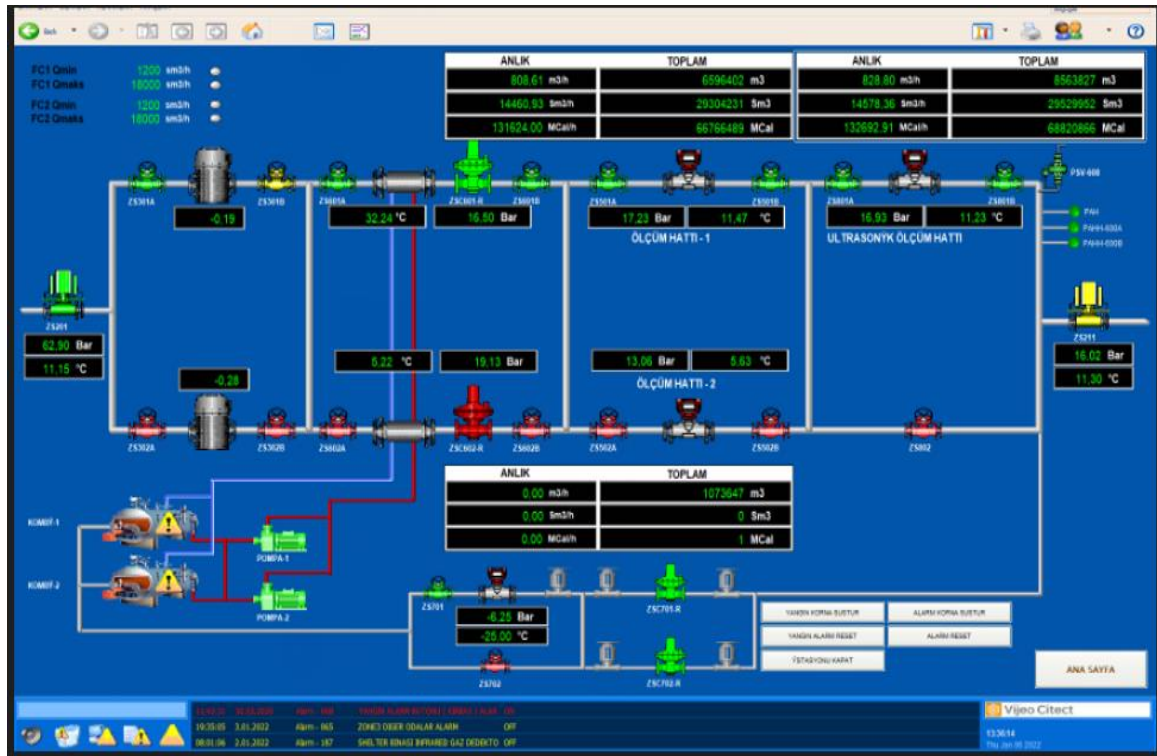
Basınç düşümü kademeli olarak gerçekleşip 70-90 bar'da gelen Botaş yüksek basınç borusundan şehir şebeke hatların dağıtımına çıkacak şekilde yaklaşık 12-20 bar'a düşürülmektedir (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14). RMS-A istasyonundan yaklaşık 12-20 bar basınçla kullanıcılara daha yakın olan ve endüstriyel istasyon merkezleri (veya bölge istasyonları) olarak bilinen istasyonda tekrar basınç düşürülerek yaklaşık 4 bar arasında polietilen borularla çıkış yapar. Müşteri istasyonlarında ise tüketim ihtiyacına göre 300mbar, 1 bar gibi değerler ile tüketim mahaline verilir. Servis kutularında ise 4 bar basınç bulunur. İhtiyaca göre 21 mbar veya 300 mbar'da tüketiciye sunulur. Dolayısıyla BOTAŞ'tan alınan gaz müşteriye ulaşana kadar üç noktada basınç regülatörleri kullanılarak basınç düşürme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ancak ısıtma işlemi ise sadece RMS-A'da gereklidir. Yani her basınç düşümünde ısıtma şart değildir. Sadece basıncın çok yüksek, sıcaklığın ise  $-20/+60$  °C'lerde olduğu RMS-A'da kısımla işlemi sırasında soğumadan dolayı Joule- Thomson etkisi dediğimiz yoğunlaşma meydana gelmektedir. Yoğunlaşma ise tesisatlarda istenmeyen bir durumdur. Yoğunlaşmanın önlenmesi amaçlı olarak basınç düşürme regülatörü öncesi bir miktar ısıtma yapılmalıdır. Bu bakımdan Şekil 4.14'te görülen bir RMS-A istasyon otomasyon sistemine göre gaz 63 bar ve  $11^{\circ}\text{C}$  de istasyona gelerek daha önce belirtilen sebeplerden dolayı regülatör öncesi gaz sıcaklığı yaklaşık  $30-33^{\circ}\text{C}$ 'ye yükselene kadar ısıtılıp ardından birinci regülatöre verilmektedir (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15). Birinci regülatörde basınç yaklaşık 16,5 bar'a düşürüldükten sonra orta basınç şebekesine gaz arzı sağlanmaktadır. Regülatörlerin çalışma basıncı, şebeke basıncı hattı ömrü ve faturalama işlemlerinde esas alınan değer  $15^{\circ}\text{C}$  olması önem arz eder.



Şekil 4.13. İstasyon cihaz verileri  
 a) İstasyon giriş basıncı, b) Regülatörde basınç düşümü, c) ısıtma sistem sonrası sıcaklık(°C)

Kısılma (veya genişleme) işlemi bir türbin, bir kısma vanası veya bir vorteks tüp ile yapılması mümkündür (Yılmaz vd. 2007). Bu şekilde basıncı düşmüş gazın istasyon çıkış sıcaklığı yaklaşık 12°C ye düşmektedir (Şekil 4.14). Bu sıcaklıklarda borularda yoğuşma olduğu ve korozyona sebep olduğu gerekçesi ile işletmeler tarafından istenmediği, bunun yerine 15°C olmasının uygun olduğu bilinmektedir (Kibritçi, 2014).

Vorteks tüpte farklı parametreler için kullanılan basınçlı hava deney sonuçlarına göre (Bölüm 5.1), uygun üreteç kullanımıyla hava sıcaklığının 55°C 'ye kadar artırılması mümkündür. Daha önce yapılan çalışmalardan akışkan olarak hidrokarbonların ve buharın hava ile benzer performans gösterdiği de bilinmektedir (WILLIAMS , 1971; Yılmaz, 2006). Doğalgaz da bir hidrokarbon sınıfı gaz olması sebebi ile vorteks tüpte benzer performans göstereceği düşünülmektedir. Bu bilgiler ve elde edilen deneysel veriler ışığında vorteks tüpleri doğalgaz hatlarında hem basınç düşürücü hem ısıtıcı olarak kullanılabilceği sonucuna varılmaktadır. Bu durumda sistemde ısıtıcı kullanılmayacağından ya da ısıtıcı ihtiyacı azalacağından dışarıya atılan egzoz da azalacaktır. Hem de yakıt tasarrufu sağlanacaktır. Ayrıca vorteks tüp sisteme direkt bağlanması durumunda basınç düşümü de olacağından regülatör görevi de görmüş olacaktır.



