

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FLAŞ BUHARDAN ENERJİ GERİ KAZANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak. Müh. Görkem KIZILTAN**

**Anabilim Dalı: MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı: ISI - AKIŞKAN**

**HAZİRAN 2008**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FLAŞ BUHARDAN ENERJİ GERİ KAZANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak. Müh. Görkem KIZILTAN**

**(503041112)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hasan GÜNEŞ**

**Diğer Jüri Üyeleri Yrd. Doç. Dr. Erhan BÖKE**

**Doç.Dr. N.L. Okşan ÇETİNER YILDIRIM**

**HAZİRAN 2008**

## ÖNSÖZ

Doğal gaz temiz olması, depolama yeri gerektirmemesi ve her an kullanıma hazır olmasından dolayı sanayide yoğun şekilde kullanılmaktadır. Artan yakıt maliyetleri, rekabet piyasasında işletme maliyetlerinin düşürülmesinin önemini arttırmıştır.

Bu çalışma, flaş buhar ile enerji geri kazanım sisteminin deneyleri ve bunlarla ilgili bir Sayısal çalışmayı içermektedir.

İlk olarak danışman hocam Doç. Dr. Hasan GÜNEŞ ve sayısal çalışmanın başlarında bana yardımcı olan Y.Doç. Dr. Erhan BÖKE'ye teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarım sırasında tesisatın hazırlanmasını sağlayan ve yoğun iş temposuna rağmen her türlü desteğini gördüğüm Dilşad Baysan ÇOLAK'a teşekkür ederim.

Bitmek bilmeyen sorularıma cevap veren, benimle birlikte zaman harcayıp araştırma yapan canım arkadaşlarım Araş. Gör. Y. Müh. Nur PEHLİVANOĞLU Araş. Gör. Y. Müh. Emrah DENİZ ve Araş. Gör. Ayhan Nazmi İLİKAN'a sonsuz teşekkürler.

Bütün aksiliklerin üst üste geldiği zor zamanlarımda bana destek, moralimi yüksek tutmaya çalışan olan dostlarım Serhat Ozan YÜCE ve Halime CİVELEK'e teşekkür ederim.

Bu çalışma Ülkü – Nezih KIZILTAN, Gökhan - Henry KIZILTAN ve Can USTALI'ya ithaf edilmiştir.

Haziran 2008

Görkem KIZILTAN

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b>	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>v</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>vi</b>
<b>ÖZET</b>	<b>ix</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. FLAŞ BUHAR</b>	<b>9</b>
2.1. Su ve Kazan Suyunun Özellikleri	11
2.2. Suyun Niteliğini Belirleyen Tanımlar	12
2.2.1. Renk, koku ve bulanıklık	12
2.2.2. İletkenlik	13
2.2.3. “pH” değeri	13
2.2.4. Alkalite	13
2.2.5. Sertlik	13
2.2.6. Toplam erimiş katı madde (TDS)	14
2.3. Kazan Blöfü	15
2.4. Kazan Yüzey Blöfünden Flaş Buhar Elde Edilmesi	17
2.4.1. Uygulamaya ait örnekler	18
2.4.1.1. Bir içki fabrikasında flaş buhar uygulaması	18
2.4.1.2. Bir ilaç fabrikasında flaş buhar uygulaması	21
2.5. Kondenzen Flaş Buhar Elde Edilmesi	24
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMA</b>	<b>27</b>
3.1. Deney Tesisatında Kullanılan Cihazlar	27
3.1.1. Buhar kazanı	28
3.1.2. Besi suyu tankı	29
3.1.3. Kondens tankı	29
3.1.4. Degazör	30
3.1.5. Ekonomizör	31
3.1.6. Flaş buhar tankı	32
3.1.7. Numune alma kabı ve iletkenlik ölçüm cihazı	33

3.1.8. Ultrasonik debimetre	33
3.2. Deneylerin Yapılışı	35
<b>4. DENEYİN İRDELENMESİ</b>	<b>38</b>
<b>5. SAYISAL ÇÖZÜMLEME</b>	<b>41</b>
5.1. Problemin Tanımı ve Modellenmesi	41
<b>6. NUMERİK ÇÖZÜMLEMENİN İRDELENMESİ</b>	<b>45</b>
6.1. DN20 Çapındaki Modelin Farklı Basınçlardaki Akım Fonksiyonu	45
6.2. P = 5 bar Basınçtaki Modelin Farklı Çaplardaki Akım Fonksiyonu	47
<b>7. SONUÇLAR</b>	<b>58</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>59</b>
<b>EKLER</b>	<b>62</b>
A. Hata Analizi	62
B. Akım Fonksiyonları	64
B.1. DN40 Çapındaki Modelin Farklı Basınçlardaki Akım Fonksiyonu	64
B.2. DN50 Çapındaki Modelin Farklı Basınçlardaki Akım Fonksiyonu	66
B.3. DN65 Çapındaki Modelin Farklı Basınçlardaki Akım Fonksiyonu	68
C. DN20 Çapındaki Modelin Farklı Basınçlardaki Hız Değerleri	71
D. P=5 bar'daki Modelin Farklı Çaplardaki Hız Değerleri	73
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>75</b>

## KISALTMALAR

- REK** : Rasyonel enerji kullanımı  
**EM** : Enerji yönetimi  
**EV** : Enerji verimliliği  
**DPT** : Devlet planlama teşkilatı  
**KOI** : Kamu – Özel sektör işbirliği  
**FBO** : Flaş buhar oranı

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 2.1</b>	Çeşitli Basınçlar İçin Buhar Tablosu..... 10
<b>Tablo 2.2</b>	Su İçinde Bulunan Maddeler Ve Etkileri..... 15
<b>Tablo 2.3</b>	Kazan Türlerine Göre Ortalama TDS Miktarı..... 16
<b>Tablo 2.4</b>	İşletmenin Blöf ve İletkenlik Değerleri..... 19
<b>Tablo 2.5</b>	Örnekteki Basınç Değerleri İçin Buhar Tablosu..... 20
<b>Tablo 2.6</b>	Örnekteki Basınç Değerleri İçin Buhar Tablosu..... 26
<b>Tablo 3.1</b>	Deneydeki Ölçüm Değerleri..... 36
<b>Tablo 4.1</b>	Deneydeki Sonuçlar İle Hesaplanan Hız Değerleri..... 38
<b>Tablo 4.2</b>	Formül İle Bulunan Flaş Buhar Miktarı..... 39
<b>Tablo 4.3</b>	Deneydeki Flaş Buhar Miktarı..... 39
<b>Tablo 4.4</b>	Flaş Buhar Debisi..... 40
<b>Tablo 5.1</b>	Çözüm Yapılan Nokta Sayıları..... 43

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : 2006 Yılı Sektörlere Göre Doğal Gaz Satış Miktarları.....	1
Şekil 1.2 : Sanayi Sektöründe Doğal Gaz Satış Miktarları.....	3
Şekil 1.3 : T-S Diyagramı.....	4
Şekil 1.4 : Flaş Buhar Elektrik Santrali Uygulaması .....	5
Şekil 1.5 : Solar Sistem Uygulaması.....	6
Şekil 1.6 : Güneş Sistemi Uygulaması.....	7
Şekil 1.7 : Kağıt Kurutma Sektöründe Isı Pompası Uygulaması.....	8
Şekil 2.1 : Flaş Buhar Tankı.....	9
Şekil 2.2 : Su Çevrimi.....	12
Şekil 2.3 : Buhar Kondens Çevriminin Şematik Gösterimi.....	17
Şekil 2.4 : Çay Kurutma Makinesindeki Buhar Tesisatı.....	25
Şekil 3.1 : Deney Tesisatının Şematik Gösterimi.....	27
Şekil 3.2 : Deney Tesisatında Kullanılan Buhar Kazanı.....	28
Şekil 3.3 : Deney Tesisatında Kullanılan Kondens Tankı.....	29
Şekil 3.4 : Sıcaklığa Göre O <sub>2</sub> Miktarı.....	30
Şekil 3.5 : Deney Tesisatında Kullanılan Kondens Tankı Ve Degazör.....	31
Şekil 3.6 : Deney Tesisatında Kullanılan Ekonomizör.....	32
Şekil 3.7 : Deney Tesisatında Kullanılan Flaş Buhar Tankı.....	32
Şekil 3.8 : Deney Tesisatında Kullanılan Numune Alma Kabı.....	33
Şekil 3.9 : Ultrasonik Debi Ölçerin Prensipleri.....	34
Şekil 3.10 : Deney Tesisatında Kullanılan Ultrasonik Debi Ölçerin Problemleri...	34
Şekil 3.11 : Deney Tesisatında Kullanılan Ultrasonik Debi Ölçer Okuma Ünitesi.....	35
Şekil 5.1 : Flaş Buhar Tankı Ölçüleri.....	42
Şekil 5.2 : Flaş Buhar Sınır Şartının Ağ Yapısı.....	42
Şekil 5.3 : Çıkış Sınır Şartının Ağ Yapısı.....	42
Şekil 5.4 : Giriş Sınır Şartının Ağ Yapısı.....	43
Şekil 5.5 : Gambit'te Oluşturulan Ağ Yapısı Ve Sınır Şartları.....	43
Şekil 5.6 : Flaş Tankı Giriş Noktasındaki Ağ Yapısı ve Sınır Şartları.....	44
Şekil 6.1 : Flaş Buhar Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisi (DN 20).	47
Şekil 6.2 : Flaş Buhar Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisinin Büyütülmüş Görünümü (DN 20).....	47
Şekil 6.3 : Flaş Buhar Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisi.....	48
Şekil 6.4 : Flaş Buhar Tankı.....	49
Şekil 6.5 : Flaş Buhar Tankının P = 5 Bar Şartında Farklı Çaplardaki Hız Değerleri.....	50
Şekil 6.6 : Farklı Çaplardaki Basınç ve Flaş Buhar Debisinin Giriş Debisine Oranı.....	51

<b>Şekil 6.7</b>	: Farklı Çaplardaki Basınç ve Flaş Buhar Hızının Giriş Hızına Oranı .....	51
<b>Şekil 6.8</b>	: Farklı Çaplarda Çıkış Sınır Şartındaki Hız Değerleri.....	53
<b>Şekil 6.9</b>	: Farklı Çaplarda Flaş Buhar Sınır Şartındaki Hız Değerleri.....	55
<b>Şekil 6.10</b>	: Farklı Basınçlarda Flaş Buhar Sınır Şartındaki Hız Değerleri.....	58
<b>Şekil B.1</b>	: Flaş Buhar Tankı Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisi (DN 40).....	65
<b>Şekil B.2</b>	: Flaş Buhar Tankı Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisinin (DN40) Büyütülmüş Görünümü.....	65
<b>Şekil B.3</b>	: Flaş Buhar Tankı Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisi (DN50).....	67
<b>Şekil B.4</b>	: Flaş Buhar Tankı Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisinin (DN50) Büyütülmüş Görünümü .....	67
<b>Şekil B.5</b>	: Flaş Buhar Tankı Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisi (DN65).....	69
<b>Şekil B.6</b>	: Flaş Buhar Tankı Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisinin (DN65) Büyütülmüş Görünümü .....	69
<b>Şekil C.1</b>	: Farklı Basınçlardaki Modelin Hız Değerleri.....	71
<b>Şekil D.1</b>	: Farklı Çaplardaki Modelin Hız Değerleri .....	73

## SEMBOL LİSTESİ

<b><math>m_{fb}</math></b>	: Flaş buhar debisi
<b><math>h_{f1}</math></b>	: Yüksek basınçtaki doymuş suyun entalpisi (kJ/kg)
<b><math>h_{f2}</math></b>	: Düşük basınçtaki doymuş suyun entalpisi (kJ/kg)
<b><math>h_{fg2}</math></b>	: Düşük basınçtaki buharlaşma entalpisi (kJ/kg)
<b>F</b>	: Kazana saatte beslenmesi gereken besi suyu miktarı (kg/h)
<b>S</b>	: Kazandan saatte üretilen buhar miktarı (kg/h)
<b>B</b>	: Kazandan saatte yapılması gereken blöf miktarı (kg/h)
<b>M</b>	: Taze besi suyu (kg/h)
<b>C</b>	: Kondens miktarı (kg/h)
<b>m</b>	: Taze besi suyu iletkenlik değeri (ppm)
<b>f</b>	: Kazan besleme suyu iletkenlik değeri (ppm)
<b>b</b>	: Blöf (kazan) iletkenlik değeri (ppm)
<b>V</b>	: Akışkan hızı (m/s)
<b><math>\rho</math></b>	: Akışkan yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
<b>r</b>	: Korelasyon katsayısı
<b>D</b>	: Boru çapı (mm)

## FLAŞ BUHARDAN ENERJİ GERİ KAZANIMI

### ÖZET

Flaş buhar uygulamaları sanayide yakıt tasarrufu sağladığı ve işletme maliyetlerini düşürdüğü için ısı geri kazanım sistemleri arasında önemli bir yere sahiptir. İşletmeler rekabet piyasasında kendilerine yer edinebilmek için maliyetleri mümkün olduğunca düşürmek zorundadır. Ayrıca 18.04.2007 tarihinde yürürlüğe giren enerji verimliliği kanunu ile de işletmeler enerji tasarrufuna teşvik edilmiştir.

Endüstride en çok kullanılan yakıt doğal gazdır. Başta Metan ( $CH_4$ ) ve Etan ( $C_2H_6$ ) olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan oluşan doğal gaz, organik maddelerin yeryüzünün alt katmanlarında milyonlarca yıl süren doğal dönüşümü sonucu oluşur.

Flaş buhar uygulaması ile düşük basınçta buhar elde edilir. Bu buhar işletmede çeşitli amaçlar için kullanılır. Başka bir deyişle kazandan daha az buhar çekilir.

Bu çalışmada flaş buhar uygulaması sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Sayısal çözümler ve deney sonuçları ayrı ayrı incelenmiştir.

Sayısal çözümlemede giriş çapının DN20, DN40, DN50 ve DN65 olması ve giriş basıncının değişmesinin akışa ne gibi etkisinin olduğu tek fazlı olarak incelenmiştir. Akışkan olarak su kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sayısal çözümleme için Fluent ve Gambit programları kullanılmıştır.

Deney tesisatı kurulup akışkanın giriş ve çıkış debileri ölçülerek flaş buhar miktarı bulunmuştur. Deneysel veriler analitik formül yardımıyla elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Ölçme hataları nedeniyle deneysel sonuçlar teorik değerlerden farklı çıkmıştır. Ancak flaş buhar ve giriş kondens debileri oranları birbirine yakın çıkmıştır.

## FLASH STEAM HEAT RECOVERY SYSTEM

### SUMMARY

Due to the fact that the flash steam applications are fuel saving and reduce the operating cost, it has a great application in energy recovery systems. The plants in the market, the costs must be low in order to compete with the others. Recently, companies are encouraged by the government via energy efficiency stage legislation, setting in force in 2007.

The most used fuel in industries is a natural gas. The natural gas made of mainly Methan ( $\text{CH}_4$ ), Ethan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) and varies hydrocarbons is obtained as a result of the natural alteration of the organic materials below layers of the world for million years.

The low pressured steam is gained from the flash steam application. This steam is used in different aims in the plant. In other words, less steam is pulled from the boiler.

In this study, flash steam numerical and experimental investigations are carried out on the use of flash steam in a industry.

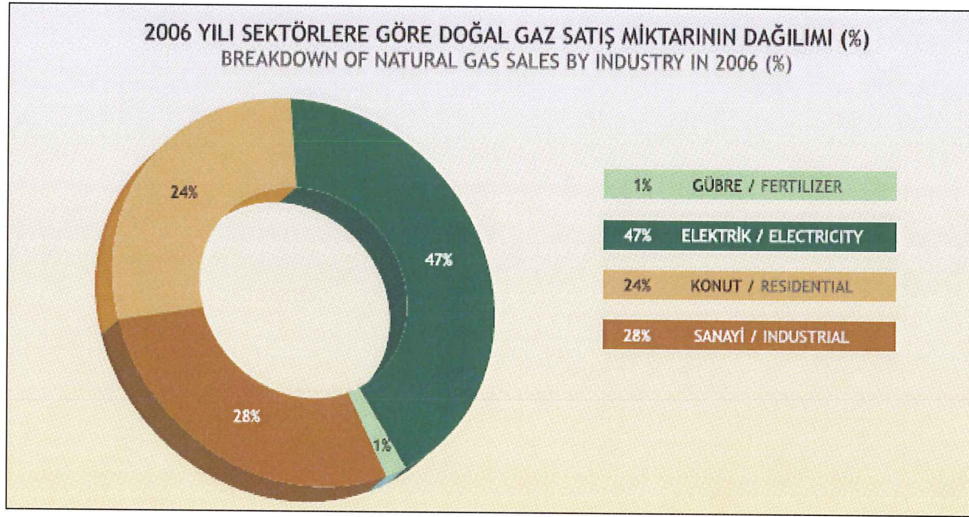
In numerical results, the various inlet diameters has been checked as DN20, DN40, DN50 and DN65. Also the inlet pressure is specified.

In addition, effects of change of flash tank inlet pressure on flow are investigated for he case of single-phase flow. The fluid used in this study is water. The results obtained were compared to each other. For numerical studies, the commercial Fluent and Gambit softwares are used.

The amount of flash steam is calculated after measuring inlet and outlet flowrates by using an experimental set up. Experimental data are compared to data that are obtained by theory. Because of the measurements errors, the experimental data somewhat differ than the theory. However, the ratio of the flash steam and inlet flow rates is in a very close agreement.

## 1. GİRİŞ

Endüstride buhar, verimli ve kolay elde edilebilir olması, hat boyunca basınç düşümüyle taşınıp sirkülasyon pompalarına gerek olmaması ve yüksek enerji taşınması gibi birçok nedenlerden dolayı enerji transferi için kullanılmaktadır. Günümüz rekabet piyasasında fabrika enerji yöneticileri, hem ülke ekonomisine katkıda bulunmak için hem de düşük maliyetle üretim yapmak amacıyla tesislerinde hangi noktalarda geri kazanım çalışmaları yapabileceklerinin arayışına girmişlerdir.



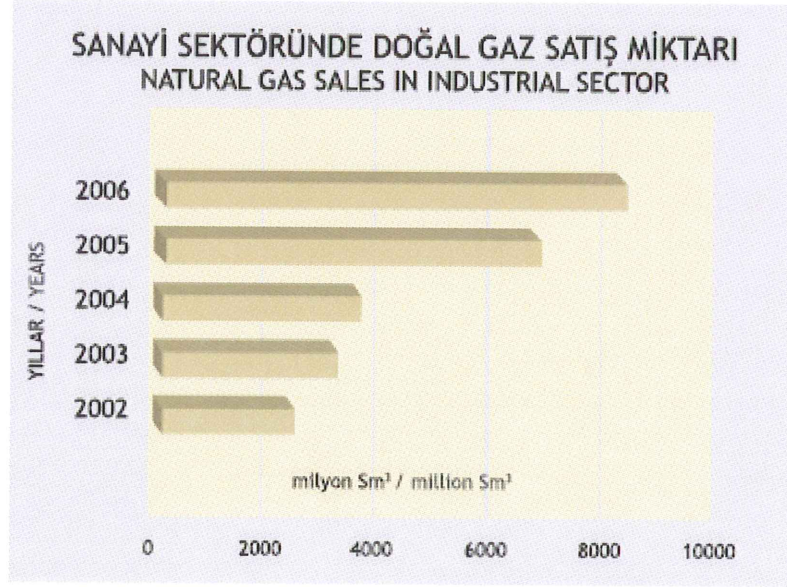
Şekil 1.1 : 2006 Yılı Sektörlere Göre Doğal Gaz Satış Miktarları [1].

Buharı elde etmek için birincil yakıt olarak çeşitli katı ve sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. Doğal gaz ülkemizde konut, sanayi, elektrik üretimi ve gübre olmak üzere dört ana sektörde kullanılmaktadır. 2006 yılı sonu itibariyle en fazla tüketim % 47 ile elektrik sektöründe gelişmiştir. Sanayi sektörü ise % 28 ile ikinci sırada yer almıştır. Toplam tüketim içindeki payı % 24 olan konut sektörü tüketimini % 1'lik pay ile gübre sektörü takip etmiştir.

Doğal gazın endüstride yoğun olarak kullanılmasının nedenlerinden bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Doğal gaz her an kullanıma hazırdır.
- Çevre dostudur. Kalıcı atıklar bırakmadan yanar.
- Depolama yeri gerektirmez.
- Doğal gazlı sistemlerde sıcaklık kontrolü çok hassas olarak yapılır.
- Kullanıldıktan sonra ödenir
- Hava ile çok iyi karıştığı için yanma verimi yüksektir.
- Kurum ve is gibi atık ürünleri olmadığı için ısı transfer yüzeyleri temiz kalır.
- Katı ve sıvı yakıtlar yanma ürünü olarak kükürt içermediğinden, baca gazlarının suyun yoğunlaşma noktasına kadar soğutulması ve böylece suyun gizli ısısından yararlanma imkanı yoktur. Ekonomizer ilave edilerek doğal gazın baca gazı sıcaklığı 56°C'ye kadar indirebiliriz.
- Yanma için hava gereksinimi azdır.

Yapılan çalışmalar ve öngörülere göre, 2004 yılında 22.108 milyon m<sup>3</sup> olan doğal gaz tüketimi 2005 yılında % 21,5 artışla 26.865 milyon m<sup>3</sup>'e ulaşmıştır. Tüketim 2006 yılında % 36,2 artışla 30.100 milyon m<sup>3</sup>'dür, 2010 yılında % 90,3 artışla 42.076 milyon m<sup>3</sup>'e, 2020 yılında ise % 176,4 artışla 61.042 milyon m<sup>3</sup>'e ulaşması öngörülmektedir.

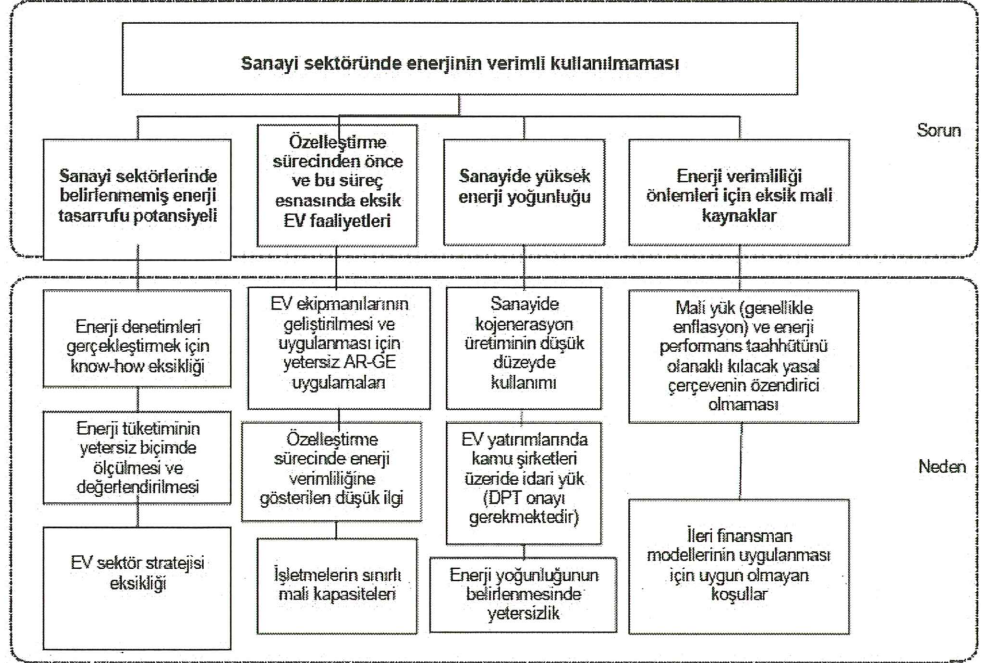


**Şekil 1.2 : Sanayi Sektöründe Doğal Gaz Satış Miktarları [1].**

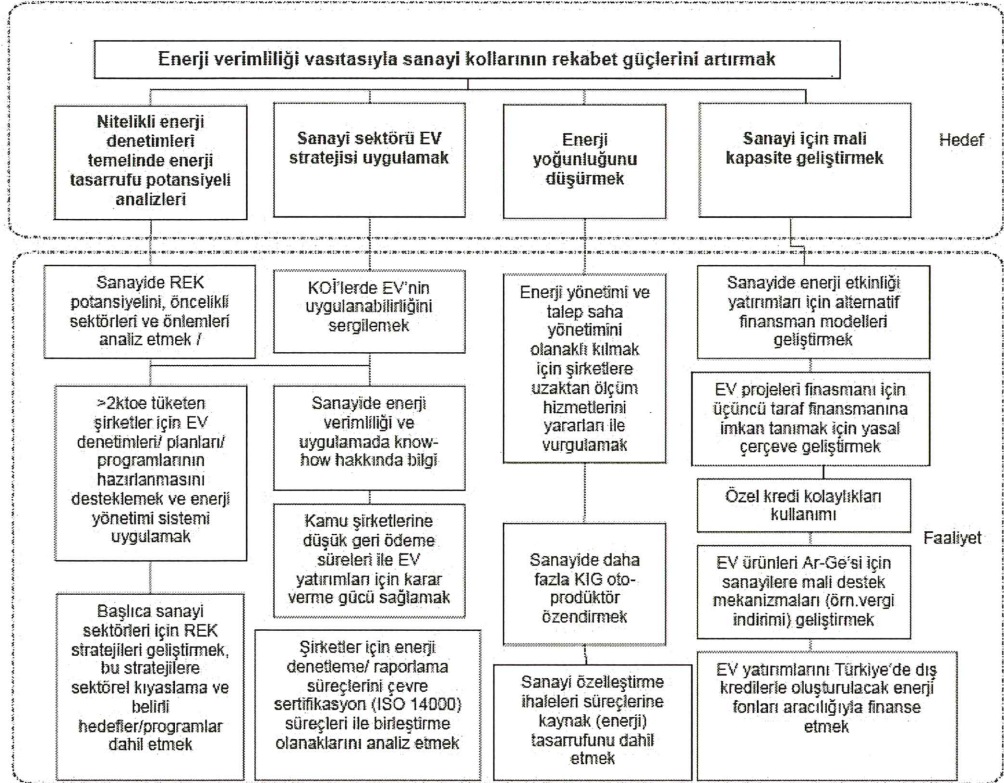
Sanayide buhar kullanan işletmelerde yakıt tüketimini azaltmanın çeşitli yöntemleri vardır. Enerji sarfiyatına neden olan etkenlerden başlıcaları; kazan baca kayıpları, kaçırılan kondensatlar, kondensin enerji geri kazanımında kullanılmaması, yalıtım eksikliği, eksik yanma kaybı ve blöf kaybıdır. Enerji geri kazanım sistemleri ile büyük ölçüde yakıt tasarrufu sağlanabilir. Bu amaç ile 5627 sayılı enerji verimliliği kanunu 18.04.07 tarihinde kabul edilip 02.05.07 tarihli Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Kanun ile enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır.

