



T.C.

İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

TIBBİ ATIKLARIN YAKILARAK BERTARAF EDİLMESİ SONUCU
AÇIĞA ÇIKAN ATIK ISININ BUHAR TÜRBİNİ KULLANILARAK
ELEKTRİK ÜRETİLMESİ VE EKONOMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS

Mehmet SÜĞÜT

176301100

Danışman: Dr. Yavuz ATEŞ

İSTANBUL, 2020



T.C.

İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

TIBBİ ATIKLARIN YAKILARAK BERTARAF EDİLMESİ SONUCU AÇIĞA ÇIKAN ATIK ISININ BUHAR TÜRİNİ KULLANILARAK ELEKTRİK ÜRETİLMESİ VE EKONOMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS

Hazırlayan: **Mehmet SÜĞÜT**

YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Tıbbi Atıkların Yakılarak Bertaraf Edilmesi Sonucu Açığa Çıkan Atık Isının Buhar Türbini Kullanılarak Elektrik Üretilmesi ve Ekonomik Analizi” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımda yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

30.01.2020

MEHMET SÜĞÜT

ONAY

Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının İstanbul Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- Tezim/Raporum sadece İstanbul Arel yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- Tezimin/Raporumunyıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

30.01.2020

Mehmet SÜĞÜT

ÖZET

TIBBİ ATIKLARIN YAKILARAK BERTARAF EDİLMESİ SONUCU AÇIĞA ÇIKAN ATIK ISININ BUHAR TÜRBİNİ SİSTEMİ KURULARAK ELEKTRİK ÜRETİLMESİ VE EKONOMİK ANALİZİ

Mehmet SÜĞÜT

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği

Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Yavuz ATEŞ

Ocak, 2020 - 96 sayfa

Günümüzde nüfus artışıyla beraber enerji ihtiyacı da artmaktadır. Dünya genelinde fosil yakıtların sınırlı miktarda olması ve son zamanlarda giderek azalması sonucu enerji üretimi konusunda yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ön plana çıkmıştır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılarak sürekliliğin sağlanması, gerek ekonomik olarak gerekse sosyal gelişmişliğin örneği olarak büyük önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra endüstride üretim, bertaraf vb. proseslerde açığa çıkan atık ısının uygun yöntemler kullanılarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada İstanbul'da bulunan İSTAÇ AŞ Tıbbi Atık Yakma Tesisinde atıkların yakılması sonucu açığa çıkan atık ısının buhar türbini sistemi kurularak değerlendirilmesi ve üretilecek elektrik miktarının simülasyon yöntemi ile belirlenmesi, sistemin tasarımı, ekonomik analizi ve kurulumu anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atık ısı kazanımı, buhar türbini, enerji üretimi, ekonomik analiz, tıbbi atık

ABSTRACT

ELECTRICITY GENERATION AND ECONOMIC ANALYSIS OF STEAM TURBINE SYSTEM OF WASTE HEATING AS A RESULT OF BURNING AND DISPOSAL OF MEDICAL WASTES

Mehmet SÜĞÜT

MSc. Thesis, Department of Electrical Electronic Engineering

Advisor: Dr. Yavuz ATEŞ

January, 2020 - 96 sayfa

Today, energy consumption increases with the increase in population. Since the distance of fossil fuels in the world is likely and decreased in the last expansion, it has come to the forefront of new and renewable energy sources in energy production. The situation of renewable energy sources in our country has been of great importance as an example of economic and social development. In addition, production, disposal, etc. in the industry. The waste heat without exposing the processes is not suitable.

ISTAC AŞ Medical Waste Incineration Facility in Istanbul, here soon Description of the waste Soon waste heat by establishing a steam turbine system there and using the method of production of electricity production method, on the design, economic analysis and preparation was explained.

Keywords: Waste heat recovery, steam türbine, power generation, economic analysis, medical waste

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi boyunca yardımlarını esirgemeyen ve sürekli destek olan danışman hocam Sayın Dr. Yavuz ATEŞ'e teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tüm hayatım boyunca yanımda olan, destek ve dualarını eksik etmeyen aileme, sevgili eşim Elif SÜĞÜT ve kızım Sevgi Eslem SÜĞÜT'e çalışmalarım sırasında gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı teşekkür ederim.

Projenin gerçekleştirilmesinde emeği olan ve yüksek lisans tezinin yapılmasına onay veren yöneticilerim Ahmet Çağrı GÖR, Fırat SARP, Alpaslan KİRİŞ ve Fatih HOŞOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2020

Mehmet SÜĞÜT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vi
1. BÖLÜM.....	1
GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Özeti	4
2. BÖLÜM.....	8
TIBBİ ATIK YAKMA TESİSİ TANITIMI.....	8
2.1 Tıbbi Atık.....	8
2.2 Tıbbi Atık Yakma Tesisi.....	8
2.2.1 Atık Kabul Alanı	9
2.2.2 Atık Besleme Konveyörü.....	11
2.2.3 Atık Besleme Kantarı	11
2.2.4 Döner Fırın.....	12
2.2.5 I. Yanma Odası.....	13
2.2.6 II. Yanma Odası	14
2.2.7 Buhar Kazanı.....	15
2.2.8 Ekonomizer	16
2.2.9 Aktif Karbon Dozlama Ünitesi	17
2.2.10 Reaktör	18
2.2.11 Membranlı Torbalı Filtre Ünitesi.....	19
2.2.12 Kireç Silosu	20
2.2.13 Baca.....	21
2.2.14 Radyatörler	22
2.2.15 Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemi	23
3. BÖLÜM.....	24
BUHAR TÜRBİNİ VE EKİPMANLARI	24
3.1 Karşı Basıncılı Türbin.....	24
3.2 Ara Kademeli Türbin	26
3.3 Yoğuşmalı Türbin.....	26
3.4 Türbin Yardımcı Ekipmanları	27
3.4.1 Jeneratörler.....	27
3.4.2 Buhar Kazanı.....	29
3.4.2.1 Duman Borulu Buhar Kazanı.....	29
3.4.2.2 Su Borulu Buhar Kazanı.....	30
3.4.3 Kazan Besi Suyu Arıtma Ünitesi.....	31
3.4.4 Degazör	31
3.4.5 Kondenser	32
3.4.6 Glend Buhar Kondenseri.....	33
3.4.7 Vakum pompası.....	33
4. BÖLÜM.....	34

BUHAR TÜRİNİ PERFORMANS EĞRİSİ VE İHTİYAÇ DUYULAN REVİZYONLAR	34
4.1 Tesisin Genel Yapısı	34
4.2 Buhar Türbini Performan Eğrisi	35
4.3 İhtiyaç Duyulan Revizyonlar	36
4.3.1 Buhar Kazanı Revizyonu	36
4.3.2 Kazan Besi Suyu Şartlandırma Üniteleri Revizyonu	36
4.3.3 Ölçüm Cihazlarının Yenilenmesi	37
5. BÖLÜM	38
BUHAR TÜRİNİ SİSTEMLERİ KURULUMU MALİYET VE AMORTİSMAN ANALİZİ	38
5.1 Tek Kademeli Buhar Türbinine Göre Maliyet ve Amortisman Hesabı	38
5.2 Çok Kademeli Buhar Türbinine Göre Maliyet ve Amortisman Hesabı	40
6. BÖLÜM	44
BUHAR TÜRİNİ VE YARDIMCI EKİPMANLARIN KURULUMU	44
6.1 Buhar Türbini Zemin Etüdü	44
6.1.1 Zemin Sismik Analizi	45
6.1.2 Zemin ve Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	46
6.2 Buhar Türbini Topraklama	47
6.3 Buhar Türbini Zemin Hazırlama	49
6.4 Buhar Kazanı Montajı	50
6.5 Ters Osmoz ve Edi Sistemi	53
6.6 Buhar Türbini ve Yardımcı Ünitelerin Kurulumu	55
6.6.1 Buhar Türbini ve Yardımcı Ünitelerin Bağlantıları	56
6.6.2 Buhar Hattının Temizlenmesi ve İz Testleri	58
6.7 Alternatör	59
6.7.1 Alternatör Sargı Sıcaklıkların Ölçülmesi	60
6.7.2 Alternatör Koruma Rölesi	61
6.8 Pano Odası	62
6.9 Buhar Türbini Elektrik Panoları	63
6.10 Türbin Ölçüm Panosu	65
6.11 Kablolar Seçimi ve Hesaplar	66
6.11.1 Kablo Akım Taşıma Kapasitesi Tayini	66
6.11.2 Gerilim Düşümü Hesabı	68
6.11.3 Kablo Tavalarının Montajı	69
6.12 Enstürmanların Kurulumu	70
7. BÖLÜM	72
SONUÇLAR	72
KAYNAKÇA	77
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGE LİSTESİ

AC	: Alternatif akım
DC	: Doğru akım
kWp	: DC Kurulu güç
kWh	: AC çıkış gücü
L	: Litre
P	: Güç
I	: Akım
q_{em}	: Zeminin emniyetli taşıma gücü
$cos\phi$: Güç faktörü
I_n	: Koruma elemanı nominal akım
I_z	: Kablo akım taşıma kapasitesi
I_b	: Yük nominal akım
l	: Kablo uzunluğu
R_{DT}	: Kazık topraklama direnci
R_{E1}	: Eş değer direnç
R_{ED}	: Kazık eş değer direnci
$R_{E-derin}$: Kısa devre akımı
I_m	: Maksimum akım
$R_{EŞ}$: Şerit topraklama direnci
$R_{E-şerit}$: Şerit topraklama direnci
R	: Direnç
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
T	: Sıcaklık birimi kelvin
U	: Gerilim
T_A	: Spektrum karakteristik periyodu
T_{01}	: Zemin hakim titreşim periyodu
μ	: Verim

KISALTMA LİSTESİ

EDİ	: Elektrodeiyonizasyon
FTIR	: Fouirer Transform İnfrared Spektrometre
GCB	: Generatör Control Panel
LHV	: Lov Heat Value
DCS	: Distributed Control System
ORC	: Organic rankine cycle
SEÖS	: Sürekli emisyon ölçüm sistemi
TCP	: Turbine Control Panel
CHP	: Combined heat and power
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
İSTAÇ	: İstanbul çevre yönetimi
QAL1	: Quality assurance of automated measurin system
UV	: Ultra Viyole

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Tıbbi atıkların sınıflandırılması	8
Tablo 2.2 Döner fırın özellikleri.....	12
Tablo 5.1 Tek Kademeli Buhar Türbini 2018 Yılı Kurulum Maliyet Tablosu	39
Tablo 5.2 Tek kademeli buhar türbini yatırım değerlendirme tablosu	39
Tablo 5.3 Çok kademeli buhar türbini 2018 yılı kurulum maliyeti.....	40
Tablo 5.4 Tek kademeli buhar türbini yatırım değerlendirme tablosu	41
Tablo 5.5 Buhar Türbinlerine ait kurulum maliyetleri ve çıktılar	41
Tablo 6.1 Zemin Katman Analizi	44
Tablo 6.2 Zemin ve sismik analiz sonuçları.....	46
Tablo 6.3 Topraklama ölçüm değerleri.....	49
Tablo 6.4 Buhar kazanı özellikleri.....	51
Tablo 6.5 Buhar sınır değerleri.....	53
Tablo 6.6 Türbin yağ ve yağ tankı özellikleri	57
Tablo 6.7 Alternatör Özellikleri	59
Tablo 7.1 Ortalama buhar debisi ve elektrik üretim tablosu	74