Şekil 4.14. RMS-A istasyon otomasyon sistem ara yüzü

Bingöl ili RMS-A sistemi kaskad ısıtma sistemi ile ısıtılmakta olup ilgili ısıtma sistemi ve borulama hatları Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de görülmektedir. Şekil 5.15'ten de anlaşıldığı gibi ortalama 11°C'de gelen gaz regülatör öncesi yaklaşık 30-33°C'ye kadar ısıtılmaktadır (Şekil 4.14c). Bu sistemde 5 adet duvar tipi ısıtma kazanı (5 adet yakıt hattı) mevcut olup sadece 2022 yılı tüketim verilerine göre Bingöl merkez, Genç ve Solhan ilçesi için tüketim değerleri sırasıyla 429265, 82266, 61108 kWh olup Bingöl için toplam 572639 kWh tüketim tespit edilmiştir (Tablo A1, A2 ve A3). Bunların yanı sıra Güroymak, Ahlat, Tatvan, Muş'a ait doğalgaz ısıtma verileri sırasıyla Tablo A4, A5, A6 ve A7'de verilmiştir.





Şekil 4.15. Bingöl merkez RMS-A doğalgaz ısıtma kaskad sistemi

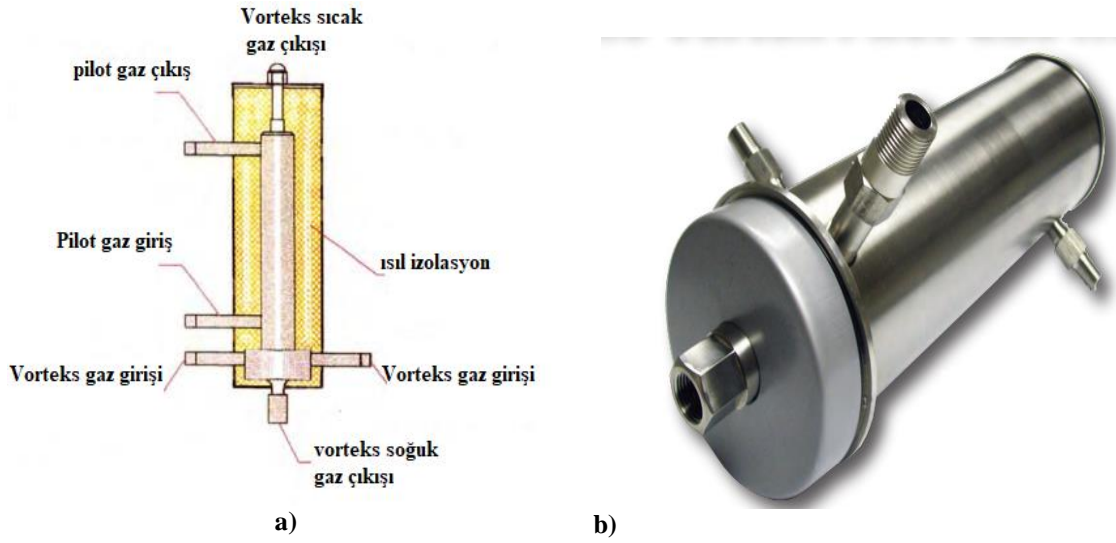


Şekil 4.16. RMS-A doğalgaz ısıtma eşanjörleri, gidiş-dönüş su boruları

### 4.3. Vorteks Tüplerinin Doğalgaz İstasyonlarında Uygulanabilirliği

Vorteks pilot gaz ısıtıcılarının 2018'den beri kullanımı bilinmektedir. Bu cihazlar için herhangi bir elektrik ya da kimyasal güç gerekmeden sadece basınç düşümünü kullanarak ısıtma gerçekleşmektedir. Ancak bu tür bir uygulamada doğalgaz direkt vorteks tüpe verilmeyip bir eşanjör olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.17'deki gibi bir miktar basınçlı gaz vorteks gaz olarak kullanılarak vorteks çıkışında doğalgazın ısınması sağlanmaktadır.

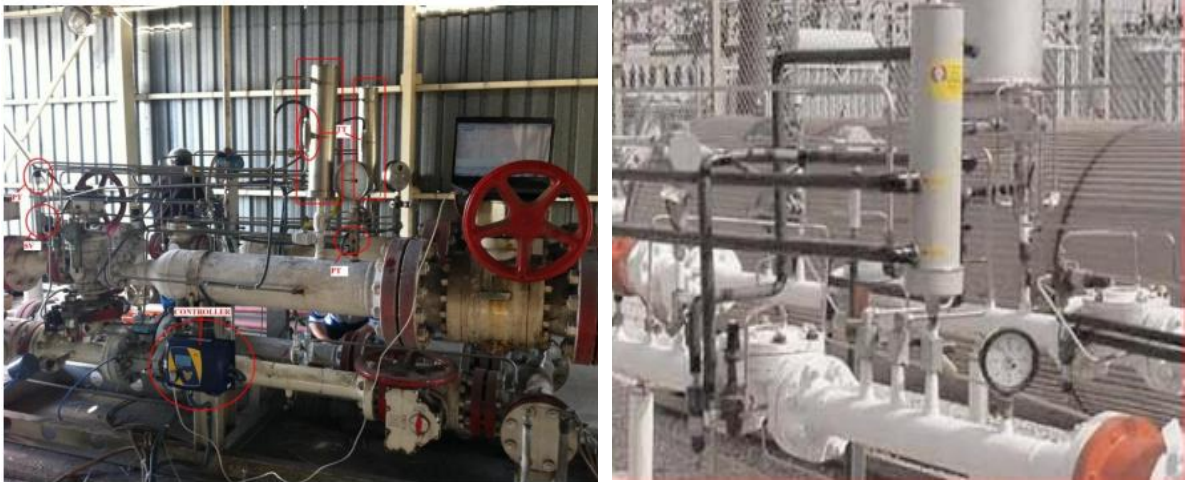




Şekil 4.17. Vorteks pilot gaz ısıtıcısı a) Şematik gösterim, b) Vorteks pilot gaz ısıtıcısı

Daha önce Bölüm 5.1’de sonuçları sunulan hava ile çalışan vorteks tüpte ısınan çıkıştan çıkan akışkan sıcaklığının 55°C’ye kadar çıkabildiği görülmüştür. Bununla birlikte 20°C sıcaklık ve 6 bar basıncındaki bir gaz için vorteks tüpte 100° C sıcaklıkta sıcak gaz ve -50° C sıcaklıkta soğuk gazın elde edilebildiği bilinmektedir (Yıldız 2009). Ayrıca geliştirilecek uygun üreteçler ile sıcak çıkışta çıkan gaz oranlarının %60’ların ya da daha yüksek değerlere çıkarılması mümkündür. Nitekim mevcut çalışmada da 30-C ve 10-C üreteçlerinde sıcak akışkan debi oranının %50-%60 aralığına ulaşmasının mümkün olduğu anlaşılmıştır. Bu tür üreteçlerin yüksek debi avantajı ve 40-H üretecinin de geniş parametre avantajı bir araya getirilerek yüksek performanslı üreteçlerin elde edilmesi mümkündür.

