

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ BİLİM DALI**

**KOJENERASYON ÜNİTELERİNDEKİ GAZ MOTORU VEYA GAZ
TÜRBİNİ ÇIKIŞLARINDA KULLANILAN ATIK ISI KAZANININ
ISIL TASARIMININ VE ENERJİ, EKSERJİ, EKONOMİK
ANALİZLERİNİN YAPILMASI**

Yiğit ERDOĞMUŞ

**Danışman
Doç. Dr. Leyla ÖZGENER**



MANİSA-2020

**Yigit
ERDOĞMUŞ**

**Kojenerasyon Ünitelerindeki Gaz motoru veya Gaz Türbini Çıktılarında Kullanılan Atık Isı
Kazanının Isıl Tasarımının ve Enerji, Ekserji, Ekonomik Analizlerinin Yapılması**

2020

TEZ ONAYI

Yiğit ERDOĞMUŞ tarafından hazırlanan " **Kojenerasyon Ünitelerindeki Gaz motoru veya Gaz Türbini Çıkışlarında Kullanılan Atık Isı Kazanının Isıl Tasarımının ve Enerji, Ekserji, Ekonomik Analizlerinin Yapılması** "adlı tez çalışması 30/06/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Leyla Özgener
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Hayati OLGUN
Ege Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Can ÇİVİ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Yiğit ERDOĞMUŞ



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
TABLO DİZİNİ	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. GİRİŞ.....	8
2. GENEL BİLGİLER	15
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	22
3.1. Materyal	22
3.2. Yöntem.....	22
3.2.1. Kütle ve Enerji Korunumu	22
3.2.1.1. Kütlenin korunumu yasası	22
3.2.1.2. Termodinamiğin 1.Yasası.....	23
3.2.1.3. Termodinamiğin 2. Yasası.....	23
3.2.2. Ekserji Kavramı.....	26
3.2.2.1. Ekserji Tanımı.....	26
3.2.2.2. Tersinir iş ve tersinmezlik kavramları	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	28
4.1. Sistem Sınırlamaları ve Kabuller	28
4.1.1. Sistem sınırlamaları	28
4.1.2. Kabuller	29
4.2. Araştırma Bulguları.....	32
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	36
KAYNAKLAR	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CP	Sabit basınçta özgül ısı, (kJ/kg.K)
CV	Sabit hacimde özgül ısı, (kJ/kg.K)
E	Ekserji debisi, (kJ/h)
h	Özgül entalpi, (kJ/kg)
\bar{h}	Yanma entalpisi, (kJ/kmol)
H	Toplam entalpi, (kJ)
i	Özgül tersinmezlik, (kJ/kmol)
I	Toplam tersinmezlik, (kJ)
m	Kütle, (kg)
M	Mol Kütle, (kg/kmol)
n	Mol miktarı, (kmol)
P	Basınç, (bar)
Q	Isı geçişi, (kJ)
s	Özgül entropi, (kJ/kg.K)
T	Sıcaklık (°C)
u	Özgül iç enerji, (kJ/kg)
U	Toplam iç enerji, (kJ)
W	Toplam iş, (kJ)
y	Ekserji kaybı oranı, (%)
η_{th}	Isıl verim
η_{II}	İkinci yasa verimi
ρ	Yoğunluk, (kg/m ³)
Ψ	Özgül ekserji, (kJ/kg)
0	Çevre hali
ç	Çıkış koşulları
g	Giriş koşulları
ky	Kayıp
TL	Türk Lirası
GÖS	Geri Ödeme Süresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.2.1 Gaz Türbini [11]	16
Şekil 2.2.2 Atık Isı Kazanı Akış Şeması [5]	18
Şekil 2.2.3 Atık Isı Kazanı Model Görüntüsü [42]	18
Şekil 2.2.4 33,4mm Çapında 2100 Adet Boru Demetinin 3400mm Çapında Yerleşiminin Kesit Görünümü	19
Şekil 2.2.5 42.2mm Çapında 1550 Adet Boru Demetinin 3400mm Çapında Yerleşiminin Kesit Görünümü	20
Şekil 2.2.6 48.3mm Çapında 1250 Adet Boru Demetinin 3400mm Çapında Yerleşiminin Kesit Görünümü	21
Şekil 4.1.1.1 Boru Çapları ve Hatve Ölçülerini Gösteren Teknik Çizim.....	28
Şekil 4.1.2.1 Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemi Çalışma Şeması	29



TABLO DİZİNİ

Tablo 4.1.1.1 Isıl Tasarımda Kullanılan Boru Ölçüleri	28
Tablo 4.1.2.1 Duman Gazı Kompozisyonu.....	30
Tablo 4.1.2.2 Duman Gazı Isıl Kapasitesi	31
Tablo 4.2.1 Dış Çap 3400mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri	32
Tablo 4.2.2 Dış Çap 3400mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri (Devamı).....	33
Tablo 4.2.3 Dış Çap 3500mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri	33
Tablo 4.2.4 Dış Çap 3500mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri (Devamı).....	33
Tablo 4.2.5 Dış Çap 3600mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri	34
Tablo 4.2.6 Dış Çap 3600mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri (Devamı).....	34
Tablo 4.2.7 Dış Çap 3700mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri	34
Tablo 4.2.8 Dış Çap 3700mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri (Devamı).....	35
Tablo 4.2.9 Dış Çap 3800mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri	35
Tablo 4.2.10 Dış Çap 3800mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri (Devamı).....	35
Tablo 5.1 İncelenen Her Kazan Dış Çapının Ekserji ve Enerji Verimine Etkileri	36
Tablo 5.2 İncelenen Her Boru Çapındaki Boru Adedinin Ekserji Verimine Etkileri	37
Tablo 5.3 İncelenen Her Kazan Çapının Amortisman Üzerindeki Etkileri	38

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aőamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aőamalarında manevi her yönden yardımcı olan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Leyla ÖZGENER' e, çalıőmalarım sırasında desteğini aldığım SEGÜ Mühendislik A.Ő. firmasına, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Yiğit ERDOğMUŞ
Manisa, 2020

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kojenerasyon Ünitelerindeki Gaz motoru veya Gaz Türbini Çıkışlarında Kullanılan Atık Isı Kazanının Isıl Tasarımının ve Enerji, Ekserji, Ekonomik Analizlerinin Yapılması.

Yiğit ERDOĞMUŞ

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Leyla ÖZGENER

Geleneksel yöntemlerde elektrik ve ısı enerjisi ayrı yollardan elde edilmektedir. Tümüleşik enerji sistemlerinden biri olan kojenerasyon ünitelerinde elektrik üretim sisteminde yer alan gaz türbini ve çıkan egsoz gazlarının değerlendirilmesi için türbin çıkışında yer alan, ekserji yıkımının ve enerji kazancının en yüksek olduğu sistem bileşeni atık ısı kazanlarıdır. Atık ısı kazanlarının ısıl tasarımını etkileyen parametreler ve bu parametrelerden etkilenen verim ve amortisman değerleri incelenmiştir.

Çalışmada, farklı kazan çaplarında, farklı boru çapı ve adetleri ile tasarlanmış duman borulu atık ısı buhar kazanı incelenmiştir. Tez çalışması ile aynı kazan çapında daha verimli kazanların imalatının gerçekleştirilebileceği ve amortisman sürelerinin verim artışına göre daha az yükseldiği hesaplanmıştır.

Çalışmada yapılan hesaplamalar sonucunda; sistem sınırlamalarına uygun olarak tasarımı yapılan atık ısı kazanında, 3800mm ölçüsündeki atık ısı kazanı dış çapı içerisinde, 2650 adet 33,4mm dış çapa sahip boru ile yapılan ısıl tasarımda enerji verimi 96,53%, ekserji verimi ise 70,80% olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji analizi, Kojenerasyon Ünitesi, Ekserji Analizi, Termodinamik Analiz

2020, 70 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Thermal Design and Energy, Exergy, Economic Analysis of Boiler in Gas Engine or Gas Turbine Outputs in Cogeneration Units.

Yiğit ERDOĞMUŞ

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Leyla ÖZGENER

In conventional methods, electricity and heat energy are obtained in separate ways. In cogeneration units, which are one of the integrated energy systems, the gas turbine in the electricity generation system and the waste heat boilers are the system component at the turbine output where Exergy destruction and energy gain is highest for the evaluation of exhaust gases. The parameters affecting the thermal design of waste heat boilers and the efficiency and depreciation values affected by these parameters were examined.

In the study, waste heat steam boiler with smoke pipe designed with different boiler diameters and different pipe diameters and sizes were examined. With the thesis, it was calculated that more efficient boilers could be produced in the same boiler diameter and depreciation times increased less than yield increases.

As a result of the calculations in the study; which is being designed in accordance with the limitation of the system in the waste heat boiler, waste heat boiler measure 3800mm outer diameter within a pipe with an outer diameter of 33.4 mm to 2650 pieces made with thermal design energy efficiency 96,53%, Exergy efficiency with 70,80% was calculated.

Keywords: Energy Analysis, Cogeneration Plant, Exergy Analysis, Thermodynamic Analysis

2020, 70 pages

1. GİRİŞ

Dünyanın en önemli problemi olma potansiyeline sahip enerji konusunda, ülkemizin dışa bağımlılığı yüksek seviyededir. Gün geçtikçe artan nüfusa bağlı olarak ve ihtiyaç duyduğumuz teknolojilerin sağlanması için enerji kullanımımız gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca kullandığımız enerji türlerinin büyük bir kısmı küresel ısınmaya neden olduğunu da düşündüğümüzde, enerjiyi gerektiği kadar ve verimli olarak kullanmamız gerekmektedir.

Sanayi ve ticari bina kuruluşlarının enerji ihtiyacının karşılanması için enerji tüketimleri yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu işletmelerde elektrik enerjisinin yanı sıra sıcak su, buhar gibi termal enerji ihtiyaçları; sanayi kuruluşlarında proses gereği, ticari bina işletmelerinde de konfor gereği oluşmaktadır. Bu iki enerji türü kojenerasyon tesisleri ile aynı anda üretim imkanını mümkün kılar. Genel yapıları fosil yakıt ile güç elde edilip elektrik üretimi sağlanan bir ünite ve bu ünitenin atık enerjisi olan egzoz gazının geri kazanılması için kullanılan, kazan sisteminden oluşmaktadır.

Ersayın ve Özgener (2014), bir kombine çevrim güç tesisinin performans analizini gerçek çalışma verisine göre yapmış ve tesisi termodinamiğin I. ve II. yasalarına göre incelemiştir [1].

Kaya, Duymaz, İmal (2016), çalışmalarında Türkiye’de çalışmakta olan Kahramanmaraş Kağıt San. ve Tic. A.Ş. bünyesindeki Kojenerasyon Tesisinin enerji ve ekserji analizlerini yaparak elde edilen sonuçları değerlendirmiştir [2].

Aljundi (2009), mevcut bir güç santralının enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, sistemin her bir ünitesinin ayrı ayrı olarak enerji ve ekserji kayıplarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, analizler üzerine çevre şartlarının etkisini de sunulmuştur [3].

Coşkun (2017), Aliağa Gaz Türbinleri ve Kombine Çevrim Santraline termodinamiğin I. ve II. yasaları aracılığıyla, enerji ve ekserji analizi uygulamıştır. Santralin akış şemasına bağlı olarak her bir ünitenin giriş ve çıkış noktaları belirlenmiştir. Bu noktalarda ölçümler gerçekleştirilmiştir ve yapılan hesaplamalar

sonunda santralin I. ve II. yasa verimleri sırasıyla % 32.8 ve % 43.4 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak; her bir üniteye enerji ve ekserji analizleri uygulanarak santralde en fazla ekserji yıkımının sırasıyla yanma odası, ısı kazanı, yoğuşturucu, ünitelerinde olduğu, diğer ünitelerde ise ekserji yıkımının düşük bir şekilde meydana geldiği belirlenmiştir [4].

Yakup (2018), motor içindeki yanmayı (yanma odası), oluşturduğu yazılımla modellemiştir. Yanma, ideal gaz durumunda termodinamik özellikleri hesaplamak için modellenmiştir [6].

Onur (2014), tezinde, kurulmakta olan güç santrali (Ege Elektrik Üretim A.Ş.) için ekserji analizi yapmış ve ASPEN Plus simülasyon programı kullanılarak ısı ve güç entegrasyonunun, farklı basınç kademeli atık ısı kazanlarındaki performanslarını değerlendirmiştir [7].

Serkan (2006), Bursa'da kurulu BOSEN enerji santrali üzerinde atık ısı kazanım tesisinden alınan gerçek işletme verilerini kullanarak enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Santralde her ünitenin giriş ve çıkışlarındaki enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlere bağlı olarak kayıp enerji ve ekserji değerleri belirlenmiştir. Ekserji kayıpları akış, yanma ve baca gazlarından olduğu düşünülmüş ve her bir ünitenin enerji ve ekserji kayıpları birbirleriyle karşılaştırılmıştır [8].

Ahmet (1999), yaptığı çalışmada; enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtlar içinde doğal gazın önemli bir paya sahip olduğunu belirtmiştir. Gaz türbini teknolojisindeki gelişmelerden dolayı yüksek verime ulaşan doğal gaz yakıtlı kombine çevrim santralleri son yıllarda dünyada en yaygın kullanılan güç santralleri haline gelmiştir. Kombine çevrim santrallerinde çevrim yapısının optimizasyonu, enerji ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu santrallerin enerji ekonomisi yönünden uygun sistem yapısının belirlenmesi, termodinamik açıdan, verimi artıracak parametrelerin, optimum değerlerinin bulunması yanında, parametrelerin değişiminin, yatırım ve işletme masrafları üzerindeki etkilerinin de dikkate alınması ile mümkündür. Karmaşık bir yapı gösteren kombine çevrim santrallerinin tasarım ve işletme parametrelerinin, belirtilen ekonomik değerler üzerindeki etkilerinin analizi, büyük

bilgi birikimi gerektirdiğinden termodinamik parametrelerde meydana gelecek değişikliğin, yatırım ve yakıt dıőı işletme masrafları üzerinde yapacağı etkinin belirlenmesi bu çalıőmanın kapsamı dıőındadır. Belirtilen sebeplerden dolayı bu çalışmada, çok basınçlı kombine çevrim santralı çevrim yapısı tasanmı öngörülen santral kapasitesine göre yapılmış ve verim üzerindeki etkili parametreler ele alınarak incelenmiştir. Ayrıca çalışmada buhar türbinine üç ayrı basınçta buhar sağlayan atık ısı kazanı tasarımı gerçekteőtirilmiőtir [9].