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 2019 yılı Eylül ayı sonu itibari ile kurulu güç dağılımı	2
Şekil 2.1. Tıbbi Atık Yakma Tesisi 3 Boyutlu Görseli.....	9
Şekil 2.2. Atık Kabul Alanı	10
Şekil 2.3. Atık Besleme Konveyörü	11
Şekil 2.4. Atık Tartım Ünitesi	12
Şekil 2.5 Döner Fırın.....	13
Şekil 2.6. I Yanma Odası	14
Şekil 2.7 II. Yanma Odası	15
Şekil 2.8 Buhar Kazanı	16
Şekil 2.9 Ekonomizer Ünitesi.....	17
Şekil 2.10 Aktif Karbon Ünitesi	18
Şekil 2.11 Reaktör Ünitesi	19
Şekil 2.12 Membranlı Torbalı Filtre Ünitesi	20
Şekil 2.13 Kireç Silosu Ünitesi	21
Şekil 2.14 Yakma Bacası	22
Şekil 2.15 Radyatörler.....	23
Şekil 3.1 Tek Kademeli Türbin	25
Şekil 3.2. Çok Kademeli Türbini.....	25
Şekil 3.3 Ara Kademeli Buhar Türbini	26
Şekil 3.4 Yoğuşmalı Tip Buhar Türbini.....	27
Şekil 3.5 Alternatör çalışma prensibi.....	28
Şekil 3.6 Alev borulu buhar kazanı	29
Şekil 3.7 Su borulu buhar kazanı.....	30
Şekil 3.8 Degazör.....	32
Şekil 3.9 Vakum Pompası	33
Şekil 4.1 Buhar Türbini Performans Eğrisi.....	35
Şekil 5.1 Tek kademeli buhar türbini geri dönüş süresi grafiği	40
Şekil 5.2 Çok kademeli buhar türbini geri dönüş süresi grafiği	41
Şekil 6.1 Zemin etüdü için alınan numuneler.....	45
Şekil 6.2 Sismik analiz çalışmaları.....	46
Şekil 6.3 Zemin sınıfları.....	47
Şekil 6.4 Topraklama kazıkları ve şerit donatı.....	48
Şekil 6.5 Topraklama ölçüm değerleri.....	49
Şekil 6.6 Buhar türbini temel hazırlama	50
Şekil 6.7 Alev borulu buhar kazanı fabrika muayenesi	51
Şekil 6.8 Montaja hazır buhar kazanı	52
Şekil 6.9 Buhar kazanı montajı	52
Şekil 6.10 Su arıtım üniteleri.....	54
Şekil 6.11 Ultraviyole filtre.....	54
Şekil 6.12 Buhar türbini kurulumu	55
Şekil 6.13 Glend buhar tankı.....	56
Şekil 6.14 Yağ soğutucu kondenser.....	57

Şekil 6.15 Türbin iz testleri	58
Şekil 6.16 Plaka iz testleri	59
Şekil 6.17 Alternatör	60
Şekil 6.18 Sıcaklık tarama ve ölçüm cihazı	61
Şekil 6.19 Alternatör Koruma Rölesi	62
Şekil 6.20 Buhar türbini ve elektrik panosu yerleşim planı	63
Şekil 6.21 Jeneratör kesici ve senkronizasyon panosu	64
Şekil 6.22 Türbin kontrol panosu	65
Şekil 6.23 Türbin Ölçüm Panosu	66
Şekil 6.24 Montaj yöntemine göre kablo akım taşıma kapasitesi katsayıları	67
Şekil 6.25 Çevre sıcaklığına göre kablo akım taşıma kapasitesi katsayıları	68
Şekil 6.26 Kablo hesap tablosu	69
Şekil 6.27 Sinyal (sol) ve güç kablo tavaları (sağ)	70
Şekil 6.28 Vortex debitmetre ve iletkenlik ölçüm cihazı	71
Şekil 7.1 Aylara sari saatlik ortalama buhar debisi ve elektrik üretimi	74
Şekil 7.2 Buhar Türbini Kontrol Paneli	75



1. BÖLÜM

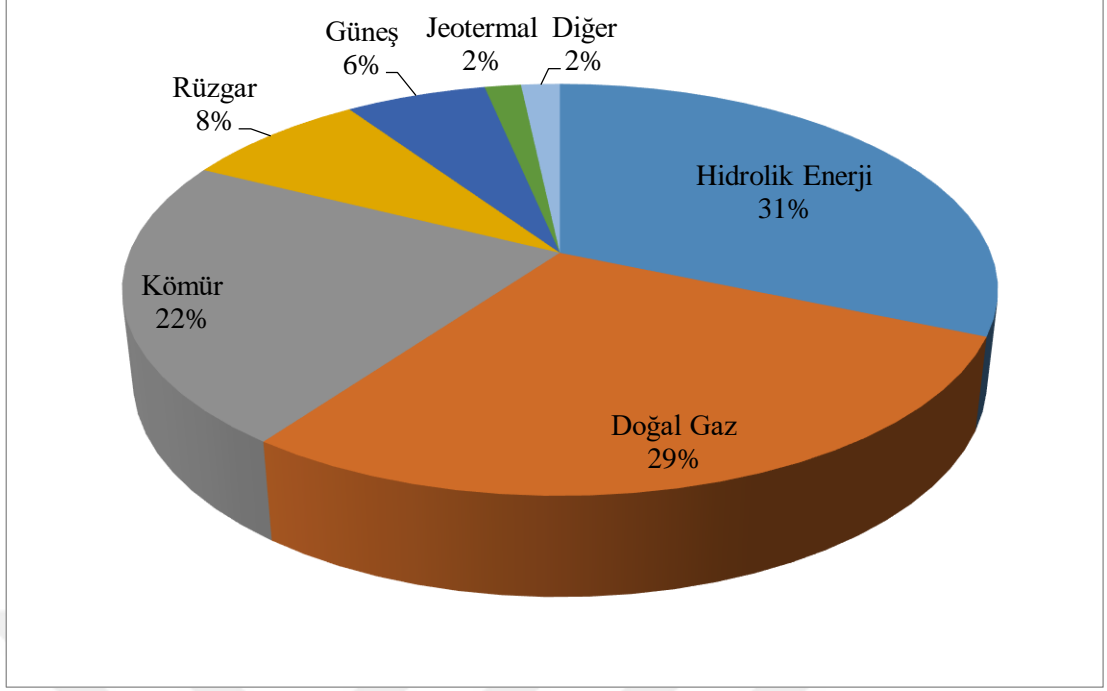
GİRİŞ

Dünya genelinde teknolojinin gelişmesi ve nüfus artışı, enerjiye duyulan ihtiyacı arttırmaktadır. Ülkelerin ekonomik olarak güçlü olması ve refah seviyelerinin yükselmesi enerji tüketim değerlerinin de artacağı anlamına gelmektedir. Yeryüzünde bulunan fosil kaynakların kısa sürede tükeneceği bilinmektedir. Fosil yakıtların çok fazla çevresel sorunlara neden olması ve kısa süre içerisinde tükenecek olmasından dolayı farklı enerji kaynakları arayışına girilmiştir.

Fosil yakıtlar açısından zengin olmayan ülkemiz, enerji konusunda dışarıya bağlı bir ülkedir. Fakat, yenilenebilir enerji olarak tanımlanan, rüzgar, jeotermal, biyokütle ve güneş gibi enerji kaynakları açısından çok önemli bir potansiyele sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu, temiz, güvenilir ve ülkenin büyük bir bölümünde bulunması özellikleri ile enerji üretim ve tüketimi noktasında önemli bir yere sahiptir. Devletler rekabeti arttırmak ve ekonomik olarak güçlenmek için, toplumun refah seviyesini yükseltecek sürekli ve temiz bir enerji kaynağına ihtiyaç duymaktadır. (Kılınç ve Urgun 2016)

Genel olarak ülkemizde enerji ihtiyacının çoğunluğu fosil kaynaklar ve az miktarda yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidrolik santraller daha çok bilinmektedir. Özellikle son yıllarda diğer yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş, rüzgar, biyokütle vd. enerji üretimi içerisinde yer almaktadır.

Ülkemizde kurulu güç oranları 2019 yılı Eylül ayı itibariyle %31,5 hidrolik, %28,6 doğalgaz, %22,4 kömür, %8,1 rüzgâr, %6,2 güneş, %1,6 jeotermal ve %1,7 diğer kaynaklar olarak açıklanmıştır. (Enerji, 2019)



Şekil 1.1 2019 yılı Eylül ayı sonu itibari ile kurulu güç dağılımı

Şekil 1.1’ de yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlara oranla çok düşük miktarda olduğu görülmektedir. Ülkemiz açısından sürdürülebilir kalkınma temiz, çevreye zarar vermeyen ve tükenmeyen enerji kaynakların kullanımı ile mümkün olabilecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yanı sıra enerjinin verimli kullanımı ve geri kazanımı da önem arz etmektedir. Özellikle endüstriyel işletmelerin yoğun olduğu ülkemizde atık ısının geri kazanımı oldukça önemlidir. (Bolatlı, 2019)

Atık ısının geri kazanımı ile ilgili uygulamalar genellikle yakma prosesine sahip olan çimento, demir çelik, cam sanayi ve yakma tesisi gibi işletmelerde yapılmakta ve yüksek miktarda enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Atık ısının geri kazanımı için yapılan yatırımların geri dönüş süresi kısadır. Aynı zamanda atık ısı kazanımıyla küresel ısınmaya neden olan CO₂ ve sera gazlarının salınımını oldukça azaltmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Hastane ve diğer sağlık kuruluşlarından kaynaklanan tıbbi atıkların toplanarak çevreye ve canlıya zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Dünya genelinde toplanan özellikle kimyasalla işlem görmüş tıbbi atıkların yakılarak bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Tıbbi atıkların yakılarak bertarafı prosesinde yanma sonucu oluşan gazlar 1100 ile 1200 °C arasında yakılarak içerisinde yer alan zararlı bileşikler yok edilmektedir. Yanma sonucu oluşan ve direk atmosfere verilemeyen atık ısının geri kazanımı ile ilgili çalışmalar başlatılmıştır.

Bu gelişmelere bağlı olarak atık ısının buhar türbini kullanılarak geri kazanılması amacıyla tasarımı, simülasyonu ve uygulaması geręekleřtirilen buhar türbini kurulum işini anlatılmaya çalışılmıştır. Ayrıca yapılacak yatırıma ait ekonomik analiz yapılarak sistemin geri dönüş süresi hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesine ait ve İSTAÇ AŞ tarafından işletilen Tıbbi Atık Yakma Tesisinde proses sonrası ağığa çıkan atık ısının kullanılarak buhar türbinine gönderilerek elektrik üretiminin geręekleřmesi amaçlanmıştır. Üretilen elektrik enerji ile tesisin ve aynı lokasyonda bulunan diğer birimlerin elektrik ihtiyacının karşılanması ve sera gazları ile CO₂ gibi zararlı gazların salınımının azaltımı hedeflenmiştir.