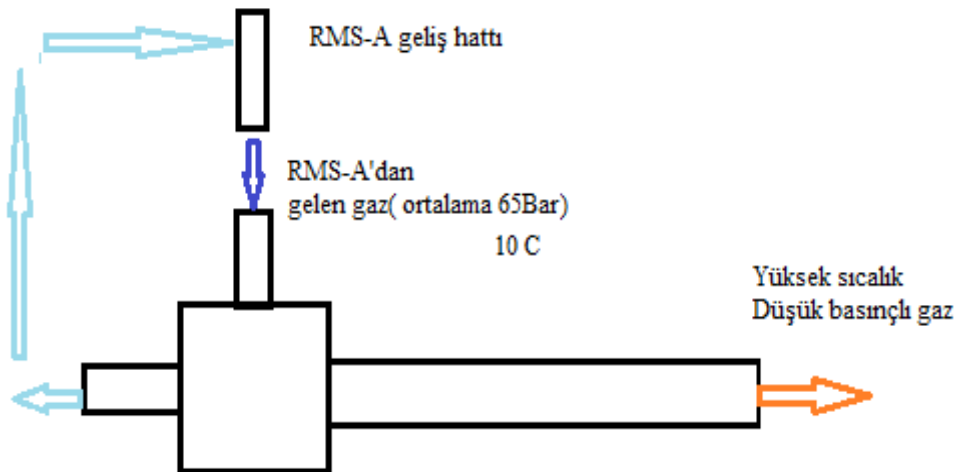
Günümüzde vorteks tüpün pilot ısıtıcı yani direkt doğalgaz hattına bağlanmadan sadece bir eşanjör olarak kullanılması durumu sözkonusudur. Bazı uygulamalarda kullanım örnekleri de mevcuttur (Şekil 4.18). Bununla birlikte 65-70 Bar gibi yüksek doğalgaz basınçlarında doğrudan kullanılacak tasarıma sahip vorteks tüp henüz geliştirilmemiştir. Vorteks tüplerinin doğalgaz hatlarında doğrudan kullanılması yani hatta seri bağlanması durumunda araştırılması ve geliştirilmesi gereken sorunlar oluşmaktadır. Örneğin hatta seri bağlanmış bir vorteks tüp durumunda yüksek basınçla gelen gazın basıncına dayanıklı bir



Şekil 4.18. Vorteks pilot ısıtıcı montaj örneği  
(Scm enerji ve otomasyondan alınmıştır)

tüp malzemesine ve özel tasarıma ihtiyaç vardır. Bu basınçlarda (65-70 bar) çalışan vorteks tüp tasarımının irdelenmesi gerekmektedir. Bu durumda kullanılan vorteks tüpte hem basınç düşürme işlemi hem de gazın ısıtılması işlemleri gerçekleştirilebilecektir (Şekil 4.19). Şekil 4.19’da doğalgaz hattına bir adet vorteks tüp doğrudan bağlanmıştır. Yüksek basınçla gelen gaz sıcak ve soğuk olmak üzere iki adet daha düşük basınçlı gaza ayrılıyor. Sıcak gaz hattından yeterince basınç düşümü de sağlandıktan sonra dağıtım hattına verilirken, soğuk gaz ise vortekse giriş yapan yüksek basınçlı gaz ile karıştırılarak vorteks tüpüne geri verilebilir. Uygun üreteç seçimi ile soğuk çıkıştan çıkan gazın sıcaklığının mümkün oldukça yüksek olmasına dikkat edilmelidir. Vorteks çıkışında çıkan gaz basıncı, gaz dağıtım hattı basıncına uygun olmalıdır. Çıkışta basınç düşümü yetersiz Yeterince basınç düşümünün sağlanması için birden fazla vorteks tüpün seri ya da paralel bağlanması gerektirebilir. Aynı işlem için uygun regülatör de kullanılabilir.

Şekil 4.19 gibi 40-H üreteçli vorteks tüpün doğrudan kullanıldığı bir RMS-A doğalgaz hattı düşünülün. 40-H ve ya 30-C üreticinin kullanılması durumunda giren akışkan yaklaşık 25°C giriş sıcaklığında giriş yapıp sıcak çıkıştan ortalama 50°C’de çıktığı, soğuk taraftan ise minimum 10°C gibi bir sıcaklık ile çıktığı düşünülün. Nitekim deneyler esnasında 40-H ve 30-C üreteçleri için soğuk çıkış sıcaklığı 15°C nin altına inmemiştir. Bu durumda ısıtma için sıcaklık farklı 25°C iken, soğutma için sıcaklık farkı 10°C olmaktadır.



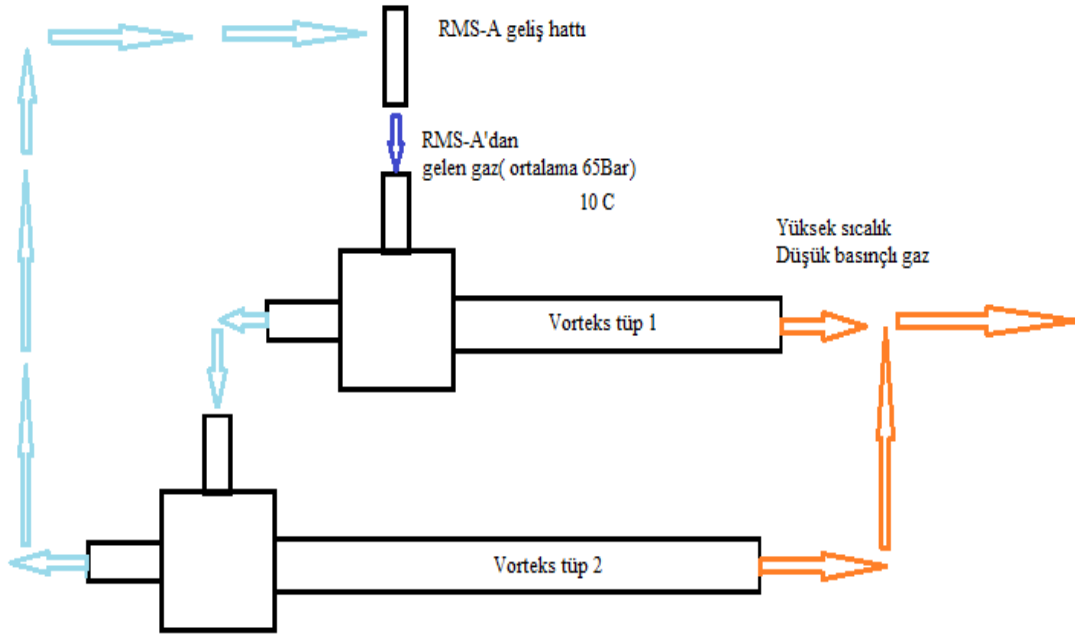
Şekil 4.19 RMS-A sistemine doğrudan bağlanan vorteks tüp uygulaması

Ayrıca ele alınan üreteç için sıcak ve soğuk akışkan debi oranının eşit olduğu ( $y = \%50$ ) olduğu düşünülürse bu durumda 4.1 ve 4.2 vorteks tüp ısıtma ve soğutma denklemleri gereği ısıtma kapasitesi soğutma kapasine göre yaklaşık 2.5 kat, daha yüksek olacaktır.