Beyza Nur (2018), çalışmasında; Kahramanmaraş'ta bulunan bir tekstil fabrikasının buhar ve elektrik ihtiyacını karőılamak amacıyla kurulmuő bir kojenerasyon tesisinin enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Yapılan analizlerde, sistemde bulunan ünitelerin birbirleriyle ve çevreyle olan etkileőimleri incelenerek performans değerlendirilmesi gerçekteőtirilmiőtir. Yakıt olarak doğalgaz kullanılan kojenerasyon tesisinde, içten yanmalı bir motor sayesinde elektrik üretilmektedir. Motordan çıkan baca gazlarının ısısı, bir atık ısı kazanına aktarılarak buhar üretilmektedir [10].

Çalışıcı'nın (2005), çalışmasında kojenerasyonun tanımı, tarihsel gelişimi, çeşitleri ve hangi ünitelerden oluştuğu bilgileri verilmiştir. Kojenerasyon sistemlerinin çalışma şekli, kurulabileceği yerler üzerinde durulmuştur. Sistemde kullanılan yakıtlar anlatılmıő ve yapılan enerji ve ekserji analizleri sonucunda, kojenerasyon tesisinin enerji kaybı 13098.7 kW, enerji verimi %68.9, ekserji kaybı 7018.74 kW ve ekserji verimi %56.48 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verim ifadelerini, üretici firma tarafından hazırlanan katalogdaki verim ifadeleri ile karőılaőtırmıőtır. Kojenerasyon tesisinde enerji veriminin en yüksek olduğu ünite %99.76 ile 2 numaralı su devir daim pompası (P2) ve en düşük olduğu ünite %3.8 ile ekonomizerdir. Ekserji veriminin en yüksek olduğu ünite, %96.91 ile P2 ve en düşük olduğu ünite %3.33 ile ekonomizer olmuőtur. Kojenerasyon tesisinde, en yüksek enerji ve ekserji kaybının 8083.42 kW ile turboşarj ünitesinde meydana geldiği görölmüőtür. Enerji kaybının en düşük olduğu ünite, 2.2 kW ile 3 numaralı devir daim pompası (P3) ve ekserji kaybının en düşük olduğu ünite 2.18 kW ile 4 numaralı su devir daim pompası (P4) olmuőtur [10].

Analizleri yapılan kojenerasyon tesisinde, enerji ve ekserji kaybının motorda ve motora bağlı sistemlerde (Turboşarj (Tş)), ısı değiştiricilerde (ID) ve atık ısı kazanında (AIK) yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [10].

Enes Hakan (2018), çalışmasında; geleneksel yöntemlerde ısınma ve elektrik enerjilerinin, tüketicilere ayrı yollardan sağlandığını belirtmiştir. Ancak kojenerasyon sistemlerinde ise bu durum tek bir sistemden sağlanarak enerji tasarrufu ve verimi sağlanmış olur. Buradan yola çıkararak, bu çalışmada geleneksel yöntemlerle ısınma ve elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanan 19 036,8 m³ ısıtılan hacme sahip, TS 825 standardına uygun  bloklu bir sitenin tasarımı yapılmış, bu sitenin ısıtma sistem kapasitesi 435 kW olarak hesaplanmış, buna uygun bir kojenerasyon sistemi tasarlanarak enerji ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Kojenerasyonlu bu sistemin konvansiyonel merkezi ısıtma sistemine göre yıllık %34 daha tasarruflu olduğu, sistemin 2,9 yılda kendi amortismanını sağladığı belirtilmiştir [11].

Akdeniz, (2007) alışmasında Süleyman Demirel niversitesi kampüsünün elektrik ihtiyacının karşılanması amacı ile 10 MW'lık bir gaz türbinli kojenerasyon sistemi ngrlmş ve sistem bileşenleri için termodinamik analizler yapılmıştır. Fiziksel ve kimyasal ekserjilerle birlikte ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Sistemde yok edilen ekserjiler yanma odası için 8,5503 MW, atık ısı kazanı için 2,5103 MW, gaz türbini için 1,0068 MW, hava n ısıtıcısı için 0,8873 MW, kompresör için 0,7224 MW olarak bulunmuştur. Sistemin toplam ekserji verimi % 48,61 olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda birbirine alternatif oluşturabilecek iki gaz türbinli kojeneratr için maliyet analizleri yapılmış ve bulunan tasarruf miktarları 2 814 212,00 TL ve 5 159 381,00 TL olarak paylaşılmıştır [32].

Arda'nın, (2009) alışmasında kojenerasyon sistemlerindeki gaz motorları incelenmiş, gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin seçim kriterleri, atık ısı kazanımı metotları, trijenerasyon konularına değinilmiştir. rnek bir gaz motorunun tüm alt bileşenleriyle birlikte termodinamik analizleri yapılmıştır [33].

akır'ın (2016) alışmasında kojenerasyon sistemlerinin tanımı, tarihsel gelişimi, çalışma prensibi, eşitleri, kullanılan yakıtlar, ekonomik uygulanabilirlik

konularına değinilmiş Mikro gaz türbinleri ve boru lamelli ısı değıştiricilerin yapıları hakkında bilgiler verilmiştir. Mikro gaz türbini 300 kW'ın altında enerji üretebilen yeni bir gaz türbini teknolojisi olduğu ve bu düşük enerji kapasitesi nedeniyle işyerlerinde ve konutlarda kullanılmasının uygunluğundan bahsedilmiştir. Boru lamelli ısı değıştiricilerin avantaj ve dezavantajları anlatılmıştır. Sistemin Akdeniz bölgesi gibi ısıtma ihtiyaçlarının az olduğu yerlerde yaklaşık 10 yılda kendini amorti ettiği belirtilmiştir [34].

Çalışıcı'nın (2005), çalışmasında kojenerasyonun tanımı, tarihsel gelişimi, çeşitleri ve hangi ünitelerden oluştuğu bilgileri verilmiştir. Kojenerasyon sistemlerinin çalışma şekli, kurulabileceği yerler üzerinde durulmuştur. Sistemde kullanılan yakıtlar ve sistemde atık ısının kullanılma metotları anlatılmıştır. Kojenerasyon sistemleri, klasik sistemlerle kıyaslanmış ve ekonomik uygulanabilirliği üzerinde durularak ülkemizdeki yerinin yeterli düzeye gelemediği vurgulanmıştır. Kojenerasyon sistemlerinin birincil yakıtlarla ilgili girilebilecek bir enerji darboğazına karşı bir çözüm olabileceği belirtilmiştir [35].

Çınar'ın (2011) katı oksit yakıt pili kojenerasyonunun konutlarda uygulanmasını ele alan çalışmasında, yakıt pilleri hakkında bilgiler yer almakta, alt bileşenleri, çeşitleri, avantaj ve dezavantajları belirtilmektedir. Yakıt pillerinin çalışma sıcaklıklarına göre düşük sıcaklık (25-100 °C), orta sıcaklık (100-500°C) ve yüksek sıcaklık (500-1000°C) olmak üzere üçe ayrıldığı belirtilmiştir. Kullanılan elektrolite göre ise; alkali yakıt pili (AYP), fosforik asit yakıt pili (FAYP), erimiş karbonat yakıt pili (EKYP), katı oksitli yakıt pili (KOYP), polimer elektrolit membranlı yakıt pili (PEMYP), doğrudan metanol yakıt pili (DMYP) ve sodyum bor hidrüllü yakıt pili (SBHYP) olarak çeşitlere ayrıldığı anlatılmıştır [36].

Yakıt pillerinin avantajlarını ise, yüksek verimli olması (%40-55 arası), şebekeden bağımsız elektrik üretimi gerçekleştirmesi, sistemde hareketli parça ve proses olmaması, modüler yapıda olması, kojenerasyona uygun olması, hızlı devreye girmesi olarak aktarılmıştır. Sistemin dezavantajları ise yüksek maliyetli olması, boyut ve ağırlık problemi, yüksek sıcaklıklarda malzeme seçim problemi, yeni bir teknoloji

olması, yakıt üretim, depolama ve dağıtım problemlerinin aşılabilmesi olarak sıralanmıştır [36].

Ayrıca kojenerasyon uygulamasına uygun yakıt pili seçimi anlatılmaktadır. 30 daireli örnek bir binada yakıt pillerinin kullanımını ele alınmış ve bunun üzerine maliyet analizleri yapılmıştır. İşletme maliyeti olarak alternatif kojenerasyon sistemlerine göre %35 daha avantajlı olduğu ve 500 000 adet üretim için üretim maliyetlerinin aşağı çekilmiş haliyle sistemin 2,2 yılda kendini amorti ettiği sonucuna ulaşılmıştır [36].

Doğan'ın (2010) doktora tez çalışmasında kojenerasyon tesisleri üzerindeki ısı ve elektrik yükünün olasılıksal dinamik programlamayla planlanması ele alınmaktadır. 2008 yılı verilerine göre dünyadaki ısı ve elektrik tüketiminin %10'u Türkiye'nin ise %4'ünün kojenerasyon sistemleriyle karşılandığı belirtilmiş, elektrik piyasası ve yapısı ile ilgili bilgiler aktarılmıştır. Olasılıksal yük planlanması termoeconomik olarak incelenmiş ve kullanılması durumunda karar vericiler için yardımcı bir uygulama olacağı sonucuna varılmıştır [37].

Duymaz'ın (2016) çalışmasında Kahramanmaraş ilinde yer alan bir kojenerasyon tesisi termodinamik olarak incelenmiştir. Her bir alt ünitenin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. En yüksek ekserji kaybının olduğu ünitenin %87,3 oranla kazan olduğu tespit edilmiştir [38].

Ener'in (2006) "Örnek bir işletmede kojenerasyon tesisi uygulaması" adlı yüksek lisans tez çalışmasında kojenerasyonun tanımı, kullanılan yakıtlar ve kojenerasyonun diğer parametreleri hakkında bilgiler verilmiş, Avrupa ve Türkiye'deki kojenerasyon uygulamalarından bahsedilmiştir. Örnek bir işletme için enerji giderleri ve bunu karşılayacak bir kojenerasyon sistemi seçimi üzerinde durulmuştur. Bu sistemin 4,5 MW kapasitesinde gaz motorlu bir kojenerasyon sistemi olarak seçilmesi öngörülmüştür. İşletmenin gelecekte büyümesi durumunda gelecekteki enerji sarfiyatları da göz önünde bulundurulduğunda ise yaklaşık 5,5 MW kapasitesinde bir gaz motorunun seçilmesinin daha uygun olacağı belirtilmiştir [39].

Ilık'ın (2012) çalışmasında doğalgaz ile çalışan bir trijenerasyon sistemi incelenmiştir. Sistemin enerji ve ekserji analizi yapılırken sistemin her bir alt bileşeni için entropi üretimi, entropi kaybı ve ikinci kanun verimleri hesaplanmıştır. Isıtma tarafında en fazla ekserji kaybının % 32 ile yoğunlaştırıcı ünitesinde olduğu saptanmıştır. Soğutma tarafında ise en fazla ekserji kaybı % 37 ile kondenser ünitesi olarak bulunmuştur [40].

Şah'ın (2009) çalışmasında mikro türbinler hakkında bilgiler verilmiş, alt bileşenleri ve çalışma prensiplerine değinilmiştir. Konutlarda mikro türbin uygulamaları için 4 farklı bölgede 4 il seçilmiştir. Bu iller Antalya, İstanbul, Erzurum ve Ankara'dır. Örnek 5 katlı, 10 katlı ve 15 katlı binalar için ısıtma ihtiyacı ve kullanım suyu ısıtması için toplam enerji ihtiyacı bulunmuştur. C30 mikro türbinin bu binalara kullanılması durumunda ki finansal analizlere yer verilmiştir. 4 bölge için daire sayısına göre karlılık oranları grafiksel olarak paylaşılmıştır. Tüm bölgelere göre varılan karşılaştırmalı sonuçlar sunulmuştur. Sonuçlar ve sistem optimizasyonu aşağıdaki gibi özetlenmiştir [41].

Referans çalışmaların incelenmesi sonucu, üniteyi oluşturan elemanlar arasında en fazla ekserji yıkımının gerçekleştiği ekipman atık ısı kazanlarıdır. Tez konumuz olan kojenerasyon sistemleri gerek proses anlamında gerek enerji maliyeti nedenlerinden dolayı kullanım yüzdesi yüksek olan sistemlerdendir. Neredeyse hiç durmadan çalışan bu sistemlerin verimi oldukça önemlidir. İmalatı yapılacak olan bir kazanın ısı tasarımını oluşturan parametreler ile optimum değerlerin yakalanması ve bu tasarımın enerji analizlerini gerçekleştirmek bu tezin ana hedefi olacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

Kojenerasyon sistemleri diğerk bir ifadeyle birleşik ısı güç sistemleri tek yakıt girdisi ile elektrik ve ısı olmak üzere iki farklı enerji türünün üretilmesini sağlayan sistemlerdir.

Elektrik enerjisi üretimiyle eş zamanlı ortaya çıkan ısı enerjisinin etkin bir şekilde kullanımı söz konusu olduğunda yaklaşık 100 birimlik bir yakıt girdisi için toplamda yaklaşık 85-90 birimlik bir enerji çıktısı elde edilerek yaklaşık yüzde 85-90 mertebelerindeki verimlerde çalışmak mümkün olmaktadır. Böylece her iki enerji türünün ayrı ayrı üretilmesi ile çok daha verimli bir tablo ortaya çıkmaktadır.

Sistemden elde edilen termal enerjinin başlıca kullanım alanları arasında; farklı amaçlara yönelik endüstriyel proses ısılarının karşılanması, konut, avm, otel, hastane, havalimanı gibi yapıların ısıtılması hatta absorpsiyonlu soğutma sistemleri vasıtasıyla soğutulması bulunmaktadır.

Birim enerji girdisine karşılık konvansiyonel sistemlere nazaran alınan enerjinin yüksek değerlerde olması sistemin aynı zamanda düşük CO₂ salınımları ve diğerk çevresel etkiler bakımından da avantajlı kılmaktadır. Üretilen enerjinin şebekeye bağlanamaması yerine yerinde tüketilmesi durumunda, şebeke kayıpları ve iletim hattı kullanım bedelleri yer almamaktadır. Ayrıca, sistemin yatırım geri dönüşü bakımından ve prosedürel süreçlerin tamamlanması bakımından da daha avantajlı olabilmektedir [11].