Ayrıca atık ısının yenilenebilir enerji kaynakları kadar önemli, çevreci, karlı bir enerji kaynağı olduğu anlatılmaya çalışılmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Gewald ve Siokos yayınladıkları makalede Yunanistan'ın Ano Liosa ilçesinde yer almakta olan ve çöp sahasında ortaya çıkan metan gazını elektrik enerjisine dönüştüren bir tesisi incelemiş ve ısı geri kazanım sisteminin ekonomik ve termodinamik unsurlarını analiz etmişlerdir. Günde 6000 ton katı atık barındıran çöp sahasından ortaya çıkan metan gazı ile 15 adet gaz motoruna ve 23,5 MW kapasiteye sahip bu tesiste elektrik üretimi yapılmaktadır. Gewalt ve Siokos bu tesiste organik Rankine Çevrimli ısı geri kazanımı sistemini ve ortaya çıkan atık ısıdan su/buhar çevrimli ısı geri kazanımı sistemini incelemişlerdir. Bu iki ısı geri kazanım sistemine ait sistem maliyetlerini ve termodinamik sistem simülasyonlarını inceleyerek sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmişlerdir. Düşük maliyet ve yüksek verime sahip en iyi ısı geri kazanımından elektrik üretimi sistemi hakkında görüş bildirmişlerdir. (Gewald ve Siokos, 2012)

Qiu ve diğerleri ORC çevrimini biyokütle ısı kaynaklı bir mikro-CHP motoruna entegre etme sürecini anlatmışlardır. Yapılan analizlerin sonucunda 50 kWth kapasitedeki bir mikro-CHP motoru ile 861 W elektrik ve 47.26 kWth ısının üretilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca elektrik üretim verimliliği ve CHP verimliliği de sırasıyla %1.41 ve %78.69 olarak hesaplanmıştır. (Qiu ve diğerleri, 2012)

Saidawat çimento endüstrisinde klinker üretimi ile elde edilen atık ısıdan enerji üretimi üzerine araştırmalar yürütmüştür. Bu çalışma, bir çimento fabrikası için enerji üretimi hesaplamasını ve enerji üretmek için kullanılan farklı metodolojileri (döngüleri) içermektedir. Atık ısı enerjisi üretiminin karbon emisyonlarını azaltmak, kaynakları ve enerji tasarruflarını optimize etmek için oldukça önemli olduğu görülmüştür. (Saidawat, 2015)

Malatya'da bulunan çöp depolama sahasında ortaya çıkan çöp gazı ile çalışan gaz motoru tesisini incelemiştir. Bu sahada yer alan motorlardan çıkan baca gazı için atık ısı kazanı tasarlayan Kankılıç, santralde kullanılan mevcut gaz motorunun elektrik verimini %41.6 olarak hesaplamış ve baca gazı atık kazanı çalışması ile elektrik verimini %48.6 değerine yükseldiğini saptamıştır. (Kankılıç, 2016)

Seyedkavoosi, içten yanmalı motordan atık ısı geri kazanımını sağlamak için iki paralel kademeli organik Rankine çevriminin ekserji analizi yapılmıştır. Atık baca gazından ve motor soğutma sıvısından atık ısıyı eşzamanlı olarak geri kazanmak için iki aşamalı yeni bir yapılandırmaya gidilmiştir. Isı geri kazanım sistemi içinde olması gerektiği düşünülen çalışma sıvıları R-123, R-134a ve sudur. Çevrim sisteminin kapsamlı bir termodinamik modellenmesi gerçekleştirilmiş ve tasarım parametrelerinin sistemin performansı üzerindeki eşzamanlı etkisini gözlemleyebilmek için sistemin optimizasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, dikkate alınan koşullar çerçevesinde R123'ün, %21'lik bir ekserji verimi ve 468 kW'lık net çıktı gücü üretmesinden dolayı sistem için en iyi çalışan akışkan olarak kabul edilmiştir. (Seyedkavoosi, 2017)

Stefannou ve diğerleri bir çelik fabrikası için atık ısı geri kazanım ünitesi ile birlikte büyük ölçekli bir organik Rankine çevrimi tesisi tasarlamışlardır. Bu tesis, Avrupa Komisyonu tarafından desteklenen PITAGORAS projesinin bir parçası olmakla birlikte İtalya'da ORI MARTIN'de kurulmuştur. Doymuş buhar üretebilmek amacıyla atık ısı elektrikli ark ocağından çıkan dumanlardan geri kazanılmış ve ısıtma mevsiminde kullanılmak için bölgesel bir ısıtma şebekesine ve yılın geri kalan zamanlarında elektrik üretiminde kullanılmak için organik Rankine çevrimine gönderilmiştir. Organik Rankine çevriminin nominal güç çıkışı 1.8 MW olarak hesaplanırken net verimlilik oranının %21.7 olduğu saptanmıştır. (Stefannou, 2017)

Gültekin hermetik kombilerin bacalarından atmosfere yayılan ısı enerjisini kullanarak termoelektrik jeneratörler aracılığıyla elektrik enerjisi üreten ve üretilen bu enerjiyle kombilerin enerji ihtiyacını gidermeyi amaçlayan Termoelektrik Baca Sistemi (TBS) tasarlamış ve imalatını gerçekleştirmiştir. Dış hava sıcaklığında azalmanın gerçekleşmesi ve kalorifer kullanım suyu sıcaklığında artış olması sebebiyle atık gaz sıcaklığının yükselmesi atık ısının sağladığı güç miktarını önemli ölçüde artırmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda, TBS kullanılmasıyla hermetik kombinin ömrü boyunca 3381.32 kW elektrik enerjisi üreteceği ve 2769.3 kg CO₂ salınımı engelleyebileceği saptanmıştır. (Gültekin, 2018)

Bu tez çalışmasında ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi İSTAÇ AŞ'ye bağlı Tıbbi Atık Yakma Tesisinde atıkların yakılması sonucu açığa çıkan termal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için kurulan buhar türbini sistemi ile elde edilen çıktılar değerlendirilecektir. Kurulumu gerçekleştirilen sistem, özellikle çevre ve insan sağlığı için son derece zararlı ve kalorifik değeri bilinmeyen tıbbi atıkların bertarafı sonrası oluşan atık ısıdan faydalanabilmesi açısından önem arz etmektedir. Buhar türbinine gönderilecek olan buharın sahip olduğu enerji tıbbi atıkların kalorifik değerine bağlıdır. Dolayısıyla tesiste üretilecek olan buhara ait debi, sıcaklık ve basınç gibi parametreler üretilecek elektrik miktarını doğrudan etikelemektedir. Sistem üzerinde bulunan ölçüm cihazlarıyla buhar parametreleri sürekli izlenerek buhar türbinin maksimum verimde çalışması hedeflenmektedir. Buhar türbini sistemi genel olarak buhar türbini, buhar kazanı, su şartlandırma ünitelerinden oluşmaktadır.

Tezin diğer bölümlerinde tıbbi atık yakma tesisinin tanıtımı, buhar türbini yardımcı ekipmanları, buhar türbini performans eğrisi, buhar türbini sistemi kurulumu için ihtiyaç duyulan revizyonlar, sisteme ait maliyet ve amortisman analizi ile sistemin kurulumu anlatılacaktır.

2. BÖLÜM

TIBBİ ATIK YAKMA TESİSİ TANITIMI

2.1 Tıbbi Atık

Tıbbi atıklar, sağlık kuruluşlarının faaliyetleri sonucu oluşan, çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek patolojik, enfekte ve kesici/delici unsurlardan oluşmaktadır. (Okur, 2019)

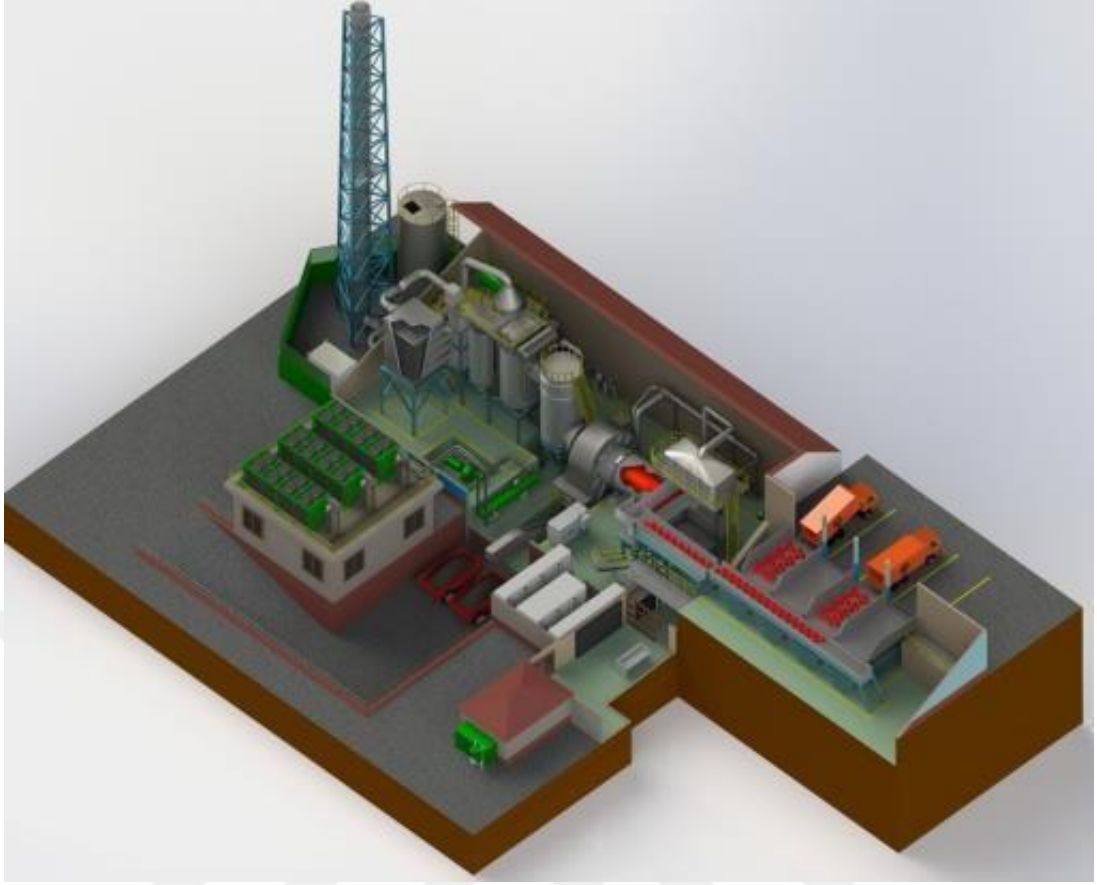
Tablo 2.1 Tıbbi atıkların sınıflandırılması

Enfeksiyöz Atıklar	Patolojik Atıklar	Kesici Delici Atıklar
İçerisinde enfeksiyona neden olacak mikroorganizmalar bulunan ve toplanması ile bertarafı sırasında özel uygulamalar gerektiren atıklardır. Laboratuvar atıkları, Kan ve kan bulaşmış atıklar	Ameliyat vb. cerrahi operasyonlar sonucu oluşan atıklardır. İnsan uzvu ve vücut parçaları, Doku ve organlar, Deney hayvanları	Temas edilmesi halinde batma, yaralama, kesilme vb. sorunlara neden olacak atıklardır. İğne uçları, Bisturi, lam ve lamel

Kaynak: Aydoğan ve diğerleri, 2010

2.2 Tıbbi Atık Yakma Tesisi

İstanbul genelinden toplanan tıbbi atıkların bir kısmı İSTAÇ AŞ Tıbbi atık Yakma Tesisinde yakılarak bertaraf edilmektedir. Lisanslı özel araçlarla toplanan kimyasalla işlem görmüş patolojik atıklar ve tıbbi atıklar 850 – 1200 °C sıcaklıkta yakılmaktadır. Tesisin tasarım kapasitesi günlük 24 ton olup, fiili kapasitesi ortalama saatlik 850 kg'dır. Tesis yaklaşık olarak haftalık 162, aylık 696 ve yıllık 7656 saat çalıştırılmaktadır. Yakma işlemi döner fırın ve dikey bir son yakma odasından oluşan iki adımlı yakma sistemiyle gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.1. Tıbbi Atık Yakma Tesisi 3 Boyutlu Görseli

2.2.1 Atık Kabul Alanı

Atık kabul alanı işletmede 180 m² kapalı alanda yer almaktadır. Bu ünite de atığın tesise kabul işlemi gerçekleştirilmektedir. Yakma tesisine tıbbi atıklar ve ağız kapalı özel poşetlerde gelen tıbbi atıklardan çevreye ve tesise herhangi bir sıvı akması olmaması için ünite de kullanılan atık bunkerlerinin tamamı 316L paslanmaz çelikten imal edilmiş olup tam sızdırmazlık sağlanmıştır. Atık kabul alanına, gelen atıkların boşaltılması sırasında tıbbi atık poşetlerinin delinmesi vb. durumlarda özel turuncu renkli koruyucu elbise, koruyucu tulum, tıbbi atık eldiveni, bone ve yarım yüz maskesine sahip tıbbi atık personeli tarafından olaya anında müdahale edilmektedir.