Düzenlenen kanun tasarısı enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekelerinde ve ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına, desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esasları kapsar.



a) Sorunlar ve Nedenler



b) Hedefler ve Faaliyetler

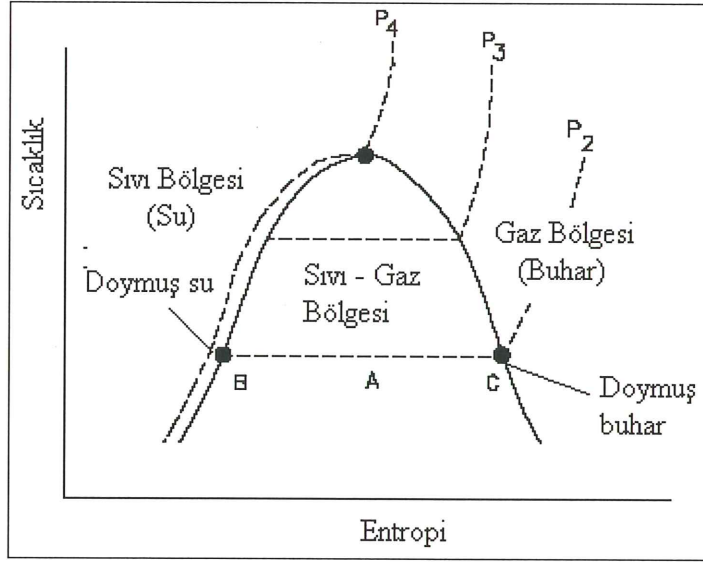
Şekil 1.3 : Sanayi Sektöründe Enerji Verimliliği.

İşletmelerde belirlenecek enerji yöneticileri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel

Müdürlüğü tarafından, kurul onayı ile yetkilendirilen meslek odaları veya üniversitelerde eğitim alıp, sertifikalandırıldıktan sonra işletmelerinde enerji tasarrufu ile ilgili katkıda bulunmak ile yükümlüdürler. Verimlilik artırıcı projeler aynı zamanda desteklenmektedir.

MVV Consultants and Enginners” tarafından hazırlanan ve “Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü” bünyesinde bulunan “Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi” uzmanları ile işbirliği içerisinde hazırlanmış olan “Türkiye İçin Enerji Verimliliği Stratejisi” raporunda yer alan, sanayideki enerjinin verimli kullanılmasının sorunları, nedenleri, hedef ve faaliyetleri Şekil 1.3’te gösterilmiştir.

Buharın doğrudan kullanıldığı noktalarda buharın enerjisinden, doğrudan kullanılmayan noktalarda ise buharlaşma entalpisinden yararlanır. Buharlaşma ısını veren doymuş buhar aynı basınç ve sıcaklıkta su haline dönüşür. Bu doymuş suya kondens diye adlandırılır.



Şekil 1.4 : T-s Diyagramı.

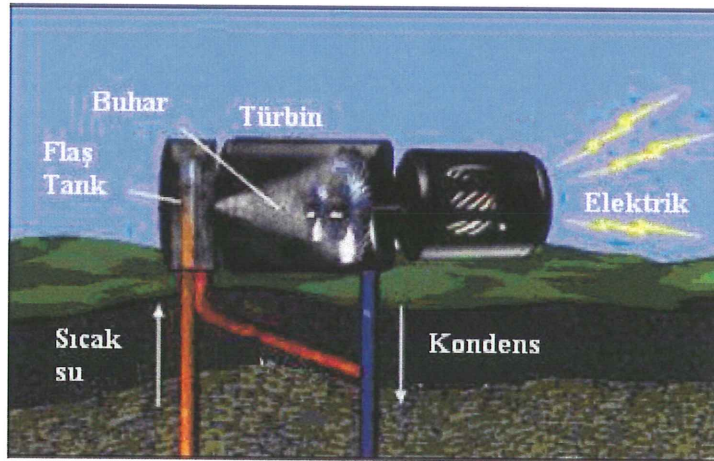
Şekil 1.4’te de görüldüğü gibi doymuş buhar ısını verirken basıncı ve sıcaklığı değişmez. Buna karşılık kondens ısını verirken basıncı ve sıcaklığı değişmektedir.

Enerji geri kazanım sistemlerinden biri olan flaş buhar uygulaması hem kazan yüzey

blöfünden hem de kondenssten elde edilir. Buhar kullanan makina çıkışlarından toplanan kondens, düşük sıcaklıktaki bir tanka açıldığında, oluşan flaş buhar ile işletmede belirli noktadaki ısı ihtiyacı karşılanabilir. Buharlaşmayan kondens ise kondens tankına gönderilir.

Kazan suyu iletkenlik değerinin belirli bir değeri aşması istenmez. Yüksek iletkenlik kazanda ısı transfer yüzeylerinde kışır (kireç tabakası) oluşumuna neden olur. Bu nedenle blöf yapılır. Dışarıya atılan yüksek sıcaklıkta ve basınçtaki su daha düşük basınçtaki tanka açılarak flaş buhar elde edilir. Buharlaşmayan su ise bir ısı değiştirgecinden geçerek, dışarıya atılan ısının çok büyük bölümü geri kazanılmış olur. Bölüm 2’de bu konu detaylı olarak anlatılacaktır.

Ayrıca buharın jeotermal elektrik santrallerinde kullanımı oldukça yaygındır. Elektrik enerjisi üretiminde türbinin bir enerji kaynağını dönü hareketine çevirmesi için buhar kullanılır. Flaş buhar santrallerinde yüksek basınçla kuyudan gelen akışkan düşük basınçlı separatörlerde su ve buhar olarak ayrılır ve ayrıştırılan buhar ile türbinin döndürülmesi sağlanır.



Şekil 1.5 : Flaş Buhar Elektrik Santrali Uygulaması [2].

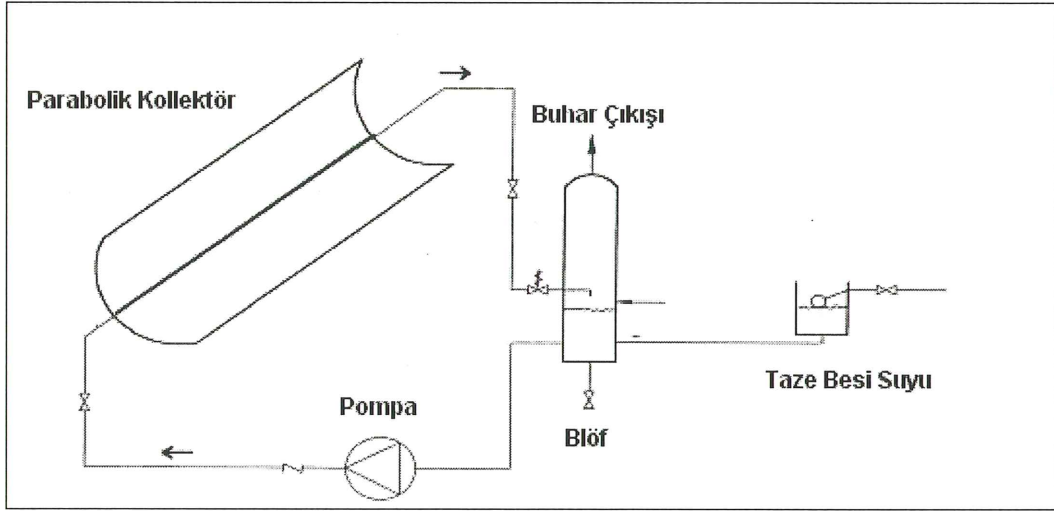
Flaş buhar aynı zamanda güneş enerji sistemlerinde de kullanılmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinde buhar elde edilmesi üç farklı yolla yapılmaktadır;

- Isı Değiştirgeci Sistemi; Bu sistemde güneş kolektöründe ısı transfer akışkanı dolaştırılarak, ısı eşanjörü vasıtasıyla buhar elde edilmesi gerçekleştirilir.

- b) Direk Sistem; Kollektörlerin içerisinde iki fazlı akış gerçekleştirilerek buhar direk olarak elde edilir.
- c) Flaş Buhar Sistemi; Basınçlı su kolektörde ısıtılır ve ayrı bir tankta düşük basınçta buhar elde edilir.

Flaş buhar sistemi diğer sistemlere göre çeşitli avantajlara sahiptir. Flaş buhar sisteminin maliyeti, sistemde ısı eşanjörünün kullanılmaması ve ikinci bir akışkana gerek olmaması gibi nedenlerden dolayı oldukça düşüktür. Ayrıca sistemde suyun kullanılması diğer sistemlerde kullanılan yağ türevi akışkanlara nazaran ısı transferini de olumlu yönde etkilemektedir.

Ancak flaş buhar sisteminin analitik modellenmesi oldukça zordur. Bunun için neural ağ yöntemi kullanılarak karmaşık olan verilerin çözümü gerçekleştirilebilir. Metot örneklerden yararlanması, hata payı bırakabilmesi ve genellemelere ulaşılabilmesi adına karmaşık liner olmayan problemlerin çözümünde etkilidir.

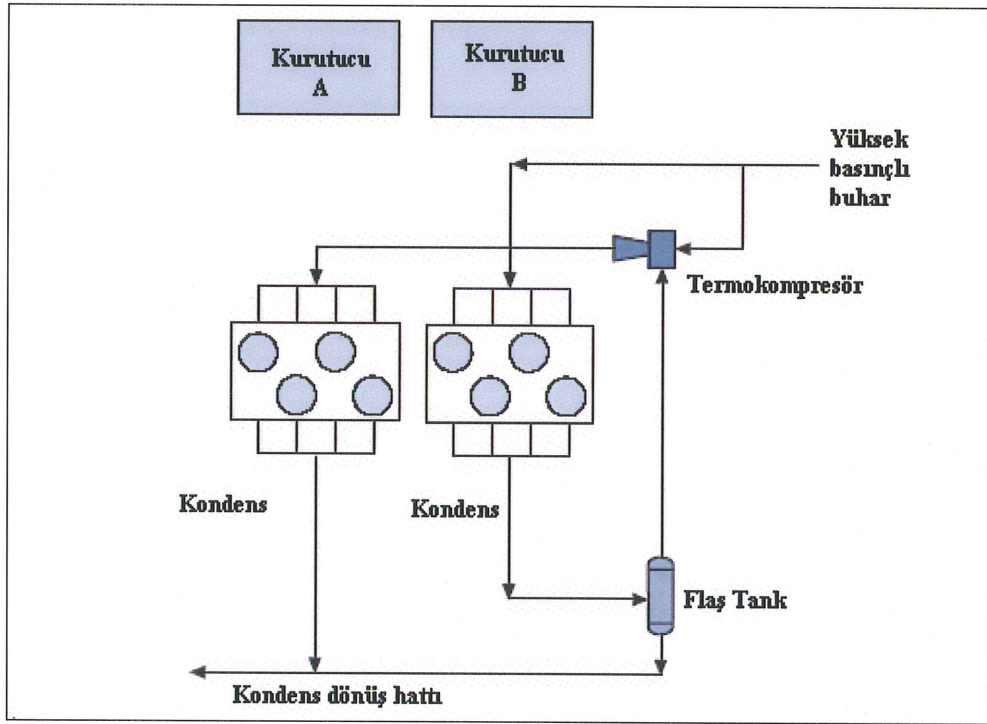


Şekil 1.6 : Güneş Sistemi Uygulaması [3].

Bu sistemde pompa vasıtasıyla parabolik kolektöre gelen basınçlı su, daha düşük basınca açılarak flaş buhar elde edilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, flaş tank içindeki su seviyenin belirli değerde tutulmasıdır. Bu nedenle taze besi suyu sistem de mevcuttur.

Flaş buharın bir diğer kullanım alanıda ısı pompası çevrimleridir. Buhar sıkıştırılmalı ısı pompasına giren düşük basınçlı buhar kompresörde yüksek basınca ve sıcaklığa

sıkıştırılır [4]. En yaygın kullanım alanlarından biri açık çevrimli termokompresörlü ısı pompasının kullanıldığı kağıt kurutma ünitelerindeki kurutucu cihaz kondensinden flaş buhar geri kazanımıdır. Şekil 1.7’de kağıt kurutma ünitesinde kullanılan flaş buhara ait şematik akış diyagramı gösterilmektedir. Kağıt kurutma makinasında buhar, istenilen kurutma şartlarının elde edilmesi için her bir kurutma makarasına doğru basınçta ulaşmalıdır. Flaş buhar tankında yüksek basınçlı kondensin basıncı düşük değerlere indirilir ve bu işlemden sonra buhar maksimum enerji geri kazanımı için tekrar sıkıştırılır. Böylece kurutucunun enerji verimliliği artmaktadır.

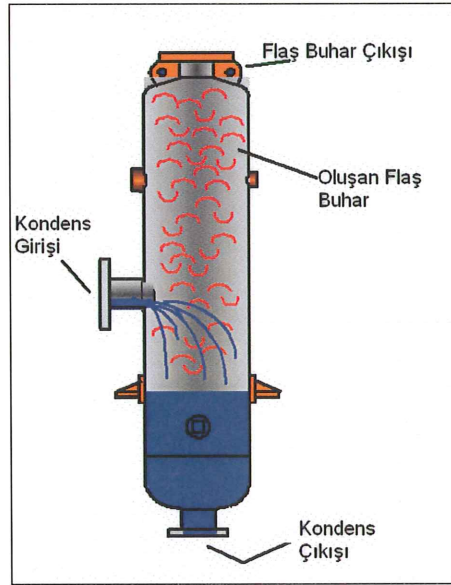


Şekil 1.7 : Kağıt Kurutma Sektöründe Isı Pompası Uygulaması [5].

## 2. FLAŞ BUHAR

Yüksek sıcaklık ve basınçtaki suyun basıncı düşürülür ise, buharlaşma meydana gelir. Birim kütle başına taşıdığı enerji miktarı artar. Yüksek ve düşük basınçta doymuş suyun sahip olduğu entalpiler farklıdır. Bu farktan dolayı ortaya çıkan enerji, suyun bir miktarının faz değiştirmesine neden olur.

Dışardan hiçbir enerji verilmeden, entalpi enerjisi ile suyun bir kısmı buharlaşır. Böyle elde edilen buhara flaş buhar (ani buhar) denir. Flaş buharı kullanarak buhar ihtiyacı olan bir işletmede, aynı miktardaki buhar kazanda daha az üretilir, yani enerji tasarrufu sağlanır.



Şekil 2.1 : Flaş Buhar Tankı.

Flaş buhar, flaş buhar tanklarında elde edilir. Düşey olarak imal edilen bu tankların üst kısmında buhar, alt kısmında ise kondens çıkışı mevcuttur. Tank çapı kondens miktarına ve basınca bağlıdır. Buharın 3 m/sn lik bir hızla üst çıkıştan akması sağlanmalıdır. Bu

hız su damlalarının ters bir yönde, yani tankın altına doğru akabileceği bir hızdır. Tankın yüksekliği ise buhar ve kondensin ayrışımı için yeterli değerde olması gerekmektedir.

Flaş buhar elde ettikten sonra kullanılacağı noktayı iyi seçmek gerekir. Kullanım yerindeki buhar debisi ihtiyacı flaş buhar miktarına eşit veya üzerindeki kapasiteler olmalıdır. Flaş buharın debisi yeterli olmadığı durumlarda yüksek basınçlı bir buhar hattından, basıncı düşürme yöntemi ile buhar sağlanabilir. Eğer flaş buhar ihtiyaçtan fazla ise, flaş buharın bir kısmı dışarı atılacaktır ve geri kazanım sistemi işlevini yeterli ölçüde yapamayacaktır. Ayrıca kondensin flaş buhar elde edilecek ise, elde etmek istenen flaş buhar basıncını belirlerken kondensin fark basınçları dikkate alınmalıdır. Kondensin sonraki basınç artacağından fark basınç düşer ve bu durum kondensin boşaltma kapasitelerini etkiler

Yüksek basınç ve sıcaklıktaki suyun sahip olduğu entalpi “ $h_{f1}$ ” düşük basınçtaki suyun entalpisi “ $h_{f2}$ ” ve buharlaşma entalpisi “ $h_{fg2}$ ” ise flaş buhar oranı Denklem 2.1’den belirlenebilir:

$$FBO = \frac{h_{f1} - h_{f2}}{h_{fg2}} \quad (2.1)$$

**Tablo 2.1: Çeşitli Basınçlar İçin Buhar Tablosu [6].**

Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Özgül Entalpi (kJ/kg)			Özgül Hacim m <sup>3</sup> /kg
		Su	Buharlaşma	Buhar	
0.2	105.1	440.8	2250.2	2680.2	1.414
0.5	111.61	468.3	2225.6	2693.9	1.149
0.6	113.56	476.4	2220.4	2696.8	1.088
1	120.42	505.6	2201.1	2706.7	0.881
2	133.69	562.2	2163.3	2725.5	0.603
3	143.75	605.3	2133.4	2738.7	0.461
4	151.96	640.7	2108.1	2748.8	0.374
5	158.92	670.9	2086	2756.9	0.315

Örneğin 3 bar’daki kondens, 0.2 bar’daki bir tanka açıldığında oluşan flaş buhar miktarı Tablo 2.1’den yararlanılarak bulunabilir.

$$FBO = \frac{605.3 - 440.8}{2250.2} = 0.073$$

Yani 3 bar'daki kondensin %7.3'ü buharlaşmaktadır. Kondens miktarı 1000 kg/h ise; 0.2 bar'da 73 kg/h 'lik buhar elde edilir. Buharlaşmayan kondensin basıncı da artık 0.2 bar'dır

## 2.1 Su ve Kazan Suyunun Özellikleri

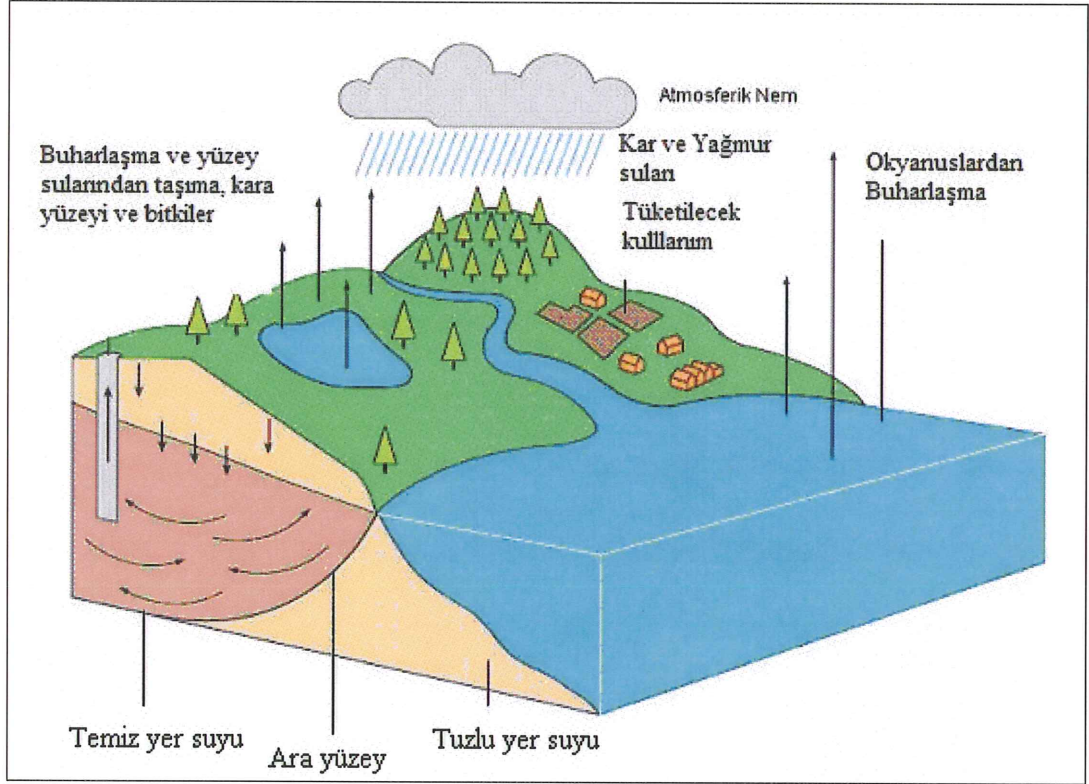
Su, hidrojen ve oksijen birleşiminden meydana gelen kararlı bir moleküldür. Doğada bol bulunması, özgül ısısının yüksek (4.18 kJ/kg °C), gizli ısısının erimede 330 kJ/kg, buharlaşmada 2250 kJ/kg olması, suyun ısı aktarılması, taşınması ve dönüştürülmesinde önemini arttırmıştır. Fakat su kuvvetli bir çözücü olması nedeniyle de doğada saf olarak bulmak çok zordur.

Yeryüzündeki ham su kaynaklarını yeraltı suları ve yüzey suları olarak iki gruba ayırabiliriz. Yeryüzüne düşen yağmurlar ve eriyen karlar nehirlerde, göllerde ve çeşitli yataklarda toplanarak yüzey sularını oluştururlar. Yüzey suları buldukları yeryüzü tabakasından çeşitli mineralleri, organik maddeleri eriterek bünyesine alırlar. Bu nedenle, yüzey sularının karakteri ve kalitesi bulunduğu bölgenin jeolojik özelliğine göre değişir.

Yeryüzüne düşen suların bir kısmı da toprak tarafından emilerek, yeraltı yataklarında toplanır. Su, toprak içindeki hareketi esnasında, geçtiği tabakalardan yine çeşitli mineral ve organik maddeleri eriterek bünyesine alır. Bu nedenle de suyun kalitesi ve içeriği, toprağın jeolojik yapısı, yeraltı katmanlarının durumu ve derinliğine bağlı olarak değişir.

## 2.2 Suyun Niteliğini Belirleyen Tanımlar

Saf su, kokusuz ve renksizdir. Ancak doğadaki her su kaynağı çeşitli tür ve miktarlarda elementler içerir.



Şekil 2.2 Su Çevrimi [7].

Buharlaşmadan sonra, su buluta dönüşür. Bu bulut yolculuğu sonucunda uygun koşullarda yoğunlaşır ve kondense dönüşür ve böylece dünyaya yağmur olarak düşer. Yeryüzüne inerken karbonik asit, azot ve özellikle sanayi bölgelerinin üzerinden yağarken kükürt dioksit ile karışarak kirlenir.