Kojenerasyon sistemlerini kabaca 3 ana başlıkta ele alabiliriz. Bunlar,

- Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemleri
- Buhar Türbinli Kojenerasyon Sistemleri
- İçten Yanmalı Motorlu Kojenerasyon Sistemleri

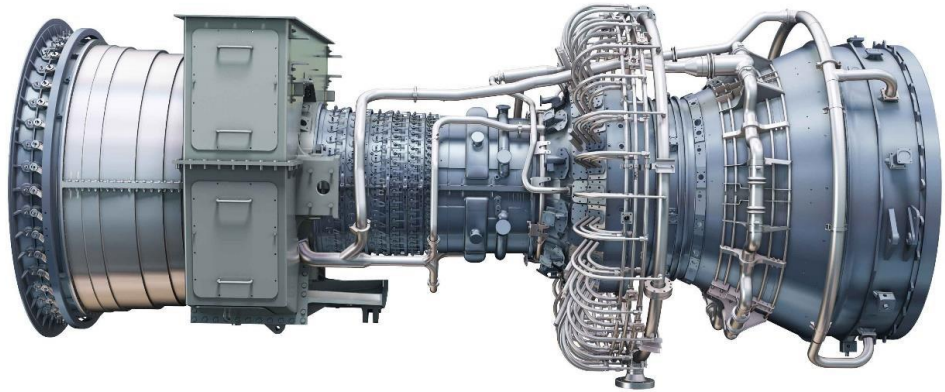
Şeklindedir.

Tez konusu olan gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde kullanılan gaz türbini çalışma prensibi şu şekildedir.

Gaz türbini de bir içten yanmalı motordur. Yakıtın kimyasal enerjisini mekanik enerjiye çevirir. Başlıca bölümleri kompresör, yanma odası, türbin, şaft ve çıkış nozullarıdır [11].

Çalışma prensibini incelediğimizde öncelikli olarak gerçekleşen iş, kompresör bölümüne gelen taze havanın içindeki tüm molekülleriyle birlikte sıkışmaya başlamasıdır. Bu sıkışma nedeniyle havanın sıcaklığı artar. Daha sonra yakıt ilave edilerek yakma işlemi gerçekleştirilir. Oluşan genişleme ve yüksek basınç türbin kanatçıklarında yakalanarak türbin şaftının yüksek devirlerde dönmesini sağlar. Böylece kimyasal enerji mekanik enerjiye dönüştürülmüş olur. Jeneratöre bağlı olan şaft jeneratörün dönmesini sağlar. Dönme hareketiyle mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşür [11].

Gaz türbinleri çeşitli sınıflarda tanımlamak mümkündür. Örneğin kullanılan parçalara göre sınıflandırmak gerekir ise; basit gaz türbinleri, rejeneratörlü gaz türbinleri, ara soğutuculu gaz türbinleri, ara ısıtıcılı gaz türbinleri, kompleks gaz türbinleri şeklinde sınıflandırılabilir. Bunun yanısıra şaft sayısına ve tasarımına göre tek şaftlı gaz türbinleri, çok şaftlı gaz türbinleri; akış yönüne göre, seri akışlı gaz türbinleri, paralel akışlı gaz türbinleri; çevrim tipine göre açık çevrimli gaz türbinleri, kapalı çevrimli gaz türbinleri olarakta sınıflandırılmaktadır. Şekil 2.2.1’de gaz türbini gösterilmiştir [11].



Şekil 2.2.1 Gaz Türbini [11]

Kojenerasyon ünitelerinde, atık ısının geri kazanıldığı, fayda sağlanacak enerji dönüşümünü sağlayan, atık ısı kazan üniteleri yer almaktadır. Bu üniteler birçok çeşitte yer almaktadır.

Atık ısı kazan üniteleri, kazan tipine göre

- Duman borulu atık ısı kazanları
- Su borulu atık ısı kazanları

Olarak 2'ye ayrılırlar.

Isı taşıyıcı akışkan tipine göre,

- Sıcak su kazanları
- Kızgın su kazanları
- Buhar kazanları
- Kızgın yağ kazanları

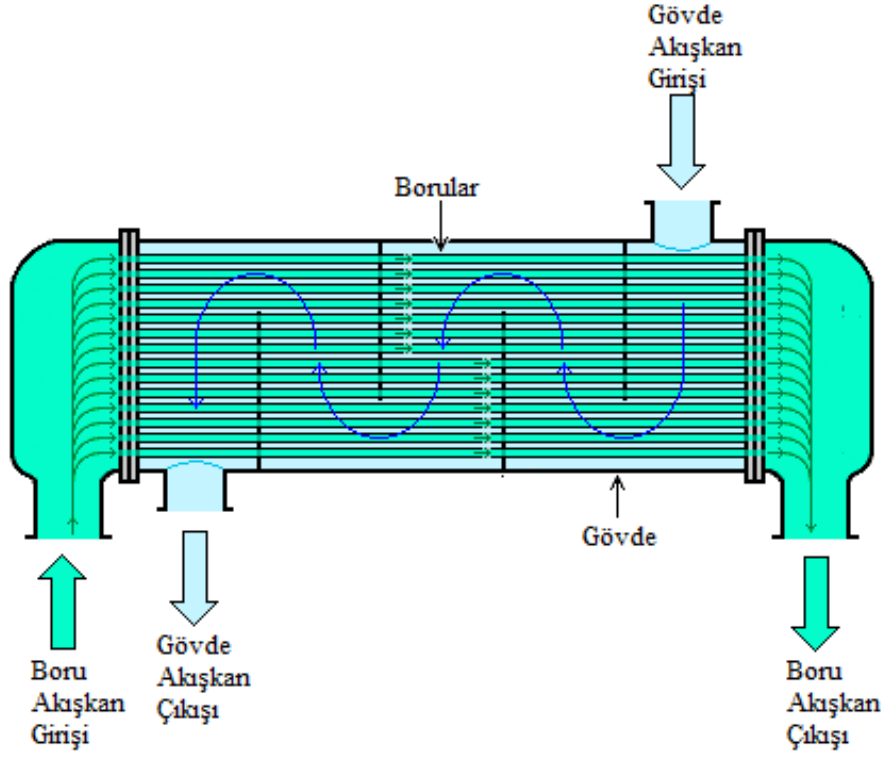
Şeklinde 4'e ayrılırlar.

Tez konumuzda incelenen ve optimum kazan parametrelerinin oluşturulmasında üzerinde çalışacağımız kazan tipi, duman borulu buhar kazan ünitesi olacaktır.

Duman borulu buhar kazanı ünitelerinde, optimum değerlerin sağlanması planlanan parametreler,

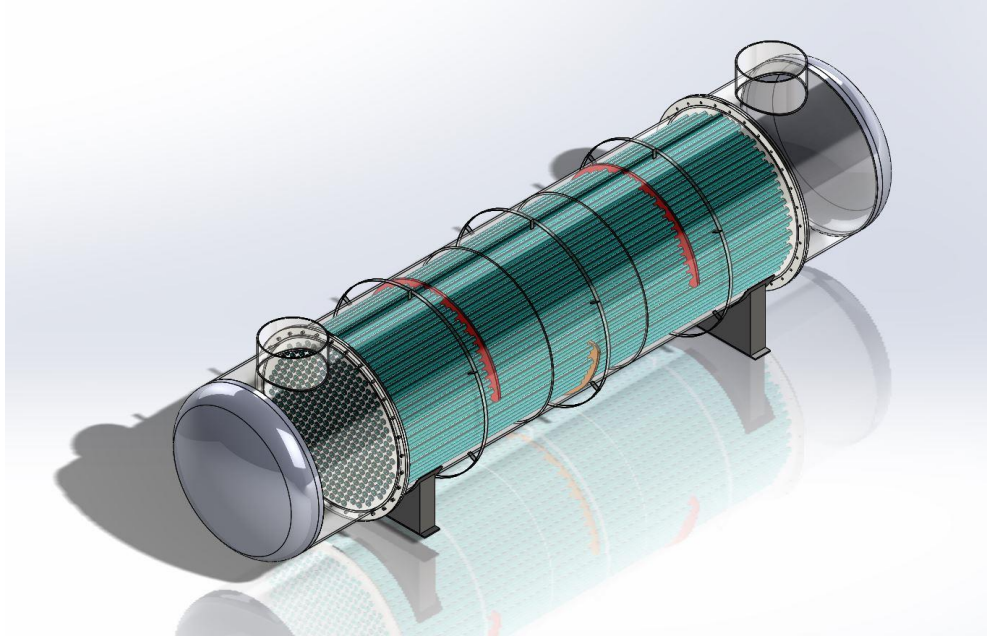
- Boru çapı
- Boru adeti
- Boru adetine bağlı olarak kazan çapı

Şekil 2.2.2'de ısı eşanjörünün akış tipini gösteren bir şema bulunmaktadır.



Şekil 2.2.2 Atık Isı Kazanı Akış Şeması [5]

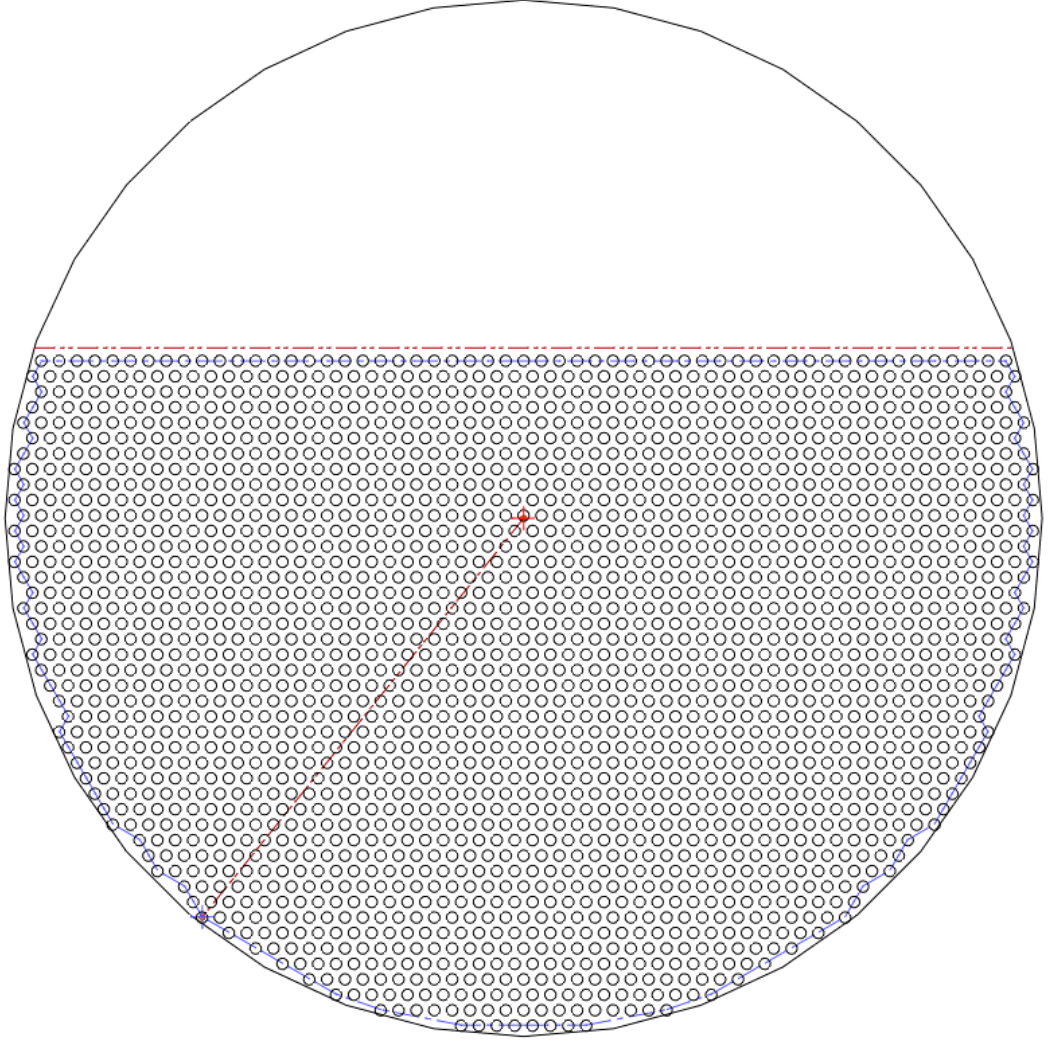
Şekil 2.2.3'te örnek olarak boru yerleşimi ve uzunluğunun görüldüğü kesit görünümü alınmış ısı değıştircisi görüntüsü yer almaktadır.



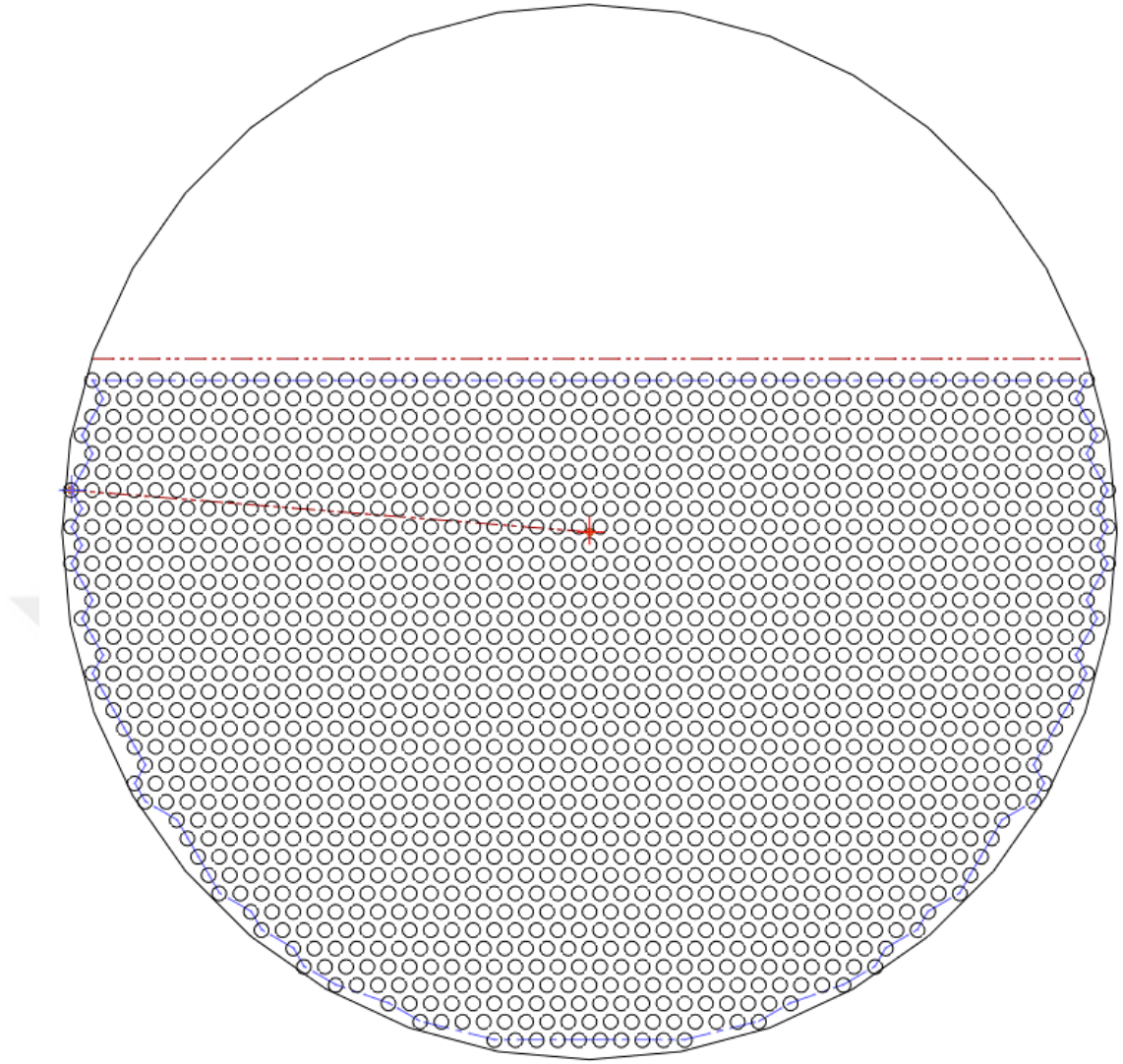
Şekil 2.2.3 Atık Isı Kazanı Model Görüntüsü [42]

Şekil 2.2.4, Şekil 2.2.5 ve Şekil 2.2.6'da aynı kazan dış çap ölçüsüne yerleştirilmiş, farklı boru çaplarının yerleşimine kesit görüntüleri yer almaktadır.