Atık dökülen alan, absorban malzeme(talaş, emici ped, sosis vb.) kullanıldıktan sonra kuru dezenfekte edilerek temizlenmektedir. Bu durum sonucunda çıkan atıklara aynı tıbbi atık muamelesi yapılarak diğer atıklarla birlikte yakma işlemine tabi tutulmaktadır. Tesise gelen tıbbi atıklar hastanelerden karışık olarak toplanmaktadır. Gelen tıbbi atık poşetlerinin içerisinde hangi tür atıkların olduğuna dair bilgiye sahip olunmadığından gelen atıklar ayrıştırma gözetmeksizin yakılmak üzere sisteme beslenmektedir. Bu tıbbi atık poşetlerinin içerisinde varillerle sıvı patolojik atıklarında gelmesi durumunda sistem sıvı atıkları da almaya uygundur.



Şekil 2.2. Atık Kabul Alanı

2.2.2 Atık Besleme Konveyörü

Atık besleme konveyörü işletmede 45 m² alanda yer almaktadır. Bu ünite de atığın atık besleme kantarına iletilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Atık besleme konveyöründeki atık ilerleyişini motorlar sağlamaktadır. Sistemde bulunan motorlar titreşimli olarak 1500 d/dk ile 2,2 kW gücünde çalışmaktadır. Motorlarda oluşan titreşim ana hattı etkileyerek atıkların ilerlemesini sağlamaktadır. Hattaki ve zemine giden titreşimin rezonansa dönüşmesini engellemek amacı ile sistemde sönümleyici yaylar bulunmaktadır.



Şekil 2.3. Atık Besleme Konveyörü

2.2.3 Atık Besleme Kantarı

Atık besleme kantarı işletmede döner fırının üstünde 2 m²'lik alanda yer almaktadır. Atıklar konveyör hattından kontrollü bir şekilde ilerleyerek kantar kısmına gelmektedir. Bu ünite de atığın tartılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Fırın girişinde tam otomatik ve dijital olarak, hacim ve kütle kontrolü yapılmaktadır.



Şekil 2.4. Atık Tartım Ünitesi

2.2.4 Döner Fırın

Döner fırın işletmede 20 m² alanda yer almaktadır. Bu ünite de atığın yakılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Kantardan beslenen atıklar 850-1100 °C sıcaklık aralığında yaklaşık olarak 1 saat kadar döner fırında yakılarak bertaraf edilmektedir.

Tablo 2.2 Döner fırın özellikleri

Dönme Hızı (d/dk)	Fırın Hacmi (m)	Fırın Uzun- luğu (m ³)	Fırın Çapı (m)	Fırın Ağır- lığı (ton)
0-12	27.5	7.5	2.73	14



Şekil 2.5 Döner Fırın

2.2.5 I. Yanma Odası

I. Yanma Odası iç yüzeyi refrakter malzeme ile kaplanmış olup, işletmede 15 m² alanda yer almaktadır. Yanma sonucu oluşan küller I. Yanma Odası altında bulunan su tankına dökülmektedir. Sıcak külün suya düşmesi hem sıcaklığını düşürmek hem de daha fazla ufalanmasını sağlamak açısından gerekli bir uygulamadır. Su tankına inen yanma külleri çelik palet konveyör yardımı ile tesis dışında bulunan römorklara aktarılır. Yanma sonucu oluşan taban külünün analizi yapılmakta ve analiz sonuçlarına göre 2. Sınıf Düzenli Depolama alanında depolanmaktadır. Çelikten yapılmış su tankı sızdırmaz olup içerisindeki su yüksek sıcaklıktaki küllerin düşmesiyle sürekli buharlaşma sonucu azalmaktadır. Tank içerisindeki azalan su miktarı otomatik şamandıra sistemiyle tekrar takviye edilmektedir. I. Yanma odası sıcaklığı 900-1100°C sıcaklık aralığında tutulmaktadır. Yanma veriminin sağlanabilmesi adına otomasyon sistemi üzerinden otomatik olarak yaklaşık 4-6 m³/s hava beslenmekte ve bu değerler ölçülen oksijen miktarına göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 2.6. I Yanma Odası

2.2.6 II. Yanma Odası

II. Yanma odası işletmede 15 m² alanda yer almaktadır. Bu ünite de atığın yanması sırasında çıkan gazların 1100-1200 °C'de sıcaklıkta yanma işlemi gerçekleştirilmektedir. II. Yanma odasından buhar kazanına (boiler) gazın geçiş süresi asgari 2 saniyedir. Yakma havasının son enjeksiyonundan sonra yanma gazlarının sıcaklığı ikinci yanma odasında 850°C veya duruma göre 1100°C'nin altına düşerse yedek brülör otomatik olarak devreye girmektedir.



Şekil 2.7 II.Yanma Odası

2.2.7 Buhar Kazanı

Buhar kazanı (boiler) işletmede 15 m² alanda yer almaktadır. Bu ünite de atığın yakılması sonucu oluşan gaz ısısından faydalanılarak alev – duman borulu kazan içerisindeki su ısıtılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Buhar kazanı 5500 kg/h kapasiteli olup 16 bar 290 °C’ da buhar üretimi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.8 Buhar Kazanı

2.2.8 Ekonomizer

Ekonomizer işletmede buhar kazanının yanında 10 m² alanda yer almaktadır. Bu ünite, buhar kazanında ısı transferi işlemi gerçekleştirilen suyun ön ısıtmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.9 Ekonomizer Ünitesi

2.2.9 Aktif Karbon Dozlama Ünitesi

Aktif Karbon Dozlama Ünitesi işletmede 2 m² alanda yer almaktadır. Aktif karbonlar büyük kristal yapılara sahip gözenekli yapısı ve belirli maddeleri çekebilmesi için çekici bir yüzeye sahip olduklarından dolayı endüstriyel tesislerde en yaygın kullanılan absorbanlardır. Yakma tesisinde de kullanılan bu ünite 35 kg aktif karbon alma haznesine sahip olup, saatlik 750 g aktif karbon baca gazı içerisine dozlamaktadır. Aktif karbon kullanılarak Dioksin-Furan gibi zararlı maddelerin atmosfere salınması engellenmektedir.



Şekil 2.10 Aktif Karbon Ünitesi

2.2.10 Reaktör

Reaktör tesiste 10 m² alanda yer almaktadır. Bu ünite de atığın yakılması sonucu oluşan zararlı ve kirlenici gazların arıtımı yapılmaktadır. Atıkların yakılması, elektrik santralinden çıkan baca gazları örneğine nazaran nispeten düşük SO_x ve yüksek miktarlarda HCl içeren baca gazları ile karakterize edilmiştir. Kuru kalsiyum hidroksit ve aktif karbon enjeksiyonu ile baca gazındaki arzu edilmeyen bileşenler reaksiyona tabi tutulur. Kuru kalsiyum hidroksit miktarı prosese bağlı olan HCL ölçüm cihazından alınan veriye göre otomatik olarak belirlenmektedir.

Kullanılan Bileşim: Sönmüş Toz Kireç, Aktif Karbon

Gaz Debisi: 10980 Nm³/h

Reaktör Yüksekliği: 7,5 m



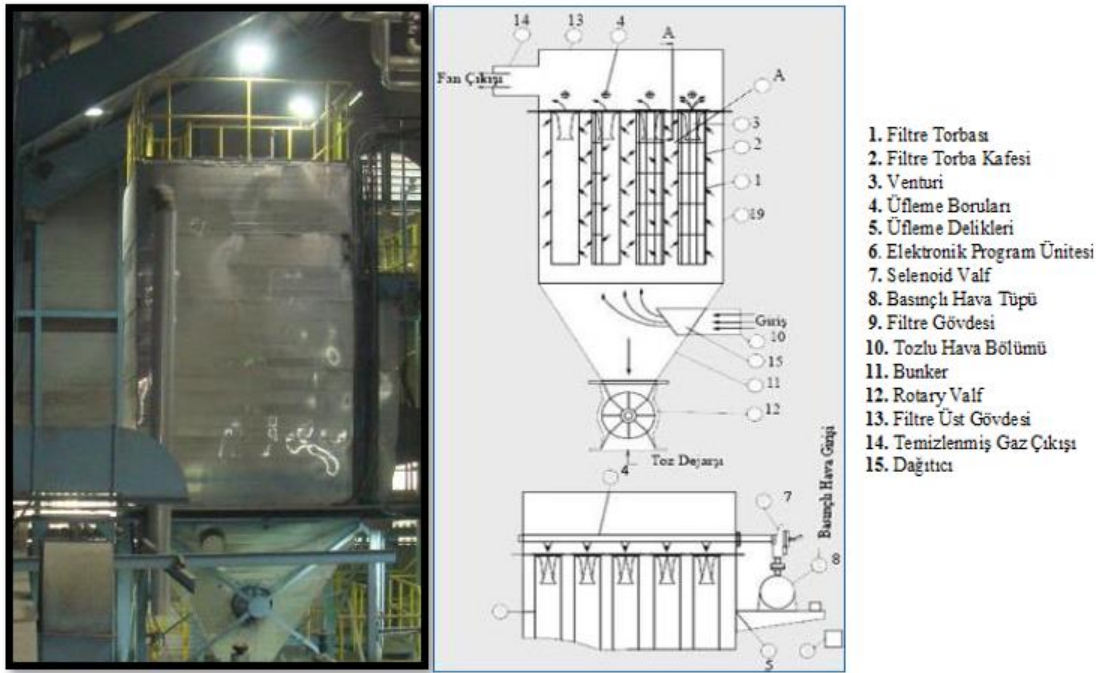
Şekil 2.11 Reaktör Ünitesi

2.2.11 Membranlı Torbalı Filtre Ünitesi

Torbalı Membran Filtre işletmede 5 m² alanda yer almaktadır. Bu üniteye atığın yakılması sonucu oluşan gazların arıtılması sonucu oluşan partiküllerin tutulması sağlanmaktadır.

Sistemin sonunda bulunan cebri çekiş fanının yarattığı vakumun etkisiyle tozlu gazlar, boruların içinden geçerek bunkerin üst kısmından (giriş davlumbazı vasıtası ile) girerler ve torbalara gelmeden önce bunkere dağılmaktadır. Filtreleme torbalarının dış yüzünden içe doğru yapılmaktadır. Aynı anda torba yüzeyinde biriken toz tabakası filtrelemeye yardımcı olmaktadır. Temizlenmiş gazlar, torba iç yüzeyinden geçerek üst kısımdaki temiz gaz hücresine dolar ve buradan temiz gaz çıkış borusundan geçerek cebri çekiş fanı ile bacadan atmosfere atılmaktadır.

