



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**BUHAR SEPERATÖRLERİNİN**  
**PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ İÇİN**  
**BİR KALORİMETRE TASARIMI**

**Fatih DEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ağustos-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Fatih DEMİR tarafından hazırlanan “Buhar seperatörlerinin performans değerlendirmesi için bir kalorimetre tasarımı” adlı tez çalışması 01/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Dilek Nur ÖZEN

#### Danışman

Prof. Dr. Şefik BİLİR

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Nagihan BİLİR SAĞ

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması KOSGEB tarafından 323595 nolu proje ile desteklenmiştir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



**Fatih DEMİR**

Tarih: 01.08.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## BUHAR SEPERATÖRLERİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ İÇİN BİR KALORİMETRE TASARIMI

**Fatih DEMİR**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Şefik BİLİR**

**2019, 134 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Şefik BİLİR  
Dr. Öğr. Üyesi Nagihan BİLİR SAĞ  
Dr. Öğr. Üyesi Dilek Nur ÖZEN**

Buharın kuruluğu, buharın üretilmesinden nihai tüketim noktalarında kullanılmasına ve bu iki nokta arasında taşınmasına kadar büyük önem taşımaktadır. Islak buharda, doymuş sıvı ve buhar karışımının birbirinden ayrılmasını sağlayan buhar seperatörleri, buharın bulunduğu; buhar üretici, tesisat ve tüketim noktalarında farklı türlerde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, su borulu buhar kazanlarının üst (buhar) dramlarında buhar kuruluğunu artırmak için kullanılan seperatör türlerinden, yatay tip siklon seperatörlerin performans değerlendirmesi için bir test düzeneği tasarımı ve imalatı yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deney düzeneği; test için gerekli buharı üreten elektrikli buhar jeneratörü, seperatörün yer aldığı buhar dramı, buhar kuruluğunun ölçümünde kullanılan kalorimetre ve kalorimetrenin doğrulanması amacıyla tasarlanan buhar kızdırıcı olmak üzere dört ana üniteden meydana gelmektedir. Seperatörün performans değerlendirmesi için gereken seperatörün giriş ve çıkışındaki buhar kurulukları, ölçüm yöntemlerinden olan ayırıştırma ve kısılma kalorimetresi metoduyla belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda incelenen yatay tip siklon seperatörün veriminin, test basıncının artışına paralel olarak yükseldiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Buhar kazanı, Buhar kuruluğu, Buhar seperatörü, Kalorimetre

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **A CALORIMETER DESIGN FOR PERFORMANCE EVALUATION OF STEAM SEPARATORS**

**Fatih DEMİR**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Şefik BİLİR**

**2019, 134 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Şefik BİLİR**

**Asst. Prof. Dr. Nagihan BİLİR SAĞ**

**Asst. Prof. Dr. Dilek Nur ÖZEN**

Dryness fraction (quality) of the steam is highly important in places where steam is generated, consumed and conveyed. Steam separators which allow separation of saturated steam and saturated liquid phases from each other are used in steam boilers, on steam lines and consumption points with different types. In the scope of this study, some tests have been realized on a test unit which was designed and manufactured for performance evaluation of horizontal cyclonic type saperators. This is one of the seperator types used for increasing dryness fraction of steam in the upper (steam) drum of water tube boilers. The test unit consists of 4 pcs main sub-systems. These are; the electric powered steam generator where required steam sample for the tests is generated; steam drum including separator; calorimeter unit used for measurement of dryness fraction of steam and steam superheater designed for verification of measured values by the calorimeter. Dryness fraction values of steam at the inlet and outlet of the separator, required for performance evaluation of the separator have been obtained by separating and throttling calorimeter method which is one of the methods for measurement of the dryness fraction of steam. It is observed from the results that, efficiency of the investigated horizontal cyclonic type separator increases with increased test pressure.

**Keywords:** Calorimeter, Dryness fraction (quality) of steam, Steam boiler, Steam separator

## ÖNSÖZ

Dünya nüfusunun artışına paralel olarak artan tüketim, daha hızlı ve daha fazla kapasitede ürün üretimi ihtiyacının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu talebi karşılamak üzere sanayi devrimiyle birlikte buharın makineleşmede üstlendiği kilit rol halen artarak devam etmektedir. Gıda, kimya, ısıtma, elektrik üretimi gibi birçok endüstride; ucuz oluşu, iyi bir ısı transfer akışkanı olması, nispeten düşük yatırım maliyeti ve işletmedeki kolaylıkları vb. nedenlerden dolayı buharın yaygın bir şekilde kullanılması, buharlı sistemlerin verimlilik açısından önemini bir kez daha öne çıkarmaktadır.

Enerji kaynaklarının doğru kullanımına ve enerji tüketen sistemlerin verimliliklerinin iyileştirilmesine yönelik olarak global ölçekte bir çok çalışma gerçekleştirilmektedir. Buharın kalitesinin ve enerji taşıma kapasitesinin bir ölçütü olan buhar kuruluğu, tesisat ve kullanım noktalarının yanısıra buharın üretildiği buhar kazanlarında da oldukça önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, buhar üretiminde kullanılan su borulu buhar kazanlarının üst (buhar) dramlarında buhar kuruluğunu artırmak için kullanılan seperatör türlerinden, yatay tip siklon seperatörlerin performans değerlendirmesi için bir test düzeneği tasarımı ve imalatı yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tez konusunun belirlenmesinden tezin son aşamasına gelene kadar bana yol gösteren, yoğun iş temposu arasında çok değerli vakitlerini ayırarak bana destek ve yardımlarını esirgemeyen, akademik kariyerime başladığım günden beri engin bilgi ve tecrübeleriyle bana ışık tutan, tez danışmanım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Şefik BİLİR' e içtenlikle teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve beni sürekli cesaretlendiren değerli işverenlerim Mak. Yük. Müh. Ali AKKAYA, Mak. Müh. Ahmet Cevat AKKAYA' ya ve tüm Akkaya Isı Mak. Ve Doğ. San. Ve Tic. Aş. çalışanlarına, tez çalışması kapsamında kurulan test ünitesini mali olarak destekleyen KOSGEB kurumuna teşekkürü borç bilirim. Son olarak; her zaman yanımda olan ve beni destekleyen aileme, meslektaşım ve eşim Tuğba DEMİR' e de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatih DEMİR  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı .....	1
1.2. Tezin Önemi.....	2
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>8</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>10</b>
3.1. Borulama ve Enstrümantasyon Diyagramı (P&ID) .....	10
3.2. Test Ünitesinin Bölümleri .....	11
3.2.1. Elektrikli buhar jeneratörü .....	13
3.2.1.1. Kondens (besi suyu depolama) tankı .....	14
3.2.1.2. Besi suyu pompa grubu.....	17
3.2.1.3. Elektrikli buhar jeneratörü gövdesi.....	19
3.2.1.4. Kontrol panosu.....	25
3.2.2. Buhar dramı .....	43
3.2.3. Ayrıştırma-kısılma kalorimetresi .....	52
3.2.3.1. Minimum kuruluk derecesi .....	65
3.2.4. Buhar kızdırıcı .....	66
3.3. Mukavemet Hesapları .....	73
3.3.1. Mukavemet hesaplarında kullanılan denklemler .....	74
3.4. Diğer Sistem Bölümleri .....	84
3.4.1. Taşıyıcı şase .....	84
3.4.2. Servis ve yürüyüş platformu .....	84
3.4.3. İzolasyon ve kaplama sacı .....	85
3.4.4. Tesisat boruları ve flanşları.....	87
3.5. Deney Tipleri ve Yapılış Prosedürleri .....	90
3.5.1. Doğrulama testi.....	91
3.5.2. Seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testi.....	95
3.5.3. Seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi.....	98
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>101</b>
4.1. Test Sonuçları .....	101
4.1.1. Test 1 sonuçları .....	102
4.1.2. Test 2 sonuçları .....	104
4.1.3. Test 3 sonuçları .....	106
4.1.4. Test 4 sonuçları .....	108

4.1.5. Test 5 sonuçları .....	110
4.1.6. Test 6 sonuçları .....	112
4.1.7. Test 7 sonuçları .....	114
4.1.8. Test 8 sonuçları .....	116
4.1.9. Test 9 sonuçları .....	118
4.1.10. Test 10 sonuçları .....	120
4.2. Test Sonuçlarına İlişkin Grafikler.....	122
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>129</b>
5.1 Sonuçlar .....	129
5.2 Öneriler .....	130
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>131</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>134</b>





## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\dot{E}$	: Birim zamanda toplam enerji geçiři (kW)
$\dot{m}$	: Kütlesel debi (kg/h)
$\dot{Q}$	: Birim zamanda ısı geçişi (kW)
$\dot{W}$	: Birim zamanda iş geçiři (güç) (kW)
$\Delta T$	: Sıcaklık farkı (°C)
A	: Alan (m <sup>2</sup> )
$C_p$	: Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kgK)
DN	: Nominal ap (Diameter Nominal)
e	: Et kalınlığı (mm)
g	: Yerçekimi ivmesi (N/kg)
h	: Doymuş buhar karışımının özgül entalpisi (kJ/kg)
$h_f$	: Doymuş sıvının özgül entalpisi (kJ/kg)
$h_{fg}$	: Özgül buharlaşma entalpisi (kJ/kg)
$h_g$	: Doymuş buharın özgül entalpisi (kJ/kg)
$h_{kız}$	: Kızgın buharın özgül entalpisi (kJ/kg)
L	: Uzunluk (m)
m	: Kütle (kg)
P	: Basınç (Pa)
PN	: Basınç sınıfı (Pressure norm)
$\rho$	: Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
s	: Doymuş buhar karışımının özgül entropisi (kJ/kgK)
T	: Sıcaklık (°C)
t	: Zaman (s)
V	: Voltaj (V)
U	: Hız (m/s)
x	: Kuruluk derecesi
$x_1$	: Ayırıştırma kalorimetresinde ölçülen kuruluk derecesi
$x_2$	: Ayırıştırma kalorimetresinde ölçülen kuruluk derecesi
$x_n$	: Numunenin kuruluk derecesi
$\eta$	: Verim

## **Kısaltmalar**

A. K.	: Ayrıştırma kalorimetresi
ASME	: Amerikan Makine Mühendisleri Birliği
dk	: Dakika
E. F.	: Emniyet faktörü
EN	: Avrupa normu (European norms)
E-X	: X numaralı ekipman
K. K.	: Kısılma kalorimetresi
Maks.	: Maksimum
Min.	: Minumum
mSS	: Metre su sütunu
Ö. O.	: Ölçek oranı
P&ID	: Borulama ve enstrümantasyon diyagramı (Piping & instrumentation diagram)
PED	: Basınçlı kaplar direktifi (Pressure equipment directive)
h	: Saat
Sep.	: Seperatör
s	: Saniye

## **Alt İndisler**

@	: Basınçta
bn	: Buhar numunesi
doy	: Doyma
kız	: Kızgın
m	: Model
n	: Numune
p	: Prototip
Rez	: Rezistans
e	: Elektriksel
1	: Buhar jeneratörü gövdesi
2	: Kızdırıcı giriş hattı
3	: Kızdırıcı çıkış hattı
4	: Ayrıştırma kalorimetresi giriş hattı
5	: Ayrıştırma kalorimetresi çıkış hattı (kısılma vanası girişi)
6	: Kısılma kalorimetresi giriş hattı (kısılma vanası çıkışı)

## 1. GİRİŞ

James Watt' ın buharlı makineyi icat etmesiyle başlayan endüstri devrimi, ülkelerin sanayileşme hızını artırarak toplumların hızla gelişmesini ve kalkınmasını sağlamıştır. Gelişen ve değişen teknolojik altyapılar sayesinde günümüzde buhar; gıda, ilaç, boya, inşaat, tarım, petrokimya ve güç üretimi vb. endüstrilerde sıklıkla kullanılmaktadır. Buharın endüstriyel anlamda kullanım amaçları ısıtma ve güç üretimi olarak iki başlıkta toplanabilir. Isıtma amacıyla kullanılan buhar genellikle doymuş buhar fazında kullanılırken, güç üretiminde kullanılan buharın fazı, kızgın buhardır. Buhar, genellikle kazan olarak adlandırılan kapalı bir basınçlı kaptan üretilir. Buhar kazanları temel olarak; kimyasal bir proses sonucu (yakma, nükleer reaksiyon) vb. açığa çıkan ısı enerjisini ya da bir ısı kaynağı akışkandaki (ısı transfer yağı, atık baca gazı vb.) ısı enerjisini suya transfer ederek buhar üretimine imkan veren ısı eşanjörleri olarak tanımlanabilir. Buhar kazanlarında ihtiyaç duyulan enerji; konvansiyonel katı, sıvı, gaz gibi fosil yakıtlar ve yeni nesil biyokütle yakılmasıyla doğrudan elde edilebileceği gibi ısı enerjisi taşıyan atık gazlardan ve ısı transfer yağlarından da dolaylı olarak temin edilebilmektedir. Dünya' da artan nüfusa ve gelişmişliğe paralel olarak hızla yükselen enerji talebi, enerji verimliliği konusunu gündeme getirmiştir. Bu bağlamda, endüstride önemli miktarda enerji tüketen ekipmanlar sıralamasında başı çeken buhar kazanlarının, iletim ve dağıtım hatlarıyla tüketim noktalarındaki sistem verimliliklerinin tespiti ve iyileştirilmesine yönelik çeşitli adımlar atılmaktadır. Özellikle de Türkiye' nin enerji konusunda yüksek oranda dışa bağımlılığı göz önünde bulundurulduğunda, bu konunun önemini Türkiye için daha da artırmaktadır.

### 1.1. Tezin Amacı

Buharın endüstriyel kullanım amaçlarından olan ısıtma sistemlerinde, buharın kuruluşu; buharın üretildiği kazanlar, iletim ve dağıtım hatlarıyla nihai tüketim noktalarında oldukça önem taşımaktadır. Buhar kuruluşu; kazanlar, hat ve tüketim noktalarında farklı tiplerde kullanılan buhar seperatörleriyle sağlanmaktadır (Ünlü, 2003). Isı transfer akışkanı olarak kullanılan buharın kuruluşunun yüksek olması buharlaşma entalpisini artırarak, taşınabilecek ve transfer edilebilecek enerji miktarını yükseltmekte ve bunun sonucu olarak daha verimli bir sistemi ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, kullanılan seperatörlerin performansının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu tez kapsamında; tasarımı, imalatı ve üzerinde testlerin gerçekleştirildiği test ünitesi, su borulu buhar kazanlarının buhar (üst) dramlarında yer alan seperatör tiplerinden yatay tip siklon seperatörün performansının ölçülmesi amacıyla tasarlanmıştır. Ayrıca test ünitesi, daha sonra üzerinde yapılacak modifikasyonlarla farklı tipteki seperatörlerin de performans ölçümüne imkan verecek şekilde tasarlanmıştır. Çalışmada, kullanılan seperatör tipinin farklı test basınçlarında ki performansı gözlemlenmiştir.

## 1.2. Tezin Önemi

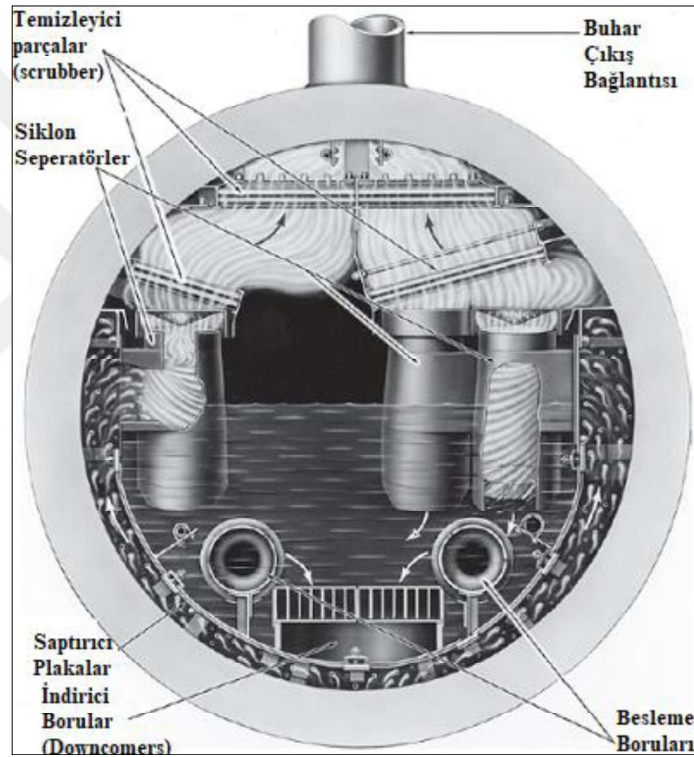
Buhar kazanı üreticilerinin çalışma şartlarına göre doğru biçimde tasarladıkları ve yanmanın optimize edildiği ekipman maksimum verim sağlamaktadır. Buhar kazanlarındaki yakıttan elde edilen buhar miktarına göre hesaplanan verim, ASME (American Society of Mechanical Engineers) Power Test Code PTC4.1.' e göre iki metodla belirlenir. Birinci metod; “Girdi-Çıktı” (Input-Output) olarak adlandırılır. Bu metod çıkan ürünlerin toplam enerjisinin sisteme girenlerin toplam enerjisine bölünmesini esas alır. İkinci metod ise ısı dengesi metodu olarak adlandırılır ve bu yöntem buhar kazanlarının verim hesaplamasında baca gazı sıcaklığı ve kayıpları, fazla hava oranları, radyasyon ve konveksiyon kayıpları gibi parametrelere odaklanır (Spirax Sarco Inc., 2004). Girdi-Çıktı metodu (direkt metod) buharın entalpisinin bilinmesini gerektirir. Buharın entalpisini hesaplamak için de buharın kuruluk derecesinin belirlenmesi gerekmektedir (Moura ve ark., 2012). Buharın enerjisinin doğru ölçülmesi, mevcuttaki domestik enerji tüketimi ve kuruluşların enerji yönetim seviyesini geliştirmek için anahtar bir rol oynamaktadır (Tao ve ark., 2008; Moura ve ark., 2012).

Buhar kazanı tiplerinden birisi de yüksek kapasiteler ve basınçlar için kullanılabilen su borulu buhar kazanlarıdır. Su borulu buhar kazanları kullanılan dramların yerleşimine göre A,O ve D tipinde üretilebilmektedir. Bu tip kazanlar suyun boruların içinde, alev ve duman gazlarının ise boruların etrafında olmasından dolayı su borulu kazanlar olarak adlandırılırlar (Gündoğdu, 2013).

Kritik basınç altındaki dolaşımli kazanlar ve buhar jeneratörleri, buhar dramı olarak adlandırılan geniş bir silindirik basınçlı kapla birlikte üretilirler. Bu kapların birincil amaçları, kazan ısı transfer yüzeylerinden ayrılan buhar-su karışımından doymuş buharı ayırmaktır. Kazan uygulamalarının çoğunda yüksek verimli ayrışma aşağıdaki nedenlerden dolayı önemlidir.

- Su zerreciklerinin kızırdırıcıya girmesini engelleyerek ısı arızalarının oluşmasını önlemek,
- Dramdan çıkan su zerreciklerinin, buharın efektif hidrolik pompalama yüksekliğini azaltması,
- Buhar içinde yer alan su zerrecikleriyle birlikte çözülmüş katıların kızırdırıcı ve türbin ünitesine taşınarak bu bölgelerde arızaya neden olacak birikintilerin engellenmesi.

Şekil 1.1' de modern bir yüksek kapasiteli, fosil yakıtlı kazanın yatay tip buhar dramının kesit görünümü verilmiştir.



Şekil 1.1. Buhar dramının kesit görünüşü

Bu kesit görünüşü, saptırıcı plakaların, birincil seperatörlerin ve ikincil seperatör elementleri olan temizleyici parçaların (scrubber), indirici borular ve besi suyu girişinin genel yerleşimini göstermektedir. Buhar ve suyun ayrıştırılması tipik olarak iki aşamadan oluşur. Birincil seperatörler buharın büyük bölümünü buhar-su karışımından ayırırlar. Birincil seperatörden ayrılan buhar, genellikle yüksek basınçlı kazanlarda hala bir miktar kirletici içeriğe sahip su zerreciği içermektedir. Bu nedenle bu buhar, ikincil bir seperatörden veya temizleyici parçalardan geçirilerek son su zerrecikleri de buhardan uzaklaştırılır. Birincil seperatörler genellikle üç formda üretilirler. Bunlar;

- Doğal yer çekimi etkili ayırıştırma.
- Saptırıcı plaka destekli ayırıştırma.
- Yüksek kapasiteli mekanik ayırıştırma (Bobcock & Wilcox Co., 1992).

Bu çalışma kapsamında, Akkaya Isı Mak. ve Doğ. A.Ş. firmasının üretimi olan, saatte maksimum 14 barg basınçta 25 ton buhar üretebilen, doğalgaz yakıtlı, D tipi su borulu kazanının buhar dramında yer alan yatay tip siklon seperatörün uygun modeli referans alınarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Şekil 1.2’ de, performans testleri sırasında incelenen seperatörün ait olduğu kazan görseli ve seperatörün bulunduğu buhar (üst) dramına ilişkin bazı detay resimler verilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 1.2.** (a) Referans buhar kazanının 3 boyutlu tasarım görseli ve imalat sırasında çekilmiş fotoğrafı (b) Seperatörün buhar dramı içerisindeki pozisyonunu gösteren 3 boyutlu tasarımlar ve imalat sırasında çekilmiş fotoğrafları (Akkaya Isı Makinaları ve Doğalgaz San. ve Tic. A.Ş.’nin izni ile yayımlanmıştır.)

Çalışmanın öneminin altını çizmek adına, etkin ayrıştırmanın gerçekleşmemesi sonucu yaşanabilecek yukarıda sıralanan problemlerin yanı sıra, kazanın verim hesaplamalarında da doymuş buhar yerine ıslak buhar üretilmesinden dolayı işletme maliyeti hesaplamalarında oluşacak hata da bu listeye eklenebilir. Etkin ayrıştırmanın gerçekleşmeme nedeni, hatalı tasarım veya doğru tasarıma sahip seperatörün zamanla oluşan mekanik deformasyonlar sonucu işlevini yitirmesine bağlı olabilir. Bunu daha iyi ifade edebilmek için ayrıntılı özellikleri Çizelge 1.1’ de verilen, 14 barg basınçta 25 ton buhar üreten örnek bir doğalgaz yakıtlı D tipi su borulu buhar kazanında, kuru buhar yerine ıslak buhar üretildiğinde enerji kaybının (yalnızca yakıt giderini baz alarak) büyüklüğü aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 1.1.** Örnek olarak incelenen buhar kazanına ait özellikler

Buhar kazanı tipi	: D tipi su borulu	
Buhar kazanında kullanılacak olan yakıt	: Doğalgaz	
Buhar kazanı buhar üretim kapasitesi	: 25000	kg/h
Buhar kazanı işletme basıncı	: 14	barg
Kazan besi suyu giriş entalpisi ( $h_f$ )	: 419.06	kJ/kg
İşletme basıncında doymuş buharın entalpisi ( $h_g$ )	: 2792.2	kJ/kg
Entalpi farkı ( $h_g - h_f$ )	: 2373.14	kJ/kg
Kazan gerekli ısıtma kapasitesi	: 16480.14	kW
Kazan gerekli ısıtma kapasitesi	: 14172919.44	kCal/h
Isıtma yüzeyi yükü	: 52	kg/hm <sup>2</sup>
Isı transfer yüzey alanı	: 480.77	m <sup>2</sup>
Yakıtın alt ısıl değeri	: 8250	kCal/Nm <sup>3</sup>
Yakıtın alt ısıl değeri	: 12993	kCal/kg
Hava yakıt oranı (kütlesel)	: 17.2	
Yakıtın yoğunluğu	: 0.635	kg/m <sup>3</sup>
Yakıt yanma verimi	: 0.87	
Hava fazlalık katsayısı	: 1.1	
Yakıt tüketimi	: 1974.63	Nm <sup>3</sup> /h
Yakıt tüketimi	: 1253.81	kg/h
Stokiyometrik hava	: 21565.48	kg/h
Gerekli teorik yanma havası	: 23722.03	kg/h
Baca gazı debisi	: 24975.83	kg/h
Baca gazı yoğunluğu	: 0.69	kg/m <sup>3</sup>
Baca gazı debisi	: 36196.9	m <sup>3</sup> /h

Örnekte ele alınan buhar kazanının doymuş buhar ( $x=1$ ) ve seperatörlerin performanslarında yaşanan muhtemel sorunların neticesinde ıslak buhar üretmesi durumunda ( $x=0.9$ ) toplam üretilecek ve iletilebilecek enerji olarak karşılıkları Çizelge 1.2’ de verilmiştir.

**Çizelge 1.2.** Kazanın doymuş buhar ve ıslak buhar ürettiği durumlardaki kullanılabilir enerji miktarları

1. Durum: Kazan doymuş buhar ürettiğinde (x=1)		
$h_{f@14\text{barg}}$	:	845.1 kJ/kg
$h_{fg@14\text{barg}}$	:	1947.10 kJ/kg
Islak buharın entalpisi ( $h=h_f+xh_{fg}$ )	:	2792.2 kJ/kg
Buharın gizli ısı $h_{fg@14\text{barg}}$	:	1947.1 kJ/kg
Kazan buhar üretme kapasitesi	:	25000 kg/h
Toplam üretilecek ve iletilebilecek enerji	:	13521.53 kW
2. Durum: Kazan ıslak buhar ürettiğinde (x=0.9)		
$h_{f@14\text{barg}}$	:	845.1 kJ/kg
$h_{fg@14\text{barg}}$	:	1947.10 kJ/kg
Islak buharın entalpisi ( $h=h_f+xh_{fg}$ )	:	2597.49 kJ/kg
Buharın gizli ısı $h_{fg@14\text{barg}}$	:	1752.39 kJ/kg
Kazan buhar üretme kapasitesi	:	25000 kg/h
Toplam üretilecek ve iletilebilecek enerji	:	12169.38 kW

Bir tesisteki tüm ısı transfer ekipmanlarının performans hesaplamalarında, buhar kuruluşunun %100 (x=1) olduğu baz alınır (Gawde ve ark, 2014). Örnekte ele alınan buhar kazanında üretilen buharın; ısıtma amacıyla kullanılacağını, prosesin tüm dağıtım ve iletim hatlarının tasarımının, doymuş buhara göre yapıldığını ve sistemdeki ısı tüketiminin 13521.53 kW olduğunu varsayalım. Ayrıca belirtmek gerekir ki; buhar kazanlarında yanma, yani ısı girişinin miktarı (brülör veya diğer tipteki yakıcıların çalışması), kazandaki buhar basıncı değerine göre yapılır. Dolayısıyla yakıcı, kazandaki buharın basınç değerini bir basınç transmitteri yardımıyla okuyarak çalışır veya durur. Bundan dolayı 14 barg' da sistemin entalpisini ölçemediğinden, yani oluşturduğu buharın kuru veya ıslak olduğunu farketmeksizin her iki durumda da aynı yakıtı harcamaya devam eder. Islak buharla kuru buharın sahip oldukları entalpilerinin farkından dolayı, tüketici sistemin ihtiyaç duyduğu ısı enerjisi karşılamak için, fazladan enerji ve zaman harcar ve bunun sonucunda sistem verimi düşer. Aynı debi ve basınç değerine sahip fakat kuruluk derecesi düşük olan buhar üretildiğinde, proses ihtiyacını karşılamak için harcanması gereken fazladan yakıt miktarı Çizelge 1.3 de ve maliyet olarak karşılığı Çizelge 1.4' de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.3.** Buhar kuruluk derecesi düştüğünde sistemdeki ısı ihtiyacını karşılamak için harcanan fazladan yakıt miktarı

x=1 olması durumunda gerekli yakıt tüketimi	:	1620.13 Nm <sup>3</sup> /h
x=0.9 olması durumunda fazladan gerek duyulan yakıt miktarı	:	162.01 Nm <sup>3</sup> /h
x=0.9 olması durumunda toplam gerek duyulan yakıt miktarı	:	1782.15 Nm <sup>3</sup> /h



**Çizelge 1.4.** Isıl ihtiyacın karşılanması için harcanan fazladan yakıt miktarının maliyeti

Yıllık Tesis Çalışma Süresi (300 gün/yıl * 24 saat/gün * 1 yıl)	: 7200	h/yıl
Fazladan Tüketilecek Yakıt Miktarı	: 1166496.69	Nm <sup>3</sup> /h
Yakıt Birim Fiyatı (Anonim 6, 2017)	: 0.75	TL/Nm <sup>3</sup>
Fazladan Harcanacak Enerji Maliyeti (sadece yakıt gideri baz alınarak)	: 874872.52	TL
Kur	: 6.15	Eur/TL
Fazladan Harcanacak Enerji Maliyeti	: 142255.69	Eur

Görüldüğü üzere tesislerde buharın kuruluk derecesi ekonomik olarak büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra ürün kalitesi ve zaman gibi etmenlerin de bu kaybın katlanarak artmasına neden olacağı da açıktır. Tesisatla kazandan çıkan ıslak buharın çeşitli hat seperatörleriyle buhar kuruluk derecesi artırılmaya çalışılsa da, ayrışan sıcak kondensin kazana döndürülme maliyeti (kondens pompası), tesisat yatırımı ve kazanda oluşturulmasına kadar harcanan enerji gibi kalemler de sistemin yatırım maliyetinin geri ödeme süresini ve sistem verimini uzatmaktadır. Bu nedenle, bu tip kazanlarda buharın üretim noktasında kuru buhar olarak üretilmesi, ideal koşullarda bu varsayımın tasarlanmış iletim ve dağıtım hatlarının düzgün çalışmasına, enerji kayıplarının ve tesis enerji yönetiminde kullanılan verimlilik değerlerindeki hatanın minimum olmasına neden olacaktır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bodhke ve ark. (2014); 200 kg/h, 10.5 bar dizel yakıtlı su borulu buhar jeneratörünün ürettiği buharın kuruluk derecesini belirleyebilmek amacıyla kalorimetre içeren bir test düzeneği kurmuşlardır. Deneylerinde kullanılan buharın, ıslak buhar olmasının gerekli olduğunu ve kalorimetre sonuçlarının kuru ve kızgın buhar üzerinde uygulanabilir olmadığını ifade etmişlerdir. Ayrıca buhar sıcaklığı, buhar basıncı, ekonomizer çıkış sıcaklığı, yakıt basıncı, egsoz gaz sıcaklığı, su ve yakıt debisi gibi parametrelerin buhar kuruluğu üzerindeki etkilerini de belirlemiştir.

Düzenekte kullanılan buhar kuruluk derecesi ölçüm sistemi bir ayrıştırma kısılma kalorimetresidir. Ayrıştırma kalorimetresinin, buharın kısılma kalorimetresi sonrasında kızgın buhar fazına geçebilmesi için gereken asgari buhar kuruluk derecesini temin ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıştırma kalorimetresine giren ve miktarı rotametreyle belirlenen ıslak buhar aniden doğrultusunu değiştirerek, buhar içerisinde yer alan ve kuru buhara göre daha ağır nem zerreciklerini altta yer alan kapta birikmesini sağlamışlar ve biriken miktarı not etmişlerdir. Nispeten daha kuru olan buharı ayrıştırma kalorimetresinden kısılma kalorimetresine doğru yönlendirmişler ve bir iğne vana yardımıyla kısılma işlemini uygulamışlardır. Kısılma işlemini, kısılma kalorimetresindeki manometreden 0.0666 bar değerini okuyana dek sürdürmüşlerdir. Kısılma kalorimetresinden sonra buhar numunesinin miktarı, kondenserde yoğunlaştırılarak belirlenmiştir. Farklı basınçlarda uyguladıkları testlerde 2-3 dakikalık aralarla kuruluk değerini okumaya devam etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda buhar jeneratörü üzerindeki iyileştirmeler sayesinde %10 verim artışı elde etmişlerdir.

Moura ve ark. (2012); atıkları ve biyokütleleri yakarak güç ve buhar elde etmekte kullanılan siklonik tipte kazanın, laboratuvar ölçeğinde düşük basınçlı (8 bar) ve ıslak buhar üreten bir modelini kurmuşlardır. Kazanın verimliliğini belirlemekte kullanılan direkt metotta, üretilen buharın entalpisinin bilinmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, kazanda üretilen buharın entalpisini hesaplamak için de buharın kuruluk derecesinin belirlenmesi gerektiğini dile getirmişlerdir. Buhar kuruluğunu ölçmede kullanılan kısılma kalorimetresinin, düşük kuruluk derecesine sahip buharın ıslak buhardan kızgın buhara dönüştürülmesinde etkin olmamasından dolayı, kısılma kalorimetresi sonrasına bir elektrik kalorimetresi ekleyerek modifiye edilmiş bir düzenek kurmuşlardır.

Kuruluk derecesi bilinmeyen ıslak buhar ilk olarak kısılma kalorimetresine

girerek buharın içinde yer alan su zerreciklerinin buharlaşması temin edilmeye çalışılmıştır. Eğer ölçülmek istenen karışımın kuruluk derecesi yeterince yüksek değilse basınç düşümünün kızgın buhar elde etmek için yeterli olmayacağını ve bir miktar daha ısı verilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu sistemde iki adet elektrikli ısıtıcı bulunmaktadır. Birinci ısıtıcı karışıma verilmesi gereken ısıyı temin ederken diğeri kütsel debiyi belirlemede kullanılmıştır. Yaptıkları deney sonucunda tasarladıkları kalorimetreden okunan değerlerin %7 'lik bir belirsizliğe sahip olduğunu fakat bu değerlerin hassas sensörler kullanılarak düşürülebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca tasarladıkları kalorimetrenin sınırının yalnızca buhara eklenecek ısıyla sınırlı olduğunu, düşük kuruluk derecesine sahip bir buhar karışımına eklenecek daha yüksek miktardaki ısıyla teorik olarak her derecedeki kuruluğun ölçümünün mümkün olduğunu ortaya koymuşlardır.

Pachaiyappan ve ark. (2015); dizel yakıtlı bir kazan ve buhar türbininin performansını değerlendirmek için bir test düzeneği kurmuşlardır. Ayrıca sistemde, bir buhar seperatörü, kondenser ve ekonomizer bulunmaktadır. Sistemdeki kazan ve buhar türbininin performansları, ayrıştırma-kısıma kalorimetresi düzeneğiyle ölçülmüştür. Çalışmanın sonunda sistemin ve bileşenlerinin performanslarını tablolarda detaylı olarak ifade etmişlerdir.

Kolovratnik ve ark. (2014); çalışmalarında 10 MW' lık bir buhar türbininin içindeki düşük basınçlı kısımlarda ıslak buharın kuruluk derecesini ölçmek için yeni bir cihaz geliştirmeyi amaçlamışlardır. Söndürme probu olarak adlandırılan bu cihaz, türbinin belirlenen noktalarından optik sinyaller şeklinde ölçümler alarak veriler işlenmekte ve bu sayede kuruluk derecesini belirlemektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlarla teorik sonuçların örtüştüğü gözlemlenmiştir.

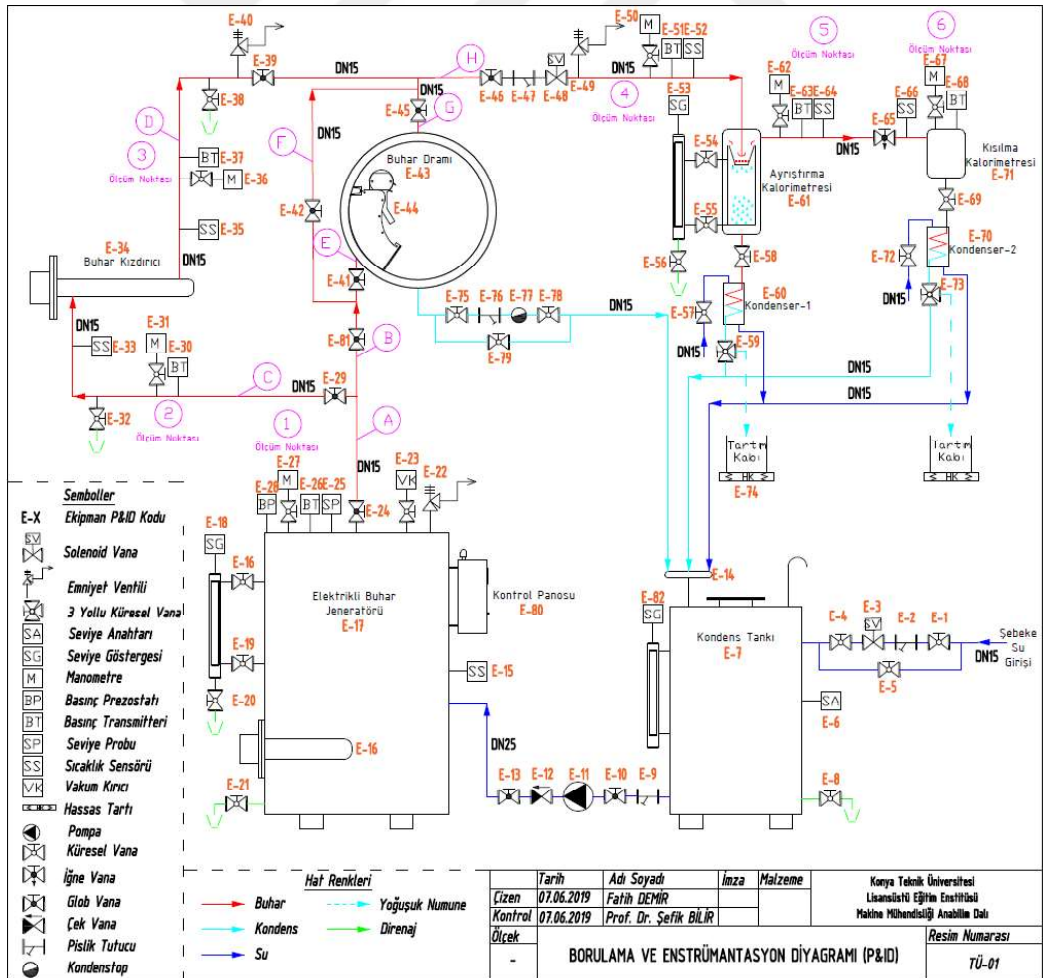
Dorfman ve ark. (2014); doymuş sıvı-buhar karışımının kuruluk derecesinin ölçümü için tahliye kalorimetresi olarak adlandırılan ve ısı yalıtıma sahip bir düzenek kurmuşlardır. Tahliye prosesi sürekli akışlı ve üniform bir akış prosesidir. Çalışmalarında yalıtılmış hacimdeki buhar karışımının kuruluk derecesinin, basıncın bir fonksiyonu olduğunu ifade etmişler ve bu nedenle özel bir parametre ( $\beta$ ) tanımlamışlardır. Bu parametre birim buhar kütsesinin anlık akış işi olarak adlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kuruluk derecesinin hafifçe basınca bağlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, tasarlanan kalorimetrenin, orta ve yüksek kuruluk derecesine sahip karışımlar için tahmin imkanı verebileceğini belirtmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde seperatör performansının değerlendirilmesi için tasarımı ve imalatı yapılan test ünitesine ait bilgiler yer almaktadır.

#### 3.1. Borulama ve Enstrümantasyon Diyagramı (P&ID)

Bir proseste kullanılan ekipman, bu ekipman arasındaki boru tesisatı, ekipman ve hatlar üzerinde kullanılan enstrümanların gösterildiği diyagramlara borulama ve enstrümantasyon diyagramı (P&ID – Piping and Instrumentation Diagram) adı verilmektedir. 3 boyutlu proses tasarımının öncesinde bu şemanın hazırlanması, olası hataların elimine edilmesini sağladığı gibi, prosesin tasarım ve imalat sürecinden sonra güncellenerek kaydedilmesi, işletme ve bakım açısından önemli kolaylıklar sunmaktadır. Test ünitesine ilişkin hazırlanan P&ID Şekil 3.1’ de verilmiştir.



Şekil 3.1. Test ünitesine ait P&ID şeması

P&ID üzerinde, test ünitesinde kullanılan tüm enstrümanlar E-X şeklinde numaralandırılmış ve sonraki bölümlerde açıklanan test ünitesi bölümlerinde bu kod numaraları, ilgili ekipman açıklamasının yanında belirtilmiştir. Ayrıca, testlerin yapılışı sırasında buhar numunesinin izleyeceği akış yolunu tanımlamak amacıyla, şema üzerinde boru hatları A, B, C, D, E, F, G, H şeklinde harflerle işaretlenmiştir. P&ID üzerinde, prosesteki sensörlerin montaj yerleri referans alınarak, ölçüm alınan proses noktaları 1 den 6 ya kadar numaralandırılmıştır. Ölçüm noktası numaralarının karşılığı olan proses bölümleri aşağıda listelenmiştir.

- Ölçüm noktası 1 buhar jeneratörü gövdesini,
- Ölçüm noktası 2 kızdırıcı giriş hattını,
- Ölçüm noktası 3 kızdırıcı çıkış hattını,
- Ölçüm noktası 4 ayırıştırma kalorimetresi giriş hattını,
- Ölçüm noktası 5 ayırıştırma kalorimetresi çıkış hattını (kısılma vanası girişi),
- Ölçüm noktası 6 kısılma kalorimetresi giriş hattını (kısılma vanası çıkışı) tanımlamaktadır.

### 3.2. Test Ünitesinin Bölümleri

Referans alınan buhar seperatörünün performans değerlendirmesi için tasarımı, imalatı ve üzerinde testlerin gerçekleştirildiği test ünitesi birbirinden farklı alt bölümlerden meydana gelmiştir. Test ünitesine ait fotoğraflar Şekil 3.2’ de verilmiştir.