### 2.2.1 Renk, koku ve bulanıklık

Renk, koku ve bulanıklık genel olarak içme ve kullanma sularının istenmeyen vasıflarıdır. Analizlerde görünüş ve birim olarak belirlenir. Havalandırma, dinlendirme, çöktürme ve filtre etme işlemleri ile giderilir.

### 2.2.2 İletkenlik

Suyun içerdiği çözülmüş iyonların miktarını belirler. Su saflaştıkça iletkenlik azalır. Birimi, direnç biriminin tersi olup  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Micro Siemens) ya da ppm'dir (parts per million- milyonda bir birim).

$$1 \text{ ppm} = 0.7 \mu\text{S}/\text{cm} \quad (2.2)$$

### 2.2.3 "pH" değeri

pH suyun içerdiği H iyonlarının derişikliğinin eksi logaritmasıdır.

$$\text{pH} = \log \frac{1}{\text{H}^+} \quad (2.3)$$

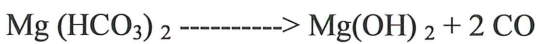
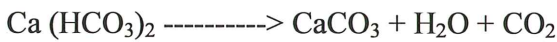
### 2.2.4 Alkalite

Suyun içerdiği hidroksit, karbonat ve bikarbonat suyun alkalinitesini (bazlığını) oluşturur. Çok düşük ya da çok yüksek alkalite, kazanda köpürmeye, kostik kırılmasına ve buhar – kondens hatlarında karbondioksit korozyonuna neden olur.

### 2.2.5 Sertlik

Suyun içerdiği çözülmüş kalsiyum ve magnezyum tuzları, suların sertliğini belirler. Suların sertliği, uygulamada yaygın olarak içerdikleri sertlik veren maddelerin  $\text{CaCO}_3$  cinsinden miktarları ile (ppm  $\text{CaCO}_3$  olarak) belirlenir.

Kalsiyum ve magnezyum bikarbonat tuzlarının miktarını geçici sertliği belirler. Su ısıtıldığı zaman bu maddeler karbondioksit vererek ayrışır. Kalsiyum karbonat ve magnezyum hidroksit çökerek ayrılır. Bu maddelerin çözünlükleri sıcaklıkla ters orantılıdır. Bu şekilde ısıtılarak giderilen sertliğe geçici sertlik denir.



Devamlı sertliği oluşturan maddeler ise sülfat ve klorid şeklinde bulunan kalsiyum ve magnezyum tuzlarıdır. Suyun ısıtılması ile yapışan ve çıkartılması zor tortular oluştururlar.

#### **2.2.6 Toplam erimiş katı madde (TDS)**

Suda erimiş tüm katı maddeleri belirler. Doğal su içindeki maddeler Tablo 2.1’de verilmiştir.

##### **2.2.6.1 Erimiş maddeler**

Su içinde eriyebilen kalsiyum ve magnezyum karbonat ve sülfatlar gibi maddeler olup, suyun buharlařması ile tortu oluştururlar.

##### **2.2.6.2 Erimiş gazlar**

Oksijen ve karbon dioksit suyun içinde bulunan, korozyona neden olan gazlardır.

##### **2.2.6.3 Süspansiyon halinde bulunan maddeler**

Mineral ya da organik esaslı olan suda asılı kalan maddelerdir. Dibe çöktükleri için kolayca dışarı alınabilirler.

##### **2.2.6.4 Köpük oluřturan maddeler**

Kir ve köpük oluřturan soda řeklindeki minerallerdir.

**Tablo 2.2:** Su İçinde Bulunan Maddeler ve Etkileri [7].

Kimyasal Adı	Sembolü	Zararları
Kalsiyum karbonat	CaCO <sub>3</sub>	Yumuşak tortu
Kalsiyum bikarbonat	Ca(CHO <sub>3</sub> )	Yumuşak tortu
Kalsiyum sülfat	CaSO <sub>4</sub>	Sert tortu
Kalsiyum klorid	CaCl <sub>2</sub>	Korozyon
Magnezyum karbonat	MgCO <sub>3</sub>	Yumuşak tortu
Magnezyum sülfat	MgSO <sub>4</sub>	Korozyon
Magnezyum bikarbonat	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Tortu, korozyon
Sodyum klorid	NaCl	Elektroliz
Sodyum karbonat	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Alkalite
Sodyum bikarbonat	NaHCO <sub>3</sub>	Köpürme, ateşleme
Sodyum hidroksit	NaOH	Alkalite, gevrekleşme
Sodyum sülfat	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Alkalite
Silisyum dioksit	SiO <sub>2</sub>	Sert tortu

### 2.3. Kazan Blöfü

Kazanın emniyetli çalışması, uzun ömür ve azami ısı transferi için kazan suyunun kimyasal olarak şartlandırılması ile suyun yumuşatılması, ayrıca korozyon etkisi olan erimiş gazların da alınması gerekmektedir.

Kazan içerisinde su buharlaştıkça suyun içerisinde bulunan erimiş katı madde miktarı da artar. Kazanlarda, genelde aşılması gereken TDS yani erimiş katı madde miktarı,

küçük kazanlar için 2000 ppm daha büyük kazanlar için ise 3500 ppm seviyesindedir.

Kazanın su seviyesinin yüksek olması, işletme basıncının altında çalıştırılması ve kazandan ani buhar çekişleri olması durumlarında, kazandan buhar ile birlikte bir miktar su da tesisata taşınır.

**Tablo 2.3:** Kazan Türlerine Göre Ortalama Erimiş Katı Madde (TDS) Miktarı [8].

KAZAN TÜRÜ	Max TDS (ppm)
Lancashire	10000
Üç Geçişli Kazan	3000–5000
İki Geçişli Kazan	4500
Su Borulu (Düşük Basınç)	2000 – 3000
Su Borulu (Orta Basınç)	1500
Su Borulu (Yüksek Basınç)	1000
Jeneratör	2000

Buhar ile sürüklenen kazan suyu, kontrol vanalarının ve kondensstopların arızalanmasına ayrıca ısı transfer yüzeylerinde tortu oluşturarak ısı transferinin güçleşmesine neden olur.

Kazandan belirli aralıklar ile hem yüzey hem de dip blöf yapılır. Dip blöf ile kazan dibine çöken süspansiyon halindeki maddeler dışarı atılır. Genel olarak, her 8 saat'te 3 ya da 5 sn süreyle yapılır.

Yüzey blöf, erimiş haldeki maddelerin yoğunluğunu azaltmak için yapılır. Dışarıya yüksek sıcaklıkta su atıldığı için yapılan blöf miktarı önemlidir. Yüzey blöf manuel blöf, devamlı blöf ve otomatik blöf olmak üzere 3 şekilde yapılır.

Manuel blöf ile ölçülen iletkenlik değerine göre kazan suyu blöf edilir. Burada vana belirli bir süre açılarak iletkenlik değeri belirlenen değerde sabit tutulmak istenir. Bu

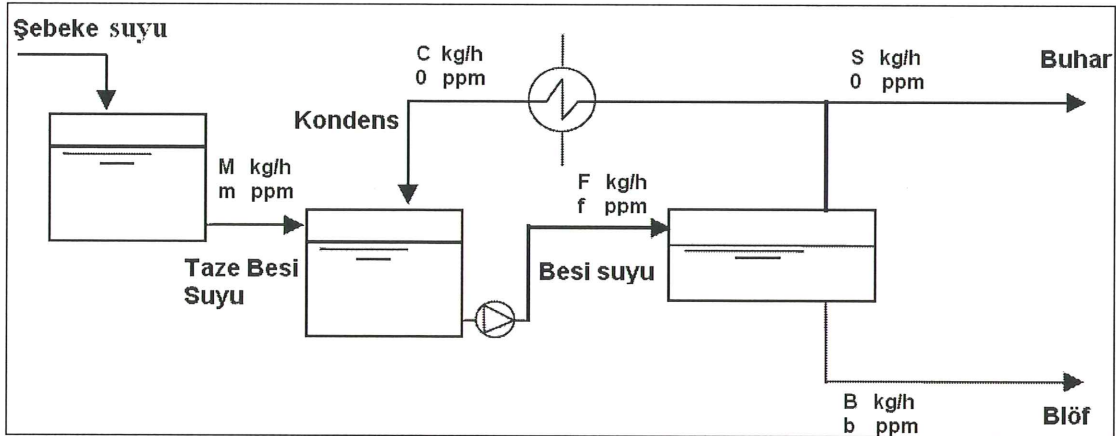
şekilde yapılan blöf ile gereğinden az ya da çok blöf yapılır. Az yapılan blöf, iletkenlik değerini istenen değerinin üstünde tutar. Bu durum ısı transfer yüzeylerinde kışır tabakasına oluşumuna neden olur. Yani enerjinin aktarımını güçleştirir.

Devamlı yüzey blöf ile belirli açıklıkta bulunan iğne vana sürekli açık konumdadır. Dışarıya gereğinden fazla yüksek basınç ve sıcaklıkta kazan suyu atılmaktadır. Atılan bu su yerine kazana düşük sıcaklıkta su alınmakta ve onu aynı şartlara getirmek için kazana daha fazla yakıt gönderilmektedir. Bu durum enerji sarfiyatına neden olmaktadır.

Otomatik yüzey blöf sistemi ile kazan suyu sürekli ölçülür ve set edilen değerin üstüne çıktığı zaman blöf yapılır. Bu durumda enerji sarfiyatı optimumdur.

#### 2.4 Kazan Yüzey Blöfünden Flaş Buhar Elde Edilmesi

Kazandan yüzey blöf ile atılan yüksek sıcaklıktaki suyun enerjisinden yararlanmak mümkündür. Şekil 2.3'te şematik olarak gösterilmektedir. Oluşacak flaş buhar miktarı ise aşağıdaki şekilde elde edilir.



Şekil 2.3 : Buhar Kondens Çevriminin Şematik Gösterimi.

Kütlenin korumu kanununa göre;

$$F = B + S \quad (2.4)$$

Konsantrasyon dengesi uygulanır ise;

$$F * f = B * b + S * 0 \quad (2.5)$$

Denklem 2.4 daki F değeri Denklem 2.5’de yerine yazılır ve düzenlenir ise denk. 2.6 elde edilir.

$$B = \frac{S}{b-f} f \quad [\text{kg/h}] \quad (2.6)$$

Buharın ve kondensin iletkenlik değerleri çok küçük olduğundan sıfıra olarak kabul edilir.

#### 2.4.1 Uygulamaya ait örnekler

##### 2.4.1.1 Bir içki fabrikasında flaş buhar uygulaması

Tablo 2.3’de İç Anadolu’daki gıda sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikaya ait kazan ve kondens tankı iletkenlik değerleri ile yapılan blöf miktarları görülmektedir. İşletmedeki kazan basıncı 6 bar debisi ise 7 ton/h’dir.

Tablodan da açıkça görüldüğü gibi kazan iletkenlik değeri 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ye oldukça yakın tutulmuştur. İletkenlik değerinin 7000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerinin altında çalışıldığı durumlarda, kazanda gereğinden fazla blöf yapılmaktadır. Yani yüksek sıcaklık ve enerji ihtiva eden kazan suyu dışarıya atılıyor demektir

31 gün süresince bu kazanda olması gerekenden ortalama 120 kg/h daha fazla blöf yapılmıştır. Dışarı atılan bu suyun ihtiva ettiği enerji  $697.5 * 120 = 83700 \text{ kJ/h}$ ’dir.

**Tablo 2.4: İşletmenin Blöf ve İletkenlik Değerleri**

Gün	Kazan İletkenlik Değeri ( $\mu\text{S/cm}$ )	Kondens Tankı İletkenlik Değeri ( $\mu\text{S/cm}$ )	Yapılan Blöf Miktarı (kg/h)	Yapılması Gereken Blöf Miktarı (kg/h)
1	3270	78	171	79
2	3222	76	169	77
3	3190	78	175	79
4	3400	75	158	76
5	3580	82	164	83
6	1379	79	425	80
7	3930	69	125	70
8	4230	77	130	78
9	3920	61	111	62
10	4050	80	141	81
11	4370	81	132	82
12	4960	78	112	79
13	3490	90	185	91
14	3280	65	142	66
15	3420	73	153	74
16	2800	87	224	88
17	2970	79	191	80
18	2540	80	228	81
19	2340	83	257	84
20	2280	77	245	78
21	2210	80	263	81
22	2620	105	292	107
23	3050	74	174	75
24	2790	92	239	93
25	3170	85	193	86
26	3210	84	188	85
27	3550	98	199	99
28	2940	109	270	111
29	3130	102	236	104
30	2160	115	394	117
31	3450	79	164	80

Ortalama yapılması gereken blöf miktarı = 84 kg/h

**Tablo 2.5:** Örnekteki Basınç Değerleri İçin Buhar Tablosu

Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Özgül Entalpi (kJ/kg)			Özgül Hacim m <sup>3</sup> /kg
		Su	Buharlaşma	Buhar	
0.2	105.1	440.8	2250.2	2680.2	1.414
6	165.04	697.5	2066	2763.5	0.272

Eğer gerekli miktarda blöf yapılır ve blöften flaş buhar elde edilir ise işletmeye sağlayacağı tasarruf;

$$\text{Flaş Buhar Oranı} = \frac{697.5 - 440.8}{2250} = 0.1141$$

$$\text{Flaş Buhar Debisi} = 0.1141 * 84 = 9.6 \text{ kg/h}$$

$$\text{Flaş Buharın sahip olduğu enerji} = 9.6 * 2680 = 25728 \text{ kJ/h}$$

%11.41 'u flaş buhar haline geçen yüzey blöf yaklaşık 105°C sıcaklığa sahiptir. Bu sıcak suyun tekrar bir eşanjörden geçirilerek 20°C sıcaklıktaki soğuk besi suyunun ön ısıtması yapılabilir.

$$105^\circ\text{C sıcaklıktaki blöf miktarı} : 84 - 9.6 = 74.4 \text{ kg/h}$$

$$\text{Isıtılacak suyun entalpisi} : 84 \text{ kJ/kg (20}^\circ\text{C)}$$

$$\text{Soğuk besi suyuna aktarılabilecek enerji} : 440.8 - 84 = 356.8 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Isı eşanjöründe geri kazanılabilecek enerji} : 356.8 * 74.4 = 26546 \text{ kJ/h}$$

$$\text{Geri kazanılan toplam enerji miktarı} : 25728 + 26546 = 52274 \text{ kJ/h}$$

$$6 \text{ bar'daki doymuş suyun enerjisi} : 697.5 * 84 = 58590 \text{ kJ/h}$$

$$\text{Enerji geri kazanım yüzdesi} : \frac{52274}{58590} = \%89.2$$

Kazan yüzey blöfünden enerji geri kazanım sistemlerinde hem flaş buhar hem de buharlaşmayan blöfün enerjisinden yararlanılır. Bu durumda işletmede blöf ile atılan kazan suyunun bünyesindeki enerjinin %89'ü geri kazanılabilir. Başka bir deyişle kazandan saatte 9.6 kg daha az buhar çekileceği için enerji tasarrufu sağlanmış olur.

İşletmedeki buharın ton maliyeti 36.30 YTL (LNG' ye göre) olduğu kabul edilirse;

Günde üretilen flaş buhar miktarı :  $9.6 * 24 = 226.6$  kg/gün

Flaş buhardan sağlanan günlük tasarruf :  $226.6 * 36.30 = 8.23$  YTL/gün

Yıllık kazanç :  $8.23 * 360 = 2961.21$  YTL/yıl

Isı eşanjöründen kazanılan enerji ile kazan besisi suyuna ön ısıtma yapılır. Saatte 7 ton debisi olan suyun sıcaklığını 3.8°C arttırabiliriz.

#### **2.4.1.2 Bir ilaç fabrikasında flaş buhar uygulaması**

İstanbul Avrupa yakasında başka bir işletmede de ise kazan suyu iletkenlik değeri 2000 ppm değerinde tutulmaktadır. Bu iletkenlik değeri normalin altındadır. Standartlara göre (TRD 611) skotch tipi kazanlarda iletkenliğin 3500 ppm'den büyük olmaması belirtilmektedir.

Kazandan fazladan yapılan blöf neticesinde kaybedilmekte olan enerji bedeli detayları ile aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

#### **Mevcut durumda yapılan blöf miktarı;**

Kullanılan buhar miktarı : 10000 kg/h

İşletme basıncı : 7.2 bar

Buhar sıcaklığı : 170 °C

Besi suyu TDS değeri : 75 ppm

Kazan suyu TDS değeri : 2000 ppm

Kullanılan yakıt : Doğal gaz

$$\text{Blöf miktarı} = \frac{F * S}{B - F}$$

$$\text{Blöf miktarı} = \frac{75 * 10000}{2000 - 75} = 390 \text{ kg/h}$$

Otomatik yüzey blöf kullanılması durumunda, kazan suyu suyu TDS değeri 3500 ppm'de sabit tutulacaktır. Bu şartlarda yapılacak blöf miktarı;

$$\text{Blöf miktarı} = \frac{75 * 10000}{3500 - 75} = 219 \text{ kg/h}$$

Yapılan fazla blöf miktarı:  $390 - 219 = 171 \text{ kg/h}$

Gereğinden fazla yapılan blöf su, kazan kimyasalı ve yakıt sarfiyatına neden olur. Bu kayıpları parasal olarak değerlendirecek olursak aşağıdaki sonuçlara varırız; (İşletme 24 saat ve 330 gün çalışmaktadır.)

Suyun ton fiyatı	: 3\$ = 2 €
Fazladan yapılan blöf miktarı	: 171 kg/h
Günlük sarfedilen su miktarı	: $171 * 24 = 4080 \text{ kg}$
Yıllık sarfedilen su miktarı	: 1346.4 ton
Yıllık su kaybı	: $1346.4 * 2 = 2693 \text{ €}$
Aylık kullanılan kimyasal miktarı	: 80kg
1 kg kimyasal maliyeti	: 5 €
Aylık kazan kimyasalı maliyeti	: $80 * 5 = 400 \text{ €}$
Aylık kullanılan su miktarı	: $10000 * 24 * 30 = 7200 \text{ ton}$
1 ton su için kazan kimyasalı maliyeti	: $\frac{400}{7200} = 0.06 \text{ €}$
Yıllık sarfedilen su miktarı	: 1346.4 ton
Yıllık kimyasal kaybı	: $1346.4 * 0.06 = 80.78 \text{ €}$
Blöf ile fazladan atılan su miktarı	: 171 kg/h
7,2 bar daki suyun enerjisi	: 725.5 kJ/kg
20 °C 'deki suyun enerjisi	: 83.72 kJ/kg
Atılan enerji miktarı	: $(725.5 - 83.72) * 171 = 109744.4 \text{ kJ/h}$

Doğal gazın alt ısı değeri	: 34320 kJ/m <sup>3</sup>
Kazan verimi	: % 94
1 m <sup>3</sup> yakıt cinsinden alınabilecek enerji	: 34320 * 0.94 = 32260.8 kJ'dür.
Fazla blöften kaybedilen yakıt miktarı	: $\frac{109744.4}{32260.8} = 3.41 \text{ m}^3/\text{h}$
Günlük yakıt kaybı	: 3.41 * 24 = 81.64 m <sup>3</sup> /gün
Doğal gazın birim fiyatı	: 0.46 YTL
Günlük yakıt kaybı	: 37.5 YTL = 22.1 €
Yıllık yakıt kaybı	: 22.1 * 330 = 7290 €

Yıllık toplam kayıplar : Su + Yakıt + Kimyasal = 2693 + 80.78 + 7290 = 10063.8 €

Yüzey blöfün otomatik olarak yapılması durumunda yılda 10,063.8 € tasarruf sağlanmış olur. Ayrıca blöften yararlanılarak elde edilen flaş buhar ile daha da tasarruf sağlanmış olur. Flaş buhar basıncı 1.1 bar olarak tasarlanabilir.

7.2 bar'daki doymuş suyun entalpisi (h <sub>f1</sub> )	: 725.5 kJ/kg
1.1 bar'daki doymuş suyun entalpisi (h <sub>f2</sub> )	: 512.8 kJ/kg
1.1 bar'daki buharlaşma entalpisi (h <sub>g</sub> )	: 2197 kJ/kg

$$\text{Elde edilecek flaş buhar oranı} = \frac{725.5 - 512.8}{2197} = 0.097$$

Yani 7.2 bar'dan 1.1 bar basınca boşalan yüzey blöfün %9.7 'lik kısmı buharlaşmaktadır.

Elde edilen flaş buhar miktarı	: 0.097 * 219 = 21.243 kg/h
Flaş buharın enerjisi	: 21.243 * 2197 = 46670 kJ/h
Yılda geri kazanılacak flaş buhar miktarı	: 21.243 * 24 * 330 = 168.244 ton
1 ton buharın maliyeti	: 33.19 YTL = 19.52 €
Yıllık tasarruf	: 19.52 * 168.244 = 3284 €
Isı eşanjöründe kullanılacak su miktarı	: 219 - 21.243 = 197.757 kg/h

121.9 °C 'deki yüzey blöfü 40°C ' ye kadar soğutmak için çekilmesi gerekli olan ısı miktarı şu şekilde hesaplanır;

$$Q = m * c * \Delta t$$

$$Q = 197.757 * 4.186 * (121.96 - 40)$$

$$Q = 67847 \text{ kJ/h}$$

Geri kazanılan enerji = Flaş buhar enerjisi + Sıcak blöfün enerjisi

$$\text{Geri kazanılan enerji} = 46670 + 67847 = 114517 \text{ kJ/h}$$

Hiçbir geri kazanım yapılmadan yüzey blöf ile dışarı atılan enerji:  $725.5 * 219 = 158884$  kJ/h'dir.

Başka bir değişle dışarıya atılan enerjinin %72 kullanılmaktadır. Geri kazanım çalışması ile kazanda 114517 kJ/kg enerjinin daha az harcanması sağlanacaktır. Bu enerjinin eğer kazandan (yakıttan) sağlanmaya devam edilirse harcanacak yakıtın maliyeti;

$$\text{Yakıt miktarı} : \frac{114517}{(34320 * 0.94)} = 3.55 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ doğal gazın işletmeye maliyeti} : 0.46 \text{ YTL} = 0.27 \text{ €}$$

$$\text{Saatlik tasarruf} : 3.55 * 0.27 = 0.95 \text{ €}$$

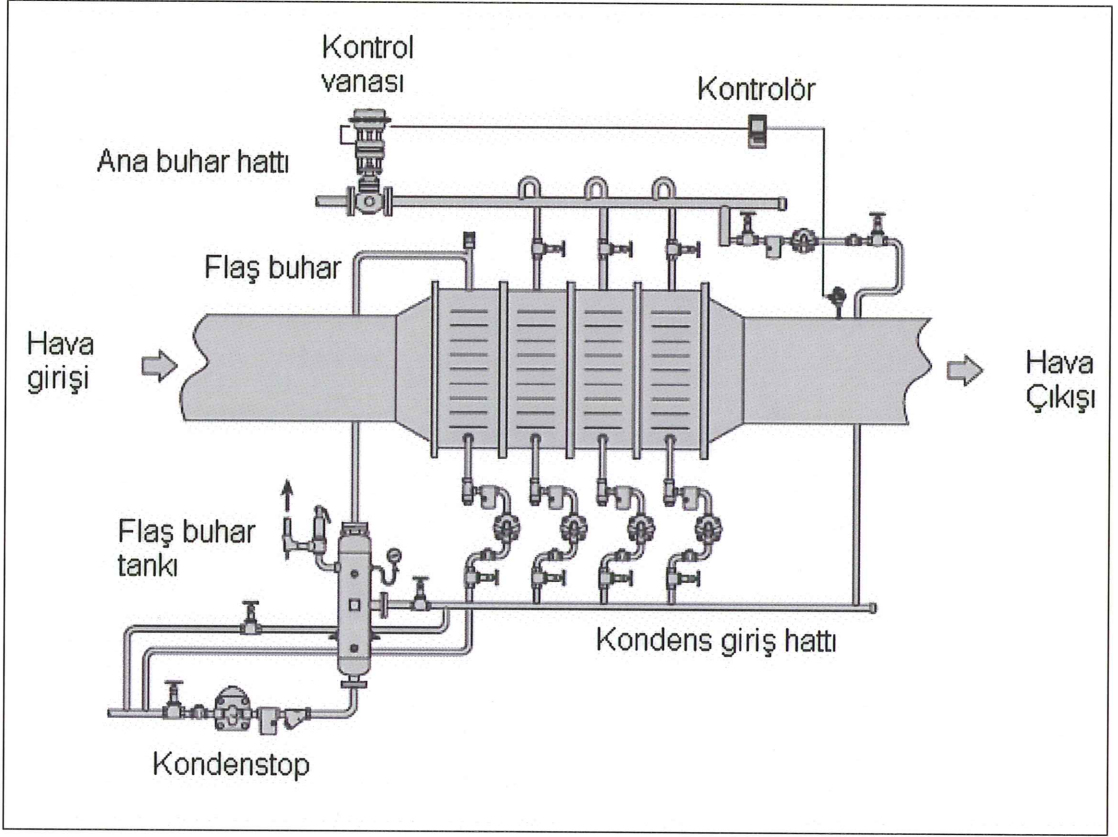
$$\text{Yıllık tasarruf} : 0.95 * 24 * 330 = 7590 \text{ €}$$

Hem otomatik yüzey blöf hem de flaş buhar sisteminden toplam enerji geri kazanımı yıllık 17654 €' dur.