Filtre torbalarının dışında biriken toz tabakasının temizlenmesi ise basınçlı hava sayesinde yapılmaktadır. sayesinde yapılmaktadır. Torbalardan dökülen tozlar ise filtre alt bunkerinden Hava Kilidi (Air-Lock) vasıtasıyla big-bag'lere doldurulur. Temizleme işlemi sırasında filtre torbalarına basınçlı hava etkisi kısa darbelerle sağlanmaktadır. Basınçlı havanın kısa zaman aralıklarında filtre torbalarına püskürtülmesi işlemi bir elektronik zamanlayıcı sayesinde sağlanmaktadır. Zamanlayıcı temizleme süreleri isteğe göre ayarlanabilmektedir. Kuru Tip Tozsuzlaştırma Sistemleri içerisinde en yüksek verime sahip sistemlerdir.



Şekil 2.12 Membranlı Torbalı Filtre Ünitesi

2.2.12 Kireç Silosu

Kireç silosu işletmede 15 m² alanda yer almaktadır. Bu ünite, atığın yakılması sonucu oluşan gazların arıtımında kullanılan sönmüş toz kireç depolanmaktadır. Silonun iç kısmında reaktör bölümüne sönmüş toz kirecin aktarılmasını sağlayan vidalı hava üfleyici, helezonlu aktarıcılar ve 3 adet elektrik motoru bulunmaktadır.



Şekil 2.13 Kireç Silosu Ünitesi

2.2.13 Baca

Baca işletmede 10 m² alanda yer almaktadır. Proses sonucu oluşan artılmış gazların atmosfere salınımı için kullanılan kısımdır. Baca alt noktasında sistemin vakumunu sağlayan cebri çekiş fanı bulunmaktadır. Bu sistemdeki motorun gücü 55 kW ve 2800 d/dk'dır.

Baca Yüksekliği: 40 m

Baca Çapı: 0.60 m

Baca Fanı Debisi: 14000 Nm³/h

Fan Statik Basıncı: 534 mmSS



Şekil 2.14 Yakma Bacası

2.2.14 Radyatörler

Bu ünite dış ortam havasını kullanarak proses suyunun soğutulması amacıyla yönelik kullanılmaktadır. Çalışma prensibi sistemdeki dönüş suyu yükünün bir fanlı eşanjör sistemi yardımıyla havaya aktarılmasıdır. Fanlar (vantilatörler) ile emilen havanın kanatlar (lameller) arasından geçerken boru içindeki akışkanı soğutması esasına göre çalışır. Bu yöntemde eşanjörün dış yüzeyi kurudur. Bu durumda kanatlarda kireçlenme ve korozyon gibi sorunlar yoktur. Sistemin kapalı devre çalışması sayesinde soğutma suyunun azalması problemiyle karşılaşılmamaktadır.



Şekil 2.15 Radyatörler

2.2.15 Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemi

Yakma tesisi baca gazı emisyonlarının Bakanlık ve İl Müdürlüğü tarafından anlık olarak incelenebilmesi için, Sürekli Ölçüm Sistemleri Tebliğine uygun olarak Sürekli Ölçüm Sistemi kurulmuştur. Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemlerinde, bacadan alınan numune 18 m'lik ısıtılmalı hat (184°C) yardımıyla gaz analizörüne taşınmaktadır.

Analizör FTIR teknolojisiyle, H₂ gazı kullanılarak HF, HCL, CO, NO_x, NO, SO₂, TOC, H₂O, O₂ parametrelerini ölçmektedir. Toz cihazı, saçılan ışık teknolojisiyle 0-200 mg/Nm³ arasında ölçüm yapmaktadır. Debi cihazı ise 0,03-100 m/s arasında ultrasonik ölçüm yapmaktadır. Tüm cihazlar SEÖS Tebliğinde istenilen QAL1 sertifikasına sahiptir. Emisyon yazılımında kullanılan veri kayıt cihazı (Listener) 10 yıl veri saklama kapasitesine sahip olup, kesintisiz güç kaynağı ile beslenmektedir.

3. BÖLÜM

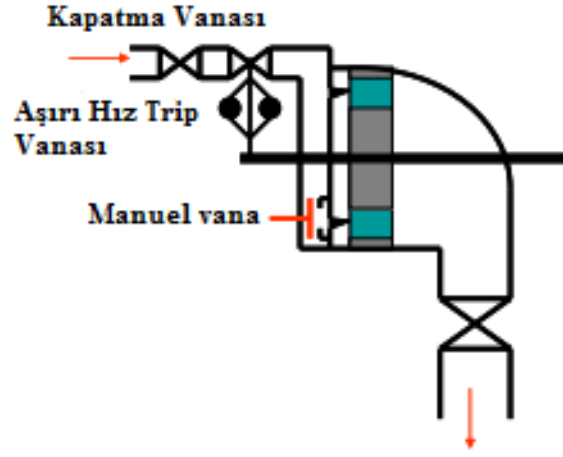
BUHAR TÜRBİNİ VE EKİPMANLARI

Buhar türbinleri işletme buharın sahip olduğu termal enerjiyi mekanik enerjiye çeviren güç makineleridir. Buhar türbinin ilk olarak 1880'li yıllarda İngiliz mühendis Charles Parsons tarafından tasarlandığı bilinmektedir. Buhar türbinleri çoğunlukla enerji üretim santrallerinde kullanılmaktadır.

Buhar türbinine verilen yüksek basınçlı buharın türbin içerisinde hızı artırılmakta ve yüksek hıza ulaşan buharın sabit olan kanatlara çarpması sağlanmaktadır. Kanatlar, kendi etrafında dönebilen tek parça hareketli bir mil üzerinde yer almaktadır. Buharın kanatlar üzerinde oluşturduğu kuvvet mile aktarılarak mekanik enerji elde edilmektedir. Buhar türbinlerinde yüksek basınçla giren buhar alçak basınçlı buhara dönüşerek dışarıya atılmaktadır. Buhar türbinleri buhar akışı ve çalışma şekillerine göre farklılık göstermektedir. Aşağıda bazı türbin çeşitleri yer almaktadır. (Riyaz ve diğerleri, 2012)

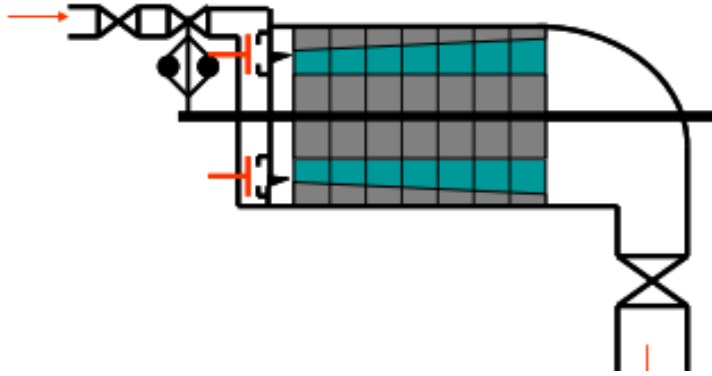
3.1 Karşı Basınçlı Türbin

Karşı basınçlı türbinler yoğuşmasız tip türbinler olarak adlandırılmaktadır. Bu türbinlerde, atmosfer basıncının üzerindeki buhar, bir buhar kollektörüne aktarılmaktadır ve uygulamada her zaman basınç düşürücü istasyonlarla beraber kullanılmaktadır. Endüstriyel tesislerde çok fazla tercih edilmektedir. Tek ve çok kademeli olarak iki farklı tipi bulunmaktadır. Çok kademeli türbinlerin verimi tek kademeli türbinlere oranla daha yüksektir.



Kaynak: ABD EB Buhar En İyi Uygulamalar Programı Son Kullanıcı Eğitimi

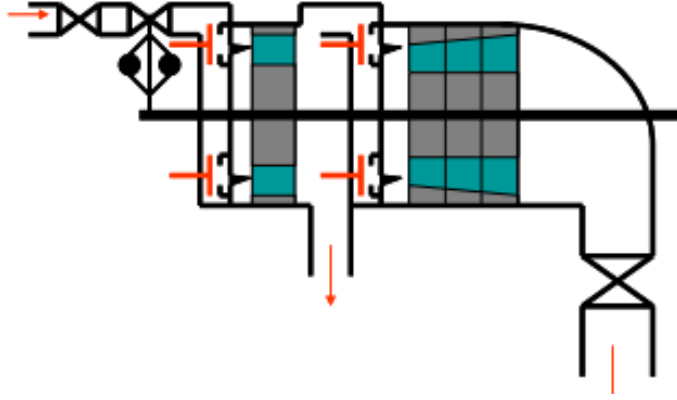
Şekil 3.1 Tek Kademeli Türbin



Şekil 3.2. Çok Kademeli Türbini

3.2 Ara Kademeli Tübin

Karşı basınçlı ara kademeli buhar türbininde buharın giriş ve çıkış noktasında buhar almak için bir veya daha fazla ara bölme bulunmaktadır. Birden fazla çok kademeli

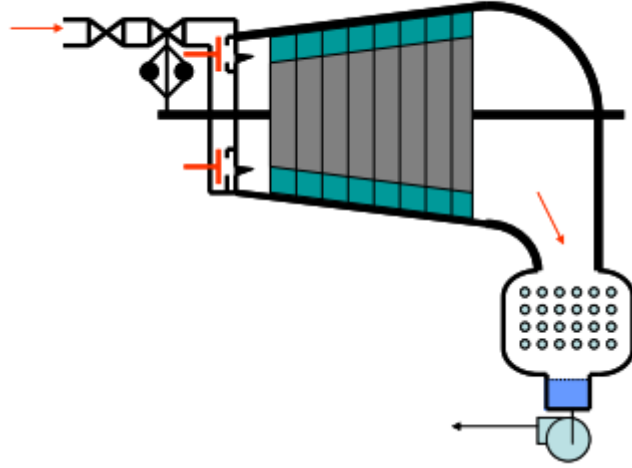


Şekil 3.3 Ara Kademeli Buhar Türbinini

türbinin aynı mile bağlı çalışması olarak tanımlanabilmektedir. Çoğunlukla ara bölmelerde ihtiyaç duyulmayan buharın ortamdan alınması ve buhar dengesinin sağlanması için ihtiyaç duyulmaktadır.

3.3 Yoğuşmalı Türbin

Yoğuşmalı tip türbinlerde çıkan buhar atmosfer basıncının altında yoğuşturularak kondens tankına gönderilir. Kondense gelen buharın termodinamik kalitesi %90' nın üstünde yer almaktadır. Kondens tankında yoğusturulan buhar tekrardan buhar kazanına gönderilmektedir. Genellikle enerji üretim tesislerinde, hava komprsörleri vb. tahrikle çalışan ekipmanlar için kullanılmaktadır. (YEGM, 2019)



Şekil 3.4 Yoğuşmalı Tip Buhar Türbini

3.4 Türbin Yardımcı Ekipmanları

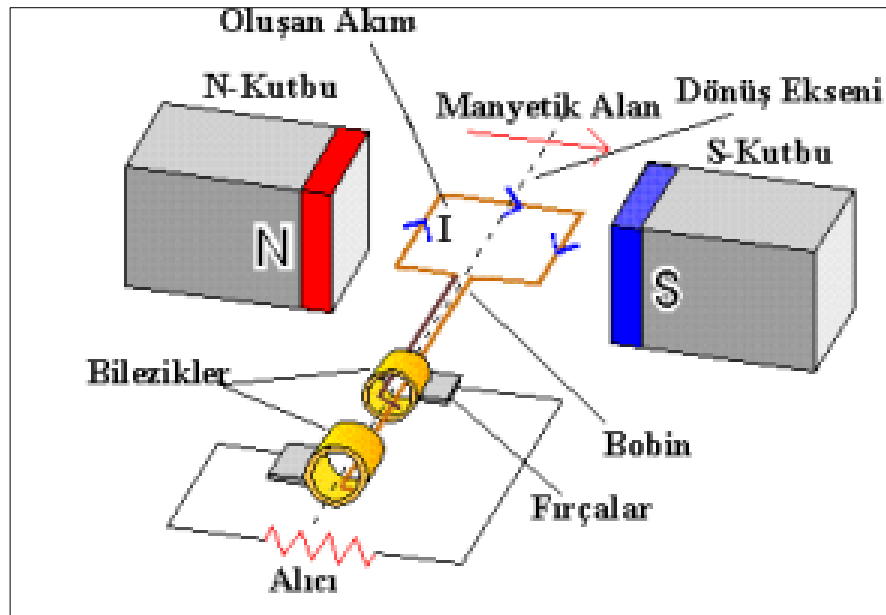
Endüstriyel tesislerde buhar türbinlerinin işletilebilmesi için birçok yardımcı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle bazı üniteler buhar türbininin sorunsuz çalıştırılması için kritik öneme sahiptirler. Buhar türbininin ekonomik ömrü boyunca verimli bir şekilde işletilmesi için bu ünitelerin bakım ve kontrollerinin sürekli olarak yapılması önem arz etmektedir. Aşağıda bu ünitelerle ilgili bilgiler yer almaktadır.