$$Q_{ısıtma} = y \cdot m_g \cdot cp \cdot (T_{sck} - T_g) \quad (4.1)$$

$$Q_{soğutma} = y \cdot m_g \cdot cp \cdot (T_g - T_{şğk}) \quad (4.2)$$

Şekil 4.20'de iki adet vorteks tüpün kullanılması ile vorteks çıkışındaki soğuk hava miktarı daha da azaltılabilir. Bu durumda vortekslerden alınan sıcak hava miktarı da artmış olacaktır. Vorteks tüp çıkışında oluşacak soğuk hava birinci vorteks girişindeki havaya beslenebilir. Bu şekilde istenen basınç ve sıcaklıkları sağlanması için birden fazla vorteks kullanılması da mümkündür. Bu tür sistemler kaskad sistem olarak bilinir. Soğutma sistemi için böyle bir kaskat sistemde çok düşük sıcaklıkların elde edilebilir olduğu bilinmektedir (Yılmaz vd., 2007).



Şekil 4.20. Hatta doğrudan bağlanan paralel bağlı vorteks tüp uygulaması

Isıtma amaçlı olarak kullanılacak kaskad sistemde ısıtmanın da benzer şekilde daha da iyileştirilmesi mümkündür. Dolayısıyla vorteks tüpün amaca uygun geliştirilmiş üreteç kullanılarak doğalgaz hattında ısıtma maksatlı kullanılabilirliği ortadadır. Nitekim daha önce yapılan benzer literatür çalışmalarından vorteks tüplerin regülatör ve ısıtıcı bulunan basınç düşürme istasyonlarında doğal gazı ısıtmak için gerekli enerji tüketimini azaltmak ve soğutma işlevi sağlamak amacıyla kullanılabileceğine işaret eden çalışmalar (Shaikhutdinov vd., 1999; Gusev vd., 2000; Mischner vd., 2004; Yılmaz vd., 2007a). Ne var ki ister seri ister paralel bağlı olsun vorteks tüplerinin yüksek basınçlı doğalgaz hattında kullanılması durumunda yüksek basınca dayanıklı vorteks tüplerinin geliştirilmesine, bu tür basınçta çalışan vorteks tüplerde çıkış sıcaklıkları ve basınçlarının detaylı analizine ihtiyaç vardır. Bu tür bir sistem önemli avantajlara sahip olmasının yanı sıra önemli belirsizlikler de içermektedir. Bunun için vorteks tüplerinin basınçlı doğalgaz hatlarında direkt olarak kullanılabilmesi için bu sorunların yakından analizinin yapılması gereklidir. Bu anlamda gerekli tasarım, enerji/ekserji ve maliyet analizlerine ihtiyaç vardır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada karşıt akışlı Ranque-Hilsch vorteks tüpünün doğalgaz hatlarında ısıtma amaçlı olarak kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Vorteks tüpünün doğalgaz hattından aktif kullanımının zorluğu, akışkan olarak hidrokarbonların hava ile benzer performans göstermesi (WILLIAMS , 1971; Yılmaz, 2006) ve basınçlı havanın elde edilme kolaylığı göz önüne alınarak deneylerde basınçlı hava kullanılmıştır. Farklı giriş basıncı, farklı giriş debi miktarı ve farklı KVAP ve farklı üreteçler için ısıtma ve soğutma çıkışlarından veriler alınmıştır. Bu çalışmada vorteks tüplerinin doğalgaz hatlarında ısıtma amaçlı kullanılabilirliği araştırıldığından akışkanın ısınma durumu irdelenmiştir. Ele alınan parametreler ışığında vorteks tüpünün ısıtma amaçlı olarak kullanılabileceği en uygun basınç, debi ve ayar parametreleri tespit edilmiştir. Basınç değerleri vorteks tüpünün çalışma basınç aralığı da dikkate alınarak 5,5-9,5 bar aralığında 1 bar arttırılarak değiştirilmiştir. Isınan çıkıştaki kontrol vanasında farklı KVAP ayarının sonuçlara etkisini araştırılmıştır. Mevcut doğalgaz istasyonunda basınç düşürme işlemi öncesinde yapılan ısıtmaya harcanan enerji ile vorteks tüpünün ısıtma miktarı birlikte değerlendirilmiştir.

Genel ve ortak bir sonuç olarak sıcak akışkan sıcaklığının basınç, giriş debisi ve üreteç türü ile yakından ilişkili olduğu anlaşılmıştır. 40-H üretecinde giriş debisinin hemen hemen tüm parametrelerde çıkış sıcaklığını önemli derece etkilediği, 30- C üretecinde KVAP 4'te giriş debi etkisi daha belirgin iken KVAP 8 ve 12 olması durumunda giriş debisinin arttırılmasının çıkış sıcaklığına etki etmediği anlaşılmıştır. 10-C üretecinde ise KVAP 4 olması durumunda debi etkisi belirsiz iken KVAP 12 olduğunda giriş debisinin artışı ile sıcaklığın arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca her üç üreteçte en iyi sıcaklık değerleri 7.5bar basınç için elde edilmiştir. 7.5 Bar basıncının olumlu etkisi en bariz olarak 10-C üretecinde anlaşılmıştır. 40-H üretecinde KVAP arttıkça; 30-C ve 10-C üretecinde ise KVAP azaldıkça daha yüksek sıcaklıkların elde edildiği görülmüştür. 40-H üreteç sonuçlarına göre en sıcak akışkanın KVAP 9 ve 11'de 55°C'ye kadar ısındığı; 30-C ve 10-C üreteçlerinde en iyi ısınmanın KVAP 4'te olduğu tespit edilmiştir. Sıcak akışkan elde edilmesi amaçlı olarak kullanılması durumunda 5,5 bar basınçta ve KVAP 4'te 30-C üretecinin daha iyi; KVAP 8, 9, 11 gibi değerlerde ve 7,5; 9,5 bar basınçta 40-H üretecinin daha iyi performans gösterdiği anlaşılmıştır. 40-H , 30-C ve 10-C üreteçlerinin ısıtma

amaçlı olarak kullanılabilceği anlaşılmıştır. Ancak 40-H üretici 30-C ve 10-C üreticine göre daha geniş parametre aralıklarında kullanılabilirken, 10-C üreticinin 7,5Bar basıncı dışında yeterli ısıtma yapmadığı anlaşılmıştır. 10-C üreticine göre 40-H ve 30-C üreteçlerinin ısıtma amaçlı kullanımlara daha uygun olduğu, daha geniş parametrelerde yüksek performans sağlaması bakımından 40-H'ın, daha yüksek sıcak hava oranı sağlaması bakımından 30-C üreticinin tercih edilmesinin avantajlı olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca ısıtma amaçlı kullanılacak vorteks tüpte doğal olarak sıcak hava oranlarının yüksek olması, soğuk hava oranının düşük olması tercih edilecektir. Burada gözlemlenen önemli bir husus %45'in üzerinde sıcak hava oranı sağlaması bakımından 30-C üretici, 40-H üreticine göre daha avantajlı hale gelmektedir. Bu bakımdan 30-C üretici gibi yüksek debide oranında sıcak hava sağlayan avantajlı üreteçlerin daha da geliştirilmesinde fayda vardır. Ayrıca her üreticinin kullanım amacına ve kullanılan akışkana göre ısıtma veya soğutma optimum çalışma basınçlarının, optimum KVP'lerinin belirlenmesi ve optimum giriş debisinin kullanılmasının önemli olduğu tespit edilmiştir.