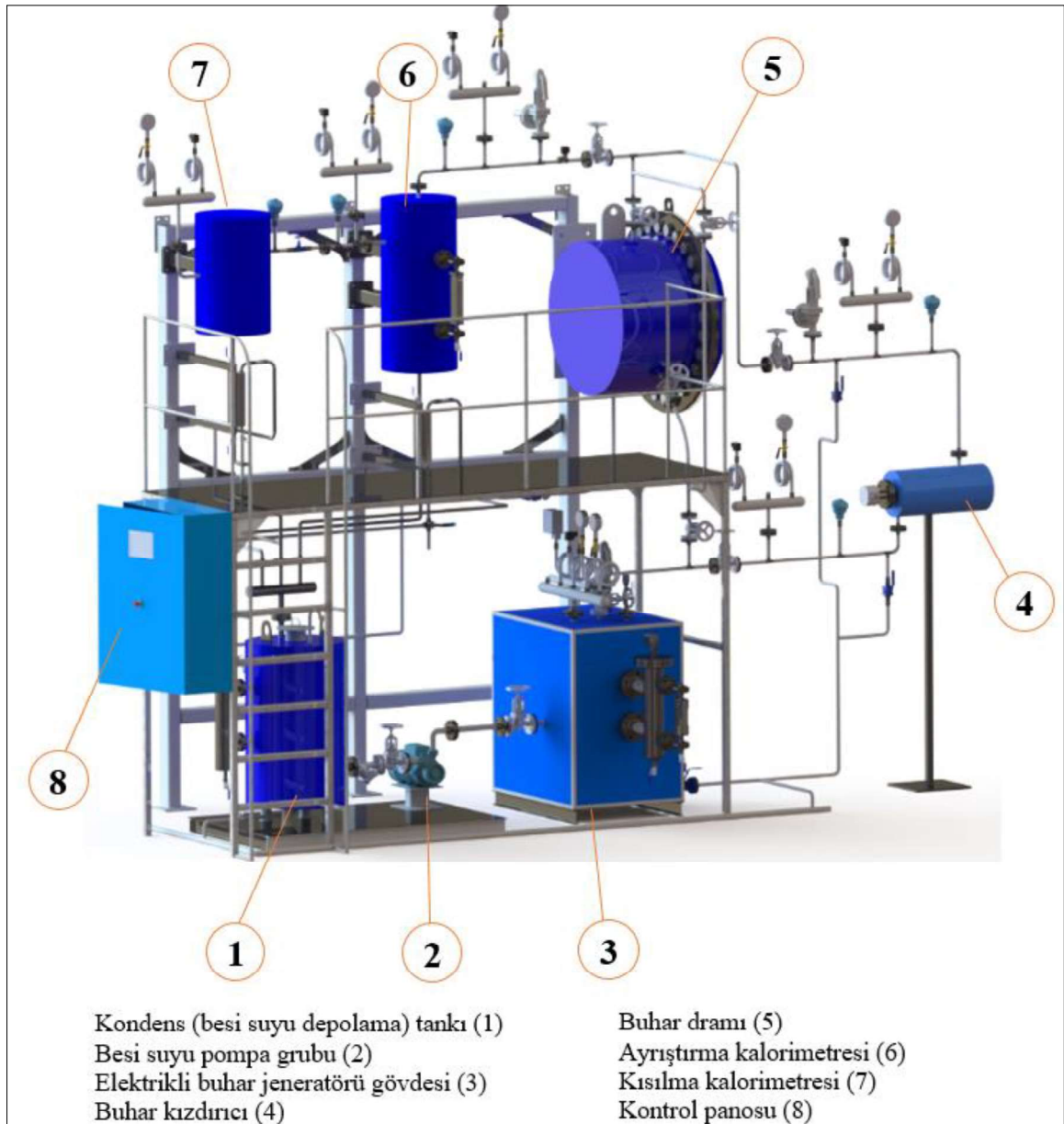


Şekil 3.2. Test ünitesine ait fotoğraflar

Sistemi meydana getiren 5 ana alt bölüm şunlardır:

- 3.2.1. Elektrikli buhar jeneratörü
- 3.2.2. Buhar dramı
- 3.2.3. Ayrıştırma kısılma kalorimetresi
- 3.2.4. Buhar kızdırıcı
- 3.2.5. Diğer sistem bileşenleri

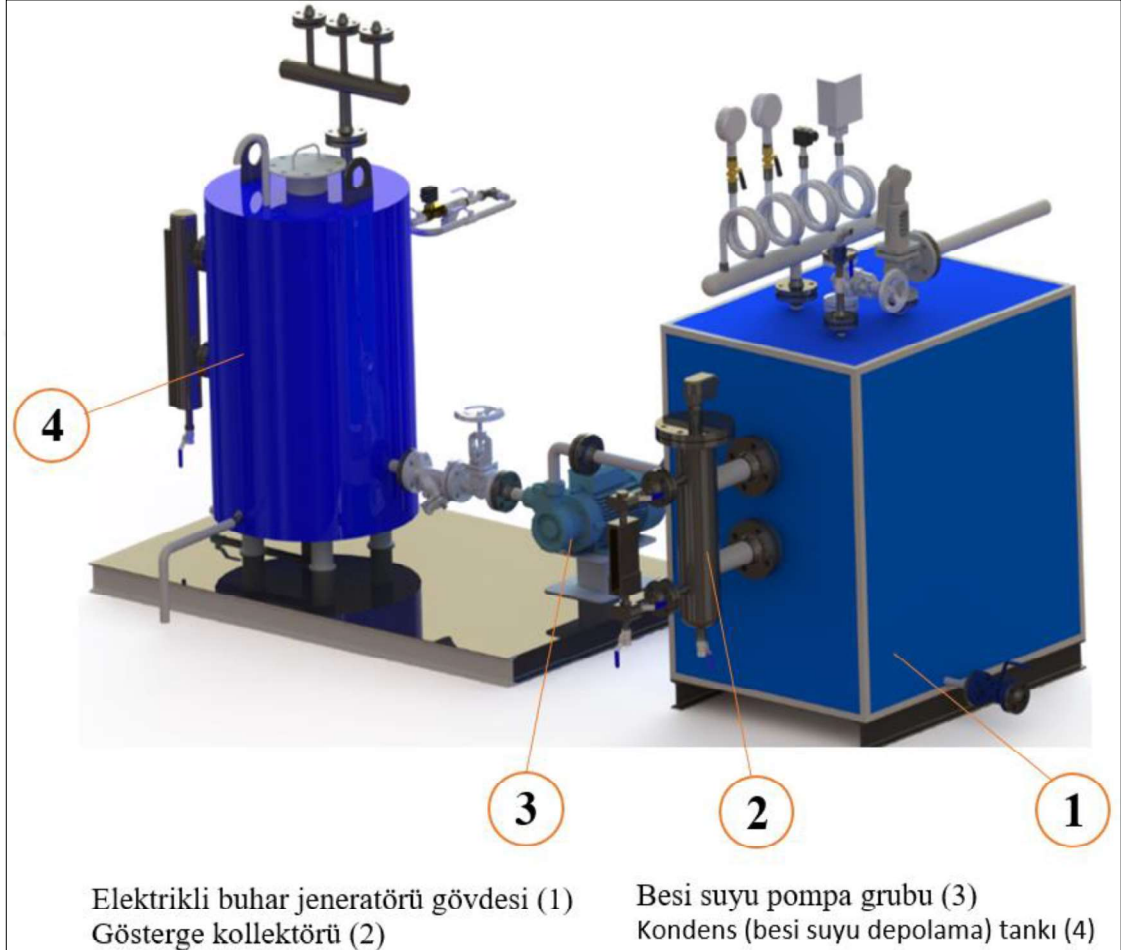
Test ünitesinin üç boyutlu tasarımı Şekil 3.3' de verilmiştir. Sistemi oluşturan tüm alt bölümler aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.3. Test ünitesinin 3 boyutlu tasarımı

### 3.2.1. Elektrikli buhar jeneratörü

Amacı: Testler sırasında kullanılacak buhar numunesinin üretildiği bölümdür. Elektrikli buhar jeneratörünün 3 boyutlu tasarımına ait görsel Şekil 3.4’ de verilmiştir.



Şekil 3.4. Elektrikli buhar jeneratörü tasarımı

Çalışma Prensibi: Şebekeden gelen 2-4 bar basıncındaki besi suyu, kondens tankı üzerinde bulunan on/off şamandıralı tip seviye anahtarı ve solenoid vana yardımıyla kontrollü olarak kondens tankına beslenir. Buhar jeneratörü içerisindeki su seviyesi, on/off olarak çalışan elektrikli su seviye kontrolörü tarafından gerçekleştirilmektedir. Buhar jeneratörü su seviye kontrol probu, buhar jeneratörü gövde konstrüksiyonuna bağlı olarak tanımlanan pompa çalış, pompa dur, yüksek ve düşük su seviye alarm seviyeleri olmak üzere dört adet birbirinden bağımsız çalışan probdan oluşmaktadır. Buhar jeneratöründeki su seviyesi pompa çalış probu seviyesine kadar düştüğünde kazan besi suyu pompası sistem tarafından çalıştırılarak, su seviyesi pompa dur probu seviyesine

kadar yükseltilir. Bu çevrim jeneratörün çalışması boyunca tekrarlanır. Herhangi bir nedenle pompanın çalışmaması halinde su seviyesi düşmeye devam eder ve düşük su seviye alarm probuna ulaşırsa sistem çalışmasını durdurur, ısıtıcı rezistans devreden çıkar. Aynı durum yüksek su seviyesi için de geçerli olup, pompanın herhangi bir nedenle durmaması durumunda su seviyesi yükselmeye devam eder ve yüksek su seviyesi alarm probuna ulaşırsa sistem çalışmasını durdurur, ısıtıcı rezistans yine devreden çıkar. Buhar jeneratörü kontrol panosu üzerinden girilen işletme basıncı değerine göre çalışır. Girilen değer jeneratörden bir basınç transmitter yardımıyla okunan değerden düşükse ve sistemde alarm olmaması durumunda ısıtıcı rezistans devreye girerek, buhar jeneratöründeki basıncı pano üzerinden tanımlanan değere getirene kadar çalışmasına devam eder. Pano üzerinden tanımlanan işletme basıncına ulaşan buhar jeneratörü, ısıtıcı rezistansı durdurur. Buhar çıkış vanası vasıtasıyla jeneratörden ayrılan buhar, jeneratör içerisindeki basıncın düşmesine neden olur. Isıtıcı rezistansın eksilen buhar basıncını tekrar işletme basıncına getirmesi için devreye gireceği basınç değeri, pano üzerinde histerezis değeri olarak belirtilen değer girişiyle sağlanır. Girilen histerezis değeri, girilen işletme basıncıyla buhar jeneratöründen okunan basınç değeri arasındaki farkla kıyaslanır. Bu fark histerezis değerinden büyükse, ısıtıcı rezistans çalışmaya başlar ve buhar jeneratöründen okunan değer set basıncına ulaşmasıyla tekrar devreden çıkar. Buhar kullanımı devam ettikçe açıklanan bu döngü sürekli olarak tekrarlanmaktadır.

Alt sistem bileşenleri: Elektrikli buhar jeneratörü sistemini oluşturan alt ögeler aşağıda sıralanmış ve detaylarıyla açıklanmıştır.

3.2.1.1. Kondens (besi suyu depolama) tankı

3.2.1.2. Besi suyu pompa grubu

3.2.1.3. Elektrikli buhar jeneratörü gövdesi

3.2.1.4. Kontrol panosu

### **3.2.1.1. Kondens (besi suyu depolama) tankı**

Amacı: Buhar jeneratörü için gerekli suyun depolandığı bölümdür. Kondens tankı su hacminin buhar jeneratörünün ihtiyaç duyduğu kapasiteden daha büyük belirlenmesinin nedeni, pompa emişindeki statik basıncı artırmak ve muhtemel kavitasyonu engellemektir. Kondens tankının diğer bir işlevi de, sistemden dönen sıcak kondensin tankta toplanarak, şebekeden sağlanacak su miktarını azaltmaktır. Bu sayede hem su tüketimi düşürülmüş hem de tanktaki suyun sıcaklığının düşmesi engellenmiştir.



Kondens (besi suyu depolama) tankına ait görsel Şekil 3.5’ de verilmiştir. P&ID kod numarası E-7’ dir.



Şekil 3.5. Kondens tankı tasarımının görünümü

Kondens tankına ilişkin genel özellikler Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kondens tankının genel özellikleri

Tam dolu su hacmi	:	~125 lt
Maksimum izin verilen işletme basıncı değeri	:	Atmosferik
Hidrostatik test basıncı	:	0,5 barg
İzolasyon malzemesi	:	80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 50 mm kalınlığındaki taşıyıcı
Gövde malzemesi	:	Karbon çelik (S235JR)

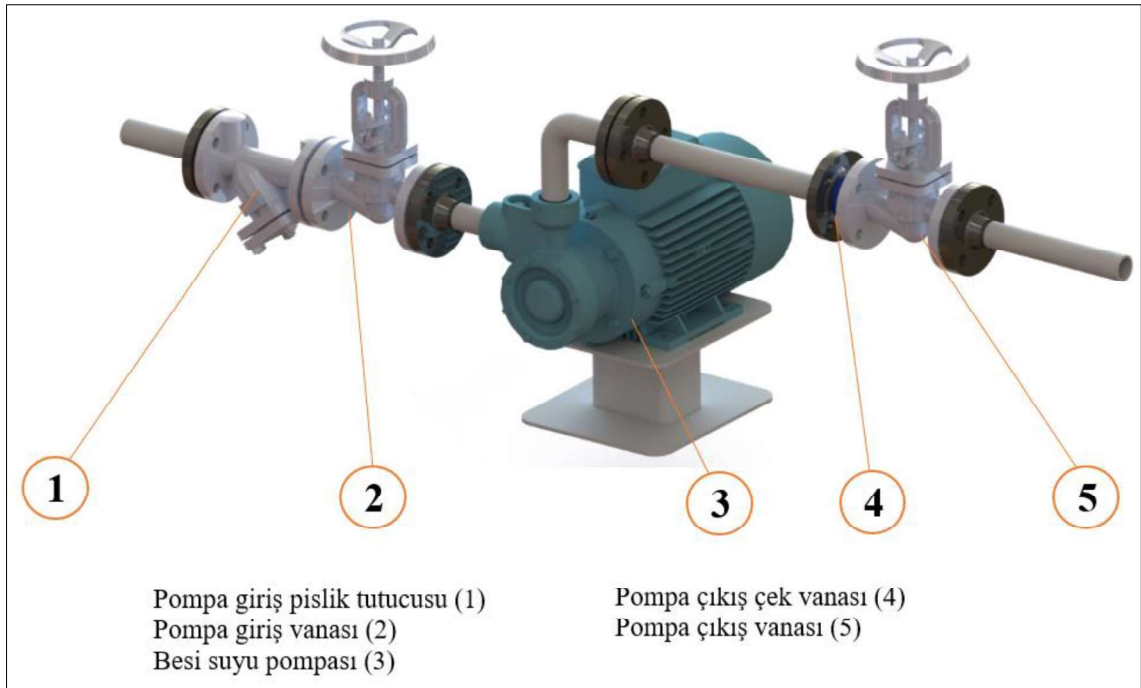
Kondens tankında kullanılan yardımcı aksesuarlar ve diğer bölümleri şunlardır:

Su seviye kontrol anahtarı	Kondens tankındaki istenen su seviyesinin on/off kontrolü için kullanılır. Normalde kapalı kontak pozisyonundadır. Şamandıralı tiptir. P&ID kod numarası E-6' dır.
Su seviye göstergesi	Kondens tankı içerisindeki su seviyesinin kullanıcı tarafından gözlemlenmesi için kullanılır. Manyetik tiptir. Bağlantı flanşı DN20, basınç sınıfı PN10 ve gösterge boyu 500 mm' dir. P&ID kod numarası E-82' dir.
Su giriş solenoid vana grubu	Kondens tankında ki su seviyesinin istenen seviyede tutulması için, şebekeden temin edilecek suyu kontrol eden sistemdir. PN16 ½'', 24V, normalde kapalı tipinde solenoid vana kullanılmaktadır. P&ID kod numarası E-3' tür. Aynı ölçüde pislik tutucu (P&ID kod numarası E-2) ve küresel kesme vanalarıyla (P&ID kod numarası E-1, E-4, E-5) grup haline getirilmiştir. Kesme vanalarının pozisyonu normal işletme sırasında açık, bypass vanası pozisyonu ise kapalıdır.
Boşaltma vanası	Kondens tankı içerisindeki suyun boşaltılmasında kullanılır. PN16 ½'' küresel tip vanadır. P&ID kod numarası E-8' dir.
Havalık nozulu	Kondens tankındaki havanın atıldığı nozuldur. ½'' ölçüye sahiptir.
Taşıklık borusu	Herhangi bir nedenle su seviyesi kontrol edilemediğinde suyun kontrollü biçimde

	boşaltılması için kullanılan borudur. Kondens tankının üst tarafında bulunur.
Kondens dönüş kollektörü	Sistemden dönen kondensin toplanarak tek bir dönüş borusuyla kondens tankında biriktirilmesi için kullanılır. Kollektör aracılığıyla tanka dönen kondens, kollektöre kaynaklı dönüş borusundan geçerek tanka aktarılır. P&ID kod numarası E-14' tür.
Servis kapağı	Kondens tankının içersine servis, temizlik vb. amacıyla elle erişim için, tankın en üstünde konumlandırılmış kapaktır. Civatalı bağlantıya sahiptir.

### 3.2.1.2. Besi suyu pompa grubu

Amacı: Buhar jeneratörü için gerekli suyun kondens tankından emilerek, buhar jeneratörü içersine basınçlı şekilde beslenmesini sağlayan bölümdür. Besi suyu pompa grubuna ait görsel Şekil 3.4' de verilmiştir. P&ID kod numarası E-11' dir.



Şekil 3.4. Besi suyu pompa grubu tasarımının görünümü

Besi suyu pompasına ilişkin genel özellikler Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Besi suyu pompasının genel özellikleri

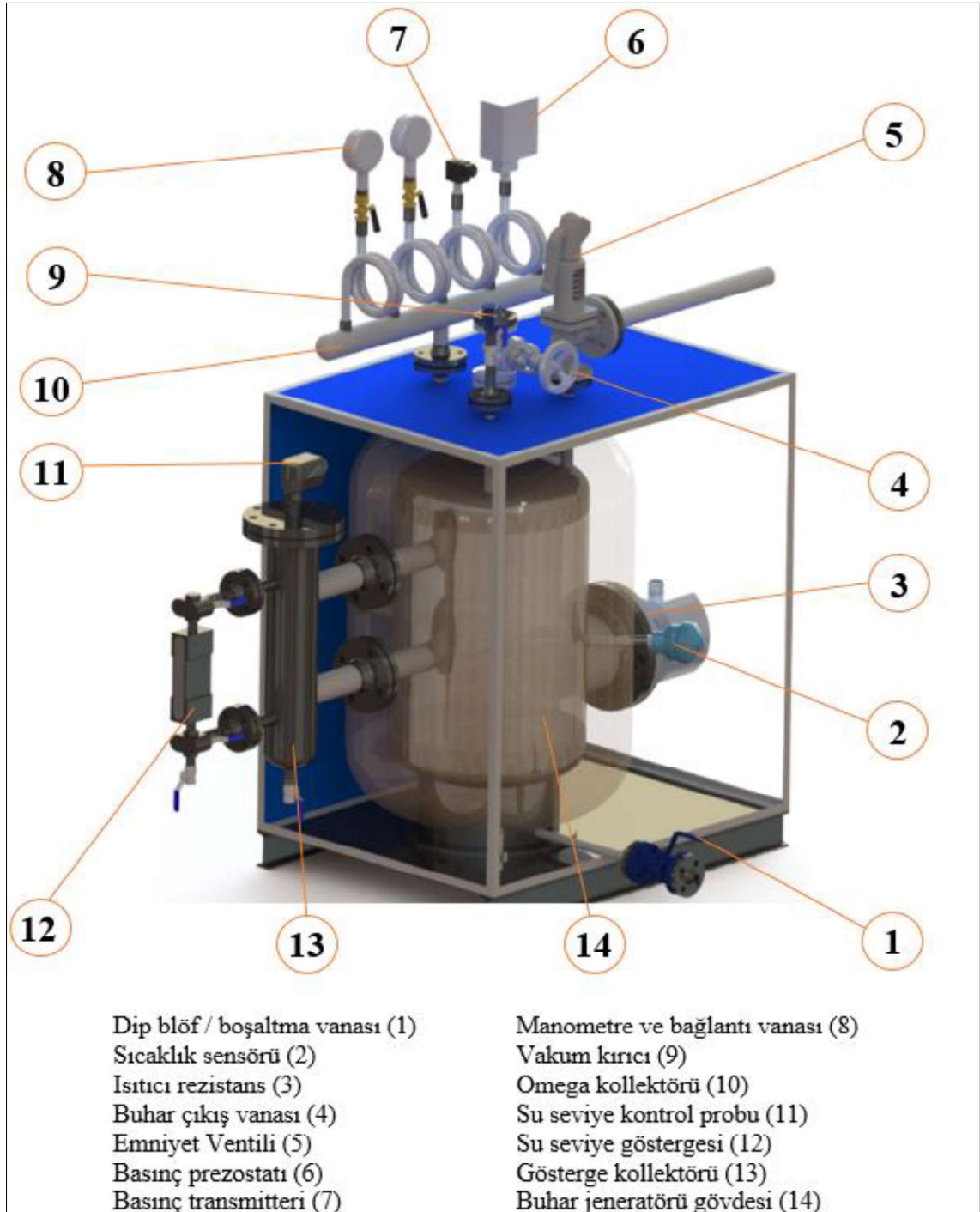
Pompa çalışma debisi	:	0.5 m <sup>3</sup> /h
Pompa çalışma basıncı	:	100 mSS
Tip	:	Santrifüj, yatay milli
Elektriksel güç ve besleme	:	0.75 kW <sub>e</sub> – 380 V – 50 Hz – 2900 d/dk
Emme ve basma nozulu bağlantı çapı	:	1’’

Besi suyu pompasında kullanılan yardımcı aksesuarlar şunlardır:

Pompa giriş pislik tutucusu	Pompa emiş hattında gelebilecek metal tortu ve diğer kirleticilerin; çark, mil, gövde vb. pompa kısımlarını korumak amacıyla pompa girişinde konumlandırılmıştır. PN16 DN25 ölçüye sahip Y tip pislik tutucu kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-9’ dur.
Pompa giriş vanası	Olası bir durumda pompanın arızalanması sırasında kondens tankındaki suyu boşaltmaksızın, pompanın sökülerek tamirinin sağlanması amacıyla pompa emiş hattında kullanılır. PN16 DN25 ölçüye sahip glob tip vana kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-10’ dur.
Pompa çıkış çek vanası	Pompa çıkış hattının basıncın bulunduğu buhar jeneratörüne bağlı olması nedeniyle, pompa çalışmadığında besi suyunun geri gelmesini önlemek amacıyla kullanılmaktadır. PN40 DN25 ölçüye sahip disk tipi, yay geri dönüşlü ve paslanmaz çelik malzemedен imal çek vana kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-12’ dir.
Pompa çıkış vanası	İşletme anında meydana gelebilecek olası bir pompa arızasında, pompanın güvenle sökülebilmesi için buhar jeneratörüyle olan bağlantısını kesen vanadır. PN16 DN25 ölçüye sahip glob tip vana kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-13’ tür.

### 3.2.1.3. Elektrikli buhar jeneratörü gövdesi

Amacı: İçerdiği ısıtıcı rezistans sayesinde suyun buhara dönüştürüldüğü ve üzerinde mekanik ve elektronik sistem işletme ve emniyet ekipmanlarının bulunduğu bölümdür. Elektrikli buhar jeneratörü gövdesine ait görsel Şekil 3.5' de verilmiştir. P&ID kod numarası E-17' dir.



Şekil 3.5. Elektrikli buhar jeneratörü gövdesi tasarımının görünümü

Elektrikli buhar jeneratörü gövdesine ilişkin genel özellikler Çizelge 3.3' de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Elektrikli buhar jeneratörü gövdesinin genel özellikleri

Buhar üretim kapasitesi	:	30 kg/h (F&A 100°C)
Tam dolu su hacmi	:	~78 lt
Maksimum izin verilen işletme basıncı değeri	:	10 barg
Tasarım basıncı	:	11.5 barg
Hidrostatik test basıncı	:	19.14 barg
Rezistans gücü	:	25 kW <sub>e</sub> – 380 V – 50 Hz
İzolasyon malzemesi	:	80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 100 mm kalınlığındaki taşyünü
Gövde malzemesi	:	Karbon çelik (P355GH)

Elektrikli buhar jeneratörü gövdesinde kullanılan yardımcı aksesuarlar şunlardır:

- Dip blöf / boşaltma vanası** Metal tortular ve çeşitli kimyasal tuzlardan oluşmuş istenmeyen maddelerin buhar jeneratörü gövdesinin alt tarafından atılmasında kullanılan vanadır. Bu vananın diğer bir görevi de buhar jeneratörü gövdesi içerisindeki suyun boşaltılmasıdır. PN16 DN15 ölçüye sahip küresel tip vana kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-21' dir.
- Su seviye kontrol probu** Buhar jeneratörü gövdesindeki istenen su seviyesinin on/off kontrolü için kullanılır. Elektronik ve dört problu tiptedir. P&ID kod numarası E-25' dir.
- Su seviye göstergesi** Buhar jeneratörü gövdesindeki su seviyesinin kullanıcı tarafından gözlemlenmesi için kullanılır. Reflex camlı tiptir. Dahili PN40 DN20 bağlantı vanaları ve boşaltma vanası (P&ID kod numarası E-16, E-19, E-20) bulunmaktadır. Gösterge boşaltma vanasının çıkışı esnek metal sargılı hortumla ana boşaltma hattına bağlanır. P&ID kod numarası E-18' dir.
- Gösterge kollektörü** Su seviye göstergesinin üzerine bağlandığı kollektördür. Ayrıca kollektörün üst kısmında su seviye kontrol probu da yer almaktadır. Kollektörün

Manometre ve bağlantı vanası	<p>boşaltılması amacıyla kollektör alt kısmında PN63 ½'' küresel vana bulunmaktadır.</p> <p>Buhar jeneratörü gövdesinin içerisindeki basıncın izlenmesi için kullanılmaktadır. Sistemde, 100 mm gösterge çap, 0-16 barg gösterge aralığına sahip 2 adet manometre ve ½'' çapında 3 yollu bağlantı vanaları bulunmaktadır. Tüm manometrelerle gövde arasında birer omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&amp;ID kod numarası E-27' dir.</p>
Basınç transmitteri	<p>Buhar jeneratörü gövdesinin içerisindeki basıncın elektronik olarak ölçülmesi için kullanılır. Sistemde, 4-20 mA çıkış sinyal aralığına ve 0-16 barg ölçüm aralığına sahip 1 adet basınç tranmitteri bulunmaktadır. Basınç transmitteri ve gövde bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&amp;ID kod numarası E-26' dır.</p>
Basınç prezostatı	<p>Buhar jeneratörü gövdesinin içerisindeki basıncın mekanik olarak kontrol edilmesi için kullanılır. Sistemde, 1-17 barg ölçüm aralığına sahip 1 adet basınç prezostatı bulunmaktadır. Basınç prezostatı ve gövde bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&amp;ID kod numarası E-28' dir.</p>
Sıcaklık sensörü	<p>Buhar jeneratörü gövdesinin susuz kalması sonucunda sıcaklık artışına paralel olarak ortaya çıkabilecek muhtemel tehlike durumunun saptanabilmesi için 1 adet J tipi termokupl kullanılmaktadır. P&amp;ID kod numarası E-15' dir.</p>
Buhar çıkış vanası	<p>Buhar jeneratöründe üretilen buharın kontrol edilmesi için çıkış nozulunda montajlı olan vanadır. PN16 DN15 ölçüye sahip glob tip vana kullanılmıştır. P&amp;ID kod numarası E-24' dür.</p>
Vakum kırıcı	<p>Sistemdeki uzun süreli dur kalklar sonucu buhar jeneratöründe oluşan vakum basıncın atmosfer basıncına eşitlenmesi için kullanılan vanadır. PN16</p>

Emniyet ventili	<p>½’’ ölçülü vakum kırıcı, 1 adet PN63 ½’’ küresel tip kesme vanasıyla birlikte, gövdenin üst kısmına monte edilmiştir. P&amp;ID kod numarası E-23’ dür.</p> <p>Buhar jeneratörü gövdesinin içerisindeki basıncın, herhangi bir nedenle izin verilen maksimum işletme basıncı değerinin %10 üzerindeki basınç değerine ulaşması durumunda fazla basıncı tahliye eden emniyet donanımıdır. PN16 DN20/32 ölçüsüne sahip, tam kalkışlı, yaylı ve açık kapak tipinde emniyet ventildir. Set basıncı değeri 11 barg’ dır. P&amp;ID kod numarası E-22’ dir.</p>
Isıtıcı rezistans	<p>Buhar jeneratöründen istenen debi ve basınçta buharın üretilmesi için gerekli enerjinin sağlandığı ekipmandır. Karbon çelik flanşlı bağlantıya sahiptir. Isıtıcı elemanlar Cr-Ni alaşımlı malzemeden imal edilmiştir. Elektrik beslemesi 380V – 50 Hz – 3 faz’ dır. P&amp;ID kod numarası E-16’ dır.</p> <p>Buhar jeneratörü için belirlenen elektrikli ısıtıcının rezistans gücü, buhar jeneratörünün özellikleri baz alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Buhar jeneratörü sistemine ilişkin genel işletme şartları Çizelge 3.4’ de verilmiştir.</p>

**Çizelge 3.4.** Elektrikli buhar jeneratörü gövdesinin genel işletme şartları

Buhar üretim kapasitesi ( $\dot{m}$ )	:	30	kg/h
Maks. izin verilen işletme basıncı ( $P_{\text{imaks}}$ )	:	10	barg
Maks. işletme basıncındaki doymuş buharın entalpisi ( $h_g$ )	:	2781.33	kJ/kg
Buhar jeneratörü besiy suyu giriş entalpisi ( $h_f$ )	:	419.101	kJ/kg

Sürekli akışlı açık bir sistem olan buhar jeneratörü sistemine ilk olarak Süreklilik Denklemi aşağıdaki gibi uygulanabilir. Süreklilik Denklemi, Denklem 3.1 ‘de yazılmıştır.

$$\dot{m}_{\text{giren}} - \dot{m}_{\text{çıkan}} = \frac{d_m}{dt} \quad (3.1)$$



Sürekli akışlı açık sistem koşulu için Denklem 3.1 'deki  $\frac{dm}{dt} = 0$ ' dır. Bu eşitlik Denklem 3.1' de verilen süreklilik denkleminde uygulanarak Denklem 3.2' deki eşitlik elde edilir.

$$\dot{m}_{giren} = \dot{m}_{çıkan} = \dot{m} \quad (3.2)$$

Sürekli akışlı açık koşuluna sahip kontrol hacmi için Termodinamiğin 1. Kanunu uygulanarak, Denklem 3.3 ve bu denklem genişletilerek Denklem 3.4 elde edilir.

Denklem 3.3' deki  $\frac{dE}{dt} = 0$ ' dır.

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \frac{dE}{dt} \quad (3.3)$$

$$\dot{Q}_{giren} - \dot{Q}_{çıkan} + \dot{W}_{giren} - \dot{W}_{çıkan} + \sum_{giren-çıkan} \dot{m} \times ((h_{giren} - h_{çıkan}) + \left(\frac{U_{giren}^2 - U_{çıkan}^2}{2}\right) + (g \times (z_{giren} - z_{çıkan}))) = 0 \quad (3.4)$$

İlgili kontrol hacmi için aşağıdaki varsayımlar kabul edilebilir.

- Potansiyel enerji değişimi ihmal edilebilir. ( $z_{giren} \cong z_{çıkan}$ )
- Kinetik enerji değişimi ihmal edilebilir. ( $U_{giren} \cong U_{çıkan}$ )
- Isı girişi ve çıkışı ihmal edilebilir. ( $\dot{Q}_{giren} \cong \dot{Q}_{çıkan} \cong 0$ )
- İş çıkışı ihmal edilebilir. ( $\dot{W}_{çıkan} \cong 0$ )

Yukardaki sınır şartları Denklem 3.4' e uygulanarak Denklem 3.5 elde edilir.

$$\dot{W}_{giren} = \dot{W}_{Rezistans} = \dot{m} \times (h_{çıkan} - h_{giren}) \quad (3.5)$$

Değerler, Denklem 3.5' de yerlerine konularak Denklem 3.6' daki sonuca ulaşılır.

$$\dot{W}_{giren} = \dot{W}_{Rezistans} = 30 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \left(2781.33 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 419.101 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \quad (3.6)$$

$$\dot{W}_{giren} = \dot{W}_{Rez,net} = 19.68 \text{ kW}_e$$

Denklem 3.6' da elde edilen 19.68 kW<sub>e</sub> değerindeki güç, gövde içerisindeki suya istenen şartlardaki buharın oluşturulması için rezistans tarafından verilmesi gereken net faydalı

enerji miktarıdır. Rezistans gücünün, voltaj dalgalanmalarından oluşacak kayıplar, rezistans elemanlarının kireç kaplanmasından dolayı oluşacak kayıplar vb. işletmedeki olumsuz durumların da göz önünde bulundurularak hesaplanması gerekir. Bu nedenle kayıpların kompanse edilmesi için kullanılacak emniyet faktörüyle (E.F.) bulunan net faydalı enerji miktarı değerinin çarpımı, gerekli toplam rezistans gücünün bulunmasını sağlamaktadır. E.F. nin değeri geçmiş gözlemlere dayanarak 1,25 olarak kabul edilmiştir. Rezistansın sahip olması gereken güç değeri, Denklem 3.7 vasıtasıyla bulunmuştur.

$$\dot{W}_{Rez,top} = E. F. \times \dot{W}_{Rez,net} \quad (3.7)$$

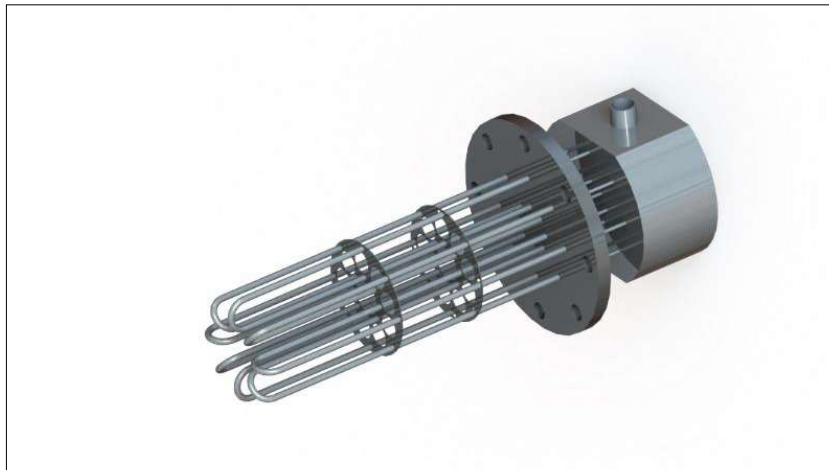
$$\dot{W}_{Rez,top} = 1.25 \times 19.68 \text{ kW}_e$$

$$\dot{W}_{Rez,top} = 24.6 \text{ kW}_e$$

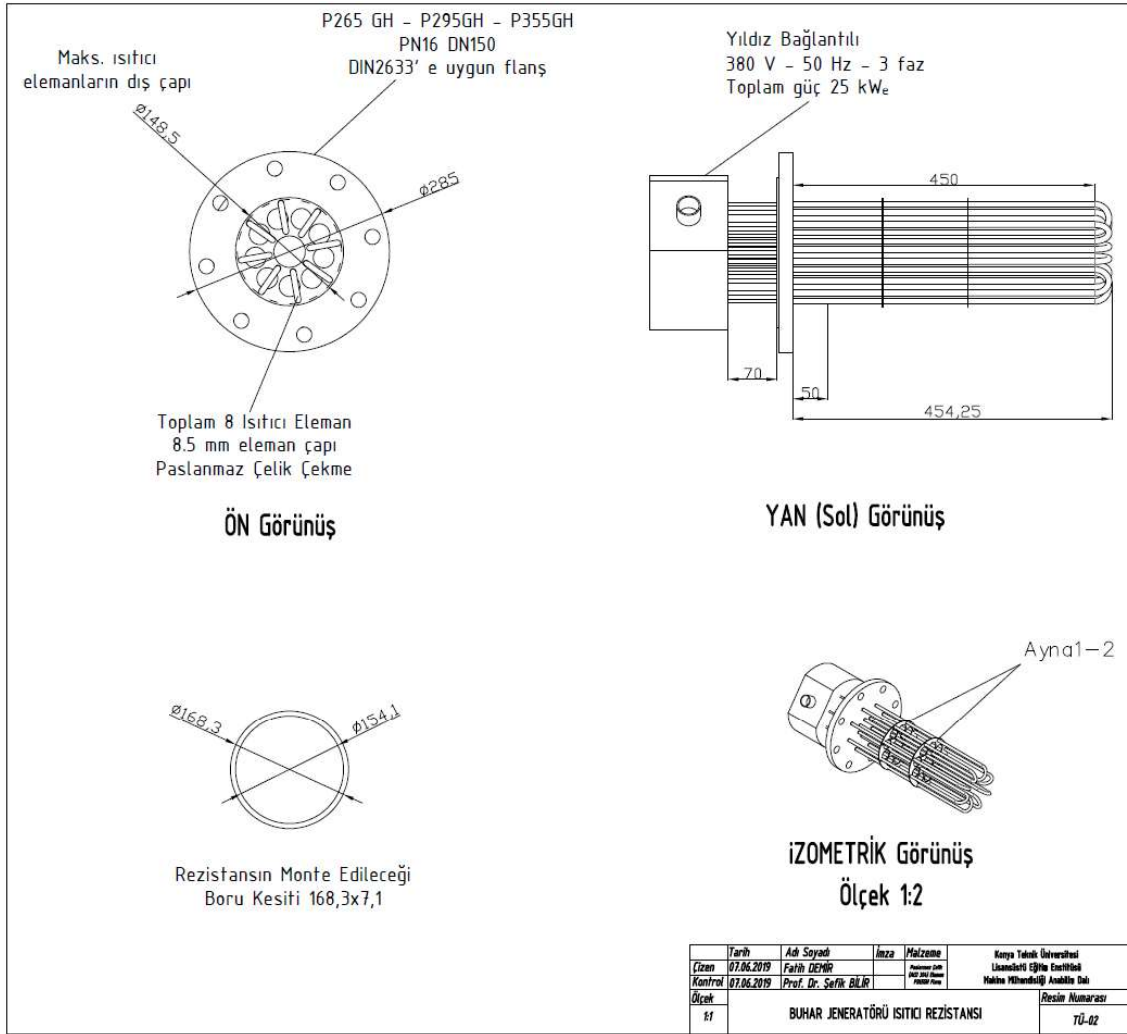
Buhar jeneratörü ısıtıcı rezistansının tasarımı için kullanılan parametreler ve değerleri, Çizelge 3.5' de, tasarım görseli Şekil 3.5' de ve genel ölçüleri Şekil 3.6' da verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Buhar jeneratörü ısıtıcı rezistansının tasarım parametreleri

İzin verilen maks. ısı akısı (6.9> buhar için >15) (Anonymous 2, 2016)	:	13.9*	W/cm <sup>2</sup>
Eleman çapı	:	8.5	mm
Eleman uzunluğu (+ 5 cm ölü bölge dahil)	:	45	cm
Isıtıcı eleman adedi	:	8	adet
Herbir radyus uzunluğu	:	41	mm
Toplam radyus uzunluğu	:	328	mm
Isıtıcı elemanların radyuslar dahil toplam uzunluğu	:	672.8	cm
Isıtıcı elemanların toplam yüzey alanı	:	1796.56	cm <sup>2</sup>
Tasarlanan ısıtıcı elemandan alınabilecek toplam enerji	:	24972.18	W



**Şekil 3.5.** Buhar jeneratörü ısıtıcı rezistans tasarımının görünümü



Şekil 3.6. Buhar jeneratörü ısıtıcı rezistansının genel ölçüleri

Isıtıcı rezistansının çalışma ömrünü artırmak, flanş bağlantı noktasındaki sızdırmazlığını sağlamak ve kablo bağlantı kutusundaki klemensleri sıcaklığa karşı korumak için; 5 cm' lik ısıtmasız ölü bölge ve 7 cm lik soğutma bölümü bulunmaktadır.

### 3.2.1.4. Kontrol panosu

**Amacı:** Sistem içerisinde yer alan tüm elektriksel ve mekanik bileşenlerin güvenle çalışmasını temin ederken, istenen verilerin gösterilmesini sağlayan bölümdür. İçerisinde elektriksel donanımın ve sistemin yönetilmesi için gerekli yazılımı barındırır. Sistemin çalıştırılması esnasında gözlemlenmesi gereken parametreler bulunduğundan, kullanımda kolaylık sağlaması amacıyla test ünitesi üzerine konumlandırılmıştır. Test ünitesi üzerindeki kablolama spiral kablo koruyucuları ve kablo kanalları yardımıyla güvenli bir

çalışma imkanı verecek şekilde yapılmıştır. Kontrol panosuna ait görsel Şekil 3.7’ de verilmiştir. P&ID kod numarası E-80’ dir.



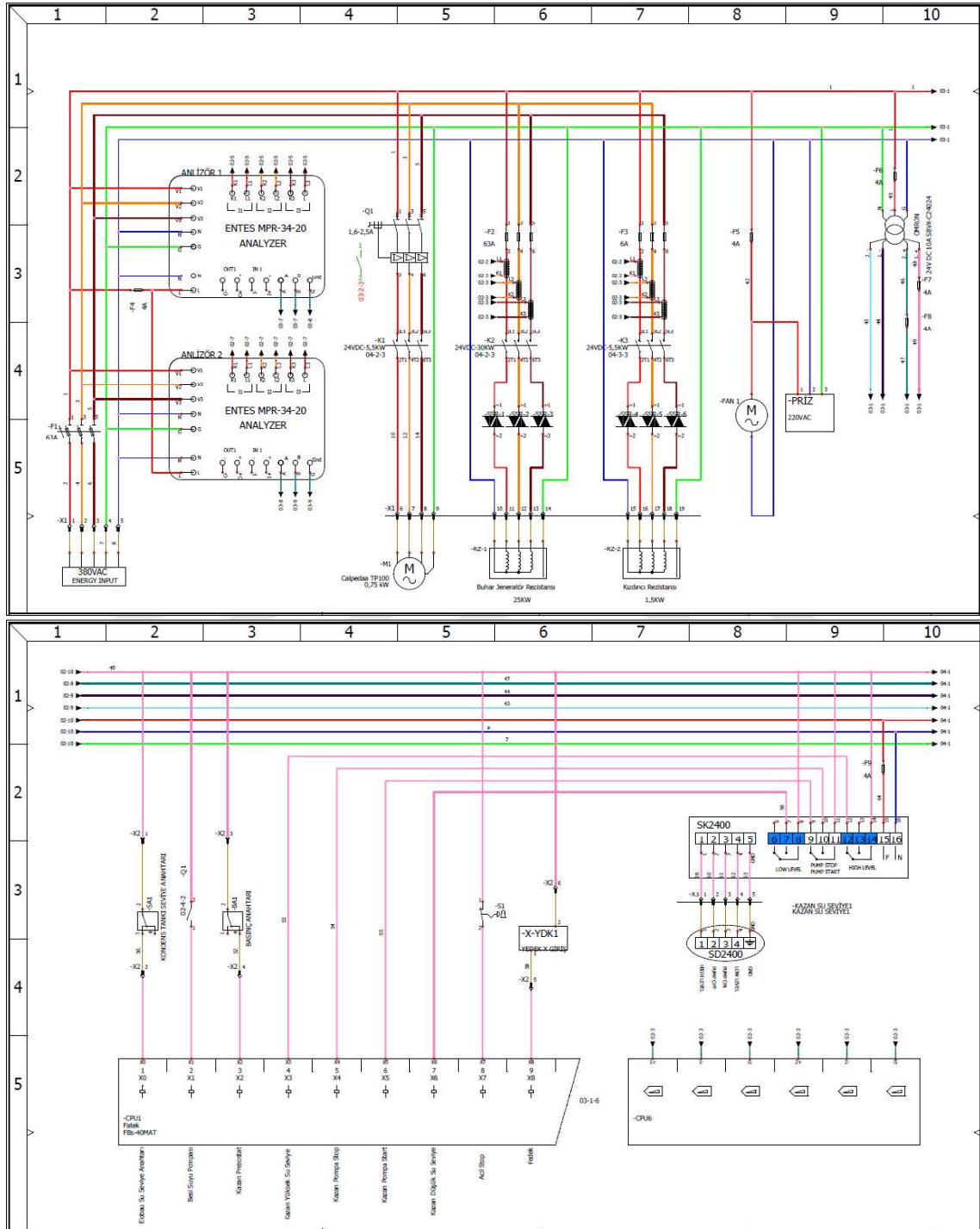
Şekil 3.7. Kontrol panosu tasarımının görünümü

**Donanım özellikleri:** Kontrol panosunun donanımına ilişkin genel özellikler Çizelge 3.6’ da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kontrol panosunun genel özellikleri

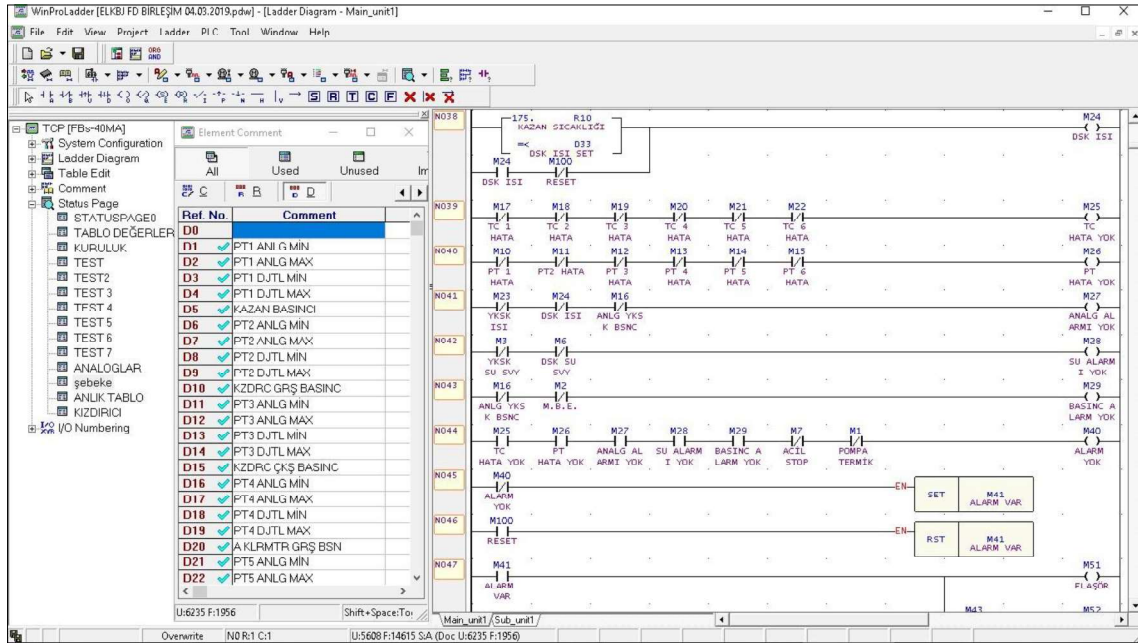
Kullanıcı arayüzü	:	Beijer X2 Base 10’’ TFT-LCD Ekran
PLC ana modül	:	Fatek FBs-40MAT – 24 dijital giriş, 16 dijital çıkış
Pano gövde malzemesi ve ölçüsü	:	Elektrostatik boyalı sac pano
Elektriksel koruma sınıfı	:	IP54
Analog modül giriş	:	Fatek FBs6AD – 6 kanal analog giriş
Analog modül çıkış	:	Fatek FBs2DA – 2 kanal analog çıkış
Güç Kaynağı	:	Omron 24VDC 10A
Rezistans kontrol tipi ve yöntemi	:	Oransal – SSR (Solid state relay)
Analog sıcaklık modülü giriş	:	Fatek FBs6TC – 6 kanal analog giriş
Ana şalter tipi - kapasitesi	:	Pako - Siemens 3LD2514 63 A
Sesli ikaz ışığı tertibatı	:	Mevcut
Uzaktan erişim	:	Mevcut
Şebeke analizörleri	:	2 adet Entes Mpr-34-20s
Anahtarlı acil stop butonu	:	Mevcut

Kontrol panosunda bulunan elektriksel bileşenler arasındaki kablolamayı gösteren elektrik projesi “Solidworks Electrical” programında oluşturulmuştur. Test ünitesinin kontrol panosunun elektrik projesinden alınmış bazı görseller Şekil 3.8’ de verilmiştir.