3.4.1 Jeneratörler

Jeneratörler, üretilen akımın türüne göre AC ve DC olacak şekilde ikiye ayrılmaktadır. Alternatif akım jeneratörleri alternatör, doğru akım jeneratörleri ise dinamo olarak adlandırılmaktadır. Jeneratörler rotora uygulanan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren elektrik makineleridir. (Sunay, 2019)

AC jeneratörler genel olarak 4 farklı yapıdan meydana gelmektedir. Bunlar rotor, rotor taşıyıcı yataklar, stator ve uyarım sistemidir. Rotor giriş ve çıkış kısımlarında kaydırmalı olacak şekilde radyal yataklar bulunmaktadır. Rotor stator içerisine hassas bir boşluk bırakılarak monte edilir ve rotorun dönmesi sağlanır. Jeneratörler, manyetik alan içerisinde yer alan iletkenin dönmesi sonucunda iki uc arasında bir elektromotor kuvveti oluşması prensibine göre çalışmaktadır. (Sunay, 2019)

Alternatörlerin gerilim üretebilmesi için rotor üzerinde yer alan kutup bobinleri, kesintisiz olarak doğru akım kaynağından beslenmelidir. DC kaynakla uyarılan kutuplarda mıknatıs kutupları oluşur. Rotorun dönmeye başlamasıyla beraber mıknatıs kutuplarının oluşturduğu manyetik çizgeleri stator sargılarında gerilim oluşmasına neden olur. Dışarıdan doğru akım kullanılarak rotor kutuplarındaki manyetik alanın oluşmasını sağlayan sistem ikaz (uyartım) sistemi olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak ikaz sistemi dinamik ve statik ikaz sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır. (Sunay, 2019)



Kaynak: <https://thenerjist.wixsite.com/thenerjist/single-post/2018/03/16/SENKRON-JENERATOR-KISACA-NEDIR>

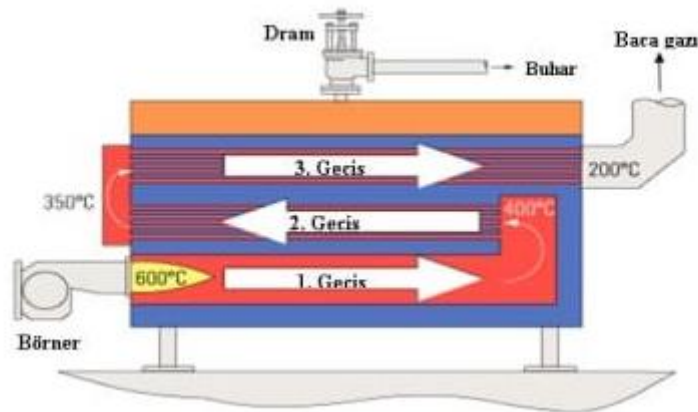
Şekil 3.5 Alternatör çalışma prensibi

3.4.2 Buhar Kazanı

Buhar kazanları işletmede yanma prosesleri sonucu açığa çıkan ısı enerjisinin suya aktarılarak işletmenin ihtiyaç duyduğu sıcaklık, basınç ve debide buhar üreten ünitelerdir. Genellikle buhar üretiminde fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Atık yakma tesislerinde ise fırın, mevzuat gereği istinilen sıcaklıklara fosil yakıtlarla getirilmekte sonrasında ise atık besleyerek sıcaklıklar korunmaktadır. Sıcaklık düşümlerinde ise brülör vb. ekipmanlar ile sıcaklıklar tekrar istenilen değerlere getirilmektedir. Buhar kazanları endüstride genellikle ısıtma ve enerji üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Buhar, ısı taşıma ve ısı transferi özelliklerinin çok iyi olması nedeniyle bir çok alanda kullanılmaktadır. Buhar kazanları duman (alev) ve su borulu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.4.2.1 Duman Borulu Buhar Kazanı

Duman borulu buhar kazanlarında yanma sonrası oluşan yüksek sıcaklıktaki gazlar, boru demetlerinin içerisinden geçerek etrafındaki suyun buharlaşmasını sağlamaktadır. Bu tür kazanlarda su hacmi buhar hacmine nazaran daha fazladır. Genellikle kazandan elde edilen sıcaklık ve basınç değerleri düşüktür. Boruların etrafının su ile çevrili olması ısının tutulmasını ve verimin yüksek olmasını sağlar.



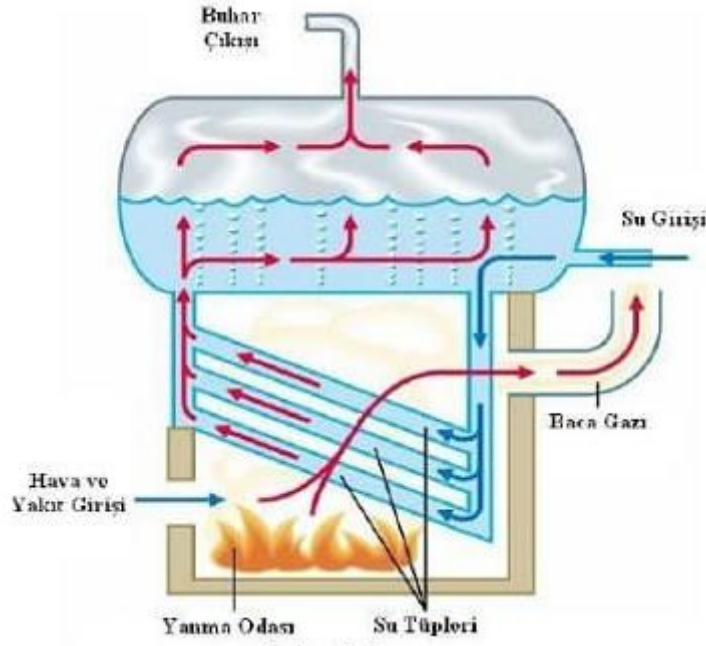
Kaynak: <https://www.tesisat.org/kazanlar-ve-kazan-cesitleri.html>

Şekil 3.6 Alev borulu buhar kazanı

3.4.2.2 Su Borulu Buhar Kazanı

Su borulu buhar kazanları yüksek sıcaklık ve basınçta buhar üretmelerinden dolayı endüstride bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu tür kazanlarda yanma sonrası oluşan gazlar içi suyla dolu olan boruların etrafından geçerek buharın oluşmasını sağlamaktadır. Su borulu kazanlar tek veya çift domlu olarak imal edilmektedir. Harici bir dom ünitesiyle su boruları birbirine bağlanmaktadır.

Boruların üzerinde yer alan perdeler, gazların borulara dik veya paralel olarak temas etmesini sağlar. Böylelikle gazın sahip olduğu ısının büyük bir bölümü borulara aktarılmış olur. Buhar üretimi alev borulu kazanlara göre daha hızlıdır. Özellikle enerji üretimi açısından oldukça verimli ve uygundur. Kazan ömrünün uzun süreli olabilmesi için kullanılan suyun kalitesi önem arz etmektedir.



Kaynak: <https://www.tesisat.org/buhar-tesisati-buhar-kazanlari.html>

Şekil 3.7 Su borulu buhar kazanı

3.4.3 Kazan Besi Suyu Arıtma Ünitesi

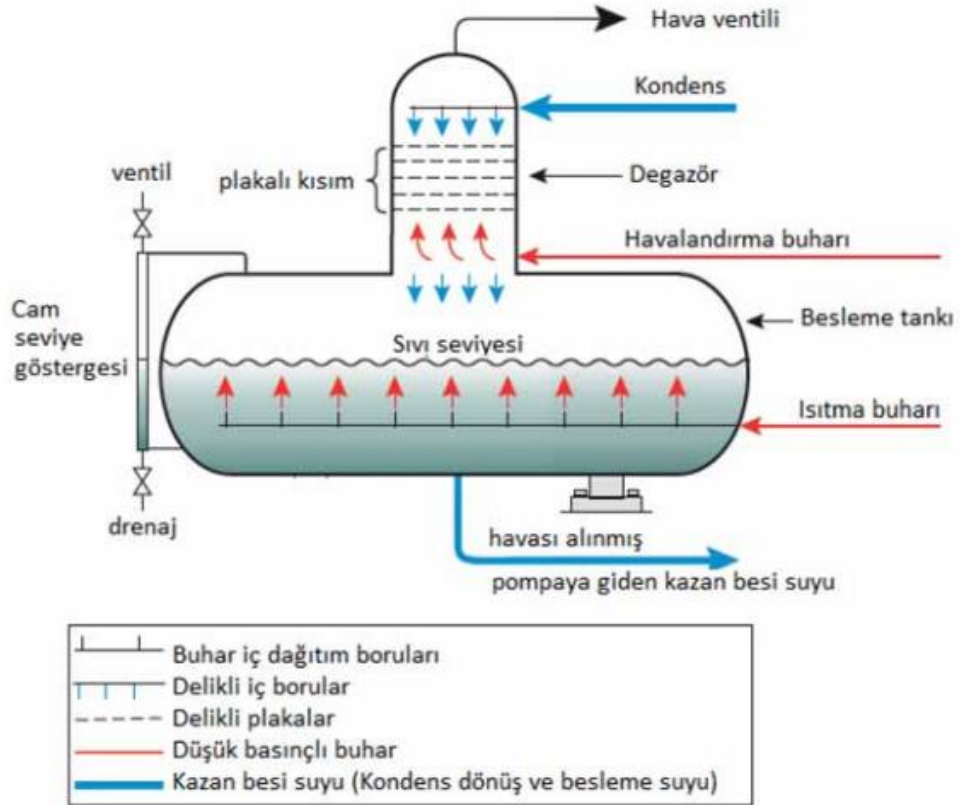
Buhar kazanı işletilen tesislerde, kazan besı suyunun içerisinde bulunan mineral, bakteri vb. etkenlerden arındırılması gerekmektedir. Yumuşatma ünitesinde suyun içerisinde bulunan ve kazan boru sistemlerinde kireç taşıa oluşumuna neden olan kalsiyum, magnezyum gibi iyonlar uzaklaştırılmaktadır. Ön arıtımı yapılan su ters osmoz sistemine gönderilerek yüksek basınçta yarı geçirgen bir membrandan geçirilmekte ve su içerisinde çözünmüş halde bulunan mineral, tuz, katı madde ve organik maddeler %90-99 arasında uzaklaştırılmaktadır. Ayrıca ters osmoz ünitesi sonrası ultraviyole ve edi sistemleri kullanılabilir.