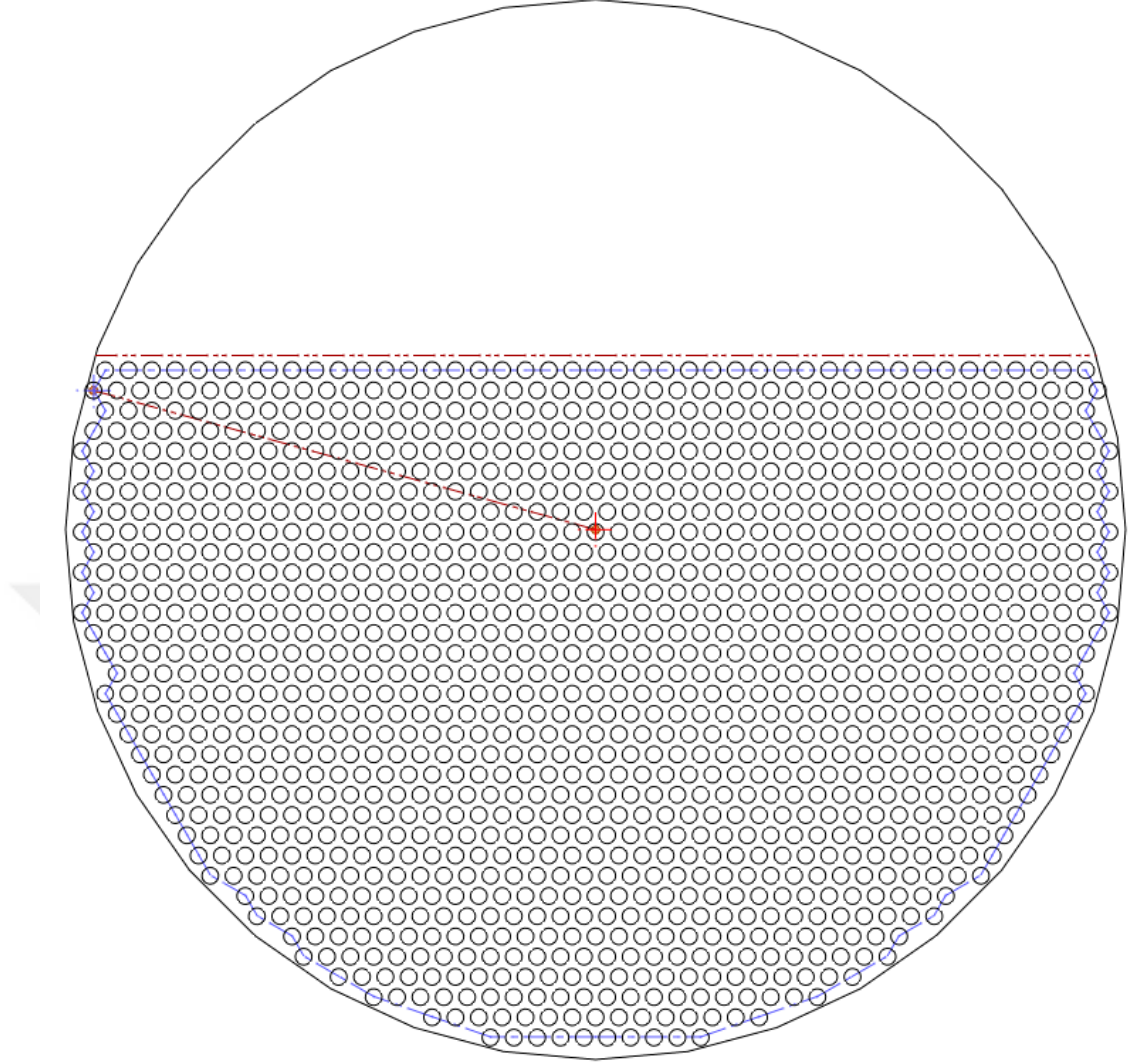
Görseller sırasıyla; 3400mm dış çap ölçüsüne sahip bir kazan içerisine, boru dış çap ölçüsü 33,4mm, 42,2mm, 48,3mm olan boru demetlerinin yerleşimini göstermektedir.



Şekil 2.2.4 33,4mm Çapında 2100 Adet Boru Demetinin 3400mm Çapında Yerleşiminin Kesit Görünümü



Şekil 2.2.5 42.2mm Çapında 1550 Adet Boru Demetinin 3400mm Çapında Yerleşiminin Kesit Görünümü



Şekil 2.2.6 48.3mm Çapında 1250 Adet Boru Demetinin 3400mm Çapında Yerleşiminin Kesit Görünümü

Aynı çapta bir kazan içerisine farklı boru çapları ve hatve değerleri ile farklı adetlerde boru yerleşimi yapmak mümkün olduğu görülmüştür.

Tez sonuçları ile yukarıdaki şekillerde verilen yerleşimlerdeki; farklı boru çapını, adedini ve uzunluğunun değerlendirilerek sistem sınırlamalarına uygun kazan tasarımı yapılarak optimum değerlerin bulunması hedeflenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

Yapılan tez çalışması kapsamında tasarımı yapılan sistemin verimliliğini belirlemek amacıyla enerji ve ekserji analizleri yapılması gerekmektedir. Bu analizler yapılırken termodinamik yasalar ve bağıntılardan yararlanır. Enerji analizleri için termodinamiğin birinci yasası temel alınırken ekserji analizlerinde ise termodinamiğin hem birinci hem de ikinci yasaları birlikte ele alınır. Bölüm 3.2’de bu yasalar ile ilgili korunum denklemleri detaylı bir şekilde verilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kütle ve Enerji Korunumu

Bu bölümde Kütlenin Korunumu Yasası, Termodinamiğin Birinci Yasası ve Termodinamiğin İkinci Yasası ve bunlara ait enerji denklemleri ele alınmıştır.

3.2.1.1. Kütlenin korunumu yasası

Kontrol hacimleri için kütlenin korunumu ifadesi kullanılmalıdır. Kütlenin korunumu ifadesi

$$\begin{array}{ccc} \text{Kontrol} & & \text{Kontrol} \\ \text{Hacmine Giren} & - & \text{Hacminden Çıkan} \\ \text{Toplam Kütle} & & \text{Toplam Kütle} \end{array} = \begin{array}{c} \text{Kontrol Hacmi} \\ \text{İçerisindeki Toplam} \\ \text{Kütle Değişimi} \end{array}$$

Şeklindedir.

Birim zamanda belirli bir kesitten geçen kütle miktarı kütleli debi olarak bilinir ve m ile gösterilir. Kütleli debinin belli bir A_c giriş kesitine sahip belli bir boru ya da kanal için değişimi ve hesaplanması;

$$\dot{m} = \int_{A_c} \delta \dot{m} = \int_{A_c} \rho V_n dA_c = \rho V_{ort} A_c \text{ (kg/s)} \quad (3.1)$$

Denklemleri ile bulunabilir [12].

3.2.1.2. Termodinamiğin 1.Yasası

Enerjinin korunumu ilkesinin termodinamik olarak ifadesidir. Enerji sistem sınırlarından ısı ve iş olarak geçebilir. Bir işlem sırasında sistemin toplam enerjisindeki net değişim, giren toplam enerji ve çıkan toplam enerji arasındaki farktır. Bu ilişki enerji dengesi olarak bilinir. Bu noktadan hareketle Termodinamiğin birinci yasası için enerji dengesi;

$$E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta E_{sistem} \quad (3.2)$$

Denklemleriyle ifade edilir [12].

3.2.1.3. Termodinamiğin 2. Yasası

Termodinamiğin 2.yasası hal değişimlerinin herhangi bir yönde değil, belirli bir yönde gerçekleştirilebileceğini belirtir. Hal değişimlerinin gerçekleşebilmesi için Termodinamiğin 1. ve 2. yasalarını sağlaması gerekmektedir. Aksi takdirde hal değişimleri gerçekleşmez. Eğer bir hal değişimi gerçekleştikten sonra hem sistem hem de çevre ilk hallerine geri döndürülebilirse, hal değişimi tersinirdir ideal bir durumdur. Fakat diğer tüm hal değişimleri tersinmezdir. Sistem ve çevre tekrar ilk haline döndürülemez. Örneğin sürtünme, sanki dengeli olmayan genişleme veya sıkıştırma ve sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi hal değişimleri tersinmezdir [12].

Entropi bir sistemin mikroskobik düzeyde düzensizliğinin nicel bir ölçüsüdür. Sistemdeki düzensizlik arttıkça, sistemin entropisi de artar, yani sistemin faydalı iş verme kabiliyeti de azalır [12].

Clarius eşitsizliği termodinamiğin 2. Kanununun bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Entropi kavramı ise bu eşitsizliğin bir sonucudur.

$$\int \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (3.3)$$

Denklemdaki Q ısı transferini ve T ise mutlak sıcaklığı ifade etmektedir. Entropi S olmak üzere,

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içtentr} \quad (3.4)$$

şeklinde tanımlanır. Entropiyi iki durum arasındaki entropi değişimini göstermesi açısından

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içtentr} \quad (3.5)$$

şeklinde ifade etmek mümkündür [12].

Denklemin 3.8 entropinin artışı ilkesi olarak ifade edilir. Denkleminde eşitlik durumu içten tersinir hal değişimleri, eşitsizlik durumu ise tersinmez hal değişimleri için geçerlidir.

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad (3.6)$$

Diğer bir ifadeyle

$$S_{üretim} = \Delta S_{toplam} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{çevre} \geq 0 \quad (3.7)$$

şeklinde gösterilir. Entropi üretiminin sıfırdan küçük olması mümkün değildir. Entropideki toplam değişim ise

$$\Delta S_{toplam} = m(S_2 - S_1) + \sum \frac{Q_R}{T_R} \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilir.

Bir kontrol hacmindeki entropi üretimi kontrol hacmindeki ısı transferinin, entropi değişiminin ve kütle akışının bir sonucudur. Entropi üretimini ifade eden denklem 3.10'da gösterilmiştir. Denklemden Q_R ısı kaynağından birim zamanda transfer edilen ısıyı, T_R ısı kaynağının sıcaklığını ifade etmektedir.

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\zeta s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g + \frac{dS_{KH}}{dt} + \sum \frac{Q_R}{T_R} \quad (3.9)$$

Sürekli akışlı dengeli açık sistem için birim zamanda entropi üretimi denklem 3.10'da

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = (S_2 - S_1)_{KH} + \sum \dot{m}_\zeta s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g + \sum \frac{Q_R}{T_R} \geq 0 \quad (3.10)$$

Sürekli akışlı açık sistem için birim zamanda entropi üretimi ise denklem 3.11'de gösterildiği şekilde ifade edilir.

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\zeta s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g + \sum \frac{Q_R}{T_R} \geq 0 \quad (3.11)$$

Sadece çevreyle ısı alışverişinde bulunan tek akışlı ve akışlı açık sistem için denklem,

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(S_\zeta - S_g) + \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} \geq 0 \quad (3.12)$$

şeklinde sadeleştirilebilir [12].

3.2.2. Ekserji Kavramı

Bu bölümde Ekserji, Tersinir İş ve Tersinmezlik konuları ele alınmış ilgili denklemlerden bahsedilmiştir.

3.2.2.1. Ekserji Tanımı

Gerçek iş, enerjinin korunumu sağlanarak hesaplanabilir. Eğer sistemde hacim değişikliği var ise; çevrenin sisteme veya sistemin çevreye karşı iş yaptığı ortaya çıkar. Bu işe çevre işi adı verilir ($W_{\text{çevre}}$). Ortaya çıkan bu iş P_0 basıncındaki bir akışkan çevreye karşı yapıldığı düşünülürse faydalı iş (W_y) aşağıdaki gibi hesaplanır [12].

$$E_x = W_Y = W - W_{\text{çevre}} = W - P_0(V_2 - V_1) \quad (3.13)$$

3.2.2.2. Tersinir iş ve tersinmezlik kavramları

Çengel ve Boles'un 1996 yılı basımı Termodinamik kitabında tersinir iş ve tersinmezlik kavramları mükemmel seviyede tanımlanmıştır. Buna göre: "Verilen iki hal arasındaki değişim sırasında bir sistemden elde edilebilecek en fazla yararlı iş, tersinir iş (W_{tr}) diye tanımlanır. Bu iş, ilk ve son halleri arasındaki hal değişiminin tümünden tersinir olması durumunda elde edilir. Eğer son hal çevre hali (P_0, T_0) ise, tersinir iş kullanılabilirliğe eşit olur"

Tersinmezlik, tersinir iş W_{tr} ile yararlı iş W_y arasındaki fark hal değişimi sırasındaki tersinmezliklerden kaynaklanır. I ile gösterilir. Kapalı veya açık tüm sistemler için tersinmezlik Süretim toplam entropi üretimi olmak üzere aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$I = W_{tr} - W_y = T_0 S_{\text{üretim}} \quad (3.14)$$

Mühendislik sistemlerinin verimini değerlendirmek için birinci yasa verimi tek başına yeterli bir ölçü olmaz. Birinci yasayla beraber ikinci yasa verim analizi de gerçekleştirilmelidir. İkinci yasa verimi $II \eta$; iş gerçekleştiren bir sistemin iş üretiminin,

aynı başlangıç (giriş) ve son (çıkış) haller arasındaki tersinir hal değişimi geçiren ideal bir sistemin iş değeri ile oranlanmasına denir [12].