Şekil 3.8. Kontrol panosuna ait elektrik projesi

Yazılım özellikleri: Kontrol panosunda bulunan PLC cihazının programlaması, “WinProLadder V3,25” yazılımı aracılığıyla merdiven metodu esaslarına göre yapılmıştır. Toplamda PLC programının satır sayısı 449 dur. PLC programlama programı üzerinde sistem programını gösteren örnek görsel Şekil 3.9’ da verilmiştir.



Şekil 3.9. Kontrol panosunun PLC programından bir bölüm

Kullanıcı arayüzü olarak pano da yer alan dokunmatik ekran programı “IX Developer V 2.40” yazılımıyla oluşturulmuştur. Dokunmatik ekranı meydana getiren sayfalar aşağıda açıklanmıştır.

- Ana sayfa
- Kullanıcı ayar (operatör) sayfası
- Test sayfası
- Sistem ayarları (teknisyen) sayfası
- Grafik sayfası
- Ekran ayarları sayfası
- Şebeke sayfası
- Alarm sayfası

**Ana sayfa:** Kontrol panosu açılış sayfasıdır. Tüm alt menülere erişim sağlayan butonlar bu sayfada yer almaktadır. Sistem çalışırken; 1, 2, 3, 4, 5, 6 şeklinde numaralandırılmış ölçüm noktalarında konumlandırılmış sıcaklık ve basınç sensörleri yardımıyla okunan ve PLC' de işlenen verilerin değerleri bu sayfada görüntülenir.

Seperatör verim testi sayfasına geçiş yine bu ekranda yer alan “Test” butonuyla sağlanmaktadır. Buhar jeneratörünün çalışmasını sağlayan “Start” butonunda bu sayfada yer alan diğer butondur. Ana sayfaya ait bazı görseller Şekil 3.10’ da verilmiştir. Her sayfada yer alan ana sayfa butonuyla bu sayfaya geri dönmek mümkün kılınmıştır.



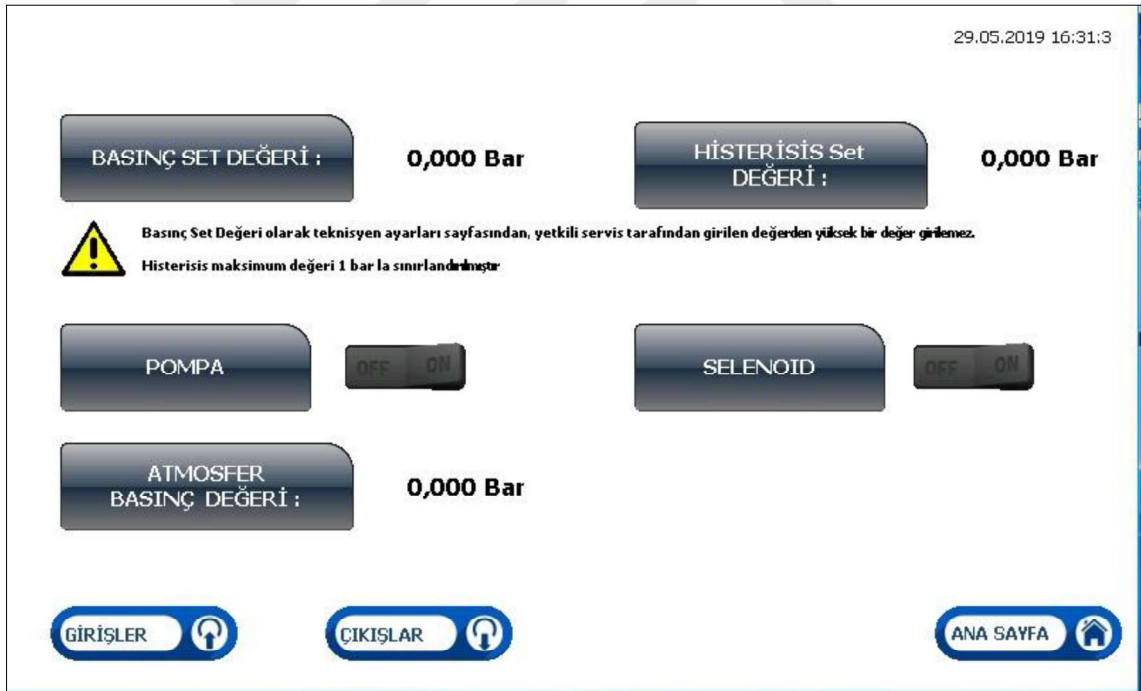
(a)



(b)

Şekil 3.10. (a) Ana sayfa (b) Menü barının altında bulunan diğer sekmeler

**Kullanıcı ayar sayfası:** Buhar jeneratörünün çalışma şartlarının belirlendiği sayfadır. Bu sayfadaki girişler teste başlamadan önce gerekli buhar numunesinin oluşturulması için testi gerçekleştiren operatör tarafından yapılmalıdır. Bu sayfada “Basınç Set Değeri” parametresiyle, buhar jeneratöründe üretilecek buharın basınç değeri tanımlanmaktadır. Buhar jeneratörü içerisindeki buhar basıncının istenilen ayar basıncı değerine ulaşmasıyla ısıtıcı rezistanslar devreden çıkar. Buharın kullanılmasıyla jeneratör içerisinde eksilen buhar miktarına paralel olarak gövde içerisindeki basınç düşer. Isıtıcı rezistansların, gövde içerisindeki buhar basıncının sabit tutabilmesi için tekrar devreye gireceği fark, “Histerezis Set Değeri” parametresiyle tanımlanır. Sistemin çalıştırılmadan önce besi suyu pompasının ve su giriş solenoidinin aktivasyonu için kullanılan “Pompa” ve “Solenoid” dijital anahtarları da bu sayfadadır. Ayrıca, test sayfasında enterpolasyonla hesaplanan termodinamiksel özellikler için gerekli mutlak basınç, bu ekrandaki “Atmosfer Basıncı Değeri” girilerek doğru şekilde hesaplanmaktadır. Kullanıcı ayar sayfasına ait görsel Şekil 3.11’ de verilmiştir.



Şekil 3.11. Kullanıcı ayar sayfası

Bu sayfa üzerinde, PLC ve yan modülleri sistem üzerinden gelen ve / veya sisteme giden analog ve dijital sinyallerin listelerinin bulunduğu giriş ve çıkış listelerine sayfadaki “Girişler” ve “Çıkışlar” butonlarını kullanarak ulaşmak mümkündür. PLC girişlerinin ve çıkışlarının bulunduğu sayfalara ait görseller Şekil 3.12’ de verilmiştir.



### PLC GİRİŞLER

<input type="checkbox"/> X0 -KNDNS TNK SVC	TC1 KAZAN SICAKLIĞI	0,0 °C
<input type="checkbox"/> X1 -POMPA TERMİK	TC2 KIZDIRICI GİRİŞ SICAKLIĞI	0,0 °C
<input type="checkbox"/> X2 - M B E	TC3 KIZDIRICI ÇIKIŞ SICAKLIĞI	0,0 °C
<input type="checkbox"/> X3 - KZN YÜKSEK SU	TC4 KISILMA KALORİMETRESİ GİRİŞ SICAKLIĞI	0,0 °C
<input type="checkbox"/> X4 - KAZAN POMPA STOP	TC5 KISILMA KALORİMETRESİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI	0,0 °C
<input type="checkbox"/> X5 - KAZAN POMPA START	TC6 AÇILMA KALORİMETRESİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI	0,0 °C
<input type="checkbox"/> X6 - KAZAN DÜŞÜK SU	PT1 KAZAN ANALOG GİRİŞ	0
<input type="checkbox"/> X7 - ACİL STOP	PT2 KIZDIRICI GİRİŞİ ANALOG GİRİŞ	0
	PT3 KIZDIRICI ÇIKIŞ ANALOG GİRİŞ	0
	PT4 KISILMA KALORİMETRESİ GİRİŞİ ANALOG GİRİŞ	0
	PT5 KISILMA KALORİMETRESİ ÇIKIŞI ANALOG GİRİŞ	0
	PT6 AÇILMA KALORİMETRESİ ÇIKIŞI ANALOG GİRİŞ	0

[ÇIKIŞLAR](#)

[ANASAYFA](#)

(a)

### PLC ÇIKIŞLAR

<input type="checkbox"/> Y0 - KONDENS SELENOİDİ	A00 KIZDIRICI REZİSTANSI ANALOG ÇIKIŞI	0
<input type="checkbox"/> Y1 - POMPA	A01 KAZAN REZİSTANSI ANALOG ÇIKIŞI	0
<input type="checkbox"/> Y2 - KAZAN REZİSTANSI		
<input type="checkbox"/> Y3 - KIZDIRICI REZİSTANSI		
<input type="checkbox"/> Y4 - SİREN		
<input type="checkbox"/> Y5 - FLAŞÖR		
<input type="checkbox"/> Y6 -KALORİMETRE SELENOİDİ		
<input type="checkbox"/> Y7 -YEDEK		

[GİRİŞLER](#)

[ANA SAYFA](#)

(b)

Şekil 3.12. (a) PLC' deki girişlerin sayfası (b) PLC' deki çıkışların sayfası

**Test sayfası:** Separatör performans testlerinin kontrol edildiği ve ölçüm sonuçlarının görüntülediği sayfadır. “Kızdırıcı Set Değeri”, doğrulama testi için oluşturulacak kızgın buharın sıcaklığının tanımlandığı parametredir. “Kızdırıcı Start” butonuyla kızdırıcı rezistansının aktivasyonu sağlanmaktadır. Buhar numunesinin kalorimetre ünitesine

girişinin manuel olarak kontrol edildiği test kontrol solenoidinin aktivasyonu, “Solenoid Manuel” butonuyla gerçekleştirilmektedir. Ayrıştırma kalorimetresinin üzerinde bulunan göstergenin, test başlangıcı ve sonunda gösterdiği seviyeler arasında okunan fark değerinin girişi “Göstergedeki Seviye Farkı” parametresiyle yapılmaktadır. Ayrıştırma ve kısılma kalorimetrelerinin altında bulunan kondenserler aracılığıyla yoğunlaştırılarak elde edilen kondens miktarları sırasıyla, “Ayrıştırma Kalorimetresi Kondens Miktarı” ve “Kısılma Kalorimetresi Kondens Miktarı” parametreleriyle tanımlanmaktadır. Girilen bu parametre değerleri sistem algoritmasında sonuca ulaşmak için gerekli değerlerden bazılarını meydana getirmektedir. Test süresince ölçülen değerlerin sonuçlarının listelendiği “Test Sonuç” tablosunda, bu sayfanın en sağ tarafında yer almaktadır. Kullanıcı ayar sayfasına ait görsel Şekil 3.13’ de verilmiştir.

The screenshot displays the test control interface. On the left, there are several control buttons and displays:

- KIZDIRICI SET DEĞERİ:** 0,0°C
- KIZDIRICI START** button
- GÖSTERGDEKİ SEVİYE FARKI:** 0 mm
- SELENOİD MANUEL** button
- GÖSTERGDEKİ KONDENS MİKTARI:** 00,000 kg
- AYR. KAL. KONDENS MİKTARI:** 00,000 kg
- KISILMA KAL KONDENS MİKTARI:** 00,000 kg
- ANA SAYFA** button with a home icon

On the right, there is a table titled "ÖLÇÜMLER" (Measurements) with columns for the parameter name, unit, and value.

ÖLÇÜMLER		Değer
Test (Kazan) Basıncı	$P_{test}$ (bara)	0,00000
Seperatör Tip	Sep. ....	
Test Süresi	$t_{test}$ (dk)	00,000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	0,00000
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	0,00000
	$T_4$ (°C)	0,0
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	0,00000
	$T_5$ (°C)	0,0
	$h_{t2}$ (kJ/kg)	0000,000
	$h_{t2}$ (kJ/kg)	0000,000
6. Ölçüm Noktası	$P_6$ (bara)	0,00000
	$T_{sat,6}$ (°C)	0,0
	$T_{avg,6}$ (°C)	000,0
	$h_{t6}$ (kJ/kg)	0000,000
	$C_{p6}$ (kJ/kgK)	0,000
	$h_{sat,6}$ (kJ/kg)	0000,000
A.K. Kondens Miktarları	$m_{gösterge,A.K.}$	00,000
	$m_{kondenser,A.K.}$	00,000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{kondenser,K.K.}$	00,000
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{bu}$ (kg)	00,000
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{bu}$ (kg/h)	00,000
A.K. Kuruluk Derecesi	$X_1$	0,0000
K.K. Kuruluk Derecesi	$X_2$	0,0000
Num. Kuruluk Derecesi	$X_n$	0,0000

Şekil 3.13. Test sayfası

Test sonuç tablosunda görüntülenen parametreler aşağıda açıklanmıştır.

- Test (kazan) basıncı: Kullanıcı ayar sayfası üzerinden tanımlanan basınç set değerini ifade eder. Bu değer aynı zamanda test ünitesinde performansı ölçülen seperatörün test değeri olarak dikkate alınır. Birimi bara’ dır.
- Seperatör tipi: Performansı ölçülen seperatöre verilen tip kodunun gösterildiği satırdır.

- Test süresi: Test start butonunun aktive ve deaktive edilmesi arasındaki süreden meydana gelen parametredir. Gerçekleştirilen test sırasındaki test numune debisinin belirlenmesi için kullanılır. Birimi dakikadır.
- 1. Ölçüm noktası  $P_1$  değeri: 1. ölçüm noktası olarak tanımlanan buhar jeneratörü gövdesinin, üzerinde yer alan basınç transmitteriyle ölçülen basınç değerinin mutlak basınç değeri olarak gösterildiği parametredir. Birimi bara' dır.
- 4. Ölçüm noktası  $P_4$  değeri: 4. ölçüm noktası olarak tanımlanan ayrıştırma kalorimetresinin girişindeki basınç transmitteriyle ölçülen basınç değerinin mutlak basınç değeri olarak gösterildiği parametredir. Birimi bara' dır.
- 4. Ölçüm noktası  $T_4$  değeri: 4. ölçüm noktası olarak tanımlanan ayrıştırma kalorimetresinin girişindeki sıcaklık sensörüyle ölçülen sıcaklık değerinin gösterildiği parametredir. Birimi °C' dur.
- 5. Ölçüm noktası  $P_5$  değeri: 5. ölçüm noktası olarak tanımlanan ayrıştırma kalorimetresinin çıkışındaki (kısılma vanasının girişi) basınç transmitteriyle ölçülen basınç değerinin mutlak basınç değeri olarak gösterildiği parametredir. Birimi bara' dır.
- 5. Ölçüm noktası  $T_5$  değeri: 5. ölçüm noktası olarak tanımlanan ayrıştırma kalorimetresinin çıkışındaki (kısılma vanasının girişi) sıcaklık sensörüyle ölçülen sıcaklık değerinin gösterildiği parametredir. Birimi °C' dur.
- 5. Ölçüm noktası  $h_{f5}$  değeri: 5. ölçüm noktası olarak tanımlanan ayrıştırma kalorimetresinin çıkışında (kısılma vanasının girişi) okunan doyma basıncındaki doymuş sıvının enterpolasyonla elde edilmiş entalpi değeridir. Birimi kJ/kg' dır.
- 5. Ölçüm noktası  $h_{fg5}$  değeri: 5. ölçüm noktası olarak tanımlanan ayrıştırma kalorimetresinin çıkışında (kısılma vanasının girişi) okunan doyma basıncındaki doymuş sıvı-buhar karışımının enterpolasyonla elde edilmiş entalpi değeridir. Birimi kJ/kg' dır.
- 5. Ölçüm noktası  $h_{g5}$  değeri: 5. ölçüm noktası olarak tanımlanan ayrıştırma kalorimetresinin çıkışında (kısılma vanasının girişi) okunan doyma basıncındaki doymuş buharın enterpolasyonla elde edilmiş entalpi değeridir. Birimi kJ/kg' dır.
- 6. Ölçüm noktası  $P_6$  değeri: 6. ölçüm noktası olarak tanımlanan kısılma kalorimetresinin girişindeki (kısılma vanasının çıkışı) basınç transmitteriyle ölçülen basınç değerinin mutlak basınç değeri olarak gösterildiği parametredir. Birimi bara' dır.

- 6. Ölçüm noktası  $T_{\text{doym},6}$  değeri: 6. ölçüm noktası olarak tanımlanan kısılma kalorimetresinin girişindeki (kısılma vanasının çıkışı) basınç transmitteriyle ölçülen doyma basıncına karşılık gelen ve enterpolasyonla hesaplanan doyma sıcaklığı değeridir. Birimi bara' dır.
- 6. Ölçüm noktası  $T_{\text{kız},6}$  değeri: 6. ölçüm noktası olarak tanımlanan kısılma kalorimetresinin girişindeki (kısılma vanasının çıkışı) sıcaklık sensörüyle ölçülen sıcaklık değerinin gösterildiği parametredir. Birimi °C' dur.
- 6. Ölçüm noktası  $h_{g6}$  değeri: 6. ölçüm noktası olarak tanımlanan kısılma kalorimetresinin girişindeki (kısılma vanasının çıkışı) okunan doyma basıncındaki doymuş buharın enterpolasyonla elde edilmiş entalpi değeridir. Birimi kJ/kg' dır.
- 6. Ölçüm noktası  $C_{p6}$  ( $C_{p_{\text{kız},6}}$ ) değeri: 6. ölçüm noktası olarak tanımlanan kısılma kalorimetresinin girişinde (kısılma vanasının çıkışı) okunan kızgın buhar basıncı ve sıcaklık değerleri yardımıyla enterpolasyon sonucu elde edilmiş sabit basınçta özgül ısı değeridir. Birimi kJ/kgK' dir
- 6. Ölçüm noktası  $h_{\text{kız},6}$  değeri: 6. ölçüm noktası olarak tanımlanan kısılma kalorimetresinin girişindeki (kısılma vanasının çıkışı) kızgın buharın; debi, özgül ısı, doyma ve kızgın buhar sıcaklığı değerleri kullanılarak hesaplanan entalpi değeridir. Birimi kJ/kg' dır
- A.K. (Ayrıştırma kalorimetresi) kondens miktarları  $m_{\text{gösterge,A.K.}}$ : Ayrıştırma kalorimetresinin iç haznesinde biriken kondensin miktarını gösteren değerdir. Birimi kg' dır.
- A.K. (Ayrıştırma kalorimetresi) kondens miktarları  $m_{\text{kondenser,A.K.}}$ : Ayrıştırma kalorimetresinin dış haznesinin içerisinde birikererek altında bulunan kondenser aracılığıyla yoğuşturulan kondensin miktarını gösteren değerdir. Birimi kg' dır
- K.K. (Kısılma kalorimetresi) kondens miktarları  $m_{\text{kondenser,K.K.}}$ : Kısılma kalorimetresinin içerisinde birikererek altında bulunan kondenser aracılığıyla yoğuşturulan kondensin miktarını gösteren değerdir. Birimi kg' dır
- Buhar numunesi miktarı  $m_{\text{bn}}$ : Ayrıştırma kalorimetresi göstergesindeki ve ayrıştırma ve kısılma kalorimetreleri kondenserleri aracılığıyla ölçülen kondens miktarlarının toplam değerini gösteren parametredir. Birimi kg' dır.
- Buhar numunesi debisi  $\dot{m}_{\text{bn}}$ : Buhar numunesi miktarının saatlik olarak hesaplanmasıyla elde edilen debi değeridir. Birimi kg/h' dir.

- A.K. (Ayrıştırma kalorimetresi) kuruluk derecesi  $x_1$ : Ayrıştırma kalorimetresindeki numunenin ölçüm değerlerine göre hesaplanmış kuruluk değeridir. Boyutsuzdur.
- K.K. (Kısılma kalorimetresi) kuruluk derecesi  $x_2$ : Kısılma kalorimetresindeki numunenin ölçüm değerlerine göre hesaplanmış kuruluk değeridir. Boyutsuzdur.
- Num. kuruluk derecesi  $x_n$ : Buhar numunesinin hesaplanmış kuruluk değeridir. Boyutsuzdur.

**Sistem ayarları sayfası:** Sistem emniyet ekipmanlarının sınır ve alarm değerlerinin tanımlandığı, sayfa erişiminin operator kullanımına parola ve kullanıcı adıyla sınırlandırıldığı ayar sayfasıdır. Sistem ayarları sayfasının birinci sayfasına ait görsel Şekil 3.14.' de, ikinci sayfasına ait görsel Şekil 3.15' de verilmiştir.

The screenshot displays the 'Sistem ayarları sayfası-1' (System Settings Page-1) interface. It features a sidebar on the left with seven settings categories, each with a corresponding value and a warning icon (yellow triangle with an exclamation mark). The main area on the right lists these settings with their current values and descriptions. The top right corner shows the date and time: 29.05.2019 16:30:59. At the bottom right, there are navigation buttons for 'İLERİ' (Next) and 'ANA SAYFA' (Home).

Setting Category	Value	Description
ANALOG ALARM BASINÇ DEĞERİ :	0,000 Bar	EN FAZLA ! Çalışma Basıncının 1,1 Katı Seçilmiştir
MAX BASINÇ SET DEĞERİ :	0,000 Bar	EN FAZLA ! Kazan Etiketindeki Maks. Çalışma Basıncı Seçilmiştir
KAZAN DÜŞÜK ISI SET DEĞERİ :	0,0 °C	4 C den düşük alınmamalıdır
KAZAN YÜKSEK ISI SET DEĞERİ :	0,0 °C	1 bar için : 110 C      8 bar için : 180 C      12 bar için : 195 C 6 bar için : 170 C      10 bar için : 190 C      16 bar için : 205 C Kazan Çalışma Basıncına Göre Seçilmiştir. Ana değerler için aritmetik ortalama alınır
TRANSMİTTER 1 MAX DEĞERİ :	0,000 Bar	Kullanılan 4-20mA Transmitterin üst basınç değeri girilmiştir.
TRANSMİTTER 1 MİN DEĞERİ :	0,000 Bar	Kullanılan 4-20mA Transmitterin alt basınç değeri girilmiştir.
TRANSMİTTER 1 ANALOG MAX DEĞERİ :	0	Kullanılan 4-20mA Transmitterin analogist değeri girilmiştir.

Şekil 3.14. Sistem ayarları sayfası-1

Sistem ayarları sayfasında görüntülenen parametreler aşağıda açıklanmıştır.

- Analog alarm basınç değeri: Buhar jeneratörü gövdesi üzerinde bulunan basınç transmitterinden okunan değer alarm koşulu bu parametreyle tanımlanır. Bu değer buhar jeneratörü gövdesi için izin verilen maksimum işletme basıncı değerinin maksimum 1,1 katı olacak şekilde ayarlanmalıdır.
- Maksimum basınç set değeri: Bu değer buhar jeneratörü gövdesi için izin verilen maksimum işletme basıncı değerine eşit olacak şekilde ayarlanmalıdır. Girilen

değer kullanıcı ayar sayfasındaki basınç set değeri parametresinden tanımlanacak değerini üst değerini sınırlandırmaktadır.

TRANSMİTTER 2 MAX DEĞERİ :	0,000 Bar	TRANSMİTTER 5 MAX DEĞERİ :	0,000 Bar
TRANSMİTTER 2 MİN DEĞERİ :	0,000 Bar	TRANSMİTTER 5 MİN DEĞERİ :	0,000 Bar
TRANSMİTTER 2 ANALOG MAX DEĞERİ :	0,000 Bar	TRANSMİTTER 5 ANALOG MAX DEĞERİ :	0,000 Bar
TRANSMİTTER 3 MAX DEĞERİ :	0,000 Bar	TRANSMİTTER 6 MAX DEĞERİ :	0,000 Bar
TRANSMİTTER 3 MİN DEĞERİ :	0,000 Bar	TRANSMİTTER 6 MİN DEĞERİ :	0,000 Bar
TRANSMİTTER 3 ANALOG MAX DEĞERİ :	0,000 Bar	TRANSMİTTER 6 ANALOG MAX DEĞERİ :	0,000 Bar
TRANSMİTTER 4 MAX DEĞERİ :	0,000 Bar	KIZDIRICI MİN BASINÇ DEĞERİ :	0,000 Bar
TRANSMİTTER 4 MİN DEĞERİ :	0,000 Bar	KIZDIRICI MAX BASINÇ DEĞERİ :	0,000 Bar
TRANSMİTTER 4 ANALOG MAX DEĞERİ :	0,000 Bar		

GERİ  ANA SAYFA 

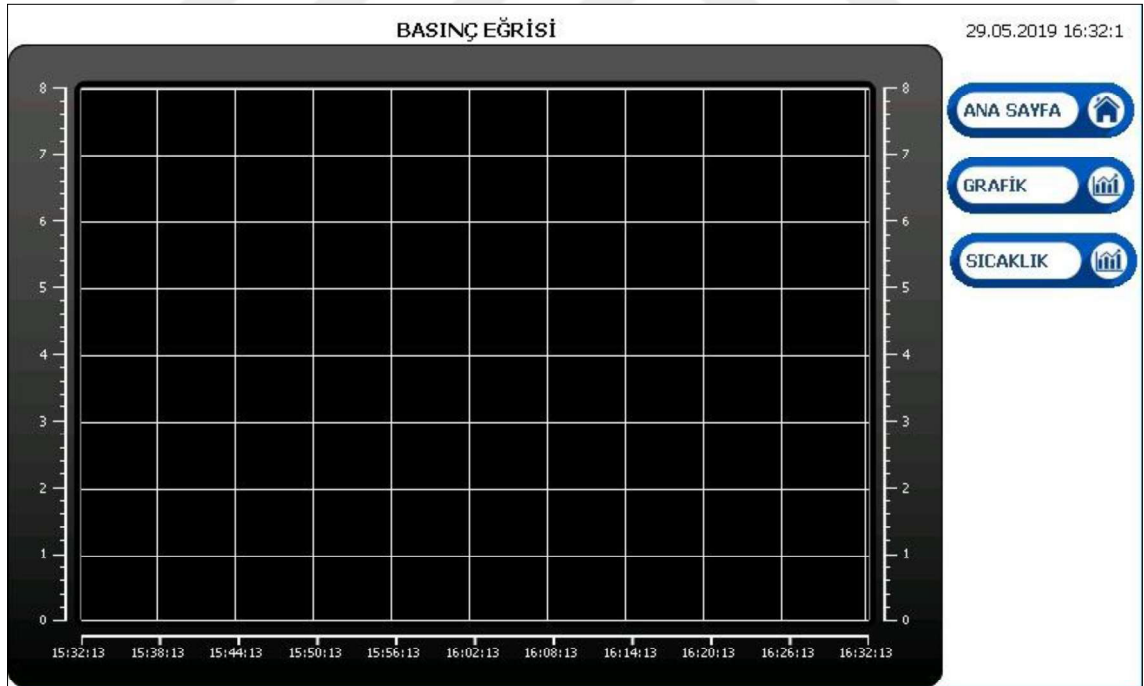
Şekil 3.15. Sistem ayarları sayfası-2

- Kazan düşük ısı set değeri: Buhar jeneratörü gövdesinin donmuş halde çalıştırılmasına engel olmak amacıyla, gövde üzerinde bulunan sıcaklık sensörüyle ölçülen sıcaklık değerinin kıyaslanacağı düşük sıcaklık alarmı sınır değerini tanımlamaktadır.
- Kazan yüksek ısı set değeri: Buhar jeneratörü gövdesinin herhangi bir nedenle yüksek sıcaklıkta çalıştırılmasına engel olmak amacıyla, gövde üzerinde bulunan sıcaklık sensörüyle ölçülen sıcaklık değerinin kıyaslanacağı yüksek sıcaklık alarmı sınır değerini tanımlamaktadır.
- Transmitter 1 maks. değeri: Buhar jeneratörü gövdesi üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının üst değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 1 min. değeri: Buhar jeneratörü gövdesi üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının alt değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 1 analog maks. değeri: Buhar jeneratörü gövdesi üzerinde bulunan basınç transmitterinin, sinyal çıkışının üst değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 2 maks. değeri: Kızdırıcı giriş hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının üst değerinin tanımlandığı parametredir.

- Transmitter 2 min. değeri: Kızdırıcı giriş hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının alt değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 2 analog maks. değeri: Kızdırıcı giriş hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, sinyal çıkışının üst değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 3 maks. değeri: Kızdırıcı çıkış hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının üst değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 3 min. değeri: Kızdırıcı çıkış hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının alt değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 3 analog maks. değeri: Kızdırıcı çıkış hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, sinyal çıkışının üst değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 4 maks. değeri: Ayrıştırma kalorimetresi giriş hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının üst değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 4 min. değeri: Ayrıştırma kalorimetresi giriş hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının alt değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 4 analog maks. değeri: Ayrıştırma kalorimetresi giriş hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, sinyal çıkışının üst değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 5 maks. değeri: Ayrıştırma kalorimetresi çıkış (kısılma vanası giriş) hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının üst değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 5 min. değeri: Ayrıştırma kalorimetresi çıkış (kısılma vanası giriş) hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının alt değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 5 analog maks. değeri: Ayrıştırma kalorimetresi çıkış (kısılma vanası giriş) hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, sinyal çıkışının üst değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 6 maks. değeri: Kısılma kalorimetresi giriş (kısılma vanası çıkış) hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının üst değerinin tanımlandığı parametredir.
- Transmitter 6 min. değeri: Kısılma kalorimetresi giriş (kısılma vanası çıkış) hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, okuma aralığının alt değerinin tanımlandığı parametredir.

- Transmitter 6 analog maks. değeri: Kısılma kalorimetresi giriş (kısılma vanası çıkış) hattı üzerinde bulunan basınç transmitterinin, sinyal çıkışının üst değerinin tanımlandığı parametredir.
- Kızdırıcı min. basınç değeri: Kızdırıcıdaki ısıtıcı rezistansın devreye girme için alt basınç sınırının tanımlandığı parametredir. Kızdırıcı rezistansı, kızdırıcı giriş hattı üzerindeki transmitter aracılığıyla okunan basınç değeri bu basınç değerinin altındaysa devreye girmemektedir.
- Kızdırıcı maks. basınç değeri: Kızdırıcıdaki ısıtıcı rezistansın devreden çıkması için üst basınç sınırının tanımlandığı parametredir. Kızdırıcı rezistansı, kızdırıcı çıkış hattı üzerindeki transmitter aracılığıyla okunan basınç değeri bu basınç değerinin üzerindeyse devreden çıkmaktadır.

**Grafik sayfası:** Buhar jeneratörü gövdesindeki basınç ve sıcaklık değerlerinin zamana bağlı bir eğri şeklinde grafik üzerinde gösterildiği sayfadır. Sistem devredeyken sensörlerden okunan değerler bu ekranda grafik haline getirilir. “Sıcaklık” butonu yardımıyla grafik değiştirilebilir. Grafik sayfasına ait görsel Şekil 3.16’ da verilmiştir.



Şekil 3.16. Grafik sayfası

**Ekran ayarları sayfası:** Ekranla ilgili tarih, saat, IP ayarlamaların yapıldığı bölümdür. Ayrıca bu sayfada, tekniyen için sistemin çalıştırılmasına yönelik bazı uyarılar da yer almaktadır. Ekran ayarları sayfasına ait görsel Şekil 3.17’ de verilmiştir.





Şekil 3.17. Ekran ayarları sayfası

**Şebeke sayfası:** Test ünitesindeki buhar jeneratörü ve kızdırıcı rezistanslarının tükettikleri gücü, fazlarındaki voltajları ve akımlarının görüntülediği sayfadır. Panoda iki adet dijital şebeke analizörü bulunmaktadır. Analizörlerin analog sinyal çıkışları önce PLC' nin analog giriş modülüne sonrasında işlenerek ekrana aktarılmaktadır. Şebeke analizörünün biri toplam enerji miktarını ölçerken diğeri buhar jeneratörünün ısıtıcı rezistansının tükettiği gücü ölçmektedir. Kızdırıcı rezistansının tükettiği güç ise bu iki analizörden okunan değer arasındaki farktan analitik olarak hesaplanmaktadır. Test sırasında harcanan toplam güç miktarlarının kümülatif olarak gösterimi, sayfadaki “Kazan Sayaç” ve “Kızdırıcı Sayaç” değerleriyle gerçekleşmektedir. Bu değerler, jeneratördeki buhar üretim miktarının ve kızdırıcıda kızdırılan buhar özelliklerinin olması gereken değerlerle kıyaslanarak sistemde farkedilemeyecek herhangi bir problem olup olmadığı konusunda kullanıcıya fikir vermektedir.

Sayfa üzerinden diğer sayfalara erişim, sayfadaki “Menü” sekmesi üzerinden yapılmaktadır. Şebeke sayfasına ait görsel Şekil 3.18’ de verilmiştir.



Sistemde tanımlanmış ve alarm sayfasında görüntülenebilecek alarmlar aşağıda açıklanmıştır. Sistem üzerinde herhangi bir alarm varken ve bu alarma neden olan sorun giderilmeden sistem çalışmamaktadır.

**B. jen. düşük su seviyesi alarmı** Buhar jeneratöründeki su seviyesinin, su seviye kontrolörünün düşük su kontrol probu seviyesiyle belirlenen seviyenin altına düşmesi durumunda görüntülenen alarmdır. Kondens tankında suyun olmaması, ani buhar çekişleri, pompadaki herhangi bir arızadan kaynaklı suyun buhar jeneratörüne beslenememesi, pompa termiğinin kapalı olmasına rağmen buhar kullanımının devam etmesi durumunda bu alarm meydana gelir.

**B. jen. yüksek su seviyesi alarmı** Buhar jeneratöründeki su seviyesinin, su seviye kontrolörünün yüksek su kontrol probu seviyesiyle belirlenen seviyenin üzerine çıkması durumunda görüntülenen alarmdır. Pompa contağının takılı kalması, ilk çalıştırma esnasında genleşen su, ani buhar çekişlerinde buhar jeneratörü içerisindeki suyun seviyesindeki aşırı dalgalanma durumunda bu alarm meydana gelir.

**Besi suyu pompası termik alarmı** Pompanın zorlanması neticesinde şebekeden çektiği akım yükselir. Pompa motorunun yanmasını engellemek amacıyla panoya konulmuş olan termik manyetik şalter üzerinden, ayarlanan akım değerinin üstünde bir akımın geçmesine engel olarak pompa motorunu korur. Bu durumda ekranda bu alarm görünür. Pompa çıkış vanasının kısılması, voltajlardaki dengesizlik bu alarmın nedeni olabilir.

**B. jen. yüksek basınç alarmı (mkn.)** Basınç transmitteri yardımıyla kontrol edilen buhar jeneratörünün enerji kaynağı ısıtıcı rezistans, transmitterde oluşabilecek arıza durumunda kontrolden çıkarak buhar jeneratörü içerisindeki suya ısı vermeye devam eder. Bu durumda buhar jeneratörü gövdesi içerisindeki basınç, mekanik

basınç kontrol cihazı olan basınç prezostatı üzerinden ayarlanmış ayar basıncının üzerine çıkarak bu alarmı meydana getirebilir. Basınç prezostatı ayar basıncının, işletme için ayarlanan basıncın altında olması durumunda, rezistans anahtarlama elemanlarının (SSR-Solid State Relay) zarar görmesi durumunda ve/veya basınç transmitterinin arızalı olması bu alarmın nedeni olabilir.

B. jen. yüksek basınç alarmı (anlg) Basınç transmitteri tarafından okunan buhar jeneratörü içerisindeki basıncın, alarm ayar basıncından yüksek olması durumunda bu alarm sistemde meydana gelir. Arızalı basınç transmitter, rezistans anahtarlama elemanlarının (SSR-Solid State Relay) zarar görmesi durumunda rezistansın kontrolden çıkması durumları bu alarmın nedeni olabilir.

B. jen. yüksek sıcaklık alarmı Buhar jeneratöründeki sıcaklık en üstte bulunan ısıtıcı rezistans elemanının hemen üzerine yerleştirilen bir sıcaklık sensörü (termokupl) yardımıyla sürekli olarak ölçülür. Su seviyesinin, ısıtıcı rezistansın en üst elemanının altına düşmesi (düşük su seviyesinin de altı) ve ısıtıcı rezistansın çalışmaya devam etmesi durumunda buhar jeneratöründeki sıcaklık, izin verilen değerin üzerine çıkar ve bu alarm ekranda görünür. Buhar jeneratöründeki kaynakların deforme olarak patlamasına engel olmak amacıyla bu alarm sistemde tanımlanmıştır. Pompada meydana gelebilecek arıza, kondens tankında yeterli suyun bulunmaması, pompa termiğinin kapalı olması gibi etmenler bu alarmın oluşmasının nedeni olabilir.

B. jen. düşük sıcaklık alarmı Buhar jeneratörü içerisindeki suyun soğuk hava koşullarında izolasyona rağmen donma riski vardır.

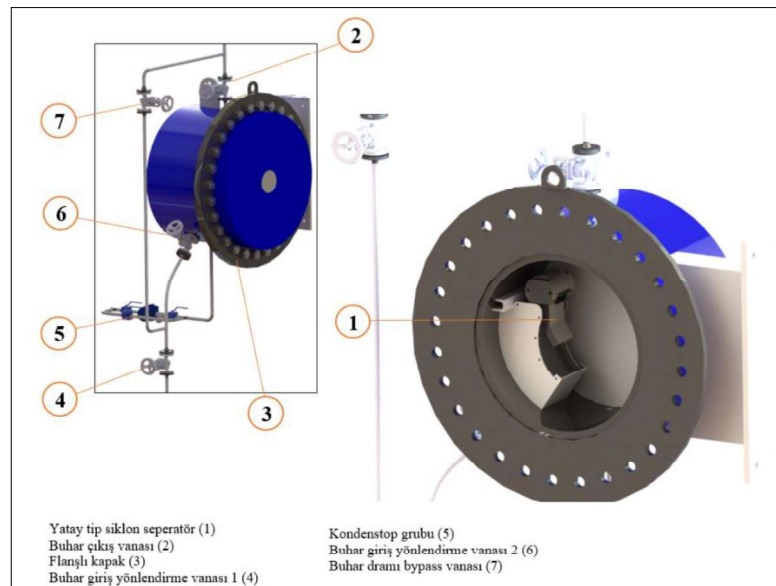
Donmuş bir buhar jeneratörünün çalıştırılmasıyla kaynak bölgesindeki donan buz genleşmeye çalışarak kaynakları deforme ederek buhar jeneratörünün patlamasına neden olabilir. Sistem üzerinden tanımlanan +4°C düşük sıcaklık alarm değeri, buhar jeneratöründen sıcaklık sensorü vasıtasıyla okunan sıcaklık değeriyle karşılaştırılır. Okunan su sıcaklık değeri alarm değerinin altındaysa bu alarm meydana gelir.

Acil stop butonu basılı alarmı

Pano üzerindeki acil stop butonu basılı durumdaysa bu alarm meydana gelir. Alarmın giderilmesi için, acil stop butonu üzerindeki anahtar yardımıyla buton geri çekilmelidir.

### 3.2.2. Buhar dramı

Amacı: Performans değerlendirmesi yapılacak olan buhar seperatörünün yer aldığı bölümdür. Civatalı seperatör bağlantısı, farklı tasarım parametrelerine sahip seperatör numunelerinin montajını kolay kılmaktadır. Ayrıca farklı seperatörün montajı sırasında dramın içersine rahat ve hızlı erişim amacıyla flanşlı bağlantı bulunmaktadır. Buhar dramına ait görsel Şekil 3.20’ de verilmiştir. P&ID kod numarası E-43’ dür.