## 2.5 Kondenzen Flaş Buhar Elde Edilmesi

Isı transfer yüzeylerinde ısıyı veren buhar aynı basınç ve sıcaklıktaki kondense dönüşür. Kondensleri toplayıp daha düşük basınçlı bir tankta toplayarak flaş buhar elde etmek mümkündür.

Kondensten flaş buhar elde ederken kondensstopların karşı basınçları göz önünde bulundurulmalıdır. Kondensstopların boşaltma kapasiteleri, kondensstoptan önceki ve sonraki basınç arasındaki basınç farkına göre belirtilir. Kondensstoptan sonraki karşı basınç arttıkça basınç farkı azalır ve bu durum boşaltma kapasitelerinin azalmasına neden olmaktadır. Eğer flaş tank basıncı belirlenirken boşaltma kapasiteleri dikkate alınmaz ise tüm sistemde ciddi sorunlara neden olur.



Şekil 2.4 : Çay Kurutma Makinesindeki Buhar Tesisatı

Şekil 2. 4'te çay fabrikalarındaki, çay kurutma fırınlarında flaş buhar yardımı ile enerji tasarrufu yapabileceğine ilişkin bir örnek görülmektedir. Kondenssten elde edilecek flaş buhar, proses için gerekli olan havaya ön ısıtma amaçlı kullanılacaktır.

5 bar ve 3000 kg/h buhar tüketen çay kurutma fırınından 1 bar basınçta elde edilecek flaş buhar miktarı;

$$m = \frac{(670.9 - 505.6) * 3000}{2201.1} = 225 \text{ kg/h}$$

$$\text{Flaş Buharın sahip olduğu enerji} = 225 * 2706 = 608850 \text{ kJ/h}$$

Mevsimsel çalışan bir çay fabrikasının yıllık yaklaşık çalışma süresi 2160 saat'dir.

Bu örnekte yılda 486000 kg buhar kazanda üretilmeyip flaş buhar ile elde edilecektir.

**Tablo 2.6: Örnekteki Basınç Değerleri İçin Buhar Tablosu**

Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Özgül Entalpi (kJ/kg)			Özgül Hacim m <sup>3</sup> /kg
		Su	Buharlaşma	Buhar	
0.2	105.1	440.8	2250.2	2680.2	1.414
1	120.42	505.6	2201.1	2706.7	0.881
5	158.92	670.9	2086	2756.9	0.315

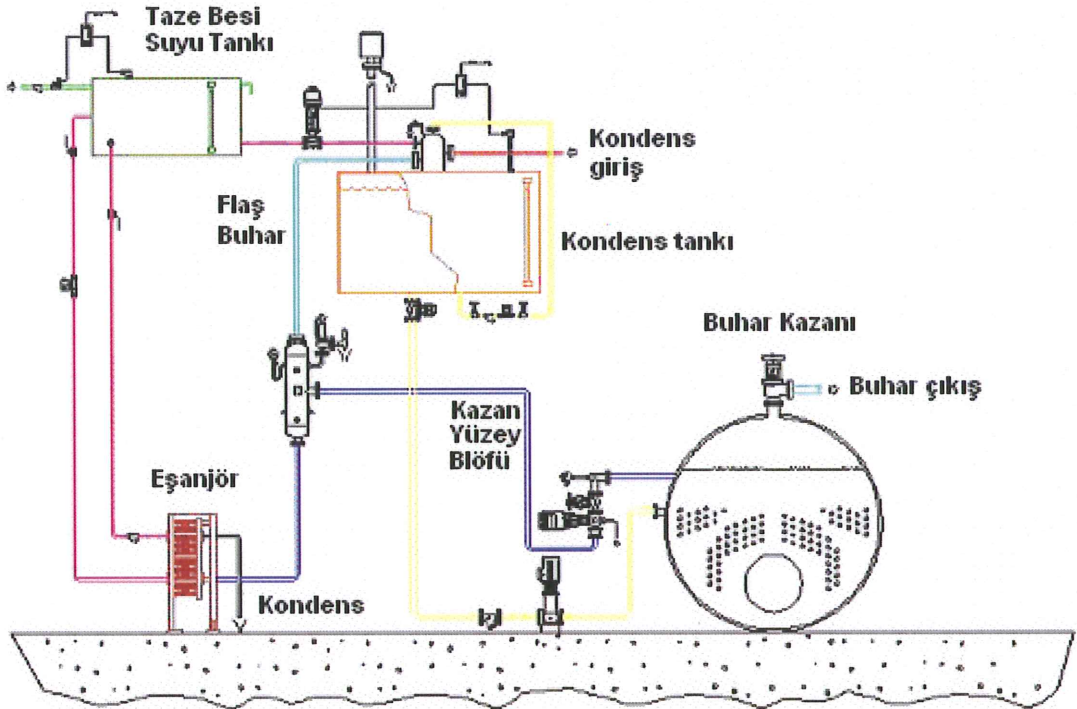
- Yakıt cinsi : Doğal gaz
- Besi suyu sıcaklığı : 102°C
- Isı ihtiyacı :  $2756.9 - (4.186 \cdot 102) = 2329.93$  kJ/h
- 1 tonun toplam ısı ihtiyacı : 232993 kJ
- Yakıtın alt ısı değeri : 34534 kJ/m<sup>3</sup>
- Kazan verimi : %94
- Yakıt ihtiyacı :  $\frac{232993}{34534 \cdot 0.94} = 71.77$  m<sup>3</sup>/h
- Yakıtın maliyeti : 0.4598 TL
- 1 ton buharın maliyeti :  $71.77 \cdot 0.4598 = 33.00$  YTL
- Yıllık tasarruf :  $33 \cdot 486000 = 16038$  YTL

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Flaş buhar miktarını deneysel olarak belirlemek amacıyla INTERVALF Showroom'unda bir deney tesisatı oluşturulmuş, gerekli ölçüm cihazları kullanılarak deneyler burada gerçekleştirilmiştir. Kazanın farklı basınçlarda çalıştırılması durumuna göre oluşan flaş buhar debisi belirlenmeye çalışılmıştır. Kazan çıkışındaki ve flaş buhar kondens çıkışındaki debiler Ultrasonik debimetre vasıtasıyla ölçülmüştür.

#### 3.1 Deney Tesisatında Kullanılan Cihazlar

Bu bölümde Şekil 3.1'de görülen cihazların teknik detayları verilecektir.



Şekil 3.1 : Deney Tesisatının Şematik Gösterimi.

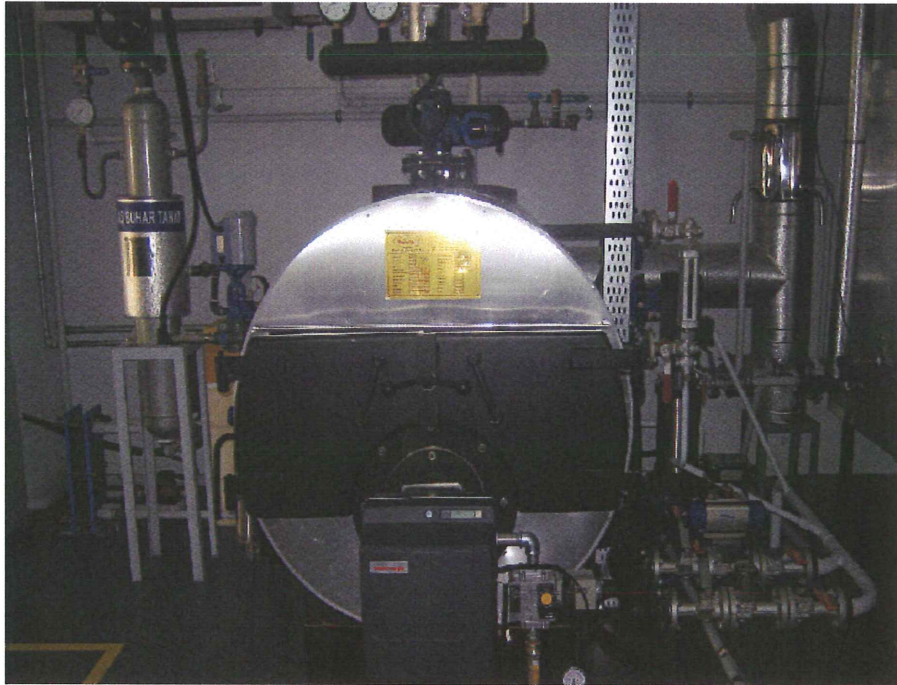
### 3.1.1 Buhar kazanı

Üniversal marka kazanın işletme basıncı 5 bar ve buhar üretim kapasitesi 150 kg/h'dir. Kazan üç geçişli alev duman borulu olup, üzerinde TRD 604 Normuna uygun 72 saat gözetimsiz çalışma için gerekli emniyet kontrol sistemine sahiptir.

Kazandan buhar çekişi oldukça kazan içi su seviyesi azalır. Azalan su miktarını kazana emniyetli şekilde beslemek için otomatik oransal seviye sistemi kullanılmaktadır.

Kazan içi su seviyesi belirlenen değerin üstünde olursa tesisata su sürüklenir ve koç darbelerine neden olur. Su seviyesi çok düşer ise de bu durum ciddi sorunlara neden olur. Bu yüzden kazan üzerinde 2 adet düşük su seviye 1 adet yüksek su seviye kontrol sistemi mevcuttur.

Ayrıca kazan atık ısısından yararlanarak kazan besli suyu ön ısıtılması ekonomizör vasıtasıyla olmaktadır.



Şekil 3.2 : Deney Tesisatında Kullanılan Buhar Kazanı

### 3.1.2 Besi suyu tankı

Saatte çekilen buhar miktarı ve blöf ile dışarı atılan su kadar kazana su beslemek gerekir. Geri dönmeyen kondens ve blöf kayıplarından dolayı azalan su miktarı, besi suyu tankından kondens tankına beslenir. Besi suyu hattı üzerinde bulunan selenoid vana, tank üzerindeki otomatik seviye sisteminin kontrolöründen alınan sinyaller ile açılıp kapanarak tanka gerekli miktarda su geçişini sağlar.



Şekil 3.3 : Deney Tesisatında Kullanılan Kondens Tankı

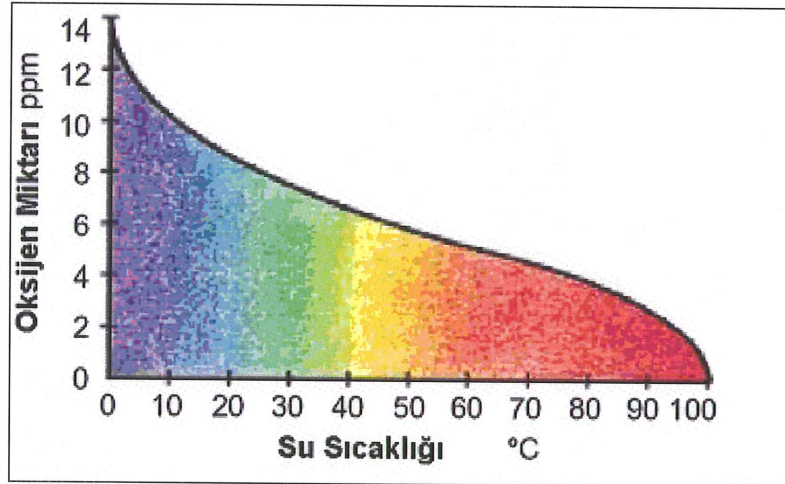
### 3.1.3 Kondens tankı

Buhar ısı transfer yüzeylerinde ısını verdikten sonra aynı basınç ve sıcaklıkta suya dönüşür. Bu suya kondens denir. Yüksek sıcaklıktaki kondensi tanka döndürmeyerek önemli ölçüde ısı enerjisi kaybedilir. Çünkü kazana aynı oranda düşük sıcaklıkta su alınır. Alınan bu suyu, kazan şartlarına getirmek için verilen enerji suyun sıcaklığına bağlıdır. Ne kadar düşük sıcaklıkta su kazana alır ise o kadar fazla yakıt enerjisi verilir ve yakıt sarfiyatı artar. Kazana giren suyun sıcaklığı ne kadar yüksek ise o kadar yakıt sarfiyatı azalır.

### 3.1.4 Degazör

İşletmedeki cihazların ve sistemin verimliliği ve uzun ömürlü olması için oksijen ve diğer gazların elimine edilmesi gerekir. Gazların besi suyundan elimine edilebilmesi için degazörler ve çeşitli kimyasal maddeler kullanılır. Su içerisinde çözülmüş halde bulunan karbondioksit 60°C'de oksijen ise 102 °C'de elimine edilir. Basınçlı tip termik degazörlerde, besi suyu sıcaklığını 102°C'ye çıkarılarak gaz alma işlemi yapılmaktadır. Ancak işletmelerin büyük bir çoğunluğunda degazör bulunmamakta ve gaz alma işlemi için kimyasal maddeler (sodyum sülfid vb.) kullanılmaktadır.

Su içerisindeki oksijen miktarı sıcaklığa bağlı olarak değişir. Örneğin 80 °C'de su içerisinde çözülmüş oksijen miktarı yaklaşık 3 ppm iken 90 °C'de yaklaşık 1,6 ppm'e düşmektedir. Yani besi suyu sıcaklığı arttıkça, su içerisindeki oksijeni elimine etmek için kullanılacak kimyasal madde miktarı düşecektir.



Şekil 3.4 : Sıcaklığa Göre O<sub>2</sub> Miktarı

Besi suyunda erimiş haldeki serbest oksijen (O<sub>2</sub>) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) kazanın ısıtma yüzeylerinin su tarafında ayrıca buhar ve kondens hatlarında korozyona sebep olurlar. Bu korozyon gazları degazör sayesinde ayrıştırılır.

Kazan borularının su tarafında O<sub>2</sub>'nin yarattığı mercimek büyüklüğündeki oyuklar oksijen korozyonunun, kondens borularında meydana gelen yarıklar ise CO<sub>2</sub>'in belirtileridir.

Kazan besi suyunun pH değeri 7'den daha az (asidik özellikte) olursa bu korozyon çok şiddetlenir. Tabaka halinde erozyon meydana gelir.



Şekil 3.5 : Deney Tesisatında Kullanılan Kondens Tankı ve Degazör

### 3.1.5 Ekonomizör

Kazanı terk eden duman gazlarının sıcaklığı kazan suyunun doyma sıcaklığından daha yüksektir. Isı geçişinin pratik ve ekonomik olarak makul seviyelerde olabilmesi için su ile duman gazı sıcaklıkları arasındaki fark 50 ile 75°C mertebelerine kadar indirilmektedir. Bu durumda hiçbir önlem alınmazsa buhar kazanlarında duman sıcaklıkları 200 ile 350°C arasında bir değerde dışarı atılmaktadır. Aradaki bu farktan yararlanmak üzere su ekonomizör denilen ısıtıcıları kullanılır.

Ekonomizörler baca gazlarının atık ısısından yararlanarak su ısıtmak ve böylece yakıt ekonomisi sağlamak üzere kullanılır. Isıtılacak bu su kazan besi suyu olabileceği gibi herhangi bir noktadaki sıcak su ihtiyacını karşılayacak su da olabilir. Isıtılacak suyun sıcaklığına bağlı olarak ekonomizör malzemesi değişmektedir.



**Şekil 3.6 : Deney Tesisatında Kullanılan Ekonomizör**

### **3.1.6 Flaş buhar tankı**

Yüksek basınç ve sıcaklıktaki kondens daha düşük bir basınca açılınca enerji ortaya çıkar. Entalpi farkından dolayı açığa çıkan bu enerji kondensin bir miktarını buharlaştırır. Bu buhara flaş buhar denir.



**Şekil 3.7 : Deney Tesisatında Kullanılan Flaş Buhar Tankı**

Flaş buhar ile flaş buhar tanklarında elde edilerek atmosfere atılan enerjinin geri kazanılması sağlanır. Flaş buhar geri kazanımı, kazan yüzey blöfünden elde edileceği gibi kondens dönüşünden de elde edilebilir.

### 3.1.7 Numune alma kabı ve iletkenlik ölçüm cihazı

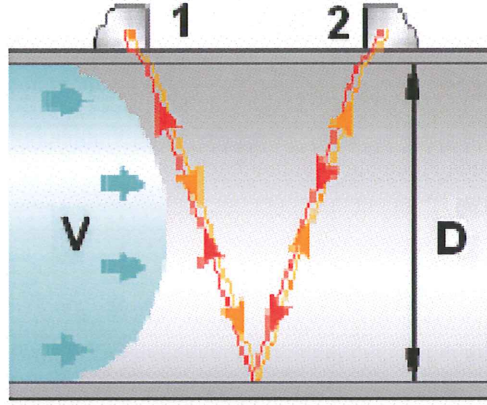
Kazan iletkenlik değeri ölçülürken, kazandan alınan numune suyu eğer herhangi bir kaptan toplanırsa, suyun bir kısmı basınç düşümü nedeniyle flaş buhara dönüşür. Bu nedenle yapılacak iletkenlik ölçümü sağlıklı olmayacaktır. Flaş buharın oluşumunun önüne geçmek için içerisinde bir serpantin bulunan numune alma kabı kullanılır. Kabın bir tarafından soğutma suyu diğer tarafından da numune suyu geçirilir. Numune suyunun iletkenliği, iletkenlik ölçüm cihazı ile ölçülür. İletkenlik ölçüm aletinin hata oranı %2.4'dür. Hata analizi Ek A'da belirsizlik analizine göre yapılmıştır.



Şekil 3.8 : Deney Tesisatında Kullanılan Numune Alma Kabı

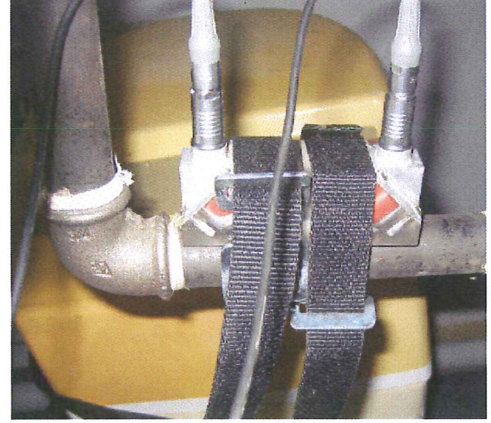
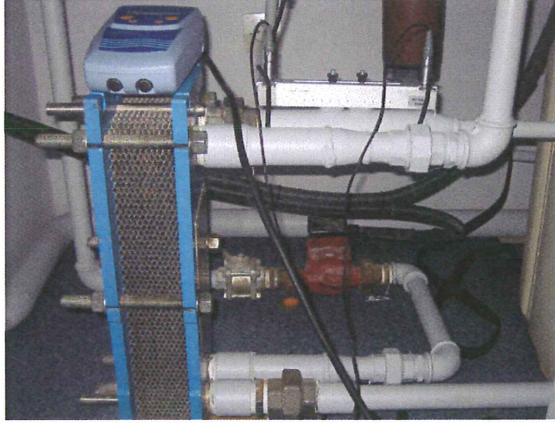
### 3.1.8 Ultrasonik debimetre

Ultrasonik debimetre ile kapalı boru hattında akışkan debisi ölçümü gerçekleştirilmektedir. Sistemin durdurulmasına ve hattın kesilmesine gerek kalmadan ölçüm yapılabilmektedir.



Şekil 3.9 : Ultrasonik Debimetrenin Prensibi

Ölçüm sırasında ölçülen değer ile gerçek değer birbirine çok yakın olması uygulanan kalibrasyona bağlıdır. Ölçüm yapılan aletin kalibrasyonu ISO 4064-1:2005 Standartlarına uygun olarak en büyük müsaade edilen hata oranı olan  $\% \pm 2$  olarak yapılmıştır.



Şekil 3.10 : Deney Tesisatında Kullanılan Ultrasonik Debimetrenin Problemi

Ölçüm aleti ile birlikte verilen problemlerin yer aldığı aparatlar, problemlerin deney için hatasız yerleştirilmesine ve sağlıklı ölçüm yapılmasına olanak sağlamaktadır. Problemlerin yerleştirilmesinden sonra deney ölçümünde transmitterin frekansı, sıcaklığa bağlı akışkanın ses hızı ve Reynolds sayısı gibi hidrolik değerler prob lokasyonlarında önemli rol oynarlar.



Şekil 3.11 : Deney Tesisatında Kullanılan Ultrasonik Debimetre Okuma Ünitesi

### 3.2 Deneylerin Yapılışı

Debimetreye öncelikle boru ile ilgili veriler girilir (Boru çapı, boru malzemesi ve et kalınlığı). Hangi birimde ölçüm yapılacağı ve akışkan cinsi belirtildikten sonra prob ayarları yapılır. Prob numarasını ve ölçüm modelini belirttikten sonra iki prop arası mesafe otomatik olarak ekranda belirir. Bu mesafelere göre problar yerleştirildikten sonra ölçüm yapılır.

6 farklı basınç için giriş ve çıkış debi değerleri ölçülmüştür. Ayrıca boru hattındaki ve kazan üzerindeki manometreler sayesinde basınç değerleri bar cinsinden okunmuştur.

Hız değerlerinin yüksek olmasından dolayı akış türbülanslıdır. Ayrıca ölçülen su, içerisinde kazan kimyasallarını barındırdığı için saf su değildir. Ama kazan suyunun viskozitesi bilinmediği için suyun viskozitesi dikkate alınmıştır.

Debisi bilinen kazanın yüzey blöf vanasından besi suyunun tamamının boşaltılması durumunda ölçümler yapılmıştır. Kazan blöf vanasından geçen debi miktarı aynı zamanda yüzey blöf sisteminden de belirlenebilir. Üç geçişli kazan olmasına rağmen kazan suyu iletkenlik değeri 3500 ppm de tutulmamıştır. 150 kg/h blöf yapacak şekilde iletkenlik değeri Denk 3.1'deki gibi hesaplanır. Bu değer kontrolöre girilerek vananın

150 kg/h blöf yapması sağlanır.

$$b = \frac{S*f + B*f}{B} \quad (3.1)$$

Yani kazanda üretilen debi miktarı kadar blöf yapılacaktır. Bu durumda;

$$S=B \quad (3.2)$$

Denklemleri düzenlediğimizde, blöf iletkenlik değeri Denk. 3.3'deki gibidir.

$$b = 2f \quad (3.3)$$

Kondens tankından, kazan besisi suyu pompası yardımıyla basılan su, kazana gönderilir,

Kazan havalığı açık olduğundan kazan basıncı başlangıçta atmosferik basınca eşittir.

Kazan doldurulduktan sonra deney yapılacak basınca getirilir. Daha sonra kazanın blöf yapılması sağlanıp debi ölçümleri yapılmıştır.

**Tablo 3.1:** Deneydeki Ölçüm Değerleri

Kazan basıncı (bar)	Ölçülen giriş debisi (kg/h)	Ölçülen çıkış debisi (kg/h)	Flaş buhar debisi (kg/h)
5	120.3	109.7	10.6
4	125.5	116.3	9.2
3	137.9	129.8	8.1
2	140.7	135.2	5.5
1	144.2	142	2.2
0.6	145.3	144.8	0.5

Her bir deneyde 2 ayrı noktada ölçüm yapılmıştır. İlk ölçüm noktası kazan blöf hattında ikinci ölçüm noktası ise kondens çıkış hattındadır. Oluşan flaş buhar miktarı ise bu iki ölçüm arasındaki farktır. Ölçülen debiler ve hesaplanan flaş buhar miktarları Tablo 3.1’de belirtilmiştir.