İkinci yasa verimi;

$$\eta_{II} = \frac{\text{Sistemden elde edilen ekserji}}{\text{Sisteme sağlanan ekserji}} \quad (3.15)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Ayrıca ısı makineleri veya diğer iş yapan makineler için ikinci yasa verimi:

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{th}}{\eta_{th,tr}} = \frac{W_y}{W_{tr}} \quad (3.16)$$

ile gösterilirken soğutma makineleri veya diğer üzerinde iş yapılan makineler için ise,

$$\eta_{II} = \frac{COP}{COP_{tr}} = \frac{W_{tr}}{W_y} \quad (3.17)$$

olarak kullanılır.

Bir sistemde birim kütle için ekserji değişimi, kapalı bir sistemde Φ ve açık sistemde ψ ile gösterilir. Sıfır (0) indisi çevre halini (P_0, T_0) belirtmek için kullanıldığında birim kütle için ekserji denklemi,

$$\Phi = (u - u_0) - T_0(s - s_0) + P_0(v - v_0) \quad (3.18)$$

iken sürekli akış durumu için,

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; kojenerasyon ünitelerinde kullanılan atık ısı kazanının ısı tasarımını etkileyen parametreler ile, enerji verimliliği analizleri ve ekonomik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler ile tasarım koşullarının, mekanik özelliklerine etkileri belirlenmiştir.

4.1. Sistem Sınırlamaları ve Kabuller

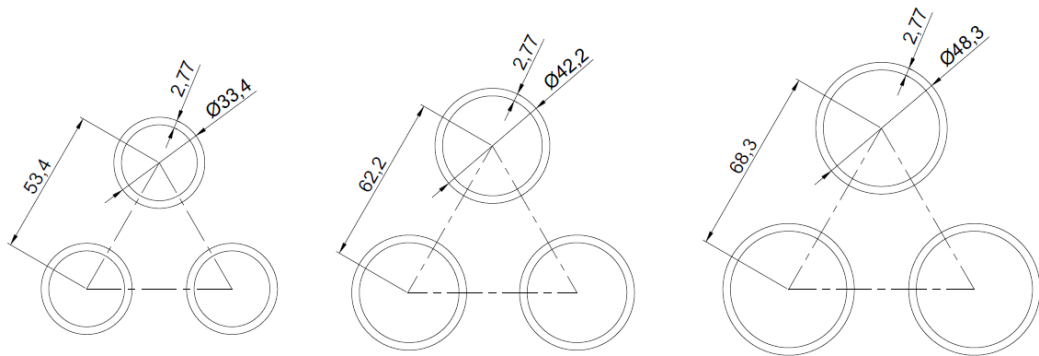
Tez çalışmamızda kullanılacak olan veriler, türbin üreticisi ve imalatçı firma tarafından alınan veriler ile desteklenmektedir. Çalışmada kullanılan sabit veriler ve sınırlamalar aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Sistem sınırlamaları

- Maksimum basınç kaybı $< 25\text{mbar}$
- Kullanılacak olan boru ve hatve ölçüleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.1.1.1 Isıl Tasarımda Kullanılan Boru Ölçüleri

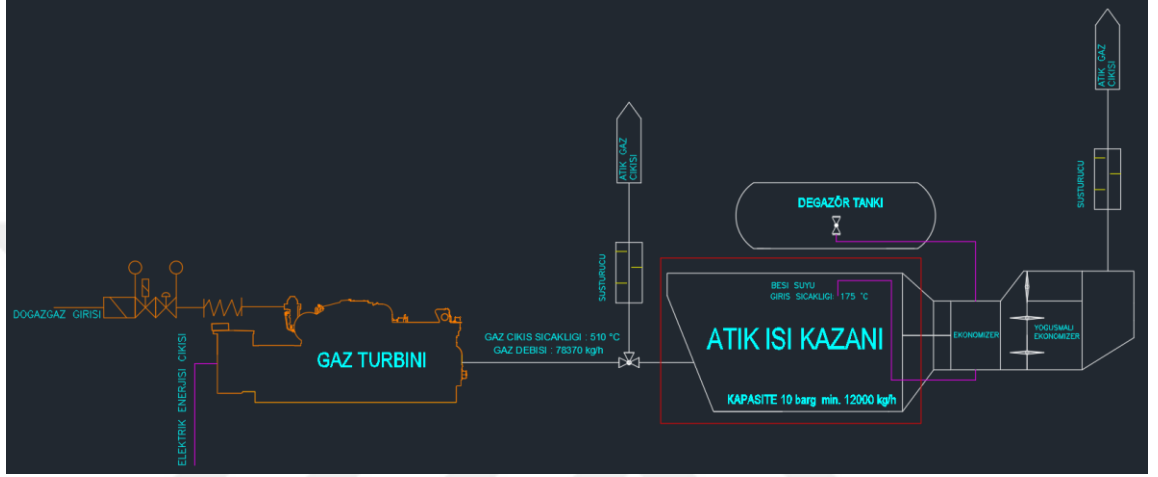
Boru Dış Çapı(mm)	Boru Kalınlığı (mm)	Hatve Ölçüsü (mm)
33,4	2,77	53,4
42,2	2,77	62,2
48,3	2,77	68,3



Şekil 4.1.1.1 Boru Çapları ve Hatve Ölçülerini Gösteren Teknik Çizim

4.1.2. Kabuller

- Araştırmada kullanılan atık ısı kazanı, gaz türbini çıkışında kullanılmak üzere tasarlanmış ve sistem üzerindeki konumu Şekil 4.1.2.1’de verilmiştir. Çalışmada ele alınan konu ile alakalı sistem parçası olan atık ısı kazanı kırmızı çerçeve ile belirtilmiştir.



Şekil 4.1.2.1 Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemi Çalışma Şeması

- Tez çalışmasında kullanmış olduğumuz türbin verileri ve detayları EK. A daki teknik katalogdan kullanılmıştır
- Teknik katalog da yer alan veriler ile, türbin çıkışı yani atık ısı kazanına giren gaz miktarı 510°C sıcaklığında 78.370 kg/h olarak verilmiştir. Bu da 510°C sıcaklığında 21,7694 kg/s değerine denk gelmektedir.
- Yapılan Isıl Hesaplamalar SEGÜ firmasına ait kapalı kaynak kodlu yazılımı ile hesaplanmıştır.
- Atık ısı kazanında izin verilen maksimum basınç kaybı, türbin imalatçısının izin verdiği değer olan 25 mbar olarak kabul edilmiştir.
- Duman gazı içerisindeki gaz kompozisyonu aşağıdaki şekilde kabul edilmiştir.

Tablo 4.1.2.1 Duman Gazı Kompozisyonu

Duman Gazları	Oranlar	Oranlar
CO ₂	0,05	0,0322
SO ₂	0,00	0
N ₂	0,74	0,7531
O ₂	0,17	0,1514
H ₂ O	0,04	0,0633
Toplam	1,00	1,00

- Isıl tasarımı yapılan kazan 10 bar gösterge basıncında, minimum 12.000 kg/h buhar elde edilecek şekilde tasarımı yapılmış ve bu buhar basıncındaki sıcaklığı 184,1°C kabul edilmiştir.
- Atık ısı kazanı besi suyu sıcaklığı 175°C olarak kabul edilmiştir.
- Gaz türbininden elde edilebilecek maksimum ısı miktarı, duman gazı kombinasyonu, giriş gaz sıcaklığı 510°C, doymuş buhar sıcaklığının altında olma ihtimali olmadığı için çıkış gaz sıcaklığı 184,1°C ve gaz miktarı 21,769 kg/s kullanılarak Tablo 4.1.2.2' de hesaplanmış ve 7858 kW olarak hesap tablolarında "a" işaretlemesi ile kullanılmıştır.

Tablo 4.1.2.2 Duman Gazı Isıl Kapasitesi

<i>Duman Gazı</i>			
<i>Debi</i>	<i>kg/s</i>	21.769	
		<i>kg/kg</i>	<i>m3/m3</i>
<i>CO2</i>		0.05	0.0322
<i>SO2</i>		0	0
<i>N2</i>		0.74	0.7531
<i>O2</i>		0.17	0.1514
<i>H2O</i>		0.04	0.0633
	<i>Toplam</i>	1.0000	1.0000
<i>Sıcaklık</i>	<i>C</i>	<i>Giriş</i>	<i>Çıkış</i>
		510	184.1
<i>Hız</i>	<i>m/s</i>	-	-
<i>Isıl Kapasite</i>	<i>MW</i>	7.858	
		<i>Giriş</i>	<i>Çıkış</i>
<i>Kesit</i>	<i>m2</i>	-	-
<i>Çap</i>	<i>mm</i>	-	-
<i>Nom. Yoğunluk</i>	<i>kg/Nm3</i>	1.278	
<i>Nom. Hacimsel Debi</i>	<i>Nm3/s</i>	17.039	
<i>Hacimsel Debi</i>	<i>m3/s</i>	48.871	28.530
<i>Yoğunluk</i>	<i>kg/m3</i>	0.445	0.763
<i>Entalpi</i>	<i>kJ/kg</i>	554.597	193.636
<i>Özgül Isı - Cp</i>	<i>kJ/kg K</i>	1.147	1.070
<i>Din. Viskozite</i>	<i>kg/s m</i>	35.018E-6	24.041E-6
<i>Kin. Viskozite</i>	<i>m2/s</i>	78.613E-6	31.507E-6
<i>Isıl İletkenlik</i>	<i>W/m K</i>	0.054	0.036
<i>Prandıl Sayısı - Pr</i>	-	0.738	0.723
<i>Gaz Sabiti - R</i>	-	0.290	

- Buhar türbini egzoz kapasitesi, duman gazı kombinasyonu, gaz sıcaklığı 510°C, doğalgaz yoğuşma sıcaklığı 60°C ve gaz miktarı 21,769 kg/s kullanılarak, maksimum yoğuşma sıcaklığındaki yararlı ısı kapasitesi 10714 kW olarak hesaplanmış tablolarında “b” işaretlemesi ile kullanılmıştır.

- Yapılan hesaplamalarda sistem yıllık çalışma saati 7000 saat olarak kabul edilmiş ve hesaplama tablolarında “e” işaretlemesi ile kullanılmıştır.

- Döviz kur değeri € = 7,67 TL (08.06.2020 tarihli TCMB kur değeri) olarak kabul edilmiştir.

- Doğalgaz birim maliyeti = 0,15331626 TL/kWh (İzmir gaz dağıtım firmasına ait haziran ayı birim fiyatı) olarak kabul edilmiş ve hesaplama tablolarında “d” işaretlemesi ile kullanılmıştır.

4.2. Araştırma Bulguları

Araştırmamızda gaz türbini arkasında çalışan duman borulu atık ısı kazanının tasarım parametrelerinin, verim ve amortisman sürelerine olan etkileri incelenmiştir.

Sabit kazan dış çap ölçüsü içerisine yerleştirilebilen, farklı çaplardaki boru ve hatve ölçülerindeki boru demetlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

Bu araştırmada, kazan dış çap ölçüsü 3400mm, 3500mm, 3600mm ve 3700mm olacak şekilde, farklı dış çap ölçüsüne sahip boru demeti kombinasyonları incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Giren enerjinin kazan tarafından ne kadarının faydalı enerjiye çevrildiğinin hesabı tüm kombinasyonlar için yapılmış ve program çıktıları EK B, EK C, EK D, EK E ve EK F’de verilmiştir.

Kazan dış çapı 3400mm olacak şekilde farklı boru demetlerinin yerleşimi ile elde edilen değerler Tablo 4.2.1 ve Tablo 4.2.2’de yer verilmiştir.

Tablo 4.2.1 Dış Çap 3400mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri

Tasarım Verileri				Enerji Verileri		Verim	
Boru Çapı (mm)	Hatve (mm)	Boru Adedi	Boru Boyu (mm)	Alınan Enerji (kWh) (c)	Buhar Debisi (kg/h)	Enerji Verimi (c/a)	Ekserji Verimi (c/b)
33,40	53,40	2.100	5.950	7.539,40	13.327,80	95,95%	70,37%
42,20	62,20	1.550	5.950	7.195,80	12.720,40	91,57%	67,16%
48,30	68,30	1.250	5.950	6.910,40	12.215,90	87,94%	64,50%

Tablo 4.2.2 Dış Çap 3400mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri (Devamı)

Sınırlamalar	Maliyet	Kazanç	Amortisman
Duman Gazı Basınç Kaybı (mbar)	Kazan Maliyeti (TL) (g)	Enerji Kazancı (TL/yıl) (f) (c*e*d)	GÖS (yıl) (f/g)
20,90	1.352.244,87	8.091.388,27	0,167
9,00	1.283.555,52	7.722.632,01	0,166
6,20	1.203.597,25	7.416.336,78	0,162

Kazan dış çapı 3500mm olacak şekilde farklı boru demetlerinin yerleşimi ile elde edilen değerler Tablo 4.2.3 ve Tablo 4.2.4'te yer verilmiştir.

Tablo 4.2.3 Dış Çap 3500mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri

Tasarım Verileri				Enerji Verileri		Verim	
Boru Çapı (mm)	Hatve (mm)	Boru Adedi	Boru Boyu (mm)	Alınan Enerji (kWh) (c)	Buhar Debisi (kg/h)	Enerji Verimi (c/a)	Ekserji Verimi (c/b)
33,40	53,40	2.200	5.950	7.549,10	13.345,00	96,07%	70,46%
42,20	62,20	1.650	5.950	7.217,40	12.758,60	91,85%	67,36%
48,30	68,30	1.350	5.950	6.943,40	12.274,20	88,36%	64,81%

Tablo 4.2.4 Dış Çap 3500mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri (Devamı)

Sınırlamalar	Maliyet	Kazanç	Amortisman
Duman Gazı Basınç Kaybı (mbar)	Kazan Maliyeti (TL) (g)	Enerji Kazancı (TL/yıl) (f) (c*e*d)	GÖS (yıl) (f/g)
19,00	1.412.932,54	8.101.798,45	0,174
7,90	1.359.733,62	7.745.813,42	0,176
5,30	1.290.570,91	7.451.752,84	0,173

Kazan dış çapı 3600mm olacak şekilde farklı boru demetlerinin yerleşimi ile elde edilen değerler Tablo 4.2.5 ve Tablo 4.2.6'da yer verilmiştir.