Şekil 3.20. Buhar dramı tasarımının görünümü

Buhar dramına ilişkin genel özellikler Çizelge 3.7' de verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Buhar dramının genel özellikleri

Maksimum izin verilen işletme basıncı değeri	:	10 barg
Tam dolu su hacmi	:	~100 lt
Tasarım basıncı	:	11.5 barg
Hidrostatik test basıncı	:	19.14 barg
İzolasyon malzemesi	:	80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 100 mm kalınlığındaki taşıyıcı
Kondens tahliye tipi	:	Şamandıralı kondensstop
Seperatör malzemesi	:	AISI304 kalite paslanmaz çelik
Gövde ve flanş malzemesi	:	Karbon çelik (P355GH)

Buhar dramında kullanılan yardımcı aksesuarlar şunlardır:

- Buhar giriş yönlendirme vanası 1 Buhar jeneratöründe üretilen buharın, kızdırıcıya ya da buhar dramına yol verilmesi için kullanılan vanadır. Buhar numunesinin test sırasında buhar dramına yönlendirilmesi için vana pozisyonunun açık, numunenin kızdırıcıya yönlendirilmesi için vana pozisyonunun kapalı olması gerekmektedir. PN16 DN15 ölçüye sahip glob tip vana kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-81' dir.
- Buhar giriş yönlendirme vanası 2 Buhar dramı giriş hattında bulunan vana, test sırasında buhar numunesinin buhar dramının içersine geçerek seperatöre ulaşmasını sağlayan vanadır. Buhar numunesinin test sırasında buhar dramından geçmesi için vana pozisyonunun açık, numunenin buhar dramını bypaslaması için vana pozisyonunun kapalı olması gerekmektedir. PN16 DN15 ölçüye sahip glob tip vana kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-41' dir.
- Kondensstop grubu Buhar dramı gövdesinin içersinde; seperatörden ayrıştırılan ve soğuma nedeniyle dramın iç cidarlarından süzülerek dram gövdesinin alt tarafında biriken kondensin, dram içersindeki buhardan ayrılarak tahliyesini sağlayan aksesuardır.

PN16 ½’’ ölçüye sahip ve şamandıralı tiptir. P&ID kod numarası E-77’ dir. Aynı ölçüde pislik tutucu (P&ID kod numarası E-76) ve küresel kesme vanalarıyla (P&ID kod numarası E-75, E-78, E-79) grup haline getirilmiştir. Kesme vanalarının pozisyonu normal işletme sırasında açık, bypass vanası pozisyonu ise kapalıdır.

Buhar çıkış vanası

Buhar dramından çıkan buhar numunesinin ayırıştırma kısılma kalorimetresine geçisini sağlayan vanadır. Bu vananın diğer bir işlevide, buhar numunesinin bypass hattı üzerinden geçmesi durumunda, numunenin buhar dramına geçişine engel olmaktır. Seperatörlü kuruluk testi sırasında vana pozisyonu kapalı, seperatörsüz kuruluk testi sırasında ise vana pozisyonu açıktır. PN16 DN15 ölçüye sahip glob tip vana kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-45’ dir.

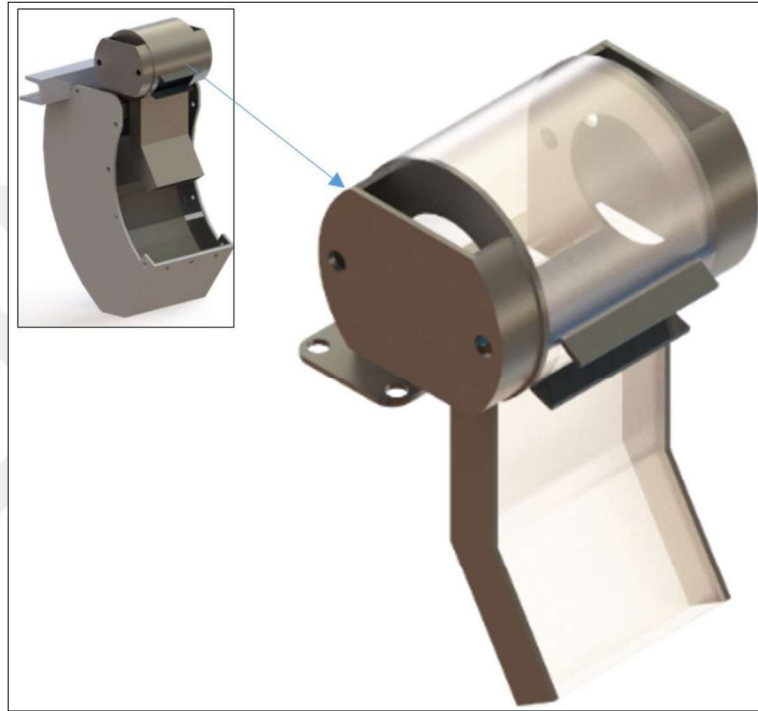
Buhar dramı bypass vanası

Seperatörsüz kuruluk testi sırasında, buhar numunesinin buhar dramına uğramaksızın ayırıştırma kısılma kalorimetresine geçisini sağlayan vanadır. Bu vananın diğer bir işlevide, buhar numunesinin buhar dramı içerisinden geçmesi durumunda, numunenin bypass hattından geçişine engel olmaktır. Seperatörsüz kuruluk testi sırasında vana pozisyonu açık, seperatörlü kuruluk testi sırasında ise vana pozisyonu kapalıdır. PN16 DN15 ölçüye sahip glob tip vana kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-42’ dir.

Yatay tip siklon separatör

Performans değerlendirmesi yapılacak olan yatay tip siklon separatördür. AISI 304 kalite paslanmaz çelik malzemedden imal edilmiştir. Referans kazanda kullanılan prototip seperatörün ve bağlantı ekipmanlarının Tekrarlayan Değişkenler Metodu (Buckingham-Pi) teoremine göre modellemesi

yapılarak boyutlandırılmıştır. Bu amaçla tasarlanan buhar seperatörünün yer aldığı buhar dramının görselleri Şekil 3.21’ de verilmiştir. P&ID kod numarası E-44’ dür. Bu metoda göre, seperatör modelinin boyutlandırılması için gerekli ölçek oranının belirlendiği hesaplamalar aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.21. Buhar seperatörü tasarımının görünümü

**Adım 1:** Sistemdeki parametreler sıralanır. Bu parametreler  $\dot{m} = f(U, \rho, A)$ ’ dir. Bu nedenle parametre (n) sayısı 4’ tür ( $n=4$ ).

**Adım 2:** n adet parametre için ana boyutlar Çizelge 3.8’ deki gibi yazılır.

Çizelge 3.8. n adet parametrenin ana boyutları

$\dot{m}$	$U$	$\rho$	$A$
$\frac{\text{kg}}{\text{h}}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\text{m}^2$
$\text{m. t}^{-1}$	$\text{L. t}^{-1}$	$\text{m. L}^{-3}$	$\text{L}^2$

Ana boyut sayısı (j); m, L ve t olmak üzere 3 adettir. İlk tahmin olarak ana boyut sayısı j, problemdeki ana boyut sayısına eşit alınır.



**Adım 3:** Sistemdeki  $j$  indirgemesi, ana boyutların sayısı olarak atanır. Eğer  $j$ ' nin değeri olarak 3 doğruysa, beklenen bağımlı  $\Pi$ ' lerin sayısı  $k$ , Buckingham Pi teoremine göre Denklem 3.8' deki eşitlikle bulunur.

$$k = n - j \quad (3.8)$$

$$k = 4 - 3$$

$$k = 1$$

**Adım 4:** Bağımsız parametre' yi ( $\Pi_1$ ) oluşturmak üzere tekrarlayan parametreler belirlenir. Ana boyut sayısı 3 ( $j=3$ ) olduğundan tekrarlayan parametrelerde 3 adet olmalıdır.  $U, \rho, A$  tekrarlayan parametre olarak seçilmiştir.

**Adım 5:** Bağımsız parametre ( $\Pi_1$ ) Denklem 3.9' daki gibi oluşturulur ve ardından ana boyutlar Denklem 3.10 ve 3.11' deki gibi düzenlenir.

$$\Pi_1 = \dot{m} \times \rho^{a_1} \times U^{b_1} \times A^{c_1} \quad (3.9)$$

$$\Pi_1 = (m \cdot t^{-1}) \times (m \cdot L^{-3})^{a_1} \times (L \cdot t^{-1})^{b_1} \times (L^2)^{c_1} \quad (3.10)$$

$$\Pi_1 = (m^{1+a_1}) \times (t^{-1-b_1}) \times (L^{-3a_1+b_1+2c_1}) \quad (3.11)$$

Denklem 3.11' deki  $a_1, b_1$  ve  $c_1$  sabit olup tanım gereği ana boyutların (zaman, ağırlık, uzunluk) üst değeri olan 0' a eşitlenerek Denklem 3.12, 3.13 ve 3.14' le bulunur.

#### Zaman

$$t^0 = (t^{-1-b_1}) \quad (3.12)$$

$$-1 - b_1 = 0$$

$$b_1 = -1$$

#### Ağırlık

$$m^0 = (m^{1+a_1}) \quad (3.13)$$

$$1 + a_1 = 0$$

$$a_1 = -1$$

### Uzunluk

$$L^0 = L^{-3a_1 + b_1 + 2c_1} \quad (3.14)$$

$$-3a_1 + b_1 + 2c_1 = 0$$

$$c_1 = -1$$

Buradan bağımsız  $\Pi$  olan  $\Pi_1$  a, b, c üstellerinin değerlerinin Denklem 3.10' da yerlerine konulmasıyla, Denklem 3.15' deki gibi boyutsuz olarak elde edilir.

$$\Pi_1 = \frac{\dot{m}}{\rho \times U \times A} \quad (3.15)$$

Referans alınan prototip buhar kazanındaki buhar seperatörü ve test ünitesi için ölçeklenecek model seperatör arasındaki ölçek oranının bulunması için aşağıdaki Çizelge 3.9' da model buhar kazanı ve seperatör özellikleri ile, test ünitesi için seçilen buhar jeneratörü özellikleri kullanılır.

**Çizelge 3.9.** n adet parametrenin ana boyutları

Prototip buhar kazanının maks. buhar üretim kapasitesi	:	$\dot{m}_{\text{maks}}$	25000	kg/h
Prototip buhar kazanındaki seperatör sayısı	:	$n_{\text{sep}}$	50	adet
Prototip buhar kazanının buhar üretimindeki modülasyon oranı	:	$\frac{\dot{m}_{\text{min}}}{\dot{m}_{\text{maks}}}$	12/100	
Prototip buhar kazanının min. buhar üretim kapasitesi	:	$\dot{m}_{\text{min}}$	3000	kg/h
Prototip seperatörden geçen en düşük buhar debisi	:	$\dot{m}_p$	60	kg/h
Prototip seperatörün akış girişindeki kesitin genişliği	:	a	54	mm
Prototip seperatörün akış girişindeki kesitin uzunluğu	:	b	194	mm
Prototip seperatörün akış girişinin kesit alanı	:	$A_p$	0.010476	m <sup>2</sup>
Prototip seperatördeki gerçek işletme basıncı	:	$P_p$	10	barg
Model seperatördeki gerçek işletme basıncı	:	$P_m$	10	barg
Prototip seperatörde işletme basıncındaki buharın yoğunluğu	:	$\rho_p$	5.64194	kg/m <sup>3</sup>
Model seperatörde işletme basıncındaki buharın yoğunluğu	:	$\rho_m$	5,64194	kg/m <sup>3</sup>
Prototip seperatörün akış kesitindeki buhar numunesinin referans hız değeri	:	$U_p$	25	m/s
Model seperatörün akış kesitindeki buhar numunesinin referans hız değeri	:	$U_m$	25	m/s
Test ünitesindeki buhar jeneratörünün buhar üretim kapasitesi – Model seperatörden geçecek buhar debisi	:	$\dot{m}_m$	30	kg/h

Bir model ve prototip arasında tam benzerlik olması için geçerli üç şart vardır. Birinci şart geometrik benzerlik olup, model ile prototipin aynı şekle sahip olması gerektiğini tanımlar. Fakat ölçeklendirme çarpanı olan bir sabitle ölçeklendirilebilir. İkinci şart kinematik benzerliktir ve model akışta modelin herhangi bir noktasındaki hız, prototip akışta protipte bu noktaya karşılık gelen noktadaki hız ile doğru (sabit ölçek çarpanı ile) orantılı olmalıdır. Üçüncü ve en sınırlayıcı benzerlik şartı dinamik benzerliktir. Model akıştaki bütün kuvvetler, prototip akışta bunlara karşılık gelen kuvvetlerin sabit bir çarpana ölçeklendirilmesi ile elde edildiğinde dinamik benzerliğe ulaşılmış olur. Tam benzerlik için model ve prototip geometrik olarak benzer olmalı ve tüm bağımsız  $\Pi$  grupları model ve prototipte birbiriyle eşleşmelidir (Çengel ve Boles, 2011). Bu nedenle model ve prototip seperatörler için bağımsız değişken  $\Pi_1$ ' e eşittir ve bu eşitlik Denklem 3.16 ve sonrasında düzenlenerek Denklem 3.17' deki gibi yazılabilir.

$$\Pi_{1m} = \Pi_{1p} \quad (3.16)$$

$$\frac{\dot{m}_m}{\rho_m \times U_m \times A_m} = \frac{\dot{m}_p}{\rho_p \times U_p \times A_p} \quad (3.17)$$

Model seperatörün akış girişinin kesit alanını ( $A_m$ ) bulmak için Denklem 3.17 yeniden düzenlenerek Denklem 3.18 elde edilir.

$$A_m = \frac{\dot{m}_m \times (\rho_p \times U_p \times A_p)}{\dot{m}_p \times (\rho_m \times U_m)} \quad (3.18)$$

Model ve prototip seperatörlerdeki referans hız değerleri eşittir ( $U_p = U_m$ ). Ayrıca numunenin basıncı ve paralel olarak model ve prototip seperatördeki numunenin yoğunlukları da birbirine eşittir ( $\rho_p = \rho_m$ ). Böylelikle Denklem 3.18, 3.19' a sadeleştirilerek sonuç bulunur.

$$A_m = \frac{\dot{m}_m \times A_p}{\dot{m}_p} \quad (3.19)$$

$$A_m = \frac{30 \times 0.010476}{60}$$

$$A_m = 0.005238 \text{ m}^2$$

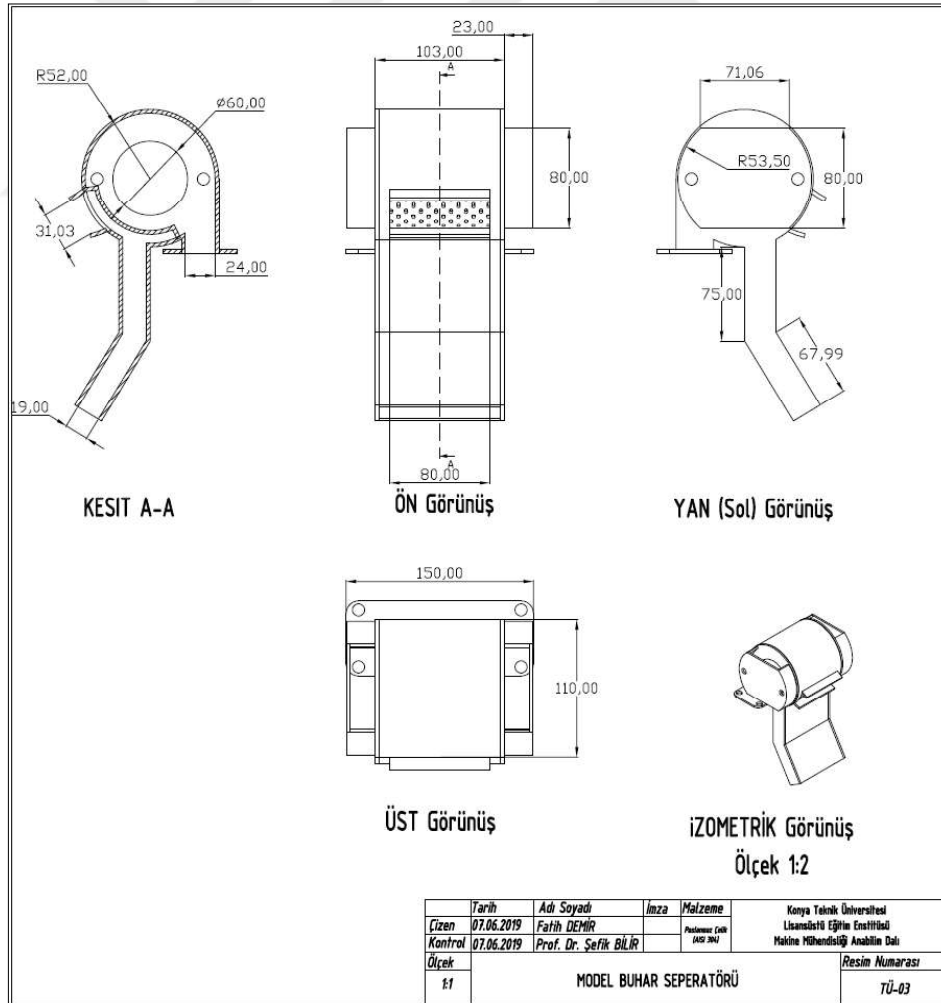
Ölçek oranı (Ö.O.), model seperatörün akış giriş kesit alanının ( $A_m$ ) prototip seperatörün akış giriş kesit alanına oranı ( $A_p$ ) olarak tanımlanır ve Denklem 3.20 elde edilerek ölçek oranı hesaplanır.

$$\text{Ö. O.} = \frac{A_m}{A_p} \quad (3.20)$$

$$\text{Ö. O.} = \frac{0.005238}{0.010476}$$

$$\text{Ö. O.} = 0.5$$

Bulunan ölçek oranına göre prototip seperatör ve buhar dramı da ölçeklenerek model seperatör elde edilmiş ve model ile prototip arasında tam benzerlik sağlanmıştır. Şekil 3.22’ de performans testlerinde kullanılacak model buhar seperatörünün genel ölçüleri gösterilmektedir.



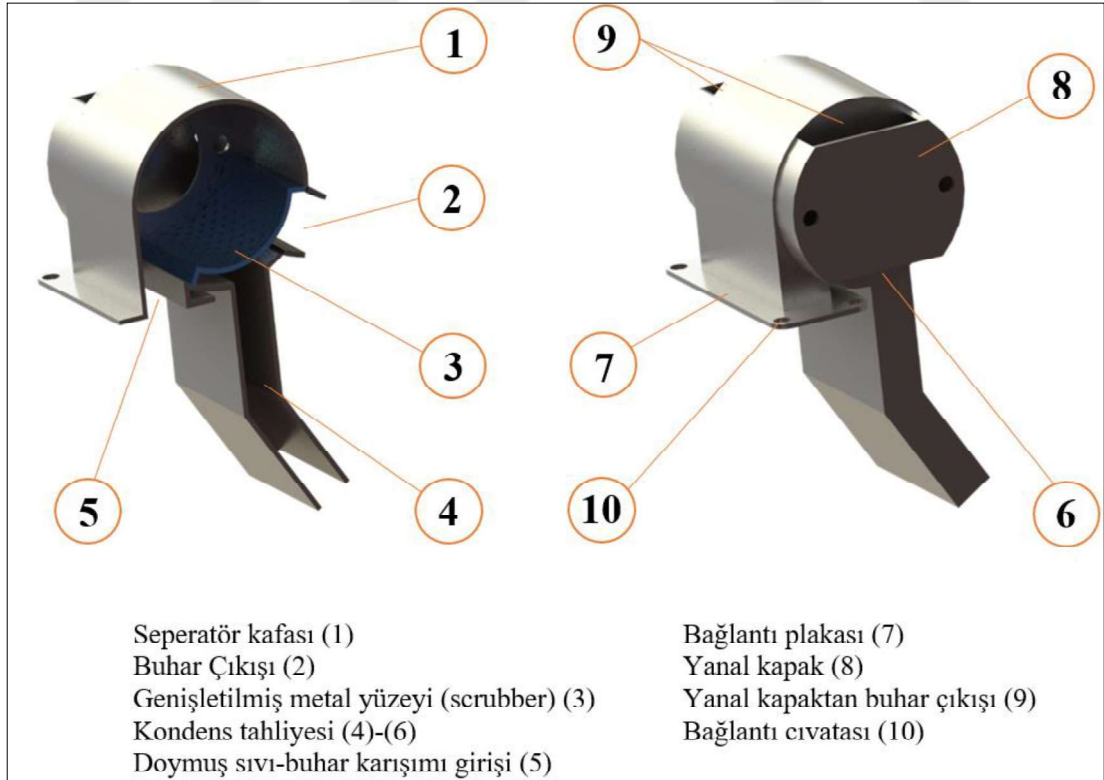
Şekil 3.22. Model buhar seperatörünün genel ölçüleri

Referans kazanda kullanılan prototip buhar seperatörü (sağda) ve test ünitesinde kullanılmak üzere ölçeklenen model buhar seperatörünün (solda) imalat sonrası yan yana çekilmiş fotoğrafı Şekil 3.23’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Prototip ve model buhar seperatörlerinin imalat sırasında çekilmiş fotoğrafı

Seperatörün kısımları Şekil 3.24’ de verilmiştir.



Şekil 3.24. Buhar seperatörünün kısımları

Seperatör verimi seperatörde ayrıştırılan suyun kütlesinin buharla birlikte taşınan suyun toplam kütlesine oranının bir ölçüsüdür (Anonymous 7, 2017). Buhar seperatörlerinin verimi,  $\eta$ , Denklem 3.21 yardımıyla hesaplanabilir. Ayrıca, bu denklem yardımıyla verimi ve giriş kuruluk derecesi bilinen doymuş sıvı-buhar karışımının çıkış buhar kuruluk derecesi hesaplanabilir (Penn Seperator Inc., Rev3/99).

$$\eta = \frac{x_c - x_g}{1 - x_g} \quad (3.21)$$

Burada;

$x_c$ : Buhar seperatörü çıkışındaki doymuş sıvı-buhar karışımının kuruluk derecesini,

$x_g$ : Buhar seperatörü girişindeki doymuş sıvı-buhar karışımının kuruluk derecesini ifade eder.

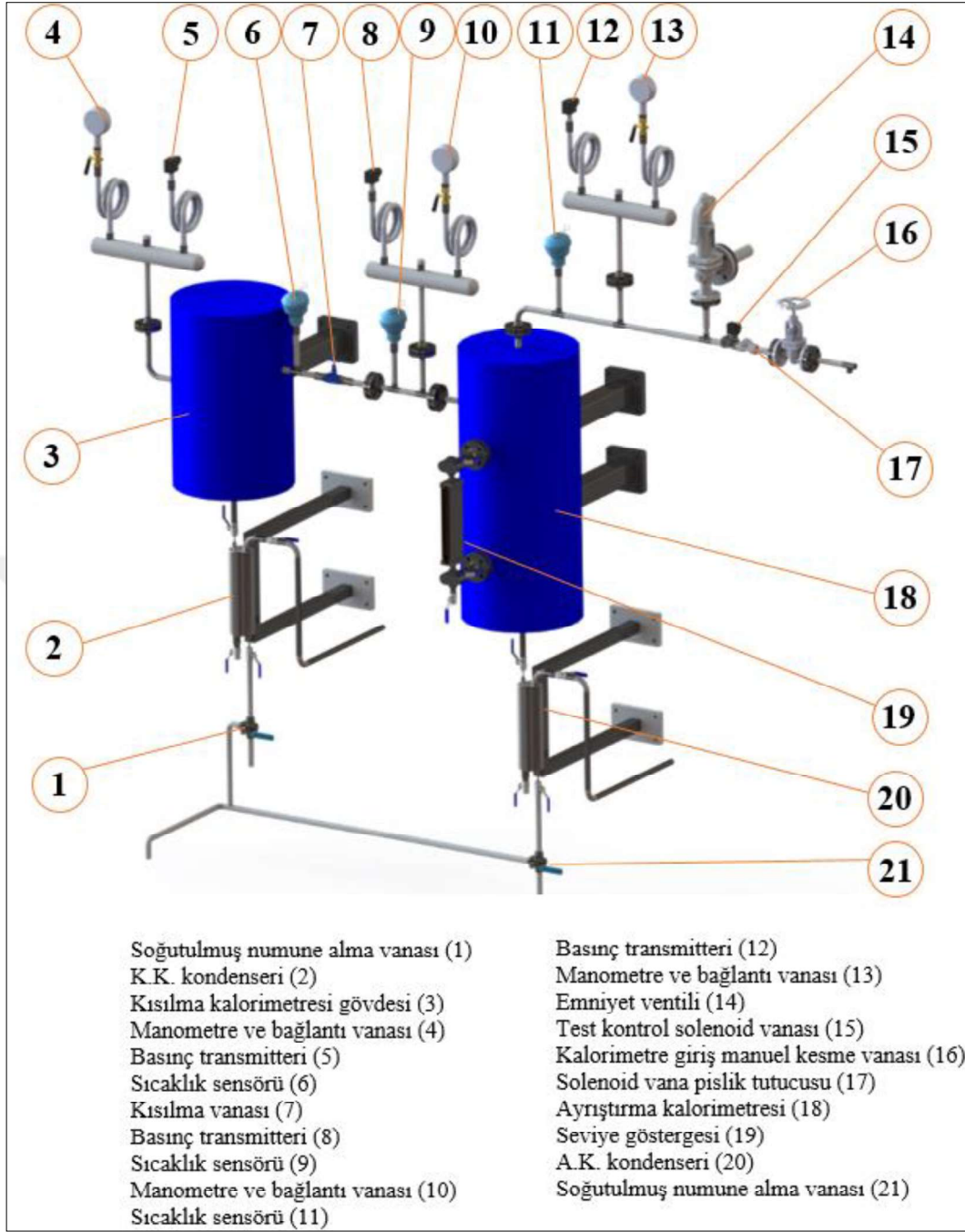
Buhar seperatörü verimi Denklem 3.22 aracılığıyla, ayrışan sıvı kütle debisinin ( $\dot{m}_a$ ) seperatör girişindeki toplam sıvı kütle debisine ( $\dot{m}_t$ ) oranı olarak da tanımlanabilir (Eck ve ark., 2006).

$$\eta = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_t} \quad (3.22)$$

Bu nedenle seperatör veriminin hesaplanabilmesi için, buhar jeneratörü tarafından üretilen seperatör girişindeki buhar numunesinin ve buhar numunesinin seperatörden geçtikten sonraki nihai durumda sahip olduğu kuruluk değerinin ölçülmesi gerekmektedir.

### 3.2.3. Ayrıştırma-kısılma kalorimetresi

Amacı: Buhar dramı içerisinde yer alan seperatörün veriminin belirlenebilmesi için gerekli buhar kuruluşunun ölçüldüğü bölümdür. Ayrıştırma-kısılma kalorimetresine ait görsel Şekil 3.25' de verilmiştir. Ayrıştırma kalorimetresinin P&ID kod numarası E-61, kısılma kalorimetresinin ki E-71' dir.



Şekil 3.25. Ayrıştırma-kısılma kalorimetresi tasarımı

Buhar kuruluşunun ölçülmesine ilişkin prosedürler ve metodlarla ilgili tanımlamalar ASME' nin "Performans test kodu 19.11: Güç çevrimlerinde buhar ve su saflığı" başlığı altındaki yönergesinde yer almaktadır. Buna göre buhar kuruluşu aşağıdaki metodlarla belirlenebilir;

- İyon değişim,
- İletkenlik (elektriksel),
- Sodyum izleyicili alev fotometrisi,

- Özel iyon elektrodu,
- Kısılma kalorimetresi.

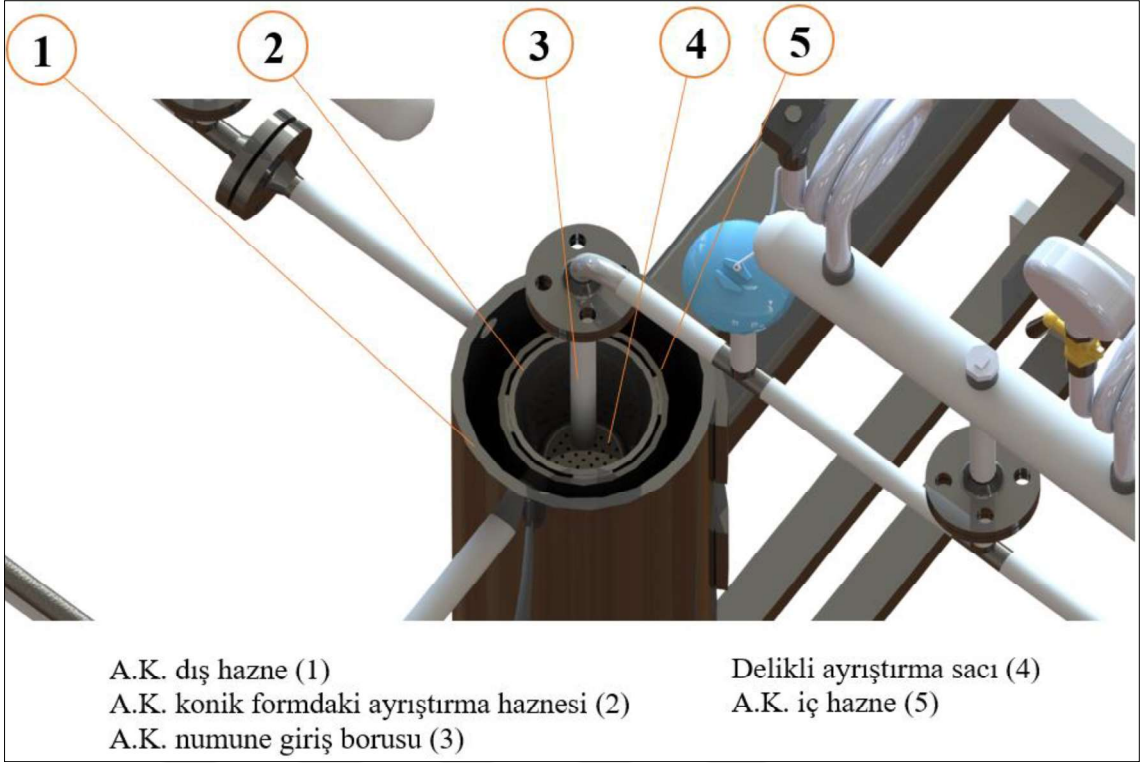
Bunlardan ilk dört metod buhar kuruluğu ölçümünde dolaylı metodlar olup sadece sonuncusu buhar kuruluğunun direkt olarak ölçümüne imkan tanır. Bu metod, basınç 40 bar'ın altındaysa en doğru sonuç veren metoddur (Deacon, 1991). Ayrıca kısılma kalorimetresi yaklaşımı sadece buhar kuruluğu %94' den büyükse doğru biçimde çalışır (Dorfman ve ark., 2006). Kısılma kalorimetresinde kızgın buhar şartını sağlamak amacıyla ayrıştırma kalorimetresi, buharın içerisindeki nemi ayırtmak için kullanılır (Bodhke ve ark., 2014). Ayrıştırma-kısılma kalorimetresine ilişkin genel özellikler Çizelge 3.10' da verilmiştir.

**Çizelge 3.10.** Ayrıştırma-kısılma kalorimetresinin genel özellikleri

Kalorimetre tipi	:	Ayrıştırma-Kısılma
Maksimum izin verilen işletme basıncı değeri	:	10 barg
Tasarım basıncı	:	11.5 barg
Hidrostatik test basıncı	:	19.14 barg
İzolasyon malzemesi	:	80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 100 mm kalınlığındaki taşıyıcı
Kısılma elemanı	:	Manuel ayarlanabilir iğne vana
Kondenser tipi	:	Gövde borulu
Ayrıştırma ve kısılma kalorimetresi gövde malzemesi	:	Karbon çelik (P235GH)
Kep malzemesi	:	Karbon çelik (P235GH)

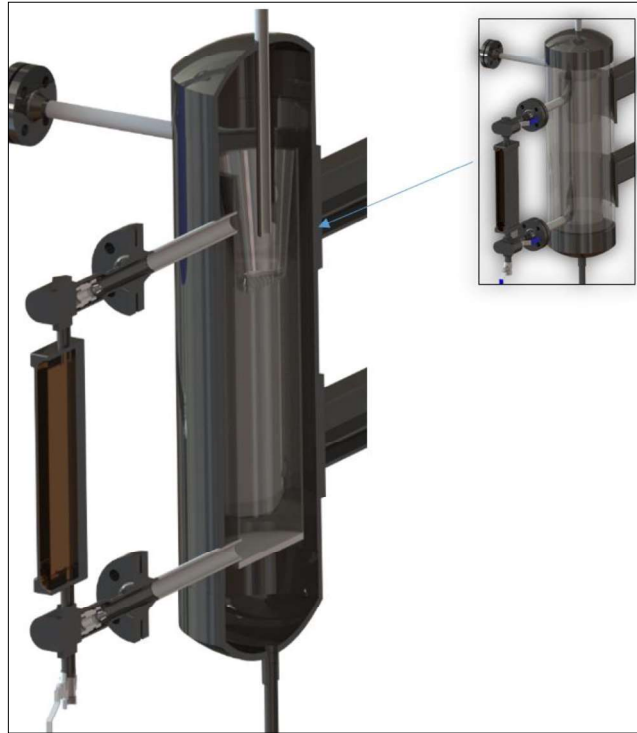
**Çalışma Prensipleri:** Kuruluk değeri belirlenmek üzere ayrıştırma-kısılma kalorimetresine gelen ıslak buhar numunesi, kontrol panosundaki test butonunun aktive edilmesiyle açılan solenoid vana üzerinden geçer. Buhar numunesi, iç içe geçmiş iki haznedan oluşan ayrıştırma kalorimetresinin ilk olarak iç haznesine ulaşır. Numune, iç haznenin üst kısmında bulunan delikli sac yüzeye çarpmaya zorlanarak aniden yön değiştirmesi sağlanır. İç hazne içerisinde ayrışmayı sağlayan konik formdaki delikli sacın görünüşü Şekil 3.26' da verilmiştir. Numunenin içerisindeki su zerreciklerinin kuru buhar fazına göre daha ağır olmasından ve buna paralel daha yüksek momentumlarından dolayı, numune içerisindeki kuru buhar ayrıştırma kalorimetresinin dış haznesi üzerinde bulunan buhar çıkışına doğru yönelirken, ıslak buhar numunesinden ayrılan su zerrecikleri iç hazne içerisinde depolanır (Anonymous 3, 2017). Ayrışarak iç haznede biriktirilen kondens miktarı, refleks camlı su seviye göstergesi üzerindeki seviye çizelgesi yardımıyla ölçülür.





Şekil 3.26. Ayırıştırma koniği tasarımının görünümü

Refleks camlı seviye göstergesinin iç hazneyle olan bağlantısını kesit görünüşü olarak gösteren görsel Şekil 3.27' deki gibidir.



Şekil 3.27. Refleks camlı seviye göstergesinin ayırıştırma kalorimetresiyle olan bağlantısı

Ayrıştırma kalorimetresindeki proses, izobar ve izotermal olarak gerçekleşmektedir. Bu nedenle çok iyi izole edilmedilir (Moyer,1911). Ayrıştırma kalorimetresi çıkışında nispeten daha yüksek kuruluk derecesine ulaşan fakat halen ıslak olan buhar numunesi kısılma vanasına ulaşır. Kısılma vanasında, yaklaşık olarak atmosfer basıncı değerine kadar adyabatik ve sürekli akış koşullarında izentalpik olarak test basıncına uygun açıklığa sahip bir iğne vana yardımıyla kısılan buhar numunesi kızgın buhar fazına geçer. Kısılma işleminden sonraki basınç düşümü ıslak buhar numunesini kızgın buhar fazına getirmek için yeterli olmalıdır. Kızgın buhar sıcaklığının, kısılma işleminin gerçekleştirildiği atmosferik basınçtaki doyma sıcaklığından 5 °C kadar yüksek olması gerçek buhar kuruluğunun doğru bir tahminini sağlamaktadır (Moura ve ark., 2012). Bu nedenle bu kural +5 °C kuralı olarak adlandırılmaktadır. Buhar numunesi son olarak kondenserden geçirilerek yoğuşturulur. Her iki kalorimetrede ölçülen buhar kuruluğu değerlerinin çarpımı buhar numunesinin kuruluk değerini vermektedir.

Ayrıştırma-kısılma kalorimetresinde buhar kuruluğunun ölçümü sırasında yapılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

Ayrıştırma kalorimetresinde hesaplanan buhar kuruluğu ( $x_1$ ) Denklem 3.23 ve 3.24 ile bulunmaktadır.

$$x_1 = \frac{m_{\text{kondenser,K.K}}}{m_{\text{bn}}} \quad (3.23)$$

$$m_{\text{bn}} = m_{\text{gösterge,A.K.}} + m_{\text{kondenser,A.K.}} + m_{\text{kondenser,K.K.}} \quad (3.24)$$

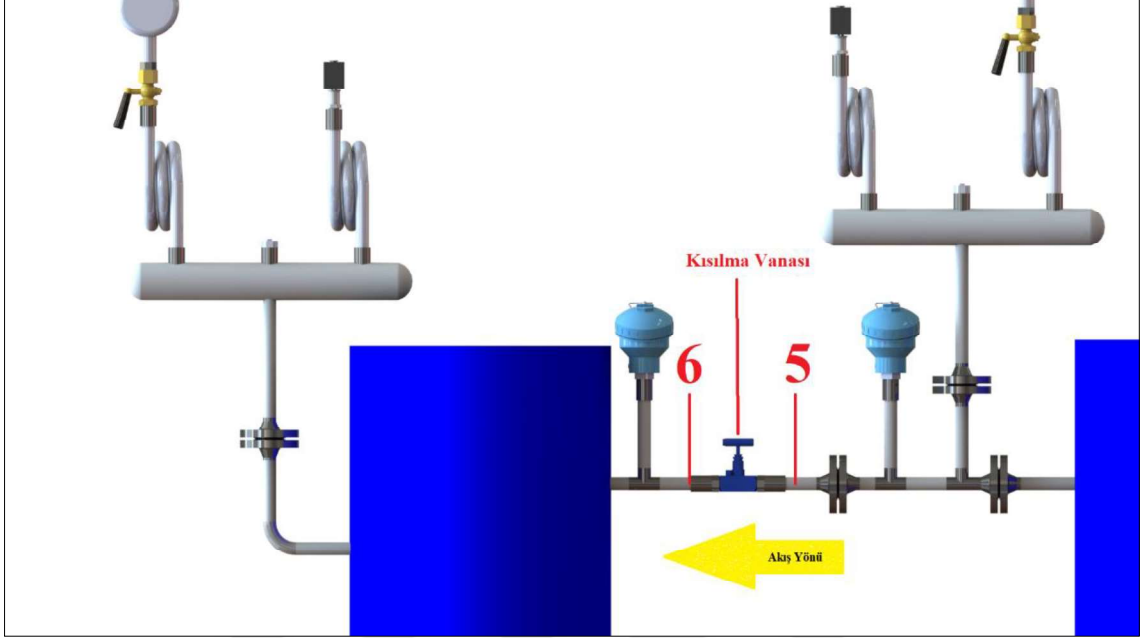
Kısılma prosesinin gerçekleştiği iğne vana için, sırasıyla kütle korunumu (süreklilik) Denklem 3.25' deki gibi ve enerjinin korunumu kanunları Denklem 3.27' deki gibi yazılabilir. Sürekli akışlı açık bir sistem olan kısılma prosesinde  $\frac{dm}{dt} = 0$  ve  $\frac{dE}{dt} = 0$ ' dir. Varsayımların Denklem 3.25 ve 3.27' de uygulanmasıyla Denklem 3.26 ve 3.28 elde edilir. Kısılma prosesinin şematik gösterimi Şekil 3.28' de verilmiştir.

$$\dot{m}_5 - \dot{m}_6 = \frac{dm}{dt} \quad (3.25)$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (3.26)$$

$$\dot{E}_5 - \dot{E}_6 = \frac{dE}{dt} \quad (3.27)$$

$$\dot{Q}_5 - \dot{Q}_{kız,6} + \dot{W}_5 - \dot{W}_{kız,6} + \sum_{5-kız,6} \dot{m} \times ((h_5 - h_{kız,6}) + \left(\frac{U_5^2 - U_{kız,6}^2}{2}\right) + (g \times (z_5 - z_{kız,6}))) = 0 \quad (3.28)$$



Şekil 3.28. Kısılma prosesinin şematik gösterimi

Aşağıdaki varsayımlar Denklem 3.28' e uygulanarak Denklem 3.29 elde edilir ve böylelikle kısılma prosesinin izentalpik olduğu gösterilmektedir (Altayee ve ark., 2014).