#### 4. DENEYİN İRDELENMESİ

Manometreler hatta dik monte edildikleri için statik basıncı ölçerler. Deney tesisatında, kazan üzerinde ve 50 cm uzunluğundaki kazan blöf hattının, kazandan 35 cm uzağında bulunan manometreler sayesinde statik basınçlar okunmuştur. Kazan üzerindeki manometrede basınç 3 bar olarak okunurken 35cm uzaktaki manometre 1 bar'ı göstermektedir. Giriş noktası ile giriş noktasından 35cm uzaktaki nokta arasında Bernoulli denklemi uygulanır ise hız elde edilir.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 \quad V_1 \approx 0 \quad (4.1)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho V_2^2 \quad (4.2)$$

$$300000 - 100000 = \frac{1}{2} (922.5) V_2^2 \quad V_2 = 20.8 \text{ m/s}$$

Diğer basınç değerlerine karşılık gelen hızlar Tablo 4.1 'de belirtilmiştir.

**Tablo 4.1:** Deneydeki Sonuçlar İle Hesaplanan Hız Değerleri

Kazan basıncı (bar)	X=35cm'deki basınç (bar)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Hız (m/s)
5	2.2	900.9	24.9
4	1.8	914.9	21.9
3	1.0	922.5	20.8
2	0.9	931.9	15.4
1	0.6	943.4	9.2
0.6	0.5	948.8	4.1

Tablodan açıkça görüldüğü üzere basınç arttıkça hızda artmaktadır.

Tablo 4.2'de formül ile elde edilen flaş buhar miktarları belirtilmiştir. Ölçüm aletindeki olası kalibrasyon eksikliğinden dolayı ölçüm sonuçları gerçek değerlerden sapmıştır.

$$FBO = \frac{h_{f1} - h_{f2}}{h_{fg2}} \quad (4.3)$$

**Tablo 4.2: Formül İle Bulunan Flaş Buhar Miktarı**

Kazan basıncı (bar)	Giriş debisi (kg/h)	Flaş buhar debisi (kg/h)	Flaş buhar oranı
5	150	13.6	%9.1
4	150	11.6	% 7.7
3	150	9.2	%6.1
2	150	6.3	%4.2
1	150	2.5	%1.6
0.6	150	0.5	%0.3

Tablodan açıkça anlaşılacağı üzere flaş buhar oranı (FBO) giren ve çıkan doymuş suyun basınçlarına bağlı olarak lineer değişmektedir.

Flaş buhar oranı aynı zamanda oluşan flaş buhar debisinin ve tanka giren kondens miktarına oranıdır. Bu sayede, giriş debisi ve basıncı bilinen suyun, değeri bilinen daha düşük basınçlı bir ortama açılması durumunda oluşacak flaş buhar miktarı bulunabilir.

**Tablo 4.3: Deneydeki Flaş Buhar Miktarı**

Kazan basıncı (bar)	Ölçülen giriş debisi (kg/h)	Flaş buhar debisi (kg/h)	Flaş buhar oranı
5	120.3	10.60	%8.8
4	125.5	9.20	%7.3
3	137.9	8.09	%5.8
2	140.7	5.49	%3.9
1	144.2	2.19	%1.5
0.6	145.3	0.49	%0.3

Tablo 4.4'te ölçüm giriş debisi değerleri ölçüm aletinden okunan değerler, flaş buhar oranı ise entalpiler oranıdır. Bu durumda flaş buhar debisi Denklem 5.4 yardımıyla hesaplanır.

$$\text{Flaş buhar debisi} = \text{Flaş buhar oranı} * \text{Ölçülen giriş debisi} \quad (4.4)$$

**Tablo 4.4: Flaş Buhar Debisi**

Kazan basıncı (bar)	Ölçülen giriş debisi (kg/h)	Flaş buhar oranı	Flaş buhar debisi (kg/h)
5	120.3	%9.103	10.95
4	125.5	%7.746	9.72
3	137.9	%6.155	8.48
2	140.7	%4.219	5.93
1	144.2	%1.676	2.42
0.6	145.3	%0.361	0.52

Deneyde giriş basıncı arttıkça hız değerleri de liner olarak artmaktadır. Hızın artması türbülansı arttığı için ölçüm değerlerinde gerçek değerlere göre sapmalar görülmüştür. Hızın düşük olduğu 0.6 bar'da ölçme aletinden okunan değer gerçek değere yakındır. Basınç arttıkça hata oranı artmakta, yani ölçüm sonuçları gerçek değerlerden uzaklaşmaktadır.

Ayrıca deney ve formül ile elde edilen debiler farklı olmasına rağmen FBO'ları kıyaslandığında değerler birbirine yakın çıkmıştır. Deneydeki ölçme aleti sadece sıvı akışkanların debilerini ölçme özelliğine sahip olduğu için giriş ve kondens çıkış sınır şartlarında ölçüm yapılmıştır. Bu iki noktada çaplar farklı olduğu için debi değerleri yani hızlarda farklıdır. Dolayısıyla hata oranları iki noktada da aynı değildir.

Denklem 4.4'e göre elde edilen flaş buhar debileri, ölçülen debilere yakındır.

## 5. SAYISAL ÇÖZÜMLEME

Çalışmanın bu bölümünde tek fazlı akış problemi olarak deneyin modellenmesi yapılmıştır. Gambit paket programında modelleme yapılarak ve çözüm ağı oluşturularak sınır şartları belirlenmiştir. Daha sonra flaş buhar tankı içindeki akış, Fluent 6.3 yazılımı ile çözdürülmüştür.

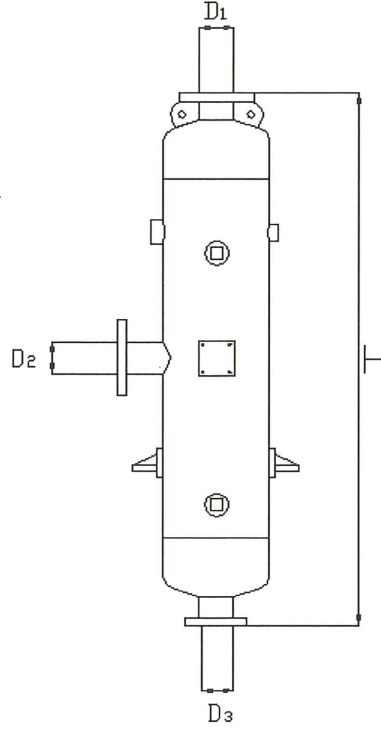
### 5.1 Problemin Tanımı ve Modellenmesi

Modelin ve ağı yapısının oluşturulması ve sınır şartlarının belirtilmesi Gambit programı ile yapılmıştır. Model oluşturulduktan sonra flaş buhar tankı giriş çapları ve basınçları değiştirilerek bu parametrelerin etkisi incelenmiştir. Buna göre her bir model için çözüm yapılan hücre, yüzey ve nokta sayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 5.1: Çözüm Yapılan Nokta Sayıları**

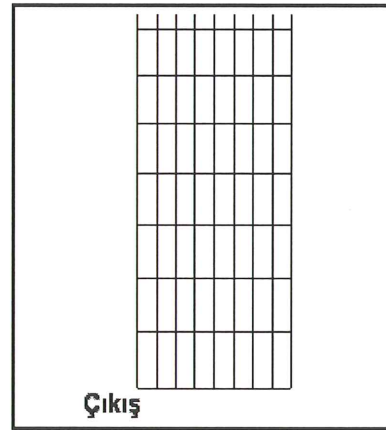
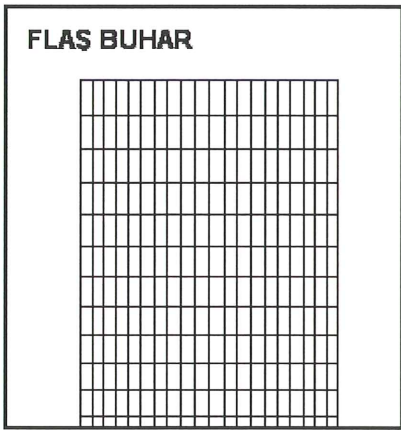
Çap	Hücre	Yüzey	Nokta sayısı
20 mm	18032	36500	18469
40 mm	22736	45980	23245
50 mm	25088	50720	25633
65 mm	28616	57830	29215

Gambit programında sınır şartları olarak girişte Pressure-inlet (giriş basıncı), üst (flaş buhar) ve alt (kondens) çıkış bölümüne Pressure-outlet (çıkış basıncı) ayrıca cidarlara da Wall (duvar) sınır şartı verilmiştir.

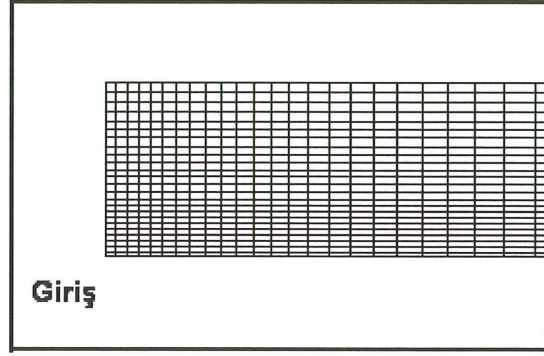


**Şekil 5.1 : Flaş Buhar Tank Ölçüleri**

H : Flaş tank boyu	= 1340 mm
$D_1$ : Flaş buhar çıkış çapı	= 50 mm
$D_2$ : Giriş çapı	= 20-65 mm
$D_3$ : Kondens çıkış çapı	= 20 mm

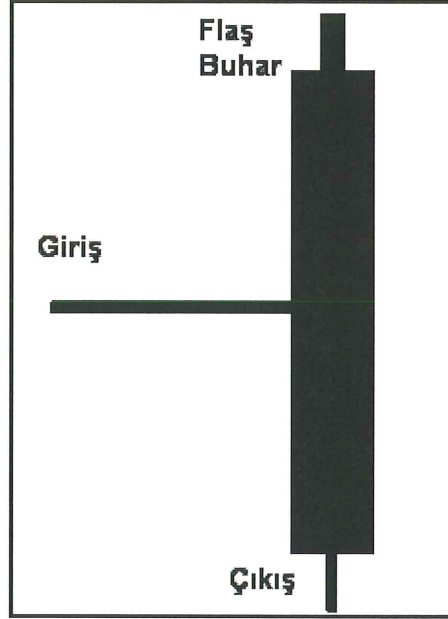


**Şekil 5.2 : Flaş Buhar Sınır Şartının Ağ Yapısı**    **Şekil 5.3 : Çıkış Sınır Şartının Ağ Yapısı**



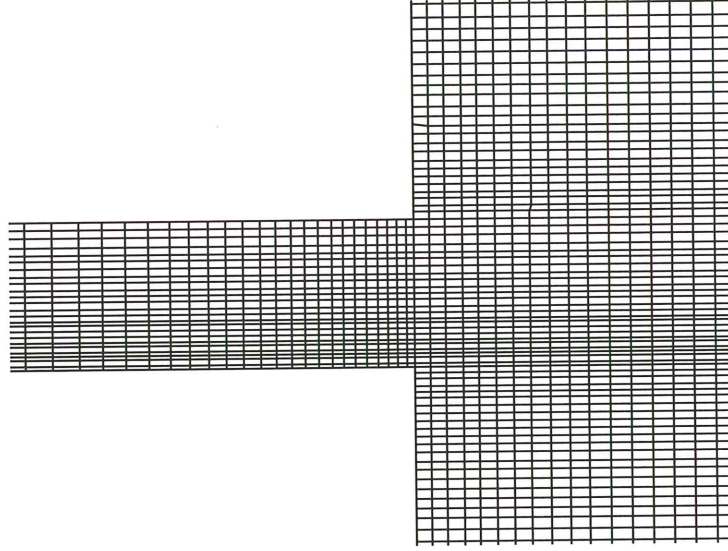
Şekil 5.4 : Giriş Sınır Şartının Ağ Yapısı

Modelde hem tanka giriş çapı hemde giriş basıncı değiştirmiş diğer parametreler sabit tutulmuştur.



Şekil 5.5 : Gambit'te Oluşturulan Ağ Yapısı ve Sınır Şartları

Giriş çapı için DN20, DN40, DN50 ve DN65, Giriş basıncı için 0.6, 1, 2, 3, 4 ve 5 bar, çıkış çapı için ise 0.5 bar değerleri verilmiştir. Flaş buhar çıkış çapı DN50 ve çıkış çapı DN20 olarak sabit tutulmuştur.

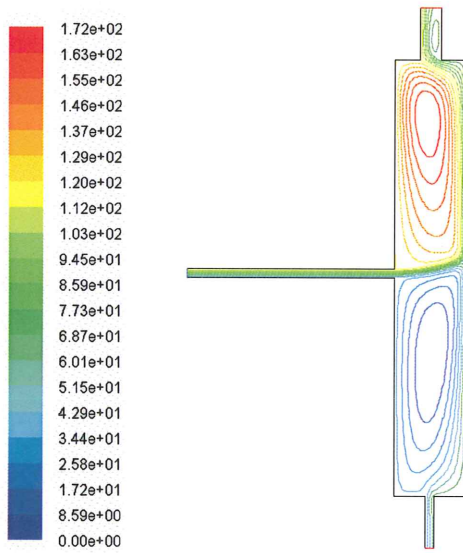


**Şekil 5.6 : Flaş Tanka Giriş Noktasındaki Ağ Yapısı ve Sınır Şartları**

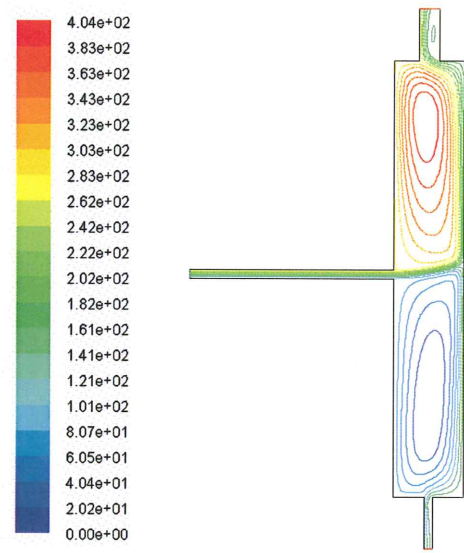
Şekil 5.5’da flaş buhar tankına giriş noktasına yapılan zum ile o bölgeye atılan meshlerin sıklığı görülmektedir. Bu bölgeye daha yoğun mesh atılmasının nedeni akış bu noktadan ikiye ayrılmaktadır. Flaş buhar ve çıkış sınır şartlarındaki çap oranı 2.5’dir. Sayısal çözümlemede akış tek fazlı olarak çözüldüğü için flaş buhar oluşumu söz konusu değildir.

## 6. NUMERİK ÇÖZÜMLEMENİN İRDELENMESİ

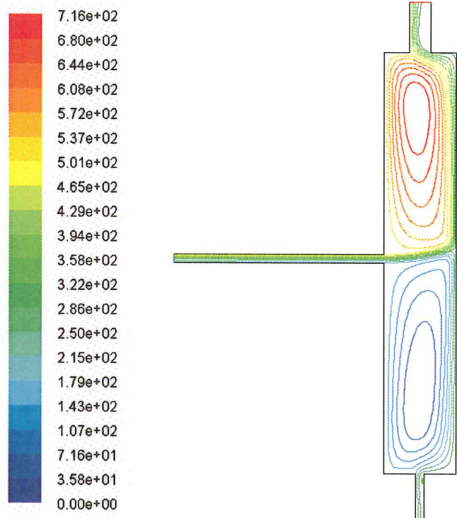
### 6.1 DN20 Çapındaki Modelin Farklı Basınçlardaki Akım Fonksiyonu



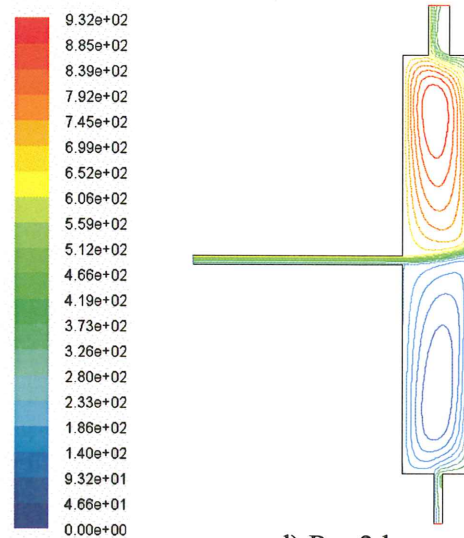
a) P = 0.6 bar



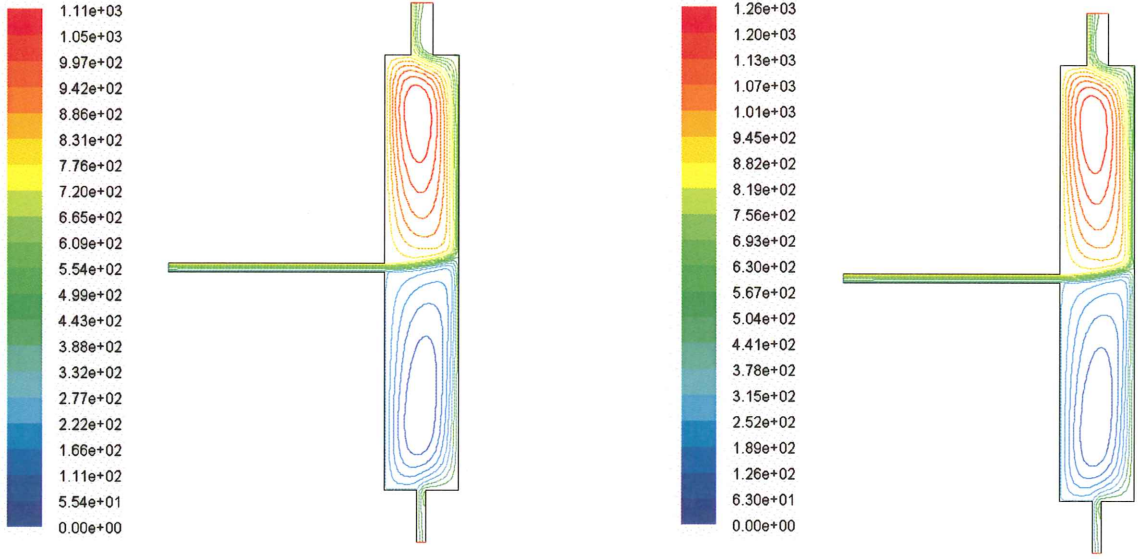
b) P = 1 bar



c) P = 2 bar



d) P = 3 bar

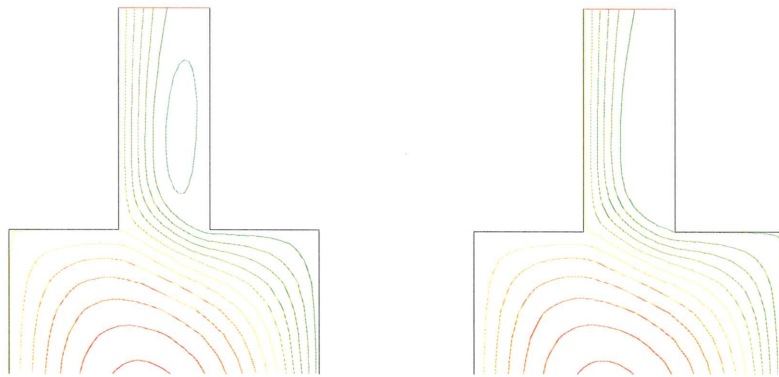


e) P = 4 bar

f) P = 5 bar

Şekil 6.1 : Flaş Buhar Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisi (DN20).

Aynı çapta farklı basınçtaki akım fonksiyonları çizildiğinde çıkış noktalarındaki girdaplar azalmaktadır. Giriş sınır şartı olarak tanımlanan basınç arttıkça giriş ve flaş buhar debileri oranı azalmaktadır. Ayrıca Akım çizgilerinin olmaması akışın buralarda olmadığı anlamına gelmez. Bu noktalarda hız değerleri sıfırdır.

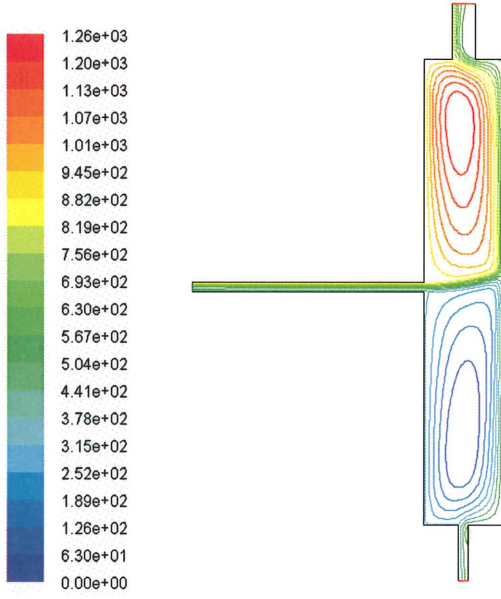


a) P = 0.6 bar

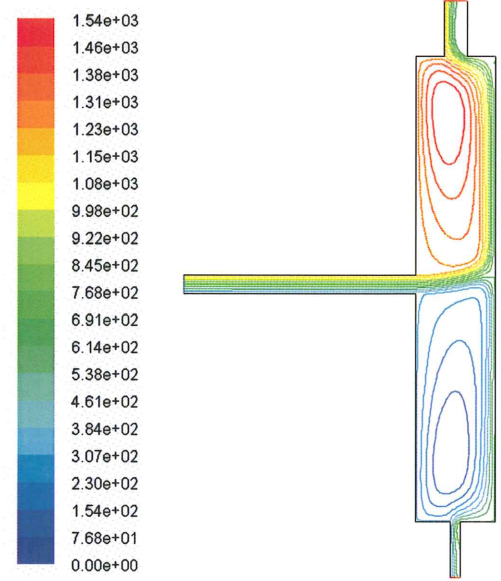
b) P = 5 bar

Şekil 6.2 : Flaş Buhar Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisinin Büyütülmüş Görünümü (DN20).

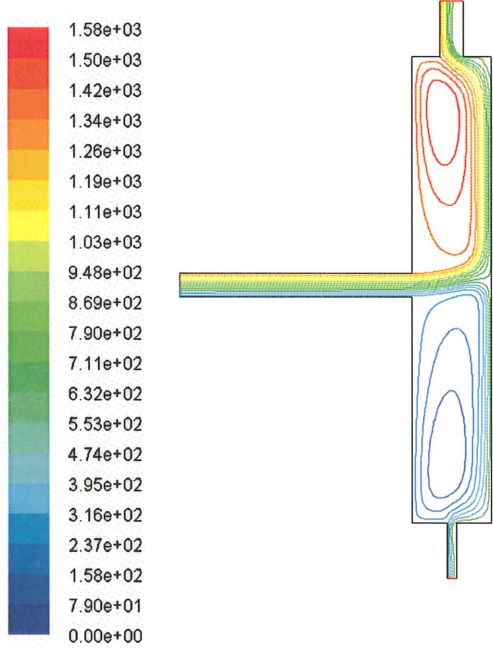
## 6.2 P = 5 bar Basıncındaki Modelin Farklı Çaplardaki Akım Fonksiyonu



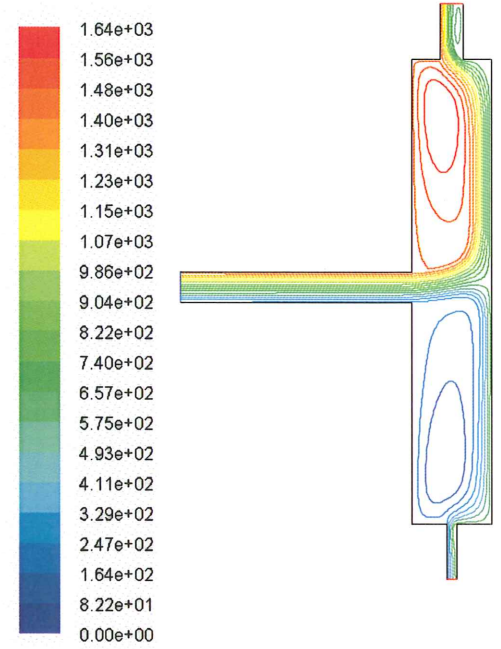
a)  $D_2 = 20$  mm



b)  $D_2 = 40$  mm



a)  $D_2 = 50$  mm

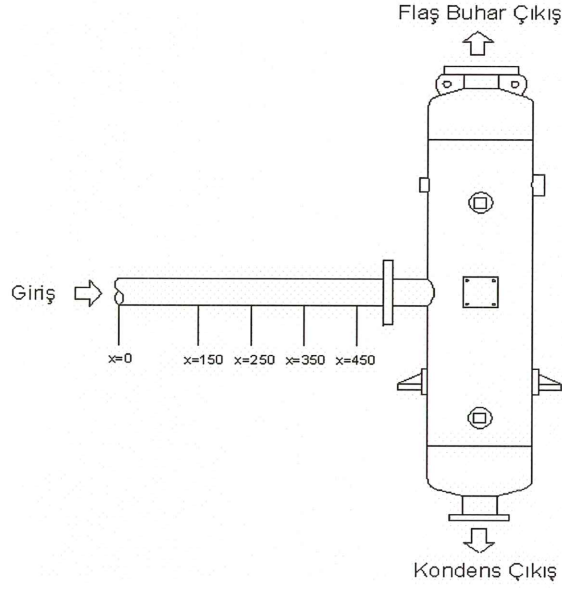


b)  $D_2 = 65$  mm

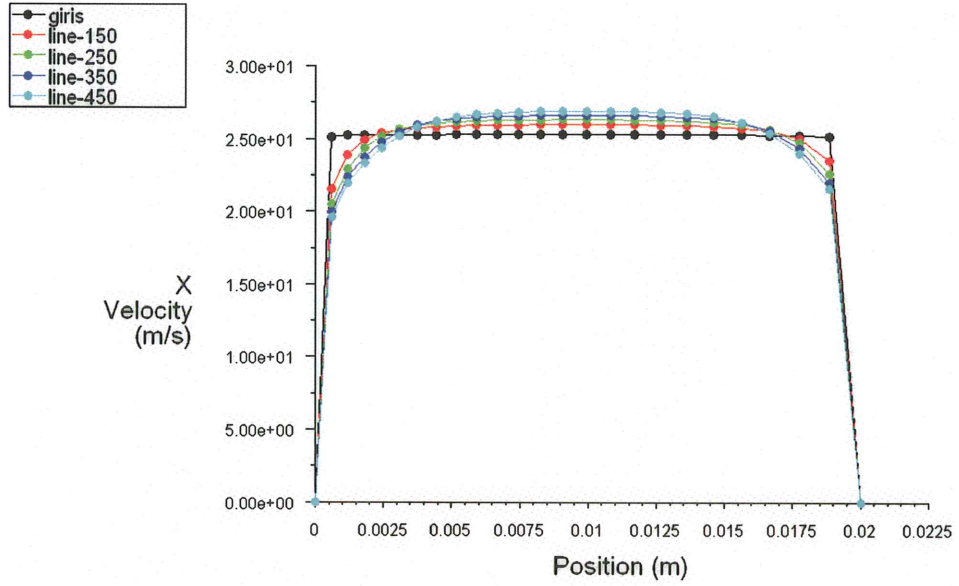
Şekil 6.3 : Flaş Buhar Tankı Giriş Çapının Akım Fonksiyonuna Etkisi.