Tablo 4.2.5 Dış Çap 3600mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri

Tasarım Verileri				Enerji Verileri		Verim	
Boru Çapı (mm)	Hatve (mm)	Boru Adedi	Boru Boyu (mm)	Alınan Enerji (kWh) (c)	Buhar Debisi (kg/h)	Enerji Verimi (c/a)	Ekserji Verimi (c/b)
33,40	53,40	2.350	5.950	7.562,50	13.368,70	96,24%	70,59%
42,20	62,20	1.750	5.950	7.237,10	12.793,40	92,10%	67,55%
48,30	68,30	1.450	5.950	6.973,10	12.326,60	88,74%	65,08%

Tablo 4.2.6 Dış Çap 3600mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri (Devamı)

Sınırlamalar	Maliyet	Kazanç	Amortisman
Duman Gazı Basınç Kaybı (mbar)	Kazan Maliyeti (TL) (g)	Enerji Kazancı (TL/yıl) (f) (c*e*d)	GÖS (yıl) (f/g)
16,70	1.501.740,20	8.116.179,51	0,185
7,00	1.435.959,80	7.766.955,74	0,185
4,60	1.377.592,66	7.483.627,29	0,184

Kazan dış çapı 3700mm olacak şekilde farklı boru demetlerinin yerleşimi ile elde edilen değerler Tablo 4.2.7 ve Tablo 4.2.8’da yer verilmiştir.

Tablo 4.2.7 Dış Çap 3700mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri

Tasarım Verileri				Enerji Verileri		Verim	
Boru Çapı (mm)	Hatve (mm)	Boru Adedi	Boru Boyu (mm)	Alınan Enerji (kWh) (c)	Buhar Debisi (kg/h)	Enerji Verimi (c/a)	Ekserji Verimi (c/b)
33,40	53,40	2.500	5.950	7.574,50	13.389,80	96,39%	70,70%
42,20	62,20	1.850	5.950	7.255,10	12.825,30	92,33%	67,72%
48,30	68,30	1.550	5.950	6.999,90	12.374,10	89,08%	65,33%

Tablo 4.2.8 Dış Çap 3700mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri (Devamı)

Sınırlamalar	Maliyet	Kazanç	Amortisman
Duman Gazı Basınç Kaybı (mbar)	Kazan Maliyeti (TL) (g)	Enerji Kazancı (TL/yıl) (f) (c*e*d)	GÖS (yıl) (f/g)
14,70	1.590.595,95	8.129.058,08	0,196
6,30	1.512.234,07	7.786.273,59	0,194
4,00	1.464.662,49	7.512.389,42	0,195

Kazan dış çapı 3800mm olacak şekilde farklı boru demetlerinin yerleşimi ile elde edilen değerler Tablo 4.2.9 ve Tablo 4.2.10'da yer verilmiştir.

Tablo 4.2.9 Dış Çap 3800mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri

Tasarım Verileri				Enerji Verileri		Verim	
Boru Çapı (mm)	Hatve (mm)	Boru Adedi	Boru Boyu (mm)	Alınan Enerji (kWh) (c)	Buhar Debisi (kg/h)	Enerji Verimi (c/a)	Ekserji Verimi (c/b)
33,40	53,40	2.650	5.950	7.585,30	13.408,90	96,53%	70,80%
42,20	62,20	1.950	5.950	7.271,70	12.854,50	92,54%	67,87%
48,30	68,30	1.600	5.950	7.012,20	12.395,90	89,24%	65,45%

Tablo 4.2.10 Dış Çap 3800mm İçerisindeki Farklı Boru Demeti Kombinasyonlarının Isıl Değerleri, Verimleri, Maliyetleri ve Amortisman Değerleri (Devamı)

Sınırlamalar	Maliyet	Kazanç	Amortisman
Duman Gazı Basınç Kaybı (mbar)	Kazan Maliyeti (TL) (g)	Enerji Kazancı (TL/yıl) (f) (c*e*d)	GÖS (yıl) (f/g)
13,10	1.679.499,78	8.140.648,79	0,206
5,70	1.588.556,42	7.804.088,93	0,204
3,70	1.510.565,49	7.525.589,95	0,201

Boru dış çapı 33.4mm olan boru demetleri ile yapılan tasarım çalışmalarında, en yüksek enerji verimi değeri %96,53, en yüksek ekserji verimi değeri %70,80, en düşük enerji verimi değeri 95,95%, en düşük ekserji verimi değeri %70,37 olarak hesaplanmıştır.

Boru dış çapı 42,2mm olan boru demetleri ile yapılan tasarım çalışmalarında, en yüksek enerji verimi değeri %92,54, en yüksek ekserji verim değeri %67,87, en düşük enerji verim değeri %91,57, en düşük ekserji verim değeri %67,16 olarak hesaplanmıştır.

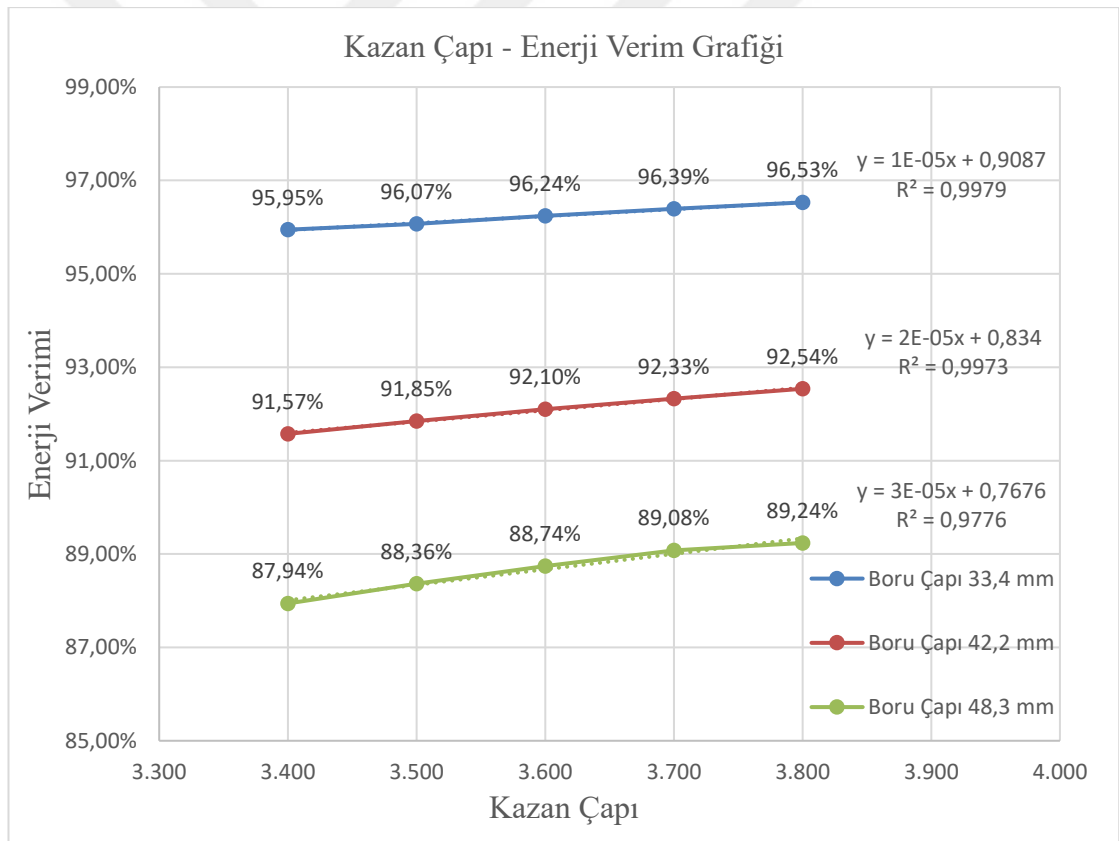
Boru dış çapı 48,3mm olan boru demetleri ile yapılan tasarım çalışmalarında, en yüksek enerji verimi değeri %89,24, en yüksek ekserji verim değeri %65,45, en düşük enerji verimi değeri %87,94, en düşük ekserji verim değeri %64,50 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiş ve aşağıda grafikler ile yorumlanmıştır.

Kazan tasarımı, hesaplanan enerji verimi değerlerine ve kazan dış çapına göre incelendiğinde Tablo 5.1 oluşturulmuştur.

Tablo 5.1 İncelenen Her Kazan Dış Çapının Ekserji ve Enerji Verimine Etkileri

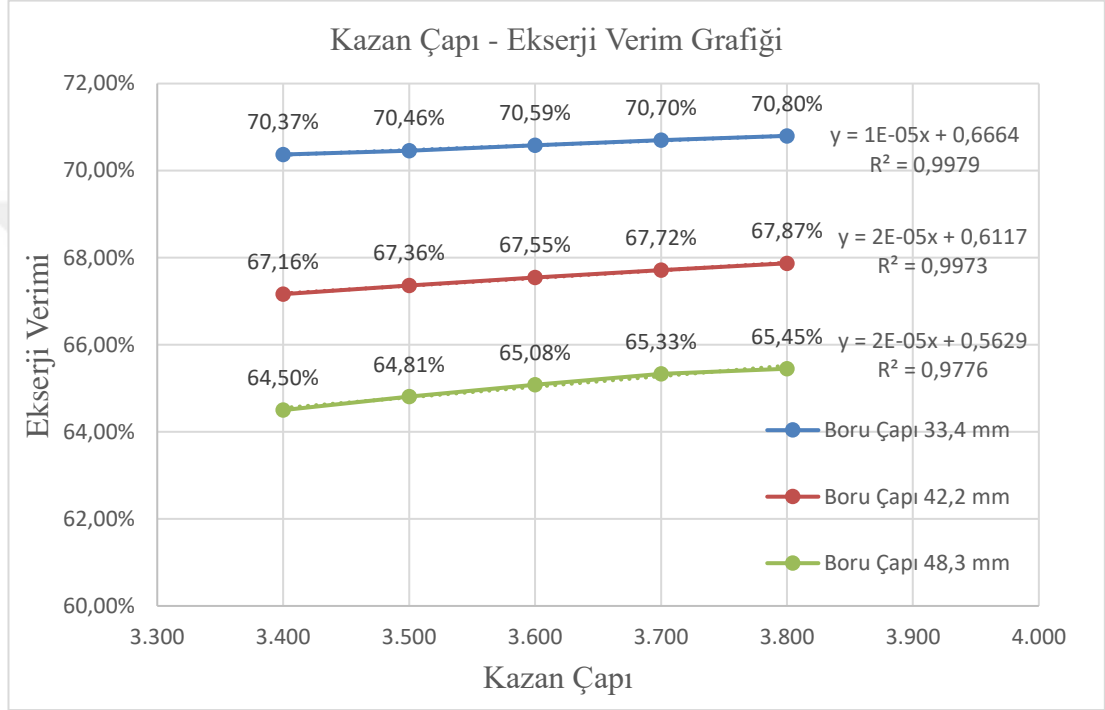


Kazan dış çapının artışı ile enerji verim değerinin artışı paralel olarak artmakta fakat, farklı boru çaplarında, verim değerlerin artış grafik eğrilerinin farklı olduğu görülmektedir. Boru çapı küçük seçildiğinde kazan veriminin daha düşük artışlarla arttığı görülmüştür. Her çap boru için yapılan regrasyon analizi sonucu eğim çizgisi

belirlenmiş ve eğilim çizgisine ait R^2 nin 1 değerine yakın olması eğim denkleminin doğruluk oranının yüksek olduğunu ifade etmektedir.

Kazan tasarımı, hesaplanan ekserji verimi değerlerine ve boru demeti sayısına göre incelendiğinde Tablo 5.2 oluşturulmuştur.

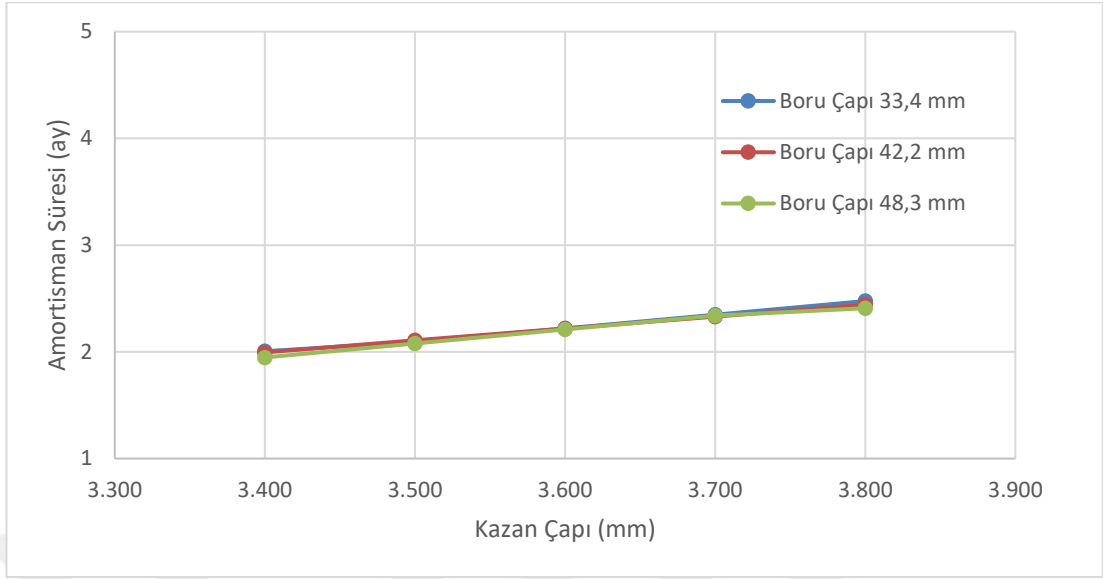
Tablo 5.2 İncelenen Her Boru Çapındaki Boru Adedinin Ekserji Verimine Etkileri



Boru demetinde kullanılan boruların dış çap seçimlerinin ekserji verimine olan etkileri incelenmiştir. Boru demeti sayısının artışı ile ekserji verimi değerinin artışı paralel olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Kazan tasarımının amortisman süresiyle olan ilişkisi aşağıdaki grafikte verilmiştir. İncelemede atık ısı kazanı tek bir sistem elemanı olarak ele alındığı için amortisman süreleri herhangi bir sonuca hizmet etmemektedir, tasarımlar arasındaki farkların grafik üzerinde yorumlanması için hesaplanmıştır. Kazan çapının amortisman süreleri ile olan ilişkisi Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 İncelenen Her Kazan Çapının Amortisman Üzerindeki Etkileri



Tablo 5.1’ de ve Tablo 5.2’ de kazan dış çapının artışı ile enerji verimi ve ekserji verimi değerlerinin artışı da gözlenmiştir, fakat Tablo 5.3’e bakıldığında boru kazan dış çapının artışı verim değerini arttırsa da amortisman süresinin de artmasına neden olmaktadır. Kazan tasarımı yapılırken bu parametrelerin, sistem sınırlamalarına ve şartlarına uygun olarak gözetilmesi büyük önem arz etmektedir.