- Potansiyel enerji değişimi ihmal edilebilir. ( $z_5 \cong z_{kız,6}$ )
- Kinetik enerji değişimi ihmal edilebilir ( $U_5 \cong U_{kız,6}$ )
- Isı girişi ve çıkışı ihmal edilebilir. ( $\dot{Q}_5 \cong \dot{Q}_{kız,6} \cong 0$ )
- İş girişi ve çıkışı ihmal edilebilir. ( $\dot{W}_5 \cong \dot{W}_{kız,6} \cong 0$ )

$$h_5 = h_{kız,6} \quad (3.29)$$

Kısılma kalorimetresinde hesaplanan buhar kuruluğu ( $x_2$ ) Denklem 3.30 ve 3.31' den elde edilen Denklem 3.32 ile bulunmaktadır.

$$h_5 = h_{f5} + x_2 \times (h_{fg5}) \quad (3.30)$$

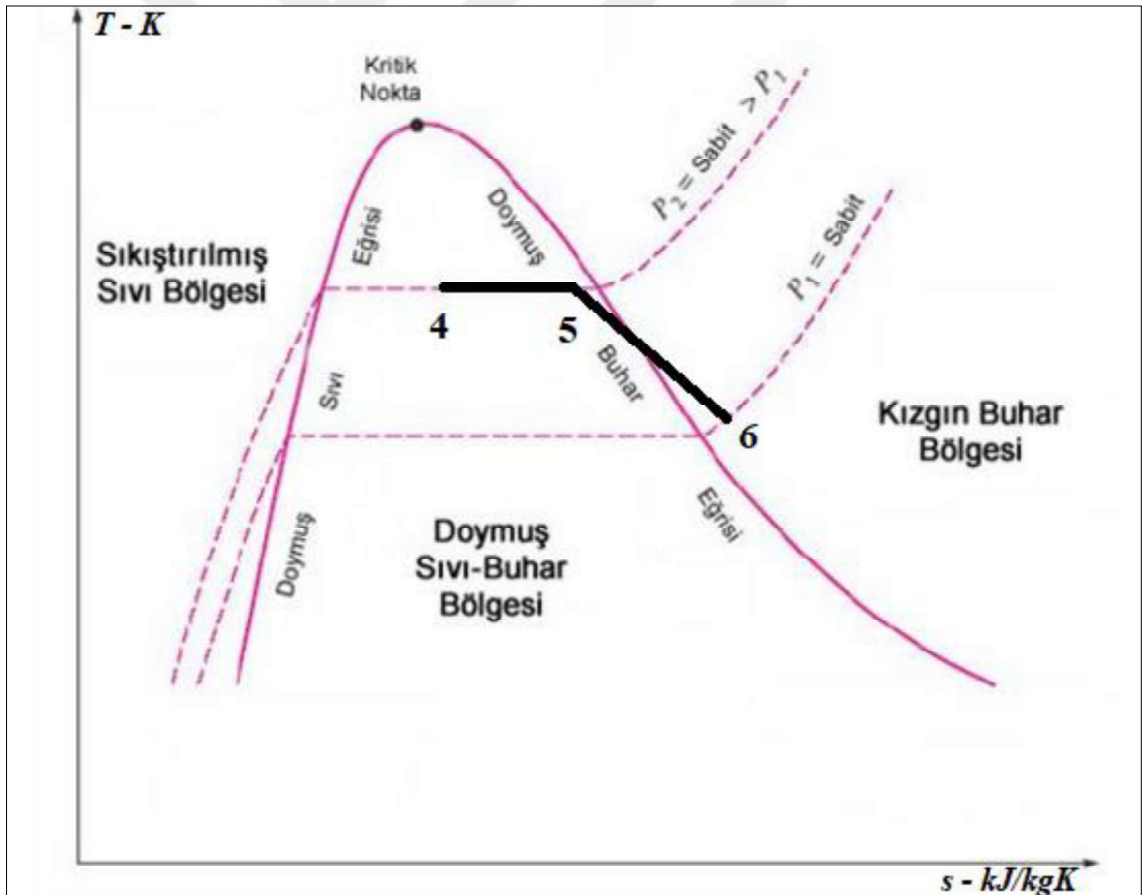
$$h_{kız,6} = h_{g6} + C_{pkız,6} \times (T_{kız,6} - T_{doy,6}) \quad (3.31)$$

$$x_2 = \frac{(h_{g6} + (C_{pkız,6} \times (T_{kız,6} - T_{doğ,6}))) - h_{f5}}{h_{fg5}} \quad (3.32)$$

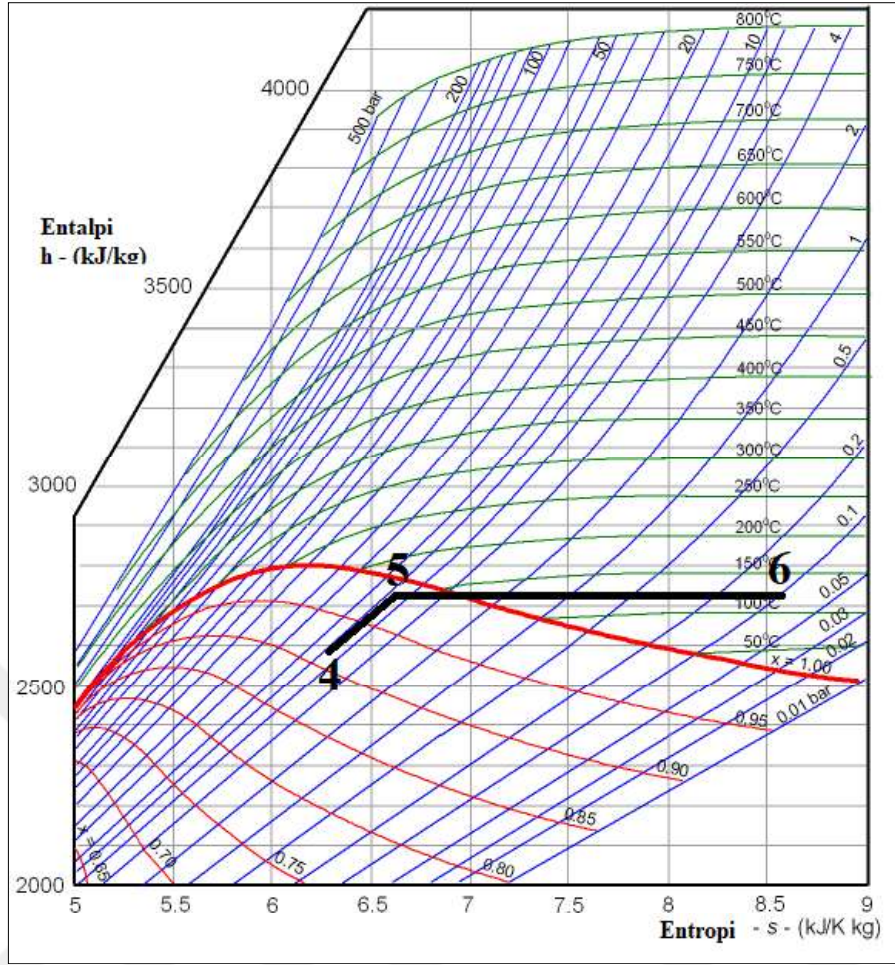
Kalorimetreye giren buhar numunesinin kuruluk derecesi Denklem 3.33' de verilen formül yardımıyla hesaplanabilir (Makhomo, 2015).

$$x_n = (x_1) \times (x_2) \quad (3.33)$$

Ayrıştırma-kısılma kalorimetresinde gerçekleşen prosesin (4-5-6) T-s diyagramı üzerinde gösterimi Şekil 3.29' da ve ve h-s (Mollier) diyagramı üzerinde gösterimi de Şekil 3.30' da verilmiştir. Mollier diyagramı buhar kuruluk derecesinin elde edilmesi için alternatif bir yoldur. Bu teknik, nem seviyesi %0.25' den daha büyük olan buhar numuneleri için, buhar kuruluğunun hızlıca bulunmasını sağlar (Jung, 1995).



Şekil 3.29. Ayrıştırma-kısılma kalorimetresinde gerçekleşen prosesin T-s diyagramı



Şekil 3.30. Ayrıştırma-kısılma kalorimetresinde gerçekleşen prosesin h-s (Mollier) diyagramı ([https://www.engineeringtoolbox.com/mollier-diagram-water-d\\_308.html](https://www.engineeringtoolbox.com/mollier-diagram-water-d_308.html))

Ayrıştırma-kısılma kalorimetresinde kullanılan yardımcı aksesuarlar ve diğer bölümleri şunlardır:

Kal. giriş man. kesme vanası

Ayrıştırma kısılma kalorimetresinin girişinde konumlandırılmış vana, solenoid vananın arızalanması durumunda, manuel olarak kapatılarak buhar numunesinin kalorimetreye girişine engel olmaktadır. Seperatörlü ve seperatörsüz kuruluk testleriyle doğrulama testi sırasında vana pozisyonu açıktır. PN16 DN15 ölçüye sahip glob tip vana kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-46' dır.

Test kontrol solenoid vanası

Testlerin yapılışı sırasında buhar kuruluğu belirlenecek buhar numunesinin kalorimetreye girişini kontrol eden vanadır. PN63 ½'', 24V,

Solenoid vana pislik tutucusu	<p>normalde kapalı tipinde solenoid vana kullanılmaktadır. P&amp;ID kod numarası E-48' dir.</p> <p>Test kontrol solenoid vanasının giriş tarafına buharla sürüklenerek gelebilecek metal tortu ve diğer kirleticilerin; vana sit yüzeyi, sızdırmazlık parçaları vb. vana kısımlarını korumak amacıyla solenoid girişinde konumlandırılmıştır. PN40 ½'' ölçüye sahip paslanmaz çelik malzemeden imal Y tip pislik tutucu kullanılmıştır. Buhar hattında bulunduğu için filtre ekseni yer düzlemine paralel olacak şekilde monte edilmiştir. P&amp;ID kod numarası E-47' dir.</p>
Emniyet ventili	<p>Kalorimetre giriş hattındaki basıncın, herhangi bir nedenle izin verilen maksimum işletme basıncı değerinin %10 üzerindeki basınç değerine ulaşması durumunda fazla basıncı tahliye eden emniyet donanımıdır. PN16 DN20/32 ölçüsüne sahip, tam kalkışlı, yaylı ve açık kapak tipinde emniyet ventildir. Set basıncı değeri 11 barg' dır. P&amp;ID kod numarası E-49' dur.</p>
A.K. giriş manometresi ve bağ. v.	<p>Ayrıştırma kalorimetresi giriş hattındaki basıncın izlenmesi için kullanılmaktadır. Bu hatta, 100 mm gösterge çapına, 0-16 barg gösterge aralığına sahip manometre ve ½'' çapında 3 yollu bağlantı vanası bulunmaktadır. Manometreyle bağlantı noktası bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&amp;ID kod numarası E-50' dir.</p>
A.K. giriş basınç tranmitteri	<p>Ayrıştırma kalorimetresi giriş hattındaki basıncın elektronik olarak ölçülmesi için kullanılır. Bu hatta, 4-20 mA çıkış sinyal aralığına ve 0-16 barg ölçüm aralığına sahip basınç tranmitteri bulunmaktadır. Basınç transmitteri ve gövde bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&amp;ID kod numarası E-51' dir.</p>

A.K. giriş sıcaklık sensörü

Ayrıştırma kalorimetresi giriş hattındaki sıcaklığın elektronik olarak ölçülmesi için kullanılır. J tipi termokupludur. P&ID kod numarası E-52' dir.

A.K. iç hazne

Buhar numunesi içerisindeki yoğuğunun ayrıştırılması için kullanılan delikli sac yüzeyin bulunduğu ve ayrıştırılan kondensin biriktirildiği haznedir. Numuneden ayrıştırılan kondens miktarının saptanmasında kullanılan seviye çizelgeli refleks camlı su seviye göstergesi bu hazneye bağlıdır. 141,3 mm x 6,55 mm EN10216 TC2 P235GH kalite çelik çekme borudan imal edilmiştir. Delikli sac yüzeyin bulunduğu iç konik 5mm P235GH kalite sacdan üretilmiştir.

Seviye göstergesi

Ayrıştırma kalorimetresi iç haznesindeki biriken kondens seviyesinin kullanıcı tarafından gözlemlenmesi için kullanılır. Reflex camlı tiptir. Dahili PN40 DN20 bağlantı vanaları ve boşaltma vanası (P&ID kod numarası E-54, E-55, E-56) bulunmaktadır. Seviye göstergesi üzerindeki seviye cetveli sayesinde haznede biriken kondens miktarı hesaplanmaktadır. Bu miktarın hesabı için ilk olarak, test öncesinde not edilen mevcut su seviyesinden, test sonrasında ki su seviyesinin farkı bulunur. Bu fark kontrol panosu test sayfası üzerindeki ilgili bölüme girilir. Kabın birim seviye çarpanı olan 11,4 gr/mm değeriyle farkın çarpımı kontrol panosu üzerinden çarpılarak her bir test sırasında ayrıştırma kalorimetresinde ayrılan kondens miktarı elde edilir. İç hazne dolduğunda yeni bir teste başlamadan önce gösterge boşaltma vanası yardımıyla boşaltılır. Haznenin tamamen boşalmasını sağlamak için, haznenin alt taban sacı 1/10 oranında eğimli olarak tasarlanmıştır. P&ID kod numarası E-53' dür.

## A.K. dış hazne

Ayrıştırma kalorimetresinin ana gövdesini oluşturan dış hazne, iç haznede içindeki su zerreciklerinden ayrılarak nispeten daha kuru halen gelen buhar numunesinin kısılma kalorimetresine geçmesini sağlayan buhar çıkış hattına sahip kısımdır. Ayrıca ayrıştırma kalorimetresi kondenseri için de en alt kısmında bağlantı nozuluna sahiptir. 219.1 mm x 8.8 mm EN10216 P235GH-TC2 kalite çelik çekme borudan imal edilmiştir. Alt ve üst kısımlarında ise 8" SCH80 kepler yer almaktadır.

## A.K. kondenseri

Kuruluk ölçüm testi sırasında yalnızca ayrıştırma kalorimetresinin kullanılması durumu için konumlandırılmış kondenserdir. Gövde borulu eşanjör tipindedir. Gövde malzemesi paslanmaz çelik, boru malzemesi bakırdır. Üzerinde, PN40 ½" ölçüsünde sıcak numune alma vanası (P&ID kod numarası E-58), PN16 ½" soğutma suyu giriş-çıkış vanası (P&ID kod numarası E-57) ve soğutulmuş numune tahliyesi için kullanılan 3 yollu PN40 ½" küresel vana (P&ID kod numarası E-59), mevcuttur. 3 yollu küresel vana soğutulmuş numunenin çıkışlarını; ortama, kondens tankına yönlendirecek şekilde ve vanayı kapatacak şekilde akışkana yön vermekte kullanılmaktadır. Ayrıştırma-kısılma kalorimetresinin kullanılması durumunda bu kondenserin numune giriş vanası kapalı konumdadır. Normal şartlarda ayrıştırma ve kısılma kalorimetresi birlikte kullanılacağından bu vana pozisyonu kapalı tutulmaktadır. Dış hazne içerisindeki boşaltma işlemi bu ekipman üzerinden sağlanmaktadır. P&ID kod numarası E-60' dir.

## A.K. çıkış manometresi ve bağ. v.

Ayrıştırma kalorimetresi çıkış (kısılma vanası giriş) hattındaki basıncın izlenmesi için kullanılmaktadır. Bu hatta, 100 mm gösterge çapına, 0-16 barg



- gösterge aralığına sahip manometre ve ½’’ çapında 3 yollu bağlantı vanası bulunmaktadır. Manometreyle bağlantı noktası bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&ID kod numarası E-62’ dir.
- A.K. çıkış basınç tranmitteri Ayırıştırma kalorimetresi çıkış (kısılma vanası giriş) hattındaki basıncın elektronik olarak ölçülmesi için kullanılır. Bu hatta, 4-20 mA çıkış sinyal aralığına ve 0-16 barg ölçüm aralığına sahip basınç tranmitteri bulunmaktadır. Basınç transmitteri ve gövde bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&ID kod numarası E-63’ tür.
- A.K. çıkış sıcaklık sensörü Ayırıştırma kalorimetresi çıkış (kısılma vanası giriş) hattındaki sıcaklığın elektronik olarak ölçülmesi için kullanılır. J tipi termokupldur. P&ID kod numarası E-64’ tür.
- Kısılma Vanası Ayırıştırma kalorimetresinden geçerek kuruluk derecesi nispeten yükselmiş ıslak buhar numunesinin, kızdırılması için kullanılmaktadır. PN40 ½’’ ölçüye sahip paslanmaz çelik malzemeden imal iğne tip vana kullanılmıştır. Kısılma vanası olarak iğne vana kullanılmasının nedeni; akış ayar ve kısma işlemleri için özel dizayn edilmiş olmasıdır. P&ID kod numarası E-65’ dir.
- K.K. giriş manometresi ve bağ. v. Kısılma kalorimetresi giriş (kısılma vanası çıkış) hattındaki basıncın izlenmesi için kullanılmaktadır. Bu hatta, 100 mm gösterge çapına, 0-16 barg gösterge aralığına sahip manometre ve ½’’ çapında 3 yollu bağlantı vanası bulunmaktadır. Manometreyle bağlantı noktası bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&ID kod numarası E-67’ dir.
- K.K. giriş basınç tranmitteri Kısılma kalorimetresi giriş (kısılma vanası çıkış) hattındaki basıncın elektronik olarak ölçülmesi için

	<p>kullanılır. Bu hatta, 4-20 mA çıkış sinyal aralığına ve 0-16 barg ölçüm aralığına sahip basınç transmitteri bulunmaktadır. Basınç transmitteri ve gövde bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&amp;ID kod numarası E-68' dir.</p>
K.K. giriş sıcaklık sensörü	<p>Kısılma kalorimetresi giriş (kısılma vanası çıkış) hattındaki sıcaklığın elektronik olarak ölçülmesi için kullanılır. J tipi termokupludur. Vanadaki akış tipinin türbulanslı olmasından dolayı (<math>Re &gt; 4000</math>) sıcaklık sensörünün doğru ölçüm yapacağı yer akışın ısıl olarak tam gelişmiş olduğu bölge olup, bu bölgenin vanadan itibaren uzunluğu akış çapının on katına eşittir. Bu nedenle sensör bu bölgeye yerleştirilmiştir. P&amp;ID kod numarası E-66' dir.</p>
K.K. gövdesi	<p>Kısılma vanasının ardında yer alan içi boş haznedir. 219,1 mm x 8,8 mm EN10216 P235GH-TC2 kalite çelik çekme borudan imal edilmiştir. Alt ve üst kısımlarında ise 8'' SCH80 kepler yer almaktadır.</p>
K.K. kondenseri	<p>Kuruluk ölçüm testi sırasında buhar numunesinin yoğuşturulması için kısılma kalorimetresi gövdesinin altında konumlandırılmış kondenserdur. Gövde borulu eşanjör tipindedir. Gövde malzemesi paslanmaz çelik, boru malzemesi bakırdır. Üzerinde, PN40 ½'' ölçüsünde sıcak numune alma vanası (P&amp;ID kod numarası E-69), PN16 ½'' soğutma suyu giriş-çıkış vanası (P&amp;ID kod numarası E-72) ve soğutulmuş numune tahliyesi için kullanılan 3 yollu PN40 ½'' küresel vana (P&amp;ID kod numarası E-73), mevcuttur. 3 yollu küresel vana soğutulmuş numunenin çıkışlarını; ortama, kondens tankına yönlendirecek şekilde ve vanayı kapatacak şekilde akışkana yön vermekte kullanılmaktadır. Hazne içerisindeki boşaltma işlemi de yine üç yollu vanayla</p>

	gerçekleştirilmektedir. P&ID kod numarası E-70' dir.
Tartım kabı	Testler sırasında, kullanılan numune miktarını belirlemek için, yoğuşturulmuş numunenin sistemden alındığı ve tartım için kullanılan kaptır.
Hassas kantar	Test sonrasında yoğuşturulmuş numunenin ağırlığını ölçmek amacıyla kullanılan ölçüm aletidir. 0-5 kg ölçüm aralığına sahiptir. Ölçüm hassasiyeti miligram (.000) mertebesindedir. P&ID kod numarası E-74' dür.

### 3.2.3.1. Minumum kuruluk derecesi

Minumum kuruluk derecesi ( $x_{2,min}$ ), kısılma kalorimetresine giren buhar numunesinin, kısıldığı yaklaşık atmosferik basınçtaki doyma sıcaklığından min. +5°C üzerine kızdırılabilmesi için (+5°C kuralı gereği), kısılma vanası girişinde minumum sahip olması gereken kuruluk derecesini tanımlamaktadır. Bu değerın tespiti, testler sonucunda elde edilen kısılma kalorimetresi kuruluk derecesinin ( $x_2$ ) doğruluğunun kontrol edilmesi açısından önem taşımaktadır. Ayrıca, eğer test sonuçlarında  $x_2 \leq x_{2,min}$  şeklinde bir eşitsizlik ortaya çıkıyorsa; ayrıştırma kalorimetresinin çıkışındaki (kısılma vanası girişi) buhar numunesinin kuruluk derecesinin, kısılma vanasında numunenin kızgın buhar haline getiremediğini, başka bir deyişle ayrıştırma kalorimetresinin tam olarak görevini yerine getiremediği sonucuna ulaşılır. Bu nedenle seperatörlü ve seperatörsüz buhar kuruluğu ölçümü test sonuçlarında  $x_{2,min}$  değeri de hesaplanılarak  $0 \leq x_2 - x_{2,min}$  şartının sağlanıp sağlanmadığı da kontrol edilmiştir. Kısılma kalorimetresi için bulunan minumum kuruluk derecesi; Denklem 3.34, 3.35, 3.36 ve 3.37 aracılığıyla elde edilen Denklem 3.38 vasıtasıyla hesaplanmaktadır (Anonymous 4, 2017).

$$\text{Min. } T_{kız,6} = T_{doym,6} + 5 \text{ °C} \quad (3.34)$$

$$\text{Min. } h_{kız,6} = h_{g6} + C_{pkız,6} \times (\text{Min. } T_{kız,6} - T_{doym,6}) \quad (3.35)$$

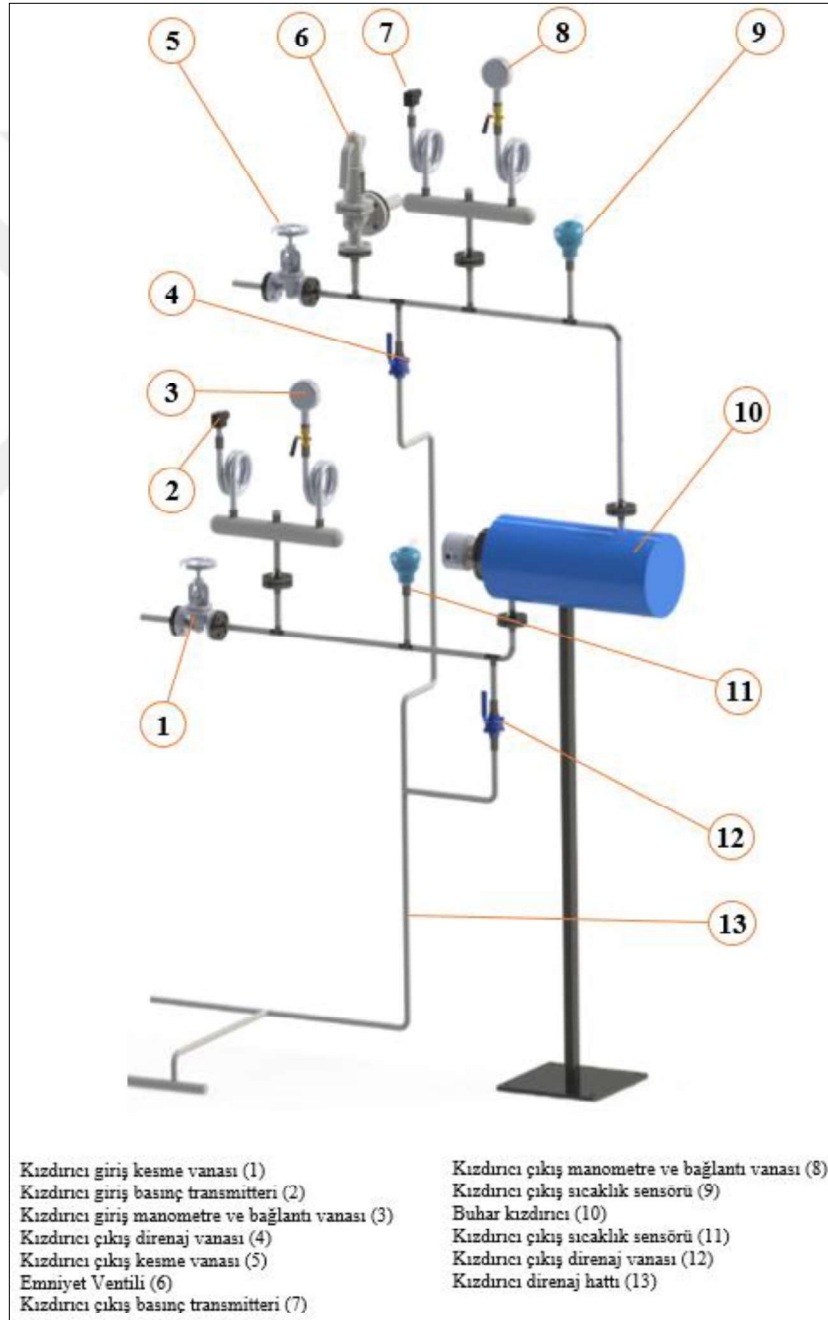
$$\text{Min. } h_{kız,6} = h_5 \quad (3.36)$$

$$h_5 = h_{f5} + (x_2 \times h_{fg5}) \quad (3.37)$$

$$x_{2,min} = \frac{\text{Min. } h_{kız,6} - h_{f5}}{h_{fg,5}} \quad (3.38)$$

### 3.2.4. Buhar kızdırıcı

Amacı: Kalorimetrede ölçülen buhar kuruluğu değerinin doğrulanması için kullanılan sistemdir. Buhar jeneratöründe üretilen buhar test ünitesinin bu bölümünde, kuruluk derecesi bilinen kızgın buhara dönüştürülerek kalorimetrede okunan değer 1' e eşit olması beklenir. Okunan değer doğru olmaması halinde sensörler ve diğer sistem elemanları kontrol edilerek kalibrasyonları yapılır. Buhar kızdırıcı tasarımına ait görsel Şekil 3.31' de verilmiştir. P&ID kod numarası E-34' tür.



Şekil 3.31. Buhar kızdırıcı tasarımı

Buhar kızdırıcıya ilişkin genel özellikler Çizelge 3.11’ de verilmiştir.

**Çizelge 3.11.** Buhar kızdırıcının genel özellikleri

Kızgın buhar üretim kapasitesi	:	30 kg/h
Maksimum izin verilen işletme basıncı değeri	:	10 barg
Tam dolu su hacmi	:	~100 lt
Tasarım basıncı	:	11.5 barg
Hidrostatik test basıncı	:	19.14 barg
İşletme basıncı	:	2 barg
İşletme sıcaklığı	:	150 °C
Maksimum izin verilen işletme sıcaklığı	:	200 °C
İzolasyon malzemesi	:	80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 100 mm kalınlığındaki taşıyıcı
Kondens tahliye tipi	:	Manuel küresel vana
Rezistans gücü	:	1.5 kW <sub>e</sub> – 380 V – 50 Hz
Gövde malzemesi	:	Karbon çelik (P235GH)

Buhar kızdırıcıda kullanılan yardımcı aksesuarlar şunlardır:

- Kızdırıcı giriş kesme vanası Doğrulama testi sırasında buhar jeneratöründe üretilen buharın kızdırıcıya girişini sağlayan vanadır. Seperatörlü ve seperatörsüz kurulum ölçüm testleri sırasında vana pozisyonu kapalıdır. PN16 DN15 ölçüye sahip glob tip vana kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-29’ dur.
- Kızdırıcı giriş mano.ve bağ. van. Kızdırıcı giriş hattındaki basıncın izlenmesi için kullanılmaktadır. Bu hatta, 100 mm gösterge çapına, 0-16 barg gösterge aralığına sahip manometre ve ½’’ çapında 3 yollu bağlantı vanası bulunmaktadır. Manometreyle bağlantı noktası bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&ID kod numarası E-31’ dir.
- Kızdırıcı giriş basınç tranmitteri Kızdırıcı giriş hattındaki basıncın elektronik olarak ölçülmesi için kullanılır. Bu hatta, 4-20 mA çıkış sinyal aralığına ve 0-16 barg ölçüm aralığına sahip basınç tranmitteri bulunmaktadır. Basınç transmitteri ve gövde bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&ID kod numarası E-30’ dur.

Kızdırıcı giriş sıcaklık sensörü	Kızdırıcı giriş hattındaki sıcaklığın elektronik olarak ölçülmesi için kullanılır. J tipi termokupldur. P&ID kod numarası E-33' tür.
Kızdırıcı giriş direnaj vanası	Kızdırıcıya ilk buharın verilmesi sırasında hatta birikmiş veya soğuma nedeniyle oluşabilecek olan kondensin, kazandan sürüklenebilecek kondensin ve kızdırıcı gövdesindeki kondensin tahliyesi için kullanılan vanadır. PN63 ½'' paslanmaz çelik malzemedden imal küresel tip vanadır. P&ID kod numarası E-32' dir.
Kızdırıcı çıkış mano.ve bağ. van.	Kızdırıcı çıkış hattındaki basıncın izlenmesi için kullanılmaktadır. Bu hatta, 100 mm gösterge çapına, 0-16 barg gösterge aralığına sahip manometre ve ½'' çapında 3 yollu bağlantı vanası bulunmaktadır. Manometreyle bağlantı noktası bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&ID kod numarası E-36' dır.
Kızdırıcı çıkış basınç tranmitteri	Kızdırıcı çıkış hattındaki basıncın elektronik olarak ölçülmesi için kullanılır. Bu hatta, 4-20 mA çıkış sinyal aralığına ve 0-16 barg ölçüm aralığına sahip basınç tranmitteri bulunmaktadır. Basınç transmitteri ve gövde bir omega vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. P&ID kod numarası E-37' dir.
Kızdırıcı çıkış sıcaklık sensörü	Kızdırıcı çıkış hattındaki sıcaklığın elektronik olarak ölçülmesi için kullanılır. J tipi termokupldur. P&ID kod numarası E-35' dir.
Kızdırıcı çıkış direnaj vanası	Kızdırıcıya ilk buharın verilmesi sırasında kızdırıcı giriş vanasından tahliye olmaksızın kızdırıcı gövdesine ulaşan kondensin, kalorimetredeki ölçüm sonuçlarını etkilememesi için direnajının yapıldığı vanadır. Bu vana sayesinde kızdırıcının ısınarak rejime girmesi sağlanır. PN63 ½'' paslanmaz çelik malzemedden imal küresel tip vanadır. P&ID kod numarası E-38' dir.

### Emniyet ventili

Kızdırıcı çıkış hattındaki basıncın, herhangi bir nedenle akışın olmaması ve ısıtıcı rezistansın devrede kalmasıyla izin verilen işletme basıncı değerinin %10 üzerindeki basınç değerine ulaşması durumunda fazla basıncı tahliye eden emniyet donanımıdır. PN40 DN20/32 ölçüsüne sahip, tam kalkışlı, yaylı ve açık kapak tipinde emniyet ventildir. Set basıncı değeri 2.2 barg' dır. P&ID kod numarası E-40' dır.

### Kızdırıcı çıkış kesme vanası

Doğrulama testi sırasında kızdırıcıda üretilen kızgın buharın kalorimetre bölümüne ilerlemesini sağlayan vana'dır. Doğrulama testi sırasında vana pozisyonu açık, seperatörlü ve seperatörsüz kurulum ölçüm testleri sırasında vana pozisyonu kapalıdır. PN16 DN15 ölçüye sahip glob tip vana kullanılmıştır. P&ID kod numarası E-39' dur.

### Kızdırıcı Isıtıcı Rezis. Gövdesi

Isıtıcı rezistansın montajına imkan veren ve içerisinden geçen buharın kızdırıldığı kısımdır. 60.3 mm x 3.9 mm EN10216 P235GH-TC2 kalite çelik çekme borudan imal edilmiştir. Buhar kızdırıcı rezistansının gövdeye montajlı halinin gösterildiği görsel Şekil 3.32' de verilmiştir.



Şekil 3.32. Buhar kızdırıcı tasarımı

Isıtıcı rezistans

Buhar kızdırıcıda istenen sıcaklık ve basınçta kızgın buharın üretilmesi için gerekli enerjinin sağlandığı ekipmandır. Karbon çelik flanşlı bağlantıya sahiptir. Isıtıcı elemanlar Cr-Ni alaşımlı malzemeden imal edilmiştir. Elektrik beslemesi 380V – 50 Hz – 3 faz’ dır.

Kızdırıcı için belirlenen elektrikli ısıtıcının rezistans gücü, kızdırıcı işletme şartları baz alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Kızdırıcıya ait genel işletme şartları Çizelge 3.12’ de verilmiştir.

**Çizelge 3.12.** Kızdırıcıya ait genel işletme şartları

Kızgın buhar üretim kapasitesi ( $\dot{m}$ )	:	30	kg/h
İşletme basıncı ( $P_{\text{imaks}}$ )	:	2	barg
İşletme basıncındaki doymuş buhar sıcaklığı ( $T_{\text{doy}}$ )	:	133.7	°C
Maksimum izin verilen işletme sıcaklığı ( $T_{\text{kız,maks}}$ )	:	200	°C
İşletme basıncındaki kızgın buharın entalpisi ( $h_{\text{kız}}$ )	:	2865.31	kJ/kg
İşletme basıncındaki doymuş buharın entalpisi ( $h_g$ )	:	2724.57	kJ/kg

Sürekli akışlı açık bir sistem olan kızdırıcı sistemine ilk olarak Süreklilik denklemi aşağıdaki gibi uygulanabilir. Denklemlerde ki 3 indisi kontrol hacmi girişini (doymuş buhar), 4 indisi ise kontrol hacmi çıkışını (kızgın buhar) ifade etmektedir. Süreklilik denklemi Denklem 3.39 ‘da verilmiştir.

$$\dot{m}_3 - \dot{m}_4 = \frac{d_m}{dt} \quad (3.39)$$

Sürekli akışlı açık sistem koşulu için Denklem 3.39 ‘daki  $\frac{d_m}{dt} = 0$ ’ dır. Bu eşitlik, Denklem 3.39’da verilen süreklilik denklemine uygulanarak Denklem 3.40’ daki eşitlik elde edilir.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m} \quad (3.40)$$

Sürekli akışlı açık sistem koşuluna sahip kontrol hacmi için Termodinamiğin 1. Kanunu uygulanarak, Denklem 3.41 ve bu denklem genişletilerek Denklem 3.42 elde edilir.

Denklem 3.41’ deki  $\frac{d_E}{dt} = 0$ ’ dır.



$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \frac{dE}{dt} \quad (3.41)$$

$$\dot{Q}_3 - \dot{Q}_4 + \dot{W}_3 - \dot{W}_4 + \sum_{3-4} \dot{m} \times ((h_3 - h_4) + \left(\frac{U_3^2 - U_4^2}{2}\right) + (g \times (z_3 - z_4))) = 0 \quad (3.42)$$

İlgili kontrol hacmi için aşağıdaki varsayımlar kabul edilebilir.

- Potansiyel enerji değişimi ihmal edilebilir. ( $z_3 \cong z_4$ )
- Kinetik enerji değişimi ihmal edilebilir ( $U_3 \cong U_4$ )
- Isı girişi ve çıkışı ihmal edilebilir. ( $\dot{Q}_3 \cong \dot{Q}_4 \cong 0$ )
- İş çıkışı ihmal edilebilir. ( $\dot{W}_4 \cong 0$ )

Yukardaki sınır şartları Denklem 3.42' ye uygulanarak Denklem 3.43 elde edilir.

$$\dot{W}_3 = \dot{W}_{Rezistans} = \dot{m} \times (h_4 - h_3) \quad (3.43)$$

Değerler, Denklem 3.43' te yerlerine konularak sonunda Denklem 3.44' teki sonuca ulaşılır.

$$\dot{W}_3 = \dot{W}_{Rezistans} = 30 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \left( 2865,31 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2724,57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \quad (3.44)$$

$$\dot{W}_3 = \dot{W}_{Rez,net} = 1.17 \text{ kW}_e$$

Denklem 3.44' te elde edilen 1.17 kW<sub>e</sub> değerindeki güç, kızdırıcı içerisindeki buhara istenen şartlardaki kızgın buharın oluşturulması için rezistans tarafından verilmesi gereken net faydalı enerji miktarıdır. Rezistans gücünün, voltaj dalgalanmalarından oluşacak kayıplar, rezistans elemanlarının kireç kaplanmasından dolayı oluşacak kayıplar vb. işletmedeki olumsuz durumların da göz önünde bulundurularak hesaplanması gerekir. Bu nedenle kayıpların kompanze edilmesi için kullanılacak emniyet faktörüyle (E.F.) bulunan net faydalı enerji miktarı değerinin çarpımı, gerekli toplam rezistans gücünün bulunmasını sağlamaktadır. E.F. nin değeri geçmiş gözlemlere dayanarak 1,25 olarak kabul edilmiştir. Rezistansın sahip olması gereken güç değeri, Denklem 3.45 ile bulunur.

$$\dot{W}_{Rez,top} = E. F. \times \dot{W}_{Rez,net} \quad (3.45)$$

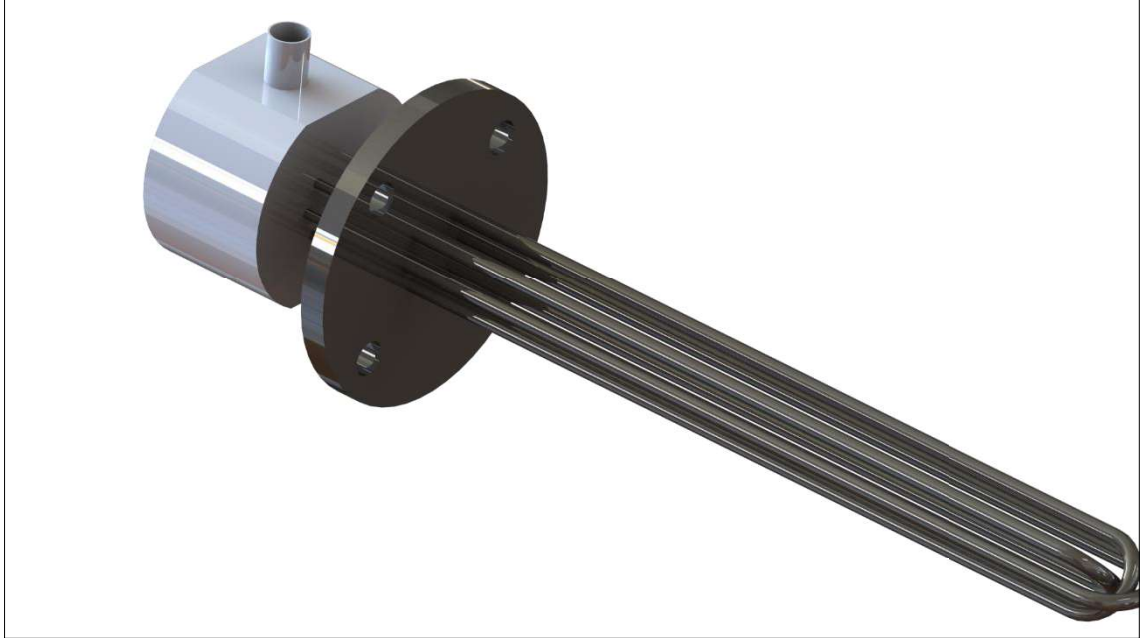
$$\dot{W}_{Rez,top} = 1.25 \times 1.17 \text{ kW}_e$$

$$\dot{W}_{Rez,top} = 1.46 \text{ kW}_e$$

Buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistansının; tasarımı için kullanılan değerler Çizelge 3.13' de, tasarım görseli Şekil 3.33' de ve genel ölçüleri Şekil 3.34' de verilmiştir.

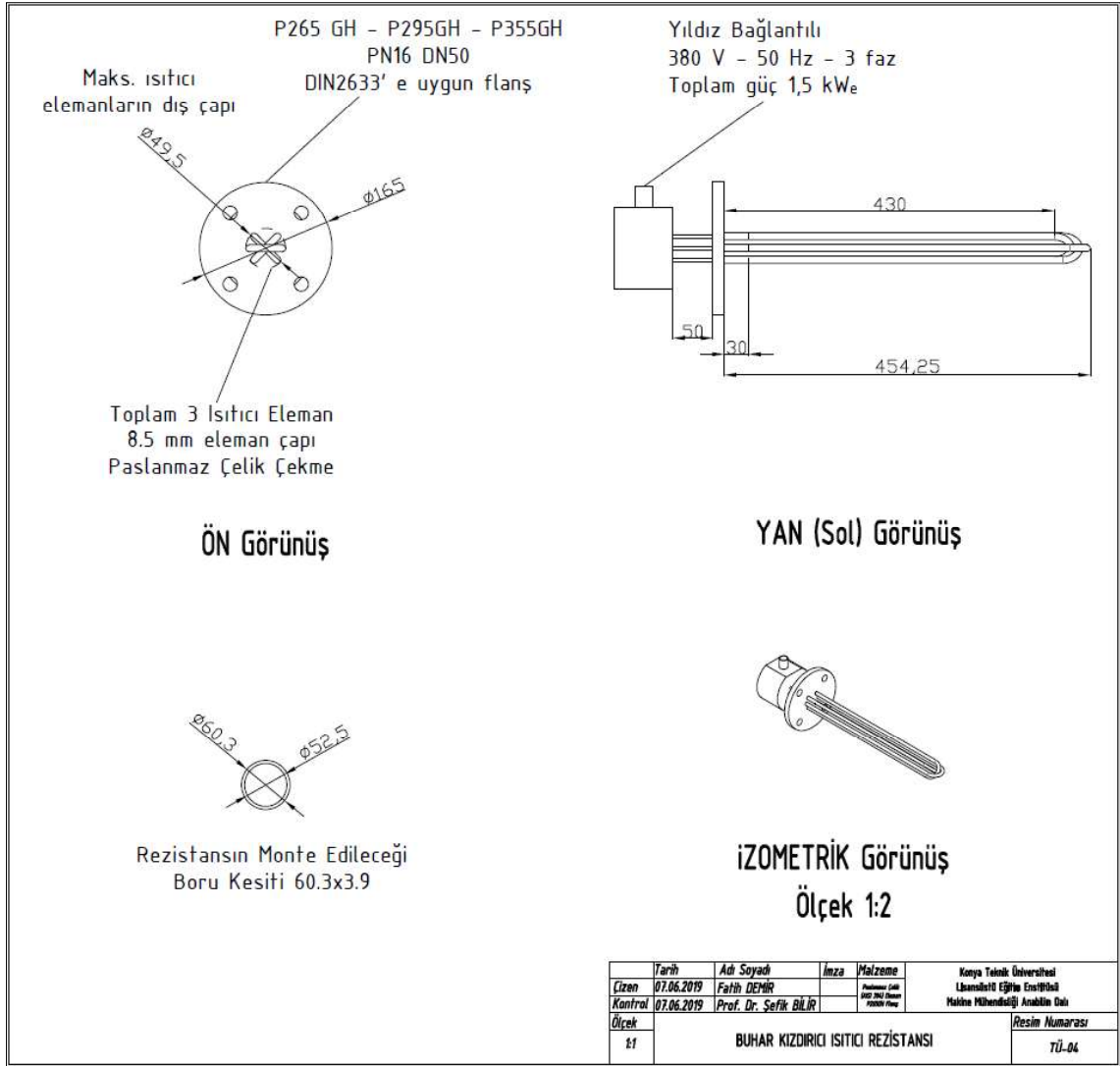
**Çizelge 3.13.** Buhar kızdırıcının ısıtıcı rezistansının tasarım parametreleri

İzin verilen maks. ısı akısı (3.1> kızgın buhar için >1.55) (Anonymous 2, 2016)	:	2.25	W/cm <sup>2</sup>
Eleman çapı	:	8.5	mm
Eleman uzunluğu (+3 cm ölü bölge dahil)	:	43	cm
Isıtıcı eleman adedi	:	3	adet
Herbir radyus uzunluğu	:	41	mm
Toplam radyus uzunluğu	:	123	mm
Isıtıcı elemanların radyuslar dahil toplam uzunluğu	:	252.3	cm
Isıtıcı elemanların toplam yüzey alanı	:	673.71	cm <sup>2</sup>
Tasarlanan ısıtıcı elemandan alınabilecek toplam enerji	:	1515.825	W



**Şekil 3.33.** Buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistansının tasarımı

Isıtıcı rezistansının çalışma ömrünü artırmak, flanş bağlantı noktasındaki sızdırmazlığını sağlamak ve kablo bağlantı kutusundaki klemensleri sıcaklığa karşı korumak için; 3 cm' lik ısıtmasız ölü bölge ve 5 cm lik soğutma bölümü bulunmaktadır.



Şekil 3.34. Buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistansının genel ölçüleri

### 3.3. Mukavemet Hesapları

Test ünitesinde kullanılan basınca maruz parçaların mukavemet ve minimum gerekli et kalınlığı hesaplarıyla hidrostatik test basınçları, PED 2014/68 EU (The Pressure Equipment Directive) basınçlı ekipmanlar direktifinde yer alan harmonize standartlardan EN12952 (su borulu kazanlar) ve EN12953 (silindirik kazanlar)' e göre yapılmıştır. Sistem elemanlarının işletme şartları göz önünde bulundurularak ana ekipmanlar ve minimum gerekli et kalınlıklarıyla hidrostatik test basıncı değerleri hesaplanırken referans alınan standartlar Çizelge 3.14' de verilmiştir.

Çizelge 3.14. Min. et kalınlıkları hesaplanırken referans alınan standartlar

Basınca maruz kısım	Min. et kalınlığı ve hidrostatik test basıncı belirlemede kullanılan ilgili standart
Buhar jeneratörü dış gövdesi	EN12953
Buhar jeneratörü alt ve üst bombeleri	EN12953
Buhar dramı dış gövdesi	EN12952
Buhar dramı düz arka kapak	EN12953
Buhar dramı düz kapak Flanşı	EN12953
Ayrıştırma kalorimetresi dış haznesi	EN12952
Ayrıştırma kalorimetresi dış hazne alt ve üst kepleri	EN12953
Kısılma kalorimetresi gövdesi	EN12952
Kısılma kalorimetresi gövde alt ve üst kepleri	EN12953
Buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistans gövdesi	EN12952
Buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistans gövdesinin kepi	EN12953

### 3.3.1. Mukavemet hesaplarında kullanılan denklemler

Mukavemet ve gerekli min. et kalınlığıyla hidrostatik test basıncı hesaplamalarında hem içten hemde dıştan aynı basınca maruz a.k. iç haznesi ve seperatör hariç ekipmanların tamamı içten basınca maruz olup, EN12952 ve EN12953' te yer alan ilgili denklemler aşağıda verilmiştir. Hem içten hemde dıştan aynı basınca maruz ayrıştırma kalorimetresi iç haznesi için bu hesaplamalar gerek olmadığından gerçekleştirilmemiştir.