Vorteks tüpleri doğalgaz basınç istasyonlarında pilot ısıtıcı denilen yani bir eşanjör şeklinde kullanılabilmesinin yanı sıra, uygulamada direkt olarak kısma ve ısıtma amacı ile de kullanılabilceği kanısına varılmıştır. Direkt olarak kullanılması durumunda uygun üreticinin kullanılması çok önemlidir. Bu durumda hem bir basınç regülatörü gibi basınç düşürme amaçlı hem de bir ısıtıcı amaçlı olarak kullanılması mümkündür. Ancak uygulamada bir takım güçlükler söz konusudur. Bunlardan biri vorteks tüpünün sisteme direkt bağlanarak basınç ve sıcaklık düşürme amaçlı olarak kullanılması için daha yüksek basınçlarda çalışan vorteks tüplerinin uygun imalat araştırmalarının yapılması gereklidir. Mevcut durumda kullanılan vorteks tüplerinin çalışma basınçları 10-15 bar şeklinde olup, çok düşüktür. Diğer sorun teşkil eden durum ise sıcak çıkışta maksimum sıcak akışkan çıkışı sağlansa da soğuk çıkış tarafında da yaklaşık %50 dolaylarında bir miktar akışkan olacaktır. Bu akışkanın birinci vorteks tüp sonrasında ısınan akışkan ile karıştırılması durumu veya başka seri bağlı ikinci bir vorteks tüpünde giriş akışkanı olarak kullanılıp soğuk akışkan miktarının minimuma düşürülmesi şeklinde çözüm geliştirmek mümkündür. Bu bakımdan yüksek basınçlı doğalgaz hattına (65-70 bar) seri veya paralel bağlanmış bir vorteks tüpte farklı tasarımların uygulanabilirlik, enerji/ekserji ve maliyet analizleri bakımından incelenmesi gerekecektir.

**Öneriler:** Kullanılan parametrelerden olan debinin artması ile tüm üreteçlerde sıcak çıkışta akışkan sıcaklığının önemli oranda arttığı gözlenmiştir. 7,5 bar'ın üzerindeki basınçlarda önemli iyileşme kaydedilmemiş olsa da bu durumun kullanılan vorteks çalışma basınç aralığından ve de vorteks boyutlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bakımdan ileriye dönük vorteks tüp destekli ısıtma veya soğutma çalışmalarında daha yüksek çalışma basınç aralıklarına ve daha yüksek boyutlara sahip vorteks tasarımlarının giriş/çıkış basıncı, çıkış basınçları ve çıkış sıcaklıkları bakımından detaylı değerlendirilmesinde fayda olacaktır. Daha geniş vorteks üreteç çeşitlerinin hem ısıtma hem soğutma amacı doğrultusunda araştırılması gerekmektedir. Nitekim çalışmamızda vorteks tüpte kullanılan üreteçlerin amaca uygun ısınma ve soğuma kapasitesinin elde edilmesi hususunda en önemli parametre olduğu anlaşılmıştır. Bu parametrelerle birlikte özellikle diğer basınçlı gaz akışkanları için vorteks tüp farklı KVAP'larına ait sıcak ve soğuk akışkan özellikleri irdelenmelidir. Ayrıca vorteks tüplerinde basınçlı gaz dışında basınçlı sıvıların da kullanılabilirdiği, ancak bu alandaki çalışmaların kısıtlı olduğu anlaşılmıştır. Vorteks tüpleri üzerine olan çalışmaların bu alanda da yoğunlaştırılmasında fayda olacaktır. Çalışmamız kapsamında da görüldüğü gibi vorteks tüplerin kaskad sistem olarak kullanılması da mümkündür. Soğutma sistemi için böyle bir kaskat sistemde çok düşük sıcaklıkların elde edilebilir olduğu bilinmektedir (Yılmaz vd. 2007a). Dolayısıyla ısıtma amaçlı olarak kullanılacak kaskad sistemde ısıtmanın da benzer şekilde daha da iyileştirilmesi mümkündür. Vorteks tüp kaskad sistem soğutma alanı başta olmak üzere ısıtma alanında da gerekli araştırmaların yapılması ile vorteks tüp kullanım alanlarının daha da artacağı düşünülmektedir.

Vorteks tüplerinin ısıtma amaçlı olarak aktif şekilde kullanımları için daha detaylı araştırılması gereken önemli parametreler vardır. Örneğin hangi basınç aralıklarında hangi sıcaklıkların elde edilebileceği, ya da hangi akışkanların ısıtma amaçlı olarak kullanılmasının isabetli olduğu, hangi boyutlardaki vorteks tüplerde ve veya hangi üreteç modellerinde daha sıcak akışkan elde edilebilir olduğu, vorteks tüplerin maksimum hangi basınçlarda kullanılabilir olduğu bu ve benzeri soruların geniş akademik araştırmalar sayesinde netleşmesi gerekir.

## KAYNAKLAR

Akyüzlü, Ö. F. (2008). Nükleer reaktör yakıt imalatı öncesi uranyumun saflaştırılması ve zenginleştirme prosesleri. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Attalla, M., Ahmed, H., Ahmed, M.S. and El-Wafae, A. A. (2017). Experimental investigation of the effect of nozzle numbers on Ranque–Hilsch vortex tube performance. *Experimental Heat Transfer*, 30(3), 253–265.

Azarov, A. (1998). 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.

Azeez, N. T., Al-Barwari, R. R. and Talabani, Z. J. (2010). An Experimental Investigation of The Geometric Parameters on The Performance for The Counter-Flow Vortex Tubes, *International Conference on Mechanical and Electrical Technology*, 467- 470.

Balmer, R. (1988). Pressure driven ranque-hilsch temperature seperation in liquids. *Journal of Fluids Engineering*, 110( 2), 161-164.

Cebeci, İ. (2013). Karşıt akışlı ranque-hilsch vorteks tüpünde hava ve oksijen akışkanlarının farklı nozullarda enerji-ekserji analizlerinin deneysel olarak incelenmesi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Çelik, A. (2012). Dizel motorlarında soğukta ilk harekete geçişi kolaylaştırmak ve emisyon karakteristiklerini iyileştirmek için vorteks tüplerinin kullanılması. (Doktora Tezi). Yök tez merkezi. Erişim: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=UliTeihnSWM0u-apAaCQZg&no=cOpbuMw0uDDr13icUeQPtw>

Çengel, Y. A. ve Boles, M. A. (2000). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Danış A. (2010). Kas kuvveti ile çalıştırılan vorteks tüplerinin soğutma-ısıtma amaçlı kullanılmasında performans analizi. (Yüksek Lisans Tezi). Yök tez merkezi. Erişim: <https://acikerisim.bartın.edu.tr/bitstream/handle/11772/461/FAHRETT%C4%B0N%20G%C3%9CNVER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Deissler, R. G. and Perlmutter, M. (1960). Analysis of the flow and energy separation in a turbulent vortex. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1, 173–91.