Kazanların amortisman süreleri aynı kazan çapında, birbirine çok yakın olmasına rağmen verim değerleri arasındaki farkın daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Enerjinin önemi, karbon salınımlarının azaltılması konuları göz önüne alındığında amortisman sürelerine bakılmaksızın ısı tasarımında yapılacak seçimler ile daha verimli ve dolayısıyla daha çevre dostu kazanların imal edilmesi ve kullanılmasının mümkün olacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Ersayın, E., Özgener, L. Performance analysis of combined cycle power plants: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, 43, 832-842.
- [2] Kaya, A , Duymaz, M , İmal, M . Energy and Exergy Analysis of a Cogeneration Plant in a Paper Factory. *KSU. Journal of Engineering Sciences*.2016, 19(2), 58-69
- [3] Aljundi I. Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan. *Appl Therm Eng* 2009,29,324–8
- [4] Coşkun, A., Al-Talabani, M.G.H., (2017). Bir Kombine Çevrim Santralinin Ekserji Analizi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(3), 537-545
- [5] Wikipedia, Shell And Tube Heat Exchanger
- [6] Cumbul, Ahmet Yakup. Enerji analiz metoduyla bir endüstri tesisinin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Bilim Dalı, İZMİR, 2018, 53 Sayfa. (Yüksek Lisans Tez)
- [7] Uludağ, Onur. Ekserji Analizi ile Kombine Çevrim Santralindeki Üç Farklı Atık Isı Kazanının Performans Değerlendirmesi. Ege Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İZMİR, 2014, 74 sayfa. (Yüksek Lisans Tez)
- [8] Dazlak, Serkan. Bir Doğalgaz Santralinde Atık Isı Kazanım Tesisinin Enerji ve Ekserji Analizi. Zonguldak Karaelmaz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, ZONGULDAK, 2006, 66 sayfa. (Bilim Uzmanlığı Tez)
- [9] Tüter, Ahmet. Doğal Gaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santrali ile Atık Isı Kazanının Tasarım Hesapları. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, ANKARA, 1999, 133 sayfa. (Yüksek Lisans Tez)
- [10] Nurtepe, Beyza Nur. Tekstilde Boyama İşlemi Gerçekleştiren Bir Kojenerasyon Tesisinin Enerji ve Ekserji Analizi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Enerji Planlaması ve Verimliliği Bilim Dalı, ELAZIĞ, 2018, 90 sayfa. (Yüksek Lisans Tez)
- [11] Beştaş, Enes Hakan. Üç Blokluk Bir Sitenin Isıtma İhtiyacının Kojenerasyon Sistemi ile Karşılama ve Enerji-Ekserji Analizi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji-Termodinamik Bilim Dalı, ESKİŞEHİR, 2018, 134 sayfa (Yüksek Lisans Tez)

- [12] Çengel, Y.A., BOLES, M.A., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. Literatür Yayıncılık, 2002, 867 Sayfa
- [13] Erdem HH, Sevilgen SH. Case study: effect of ambient temperature on the electricity production and fuel consumption of a simple cycle gas turbine in Turkey. Jour. Appl Therm Eng 2006;26:320–6.
- [14] Polyzakis AL, et al. Optimum gas turbine cycle for combined cycle power plant. Energy Convers Manage 2008;49:551–63.
- [15] Sanjay. Investigation of effect of variation of cycle parameters on thermodynamic performance of gas–steam combined cycle. Energy 2011;36:157–67.
- [16] Mahto D, Pal S. Thermodynamics and thermo-economic analysis of simple combined cycle with inlet fogging. Appl Therm Eng 2013;51:413–24.
- [17] Ameri M, Ahmedi P, Khanmohammadi S. Exergy analysis of a 420 MW combined cycle power plant. Int J Energy Res 2008;32:175–83.
- [18] Ataei A, Yoo C. Combined pinch and exergy analysis for energy efficiency optimization in a steam power plant. Int J Phys Sci 2010;5(7):1110–23.
- [19] Ahmadi P, et al. Greenhouse gas emission and exergo-environmental analyses of a trigenerations system. Int. J. Greenhouse Gas Control 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2011.08.011>.
- [20] Kaushik S, Reddy V, Tyagi S. Energy and exergy analyses of thermal power plants: a review. Renewable Sustainable Energy Rev 2011;15:1857–72.
- [21] Popli S, Rodgers P, Evely V. Trigeneration scheme for energy efficiency enhancement in a natural gas processing plant through turbine exhaust gas waste heat utilization. Appl Energy 2012;93:624–36.
- [22] Reddy S, Kaushik S, Tyagi S. Exergetic analysis of solar concentrator aided natural gas fired combined cycle power plant. Renewable Energy 2012;39: 114–25.
- [23] Yao H, Sheng D, Chen J, Li W, Wan A, Chen H. Exergoeconomic analysis of a combined cycle system utilizing associated gases from steel production process based on structural theory of thermoeconomics. Appl Therm Eng 2013;51:476–89.
- [24] Kotas TJ. The exergy method of thermal plant analysis (reprint edition). Florida: Krieger Publishing Company; 1995.
- [25] Çengel Y, Boles M. Thermodynamics: an engineering approach. fifth ed. McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 2005.
- [26] İyiyarlar, B. Efficiency analysis of a combined cycle power plant. MSc thesis. Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dokuz Eylül University; 2006.p.56.

- [27] Kurt H, Recebli Z, Gredik E. Performance analysis of open cycle gas turbines. *Int J Energy Res* 2009;33(2):285–94.
- [28] Yildirim D, Ozgener L. Thermodynamics and exergoeconomic analysis of geothermal power plants. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2012;16:6438–54.
- [29] Sanjay, Prasad BN. Energy and exergy analysis of intercooled combustion turbine based combined cycle power plant. *Energy* 2013;59:277–84.
- [30] Woudstra N, Woudstra T, Pirone A, Stelt T. Thermodynamic evaluation of combined cycle plants. *Energy Convers Manage* 2010;51:1099–110.
- [31] Petrakopoulou F, Tsatsaronis G, Morosuk T, Carassai A. Conventional and advanced exergetic analyses applied to a combined cycle power plant. *Energy*
- [32] Akdeniz, N.,2007, Doğalgazlı kojenerasyon sisteminin ekserjetik analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 138 s.
- [33] Arda, M., 2009, Kojenerasyon sistemlerinde kullanılan gaz motorlarının incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 64 s
- [34] Çakır, D., 2006, Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde yakıt olarak doğalgaz kullanımının incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 154 s.
- [35] Çalışıcı, M.Ü.,2005, Kojenerasyon sistemleri ve bir işletmenin ihtiyacını karşılayacak kojenerasyon sisteminin teknik ve ekonomik uygulanabilirliği, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- [36] Çınar, Y.,2011, Katı oksit yakıt pili kojenerasyon sistemlerinin konutlarda uygulanması, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 64 s.
- [37] Doğan, O.T., 2010, A stochastic approach for load scheduling of cogeneration plants, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 123 s
- [38] Duymaz, M.M. ,2016, Bir kojenerasyon tesisinin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Bilim Dalı, 83 Sayfa (Yüksek Lisans Tezi)

[39] Ener, Ö., 2006, Örnek bir işletmede kojenerasyon tesisi uygulaması, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 96 s.

[40] Ilık, A., 2012, Trijenerasyon Sistemlerinin Enerji ve Ekserji Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 102 s.

[41] Şah, S., 2009, Mikro türbinlerin incelenmesi ve optimizasyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 83 s

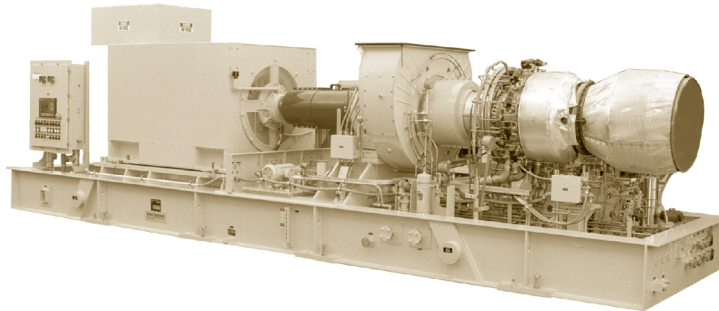
[42] www.isimek.com.tr



EKLER

EK A. Gaz Türbini Teknik Dökümanı





General Specifications

Taurus™ 60 Gas Turbine

- Industrial, Single-Shaft
- 12 Stage Axial Compressor
 - Variable Inlet Guide Vanes and Stators
 - Pressure Ratio: 12.2:1
 - Inlet Airflow: 21.5 kg/sec (47.3 lb/sec)
 - Vertically Split Case
- Combustion Chamber, Annular-Type
 - 12 Conventional Fuel Injectors or 12 Lean-Premixed, Dry Low Emissions SoLoNOx™ Injectors
 - Single Torch Ignitor System
- Power Turbine
 - 3-Stage Reaction
 - Clockwise Rotation
- Bearings
 - 3 Radial Journal: Tilt-Pad
 - 1 Thrust, Active: Tilt-Pad
 - 1 Thrust, Inactive: Fixed Tapered Land
- Coatings
 - Compressor: Inorganic Aluminum
 - Turbine and Nozzle Blades: Precious Metal Diffusion Aluminide
- Vibration Transducer Type
 - Proximity Probes, 2 per Radial Bearing/ 2 per Thrust Bearing, horizontal and vertical

Main Reduction Drive

- Epicyclic Type
 - 1500 or 1800 rpm (50 or 60 Hz)
 - Vibration monitoring: Acceleration Transducer

Generator

- 4 Pole, 3 Phase, 6 Wire, Wye Connected, Synchronous with Permanent Magnet Generator Exciter
- Available Construction Types:
 - Open Drip-Proof Construction
 - CACA/TEAAC (Closed Air, Cooling Air/ Totally Enclosed, Air to Air Cooling)*
 - CACW/TEWAC (Closed Air, Cooling Water/Totally Enclosed, Water to Air Cooling)*
- Sleeve Bearings
- Vibration Monitoring; Velocity Transducers
- Vibration Monitoring; Displacement

- Transducers*
- NEMA Class F Insulation
- Class F Temperature Rise
- Class B Temperature Rise*
- Continuous Duty Rating Voltages:
 - 3300, 6600, 11 000 (50Hz)
 - 4160, 6900, 12 470, 13 200, 13 800 (60Hz)

Package

- Mechanical Construction
 - Steel Base Frame with Drip Pans
 - 316L Stainless Steel Piping
 - Compression Type Tube Fittings
- Start System
 - Direct Drive AC Motor with VFD Control
- Package Electrical Certification
 - NEC, CSA Class 1, Group D, Div.2
- Fuel System
 - Natural Gas
 - Diesel*
 - Dual (Natural Gas and Diesel)*
 - Low BTU Gas*
- Integrated Lube Oil System
 - Turbine-Driven Lube Pump
 - AC Motor Driven Pre/Post Lube Pump
 - DC Motor Driven Backup Lube Pump
 - Air to Oil Cooler
 - Water to Oil Cooler*
 - Integral Lube Oil Tank
 - Lube Oil Tank Heater
 - Lube Oil Filter
 - Duplex Lube Oil Filter*
 - Oil Tank Vent Separator with Flame Arrestor
- Air Inlet and Exhaust Systems
 - Carbon Steel
 - Stainless Steel*
 - Barrier Type Filters
 - Self-Cleaning Filters
 - Inlet and Exhaust Silencers
 - Inlet Evaporative Cooler*
 - Inlet Chiller Coils*
- Enclosure
 - Complete Package
 - Driver Only*
 - Fire Detection and CO2 Suppression System
- Turbine Compressor Cleaning Systems

- On-Crank/On-Line
- Portable Cleaning Tank*
- Package Power
 - 120VDC Battery/Charger System*
- TurboTronic™ On-Skid Gas Turbine and Generator Control System Features
 - Combination Generator Control Module with Load Share, Auto Synchronization, Voltage Control
 - Standard Display with Discrete Event Log, Strip Chart, Historical Trend, Maintenance Screen
 - Vibration and Temperature Monitoring
 - English Display Text and Labels
 - Spanish, Portuguese, German, French or Simplified Chinese Display Text and Labels*
 - Auxiliary and Remote Display/Control Terminals*
 - Turbine Performance Map*
 - KW Import Control*
 - KVAR/Power Factor Control*
 - ControlNet Redundant Media, Ethernet or Modbus RS232C/422/485 Supervisory Interface*
 - Heat Recovery Application Interface*
 - Multi-Unit Applications: Load Shed Control, Import/Export or kW/KVAR Control Panels*
 - InSight Platform™ Equipment Health Management*
 - Printer/Logger*
- Electrical System Options
 - Neutral Grounding Resistor or Transformer*
 - Switchgear and Generator Protective Relay*
 - Motor Control Center with Automatic Transfer Switch*
- Documentation
 - Drawings
 - Quality Control Data Book
 - Inspection and Test Plan
 - Test Reports
 - O&M Manuals
- Factory Testing of Turbine
 - Factory Testing of Package Systems
 - Non-Dynamic
 - Dynamic

Performance

Output Power	5670 kW
Heat Rate	11 430 kJ/kWe-hr (10,830 Btu/kWe-hr)
Exhaust Flow	78 370 kg/hr (172,770 lb/hr)
Exhaust Temp.	510°C (950°F)

Application Performance

Steam (Unfired)	13.5 tonnes/hr (29,750 lb/hr)
Steam (Fired)	58.9 tonnes/hr (129,830 lb/hr)
1536°C (2800°F)	
Chilling (Absorp.)	11 650 kW (3310 refrigeration tons)