**EN12952 standardı için denklemler:** Bu standarda göre dram ve kollektörlerin minimum et kalınlığının belirlenmesinde Denklem 3.46 ve 3.47' deki denklemler kullanılır (Anonim 5, 2007).

$$e'_s = e_{cs} + c_1 + c_2 \quad (3.46)$$

$$e_{cs} = \frac{p_c \times d_{is}}{(2 \times f_s - p_c) \times u} \quad (3.47)$$

Burada;

$e'_s$ : Ana gövdenin gerekli et kalınlığı,

$e_{cs}$ : Ana gövdenin (silindirik veya küresel yada bombeli kapaklar) toleranssız gerekli et kalınlığı,

$c_1$ : Sipariş edilen anma et kalınlığı üzerindeki eksi toleransı,

$c_2$ : Metal atığı toleransı,

$p_c$ : Hesaplama basıncı,

$d_{is}$ : Toleranssız ana gövde iç çapı (silindirik gövde, küresel gövde veya bombeli kapak)

$f_s$ : Anma tasarım gerilmesi

$v$ : Kaynak faktörüdür.

Sipariş edilen anma et kalınlığı üzerindeki eksi toleransı ( $c_1$ ) ve metal atığı toleransı ( $c_2$ ) değerleri, ilgili malzemenin standardında tanımlanan değerler olup hesaplamalarda  $c_1 = 1$  mm ve  $c_2 = 0,85$  mm olarak dikkate alınmıştır. Anma tasarım gerilmesi ( $f_s$ )' nin bulunması için Denklem 3.48 ve 3.49 kullanılır. Her iki denklemle elde edilen anma tasarım gerilme değerlerinden daha düşük olan değer dikkate alınır.

$$f = \frac{R_{p0,2tc}}{1,5} \quad (3.48)$$

$$f = \frac{R_m}{2,4} \quad (3.49)$$

Burada;

$R_{p0,2tc}$ :  $t_c$  sıcaklığında ilgili malzeme sınıfının en küçük akma dayanımı,

$R_m$ : Oda sıcaklığında ilgili malzeme sınıfının en küçük çekme dayanımıdır.

EN12952 standardına göre hidrostatik test basıncı değeri, Denklem 3.50 ve 3.51' den hesaplanır (Anonim 5, 2007). Bu denklemler sonucu hesaplanan basınç değerlerinden hangisi daha büyükse ilgili ekipman bu basınç değerinde suyla test edilir.

$$p_t = 1,43 \times PS \quad (3.50)$$

$$p_t = 1,25 \times p_c \times \frac{R_{p0,220}}{K} \quad (3.51)$$

Burada;

$p_t$ : Hidrostatik deney basıncı,

PS: Müsaade edilebilir en yüksek basınç,

$R_{p0,220}$ : 20 °C' deki Mühendislik akma mukavemeti,

K:  $t_c$  sıcaklığında ilgili malzeme sınıfının en küçük akma dayanımı (%0,2 deneme dayanımı) – K değeri  $R_{p0,2tc}$  değeriyle aynı anlamı ifade etmektedir.

Eğer hesaplama yapılacak olan malzeme “EN10216-2: Çelik borular, Dikişsiz, Basınç Amaçları İçin” standardında yer alıyorsa  $R_m$  ve  $R_{p0,220}$  değerleri bu standartta



Eğer hesaplama yapılacak olan malzeme “EN10028-2: Çelik Yassı Mamuller - Basınç Amaçlı” standardında yer alıyorsa  $R_m$  ve  $R_{p0,220}$  değerleri bu standartta yer alan “Çizelge 3 – Mekanik özellikler (enine deney parçalarında uygulanabilir)’ den,  $R_{p0,2tc}$  değeri ise “Çizelge 4 – Yüksek sıcaklıklarda %<sub>0,2</sub> kalıcı akma dayanımı için asgari değerler” den elde edilir. İlgili standartta yer alan Çizelge 3, Şekil 3.37’ de ve Çizelge 4 ise Şekil 3.38’ de verilmiştir.

ICS 77.140.30; 77.140.50		TÜRK STANDARDI		TS EN 10028-2/Kasım 2005					
Çizelge 3 - Mekanik özellikler (enine deney parçalarında uygulanabilir) <sup>a</sup>									
Çelik tipi	Adı	Numarası	Alışıl-gelmiş teslim durumu <sup>b,c</sup>	Mamul Kalınlığı t mm	Oda sıcaklığında çekme özellikleri		Vurma Enerjisi KV J		
					Akma Dayanımı <sup>2)</sup> $R_{eH}$ MPa	Çekme Dayanımı $R_m$ MPa	Kopmada Uzama A %	En az	
							°C sıcaklık		
							-20	0	120
P235GH	1.0345	+ N <sup>d</sup>	≤ 16	235	360 - 480	24	27	34	40
			16 < t ≤ 40	225					
			40 < t ≤ 60	215					
			60 < t ≤ 100	200					
			100 < t ≤ 150	185					
150 < t ≤ 250	170	350 - 480	340 - 480						
P265GH	1.0425	+ N <sup>d</sup>	≤ 16	265	410 - 530	22	27	34	40
			16 < t ≤ 40	255					
			40 < t ≤ 60	245					
			60 < t ≤ 100	215					
			100 < t ≤ 150	200					
150 < t ≤ 250	185	400 - 530	390 - 530						
P295GH	1.0481	+ N <sup>d</sup>	≤ 16	295	460 - 580	21	27	34	40
			16 < t ≤ 40	290					
			40 < t ≤ 60	285					
			60 < t ≤ 100	260					
			100 < t ≤ 150	235					
150 < t ≤ 250	220	440 - 570	430 - 570						
P355GH	10473	+ N <sup>d</sup>	≤ 16	355	510 - 650	20	27	34	40
			16 < t ≤ 40	345					
			40 < t ≤ 60	335					
			60 < t ≤ 100	315					
			100 < t ≤ 150	295					
150 < t ≤ 250	280	490 - 630	480 - 630						
16Mo3	1.5415	+ N <sup>e</sup>	≤ 16	275	440 - 590	22	f	f	31
			16 < t ≤ 40	270					
			40 < t ≤ 60	260					
			60 < t ≤ 100	240					
			100 < t ≤ 150	220					
150 < t ≤ 250	210	430 - 560	420 - 570						
18Mnmo4-5	1.5414	+NT	≤ 16	345	510 - 650	20	27	34	40
		+QT	40 < t ≤ 60	310					
20MnMoNi4-5	1.6311	+ QT	≤ 40	470	590 - 750	18	27	34	40
			40 < t ≤ 60	460					
			60 < t ≤ 100	450					
			100 < t ≤ 150	440					
			150 < t ≤ 250	400					
15NiCuMoNb 5-6-4	1.6368	+NT veya +QT	≤ 40	460	610 - 780	16	27	34	40
			40 < t ≤ 60	440					
			60 < t ≤ 100	430					
			100 < t ≤ 150	420					
150 < t ≤ 200	220	590 - 740	580 - 740						

Şekil 3.37. EN10028-2 standardında  $R_m$  ve  $R_{p0,220}$  değerlerinin okunacağı Çizelge 3 (Anonim 1, 2005)





denklemlerle bu bölümdeki denklemler içerisinde ortak olarak bulunan parametrelerin tanımlamaları ve elde edilişleri, EN12952 standardı için denklemler bölümünde açıklandığı gibidir.

$$e_{sa} = e_{cs} + c_1 + c_2 \quad (3.52)$$

$$e_{cs} = \frac{p_c \times d_{is}}{(2 \times f_s - p_c) \times v} \quad (3.53)$$

Burada;

$e_{sa}$  : Ana gövdenin gerekli et kalınlığıdır.

EN12953 standardında desteksiz düz plakanın kalınlık hesabı için Denklem 3.54 ve 3.55' den yararlanır.

$$e'_{pa} = e_{ch} + c_1 + c_2 \quad (3.54)$$

$$e_{ch} = c_4 \times b \times y \times \sqrt{\frac{p_c}{f}} \quad (3.55)$$

Burada;

$e'_{pa}$ : Ana gövdenin gerekli et kalınlığı,

$e_{ch}$ : Ana gövdenin (düz plakalar için) toleranssız gerekli et kalınlığı,

$c_4$ : Sabit – EN12953-3 tablo 4' den 0,33 olarak kabul edilir,

$b$ : EN12953-3 bölüm 10.2' de belirtilen boyut,

$y$ : Sabit – EN12953- bölüm 10.2' den 1.15 olarak kabul edilir.

EN12953 standardında bombe baştaki (torisferik) kalınlık hesabı, Denklem 3.56 ve 3.57 yardımıyla yapılır.

$$e_s = e_{cs} + c_1 + c_2 \quad (3.56)$$

$$e_{cs} = \frac{p_c \times d_o \times C}{2 \times f} \quad (3.57)$$

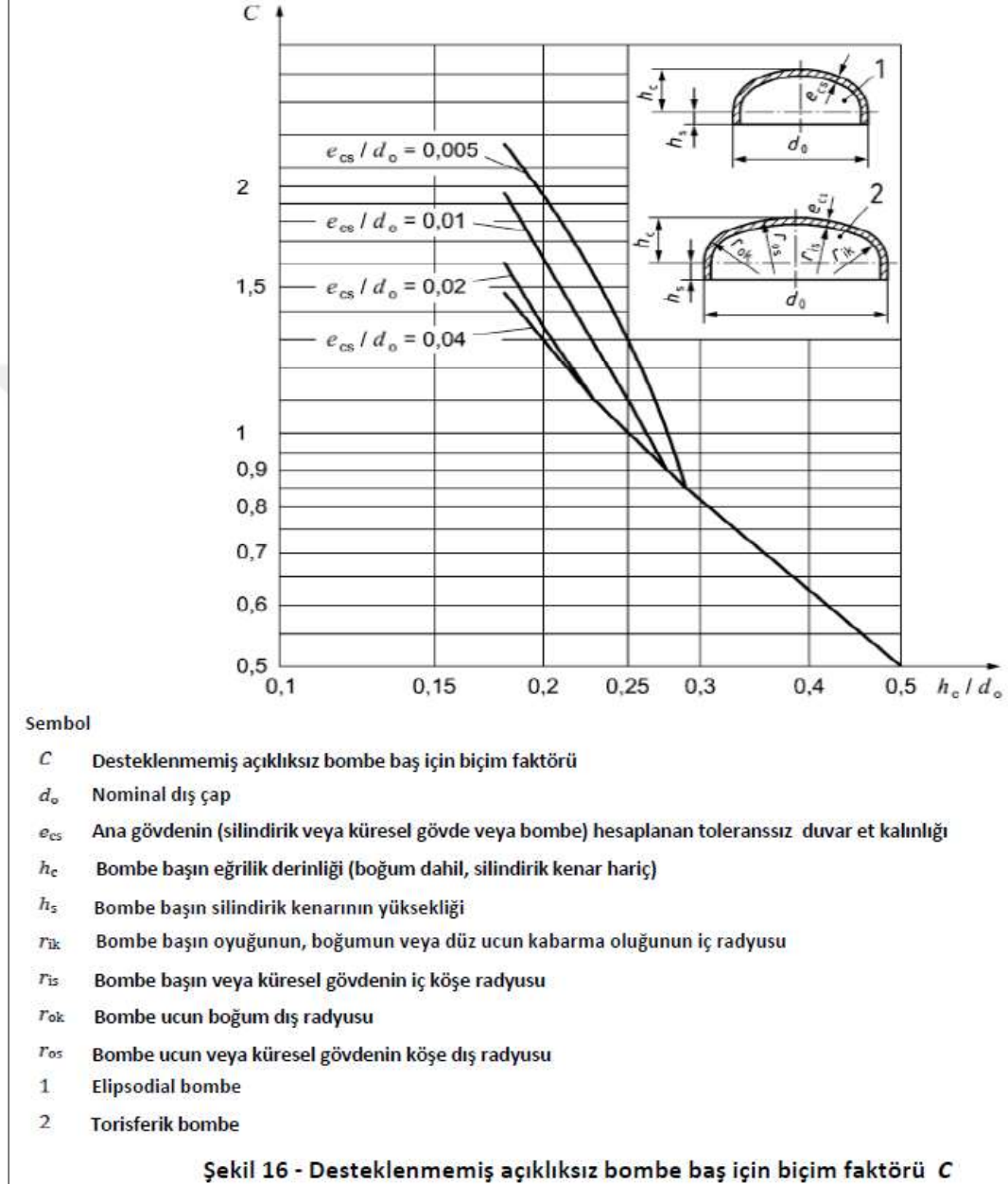
Burada;

$e_s$ : Ana gövdenin gerekli et kalınlığı,

$d_o$ : Nominal dış çap,

C: Biçim faktörüdür.

EN12953-3' deki Şekil 16' da yer alan ve biçim faktörünün bulunmasını sağlayan diyagram, Şekil 3.39' da verilmiştir.



Şekil 3.39. EN12953-3' deki biçim faktörünün bulunduğu şekil 16  
(Anonymous 1, 2016)

EN12953 standardına göre hidrostatik test basıncı değeri, Denklem 3.58 ve 3.59' dan hesaplanır. Bu denklemler sonucu hesaplanan basınç değerlerinden hangisi daha büyükse ilgili ekipman bu basınç değerinde suyla test edilir (Anonymous 8, 2016).

$$p_t = 1,43 \times p_d \quad (3.58)$$

$$p_t = 1,25 \times p_d \times \frac{R_{p0,220}}{R_{p0,2tc}} \quad (3.59)$$

Burada;

$p_d$ : Hesaplama basıncıdır.

Yukarda açıklanan denklemler baz alınarak test ünitesindeki basınca maruz kısımların denklemlerde yer alan parametre değerleri ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.15. (a) ve (b)' de verilmiştir.

Çizelge 3.15. (a) & (b) Mukavemet hesaplarında kullanılan parametrelerin değerleri

(a)

Basınca maruz kısım	$R_{p0,2tc}$ MPa	$R_m$ MPa	$f_s$ MPa	$\nu$ -	$p_c$ MPa	$b$ mm	$d_o$ mm	$d_{is}$ mm	$C$ -
Buhar jeneratörü dış gövdesi	270	510	180	0.85	1.15		-	400	-
Buhar jeneratörü alt ve üst bombeleri	270	510	180	0.85	1.15		420	-	1.6
Buhar dramı dış gövdesi	252	510	168	0.84	1.15		-	600	-
Buhar dramı düz arka kapak	247	510	164	-	1.15	600	-	-	-
Buhar dramı düz kapak Flanşı	247	510	164	-	1.15	600	-	-	-
Ayrıştırma kalorimetresi dış haznesi	150	360	100	0.85	1.15		-	201.5	-
Ayrıştırma kalorimetresi dış hazne alt ve üst kepleri	150	360	100	0.85	1.15		219,1	-	1.6
Kısılma kalorimetresi gövdesi	150	360	100	0.85	1.15		-	201.5	-
Kısılma kalorimetresi gövde alt ve üst kepleri	150	360	100	0.85	1.15		219.1	-	1.6
Buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistans gövdesi	150	360	100	0.85	1.15		-	52.5	-
Buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistans gövdesinin kepi	150	360	100	0.85	1.15		60.3	-	1.6

(b)

Basınca maruz kısım	$t_c$ °C	$e_{sa}$ mm	$e_s$ mm	$e'_s$ mm	$e'_{pa}$ mm	Malzeme	$p_t$ bar
Buhar jeneratörü dış gövdesi	190	8	-	-	-	P355GH	19.15
Buhar jeneratörü alt ve üst bombeleri	190	8	-	-	-	P355GH	19.15
Buhar dramı dış gövdesi	250	-	-	4.31	-	P355GH	22.52
Buhar dramı düz arka kapak	265	-	-	-	22	P355GH	19.15
Buhar dramı düz kapak Flanşı	265	-	-	-	22	P355GH	19.15
Ayrıştırma kalorimetresi dış haznesi	250	-	-	3.22	-	P235GH	22.52
Ayrıştırma kalorimetresi dış hazne alt ve üst kepleri	250	-	3.87	-	-	P235GH	22.52
Kısılma kalorimetresi gövdesi	250	-	-	3.22	-	P235GH	22.52
Kısılma kalorimetresi gövde alt ve üst kepleri	250	-	3.87	-	-	P235GH	22.52
Buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistans gövdesi	250	-	-	2.21	-	P235GH	22.52
Buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistans gövdesinin kepi	250	-	2.41	-	-	P235GH	22.52

Hesaplanan et kalınlıkları minimum gereken kalınlık olup, malzemelerin tedariginde piyasada kolay bulunabilirliği, fiyat ve EN12952-3' deki 7.1.1. a) maddesine göre “ $e_s$ - $c_1$ - $c_2$  6 mm' den küçük olamaz,  $e_s$ ' min. 8 mm olmalıdır.” ibaresinide göz önünde bulundurularak nihai olarak tedarik edilen ve test ünitesinin imalatında kullanılan parçaların et kalınlıkları ve malzeme kaliteleri Çizelge 3.16' da verilmiştir. Buhar dramının hidrostatik testi esnasında çekilmiş fotoğraf Şekil 3.40' daki gibidir.



Şekil 3.40. Buhar dramının hidrostatik testi

**Çizelge 3.16.** İmalatta kullanılan malzemelerin et kalınlıkları ve malzeme kaliteleri

Basınca maruz kısım	Et kalınlığı mm	İlgili Malzeme Standardı	Malzeme
Buhar jeneratörü dış gövdesi	10	EN10028-2	P355GH
Buhar jeneratörü alt ve üst bombeleri	10	EN10028-2	P355GH
Buhar dramı dış gövdesi	25	EN10028-2	P355GH
Buhar dramı düz arka kapak	25	EN10028-2	P355GH
Buhar dramı düz kapak Flanşı	25	EN10028-2	P355GH
Ayrıştırma kalorimetresi dış haznesi	8.8	EN10216-2	P235GH
Ayrıştırma kalorimetresi dış hazne alt ve üst kepleri	8.8	EN10216-2	P235GH
Kısılma kalorimetresi gövdesi	8.8	EN10216-2	P235GH
Kısılma kalorimetresi gövde alt ve üst kepleri	8.8	EN10216-2	P235GH
Buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistans gövdesi	3.9	EN10216-2	P235GH
Buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistans gövdesinin kepi	3.9	EN10216-2	P235GH

Ayrıştırma kalorimetresi ve kısılma kalorimetresi malzemelerinin imalat esnasında çekilmiş fotoğrafı Şekil 3.41’ de yer almaktadır.

**Şekil 3.41.** Ayrıştırma kalorimetresi ve kısılma kalorimetresinin imalat safhası

### 3.4. Diğer Sistem Bölümleri

Yukarda açıklanan sistem bölümlerinin yanı sıra, test ünitesinde yer alan diğer sistem bileşenleri aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.4.1. Taşıyıcı şase

Kalorimetre ve buhar dramının montajının yapıldığı muhtelif ölçülerdeki kutu profillerden imal edilmiş yardımcı sistem bileşenidir. Karbon çelikten üretilmiş bayrak ve destek lamalarıyla güçlendirilmiştir. Taşıyıcı şaseye ait görsel Şekil 3.42' de verilmiştir.



Şekil 3.42. Taşıyıcı şase tasarımı

#### 3.4.2. Servis ve yürüyüş platformu

Testler sırasında kalorimetreye ulaşım amacıyla sistemde yer almaktadır. Test operatörü bu platform üzerinden kalorimetre göstergesi seviyesi, kısılma vanasının açıklığının ayarlanması, seperatörlü ve seperatörsüz testler sırasındaki vana pozisyonları vb.

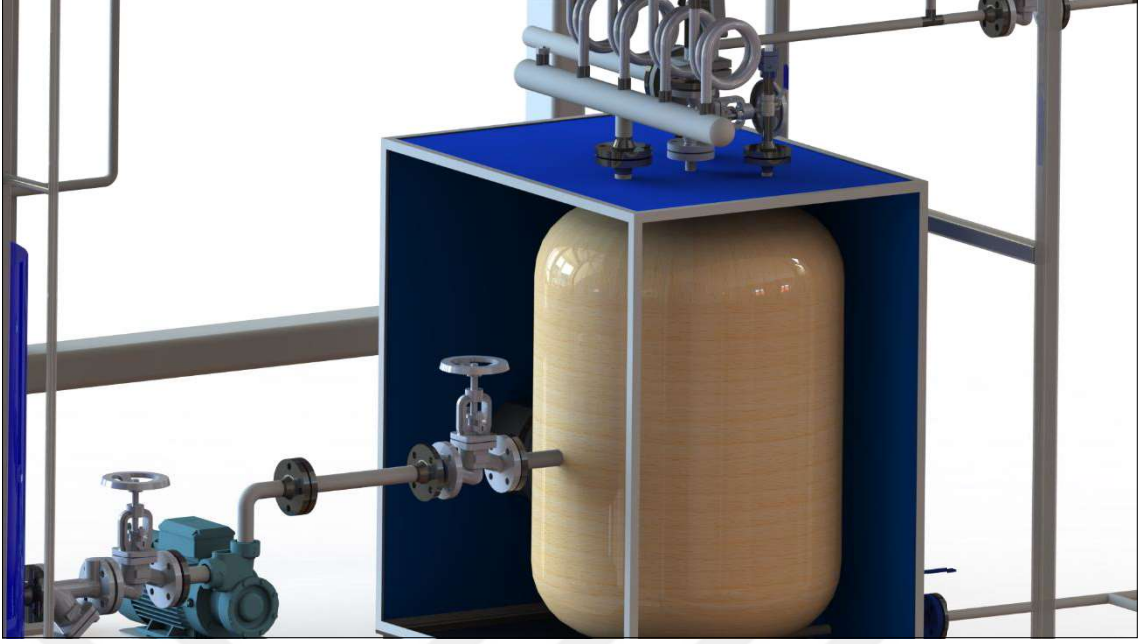
ayarlamaları rahatlıkla yapabilmektedir. Muhtelif boru ve kutu profillerden imal edilmiştir. Karbon çelikten üretilmiş bayrak ve destek lamalarıyla güçlendirilmiştir. Platformda zemin sacı olarak baklava dilimli sac kullanılmıştır. Servis ve yürüyüş platformuna ait görsel Şekil 3.43’ te verilmiştir.



Şekil 3.43. Servis ve yürüyüş platformunun tasarımı

### 3.4.3. İzolasyon ve kaplama sacı

Testler sırasında konveksiyonla ısı transferinin meydana getirebileceği ölçüm sonuçlarındaki hatayı engellemek için, tüm ana sistem bileşenleri yalıtılmıştır. Yalıtım uygulamasından önce, izolasyon malzemesinin ekipmana montajı için karbon çelik sacdan hazırlanmış montaj alt yapısı ekipmanlara uygulanmıştır. Daha sonra; 0,7 mm kalınlığında, PVC kaplı ve mavi renkli galvaniz sacla kaplanarak izolasyon malzemesinde zamanla oluşacak deformasyonlar engellenmiştir. Örnek bir sistem elemanı üzerinde izolasyon ve kaplama sacının görünümü Şekil 3.44’ deki gibidir. Alüminyum folyo kaplı hazır boru izolasyonu malzemesine ait görsel Şekil 3.45’ te verilmiştir.



Şekil 3.44. İzolasyon malzemesi ve kaplama sacı tasarımının görünümü



Şekil 3.45. Alüminyum folyo kaplı hazır boru izolasyonu  
(<http://www.izocam.com.tr/f63-camyunu-prefabrik-boru.html>)

Ana sistem elemanlarına uygulanan izolasyon malzemesi özellikleri ve yalıtım kalınlıkları Çizelge 3.17’ de verilmiştir.

Test ünitesinde kullanılan cam yünü; ergimis camın çeşitli yöntemlerle lif haline getirilmiş halidir. Hammaddesinin esasını silis kumu oluşturmaktadır. Cam yününün genel özellikleri aşağıdaki gibidir.



- Yoğunluk: 80 kg/m<sup>3</sup> tür.
- Kullanım sıcaklığı: +230 °C' ye kadardır.
- Isı iletim katsayısı: 50 °C ortalama sıcaklık için 0.045 W/mK' dir.

Test ünitesinde kullanılan diğer izolasyon malzemesi taş yünü ise; bazalt, kireç taşı, dolomit gibi mineralerden elde edilen lifli ısı yalıtım malzemeleridir. Taş yününün genel özellikleri de aşağıda verilmiştir.

- Yoğunluk: 100 kg/m<sup>3</sup> tür.
- Kullanım sıcaklığı: +800 °C' ye kadardır.
- Isı iletim katsayısı: 50 °C ortalama sıcaklık için 0.043 W/mK' dir (<http://www.izocam.com.tr/isi-yalitim-malzemeleri/>).

**Çizelge 3.17.** Ana sistem elemanlarına ait izolasyon malzemesi ve yalıtım kalınlıkları

İzolasyon ve Kaplama Uygulanan Bölüm	İzolasyon Malzemesi ve Yalıtım Kalınlığı
Buhar jeneratörü dış gövdesi	: 80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 100 mm kalınlığındaki taşıyünü
Ayırtırma kalorimetresi dış gövdesi	: 80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 100 mm kalınlığındaki taşıyünü
Kısılma kalorimetresi dış gövdesi	: 80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 100 mm kalınlığındaki taşıyünü
Buhar dramı dış gövdesi ve flanş yüzeyi	: 80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 100 mm kalınlığındaki taşıyünü
Buhar kızdırıcı dış gövdesi	: 80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 100 mm kalınlığındaki taşıyünü
Kondens tankı dış gövdesi	: 80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 50 mm kalınlığındaki taşıyünü
Buhar hattı boruları	: 80 kg/m <sup>3</sup> yoğunluklu, 50 mm kalınlığındaki Alüminyum folyo kaplı cam yünü, hazır boru izolasyonu

#### 3.4.4. Tesisat boruları ve flanşları

Tesisatta kullanılan içten basınca maruz buhar hattı boruları EN10216-2 P235GH –TC1 kalite çelik çekme boru standardında ve ½’’ ile 2’’ arasında değişen ölçülerdedir. Buhar hatlarında kullanılan boruların EN12953-3 standardındaki madde 12.2 gereği, içten basınca maruz düz boruların et kalınlığı Denklem 3.60 yardımıyla bulunur.

$$e_{ct} = \frac{p_c \times d_o}{2 \times f + p_c} \quad (3.60)$$

Burada;

$e_{ct}$ : Toleranssız et kalınlığıdır.

Buhar hattı boru çapları aralığına göre minimum gerekli boru et kalınlıklarının verildiği çaplar Çizelge 3.18’ de verilmiştir. Ayrıca EN12953-3 bölüm 12.1 tablo 7’ de verilen minimum et kalınlıklarının sınır değerleri, bulunan toleranssız et kalınlığı değerlerinin, min. sınır değerlerinden daha küçük olsa bile min. sınır kalınlıklarından daha düşük kalınlığa sahip boru kullanımının uygun olmadığını ifade etmektedir. Bu kalınlıklarda yine aynı çizelge de verilmiştir. Malzemelerin tedariginde piyasada kolay bulunabilirliği ve fiyat vb. parametrelerin de göz önünde bulundurulmasıyla test ünitesinde kullanılan buhar hattı borularının et kalınlıklarında aynı çizelgenin en sağındaki sütunda yer almaktadır.

**Çizelge 3.18.** Buhar tesisatında kullanılan boruların et kalınlıkları

Basınca maruz boru çapı	$R_{p0,2t}$ MPa	$R_m$ MPa	$f_s$ MPa	$t_c$ °C	$p_c$ MPa	$d_o$ mm	$e_{ct}$ mm	Min. sınır kalınlık mm	Et Kalınlığı
½’’	168	360	112	190	1.15	21.3	1.06	1.9	2.9
¾’’	168	360	112	190	1.15	26.9	1.09	1.9	2.9
1’’	168	360	112	190	1.15	33.7	1.12	2.2	3.6
1 ¼’’	168	360	112	190	1.15	42.4	1.17	2.2	3.6
1 ½’’	168	360	112	190	1.15	48.3	1.2	2.2	3.6
2’’	168	360	112	190	1.15	60.3	1.26	2.5	3.9

Test ünitesinde kullanılan flanşlı bağlantılar için, uygun flanş seçimi “EN1092-1: flanşlar ve bağlantıları” standardındaki; malzeme kodlarını gösteren Tablo 5A ve maksimum izin verilebilir basınç ve sıcaklık değerlerini gösteren Tablo15’ den yararlanılmıştır. İlgili standard tabloları Şekil 3.46 (a) ve (b)’ de verilmiştir.



### 3.5. Deney Tipleri ve Yapılış Prosedürleri

Seperatörün performans değerlendirmesi için test ünitesi üzerinde 10 farklı test basıncında buhar kuruluğu ölçüm testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerin gerçekleştirildiği basınçlar ve test kodları Çizelge 3.19’ da verilmiştir.

**Çizelge 3.19.** Gerçekleştirilen testlerin kodları ve basınç değerleri

Test Kodu	Test Basıncı (Mutlak) (bara)	Yerel Atmosferik Basınç (bar)	Test Basıncı (Gösterge) (barg)
Test 1	4,9040	0,904	4
Test 2	5,9040	0,904	5
Test 3	6,9040	0,904	6
Test 4	7,4040	0,904	6,5
Test 5	7,9040	0,904	7
Test 6	8,9040	0,904	8
Test 7	9,4040	0,904	8,5
Test 8	9,9040	0,904	9
Test 9	10,4040	0,904	9,5
Test 10	10,9040	0,904	10

10 adet test grubunun herbiri için, gerçekleştirme sırasına göre; “Doğrulama Testi, Seperatörsüz ve Seperatörlü Buhar Kuruluşu Ölçüm Testleri” olarak adlandırılan 3’ er adet test olmak üzere toplamda seperatör üzerinde 30 adet test yapılmıştır. Testlerin yapılış sırasında çekilen fotoğraflar Şekil 3.47’ de verilmiştir.



**Şekil 3.47.** Testlerin gerçekleştirilmesi sırasında çekilmiş fotoğraflar

Seperatörün performans değerlendirmesi için, her bir test basıncında gerçekleştirilen test tipleri ve test yapılış prosedürleri P&ID üzerindeki kod numaraları ve işaretlerin de yardımıyla aşağıda açıklanmıştır.

Doğrulama testi, seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçme testlerinin her birine başlamadan önce test ünitesindeki vana pozisyonlarının Çizelge 3.20’ de tanımlandığı şekilde olması sağlanmalıdır.

**Çizelge 3.20.** Doğrulama testi, seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri başlangıcındaki vana pozisyonları

P&ID Kodu	Vana Pozisyonu	P&ID Kodu	Vana Pozisyonu	P&ID Kodu	Vana Pozisyonu	P&ID Kodu	Vana Pozisyonu
E-1	Açık	E-20	Kapalı	E-56	Kapalı	E-59	Kapalı
E-2	Açık	E-19	Açık	E-58	Kapalı	E-65	Kapalı
E-3	Kapalı	E-16	Açık	E-32	Kapalı	E-69	Kapalı
E-4	Açık	E-24	Kapalı	E-38	Kapalı	E-72	Açık
E-5	Kapalı	E-29	Kapalı	E-39	Kapalı	E-73	Kapalı
E-8	Kapalı	E-41	Kapalı	E-46	Kapalı	E-75	Açık
E-10	Açık	E-42	Kapalı	E-48	Kapalı	E-78	Açık
E-13	Açık	E-45	Kapalı	E-54	Açık	E-79	Kapalı
E-21	Kapalı	E-55	Açık	E-57	Açık	E-81	Kapalı

### 3.5.1. Doğrulama testi

Seperatör performansının değerlendirmesi için testlere başlamadan önce kalorimetredeki kuruluk ölçümünü doğrulamak amacıyla gerçekleştirilen testtir. Doğrulama testi, buhar kızdırıcı da üretilen ve kuruluk derecesi bilinen kızgın buhar ( $x=1$ ) numunesinin kuruluk değerinin, kalorimetre tarafından doğru olarak ölçülmesi beklenir. Aksi halde test düzeneğindeki ölçüm sensörlerinin kalibrasyonunun gerekli olduğu sonucuna varılır ve kalibrasyonlar yapılarak test işlemine devam edilir. Doğrulama testi sonuçlarında kızgın buhar numunesinin kuruluk derecesinin 1’ den büyük olarak bulunması tanım olarak mümkün olmasada test prensiplerine göre mümkündür. Eğer kısılma vanasına giren numunenin fazı kızgın buharsa, kısılma işlemi sırasında basınç düşümüyle açığa çıkan enerji duyulur ısıya dönüşerek kızgın buharın kızgınlık derecesini artırır. Bunun sonucunda kısılma kalorimetresindeki buhar kuruluğu hesabıyla elde edilen kuruluk derecesi matematiksel olarak 1’ den büyük çıksada bu değer 1’ e eşit kabul edilir. Test sırasında buhar numunesinin izleyeceği akış yolu P&ID üzerinde A-C-D-H

harfleriyle gösterilen hatları sırasıyla takip edecek şekildedir. Doğrulama testi aşağıdaki prosedürde açıklanan işlem adımlarının sırayla uygulanmasıyla gerçekleştirilir.

#### Test Prosedürü

- Vanaların, test başlangıcında olması gereken pozisyonda olup olmadığı kontrol edilir ve gerekli düzenlemeler yapılır.
- Ayırıştırma kalorimetresi iç haznesindeki kondens, kalorimetre üzerindeki seviye göstergesinin (E-53) boşaltma vanasının (E-56) yardımıyla seviye çizelgesindeki su seviyesinin 0 mm' ye ulaşana kadar direnaj hattına tahliye edilir.
- Ayırıştırma kalorimetresi dış haznesinin içerisindeki olası birikmiş haldeki kondens, ayırıştırma kalorimetresi altında yer alan kondenslerin sıcak numune alma vanası (E-58) ve soğutulmuş numune tahliye vanası (E-59) üzerinden kondens tankına tahliye edilir.
- Kısılma kalorimetresi gövdesi içerisindeki olası birikmiş haldeki kondens, kısılma kalorimetresi altında yer alan kondenslerin sıcak numune alma vanası (E-69) ve soğutulmuş numune tahliye vanası (E-73) üzerinden kondens tankına tahliye edilir.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden buhar jeneratörünün basınç set değeri 2 barg olarak ayarlanır.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden pompa seçilir.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden atmosferik basınç değeri girilir.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden histerezis set değeri 0.1 bar olarak girilir.
- Kontrol panosu ana sayfası üzerinden start butonuna basılarak buhar jeneratöründe buhar üretimi gerçekleştirilir.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden kızdırıcı set değeri 150 °C olarak ayarlanır.
- Buhar jeneratörü çıkış vanası (E-24) yavaşça ve tamamen açılır.
- Buhar kızdırıcı giriş kesme vanası (E-29) yavaşça ve tamamen açılır.
- Buhar kızdırıcı giriş direnaj vanası (E-32) yavaşça ve tamamen açılır. 1-2 dakika kadar açık kaldıktan sonra tekrar kapatılır.
- Buhar kızdırıcı çıkış direnaj vanası (E-38) yavaşça ve tamamen açılır. 1-2 dakika kadar açık kaldıktan sonra tekrar kapatılır.
- Buhar kızdırıcı çıkış kesme vanası (E-38) yavaşça ve tamamen açılır.
- Buhar kızdırıcı çıkış kesme vanası (E-39) yavaşça ve tamamen açılır.

- Kalorimetre giriş manuel kesme vanası (E-46) yavaşça ve tamamen açılır.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden solenoid manuel butonuna basılarak test kontrol solenoid vanası (E-48) açılır. Bu ısıtma işlemi, kalorimetre ekipmanlarının test öncesinde ısı rejime girmelerini sağlamak ve numunenin temas ettiği cidar sıcaklıklarını test numunesinin sıcaklığında mümkün olduğunca yaklaştırarak ısı transferinin gerçekleşmesini engellemek amacıyla 20 dakika boyunca yapılır.
- Ekipmanların ısıtılması esnasında ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) sıcak numune alma vanası (E-58) yavaşça ve tamamen açılarak, numunenin soğutulmuş numune alma vanası (E-59) üzerinden kondens tankına tahliyesi sağlanır.
- Isıtma işleminin başlamasından 12 dakika sonra, ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) sıcak numune alma vanası (E-58) yavaşça ve  $\frac{1}{2}$  oranında kapatılır.
- Kısılma vanası (E-65) yavaşça ve tamamen açılır.
- Kısılma kalorimetresi kondenserinin (E-70) sıcak numune alma vanası (E-69) yavaşça ve tamamen açılarak, numunenin soğutulmuş numune alma vanası (E-73) üzerinden kondens tankına tahliyesi sağlanır.
- Isıtma işleminin başlamasından 20 dakika sonra kısılma vanası (E-65), vana çıkışında ölçülen basıncın 0.1 barg olana kadar kısılır.
- Ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) sıcak numune alma vanası (E-58) yavaşça ve tamamen kapatılır.
- Ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) soğutma suyu giriş vanası (E-57) yavaşça ve tamamen kapatılır.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden solenoid manuel butonuna basılarak test kontrol solenoid vanası (E-48) kapatılır.
- Ayrıştırma kalorimetresi seviye göstergesinin (E-53) üzerindeki seviye, seviye çizelgesi yardımıyla başlangıç su seviyesi mm cinsinden not edilir.

Yukardaki işlemler doğrulama testinin ön hazırlık aşamaları olup, solenoid vana butonuna basıldığında buhar kızdırıcı ısıtıcı rezistansı devreye girmemektedir. Ön hazırlık aşamasından sonra rezistansın devreye girerek doğrulama testinin yapılması için aşağıda sıralanan adımlarla teste devam edilmelidir.

- Kısılma kalorimetresi kondenserinin (E-70) soğutulmuş numune alma vanası (E-73) numuneyi tartım kabına tahliye edecek şekilde konumlandırılır ve boş tartım kabı vananın altına yerleştirilir.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden test start butonuna basılarak, doğrulama testi için gerçekleştirilecek kuruluk ölçme testi 15 dakika boyunca sürdürülür.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden test stop butonuna basılarak, doğrulama testi sonlandırılır.
- Ayırıştırma kalorimetresi seviye göstergesinin (E-53) üzerindeki seviye, seviye çizelgesi yardımıyla sonuç su seviyesi mm cinsinden not edilir.
- Göstergedeki başlangıç ve sonuç su seviyeleri arasındaki fark birbirinden çıkartılarak mm olarak hesaplanır.
- Göstergedeki su seviye farkı, kontrol panosu test sayfası üzerindeki göstergedeki seviye farkı bölümüne mm olarak girilir.
- Testler sırasında ayırıştırma kalorimetresi kondens miktarı kontrol panosu test sayfası üzerindeki ilgili bölüme 0 kg olarak girilmektedir. Bunun iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi, ayırıştırma kalorimetresi dış gövdesinde birekecek hacmin ihmal edilebilir miktarda kondens birikmesine neden olmasıdır ve testler sırasında bu önerme doğrulanmıştır. İkinci nedense, ayırıştırma kalorimetresi dış gövdesinde kondensin meydana gelmesi için gerekli soğuma, gerçekleştirilen ardışık kuruluk ölçüm testlerinden dolayı meydana gelmemekte ve kondens oluşmamaktadır. Bu butonun test sayfası üzerinde yer alması, test ünitesinde yapılabilecek farklı test çalışmalarının ardışık olarak yapılmaması durumunda prensip olarak bu değer gerekliliğidir.
- Tartım kabı içerisindeki numune miktarı hassas kantar yardımıyla ölçülür.
- Numunenin tartım sonucu, kontrol panosu test sayfası üzerinde yer alan kısılma kalorimetresi kondens miktarı bölümüne girilir.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinde yer alan sonuç tablosunda numunenin kuruluk derecesi hesaplanmış halde gösterilmektedir. Sonuç tablosundaki değerler kaydedilir.



### 3.5.2. Seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testi

Doğrulama testinden sonra, seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testi gerçekleştirilmektedir. Seperatör performansını değerlendirebilmek için buhar jeneratörü tarafından üretilen buhar numunesinin sahip olduğu referans kurulum derecesinin bilinmesi gerekmektedir. Başka bir deyişle seperatörün, ilgili test basıncındaki ıslak numunenin kuruluğuna ne kadar fayda sağladığını karşılaştırmamız için, numunenin buhar dramı ve dolayısıyla seperatör bypasslanarak buhar kuruluğu ölçümünün yapıldığı kurulum ölçüm testidir. Test sırasında buhar numunesinin izleyeceği akış yolu P&ID üzerinde A-B-F-G-H harfleriyle gösterilen hatları sırasıyla takip edecek şekildedir. Seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testi aşağıdaki prosedürde açıklanan işlem adımlarının sırayla uygulanmasıyla gerçekleştirilir.

#### Test Prosedürü

- Vanaların, test başlangıcında olması gereken pozisyonda olup olmadığı kontrol edilir ve gerekli düzenlemeler yapılır.
- Ayırıştırma kalorimetresi iç haznesindeki kondens, kalorimetre üzerindeki seviye göstergesinin (E-53) boşaltma vanasının (E-56) yardımıyla seviye çizelgesindeki su seviyesinin 0 mm' ye ulaşana kadar direnç hattına tahliye edilir.
- Kısılma kalorimetresi gövdesi içerisindeki olası birikmiş haldeki kondens, kısılma kalorimetresi altında yer alan kondenserin sıcak numune alma vanası (E-69) ve soğutulmuş numune tahliye vanası (E-73) üzerinden kondens tankına tahliye edilir.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden buhar jeneratörünün basınç set değeri testin gerçekleştirileceği ilgili test basıncına barg değeri girilecek şekilde ayarlanır.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden pompa seçilir.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden atmosferik basınç değeri girilir.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden histerezis set değeri 0.1 bar olarak girilir.
- Kontrol panosu ana sayfası üzerinden start butonuna basılarak buhar jeneratöründe buhar üretimi gerçekleştirilir.
- Buhar jeneratörü çıkış vanası (E-24) yavaşça ve tamamen açılır.
- Buhar giriş yönlendirme vanası 1 (E-81) yavaşça ve tamamen açılır.

- Buhar dramı bypass vanası (E-42) yavaşça ve tamamen açılır.
- Kalorimetre giriş manuel kesme vanası (E-46) yavaşça ve tamamen açılır.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden solenoid manuel butonuna basılarak test kontrol solenoid vanası (E-48) açılır. Bu ısıtma işlem, kalorimetre ekipmanlarının test öncesinde ısı rejime girmelerini sağlamak ve numunenin temas ettiği cidar sıcaklıklarını test numunesinin sıcaklığında mümkün olduğunca yaklaştırarak ısı transferinin gerçekleşmesini engellemek amacıyla 20 dakika boyunca yapılır.
- Ekipmanların ısıtılması esnasında ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) sıcak numune alma vanası (E-58) yavaşça ve tamamen açılarak, numunenin soğutulmuş numune alma vanası (E-59) üzerinden kondens tankına tahliyesi sağlanır.
- Isıtma işleminin başlamasından 12 dakika sonra, ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) sıcak numune alma vanası (E-58) yavaşça ve  $\frac{1}{2}$  oranında kapatılır.
- Kısılma vanası (E-65) yavaşça ve tamamen açılır.
- Kısılma kalorimetresi kondenserinin (E-70) sıcak numune alma vanası (E-69) yavaşça ve tamamen açılarak, numunenin soğutulmuş numune alma vanası (E-73) üzerinden kondens tankına tahliyesi sağlanır.
- Isıtma işleminin başlamasından 20 dakika sonra kısılma vanası (E-65), vana çıkışında ölçülen basıncın 0.1 barg olana kadar kısılr.
- Ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) sıcak numune alma vanası (E-58) yavaşça ve tamamen kapatılır.
- Ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) soğutma suyu giriş vanası (E-57) yavaşça ve tamamen kapatılır.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden solenoid manuel butonuna basılarak test kontrol solenoid vanası (E-48) kapatılır.
- Ayrıştırma kalorimetresi seviye göstergesinin (E-53) üzerindeki seviye, seviye çizelgesi yardımıyla başlangıç su seviyesi mm cinsinden not edilir.