Çap büyüdükçe çıkış sınır şartlarındaki akım çizgileri artmaktadır.

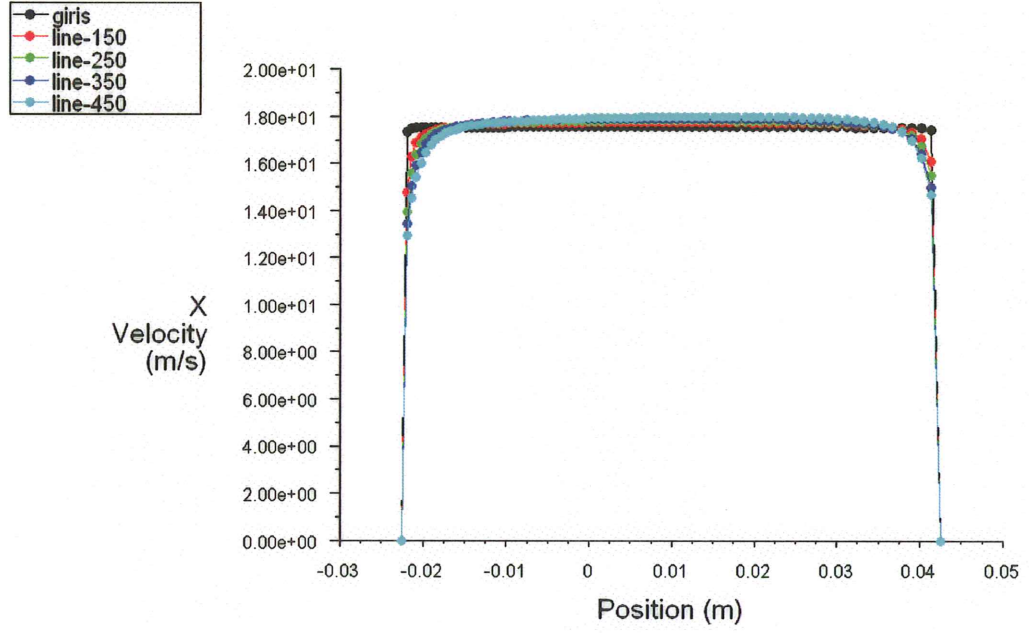
Giriş sınır şartındaki hız vektörleri çizdirildiğinde Aynı çapta basınç azaldıkça hız değeri de azalmaktadır.



Şekil 6.4 : Flaş Buhar Tankı.



a) D= 20 mm



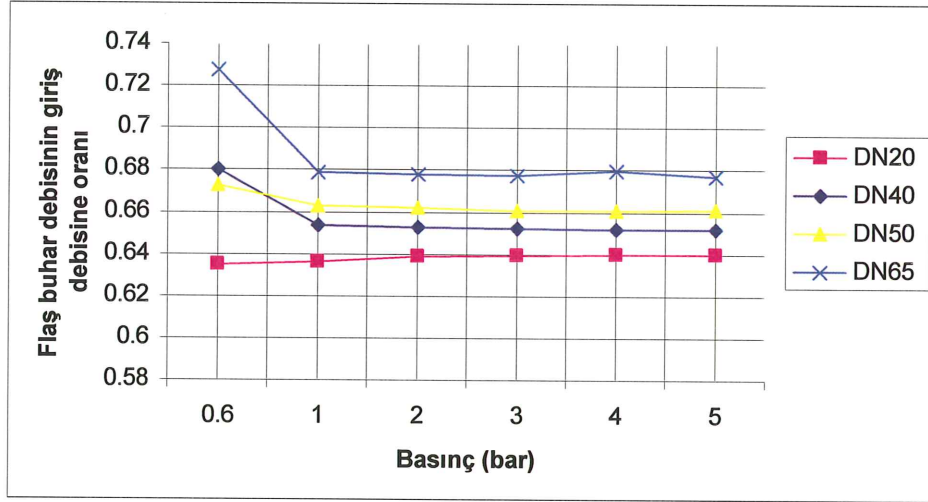
b) D=65 mm

Şekil 6.5 : Flaş Buhar Tankının P=5 bar Şartında Farklı Çaplardaki Hız Değerleri

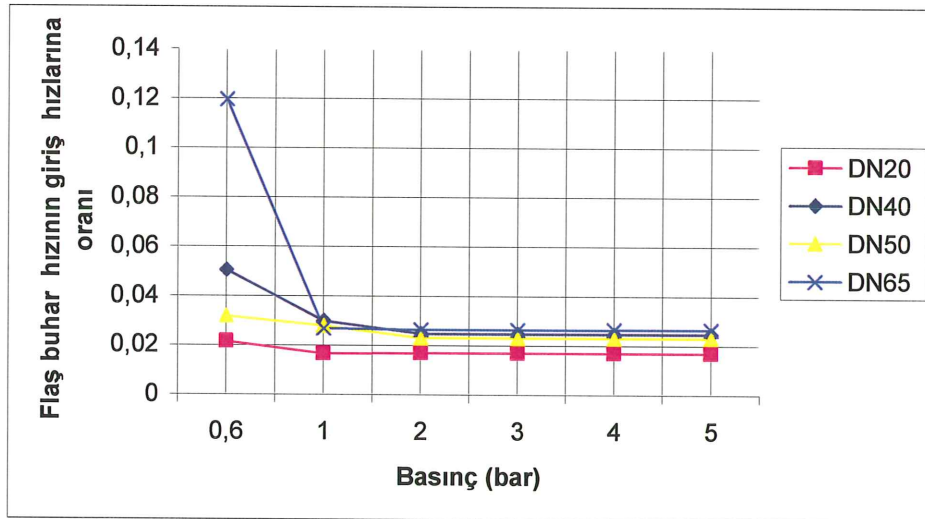
Çeşitli noktalarda çizilen hız profilleri birbirine çok yakındır. Yani giriş mesafesinin uzunluğunun akışa bir etkisi yoktur.

Girişten yaklaşık 150 mm uzaklıkta akış tam gelişmiş hale geçmiştir. Basıncın değiştirilmesi hız profillerinin üzerinde pek bir etkisi olmamıştır

Her çap değeri için giriş sınır şartındaki ve flaş buhar sınır şartındaki debileri hesaplatılıp oranları bulunduktan sonra basınçlara göre değişimi Şekil 6.6'da çizdirilmiştir. Aynı basınçtaki debiler oranı çap artıkça artmaktadır. Basınç değiştikçe aynı çapta debiler oranı artmaktıp azalmaktadır. Giriş debisinin DN65 olduğu durumda 0.6 bar, 1 bar, 2 bar ve 3 bar basınçlarında debiler oranı azalmakta iken 4 bar giriş basıncı şartında artmaktadır. DN20 giriş çapında düşük basınçta debiler oranının artışı diğer basınç değerlerindeki orana göre daha fazla artış göstermiştir.

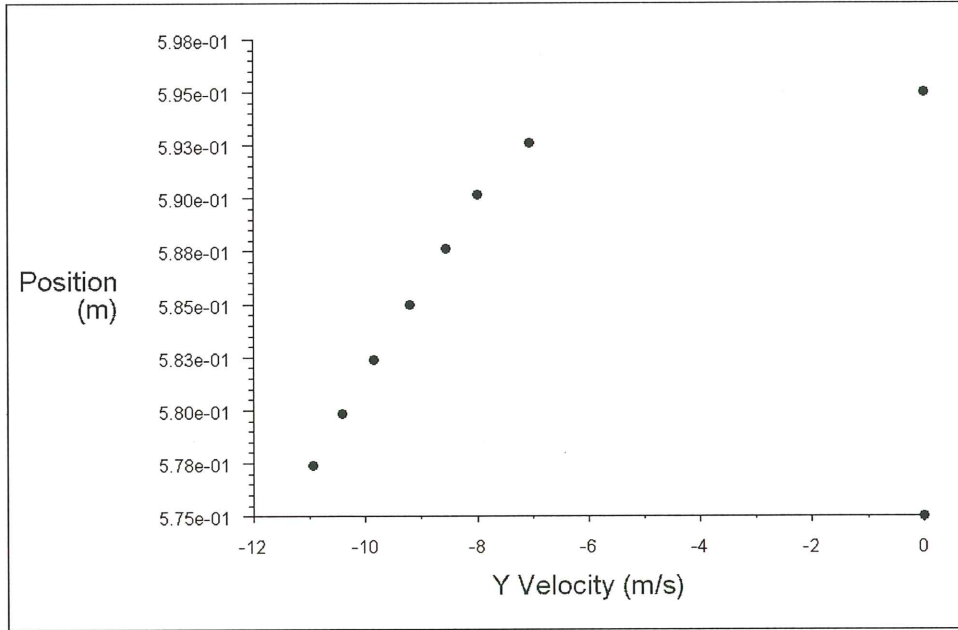


Şekil 6.6 : Farklı Çaplardaki Basınç ve Flaş Buhar Debisinin Giriş Debisine Oranı.

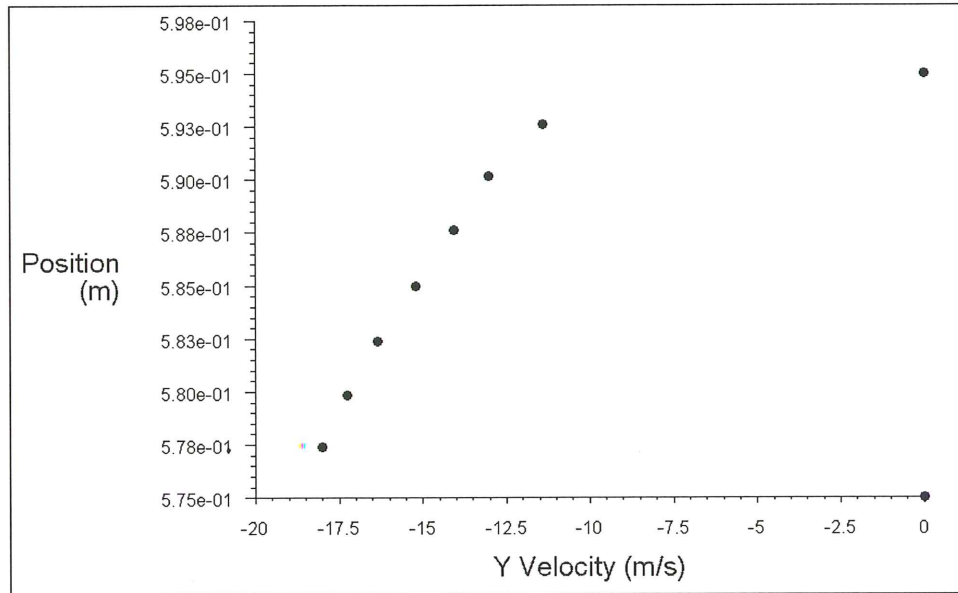


Şekil 6.7 : Farklı Çaplardaki Basınç ve Flaş Buhar Hızının Giriş Hızına Oranı.

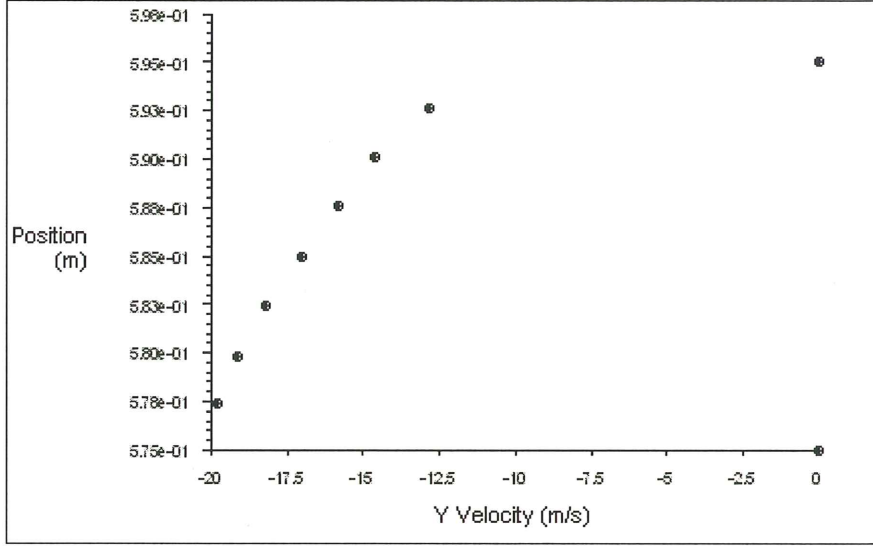
Her çap değeri için giriş sınır şartındaki ve flaş buhar sınır şartındaki hızları oranlarının basınçlara göre değişimi Şekil 6.7'de görülmektedir. Aynı basınçtaki çıkış sınır şartı hızları oranı çap arttıkça artmaktadır. DN65 giriş şartında basınç arttıkça hızlar oranı önce azalmakta daha sonra az da olsa artmaktadır.



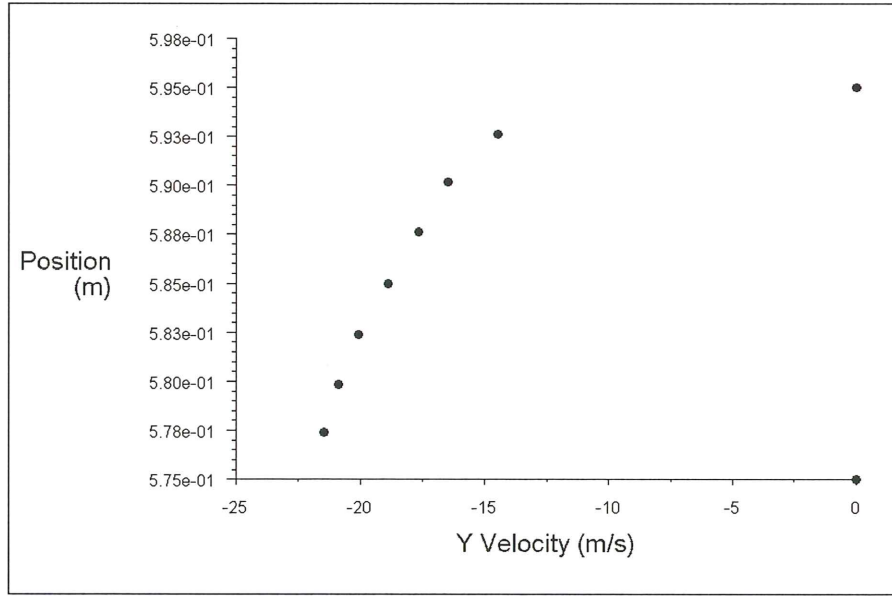
a) Giriş Çapı 20 mm



b) Giriş Çapı 40 mm



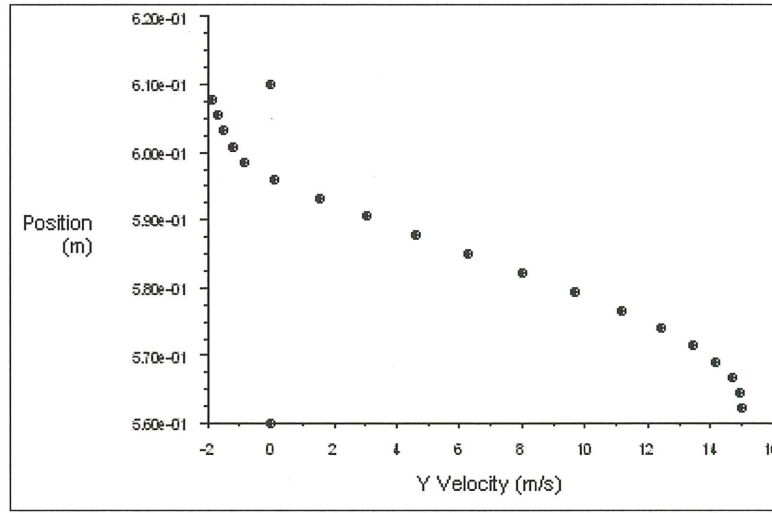
c) Giriş Çapı 50 mm



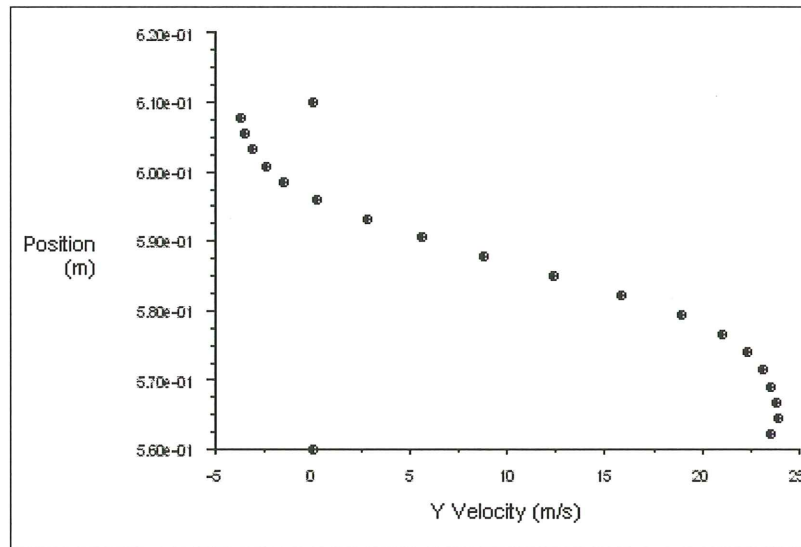
d) Giriş Çapı 65 mm

**Şekil 6.8 : Farklı Çaplarda Çıkış Sınır Şartındaki Hız Değerleri**

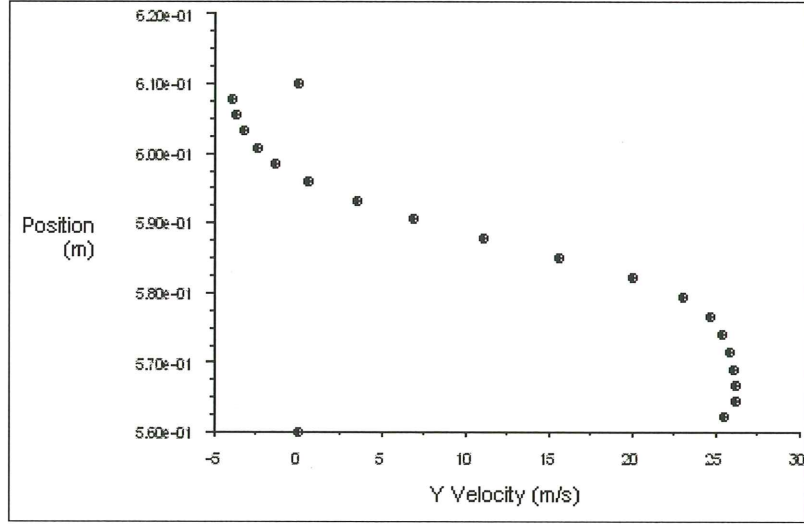
Giriş çapı arttıkça hız değerleri artmaktadır. Şekil 6.3 ve Şekil 6.8'den de açıkça anlaşılacağı üzere çıkış sınır şartında bazı bölgelerde hız görülmemekte ve duvar sınır şartlarında hız değerleri sifira eşittir.