Ultraviyole sistemlerinde su içerisinde bulunan mikroorganizmalar yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar ile etkisiz hale getirilmektedir. Edi sistemleri ise elektroliz işlemini prensibiyle çalışmakta ve su saflaştırılmaktadır. Özellikle yüksek saflık gerektiren sistemlerde kullanılmaktadır.

3.4.4 Degazör

Buhar hatlarında korozyon, paslanma, delinme vb. etkilere neden olan ve CO₂ gazları degazör ünitesinde toplanmaktadır. Kazan besı suyunda serbest halde bulunan çözünmüş oksijen (O₂) ve kazan borularının içinde oluşan kireç vb. partiküllerin parçalanmasıyla karbondioksit CO₂ gazları oluşur. Bu gazlar buhar hatlarında korozyon, paslanma, delinme vb. etkilere neden olmaktadır. Buhar hatlarının uzun ömürlü kullanılabilmesi için kazan besı suyunun içerisinde yer alan bu gazların ayrıştırılması gerekmektedir. Buhar hatlarına zarar veren bu gazlar degazör ünitelerinde ayrıştırılmaktadır. Degazörler genel olarak 102 °C - 105 °C işletme sıcaklığında ve 0.2 bar – 0.5 bar aralığında çalışmaktadır.

Degazör ünitesinde gazların arındırılması için suyun pülverize edilerek degazör plakalarından geçirilmesi ve buhar verilerek ısıtılması gerekmektedir. Buhar ile ısıtılan su içerisindeki gazlar ayrıştırılır ve üst kısımdan otomatik olarak tahliye edilir. Dega- zör ünitesi üzerinde bulunan enstürmanlar yardımıyla oksijen, sıcaklık ve basınç gibi parametreler ölçülerek sistemin işleyişi kontrol edilmelidir.



Kaynak: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/yayin_dosyalar/b976f2ba6264814_ek.pdf

Şekil 3.8 Degazör

3.4.5 Kondenser

Kondenser ünitesi buhar türbininden çıkan buharın yoğuşturulmasını sağlayan ünedir. Kondenserler boyutu işletmenin ihtiyacına göre değişmektedir. İçerisinde bulunan eşanjör yardımıyla ısının değişmesi sağlanır. Kondense giren buhar, boruların içerisinden geçen soğutucu akışkana ısını aktararak yoğuşmakta ve kondens haline gelmektedir.

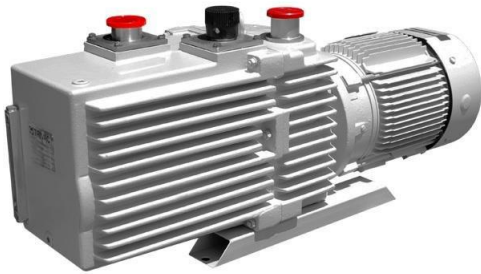
Isı miktarı artan soğutma suyu ise soğutma kulelerine gönderilerek soğutulur. Sistem kapalı devre sistemi ile çalışır ve soğutulan su tekrardan kondense gönderilir. Buharın yoğunlaşması sonucu olan su, pompa yardımıyla tekrardan kullanılmak üzere sisteme gönderilir. Özellikle türbin verimi açısından kondens tankının soğutma devresi ve vakum değeri önem arz etmektedir.

3.4.6 Glend Buhar Kondenseri

Buhar türbini devreye alınmadan önce türbin içerisine dış ortam havasının girişini engellemek ve sızdırmazlığı sağlayabilmek için çok az miktarda buhar gönderilir. Gönderilen bu buhar ile türbin ekipmanlarının sızdırmazlığı sağlanmakta ve buhar tekrardan glend buhar kondenserine gönderilerek yoğunlaştırılmaktadır. Kondense dönüşen buhar kullanılmak üzere tekrardan sisteme gönderilmektedir. Böylelikle kullanılan buharın enerjisi tekrardan kullanılmakta ve su tasarrufu sağlanmaktadır.

3.4.7 Vakum pompası

Vakum pompaları atmosfer basıncı altında bir basınç sağlamaktadır. Endüstride birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle yoğunlaşmalı tip buhar türbinlerinde türbin çıkışı oluşan çürük buharın kondens tankına iletilmesini sağlamaktadır. Burada vakum kalitesi ne kadar iyi olursa türbin verimi de o kadar artmaktadır.



Kaynak:

Şekil 3.9 Vakum Pompası

4. BÖLÜM

BUHAR TÜRBİNİ PERFORMANS EĞRİSİ VE İHTİYAÇ DUYULAN REVİZYONLAR

Tıbbi Atık Yakma Tesisinde, atıkların yakılması sonucu açığa çıkan atık ısının buhar türbininde kullanıldığı takdirde ne kadar elektrik üretileceği simülasyon programı yardımıyla tespit edilebilmektedir. Aşağıda tesisin genel durumu, buhar türbini performans eğrisi ve türbinin verimli bir şekilde işletilmesi için ihtiyaç duyulan revizyonlar anlatılacaktır.

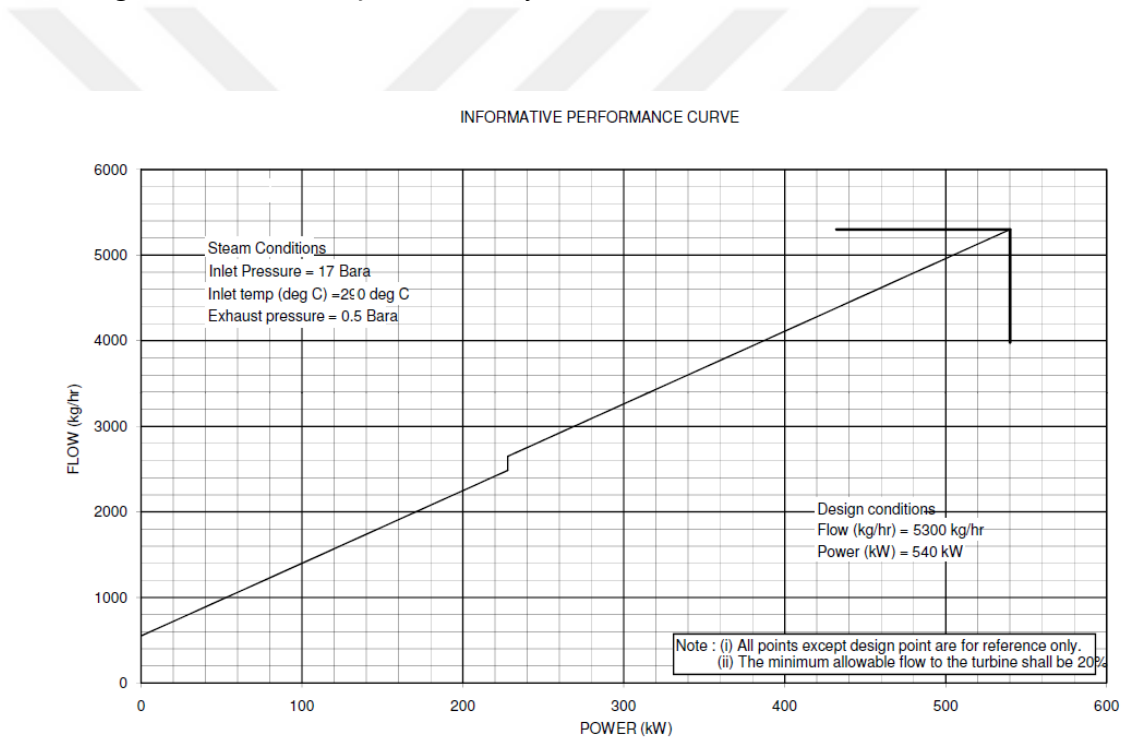
4.1 Tesisin Genel Yapısı

Tıbbi atık yakma tesisi genel olarak besleme sistemi, döner fırın, II. yanma odası, buhar kazanı, ekonomizer ve baca gazı arıtım ünitelerinden oluşmaktadır. Sıcaklığı 1100 ile 1200 °C arasında olan egzoz gazı alev borulu buhar kazanından geçerken etrafında bulunan suyu buharlaştırarak yüksek sıcaklıkta ve basınçta buharın üretilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda ısı transferinin olması sebebiyle egzoz gazının sıcaklığında düşmektedir.

Döner fırın kapasitesi 1 ton/saat atık olarak gerçekleşmekte ve yaklaşık (LHV) 3500 kcal/kg alt ısı değerinde gerçekleşmektedir. Tıbbi atık içeriğinin değişken olması sebebiyle alt ısı kalorifik değer 2000-4540 kcal/kg arasında değişmektedir. Tasarım kapasitesi ise 3.5 Gcal/h' dir. Bu değerlere karşılık 16 bar(g) basıncında, 290 °C sıcaklıkta 5,22 ton/ saat buhar üretimi yapılabilmektedir.

4.2 Buhar Türbini Performan Eğrisi

Tıbbi atık yakma tesisinde bulunan alev borulu kazan 5.5 ton/saat olacak şekilde tasarlanmıştır. Buharın sahip olduğu sıcaklık, basınç ve debi miktarı üretilecek elektriği enerjisini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca buhar türbini türünün belirlenmesinde türbin çıkışından elde edilen çürük buharın kondens edilmesi büyük rol oynamaktadır. Tesisin mevcut şartlarına göre en uygun türbinin yoğuşmalı tip türbin olduğu tespit edilmiştir. Türbin imalatçılarıyla yapılan görüşmelerde buhara ait sıcaklık, basınç ve debi miktarları talep edilmiş ve bu değerlere göre üretilecek elektrik miktarı simülasyon programı yardımıyla hesaplanmıştır. Buhar türbinin mevcut tesis koşullarında üretilen elektrik miktarı Şekil 4.1’de yer almaktadır.



Şekil 4.1 Buhar Türbini Performans Eğrisi

Şekil 4.1’de yer alan eğriye göre buhar türbinine 290 °C sıcaklık ve 17 bar (a) basınca sahip 5.3 ton /saat buhar verilmesi durumunda çıktığı olarak 540 kW elektrik üretilebileceği görülmektedir. Ayrıca türbin çıkışında basıncın 0.5 bar (a) olacağı kabul edilmiştir.

4.3 İhtiyaç Duyulan Revizyonlar

Buhar türbinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için tesiste bulunan ve özellikle buharı etkileyen ünitelerinde verimli çalışması gerekmektedir. Bu nedenle tesiste bulunan buhar kazanı, su arıtım ünitesi, enstürmanlar vd. ekipmanlar incelenmiştir.

4.3.1 Buhar Kazanı Revizyonu

Tesiste mevcut halde işletilen duman borulu buhar kazanı yaklaşık 24 yıldır kullanılmaktadır. Bu süre zarfında kazan borularında meydana gelen korozyon ve deformasyonlar kazanın tam kapasitede çalışmamasına neden olmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda buhar debisinin tasarım kapasitesinin çok altında kaldığı görülmüştür. Buhar debisinin türbinden elde edilecek elektrik enerjisine doğrudan etki etmesinden kaynaklı buhar kazanının yenilenmesi ihtiyacı hasıl olmuştur.

4.3.2 Kazan Besi Suyu Şartlandırma Üniteleri Revizyonu

Buhar türbinlerinin uzun ömürlü kullanılabilmesi için türbin bıçaklarına gönderilen buharın iyon ve partiküllerden iyice arındırılmış olması gerekmektedir. Buhar içerisinde iyon veya katı maddelerin olması zamanla paslanmaz malzemeden imal edilen bıçakların üzerinde oyukların oluşmasına neden olacaktır.