Yukardaki işlemler, seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testinin ön hazırlık aşamaları olup, test sonuçlarının elde edilmesi için aşağıda sıralanan adımlarla teste devam edilmelidir.

- Kısılma kalorimetresi kondenserinin (E-70) soğutulmuş numune alma vanası (E-73) numuneyi tartım kabına tahliye edecek şekilde konumlandırılır ve boş tartım kabı vananın altına yerleştirilir.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden test start butonuna basılarak, seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testi için gerçekleştirilecek kurulum ölçme testi 15 dakika boyunca sürdürülür.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden test stop butonuna basılarak, seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testi sonlandırılır.
- Ayırıştırma kalorimetresi seviye göstergesinin (E-53) üzerindeki seviye, seviye çizelgesi yardımıyla sonuç su seviyesi mm cinsinden not edilir.
- Göstergedeki başlangıç ve sonuç su seviyeleri arasındaki fark birbirinden çıkartılarak mm olarak hesaplanır.
- Göstergedeki su seviye farkı, kontrol panosu test sayfası üzerindeki göstergedeki seviye farkı bölümüne mm olarak girilir.
- Testler sırasında ayırıştırma kalorimetresi kondens miktarı kontrol panosu test sayfası üzerindeki ilgili bölüme 0 kg olarak girilmektedir. Bunun iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi, ayırıştırma kalorimetresi dış gövdesinde birekecek hacmin ihmal edilebilir miktarda kondens birikmesine neden olmasıdır ve testler sırasında bu önerme doğrulanmıştır. İkinci nedense, ayırıştırma kalorimetresi dış gövdesinde kondensin meydana gelmesi için gerekli soğuma, gerçekleştirilen ardışık kurulum ölçüm testlerinden dolayı meydana gelmemekte ve kondens oluşmamaktadır. Bu butonun test sayfası üzerinde yer alması, test ünitesinde yapılabilecek farklı test çalışmalarının ardışık olarak yapılmaması durumunda prensip olarak bu değer gerekliliğidir.
- Tartım kabı içerisindeki numune miktarı hassas kantar yardımıyla ölçülür.
- Numunenin tartım sonucu, kontrol panosu test sayfası üzerinde yer alan kısılma kalorimetresi kondens miktarı bölümüne girilir.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinde yer alan sonuç tablosunda numunenin kurulum derecesi hesaplanmış halde gösterilmektedir. Sonuç tablosundaki değerler kaydedilir.

### 3.5.3. Seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi

Seperatörün ıslak buhar numunesinin kuruluğu üzerindeki etkisinin değerlendirilebilmesi için gerçekleştirilen buhar kuruluğu ölçüm testidir. Buhar jeneratöründe ilgili test basıncında üretilen ıslak buhar numunesi buhar dramı içerisindeki seperatörden geçerek sahip olduğu nem ayrıştırılır ve nispeten daha kuru olan numune, kuruluk değeri ölçülmek üzere kalorimetreye yönelir. Test sırasında buhar numunesinin izleyeceği akış yolu P&ID üzerinde A-B-E-G-H harfleriyle gösterilen hatları sırasıyla takip edecek şekildedir. Seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi aşağıdaki prosedürde açıklanan işlem adımlarının sırayla uygulanmasıyla gerçekleştirilir.

#### Test Prosedürü

- Vanaların, test başlangıcında olması gereken pozisyonda olup olmadığı kontrol edilir ve gerekli düzenlemeler yapılır.
- Buhar dramı içerisinde olası birikmiş haldeki kondens, kondensstop grubundaki bypass vanasıyla (E-79) kondens tankına tahliye edilir.
- Ayrıştırma kalorimetresi iç haznesindeki kondens, kalorimetre üzerindeki seviye göstergesinin (E-53) boşaltma vanasının (E-56) yardımıyla seviye çizelgesindeki su seviyesinin 0 mm' ye ulaşana kadar direnaj hattına tahliye edilir.
- Kısılma kalorimetresi gövdesi içerisindeki olası birikmiş haldeki kondens, kısılma kalorimetresi altında yer alan kondenserin sıcak numune alma vanası (E-69) ve soğutulmuş numune tahliye vanası (E-73) üzerinden kondens tankına tahliye edilir.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden buhar jeneratörünün basınç set değeri testin gerçekleştirileceği ilgili test basıncına barg değeri girilecek şekilde ayarlanır.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden pompa seçilir.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden atmosferik basınç değeri girilir.
- Kontrol panosu kullanıcı ayar sayfası üzerinden histerezis set değeri 0.1 bar olarak girilir.
- Kontrol panosu ana sayfası üzerinden start butonuna basılarak buhar jeneratöründe buhar üretimi gerçekleştirilir.
- Buhar jeneratörü çıkış vanası (E-24) yavaşça ve tamamen açılır.
- Buhar giriş yönlendirme vanası 1 (E-81) yavaşça ve tamamen açılır.

- Buhar giriş yönlendirme vanası 2 (E-41) yavaşça ve tamamen açılır.
- Buhar dramı üzerindeki buhar çıkış vanası (E-45) yavaşça ve tamamen açılır.
- Kalorimetre giriş manuel kesme vanası (E-46) yavaşça ve tamamen açılır.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden solenoid manuel butonuna basılarak test kontrol solenoid vanası (E-48) açılır. Bu ısıtma işlem, kalorimetre ekipmanlarının test öncesinde ısıl rejime girmelerini sağlamak ve numunenin temas ettiği cidar sıcaklıklarını test numunesinin sıcaklığında mümkün olduğunca yaklaştırarak ısı transferinin gerçekleşmesini engellemek amacıyla 20 dakika boyunca yapılır.
- Ekipmanların ısıtılması esnasında ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) sıcak numune alma vanası (E-58) yavaşça ve tamamen açılarak, numunenin soğutulmuş numune alma vanası (E-59) üzerinden kondens tankına tahliyesi sağlanır.
- Isıtma işleminin başlamasından 12 dakika sonra, ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) sıcak numune alma vanası (E-58) yavaşça ve  $\frac{1}{2}$  oranında kapatılır.
- Kısılma vanası (E-65) yavaşça ve tamamen açılır.
- Kısılma kalorimetresi kondenserinin (E-70) sıcak numune alma vanası (E-69) yavaşça ve tamamen açılarak, numunenin soğutulmuş numune alma vanası (E-73) üzerinden kondens tankına tahliyesi sağlanır.
- Isıtma işleminin başlamasından 20 dakika sonra kısılma vanası (E-65), vana çıkışında ölçülen basıncın 0.1 barg olana kadar kısılır.
- Ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) sıcak numune alma vanası (E-58) yavaşça ve tamamen kapatılır.
- Ayrıştırma kalorimetresi kondenserinin (E-60) soğutma suyu giriş vanası (E-57) yavaşça ve tamamen kapatılır.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden solenoid manuel butonuna basılarak test kontrol solenoid vanası (E-48) kapatılır.
- Ayrıştırma kalorimetresi seviye göstergesinin (E-53) üzerindeki seviye, seviye çizelgesi yardımıyla başlangıç su seviyesi mm cinsinden not edilir.
- Buhar dramı içerisinde olası birikmiş haldeki kondens, kondenstop grubundaki bypass vanasıyla (E-79) kondens tankına tekrar tahliye edilir.

Yukardaki işlemler, seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testinin ön hazırlık aşamaları olup, test sonuçlarının elde edilmesi için aşağıda sıralanan adımlarla teste devam edilmelidir.

- Kısılma kalorimetresi kondenserinin (E-70) soğutulmuş numune alma vanası (E-73) numuneyi tartım kabına tahliye edecek şekilde konumlandırılır ve boş tartım kabı vananın altına yerleştirilir.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden test start butonuna basılarak, seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi için gerçekleştirilecek kurulum ölçme testi 15 dakika boyunca sürdürülür.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinden test stop butonuna basılarak, seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonlandırılır.
- Ayırıştırma kalorimetresi seviye göstergesinin (E-53) üzerindeki seviye, seviye çizelgesi yardımıyla sonuç su seviyesi mm cinsinden not edilir.
- Göstergedeki başlangıç ve sonuç su seviyeleri arasındaki fark birbirinden çıkartılarak mm olarak hesaplanır.
- Göstergedeki su seviye farkı, kontrol panosu test sayfası üzerindeki göstergedeki seviye farkı bölümüne mm olarak girilir.
- Testler sırasında ayırıştırma kalorimetresi kondens miktarı kontrol panosu test sayfası üzerindeki ilgili bölüme 0 kg olarak girilmektedir. Bunun iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi, ayırıştırma kalorimetresi dış gövdesinde birikecek hacmin ihmal edilebilir miktarda kondens birikmesine neden olmasıdır ve testler sırasında bu önerme doğrulanmıştır. İkinci nedense, ayırıştırma kalorimetresi dış gövdesinde kondens meydana gelmesi için gerekli soğuma, gerçekleştirilen ardışık kurulum ölçüm testlerinden dolayı meydana gelmemekte ve kondens oluşmamaktadır. Bu butonun test sayfası üzerinde yer alması, test ünitesinde yapılabilecek farklı test çalışmalarının ardışık olarak yapılmaması durumunda prensip olarak bu değer gerekliliğidir.
- Tartım kabı içerisindeki numune miktarı hassas kantar yardımıyla ölçülür.
- Numunenin tartım sonucu, kontrol panosu test sayfası üzerinde yer alan kısılma kalorimetresi kondens miktarı bölümüne girilir.
- Kontrol panosu test sayfası üzerinde yer alan sonuç tablosunda numunenin kurulum derecesi hesaplanmış halde gösterilmektedir. Sonuç tablosundaki değerler kaydedilir.

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Test Sonuçları

Her bir test basıncı için yapılan, sırasıyla doğrulama testi, seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testlerinin sonuçları ve seperatörlü ve seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testleri için hesaplanan minumum kuruluk derecesi değerleri aşağıda verilmiştir.



#### 4.1.1. Test 1 sonuçları

Test 1, 4.9040 bara test basıncında gerçekleştirilen seperatör performans değerlendirme testidir. Doğrulama testi sonuçları Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Test 1 / doğrulama testi sonuçları

Doğrulama Testi 1 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar		
ÖLÇÜMLER		Test 1
Test (Kazan) Basıncı	$P_{test}$ (bara)	2.9040
Kızdırma Set Sıcaklığı	$T_{kız,set}$ (°C)	150.00
Test Süresi	$t_{test}$ (dk)	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	2.8930
2. Ölçüm Noktası	$P_2$ (bara)	2.8920
	$T_2$ (°C)	132.422
3. Ölçüm Noktası	$P_3$ (bara)	2.8940
	$T_3$ (°C)	150.111
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	2.8440
	$T_4$ (°C)	150.091
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	2.7840
	$T_5$ (°C)	147.881
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	550.108
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2170.820
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2720.930
	$P_6$ (bara)	1.0040
	$T_{doy,6}$ (°C)	99.7176
	$T_{kız,6}$ (°C)	152.1
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61
	$C_{pkız,6}$ (kJ/kgK)	1.98365
A.K. Kondens Miktarları	$h_{kız6}$ (kJ/kg)	2778.570
	$m_{gösterge,A.K.}$ (kg)	0.0114
K.K. Kondens Miktarları	$m_{kondenser,A.K.}$ (kg)	0.0000
	$m_{kondenser,K.K.}$ (kg)	7.5749
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{bn}$ (kg)	7.5863
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{bn}$ (kg/h)	30.3452
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9985
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	1.0266
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	1.0250
Kızdırma Derecesi	$\Delta T_{kız,6 - doy,6}$ (°C)	52.4



Test 2 test basıncındaki seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi için sonuçlar Çizelge 4.2' de yer almaktadır. İlgili test basıncında gerçekleştirilen seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sonucunda elde edilmiş kuruluk derecesi değerlerinin, +5°C kuralına göre kıyaslamasının yapılabilmesi için hesaplanan minimum kuruluk derecesi değerleri de Çizelge 4.3' deki gibidir.

**Çizelge 4.2.** Test 1 / Seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçları

Test 1 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar			
ÖLÇÜMLER		Sep.' süz	Sep.' lü
Test (Kazan) Basıncı	$P_{test}$ (bara)	4.9040	4.9040
Seperatör Tip	Sep. ....	-	A
Test Süresi	$t_{test}$ (dk)	15.000	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	4.8930	4.8930
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	4.4330	4.1930
	$T_4$ (°C)	148.872	146.836
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	4.3630	4.1230
	$T_5$ (°C)	148.327	146.264
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	617.729	608.851
	$h_{fg5}$ (kJ/kg)	2123.750	2130.070
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2741.749	2738.920
	$P_6$ (bara)	1.0040	1.0040
	$T_{doy,6}$ (°C)	99.7176	99.7176
	$T_{kız,6}$ (°C)	104.8	105.7
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61	2674.61
A.K. Kondens Miktarları	$C_{pkız,6}$ (kJ/kgK)	2.05826	2.05518
	$h_{kız,6}$ (kJ/kg)	2685.071	2686.905
K.K. Kondens Miktarları	$m_{gösterge,A.K.}$ (kg)	0.5330	0.3510
	$m_{kondenser,A.K.}$ (kg)	0.0000	0,0000
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{kondenser,K.K.}$ (kg)	7.1020	5,4420
Buhar Numunesi Debisi	$m_{bn}$ (kg)	7.6350	5.7930
A.K. Kuruluk Derecesi	$\dot{m}_{bn}$ (kg/h)	30.5400	23.1720
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9302	0.9394
Num. Kuruluk Derecesi	$x_2$	0.9734	0.9756
Seperatör Verimi	$x_n$	0.9055	0.9165
	$\eta_{sep}$ (%)	11.62	

**Çizelge 4.3.** Test 1 / Hesaplanan minimum kuruluk derecesi

		Sep.' süz	Sep.' lü
Test 1 / Minimum Kuruluk Derecesi	Min. $T_{kız,6}$	104.7176	104.7176
	Min. $h_{kız,6}$	2684.9013	2684.8859
	$x_{2,min}$	0.9734	0.9746
$0 \leq x_2 - x_{2,min}$ şartı sağlanmaktadır.	$x_2 - x_{2,min}$	0.0001	0.0009

#### 4.1.2. Test 2 sonuçları

Test 2, 5.9040 bara test basıncında gerçekleştirilen seperatör performans değerlendirme testidir. Doğrulama testi sonuçları Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Test 2 / doğrulama testi sonuçları

Doğrulama Testi 2 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar		
ÖLÇÜMLER		Test 2
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	2.9040
Kızdırma Set Sıcaklığı	$T_{\text{kız,set}}$ (°C)	150.00
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	2.8940
2. Ölçüm Noktası	$P_2$ (bara)	2.8930
	$T_2$ (°C)	132.432
3. Ölçüm Noktası	$P_3$ (bara)	2.8950
	$T_3$ (°C)	150.031
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	2.8450
	$T_4$ (°C)	150.011
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	2.7850
	$T_5$ (°C)	147.781
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	550.159
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2170.790
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2720.950
	$P_6$ (bara)	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	152.0
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61
	$C_{p\text{kız},6}$ (kJ/kgK)	1.98372
A.K. Kondens Miktarları	$h_{\text{kız}6}$ (kJ/kg)	2778.385
	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.0091
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000
	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.4140
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.4231
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	29.6925
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9988
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	1.0265
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	1.0252
Kızdırma Derecesi	$\Delta T_{\text{kız},6 - \text{doy},6}$ (°C)	52.3

Test 2 test basıncındaki seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi için sonuçlar Çizelge 4.5' de yer almaktadır. İlgili test basıncında gerçekleştirilen seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sonucunda elde edilmiş kuruluk derecesi değerlerinin, +5 °C kuralına göre kıyaslamasının yapılabilmesi için hesaplanan minimum kuruluk derecesi değerleri de Çizelge 4.6' daki gibidir.

**Çizelge 4.5.** Test 2 / Seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçları

Test 2 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar			
ÖLÇÜMLER		Sep.' süz	Sep.' lü
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	5.9040	5.9040
Seperatör Tip	Sep. ....	-	A
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	5.8930	5.8930
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	5.4330	5.1930
	$T_4$ (°C)	156.507	154.784
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	5.3630	5.1230
	$T_5$ (°C)	156.051	154.310
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	651.069	643.539
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2099.640	2105.140
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2750.710	2748.680
	$P_6$ (bara)	1.0040	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	106.1	107.2
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	2.05385	2.05033
A.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.4980	0.3190
	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000	0.0000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.1390	5.4650
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.6370	5.7840
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.5480	23.1360
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9348	0.9448
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	0.9700	0.9721
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	0.9067	0.9185
Seperatör Verimi	$\eta_{\text{sep}}$ (%)	12.59	

**Çizelge 4.6.** Test 2 / Hesaplanan minimum kuruluk derecesi

		Sep.' süz	Sep.' lü
Test 2 / Minimum Kuruluk Derecesi	Min. $T_{\text{kız},6}$	104.7176	104.7176
	Min. $h_{\text{kız},6}$	2684.87925	2684.86165
	$x_{2,\text{min}}$	0.9686	0.9697
$0 \leq x_2 - x_{2,\text{min}}$ şartı sağlanmaktadır.	$x_2 - x_{2,\text{min}}$	0.0014	0.0024

### 4.1.3. Test 3 sonuçları

Test 3, 6.9040 bara test basıncında gerçekleştirilen seperatör performans değerlendirme testidir. Doğrulama testi sonuçları Çizelge 4.7' de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Test 3 / doğrulama testi sonuçları

Doğrulama Testi 3 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar		
ÖLÇÜMLER		Test 3
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	2.9040
Kızdırma Set Sıcaklığı	$T_{\text{kız,set}}$ (°C)	150.00
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	2.8930
2. Ölçüm Noktası	$P_2$ (bara)	2.8920
	$T_2$ (°C)	132.422
3. Ölçüm Noktası	$P_3$ (bara)	2.8940
	$T_3$ (°C)	150.141
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	2.8440
	$T_4$ (°C)	150.121
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	2.7840
	$T_5$ (°C)	147.921
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	550.108
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2170.820
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2720.930
	$P_6$ (bara)	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	152.0
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	1.98372
A.K. Kondens Miktarları	$h_{\text{kız},6}$ (kJ/kg)	2778.365
	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.0095
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000
	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.6800
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.6895
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.7578
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9988
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	1.0265
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	1.0252
Kızdırma Derecesi	$\Delta T_{\text{kız},6 - \text{doy},6}$ (°C)	52.3

Test 3 test basıncındaki seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi için sonuçlar Çizelge 4.8’ de yer almaktadır. İlgili test basıncında gerçekleştirilen seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sonucunda elde edilmiş kuruluk derecesi değerlerinin, +5 °C kuralına göre kıyaslamasının yapılabilmesi için hesaplanan minimum kuruluk derecesi değerleri de Çizelge 4.9’ daki gibidir.

**Çizelge 4.8.** Test 3 / Seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçları

Test 3 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar			
ÖLÇÜMLER		Sep.' süz	Sep.' lü
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	6.9040	6.9040
Seperatör Tip	Sep. ....	-	A
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	6.8930	6.8930
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	6.4330	6.1930
	$T_4$ (°C)	163.090	161.589
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	6.3650	6.1250
	$T_5$ (°C)	162.721	161.207
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	679.952	673.372
	$h_{fg5}$ (kJ/kg)	2078.230	2083.150
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2758.190	2756.530
6. Ölçüm Noktası	$P_6$ (bara)	1.0040	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	106.9	108.2
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	2.05127	2.04729
	$h_{\text{kız},6}$ (kJ/kg)	2689.343	2691.976
A.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.4410	0.2710
	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000	0.0000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.2270	5.5440
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.6680	5.8150
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.6720	23.2600
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9425	0.9534
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	0.9669	0.9690
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	0.9113	0.9239
Seperatör Verimi	$\eta_{\text{sep}}$ (%)	14.18	

**Çizelge 4.9.** Test 3 / Hesaplanan minimum kuruluk derecesi

		Sep.' süz	Sep.' lü
Test 3 / Minimum Kuruluk Derecesi	Min. $T_{\text{kız},6}$	104.7176	104.7176
	Min. $h_{\text{kız},6}$	2684.86635	2684.84645
	$x_{2,\text{min}}$	0.9647	0.9656
$0 \leq x_2 - x_{2,\text{min}}$ şartı sağlanmaktadır.	$x_2 - x_{2,\text{min}}$	0.0022	0.0034

#### 4.1.4. Test 4 sonuçları

Test 4, 7.4040 bara test basıncında gerçekleştirilen seperatör performans değerlendirme testidir. Doğrulama testi sonuçları Çizelge 4.10' da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Test 4 / doğrulama testi sonuçları

Doğrulama Testi 4 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar		
ÖLÇÜMLER		Test 4
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	2.9040
Kızdırma Set Sıcaklığı	$T_{\text{kız,set}}$ (°C)	150.00
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	2.8920
2. Ölçüm Noktası	$P_2$ (bara)	2.8910
	$T_2$ (°C)	132.421
3. Ölçüm Noktası	$P_3$ (bara)	2.8930
	$T_3$ (°C)	150.021
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	2.8430
	$T_4$ (°C)	150.001
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	2.7810
	$T_5$ (°C)	147.901
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	549.953
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2170.930
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2720.880
	$P_6$ (bara)	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	152.1
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	1.98366
A.K. Kondens Miktarları	$h_{\text{kız},6}$ (kJ/kg)	2778.610
	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.0000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000
	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.6110
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.6110
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.4440
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	1.0000
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	1.0266
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	1.0266
Kızdırma Derecesi	$\Delta T_{\text{kız},6 - \text{doy},6}$ (°C)	52.4

Test 4 test basıncındaki seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi için sonuçlar Çizelge 4.11' de yer almaktadır. İlgili test basıncında gerçekleştirilen seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sonucunda elde edilmiş kuruluk derecesi değerlerinin, +5 °C kuralına göre kıyaslamasının yapılabilmesi için hesaplanan minimum kuruluk derecesi değerleri de Çizelge 4.12' deki gibidir.

**Çizelge 4.11.** Test 4 / Seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçları

Test 4 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar			
ÖLÇÜMLER		Sep.' süz	Sep.' lü
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	7.4040	7.4040
Seperatör Tip	Sep. ....	-	A
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	7.3930	7.3930
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	6.9480	6.7080
	$T_4$ (°C)	166.167	164.756
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	6.8800	6.6400
	$T_5$ (°C)	165.821	164.399
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	693.455	687.262
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2068.050	2072.740
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2761.510	2760.000
	$P_6$ (bara)	1.0040	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	107.2	108.7
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	2.05033	2.04583
A.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.4150	0.2530
	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000	0.0000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.2140	5.6610
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.6290	5.9140
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.5160	23.6560
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9456	0.9572
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	0.9654	0.9677
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	0.9129	0.9263
Seperatör Verimi	$\eta_{\text{sep}}$ (%)	15.37	

**Çizelge 4.12.** Test 4 / Hesaplanan minimum kuruluk derecesi

		Sep.' süz	Sep.' lü
Test 4 / Minimum Kuruluk Derecesi	Min. $T_{\text{kız},6}$	104.7176	104.7176
	Min. $h_{\text{kız},6}$	2684.86165	2684.83915
	$x_{2,\text{min}}$	0.9629	0.9637
$0 \leq x_2 - x_{2,\text{min}}$ şartı sağlanmaktadır.	$x_2 - x_{2,\text{min}}$	0.0025	0.0039

#### 4.1.5. Test 5 sonuçları

Test 5, 7.9040 bara test basıncında gerçekleştirilen seperatör performans değerlendirme testidir. Doğrulama testi sonuçları Çizelge 4.13' da verilmiştir.

Çizelge 4.13. Test 5 / doğrulama testi sonuçları

Doğrulama Testi 5 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar		
ÖLÇÜMLER		Test 5
Test (Kazan) Basıncı	$P_{test}$ (bara)	2.9040
Kızdırma Set Sıcaklığı	$T_{kız,set}$ (°C)	150.00
Test Süresi	$t_{test}$ (dk)	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	2.8940
2. Ölçüm Noktası	$P_2$ (bara)	2.8930
	$T_2$ (°C)	132.442
3. Ölçüm Noktası	$P_3$ (bara)	2.8950
	$T_3$ (°C)	150.010
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	2.8450
	$T_4$ (°C)	149.99
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	2.7860
	$T_5$ (°C)	147.770
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	550.211
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2170.750
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2720.970
	$P_6$ (bara)	1.0040
	$T_{doy,6}$ (°C)	99.7176
	$T_{kız,6}$ (°C)	151.9
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61
	$C_{pkız,6}$ (kJ/kgK)	1.98378
A.K. Kondens Miktarları	$h_{kız,6}$ (kJ/kg)	2778.168
	$m_{gösterge,A.K.}$ (kg)	0.0114
K.K. Kondens Miktarları	$m_{kondenser,A.K.}$ (kg)	0.0000
	$m_{kondenser,K.K.}$ (kg)	7.4800
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{bn}$ (kg)	7.4914
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{bn}$ (kg/h)	29.9656
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9985
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	1.0264
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	1.0248
Kızdırma Derecesi	$\Delta T_{kız,6 - doy,6}$ (°C)	52.2



Test 5 test basıncındaki seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi için sonuçlar Çizelge 4.14' de yer almaktadır. İlgili test basıncında gerçekleştirilen seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sonucunda elde edilmiş kuruluk derecesi değerlerinin, +5 °C kuralına göre kıyaslamasının yapılabilmesi için hesaplanan minimum kuruluk derecesi değerleri de Çizelge 4.15' deki gibidir.

**Çizelge 4.14.** Test 5 / Seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçları

Test 5 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar			
ÖLÇÜMLER		Sep.' süz	Sep.' lü
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	7.9040	7.9040
Seperatör Tip	Sep. ....	-	A
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	7.8930	7.8930
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	7.4430	7.2030
	$T_4$ (°C)	168.958	167.624
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	7.3750	7.1350
	$T_5$ (°C)	168.633	167.289
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	705.725	699.857
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2058.710	2063.190
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2764.430	2763.050
	$P_6$ (bara)	1.0040	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	107.6	109.4
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	2.0491	2.04382
A.K. Kondens Miktarları	$h_{\text{kız},6}$ (kJ/kg)	2690.762	2694.399
	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.3550	0.2180
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000	0.0000
	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.2930	5.9410
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.6480	6.1590
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.5920	24.6360
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9536	0.9646
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	0.9642	0.9667
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	0.9195	0.9325
Seperatör Verimi	$\eta_{\text{sep}}$ (%)	16.21	

**Çizelge 4.15.** Test 5 / Hesaplanan minimum kuruluk derecesi

		Sep.' süz	Sep.' lü
Test 5 / Minimum Kuruluk Derecesi	Min. $T_{\text{kız},6}$	104.7176	104.7176
	Min. $h_{\text{kız},6}$	2684.8555	2684.8291
	$x_{2,\text{min}}$	0.9613	0.9621
$0 \leq x_2 - x_{2,\text{min}}$ şartı sağlanmaktadır.	$x_2 - x_{2,\text{min}}$	0.0029	0.0046

#### 4.1.6. Test 6 sonuçları

Test 6, 8.9040 bara test basıncında gerçekleştirilen seperatör performans değerlendirme testidir. Doğrulama testi sonuçları Çizelge 4.16' da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Test 6 / doğrulama testi sonuçları

Doğrulama Testi 6 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar		
ÖLÇÜMLER		Test 6
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	2.9040
Kızdırma Set Sıcaklığı	$T_{\text{kız,set}}$ (°C)	150.00
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	2.8930
2. Ölçüm Noktası	$P_2$ (bara)	2.8920
	$T_2$ (°C)	132.417
3. Ölçüm Noktası	$P_3$ (bara)	2.8940
	$T_3$ (°C)	150.354
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	2.8440
	$T_4$ (°C)	150.334
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	2.7850
	$T_5$ (°C)	148.124
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	550.159
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2170.790
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2720.950
	$P_6$ (bara)	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	152.3
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	1.98355
A.K. Kondens Miktarları	$h_{\text{kız},6}$ (kJ/kg)	2778.957
	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.0000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000
	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.5940
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.5940
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.3760
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	1.0000
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	1.0267
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	1.0267
Kızdırma Derecesi	$\Delta T_{\text{kız},6 - \text{doy},6}$ (°C)	52.6

Test 6 test basıncındaki seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi için sonuçlar Çizelge 4.17' de yer almaktadır. İlgili test basıncında gerçekleştirilen seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sonucunda elde edilmiş kuruluk derecesi değerlerinin, +5 °C kuralına göre kıyaslamasının yapılabilmesi için hesaplanan minimum kuruluk derecesi değerleri de Çizelge 4.18' deki gibidir.

**Çizelge 4.17.** Test 6 / Seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçları

Test 6 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar			
ÖLÇÜMLER		Sep.' süz	Sep.' lü
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	8.9040	8.9040
Seperatör Tip	Sep. ....	-	A
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	8.8930	8.8930
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	8.4330	8.1930
	$T_4$ (°C)	174.125	172.918
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	8.3648	8.1248
	$T_5$ (°C)	173.835	172.621
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	728.493	723.173
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2041.110	2045.250
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2769.600	2768.420
	$P_6$ (bara)	1.0040	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	108.8	110.1
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	2.04554	2.04188
A.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.3320	0.2090
	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000	0.0000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.3310	6.4680
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.6630	6.6770
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.6520	26.7080
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9567	0.9687
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	0.9626	0.9645
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	0.9209	0.9343
Seperatör Verimi	$\eta_{\text{sep}}$ (%)	16.99	

**Çizelge 4.18.** Test 6 / Hesaplanan minimum kuruluk derecesi

		Sep.' süz	Sep.' lü
Test 6 / Minimum Kuruluk Derecesi	Min. $T_{\text{kız},6}$	104.7176	104,7176
	Min. $h_{\text{kız},6}$	2684.8377	2684,8194
	$x_{2,\text{min}}$	0.9585	0.9591
$0 \leq x_2 - x_{2,\text{min}}$ şartı sağlanmaktadır.	$x_2 - x_{2,\text{min}}$	0.0041	0.0054

#### 4.1.7. Test 7 sonuçları

Test 7, 9.4040 bara test basıncında gerçekleştirilen seperatör performans değerlendirme testidir. Doğrulama testi sonuçları Çizelge 4.19' da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Test 7 / doğrulama testi sonuçları

Doğrulama Testi 7 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar		
ÖLÇÜMLER		Test 7
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	2.9040
Kızdırma Set Sıcaklığı	$T_{\text{kız,set}}$ (°C)	150.00
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	2.8930
2. Ölçüm Noktası	$P_2$ (bara)	2.8920
	$T_2$ (°C)	132.422
3. Ölçüm Noktası	$P_3$ (bara)	2.8940
	$T_3$ (°C)	150.53
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	2.8440
	$T_4$ (°C)	150.51
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	2.7840
	$T_5$ (°C)	148.310
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	550.108
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2170.820
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2720.930
	$P_6$ (bara)	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	152.1
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	1.98366
A.K. Kondens Miktarları	$h_{\text{kız},6}$ (kJ/kg)	2778.539
	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.0000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000
	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.5030
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.5030
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.120
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	1.0000
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	1.0265
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	1.0265
Kızdırma Derecesi	$\Delta T_{\text{kız},6 - \text{doy},6}$ (°C)	52.4

Test 7 test basıncındaki seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi için sonuçlar Çizelge 4.20' de yer almaktadır. İlgili test basıncında gerçekleştirilen seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sonucunda elde edilmiş kuruluk derecesi değerlerinin, +5 °C kuralına göre kıyaslamasının yapılabilmesi için hesaplanan minimum kuruluk derecesi değerleri de Çizelge 4.21' deki gibidir.

**Çizelge 4.20.** Test 7 / Seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçları

Test 7 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar			
ÖLÇÜMLER		Sep.' süz	Sep.' lü
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	9.4040	9.4040
Seperatör Tip	Sep. ....	-	A
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	9.3930	9.3930
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	8.9430	8.7030
	$T_4$ (°C)	176.602	175.450
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	8.8750	8.350
	$T_5$ (°C)	176.329	175.171
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	739.441	734.352
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2032.530	2036.530
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2771.970	2770.880
	$P_6$ (bara)	1.0040	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	109.2	110.7
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	2.04439	2.04027
A.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.3010	0.1910
	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000	0.0000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.3300	6.6680
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.6310	6.8590
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.5240	27.4360
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9606	0.9722
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	0.9616	0.9637
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	0.9237	0.9369
Seperatör Verimi	$\eta_{\text{sep}}$ (%)	17.29	

**Çizelge 4.21.** Test 7 / Hesaplanan minimum kuruluk derecesi

		Sep.' süz	Sep.' lü
Test 7 / Minimum Kuruluk Derecesi	Min. $T_{\text{kız},6}$	104.7176	104.7176
	Min. $h_{\text{kız},6}$	2684.83195	2684.81135
	$x_{2,\text{min}}$	0.9571	0.9577
$0 \leq x_2 - x_{2,\text{min}}$ şartı sağlanmaktadır.	$x_2 - x_{2,\text{min}}$	0.0045	0.0060

#### 4.1.8. Test 8 sonuçları

Test 8, 9.9040 bara test basıncında gerçekleştirilen seperatör performans değerlendirme testidir. Doğrulama testi sonuçları Çizelge 4.22’ da verilmiştir.

Çizelge 4.22. Test 8 / doğrulama testi sonuçları

Doğrulama Testi 8 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar		
ÖLÇÜMLER		Test 8
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	2.9040
Kızdırma Set Sıcaklığı	$T_{\text{kız,set}}$ (°C)	150.00
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	2.8930
2. Ölçüm Noktası	$P_2$ (bara)	2.8920
	$T_2$ (°C)	132.422
3. Ölçüm Noktası	$P_3$ (bara)	2.8940
	$T_3$ (°C)	150.111
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	2.8440
	$T_4$ (°C)	150.091
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	2.7840
	$T_5$ (°C)	147.881
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	550.108
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2170.820
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2720.930
	$P_6$ (bara)	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	151.9
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	1.98378
A.K. Kondens Miktarları	$h_{\text{kız},6}$ (kJ/kg)	2778.091
	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.0000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000
	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.6350
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.6350
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.5400
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	1.0000
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	1.0263
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	1.0263
Kızdırma Derecesi	$\Delta T_{\text{kız},6 - \text{doy},6}$ (°C)	52.2

Test 8 test basıncındaki seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi için sonuçlar Çizelge 4.23' de yer almaktadır. İlgili test basıncında gerçekleştirilen seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sonucunda elde edilmiş kuruluk derecesi değerlerinin, +5 °C kuralına göre kıyaslamasının yapılabilmesi için hesaplanan minimum kuruluk derecesi değerleri de Çizelge 4.24' deki gibidir.

**Çizelge 4.23.** Test 8 / Seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçları

Test 8 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar			
ÖLÇÜMLER		Sep.' süz	Sep.' lü
Test (Kazan) Basıncı	$P_{\text{test}}$ (bara)	9.9040	9.9040
Seperatör Tip	Sep. ....	-	A
Test Süresi	$t_{\text{test}}$ (dk)	15.000	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	9.8930	9.8930
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	9.4430	9.2030
	$T_4$ (°C)	178.924	177.822
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	9.3760	9.1360
	$T_5$ (°C)	178.669	177.561
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	749.739	744.859
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2024.380	2028.250
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2774.120	2773.110
	$P_6$ (bara)	1.0040	1.0040
	$T_{\text{doy},6}$ (°C)	99.7176	99.7176
	$T_{\text{kız},6}$ (°C)	109.6	111.1
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61	2674.61
	$C_{\text{pkız},6}$ (kJ/kgK)	2.04326	2.03921
A.K. Kondens Miktarları	$h_{\text{kız},6}$ (kJ/kg)	2694.802	2697.821
	$m_{\text{gösterge,A.K.}}$ (kg)	0.2440	0.1540
K.K. Kondens Miktarları	$m_{\text{kondenser,A.K.}}$ (kg)	0.0000	0.0000
	$m_{\text{kondenser,K.K.}}$ (kg)	7.3890	7.0930
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{\text{bn}}$ (kg)	7.6330	7.2470
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{\text{bn}}$ (kg/h)	30.5320	28.9880
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9680	0.9787
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	0.9608	0.9629
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	0.9301	0.9424
Seperatör Verimi	$\eta_{\text{sep}}$ (%)	17.62	

**Çizelge 4.24.** Test 8 / Hesaplanan minimum kuruluk derecesi

		Sep.' süz	Sep.' lü
Test 8 / Minimum Kuruluk Derecesi	Min. $T_{\text{kız},6}$	104.7176	104.7176
	Min. $h_{\text{kız},6}$	2684.8263	2684.80605
	$x_{2,\text{min}}$	0.9559	0.9565
$0 \leq x_2 - x_{2,\text{min}}$ şartı sağlanmaktadır.	$x_2 - x_{2,\text{min}}$	0.0049	0.0064

#### 4.1.9. Test 9 sonuçları

Test 9, 10.4040 bara test basıncında gerçekleştirilen seperatör performans değerlendirme testidir. Doğrulama testi sonuçları Çizelge 4.25’ de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Test 9 / doğrulama testi sonuçları

Doğrulama Testi 9 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar		
ÖLÇÜMLER		Test 9
Test (Kazan) Basıncı	$P_{test}$ (bara)	2.9040
Kızdırma Set Sıcaklığı	$T_{kız,set}$ (°C)	150.00
Test Süresi	$t_{test}$ (dk)	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	2.8930
2. Ölçüm Noktası	$P_2$ (bara)	2.8920
	$T_2$ (°C)	132.417
3. Ölçüm Noktası	$P_3$ (bara)	2.8940
	$T_3$ (°C)	150.354
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	2.8440
	$T_4$ (°C)	150.334
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	2.7850
	$T_5$ (°C)	148.124
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	550.159
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2170.790
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2720.950
	$P_6$ (bara)	1.0040
	$T_{doy,6}$ (°C)	99.7176
	$T_{kız,6}$ (°C)	152.1
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61
	$C_{pkız,6}$ (kJ/kgK)	1.98366
A.K. Kondens Miktarları	$h_{kız,6}$ (kJ/kg)	2778.566
	$m_{gösterge,A.K.}$ (kg)	0.0114
K.K. Kondens Miktarları	$m_{kondenser,A.K.}$ (kg)	0.0000
	$m_{kondenser,K.K.}$ (kg)	7.5050
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{bn}$ (kg)	7.5164
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{bn}$ (kg/h)	30.0656
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9985
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	1.0265
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	1.0250
Kızdırma Derecesi	$\Delta T_{kız,6 - doy,6}$ (°C)	52.4



Test 9 test basıncındaki seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi için sonuçlar Çizelge 4.26' da yer almaktadır. İlgili test basıncında gerçekleştirilen seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sonucunda elde edilmiş kuruluk derecesi değerlerinin, +5 °C kuralına göre kıyaslamasının yapılabilmesi için hesaplanan minimum kuruluk derecesi değerleri de Çizelge 4.27' deki gibidir.

**Çizelge 4.26.** Test 9 / Seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçları

Test 9 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar			
ÖLÇÜMLER		Sep.' süz	Sep.' lü
Test (Kazan) Basıncı	$P_{test}$ (bara)	10.4040	10.4040
Seperatör Tip	Sep. ....	-	A
Test Süresi	$t_{test}$ (dk)	15.000	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	10.3930	10.3930
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	9.9430	9.7030
	$T_4$ (°C)	181.151	180.093
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	9.8760	9.6360
	$T_5$ (°C)	180.909	179.845
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	759.613	754.921
	$h_{fg5}$ (kJ/kg)	2016.510	2020.260
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2776.120	2775.180
6. Ölçüm Noktası	$P_6$ (bara)	1.0040	1.0040
	$T_{doy,6}$ (°C)	99.7176	99.7176
	$T_{kız,6}$ (°C)	110.1	111.6
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61	2674.61
	$C_{pkız,6}$ (kJ/kgK)	2.04188	2.03792
	$h_{kız,6}$ (kJ/kg)	2695.810	2698.825
A.K. Kondens Miktarları	$m_{gösterge,A.K.}$ (kg)	0.1980	0.1150
	$m_{kondenser,A.K.}$ (kg)	0.0000	0.0000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{kondenser,K.K.}$ (kg)	7.4290	7.1420
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{bn}$ (kg)	7.6270	7.2570
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{bn}$ (kg/h)	30.5080	29.0280
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9740	0.9842
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	0.9602	0.9622
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	0.9352	0.9470
Seperatör Verimi	$\eta_{sep}$ (%)	18.09	

**Çizelge 4.27.** Test 9 / Hesaplanan minimum kuruluk derecesi

		Sep.' süz	Sep.' lü
Test 9 / Minimum Kuruluk Derecesi	Min. $T_{kız,6}$	104.7176	104.7176
	Min. $h_{kız,6}$	2684,8194	2684.7996
	$x_{2,min}$	0.9547	0.9553
$0 \leq x_2 - x_{2,min}$ şartı sağlanmaktadır.	$x_2 - x_{2,min}$	0.0055	0.0069

#### 4.1.10. Test 10 sonuçları

Test 10, 10.9040 bara test basıncında gerçekleştirilen seperatör performans değerlendirme testidir. Doğrulama testi sonuçları Çizelge 4.28' de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Test 10 / doğrulama testi sonuçları

Doğrulama Testi 10 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar		
ÖLÇÜMLER		Test 10
Test (Kazan) Basıncı	$P_{test}$ (bara)	2.9040
Kızdırma Set Sıcaklığı	$T_{kız,set}$ (°C)	150.00
Test Süresi	$t_{test}$ (dk)	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	2.8920
2. Ölçüm Noktası	$P_2$ (bara)	2.8910
	$T_2$ (°C)	132.409
3. Ölçüm Noktası	$P_3$ (bara)	2.8930
	$T_3$ (°C)	150.005
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	2.8430
	$T_4$ (°C)	149.985
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	2.7830
	$T_5$ (°C)	147.885
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	550.056
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2170.860
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2720.920
	$P_6$ (bara)	1.0040
	$T_{doy,6}$ (°C)	99.7176
	$T_{kız,6}$ (°C)	152.1
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61
	$C_{pkız,6}$ (kJ/kgK)	1.98366
A.K. Kondens Miktarları	$h_{kız,6}$ (kJ/kg)	2778.588
	$m_{gösterge,A.K.}$ (kg)	0.0000
K.K. Kondens Miktarları	$m_{kondenser,A.K.}$ (kg)	0.0000
	$m_{kondenser,K.K.}$ (kg)	7.4930
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{bn}$ (kg)	7.4930
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{bn}$ (kg/h)	29.9720
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	1.0000
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	1.0266
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	1.0266
Kızdırma Derecesi	$\Delta T_{kız,6 - doy,6}$ (°C)	52.4

Test 10 test basıncındaki seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi için sonuçlar Çizelge 4.29' da yer almaktadır. İlgili test basıncında gerçekleştirilen seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sonucunda elde edilmiş kuruluk derecesi değerlerinin, +5 °C kuralına göre kıyaslamasının yapılabilmesi için hesaplanan minimum kuruluk derecesi değerleri de Çizelge 4.30' daki gibidir.