Dincer, K. (2005). Karşıt akışlı ranque-hilsch vorteks tüpün performansının incelenmesi. (Doktora tezi ). Yök tez merkezi. Erişim: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>



Filiz, S. (2015). Alemnium alaşımlarının frezelenmesinde kesme parametrelerinin ve soğutma şartlarının işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi. (Yüksek lisans tezi). Yök tez merkezi. Erişim: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

Gao, C. M., Bosschaart, K. J., Zeegers, J. C. H. and Waele, A. T. A. M. (2005). Experimental study on a simple Ranque–Hilsh vortex tube. *Cryogenics*, 45, 173–18.

Gusev, A. P., Iskhakov, R. M., Zhidkov, M. A. and Komarova, G. A. (2000). A system for preparing oil-associated gas for transportation by the use of a controlled three-flow vortex tub. *Chemical and Petroleum Engineering*, 36 (7-8), 414-417.

Günver, F. (2018). Paralel bağlı karşıt akışlı ranque-hilsh vorteks tüpün enerji-ekserji analizlerinin deneysel olarak incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Yök tez merkezi. Erişim: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

Gürkan, D., Yaşar, S. A., Uzun, G. and Korkut, İ. (2020). Investigation of the vortex cooling method to machining method and cutting parameters. *GU J Sci, Part C*, 8(3) 730-745.

Hajdik, B., Lorey, M., Steinle, J. and Thomas, K. (1997). Vortex tube can increase liquid hydrocarbon recovery at plant inlet. *Oil and Gas Journal*, 95(8), 76-83.

Kasar, S. (2019). Vortex tüpünün etkisiyle meydana gelen sıcaklık değişimlerinin incelenmesi. (Yüksek lisans tezi). Yök tez merkezi. Erişim: [https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=FYV2w38MhSQ2IFk\\_NRjUhg&no=nHaCk6YMZStqZxmlUTY9Vw](https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=FYV2w38MhSQ2IFk_NRjUhg&no=nHaCk6YMZStqZxmlUTY9Vw)

Kırmacı, V. (2007). Vorteks tüpünde akışkan olarak kullanılan hava ve argonun soğutma ısıtma sıcaklık performanslarının deneysel olarak incelenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 191- 19.

Kırmacı, V. and Uluer, O. (2008). The effects of orifice nozzle number on heating and cooling performance of vortex tubes: An Experimental Study. *Instrumentation Science And Technology*, 36 (5), 493-502.

Kibritçi, A. (2014). şehir girişi doğalgaz basınç düşürme ölçüm istasyonlarında (RMS-A) enerji tasarruf imkanlarının incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Yök tez merkezi. Erişim : <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

Liang, F., Wang, H. and Wu, X. (2019). Study on energy separation characteristics inside the vortex tube at high operating pressure. 14, 100432.

Mischner, J., Braune, V. and Dorau, P. (2004). Design and operating performance of a GPRS with vortex pipes. *Gas-Wasserfach, Gas- Erdgas*, 145(4), 221-230.

Mohuiddin, M. and Elbel, S. (2014). A Fresh Look at Vortex Tubes used as Expansion Device in Vapor Compression Systems. *University of Illinois at Urbana-Champaign*

Department of Mechanical Science and Engineering. International refrigeration and air conditioning conference.

Özgür, A. E. (2001). Vorteks Tüpler İle Soğutma Uygulamaları, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi.

Pınar, A. M., Uluer, O. and Kırmacı, V. (2009). Optimization of counter flow ranque hilsch vortex tube performance using taguchi metod. International Journal of Refrigeration, 33, 954-962.

Saidi, M. H. and Yazidi, R. A. (1999). Exergy model of a vortex tube system with experimental results. Energy, 24, 625-632.

Sarkar, J. (2013). Exergy analysis of vortex tube expansion vapour compression refrigeration system. International Journal of Exergy, 13(4).

Şentürk Acar, M. and Arslan, O. (2017). Exergo-economic evaluation of a new drying system boosted by ranque-hilsch vortex tube. Applied Thermal Engineering, 124, 1–16.

Usta, H., Dincer, K., Kırmacı, V. ve Variyenli, H. İ. (2003). Vorteks Tüpünde Akışkan Olarak Kullanılan Hava İle Karbondioksitin Soğutma Sıcaklık Performanslarının Deneysel İncelenmesi, C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, 24 (2).

Usta, H., Kırmacı, V. ve Dincer, K. (2004). Vorteks tüpünde akışkan olarak kullanılan hava ile azot gazının soğutma sıcaklık performanslarının deneysel incelenmesi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2).

Usta, H. ve Kırmacı, V. (2006). vorteks tüpünde akışkan olarak hava oksijen karbondioksit ve azot kullanılarak ısıtma-soğutma sıcaklık performanslarının deneysel olarak incelenmesi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(2).

Williams, A. (1971). The cooling of methane with vortex tubes. Journal of Mechanical Engineering Science, 13(6), 369- 75.

Yıldız, Ö. F. (2009). Vorteks Tüp Modelleri. (Yüksek Lisans). Yök tez merkezi. Erişim: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Kaya, M. ve Karşı, S. (2006). Vorteks Tüpleri 1- Teknolojik Gelişim,. Mühendis ve Makine Dergisi, 47, 553.

Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Özyurt, Ö., Erdoğan, S., Bakırcı, K., Kaya, M. ve Karagöz, Ş. (2007a). Vorteks tüplerin soğutma tekniğinde kullanılması, Proje No: 105M028 , Ankara.

Yılmaz, M., Bakırcı, K., Karagöz, Ş. ve Çomaklı, Ö. (2007b). Vorteks Tüplerin Doğal Gaz Dağıtım ve Basınç Düşürme İstasyonlarında Kullanımı. Tesisat Mühendisliği Dergisi.

Yun, J., Kim, Y. and Yu, S. (2018). Feasibility study of carbon dioxide separation from gas mixture by vortex tube. International Journal of Heat And Mass Transfer, 126, 353-361.

Takahama, H. and Yokosawa, H. (1981). Energy separation in vortex tubes with a divergent chamber. *Trans. ASME, Journal of Heat Transfer*, 103, 196-203.

Shaikhutdinov, R. M. (1999). Improving the efficiency of a gas distributing station by introducing vortex tubes. *Chemical and Petroleum Engineering*, 35, 9-10.