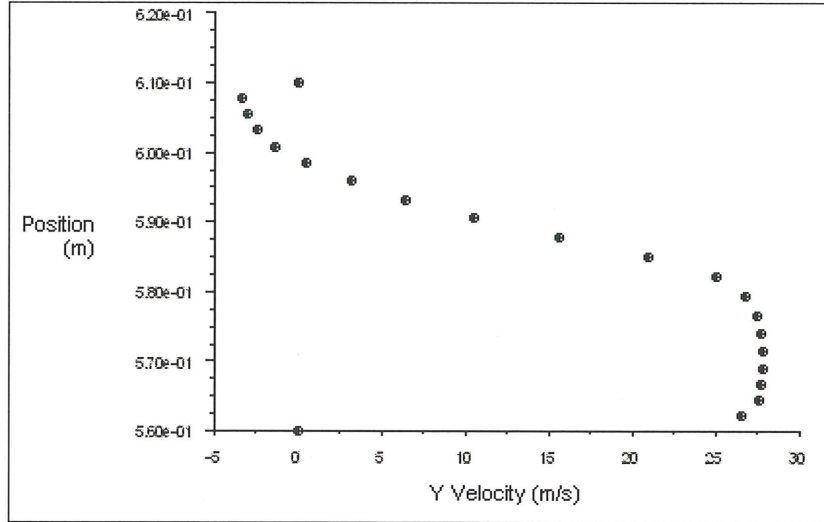
a) Giriş Çapı 20 mm



b) Giriş Çapı 40 mm



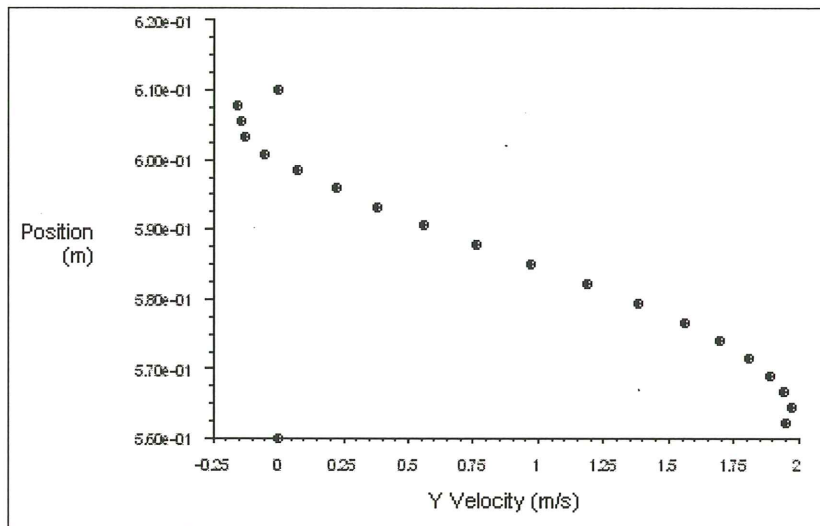
c) Giriş Çapı 50 mm



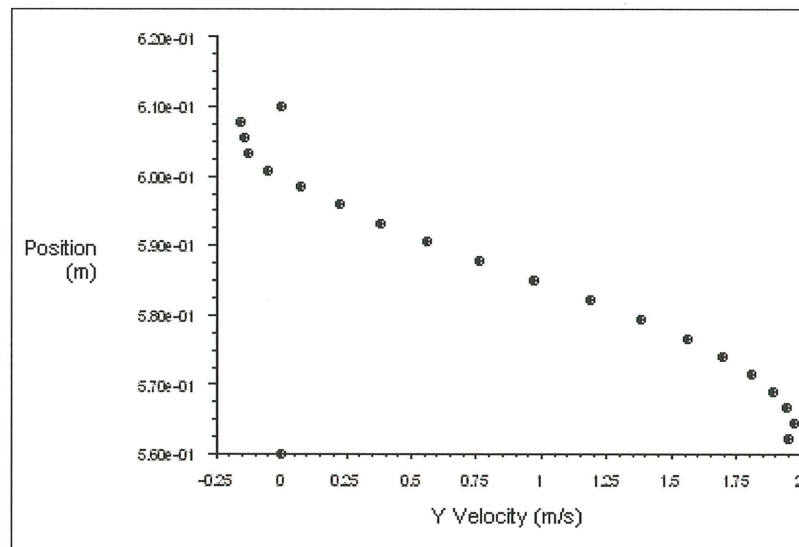
d) Giriş Çapı 65 mm

Şekil 6.9 : Farklı Çaplarda Flaş Buhar Sınır Şartındaki Hız Değerleri

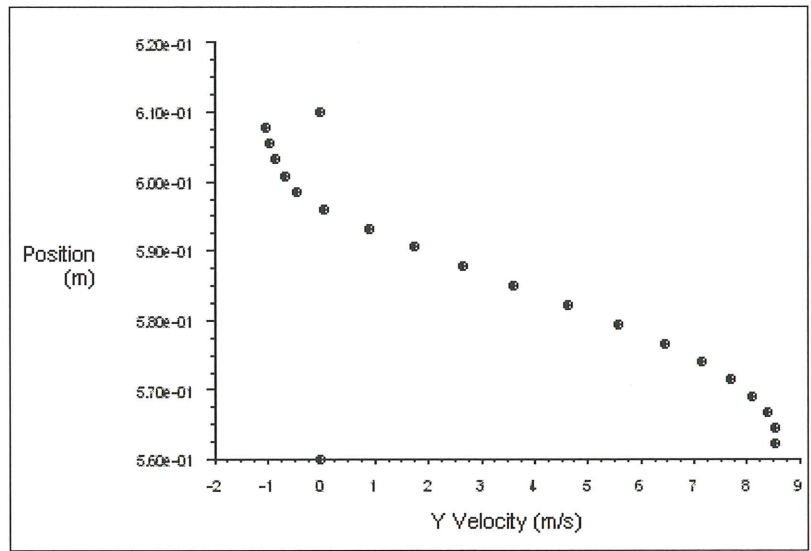
Şekil 6.9'da görüldüğü üzere çabın iki katına çıkması hız değerinde artmasına neden olmaktadır. Akım çizgilerinin olmadığı yerlerde hız değerleri sıfıra çok yakındır. Hatta kimi noktalarda girdaplar oluştuğu için hız eksi değerlere ulaşmıştır.



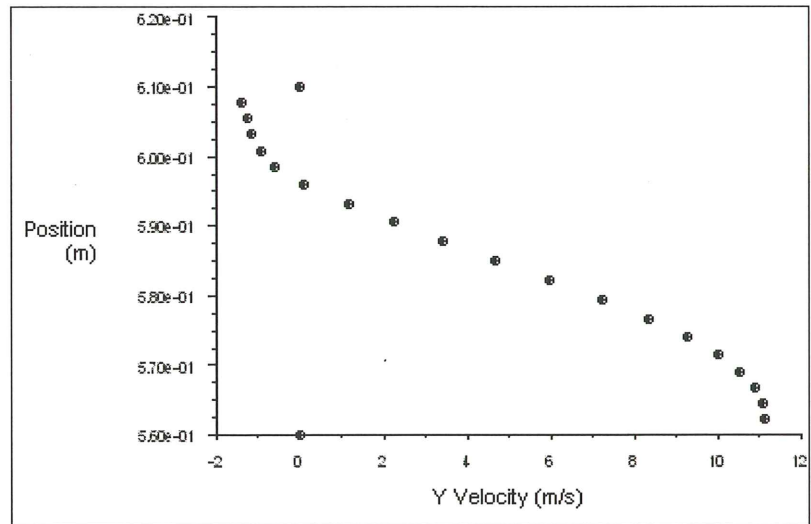
a) P= 0.6 bar



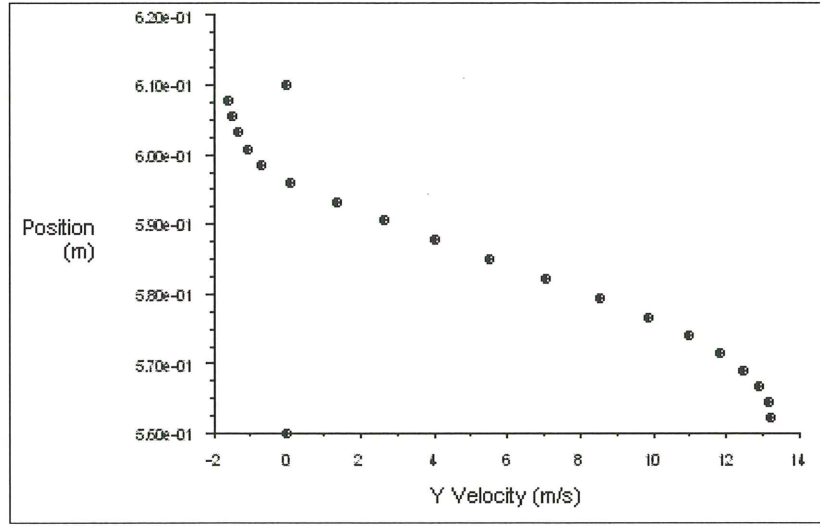
b) P= 1 bar



c) P= 2 bar



d) P= 3 bar



e) P= 4 bar

**Şekil 6.10** : Farklı Basınçlarda Flaş Buhar Sınır Şartındaki Hız Değerleri

Giriş basıncının akış hızına olan etkisi Şekil 6.10'da gösterilmiştir. 1 bar'dan 2 bar basınçlı buhar durumuna geldiğinde hız bir anda 4 kat artmakta iken diğer basınçlarda bu oranda bir artış göstermemektedir.

## 7. SONUÇ

Bu çalışmada 3 tane ayrı sınır şartı baz alınarak sayısal çalışma yapılmıştır. Kazandan çıkan blöf hattı çapını deneyde değiştirmek söz konusu olmadığından dolayı sayısal çözümlemedeki giriş çapı sınır şartına DN20, DN40, DN50 ve DN65 değerleri verilmiştir.

Deneysel yöntemde gerçekleşen olay 2 fazlı olmasına rağmen bu problem Fluent'te tek fazlı olarak modellenmiştir. Flaş buhar noktasından buhar değil su geçmektedir.

Kazan suyu daha küçük basınçlı bir tanka açılınca, entalpi farkından dolayı bir enerji oluşmaktadır. Bu enerji akışın bir kısmının faz değişirmesine neden olmaktadır. Deney tesisatının 2 noktasına yerleştirilen akış ölçer sayesinde debi değerleri okunmuştur. Bu değerler formül yardımıyla elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında değerlerin birbirleriyle tutmamasına rağmen FBO birbirine yakın çıkmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] BOTAŞ, 2006. Faaliyet Raporu, Ankara
- [2] Craig C. S., Dixon G. D., Luque M. R., Jeffrey C. R. and Chipman R. S., 2006. Analysis and design of flashtubes for pressure letdown in autoclave leaching operations, *Hydrometallurgy*, **81**, 86-99
- [3] Soteris A. K., Constantinos C. N. and Christos N. S., 1998. Artificialneural networks for modeling the starting-up of a solar steam- generator, *Applied Energy* **60**, 89-100
- [4] Ergün, S., ve Civek, E., 2007. Kütahya'da jeotermal enerji ve kullanım olanakları, [www.kutso.org.tr/dosyalar/doc/jeotermal.doc](http://www.kutso.org.tr/dosyalar/doc/jeotermal.doc), Ankara
- [5] Demir, H., Mobedi, M., ve Ülkü, S., Adsorbsiyonlu ısı pompaları, *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 535-545.
- [6] Öztürk A., Kılıç A.ve Yavuz H., 2001. Termodinamik ve Isı Geçişi Tabloları, Çağlayan Kitabevi, İstanbul
- [7] Spirax Sarco, 2001. Water treatment, Storage and blown for steam boilers., United Kingdom
- [8] İntervalf, 2008. Buhar Tesisatları ve Buhar Cihazları El Kitabı, İstanbul
- [9] Ma Guo-Yuan, Zhao Hui-Xia, 2008. Experimental study of a heat pump system with flash-tank coupled with scroll compressor, *Energy and Buildings*, **40**, 697-701
- [10] Çengel Y. A. and Boles.A.M., 1996. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür Yayıncılık, İstanbul
- [11] Recknagel Sprenger Schramek, 97/98. Isıtma ve Klima Tekniği
- [12] Schaum's Outlines, 2001. Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik

- [13] **Thais M. Takeuchi, Patricia F. Leal, Rogerio Favareto, Lucio cardozo-Filho, Marcos L. Corazza. Paulo T.V. Rosa, M. Angela A. Meireles.** 2008. Study of the phase equilibrium formed inside the flash tank used at the separation step of a supercritical fluid extraction unit, *Journal of Supercritical Fluids*, **43**, 447-549
- [14] **U.S Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy,** 2003. Industrial Heat Pumps for Steam and Fuel
- [15] **U.S Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy,** 2002. Improving Steam System Performance
- [16] **William L. Reeves.** 2001. Avoiding Boiler Problems, *ASHRAE Journal*
- [17] **Genceli, O. F.,** 1996. Ashrae Temel El Kitabı (Fundamentals) Bölüm 2 Akışkanlar Mekaniği, İstanbul

## EKLER

### A. Hata Analizi

İletkenlik değeri sıcaklık ile değişmektedir. Deneysel verilerin hata analizinde belirsizlik analizi, akılcı yaklaşım yöntemine göre daha hassas olduğu için bu yöntemine başvurulmuştur.

Bu yöntemde ölçülmesi gereken büyüklük R, bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  olsun. Bu durumda:

$$R=R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (\text{A.1})$$

yazılabilir. Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  ve R büyüklüğünün hata oranı  $w_R$  ise:

$$w_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{A.2})$$

şeklinde verilebilir [4].

Sıcaklığa bağlı olarak iletkenlik değerinin değişimi Denklem A.3'de belirtilmiştir.

$$\sigma_T = \sigma_{25} [1 + \alpha (T-25)] \quad (\text{A.3})$$

$\sigma_T$  : T sıcaklığındaki iletkenlik  $\mu\text{s/cm}$

$\sigma_{25}$  : 25°C da iletkenlik  $\mu\text{s/cm}$

$\alpha$  : Her °C sıcaklık katsayısı (1 / °C)

T : Sıcaklık °C

$$\sigma_{25} : 5000 \mu\text{s/cm} \pm \%1.5$$

$$\sigma : 0.02^\circ\text{C}^{-1} \pm \%1$$

$$T : 159^\circ\text{C} \pm \%2$$

$$\sigma_T = \sigma_{25} [1 + \alpha (T-25)]$$

159°C'deki normal iletkenlik;

$$\sigma_T = 5000 [1 + 0.02 (159-25)] = 18400 \mu\text{s/cm} \text{ dir.}$$

$$\frac{\partial \sigma_T}{\partial \sigma_{25}} = 1 + \sigma(T - 25) = 3.68$$

$$\frac{\partial \sigma_T}{\partial \sigma} = \sigma(T - 25) = 670000$$

$$\frac{\partial \sigma_T}{\partial T} = \sigma_{25} * \sigma = 100$$

$$W_{\sigma_{25}} = 5000 * 0,015 = 75$$

$$W_{\sigma} = 0,02 * 0.01 = 2.10^{-4}$$

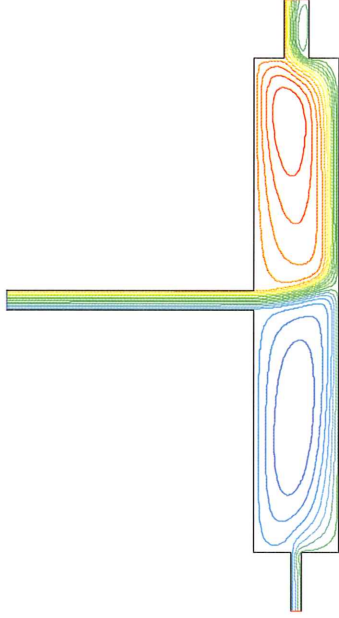
$$W_T = 0,02 * 159 = 3.18$$

$$W_{\sigma_T} = \left[ (3.68)^2 * (75)^2 + (670000)^2 * (2.10^{-4})^2 + (3.18)^2 * (100)^2 \right]^{1/2} = 441.878 \mu\text{s/cm}$$

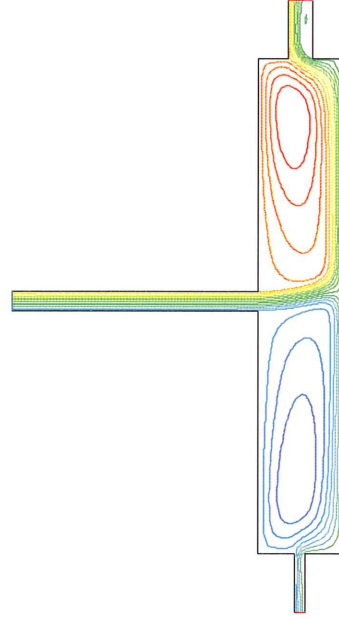
Hata oranı ise % 2.4'dür.

## B. Akım Fonksiyonları

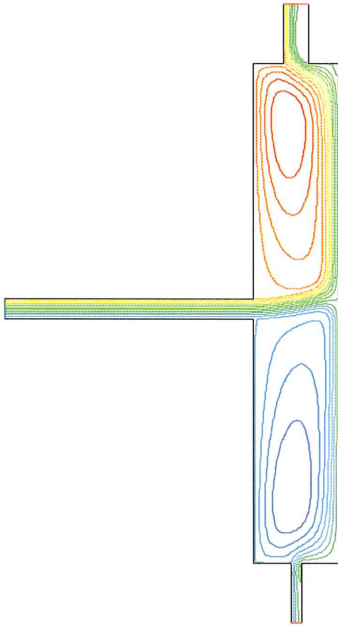
### B.1 DN40 Çapındaki Modelin Farklı Basınçlardaki Akım Fonksiyonu



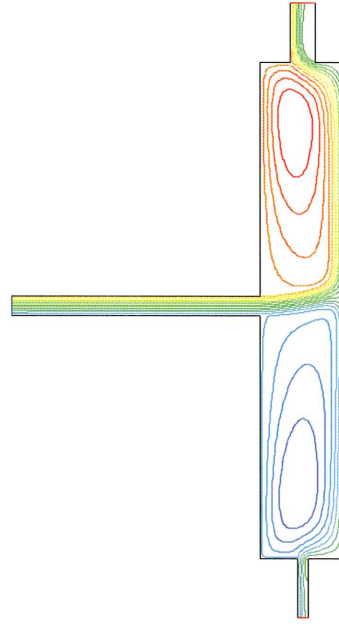
a)  $P = 0.6$  bar



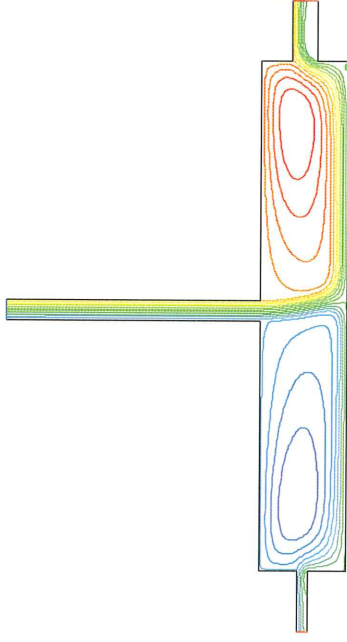
b)  $P = 1$  bar



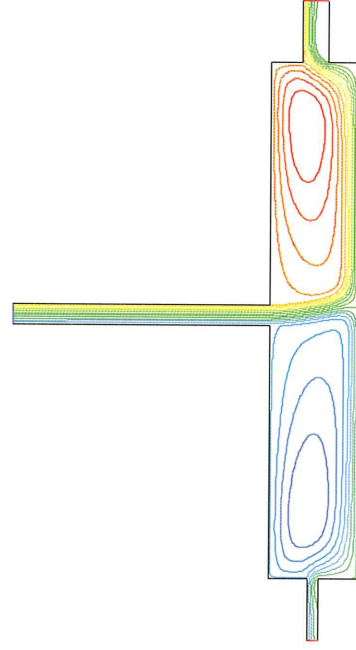
c)  $P = 2$  bar



d)  $P = 3$  bar

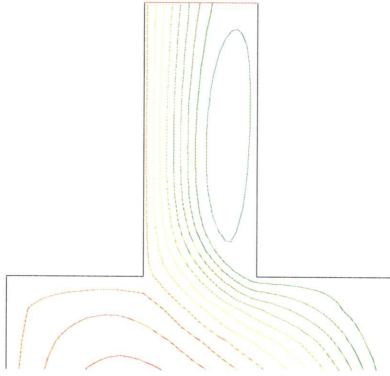


e)  $P = 4$  bar şartı

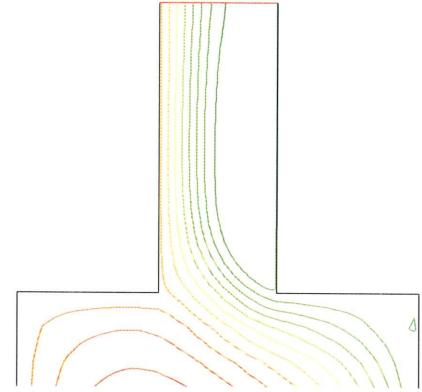


f)  $P = 5$  bar şartı

**Şekil B.1 :** Flaş Buhar Tankı Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisi (DN40).



a)  $P = 0.6$  bar şartı

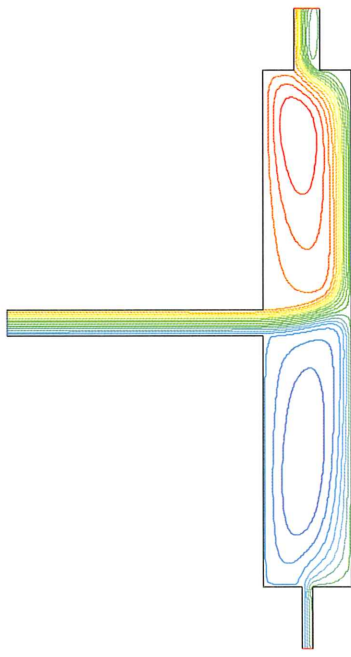


b)  $P = 5$  bar şartı

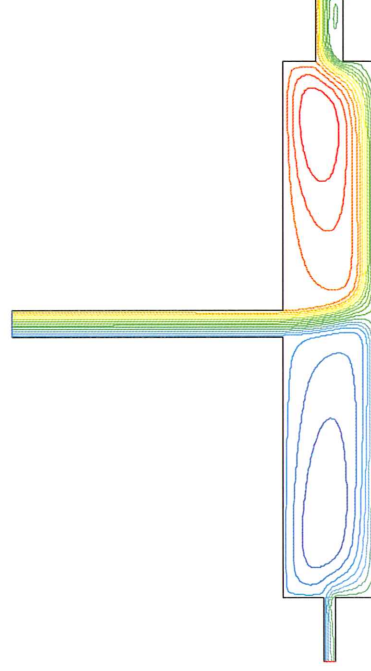
**Şekil B.2 :** Flaş Buhar Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisinin Büyütülmüş Görünümü (DN40).

Flaş buhar çıkış sınır şartındaki akım fonksiyonları görülmektedir. DN20 çapındaki akım fonksiyonları ile karşılaştırıldığında keskin köşelerde akım çizgileri daha azdır.

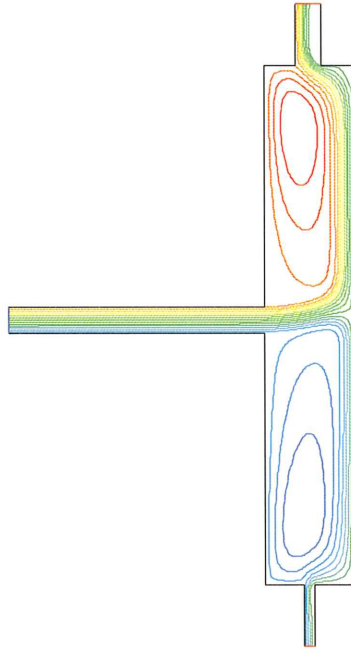
## B.2 DN50 apındaki Modelin Farklı Basınçlardaki Akım Fonksiyonu



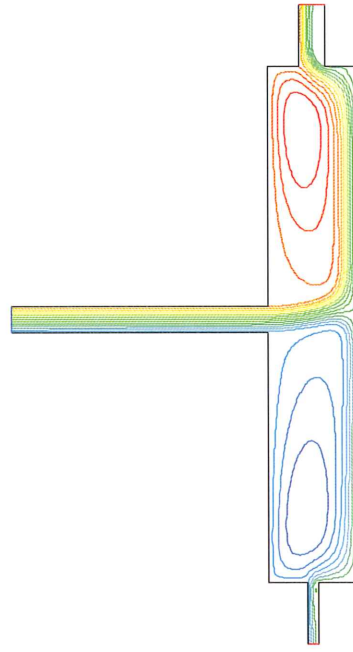
a)  $P = 0.5$  bar şartı



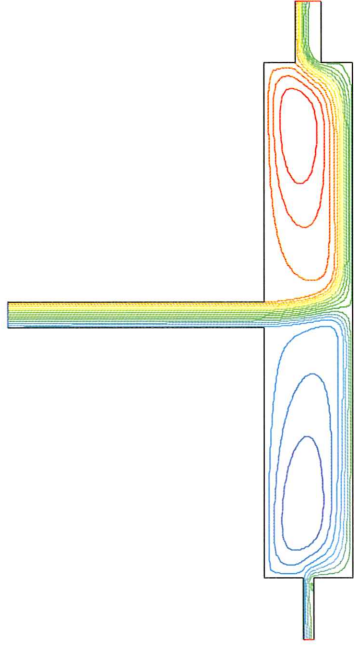
b)  $P = 1$  bar şartı



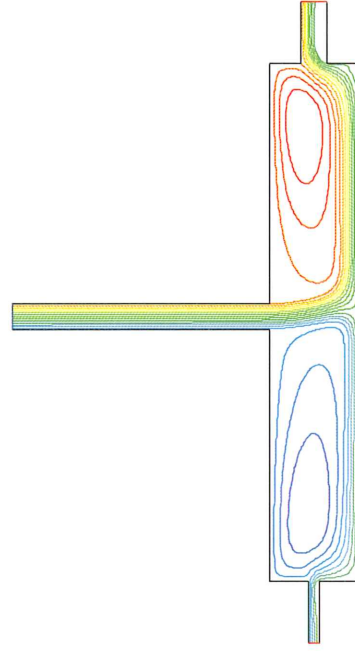
c)  $P = 2$  bar şartı



d)  $P = 3$  bar şartı

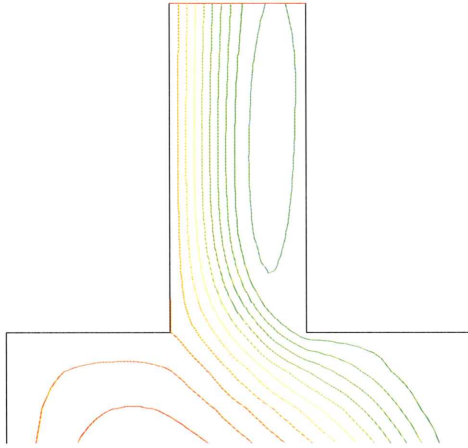


e)  $P = 4$  bar şartı

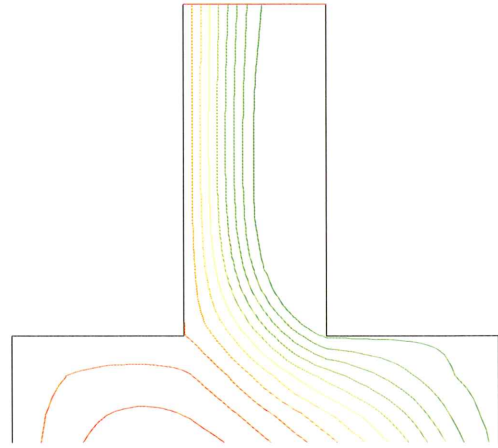


f)  $P = 5$  bar şartı

**Şekil B.3 :** Flaş Buhar Tankı Giriş basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisi (DN50).



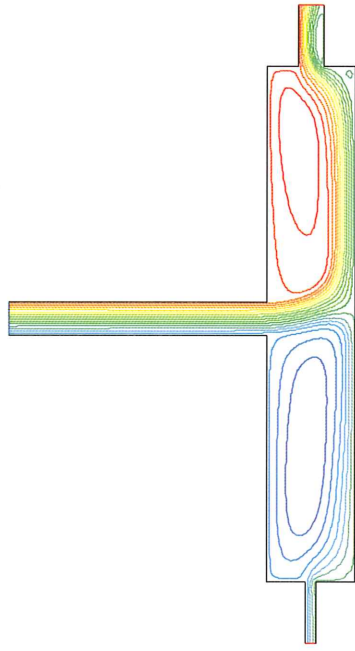
a)  $P = 0.6$  bar şartı



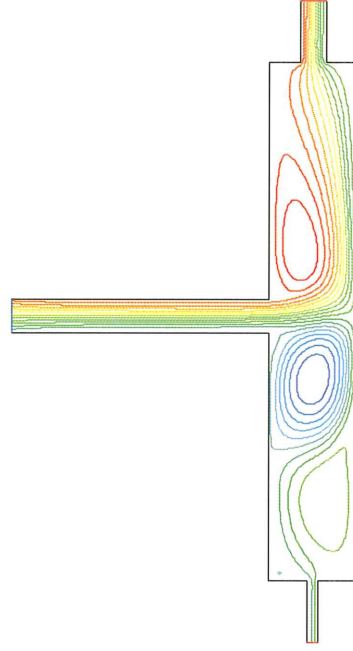
b)  $P = 5$  bar şartı

**Şekil B.4 :** Flaş Buhar Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisinin Büyütülmüş Görünümü (DN50).

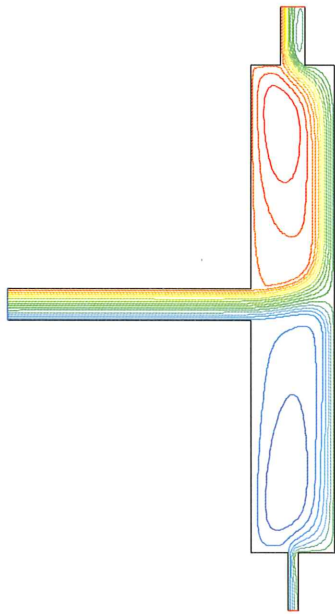
### B.3. DN65 apındaki Modelin Farklı basınçlardaki Akım Fonksiyonu