**Çizelge 4.29.** Test 10 / Seperatörsüz ve seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçları

Test 10 / Yerel atmosfer basıncı: 0.904 bar			
ÖLÇÜMLER		Sep.' süz	Sep.' lü
Test (Kazan) Basıncı	$P_{test}$ (bara)	10.9040	10.9040
Seperatör Tip	Sep. ....	-	A
Test Süresi	$t_{test}$ (dk)	15.000	15.000
1. Ölçüm Noktası	$P_1$ (bara)	10.8930	10.8930
4. Ölçüm Noktası	$P_4$ (bara)	10.4430	10.2030
	$T_4$ (°C)	183.291	182.274
5. Ölçüm Noktası	$P_5$ (bara)	10.3780	10.1380
	$T_5$ (°C)	183.069	182.046
	$h_{f5}$ (kJ/kg)	769.157	764.638
	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2008.840	2012.480
6. Ölçüm Noktası	$h_{g5}$ (kJ/kg)	2777.990	2777.120
	$P_6$ (bara)	1.0040	1.0040
	$T_{doy,6}$ (°C)	99.7176	99.7176
	$T_{kız,6}$ (°C)	110.9	112.3
	$h_{g6}$ (kJ/kg)	2674.61	2674.61
A.K. Kondens Miktarları	$C_{pkız,6}$ (kJ/kgK)	2.03974	2.03615
	$h_{kız,6}$ (kJ/kg)	2697.419	2700.230
K.K. Kondens Miktarları	$m_{gösterge,A.K.}$ (kg)	0.1480	0.0760
	$m_{kondenser,A.K.}$ (kg)	0.0000	0.0000
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{kondenser,K.K.}$ (kg)	7.5090	7.6150
Buhar Numunesi Miktarı	$m_{bn}$ (kg)	7.6570	7.6910
Buhar Numunesi Debisi	$\dot{m}_{bn}$ (kg/h)	30.6280	30.7640
A.K. Kuruluk Derecesi	$x_1$	0.9807	0.9901
K.K. Kuruluk Derecesi	$x_2$	0.9599	0.9618
Num. Kuruluk Derecesi	$x_n$	0.9413	0.9523
Seperatör Verimi	$\eta_{sep}$ (%)	18.67	

**Çizelge 4.30.** Test 10 / Hesaplanan minimum kuruluk derecesi

		Sep.' süz	Sep.' lü
Test 10 / Minimum Kuruluk Derecesi	Min. $T_{kız,6}$	104.7176	104.7176
	Min. $h_{kız,6}$	2684.8087	2684.79075
	$x_{2,min}$	0.9536	0.9541
$0 \leq x_2 - x_{2,min}$ şartı sağlanmaktadır.	$x_2 - x_{2,min}$	0.0063	0.0077

## 4.2. Test Sonuçlarına İlişkin Grafikler

Seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçlarının test basıncına göre değişimini gösteren grafik, Şekil 4.1' de verilmiştir.



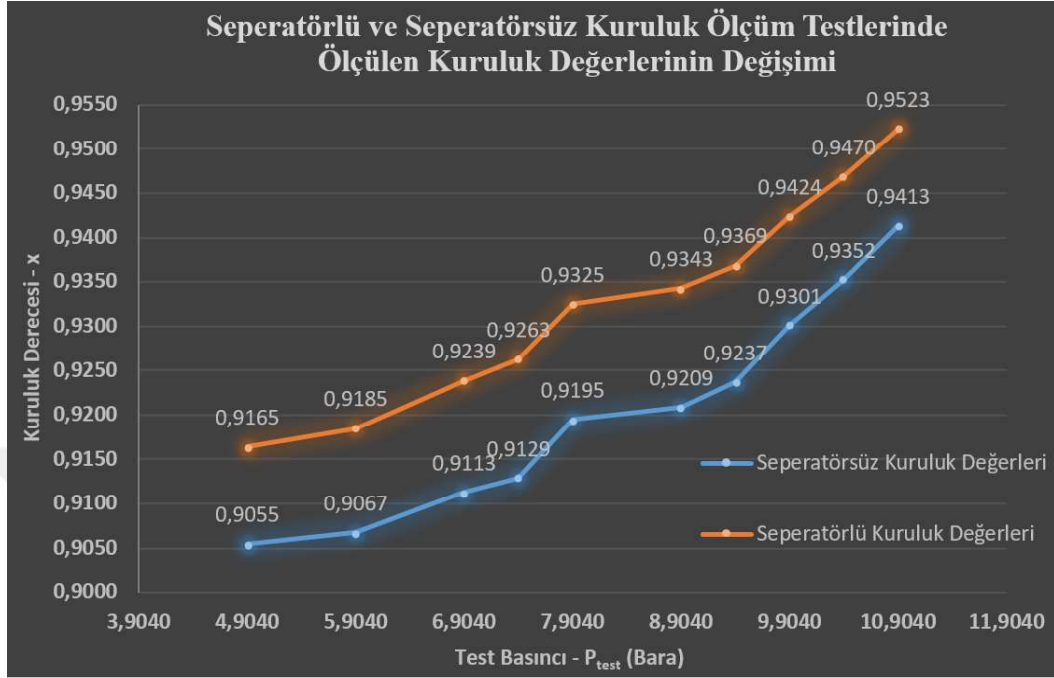
Şekil 4.1. Seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçlarının test basıncına göre değişimi

Seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçlarının test basıncına göre değişimini gösteren grafik, Şekil 4.2' de verilmiştir.



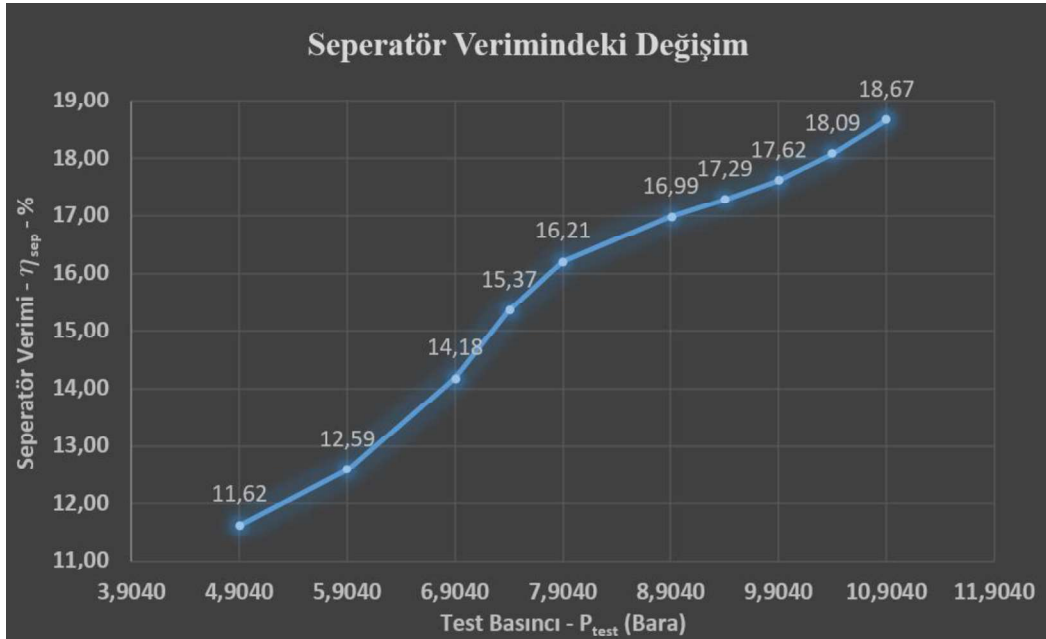
Şekil 4.2. Seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçlarının test basıncına göre değişimi

Seperatörlü ve seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçlarının test basıncına göre değişiminin tek bir grafik üzerinde gösterimi, Şekil 4.3' deki gibidir.



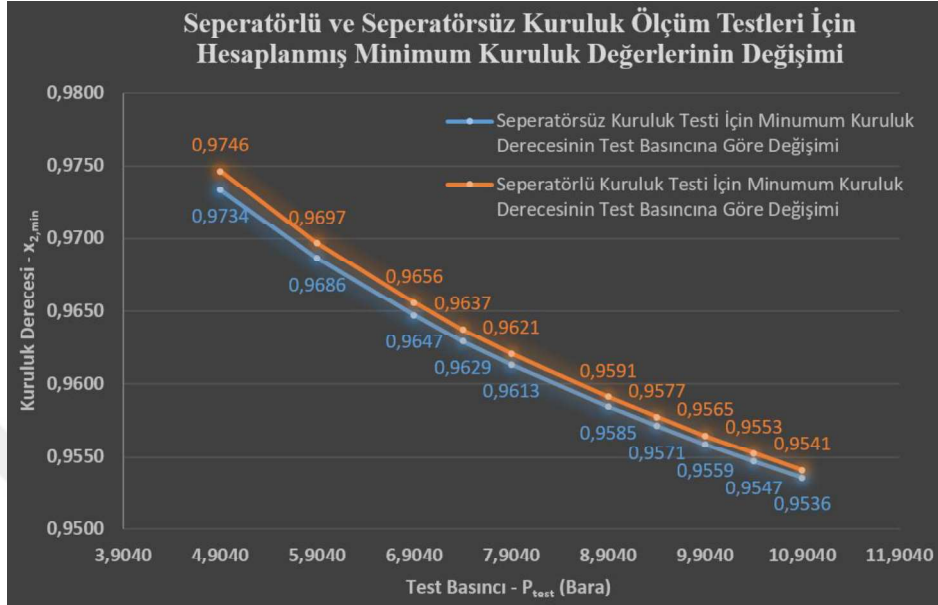
Şekil 4.3. Seperatörlü ve seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçlarının test basıncına göre değişimi

Seperatör veriminin test basıncına göre değişimini gösteren grafik, Şekil 4.4' de verilmiştir.



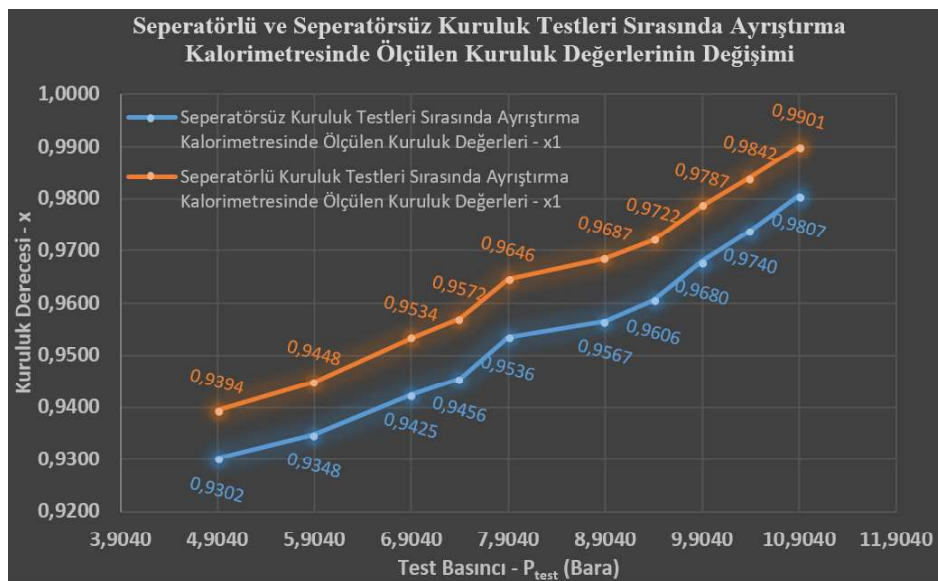
Şekil 4.4. Seperatör veriminin test basıncına göre değişimi

Seperatörlü ve seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testi sonuçları için hesaplanmış minumum kuruluk derecesi değerlerinin, test basıncına göre değişiminin tek bir grafik üzerinde gösterimi, Şekil 4.5' deki gibidir.



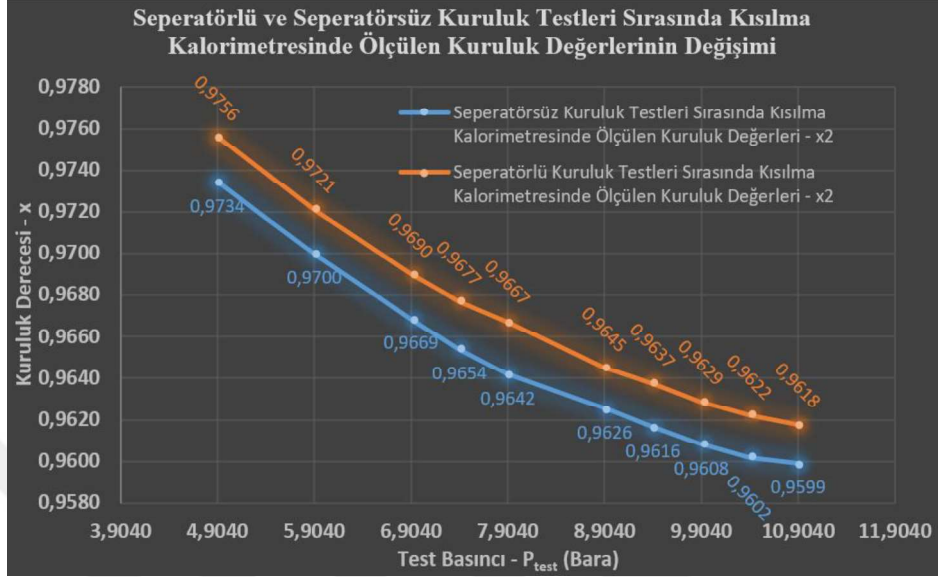
Şekil 4.5. Seperatörlü ve seperatörsüz testler için hesaplanan minimum kuruluk derecesi değerinin test basıncına göre değişimi

Seperatörlü ve seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testleri sırasında ayrıştırma kalorimetresinde ölçülen kuruluk derecesi değerlerinin ( $x_1$ ), test basıncına göre değişiminin tek bir grafik üzerinde gösterimi, Şekil 4.6' daki gibidir.



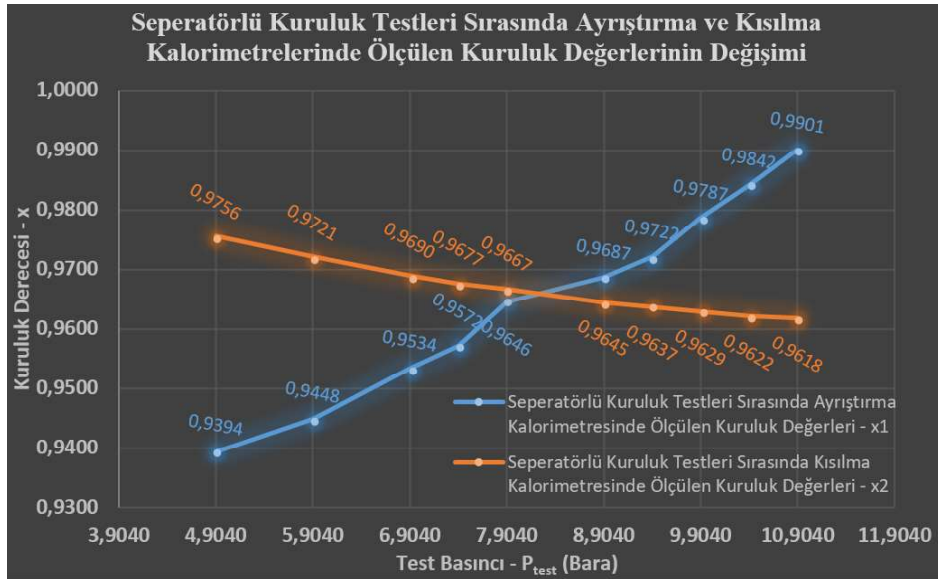
Şekil 4.6. Seperatörlü ve seperatörsüz testler için ayrıştırma kalorimetresinde ölçülen kuruluk değerlerinin test basıncına göre değişimi

Seperatörlü ve seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testleri sırasında kısılma kalorimetresinde ölçülen kuruluk derecesi değerlerinin ( $x_2$ ), test basıncına göre değişiminin tek bir grafik üzerinde gösterimi, Şekil 4.7' deki gibidir.



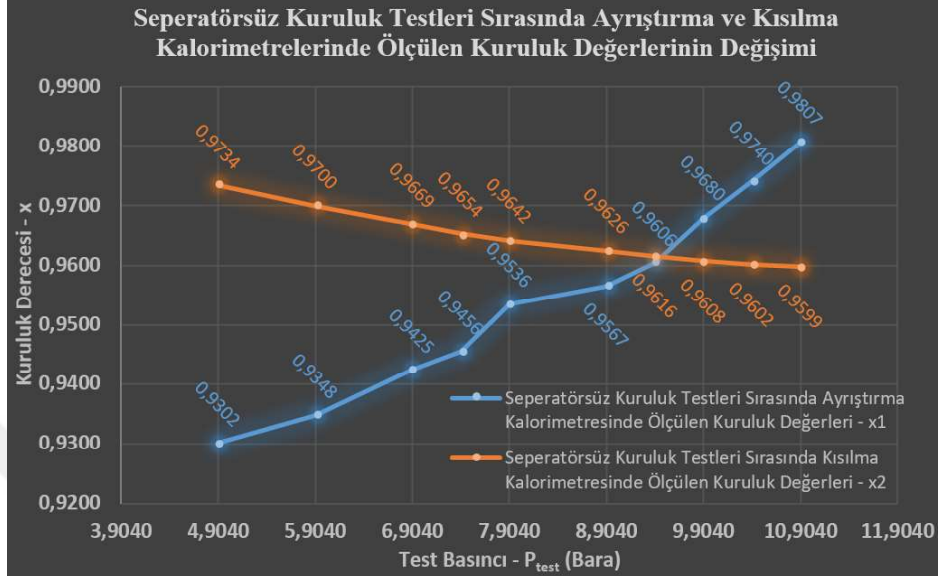
Şekil 4.7. Seperatörlü ve seperatörsüz testler için kısılma kalorimetresinde ölçülen kuruluk değerlerinin test basıncına göre değişimi

Seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sırasında ayırıştırma ve kısılma kalorimetrelerinde ölçülen kuruluk derecesi değerlerinin ( $x_1$  ve  $x_2$ ), test basıncına göre değişiminin tek bir grafik üzerinde gösterimi, Şekil 4.8' deki gibidir.



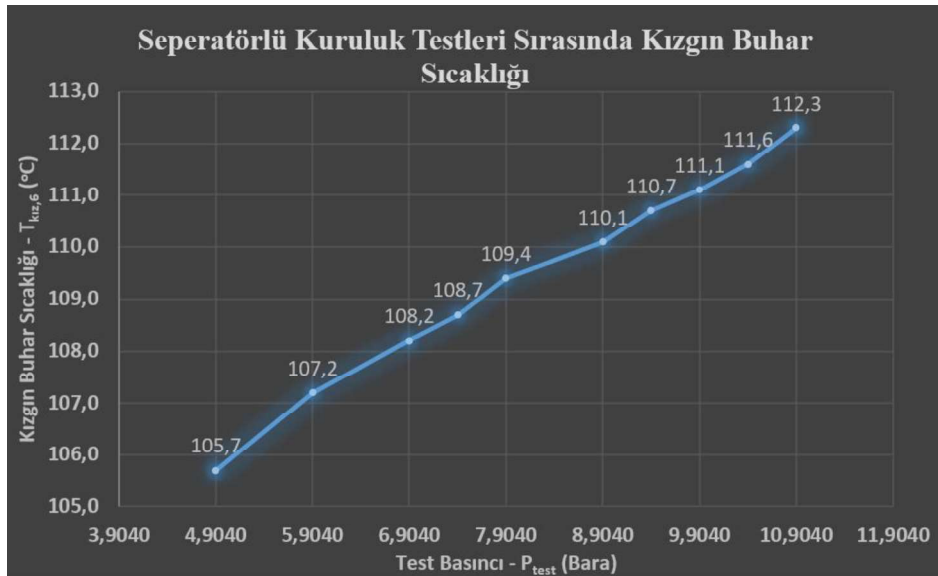
Şekil 4.8. Seperatörlü testler için ayırıştırma ve kısılma kalorimetrelerinde ölçülen kuruluk değerlerinin test basıncına göre değişimi

Seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testleri sırasında ayırıştırma ve kısılma kalorimetrelerinde ölçülen kuruluk derecesi değerlerinin ( $x_1$  ve  $x_2$ ), test basıncına göre değişiminin tek bir grafik üzerinde gösterimi, Şekil 4.9' daki gibidir.



Şekil 4.9. Seperatörsüz testler için ayırıştırma ve kısılma kalorimetrelerinde ölçülen kuruluk değerlerinin test basıncına göre değişimi

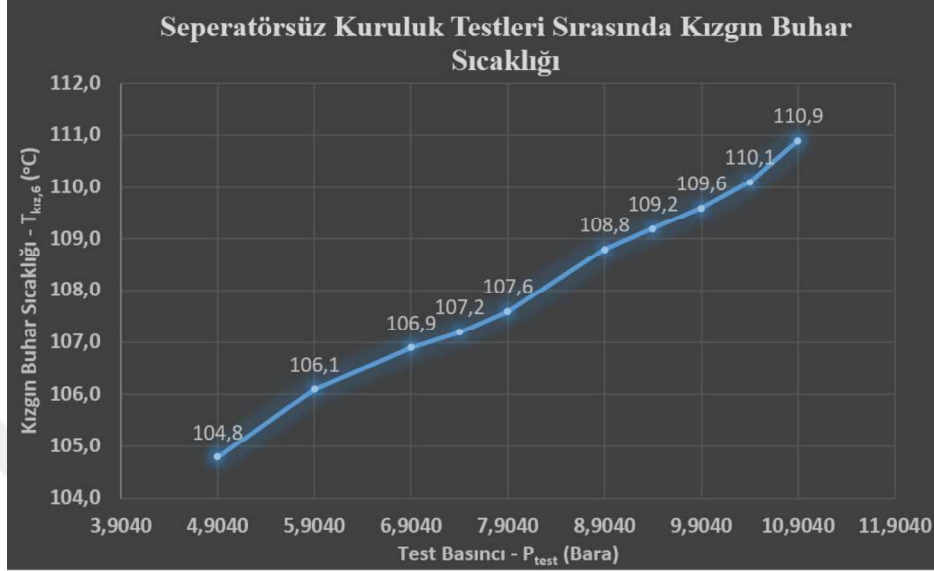
Seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sırasında kısılma kalorimetresi girişindeki (kısılma vanası çıkışı) kızgın buhar sıcaklığının ( $T_{kız,6}$ ) test basıncına göre değişimini gösteren grafik, Şekil 4.10' da verilmiştir.



Şekil 4.10. Seperatörlü kuruluk ölçüm testleri sırasında kısılma kalorimetresi girişinde ölçülen kızgın buhar sıcaklığının test basıncına göre değişimi

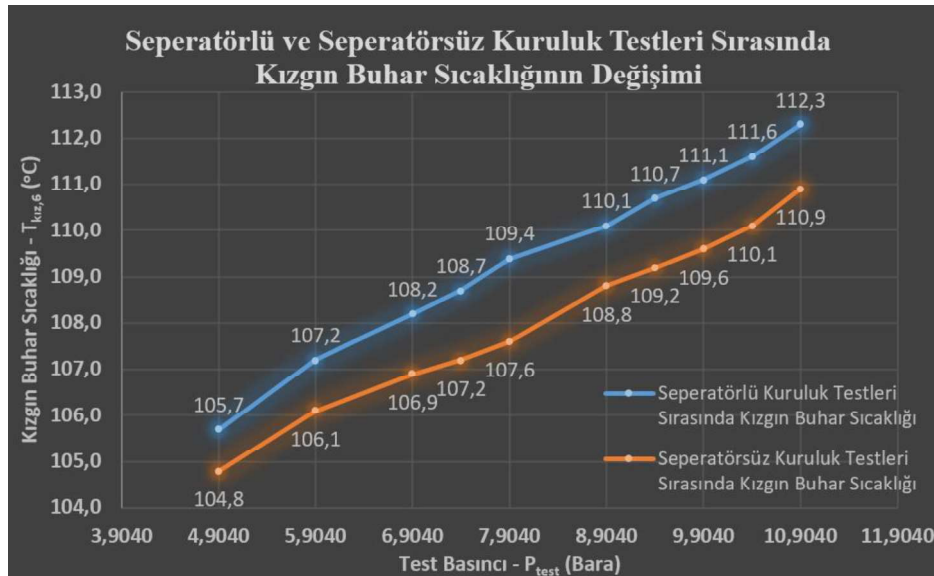


Seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testleri sırasında kısılma kalorimetresi girişindeki (kısılma vanası çıkışı) kızgın buhar sıcaklığının ( $T_{kız,6}$ ) test basıncına göre değişimini gösteren grafik, Şekil 4.11' de verilmiştir.



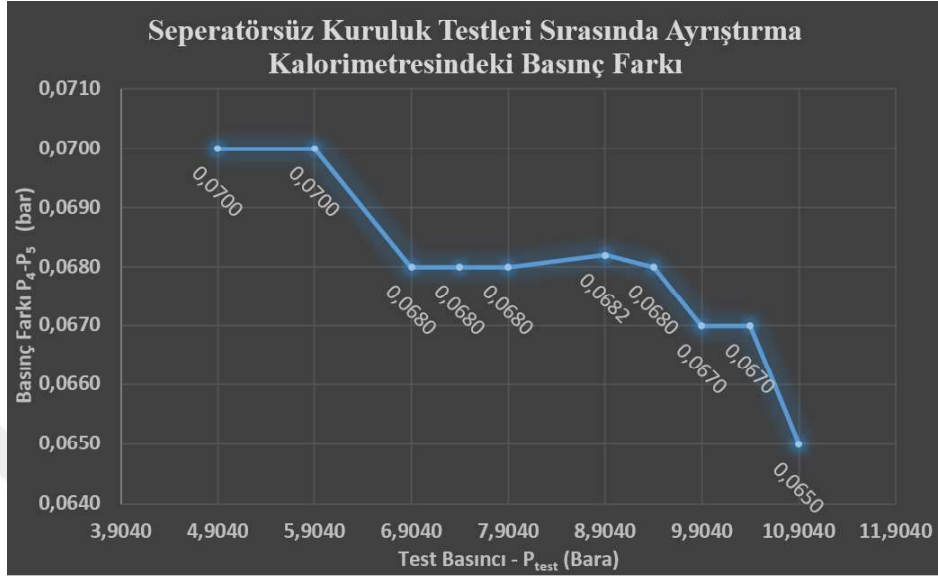
Şekil 4.11. Seperatörsüz kuruluk ölçüm testleri sırasında kısılma kalorimetresi girişinde ölçülen kızgın buhar sıcaklığının test basıncına göre değişimi

Seperatörlü ve seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testleri sırasında kısılma kalorimetresi girişindeki (kısılma vanası çıkışı) kızgın buhar sıcaklıklarının ( $T_{kız,6}$ ) test basıncına göre değişiminin tek bir grafik üzerinde gösterimi, Şekil 4.12' deki gibidir.



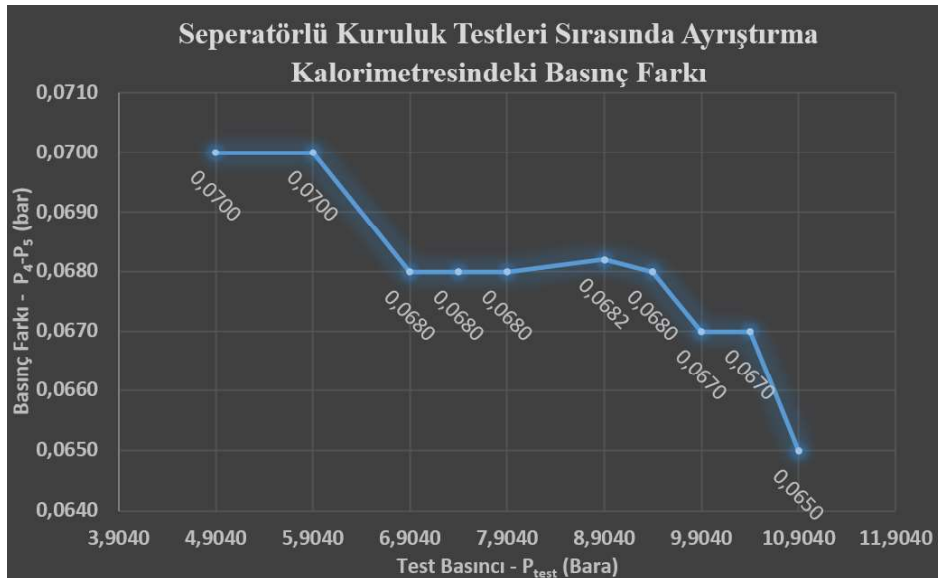
Şekil 4.12. Seperatörlü ve seperatörsüz kuruluk ölçüm testleri sırasında kısılma kalorimetresi girişinde ölçülen kızgın buhar sıcaklığının test basıncına göre değişimi

Seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testleri sırasında ayrıştırma kalorimetresinin giriş ve çıkışından okunan numune basınçları arasındaki farkın (basınç düşümünün) test basıncına göre değişimini gösteren grafik, Şekil 4.13' de verilmiştir.



Şekil 4.13. Seperatörsüz kuruluk ölçüm testleri sırasında ayrıştırma kalorimetresinin giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkının test basıncına göre değişimi

Seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testleri sırasında ayrıştırma kalorimetresinin giriş ve çıkışından okunan numune basınçları arasındaki farkın (basınç düşümünün) test basıncına göre değişimini gösteren grafik, Şekil 4.14' de verilmiştir



Şekil 4.14. Seperatörlü kuruluk ölçüm testleri sırasında ayrıştırma kalorimetresinin giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkının test basıncına göre değişimi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, referans olarak alınan; 14 barg basınçta, saatte 25 ton buhar üretebilme kapasitesine sahip, D tipi, su borulu bir buhar kazanının buhar (üst) dramında yer alan yatay tip siklon seperatörün performansının değerlendirilmesi için seperatör prototipiyle birlikte bir test ünitesi tasarımı gerçekleştirilerek sırasıyla 4, 5, 6, 6.5, 7, 8, 8.5, 9, 9.5, 10 barg basınçlarında testler yapılmıştır. Seperatör performansını belirleyen parametre olan buhar kuruluşunun ölçümü için literatürdeki ayrıştırma kısımla kalorimetresi seçilmiş, minimum kuruluk derecesi hesabıyla karşılaştırma ve buhar kızdırıcı sayesinde gerçekleştirilen doğrulama testleriyle, kalorimetreden elde edilen sonuçların daha doğru olması amaçlanmıştır.

Buhar jeneratöründe üretilen referans buhar numunesinin kuruluk derecesinin belirlenmesi için gerçekleştirilen seperatörsüz buhar kuruluşu ölçüm test sonuçlarına göre 4.9040 bara min. test basıncında 0.9055 olan kuruluk derecesi, 10.9040 bara maks. test basıncında 0.9413' e ulaşmaktadır ve bu iki sınır arasında sürekli artan bir eğilim göstermektedir.

Seperatörlü buhar kuruluşu ölçüm test sonuçlarına göre, 4.9040 bara min. test basıncında 0.9165 olan buhar numunesi kuruluk derecesi, 10.940 bara maks. test basıncında 0.9523' e ulaşmaktadır ve bu iki sınır arasında sürekli artan bir eğilim göstermektedir. Bunun nedeni; yüksek test basınçlarında buhar numunesinin sahip olduğu yüksek enerji sayesinde, numune siklon seperatöre daha yüksek hızlarda girmekte ve ıslak buhar içerisindeki su zerreciklerinin ayrışma verimi bu sayede artmaktadır.

Bu nedenle test basıncı arttıkça, buhar numunesinin kuruluk derecesinin artmasından dolayı, referans alınan 25000 kg/h buhar üretim kapasiteli su borulu buhar kazanının da maksimum izin verilebilir işletme basıncı değerinde işletilmesinin ve farklı basınçlarda buhar ihtiyacı olan tüketim noktalarında basıncının düşürülerek; yüksek kurulukta üretimi, dağıtımı ve kullanımının sağlabileceği söylenebilir.

Buradan çıkartılabilecek diğer bir sonuç ise seperatörlü ve seperatörsüz kuruluk ölçüm test sonuçlarının tüm test basınçları için, aynı test basıncında seperatörlü kuruluk ölçüm test sonuçlarının seperatörsüze göre daha yüksek olarak bulunması buhar kazanlarında doymuş buhar üretimi için gerekli seperatörlerin ne kadar önemli olduğunu gözler önüne sermektedir.

Seperatör verimi, min. test basıncında %11.62 iken maks. test basıncında bu değer artarak %18.67 ye ulaşmaktadır.

Test düzeneğinde yer alan kısılma kalorimetresinden elde edilen sonuçların kontrolü için kullanılan minimum kuruluk derecesi değerleri, tüm seperatörlü ve seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm testlerinde  $0 \leq x_2 - x_{2,min}$  eşitsizliğine uygun şekilde bulunmuştur.

Test basıncının artmasına paralel, numunenin kuruluk derecesinde meydana gelen artış, numunenin içerisinde daha az nem bulundurmasından dolayı beklendiği gibi kısılma vanası çıkışındaki kızgın buhar sıcaklığının test basıncının artmasına paralel olarak arttığı sonucunu vermiştir. Seperatörlü buhar kuruluğu ölçüm testlerinden maks. test basıncında gerçekleştirilen testte maks. kızgın buhar çıkış sıcaklığı elde edilmiş ve 112.3 °C değerine ulaşılmıştır. Tüm seperatörlü ve seperatörsüz buhar kuruluğu ölçüm test sonuçlarındaki kızgın buhar sıcaklığı değerlerinin +5°C kuralına uygun olduğu görülmüştür.

Son olarak, buhar numunesinin sahip olduğu özelliklerin değiştirilmeksizin ayrıştırma kalorimetresinde kuruluk ölçümünün yapılabilmesi için izobar ve izotermal bir proses olarak tasarlanması gerekmektedir. Test sonuçlarında ayrıştırma kalorimetresi giriş ve çıkışı arasındaki basınç düşümü 0.068 barg mertebesinde, sıcaklık düşümünün 0.5 – 0.2 °C değişen aralıkta olduğu gözlemlenmiş ve bu değerlerin ihmal edilebilir düzeyde olduğu söylenebilir.

## 5.2 Öneriler

Performans değerlendirmesi yapılan seperatörün dizayn parametreleriyle ilgili değerlendirmelerde bulunabilmek için, aynı tip farklı dizayn parametrelerindeki seperatör prototipleriyle kontrollü deneyler yapılabilir. Bunun sonucunda seperatörün tasarım iyileştirmesine yönelik yeni sonuçlar elde edilebilir.

Seperatör doğrulaması için kullanılan buhar kızdırıcı sistemi çıkışına eklenecek soğutma (desuperheater) vanasıyla değiştirilen kızgın buhar numunesi şartlarına bağlı olarak, kuruluk ölçme sistemi olan kalorimetrenin dinamik değişken koşullarda doğrulaması yapılabilir.

Çalışma kapsamında tasarlanan kalorimetrenin boyutları düşürülecek şekilde yeniden tasarlanarak mobil kullanıma imkan tanınabilir. Böylelikle enerji etüdüleri sırasında gerekli kazan, tesisat ve tüketim noktası vb. alanlardan anlık ölçümlerle sistem verimleri daha yüksek doğrulukta hesaplanabilir, ekipman arızaları öngörülebilir.

## KAYNAKLAR

- Altayee, A.K., Almusawi, A.A., 2017, *Course book of thermodynamic II-Steam engineering* [Online], Baghdad, University of Technology, <http://www.uotechnology.edu.iq/dep-MechanicsandEquipment/Lectures%20and%20Syllabus/Lectures/Same/Second%20Grade/Thermodynamic%20II.pdf> [Ziyaret Tarihi : 01 Şubat 2017].
- Anonim 1, 2005, Türk standardı, TS EN10028-2: 2005 Çelik yassı mamuller-basınç amaçlı- bölüm 2: belirtilmiş yüksek sıcaklık özelliklerine sahip alaşımsız ve alaşımlı çelikler, Çizelge 3, Ankara, 7.
- Anonim 2, 2005, Türk standardı, TS EN10028-2: 2005 Çelik yassı mamuller-basınç amaçlı- bölüm 2: belirtilmiş yüksek sıcaklık özelliklerine sahip alaşımsız ve alaşımlı çelikler, Çizelge 4, Ankara, 9.
- Anonim 3, 2003, Türk standardı, TS EN10216-2: 2003 Çelik borular – dikişsiz – basınç amaçları için – teknik teslim şartları – bölüm 2: belirtilen yüksek sıcaklık özellikleri olan alaşımsız ve alaşımlı çelik borular, Çizelge 4, Ankara, 9.
- Anonim 4, 2003, Türk standardı, TS EN10216-2: 2003 Çelik borular – dikişsiz – basınç amaçları için – teknik teslim şartları – bölüm 2: belirtilen yüksek sıcaklık özellikleri olan alaşımsız ve alaşımlı çelik borular, Çizelge 5, Ankara, 10.
- Anonim 5, 2007, Türk standardı, TS EN12952-3: 2007 Su borulu kazanlar ve yardımcı tesisatları Bölüm 3: basınca maruz kalan parçaların tasarımı ve hesapları, Ankara, 1-131.
- Anonim 6, 2017, Sanayide 1000 kcal ısı ihtiyacı için gerekli olan çeşitli yakıtlar için maliyet karşılaştırma tablosu (30 Ekim 2017) [Online], İstanbul, Teknik Sektör Yayıncılık A.Ş., <http://www.dogalgaz.com.tr/yayin/yakit-fiyatlari/> [Ziyaret Tarihi : 03 Kasım 2017].
- Anonymous 1, 2016, European standard, LVS EN12953-3: 2016 Shell boilers – Part 3: Design and calculation for pressure parts, Figure 16, Brussels, 35.
- Anonymous 2, 2016, *Big red book* [Online], Pittsburgh, Chromalox Inc., <https://user-guimgyh.cld.bz/Chromalox-2018/Big-Red-Book> [Ziyaret Tarihi : 15 Ocak 2018].
- Anonymous 3, 2017, *Lesson – 25 Measurement of dryness fraction: Bucket or barrel calorimeter and seperating calorimeter and their numerical problems* [Online], New Delhi, Indian Agricultural Statistics Research Institue, <https://tr.scribd.com/doc/316947922/calorimetry> [Ziyaret Tarihi: 03 Şubat 2017].
- Anonymous 4, 2017, *Lesson – 26 Measurement of dryness fraction: Throttling calorimeter and combined seperating and throttling calorimeter and their numerical problems* [Online], New Delhi, Indian Agricultural Statistics Research Institue, <https://tr.scribd.com/document/336575110> [Ziyaret Tarihi: 03 Şubat 2017].

- Anonymous 5, 2001, European Standard EN1092-1: 2001 Flanges and their joints - Circular flanges for pipes, valves, fittings and accessories, PN designated - Part 1: Steel flanges, Table 5a, Brussels, 23.
- Anonymous 6, 2001, European Standard EN1092-1: 2001 Flanges and their joints - Circular flanges for pipes, valves, fittings and accessories, PN designated - Part 1: Steel flanges, Table 15, Brussels, 44.
- Anonymous 7, 2017, *Seperators* [Online], Gloucestershire, Spirax Sarco Inc., <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/pipeline-ancillaries/separators.aspx> [Ziyaret Tarihi: 04 Aralık 2017].
- Anonymous 8, 2016, European standard, LVS EN12953-3: 2016 Shell boilers – Part 3: Design and calculation for pressure parts, Brussels, 1-111.
- Bodkhe, R.G., Nandurkar, Y.Y., Akant, S.S., Bankar, S.L., Bankar, 2014, Performance analysis of seperating and throttling calorimeter to determine quality of steam on thermax diesel fired water tube boiler, *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences (IJREAS)*, Vol. 02, 41-45.
- Cengel, Y.A., Boles M.A., 2011, Termodinamik mühendislik yaklaşımıyla, *İzmir Güven Kitabevi*, İzmir, 51-279.
- Deacon, W.T., Steam in distribution and use: steam quality redefined, 1991, *Energy Engineering*, 88 (1), 1-9.
- Dorfman A., Fridman E., 2014, Vapor quality measurement by a discharging calorimeter, *Fluid Phase Equilibria*, 244 (2006), 46-51.
- Eck, M., Schmidt H., Eickhoff M., Hirsch, T., 2006. Field test of water-steam seperators for the dsdg process, *SolarPACES*, A1 (S5), 1-9.
- Gawde A. D., Dhamangaonkar, P.R., 2014, Design and development of online steam dryness fraction measurement setup, *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 592-594, 1472-1476.
- Gündoğdu, M. H., 2013, İkincil yakma havasının katı yakıtlı kazanın ısı performans ve emisyonuna etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 15-16.
- Jung, D. B., 1995, Geothermal steam quality testing, *Geothermal resources council* vol. 19, Santa Rosa, U.S.A., 575-584.
- Kolovratník M., Bartoš O., 2014, Wet steam wetness measurement in a 10 MW steam turbine, *EPJ Web of Conferences* 67- 02055, 2014, Prague, Czech Republic, 1-4.
- Makhomo, S., 2015, *Thermodynamics laboratory: Dryness fraction of steam* [Online], Cape Town, Cape Peninsula University of Technology, <https://www.slideshare.net/Exclusiv-A/lab-1-the-dryness-fraction-of-the-steammech> [Ziyaret Tarihi: 9 Aralık 2016].

- Moyer, J.A., 1911, Power plant testing, *Mc Graw-Hill Book Company*, New York, 61-80.
- Pachaiyappan, R., Gobalakannan, S., Niresh, J., Shrivastava, S., 2015. Performance evaluation of a steam turbine test rig and oil fired boiler, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology-IJRASET*, 3 (2015), 38-46.
- Penn Separator Corp., Rev. 3/99, Centrifugal Separators, Brookville, 4-5.
- Souza Mouro, A.R., Gazel, H.F. and Nogueira, M.F.M., 2012, Design of modified throttling calorimeter for low steam quality measurements, *14<sup>th</sup> Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering 2012*, Rio de Janeiro, Brazil, 18-22.
- Spirax Sarco Inc., 2004, Design of fluid system-steam utilization, Blythewood, 10-11.
- Tao, Z., Wenda, X., Ying, Bi. and Yan, J., 2008. Development of Standard Device for Steam Flow Measurement Used Condensing Weighing Method, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the P.R.C.. Tianjin, China.
- Ünlü, C., 2003, Temel bilgiler, tasarım ve uygulama eki: Buhar ve Buhar Tesisatı, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi-TTMD*, 27 (4), 1-14.
- <http://www.akkaya.com.tr/tr/urun-detay/d-tipi-su-borulu-kazanlar.html> [Ziyaret Tarihi: 07 Haziran 2019].
- <http://www.izocam.com.tr/f63-camyunu-prefabrik-boru.html> [Ziyaret Tarihi: 07 Haziran 2019].
- <http://www.izocam.com.tr/isi-yalitim-malzemeleri/> [Ziyaret Tarihi: 04 Aralık 2017].
- [https://www.engineeringtoolbox.com/mollier-diagram-water-d\\_308.html](https://www.engineeringtoolbox.com/mollier-diagram-water-d_308.html) [Ziyaret Tarihi : 01 Haziran 2019].

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Fatih DEMİR  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Bursa ve 26.10.1991  
**Telefon** : 0535 253 50 41  
**Faks** : -  
**E-Posta** : fatihdemir.f@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Anıttepe Lisesi	Çankaya	Ankara	2010
Üniversite	: Selçuk Üni.	Selçuklu	Konya	2015
Yüksek Lisans :				
Doktora :				

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-halen	Akkaya Isı Mak. Ve Doğ. San. Tic. Aş.	Proje Satış Yönetmeni

**UZMANLIK ALANI** Buhar, sıcak/kızgın su ve kızgın yağ kazanları ve tesisat uygulamaları, biyokütle yakma ve atık ısı geri kazanım sistemleri

**YABANCI DİLLER** İngilizce

**BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER**

**YAYINLAR**

Demir, F., Bilir, Ş., 2019, Buhar Seperatörlerinin Performans Değerlendirmesi İçin Bir Kalorimetre Tasarımı, *2<sup>nd</sup> International Conference on Energy Research (ENRES-2019)*, Muğla, 19-33.