Nominal rating – per ISO
At 15°C (59°F), sea level

No inlet/exhaust losses

Relative humidity 60%

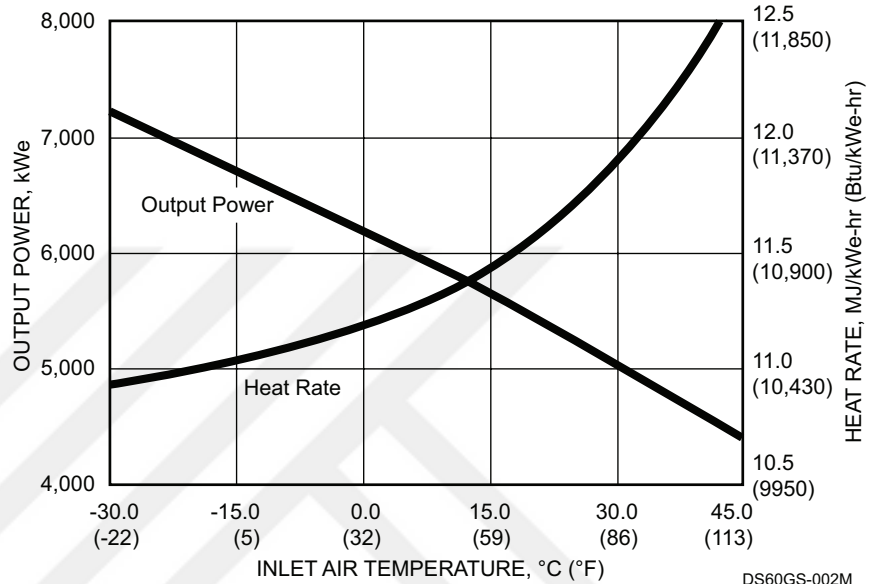
Natural gas fuel with
LHV = 35 MJ/Nm³ (940 Btu/scf)

No accessory losses

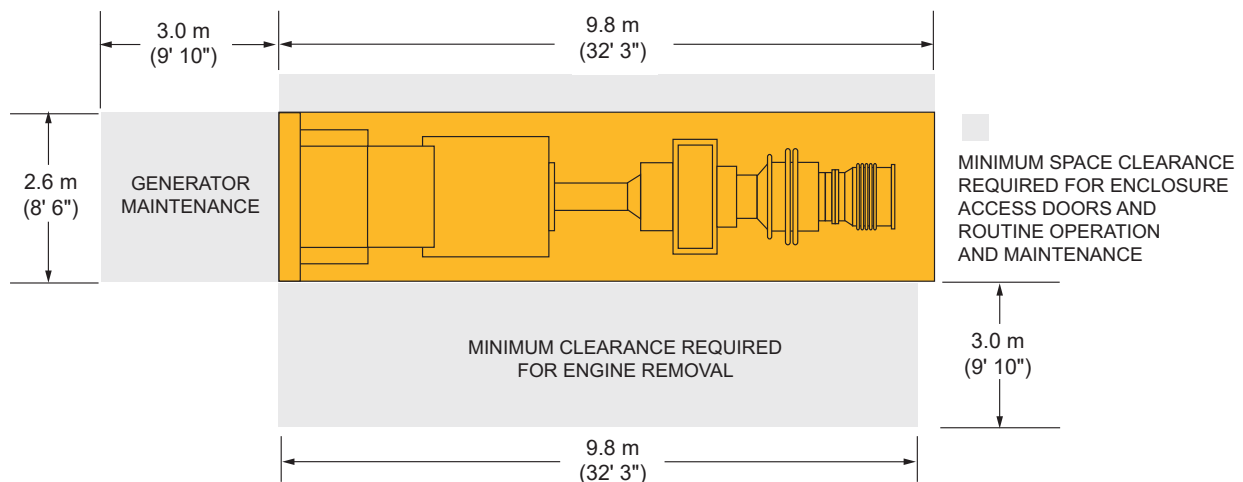
Engine efficiency: 31.5%

(measured at generator terminals)

Available Power



Enclosure Access and Maintenance Space



Package Height: 3.2 m (10' 5")

Package Weight: 37 920 kg (83,600 lb)

Dry weight, enclosed height

DS40,50,60PG-003C

EK B. ap 3400mm lüsünde Yapılan Isıl Hesaplar





SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcagir	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 33.4 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 53.4 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 2100 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7553.3
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-13.8
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	7539.4
Buhar Debisi	kg/h	13327.8
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 353.6 Çıkış 197.2
Dum. Gazı Hızı	m/s	Giriş 38.2 Ortalama 30.5 Çıkış 22.9
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	20.9
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	17.0
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	73.5
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2371.8
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	71.0
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	97.3
Isıtma Yüzeyi (iç Çap'a Göre)	m2	1093.6
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1088.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3400.0



SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcagir	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 42.2 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 62.2 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 1550 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7209.6
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-13.8
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	7195.8
Buhar Debisi	kg/h	12720.4
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 360.9 Çıkış 211.9
Dum. Gazı Hızı	m/s	29.9 Ortalama 24.2 Çıkış 18.5
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	9.0
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	13.3
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	57.6
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2344.2
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	56.0
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	121.1
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	1062.2
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1088.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3400.0



SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcaker	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 48.3 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 68.3 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 1250 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	6924.2
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-13.8
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	6910.4
Buhar Debisi	kg/h	12215.9
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 367.0 Çıkış 224.0
Dum. Gazı Hızı	m/s	27.2 Ortalama 22.3 Çıkış 17.3
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	6.2
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	12.1
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	52.1
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2377.3
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	50.9
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	136.3
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	999.1
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1088.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3400.0

EK C. ap 3500mm ölçüsünde Yapılan Isıl Hesaplar





SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcakilr	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 33.4 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 53.4 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 2200 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7563.3
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-14.2
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	7549.1
Buhar Debisi	kg/h	13345.0
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 353.4 Çıkış 196.7
Dum. Gazı Hızı	m/s	Giriş 36.4 Ortalama 29.2 Çıkış 21.9
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	19.0
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	16.2
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	70.8
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2300.8
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	68.4
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	96.5
Isıtma Yüzeyi (iç Çap'a Göre)	m2	1145.7
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1120.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3500.0



SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcagir	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 42.2 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 62.2 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 1650 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7231.6
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-14.2
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	7217.4
Buhar Debisi	kg/h	12758.6
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 360.5 Çıkış 210.9
Dum. Gazı Hızı	m/s	28.1 Ortalama 22.7 Çıkış 17.3
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	7.9
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	12.5
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	54.9
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2252.2
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	53.4
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	119.8
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	1130.7
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1120.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3500.0



SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcagir	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 48.3 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 68.3 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 1350 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	6957.6
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-14.2
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	6943.4
Buhar Debisi	kg/h	12274.2
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 366.3 Çıkış 222.6
Dum. Gazı Hızı	m/s	25.2 Ortalama 20.6 Çıkış 16.0
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	5.3
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	11.2
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	49.1
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2264.6
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	47.9
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	134.6
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	1079.0
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1120.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3500.0

EK D. ap 3600mm ölçüsünde Yapılan Isıl Hesaplar





SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcagir	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 33.4 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 53.4 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 2350 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7577.1
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-14.6
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	7562.5
Buhar Debisi	kg/h	13368.7
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 353.1 Çıkış 196.1
Dum. Gazı Hızı	m/s	Giriş 34.1 Ortalama 27.3 Çıkış 20.4
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	16.7
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	15.2
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	67.3
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2203.6
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	65.0
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	95.2
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	1223.8
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1152.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3600.0



SayfaNo	yias.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcagir	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 42.2 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 62.2 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 1750 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7251.7
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-14.6
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	7237.1
Buhar Debisi	kg/h	12793.4
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 360.0 Çıkış 210.1
Dum. Gazı Hızı	m/s	26.5 Ortalama 21.4 Çıkış 16.3
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	7.0
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	11.8
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	52.4
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2168.8
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	51.0
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	118.6
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	1199.2
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1152.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3600.0



SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcagir	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 48.3 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 68.3 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 1450 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	6987.6
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-14.6
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	6973.1
Buhar Debisi	kg/h	12326.6
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 365.7 Çıkış 221.3
Dum. Gazı Hızı	m/s	23.5 19.1 14.8
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	4.6
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	10.5
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	46.4
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2164.5
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	45.3
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	133.1
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	1159.0
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1152.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3600.0

EK E. ap 3700mm ölçüsünde Yapılan Isıl Hesaplar





SayfaNo	yias.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcakilr	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 33.4 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 53.4 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 2500 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7589.5
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-15.0
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	7574.5
Buhar Debisi	kg/h	13389.8
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 352.8 Çıkış 195.6
Dum. Gazı Hızı	m/s	Giriş 32.1 Ortalama 25.6 Çıkış 19.2
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	14.7
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	14.3
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	64.0
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2116.0
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	61.9
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	94.1
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	1301.9
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1184.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3700.0



SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcagir	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 42.2 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 62.2 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 1850 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7270.1
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-15.0
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	7255.1
Buhar Debisi	kg/h	12825.3
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 359.6 Çıkış 209.3
Dum. Gazı Hızı	m/s	Giriş 25.0 Ortalama 20.2 Çıkış 15.4
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	6.3
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	11.1
İç Taşınım Kats.	W/m2 K	50.1
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2092.8
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	48.8
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	117.5
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	1267.7
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1184.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3700.0



SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcaker	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 10.06.2020
Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus
İş No :
Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç : 10 barg (184.1 C)
Akışkan : Doymuş Buhar
Besi Suyu Sıcaklığı : 175 C
Kuruluk Derecesi : 0.999 kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı : 48.3 mm
Boru Et Kalınlığı : 2.77 mm
Hatve : 68.3 mm
Boru Boyu : 5950 mm
Boru Adedi : 1550 adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7014.9
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-15.0
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	6999.9
Buhar Debisi	kg/h	12374.1
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 365.1 Çıkış 220.2
Dum. Gazı Hızı	m/s	22.0 17.9 13.8
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	4.0
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	9.8
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	44.0
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2075.0
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	43.0
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	131.7
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	1238.9
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1184.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3700.0

EK F. ap 3800mm ölçüsünde Yapılan Isıl Hesaplar





SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcagir	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 11.06.2020

Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus

İş No :

Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç	10	barg (184.1 C)
Akışkan	Doymuş Buhar	
Besi Suyu Sıcaklığı	175	C
Kuruluk Derecesi	0.999	kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı	33.4	mm
Boru Et Kalınlığı	2.77	mm
Hatve	53.4	mm
Boru Boyu	5950	mm
Boru Adedi	2650	adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7600.6
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-15.3
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	7585.3
Buhar Debisi	kg/h	13408.9
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 352.6 Çıkış 195.1
Dum. Gazı Hızı	m/s	30.3 Ortalama 24.2 Çıkış 18.1
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	13.1
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	13.5
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	61.2
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2036.6
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	59.2
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	93.1
Isıtma Yüzeyi (iç Çap'a Göre)	m2	1380.1
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1216.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3800.0



SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcaker	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 11.06.2020

Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus

İş No :

Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç	10	barg (184.1 C)
Akışkan	Doymuş Buhar	
Besi Suyu Sıcaklığı	175	C
Kuruluk Derecesi	0.999	kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı	42.2	mm
Boru Et Kalınlığı	2.77	mm
Hatve	62.2	mm
Boru Boyu	5950	mm
Boru Adedi	1950	adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7287.0
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-15.3
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	7271.7
Buhar Debisi	kg/h	12854.5
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 359.3 Çıkış 208.6
Dum. Gazı Hızı	m/s	23.7 19.2 14.6
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	5.7
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	10.6
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	48.1
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2023.1
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	46.8
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	116.5
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	1336.3
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1216.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3800.0



SayfaNo	yas.54.R0	Ziyaret	-
Hazirl.	01/08/2003-scaliskan	Rev.	-
Kontrol	01/08/2003-dcakilr	Onay	01/08/2003-nkahraman
Sayfa Ismi	Atık Isı Kazanı (Duman Borulu)		
Konu	Duman Borulu Atık Isı Kazanı Isıl Hesabı		

Tarih : 11.06.2020

Hesabı Yapan Kisi : yerdogmus

İş No :

Açıklama :

Duman Gazı

	Türbin	
	kg/kg	m3/m3
CO2	0.05	0.0322
SO2	0.00	0.0000
N2	0.74	0.7531
O2	0.17	0.1514
H2O	0.04	0.0633
Toplam	1.0000	1.0000
Debi	21.7694	kg/s
Giriş Sıcaklığı	510	C
Giriş Basıncı	1016	mbar

Su / Buhar

Basınç	10	barg (184.1 C)
Akışkan	Doymuş Buhar	
Besi Suyu Sıcaklığı	175	C
Kuruluk Derecesi	0.999	kg/kg

Geometri

Boru Dış Çapı	48.3	mm
Boru Et Kalınlığı	2.77	mm
Hatve	68.3	mm
Boru Boyu	5950	mm
Boru Adedi	1600	adet X 1 geçiş

Sonuçlar

Dum. Gazının Bıraktığı Enerji	kW	7027.6
Kayıp (Işınım ve Taşınım)	kW	-15.3
Buhar Tarafından Alınan Enerji	kW	7012.2
Buhar Debisi	kg/h	12395.9
Dum. Gazı Sıcaklığı	C	Giriş 510 Ortalama 364.8 Çıkış 219.6
Dum. Gazı Hızı	m/s	Giriş 21.3 Ortalama 17.3 Çıkış 13.4
Dum. Gazı Basınç Kaybı	mbar	3.7
Dum. Gazı Debisi	kg/s	21.8
Dum. Gazı Debi Yoğunluğu	kg/m s	9.5
İc Taşınım Kats.	W/m2 K	42.9
Dış Taşınım Kats.	W/m2 K	2033.6
Toplam Isı Transfer Kats.	W/m2 K	41.9
Logaritmik Sıcaklık Farkı	C	131.1
Isıtma Yüzeyi (İç Çap'a Göre)	m2	1278.9
Kazan Merk.-NW Mesafesi	mm	1216.0
Kazan Gövde Çapı	mm	3800.0

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yiğit ERDOĞMUŞ
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir,1991
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : yigiterdogmus91@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Yıldız Tınas İzmirlioğlu Anadolu Lisesi,2010
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2014
Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,

Mesleki Deneyim

Kisan İnşaat	2014-2015
Setaş Enerji Danışmanlık Ltd. Şti	2015-2018
SEGÜ Mühendislik A.Ş.	2018-halen