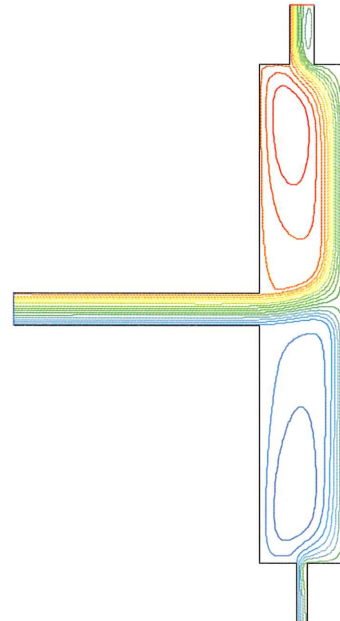
a)  $P = 0.6$  bar artı



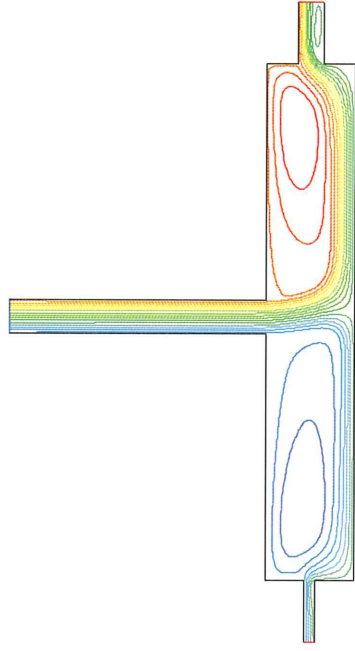
b)  $P = 1$  bar artı



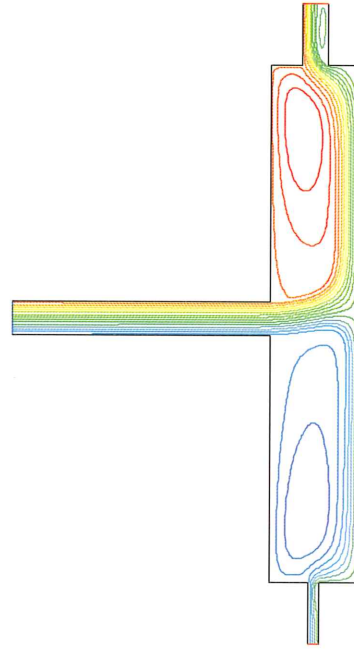
c)  $P = 2$  bar artı



d)  $P = 3$  bar artı

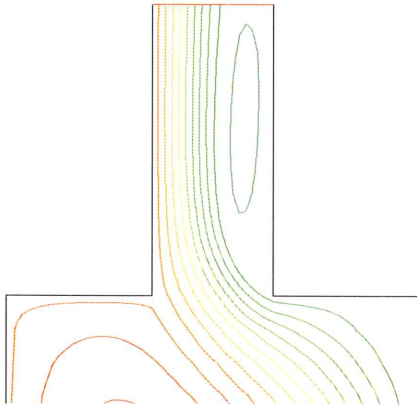


e) P = 4 bar şartı

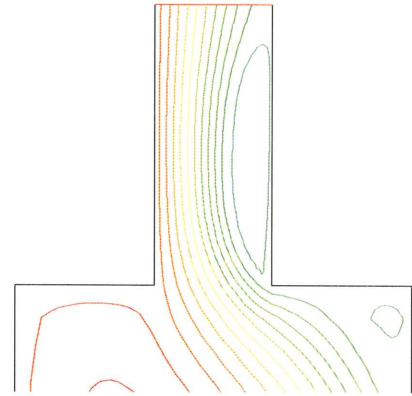


f) P = 5 bar şartı

**Şekil B.4 : Flaş Buhar Tankı Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisi (DN65)**



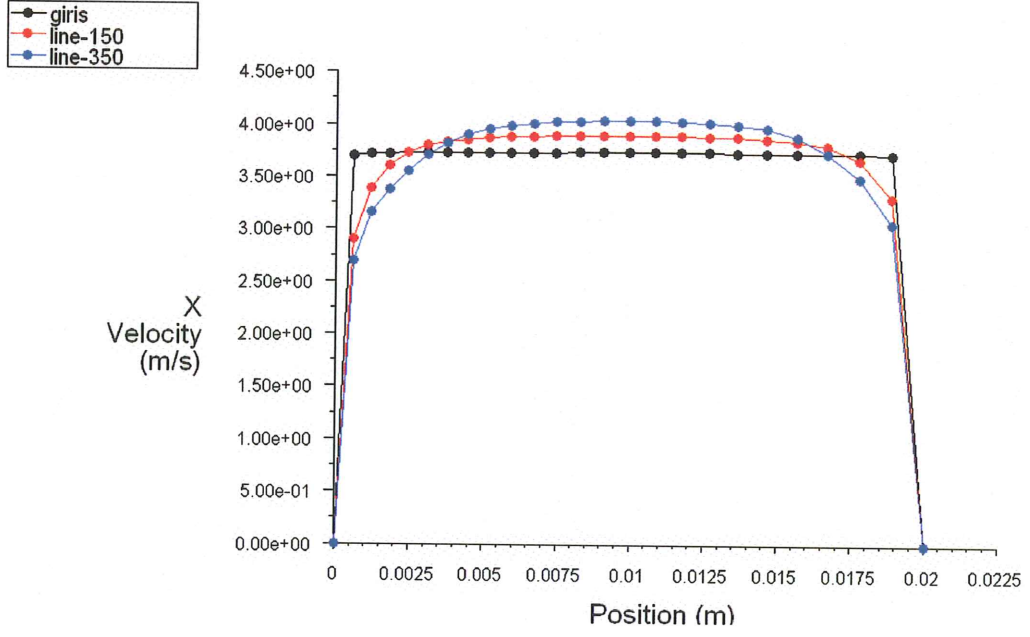
a) P = 4 bar şartı



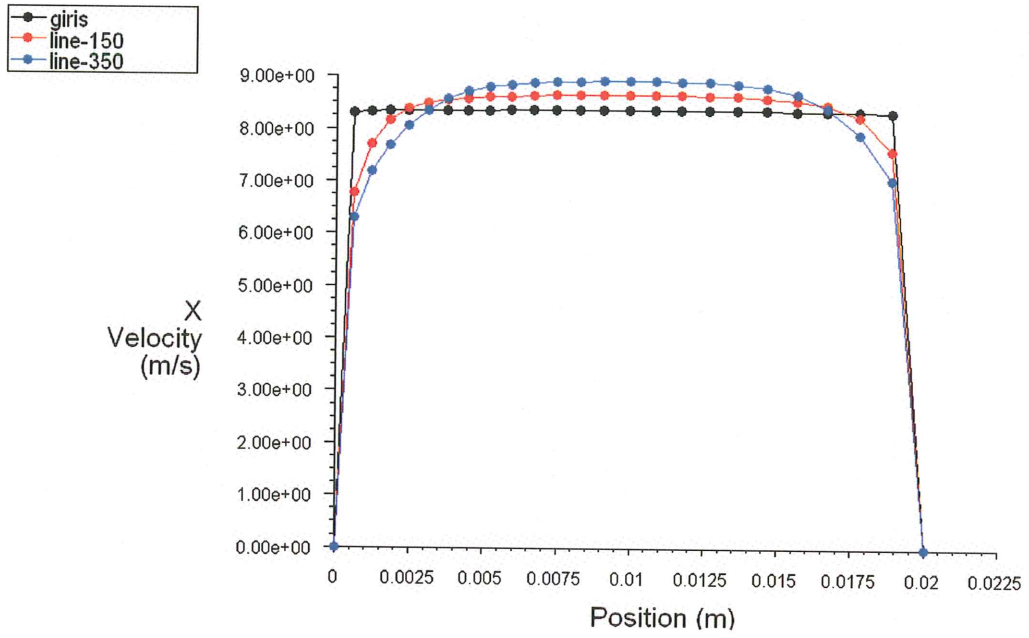
b) P = 5 bar şartı

**Şekil B.4 : Flaş Buhar Giriş Basıncının Akım Fonksiyonuna Etkisinin Büyütülmüş Görünümü (DN65).**

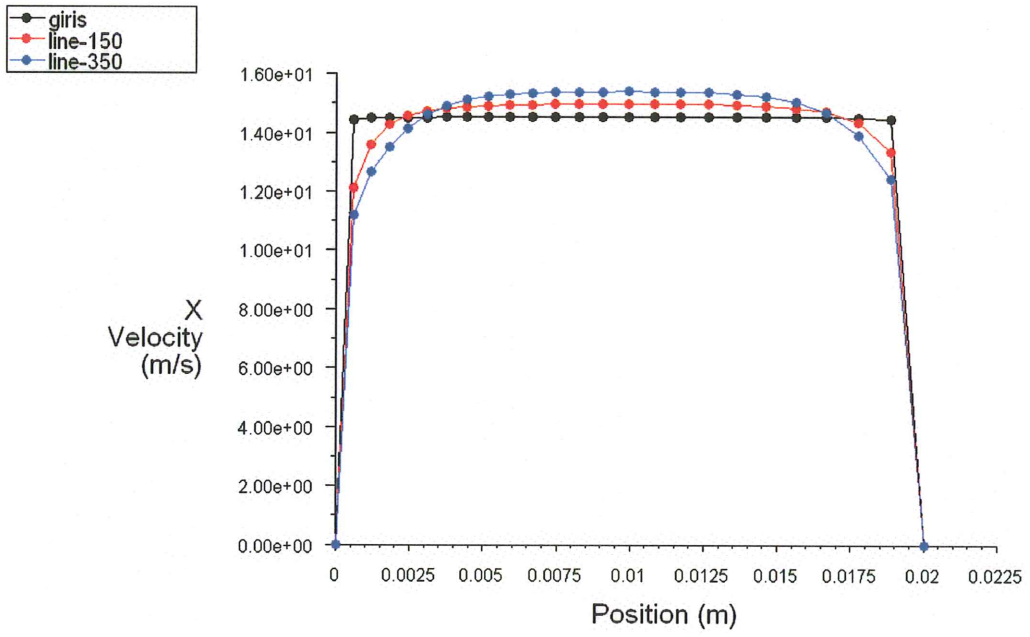
### C. DN20 Çapındaki Modelin Farklı Basınçlardaki Hız Değerleri



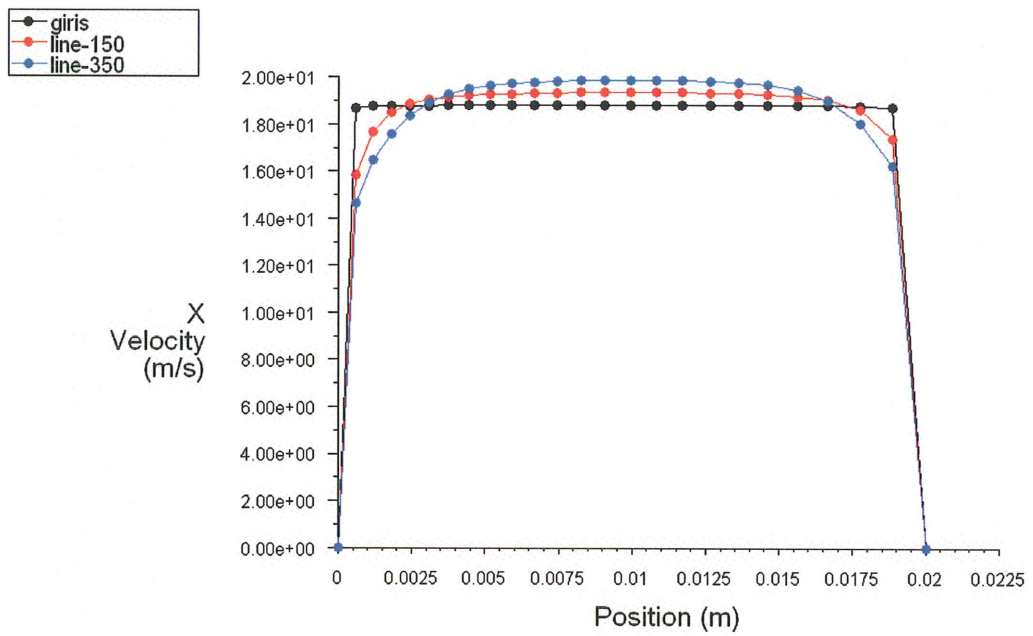
a) P = 0.6 Bar



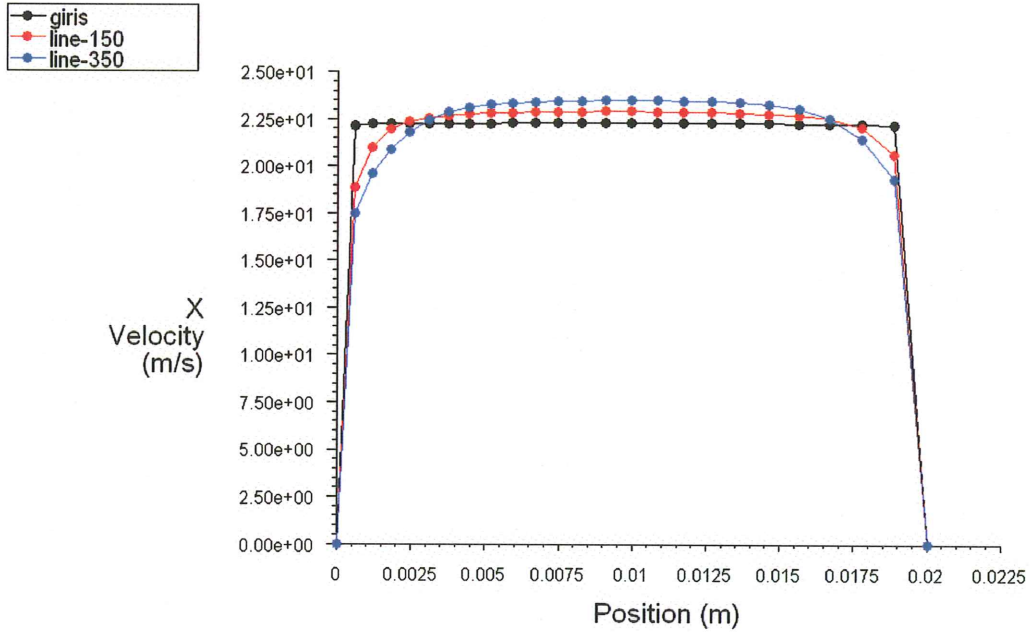
b) P = 1 Bar.



c) P = 2 Bar



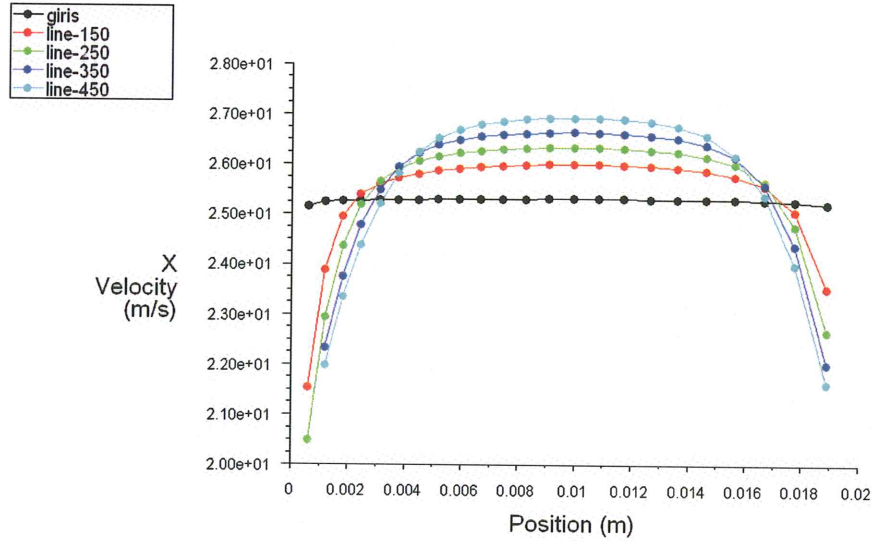
d) P = 3 Bar.



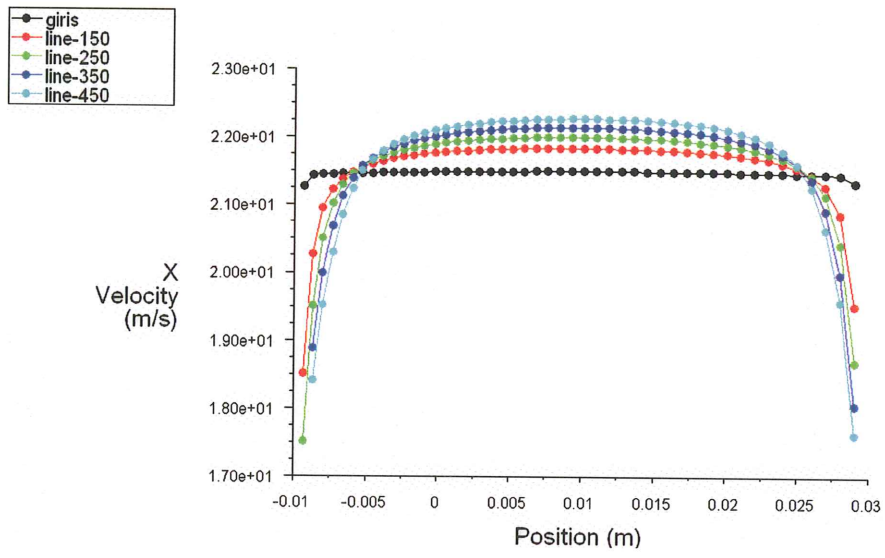
e) P = 4 Bar

Şekil C.1 : Farklı Basınlardaki Modelin Hız Değerleri.

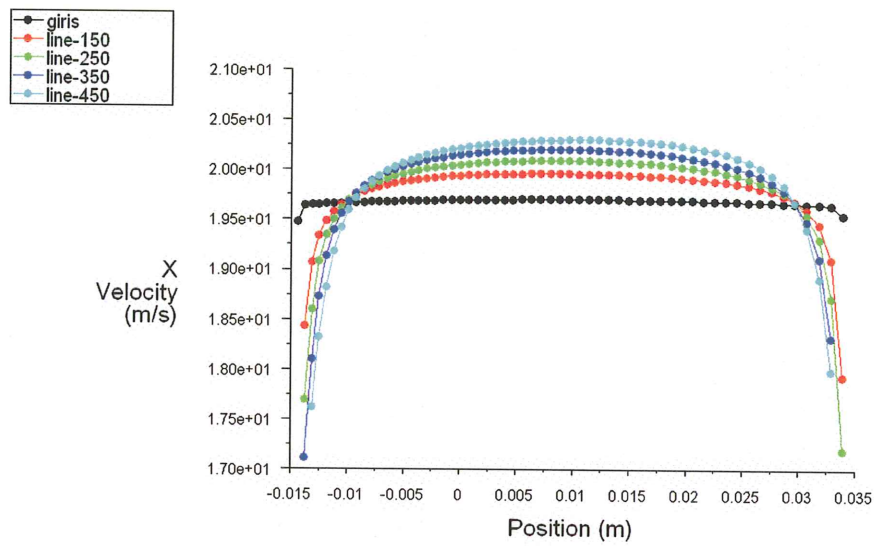
### D. P=5 bar'daki Modelin Farklı aplardaki Hız Değerleri



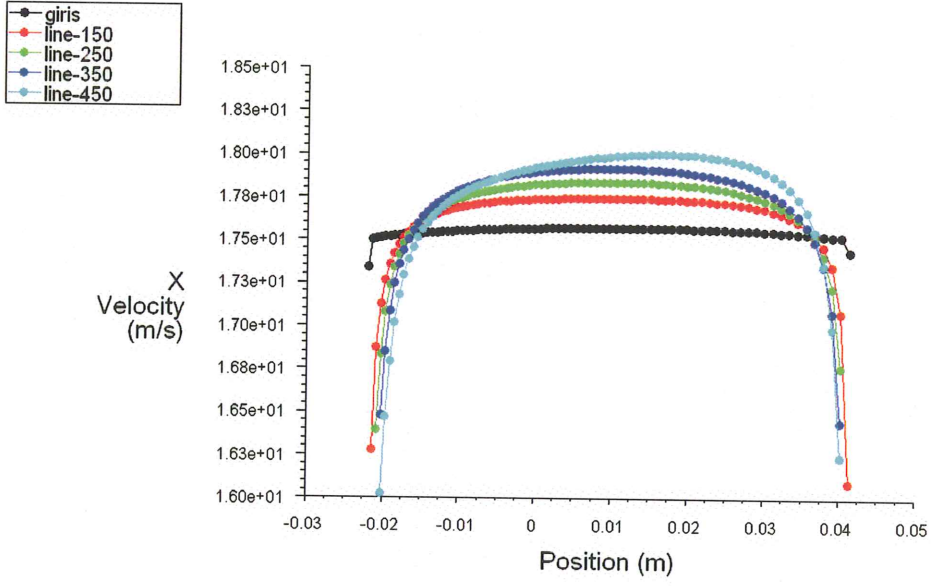
a) DN20 mm



b) DN40 mm



c) DN50 mm



d) DN65 mm

Şekil D.1 : Farklı Çaplardaki Modelin Hız Değerleri.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Görkem Kızıltan, 1983 yılında İstanbul'da doğdu. Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden 2004 yılında mezun oldu. Görkem Kızıltan İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Isı-Akışkan programı yüksek lisans öğrencisidir ve İNTERVALF firmasında proje mühendisi olarak çalışmaktadır.