## EKLER

### Ek A1 Kompresör ve Etiket Detayı



## EK A2 Sıcak Tel Anemometre ve Özellikleri



### 2. Specifications

#### General Specifications

Display	46.7mm×60 mm larger LCD display. Dual function meter's display.
measurement	m/s (meters per second) km/h (kilometers per hour) ft/min (feet per minute) MPH (miles per hour) knots (nautical miles per hour) Temp. ---°C , °F Data hold.
Memory	Maximum and Minimum with recall
Sampling	Approx.0.8 sec
Operating Temperature	0°C to 50°C (32°F to 122°F )
Operating Humidity	Less than 80% RH
Power Supply	9V battery
Power Current	Approx. DC 60~90mA
weight	280g
Dimension	210mm×75mm×50mm
Accessories included	Hot wire sensor 9V battery

#### Electrical Specifications

Air Velocity			
Measurement	Range	Resolution	Accuracy
m/s	0.1~25.0m/s	0.01m/s	±(5%+1d)reading
km/h	0.3~90.0km/h	0.1km/h	
ft/min	20~4925/min	1ft/min	
MPH	0.2~55.8 MPH	0.1MPH	
knots	0.2~48.5knots	0.1knots	

#### Notes:

m/s-meters per second      km/h-kilometers per hour  
ft/min-feet per minute      MPH-miles per hour  
knots-nautical miles per hour

#### Temperature

Measuring Range	0°C to 50°C (32°F to 122°F )
Resolution	0.1°C/0.1°F
Accuracy	±1°C/1.8°F

### EK A3 Sıcak Tel Anemometre İle Ölçümlerin Alınması



### Ek A4 Sıcak Tel Anemometre ile Ölçümlerin Kaydedilmesi



## Ek A5 Vorteks Üreteç Değişimi





**Ek A6 Vorteks Üreteç Çeşitleri**  
(soldan sağa: 10-C; 15-C; 25-C; 30-C)





Tablo A1 Bingöl İli RMS-A Yakıt Hattı(2022)

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-1								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,28914770	12.537,00	9114,2191	12.481,15	132.756,48	31.758,69	287,07	5.768,24
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		12.537,00		12.481,15	132.756,48	31.758,69	287,07	5.768,24
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		31.758,69
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		287,07
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		5.768,24
						TOPLAM ALACAK TUTAR		37.813,99

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-2								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,28918941	9.647,00	9136,9563	9.627,99	102.441,78	24.502,99	221,44	4.450,40
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						24.502,99	221,44	4.450,40
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		24.502,99
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		221,44
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		4.450,40
						TOPLAM ALACAK TUTAR		29.174,83

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-3								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,24028690	11.391,00	9112,1672	11.337,71	120.633,19	28.998,90	260,77	5.266,75
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						28.998,90	260,77	5.266,75
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		28.998,90
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		260,77
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		5.266,75
						TOPLAM ALACAK TUTAR		34.526,41

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-4								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,30522214	4.571,00	9111,5991	4.549,33	48.404,88	14.774,24	104,63	2.678,20
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						14.774,24	104,63	2.678,20
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		14.774,24
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		104,63
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		2.678,20
						TOPLAM ALACAK TUTAR		17.557,07

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-5								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,30726435	2.368,00	9079,6423	2.348,51	24.988,13	7.680,51	54,02	1.392,21
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						7.680,51	54,02	1.392,21
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		7.680,51
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		54,02
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		1.392,21
						TOPLAM ALACAK TUTAR		9.126,74

Tablo A2 Genç/ Bingöl RMS-A Yakıt Hattı(2022)

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-1									
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,23914770	2.696,00	9114,2193	2.683,99	28.557,86	6.829,50	61,73	1.240,42	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		2.696,00		2.683,99	28.558	6.829,50	61,73	1.240,42	
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		6.829,50	
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		61,73	
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		1.240,42	
						TOPLAM ALACAK TUTAR		8.131,65	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-2									
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,23918941	1.810,00	9136,9563	1.808,43	19.220,44	4.597,33	41,55	835,00	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						4.597,33	41,55	835,00	
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		4.597,33	
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		41,55	
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		835,00	
						TOPLAM ALACAK TUTAR		5.473,87	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-3									
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,24038930	2.150,00	9113,5130	2.140,28	22.772,33	5.474,23	49,23	994,22	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						5.474,23	49,23	994,22	
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		5.474,23	
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		49,23	
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		994,22	
						TOPLAM ALACAK TUTAR		6.517,67	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-4									
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,30522214	712,00	9111,5991	708,62	7.539,77	2.301,30	16,30	417,17	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						2.301,30	16,30	417,17	
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		2.301,30	
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		16,30	
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		417,17	
						TOPLAM ALACAK TUTAR		2.734,77	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-5									
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,30736635	396,00	9079,6423	392,74	4.178,76	1.284,41	9,09	232,82	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						1.284,41	9,09	232,82	
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		1.284,41	
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		9,09	
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		232,82	
						TOPLAM ALACAK TUTAR		1.726,32	

Tablo A3 Solhan/ Bingöl RMS-A Yakıt Hattı(2022)

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-1								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STD/3)	KCAL/STD/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,23914770	1.681,00	9114,2191	1.673,51	17.806,17	4.258,30	38,49	773,42
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		1.681,00		1.673,51	17.806,17	4.258,30	38,49	773,42
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		4.258,30
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		38,49
						KDV BEDELİ ALACAK TUTAR		773,42
						TOPLAM ALACAK TUTAR		5.070,22

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-2								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STD/3)	KCAL/STD/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,23918941	1.308,00	9116,9563	1.305,42	13.889,89	3.322,27	30,02	603,41
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						3.322,27	30,02	603,41
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		3.322,27
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		30,02
						KDV BEDELİ ALACAK TUTAR		603,41
						TOPLAM ALACAK TUTAR		3.955,70

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-3								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STD/3)	KCAL/STD/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,24038930	1.650,00	9112,3298	1.642,31	17.474,17	4.200,60	37,77	762,91
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						4.200,60	37,77	762,91
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		4.200,60
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		37,77
						KDV BEDELİ ALACAK TUTAR		762,91
						TOPLAM ALACAK TUTAR		5.001,29

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-4								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STD/3)	KCAL/STD/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,30522214	717,00	9111,5991	713,60	7.592,71	2.317,46	16,41	420,10
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						2.317,46	16,41	420,10
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		2.317,46
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		16,41
						KDV BEDELİ ALACAK TUTAR		420,10
						TOPLAM ALACAK TUTAR		2.753,98

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-5								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/ SM3)	TÜKETİM(STD/3)	KCAL/STD/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,30736635	412,00	9079,6421	408,61	4.347,60	1.336,30	9,40	242,23
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						1.336,30	9,40	242,23
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		1.336,30
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTAR		9,40
						KDV BEDELİ ALACAK TUTAR		242,23
						TOPLAM ALACAK TUTAR		1.587,93

Tablo A4 Güroymak RMS-A Yakıt Hattı(2022)

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-1								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/3)	KCAL/STD/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,23914770	2.626,00	9071,5688	2.602,07	27.686,01	6.621,05	59,85	1.202,56
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		2.626,00		2.602,07	27.686,01	6.621,05	59,85	1.202,56
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		6.621,05
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		59,85
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		1.202,56
						TOPLAM ALACAK TUTARI		7.883,46

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-2								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/3)	KCAL/STD/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,23918941	1.689,00	9054,9813	1.670,55	17.774,63	4.251,90	38,42	772,19
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						4.251,90	38,42	772,19
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		4.251,90
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		38,42
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		772,19
						TOPLAM ALACAK TUTARI		5.062,11

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-3								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/3)	KCAL/STD/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,24038930	2.318,00	9074,2889	2.297,56	24.446,08	5.876,58	52,84	1.067,30
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						5.876,58	52,84	1.067,30
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		5.876,58
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		52,84
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		1.067,30
						TOPLAM ALACAK TUTARI		6.996,72

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-4								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/3)	KCAL/STD/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,30522214	842,00	9054,9997	832,80	8.861,02	2.704,58	19,15	490,27
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						2.704,58	19,15	490,27
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		2.704,58
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		19,15
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		490,27
						TOPLAM ALACAK TUTARI		3.214,01

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-5								
KADEME	FİYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/3)	KCAL/STD/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,30736632	409,00	9025,9258	403,23	4.290,41	1.318,73	9,27	239,04
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						1.318,73	9,27	239,04
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		1.318,73
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		9,27
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		239,04
						TOPLAM ALACAK TUTARI		1.567,04

Tablo A5 Ahlat RMS-A Yakıt Hattı(2022)

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-1									
KADEME	FIYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/M/3)	KCAL/STD/M/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,23914770	1.950,00	9071,5698	1.932,23	20.558,92	4.916,62	44,44	892,99	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		1.950,00		1.932,23	20.559	4.916,62	44,44	892,99	
								GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI	
								4.916,62	
								ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								44,44	
								KDV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								892,99	
								TOPLAM ALACAK TUTAR	
								5.854,05	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-2									
KADEME	FIYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/M/3)	KCAL/STD/M/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,23918941	1.463,00	9054,9813	1.447,02	15.396,26	3.682,62	33,28	668,86	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						3.682,62	33,28	668,86	
								GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI	
								3.682,62	
								ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								33,28	
								KDV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								668,86	
								TOPLAM ALACAK TUTAR	
								4.384,77	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-3									
KADEME	FIYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/M/3)	KCAL/STD/M/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,24038930	1.796,00	9078,3180	1.780,96	18.949,42	4.555,24	40,96	827,32	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						4.555,24	40,96	827,32	
								GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI	
								4.555,24	
								ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								40,96	
								KDV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								827,32	
								TOPLAM ALACAK TUTAR	
								5.423,12	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-4									
KADEME	FIYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/M/3)	KCAL/STD/M/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,30522214	869,00	9054,9997	859,91	9.145,16	2.791,31	19,77	505,99	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						2.791,31	19,77	505,99	
								GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI	
								2.791,31	
								ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								19,77	
								KDV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								505,99	
								TOPLAM ALACAK TUTAR	
								3.317,07	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-5									
KADEME	FIYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/M/3)	KCAL/STD/M/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,30736635	566,00	9025,9258	558,02	5.937,33	1.824,94	12,83	330,80	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						1.824,94	12,83	330,80	
								GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI	
								1.824,94	
								ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								12,83	
								KDV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								330,80	
								TOPLAM ALACAK TUTAR	
								2.168,57	

Tablo A6 Tatvan RMS-A Yakıt Hattı(2022)

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-1								
KADEME	FIYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,23914770	15.811,00	9071,5698	15.006,91	166.696,96	39.864,95	360,34	7.240,55
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		15.811,00		15.006,91	166.696,96	39.864,95	360,34	7.240,55
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		39.864,95
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		360,34
						KDV BEDELİ ALACAK TUTARI		7.240,55
						TOPLAM ALACAK TUTAR		47.465,85

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-2								
KADEME	FIYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,23918941	11.307,00	9054,9811	11.183,47	118.992,13	28.461,86	257,22	5.169,40
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						28.461,86	257,22	5.169,40
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		28.461,86
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		257,22
						KDV BEDELİ ALACAK TUTAR		5.169,40
						TOPLAM ALACAK TUTAR		33.888,27

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-3								
KADEME	FIYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,24038930	11.994,00	9076,1587	13.873,79	147.817,14	35.485,58	319,10	6.444,84
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						35.485,58	319,10	6.444,84
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		35.485,58
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		319,10
						KDV BEDELİ ALACAK TUTAR		6.444,84
						TOPLAM ALACAK TUTAR		42.249,52

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-4								
KADEME	FIYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,30512214	7.468,00	9054,9997	7.386,43	78.591,58	23.987,89	169,89	4.348,40
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						23.987,89	169,89	4.348,40
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		23.987,89
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		169,89
						KDV BEDELİ ALACAK TUTAR		4.348,40
						TOPLAM ALACAK TUTAR		28.506,18

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-5								
KADEME	FIYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STDM/3)	KCAL/STDM/3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM/3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)
ABONE	0,30716635	4.510,00	9025,9258	4.448,41	47.309,85	14.541,46	102,27	2.635,87
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						14.541,46	102,27	2.635,87
						GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI		14.541,46
						ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI		102,27
						KDV BEDELİ ALACAK TUTAR		2.635,87
						TOPLAM ALACAK TUTAR		17.279,60

Tablo A7 Muş RMS-A Yakıt Hattı(2022)

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-1									
KADEME	FİYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/M3)	KCAL/STD/M3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,23914770	14.027,00	9090,2169	13.941,53	148.337,89	35.474,66	320,66	6.443,16	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		14.027,00		13.941,53	148.338	35.474,66	320,66	6.443,16	
								GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI	
								35.475,66	
								ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								320,66	
								KDV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								6.443,16	
								TOPLAM ALACAK TUTAR	
								42.238,48	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-2									
KADEME	FİYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/M3)	KCAL/STD/M3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,23918941	9.629,00	9078,7708	9.548,82	101.599,49	24.301,52	219,62	4.413,81	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						24.301,52	219,62	4.413,81	
								GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI	
								24.301,52	
								ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								219,62	
								KDV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								4.413,81	
								TOPLAM ALACAK TUTAR	
								28.934,95	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-3									
KADEME	FİYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/M3)	KCAL/STD/M3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,24038930	10.912,00	9090,6456	10.835,29	115.287,54	27.713,89	249,21	5.033,36	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						27.713,89	249,21	5.033,36	
								GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI	
								27.713,89	
								ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								249,21	
								KDV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								5.033,36	
								TOPLAM ALACAK TUTAR	
								32.996,45	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-4									
KADEME	FİYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/M3)	KCAL/STD/M3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,30522214	4.793,00	9060,0780	4.748,02	50.518,90	15.419,49	109,20	2.795,16	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						15.419,49	109,20	2.795,16	
								GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI	
								15.419,49	
								ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								109,20	
								KDV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								2.795,16	
								TOPLAM ALACAK TUTAR	
								18.323,85	

RMS-A YAKIT HATTI (2022)-5									
KADEME	FİYAT(TL/KWH/SM3)	TÜKETİM(STD/M3)	KCAL/STD/M3	DÜZELTİLMİŞ TÜKETİM(SM3)	ENERJİ(KWH)	GAZ BEDELİ(TL)	ÖTV BEDELİ(TL)	KDV BEDELİ(TL)	
ABONE	0,30736635	2.871,00	9032,4185	2.832,56	30.138,42	9.263,54	65,15	1.679,16	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						9.263,54	65,15	1.679,16	
								GAZ BEDELİ ALACAK TUTARI	
								9.263,54	
								ÖTV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								65,15	
								KDV BEDELİ ALACAK TUTARI	
								1.679,16	
								TOPLAM ALACAK TUTAR	
								11.007,85	