Buhar içerisinde az miktarda katı madde olması halinde bile türbin bıçaklarında biriktiler olabilmektedir. Özellikle silika, türbin bıçaklarında birikerek akış yüzey alanların daralmasına ve zamanla dinamik dönüş dengesinin bozulmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda buharın termal stres sonrası kopan parçalar ve korozyonu arttıracak maddelerle kirlenmesi sonucunda sodyum, klorür, sülfat, bakır, kurşun ve silikatlar gibi içerikler türbin iç malzemelerinin ömrünün kısalmasına ve bozulmasına sebebiyet vermektedir.

4.3.3 Ölçüm Cihazlarının Yenilenmesi

Tesisin ve buhar türbinin güvenli bir şekilde işletilebilmesi için buhar hatlarındaki sıcaklık, basınç ve debi değerlerinin sürekli ölçülmesi gerekmektedir. Tesiste bulunan ölçüm cihazlarının ölçüm aralıklarının türbin işletme koşulları için yeterli olmadığından yenileme kararı alınmıştır. Özellikle türbine giren buharın sıcaklık, basınç ve debi miktarının ölçülerek türbin kontrol panosuna gönderilmesi türbin işletimi için önem arz etmektedir. Buhar hatları üzerinde bulunan manuel sıcaklık ve basınç göstergeleri yenilenecektir.

Yenilenecek olan kazan ünitesinde yüzey blöflerinin yapılması için iletkenlik ölçüm cihazının, degazör ünitesinde ise ph ve oksijen ölçen cihazların kullanılması gerekmektedir. Kazan üzerinde bulunan drum ünitesi seviyesinin ölçülebilmesi için seviye ölçüm cihazları yedekli olacak şekilde konumlandırılacaktır.

5. BÖLÜM

BUHAR TÜRBİNİ SİSTEMLERİ KURULUMU MALİYET VE AMORTİSMAN ANALİZİ

Buhar türbini ve sistemlerinin kurulabilmesi için ihtiyaç duyulan ünite ile malzemeler tespit edilerek tahmini maliyet oluşturulmuştur. Buhar türbini maliyetinin, kademeli sayısı ve marka modeline göre değiştiği görülmüştür. Türbin seçiminde tek ve çok kademeli seçenekler maliyet ve üretilen elektrik enerjisine göre analiz edilmiştir.

Türbin haricinde sistemin verimli çalışabilmesi için ihtiyaç duyulan tüm revizyon ve alımlar iki durum için 400.000 € olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu kapsamda yapılacak işler kapsamında; buhar kazanı, su arıtım ünitesi ve EDİ sistemleri, kazan otomatik iletkenlik ölçüm ve otomatik blöf sistemleri, vakum pompası, tüm kablolama ve otomasyon işleri, tüm borulama ve kaynak işleri, enstürmanların temini vd. işler yer almaktadır. Her iki durum içinde türbin ekonomik ömrü 15 yıl, aktif çalışma süresi 10 ay, yıllık bakım gideri 10.000 € ve iskonto oranı %10 olarak alınmıştır. Net bugünkü değer hesapları denklem 5.1 kullanılarak yapılmıştır.

$$\sum_{n=0}^d \frac{NNA_n}{(1+k)^n} \quad (5.1)$$

5.1 Tek Kademeli Buhar Türbinine Göre Maliyet ve Amortisman Hesabı

Tek kademeli buhar türbini ile diğer kurulacak olan sistemlerinin toplam kurulum maliyeti 2018 yılında 1.000.000 € olarak hesaplanmıştır. Maliyetin büyük bir kısmını türbin alımı oluşturmaktadır. Tablo 5.1' de maliyetler yer almaktadır.

Tablo 5.1 Tek Kademeli Buhar Türbini 2018 Yılı Kurulum Maliyet Tablosu

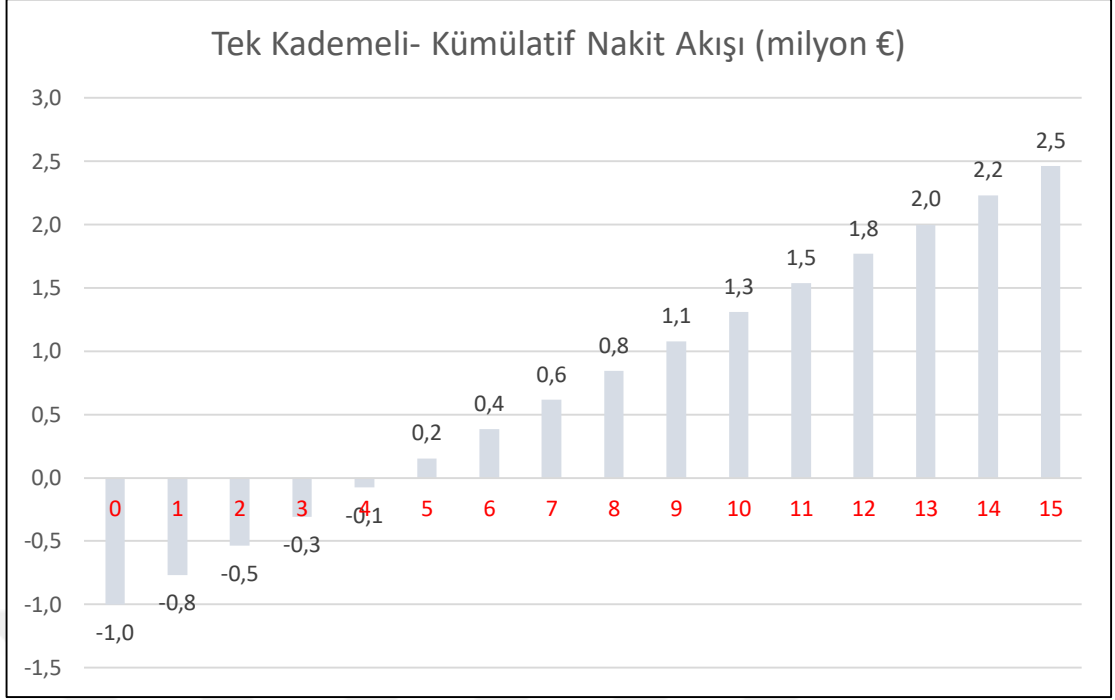
Türbin	600.000 €
Tesis Revizyonları (sadece türbin için)	400.000 €
Bakım Maliyeti (€/yıl)	10.000 €
Enerji Tasarrufu (€/ay)	257.600 €
Euro Kuru (€/TL)	5,40
Çalışma Süresi (ay/yıl)	10
Ekonomik Ömür (yıl)	15
İskonto Oranı	10%

Tek kademeli buhar türbini 516 kW kurulu güce sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Tesiste saatlik ortalama 430 kWh elektrik üretileceği öngörülmüştür. Elektrik birim fiyatı 0.42 TL/kWh, baz alınarak yapılan hesaba göre yıllık 240.800 € tasarruf sağlanacağı görülmektedir. Net bugünkü değer yöntemiyle hesaplanan değerler ve yatırımın değerlendirilmesi tablo 5.2’ de yer almaktadır.

Tablo 5.2 Tek kademeli buhar türbini yatırım değerlendirme tablosu

Geri Ödeme Süresi (yıl)	4,3
Karlılık Oranı	23%
Bugünkü Değer	1.755.483,15 €
Net Bugünkü Değer	755.483,15 €
İç Karlılık Oranı	22%
Fayda/Masraf	1,76
Net Fayda/Masraf	0,76

Buhar türbinin tek kademeli seçilmesi durumunda yapılacak yatırımın geri ödeme süresinin 4.3 yıl, karlılık oranının ise %23 olduğu görülmektedir. Hesaplanan geri ödeme süresi Şekil 5.1’ de yer almaktadır.



Şekil 5.1 Tek kademeli buhar türbini geri dönüş süresi grafiği

5.2 Çok Kademeli Buhar Türbinine Göre Maliyet ve Amortisman Hesabı

Çok kademeli buhar türbini kullanılarak kurulacak sistemin maliyeti 1.040.000 € olarak hesaplanmıştır. Tablo 5.3' e göre çok kademeli buhar türbinlerinin maliyetinin tek kademeli buhar türbinlerine nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

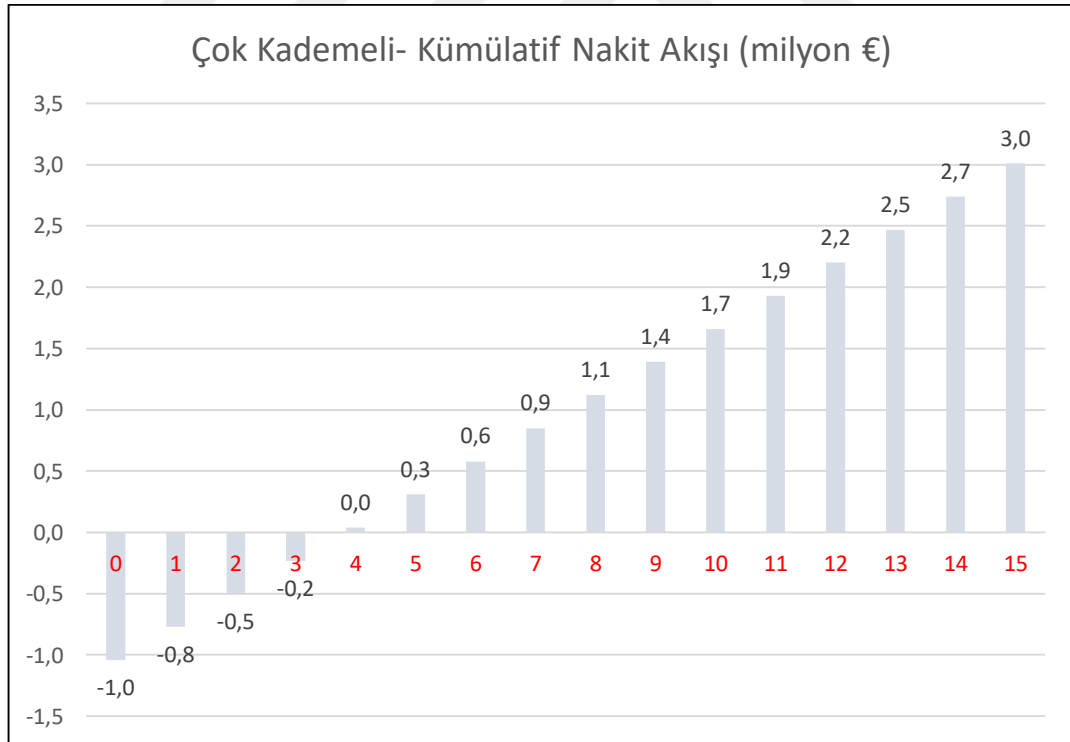
Tablo 5.3 Çok kademeli buhar türbini 2018 yılı kurulum maliyeti

Türbin	640.000 €
Tesis Revizyonları (türbin için)	400.000 €
Bakım & İşletme Maliyeti (€/yıl)	10.000 €
Enerji Tasarrufu (€/yıl)	280.000 €
Euro Kuru (€/TL)	5,40
Çalışma Süresi (ay/yıl)	10
Ekonomik Ömür (yıl)	15
İskonto Oranı	10%

Çok kademeli buhar türbini 540 kW kurulu güce sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Performans eğrisi incelendiğinde buhar türbininin ortalama saatlik 500 kwh üreteceği öngörülmüştür. Elektrik birim fiyatı 0.42 TL/kWh, baz alınarak yapılan hesaba göre yıllık 280.000 € tasarruf sağlanacağı görülmektedir. Çok kademeli buhar türbini için yapılan maliyet analizleri Tablo 5.4’ de yer almaktadır.

Tablo 5.4 Çok kademeli buhar türbini yatırım değerlendirme tablosu

Geri Ödeme Süresi (yıl)	3,9
Karlılık Oranı	23%
Bugünkü Değer	2.053.641,47 €
Net Bugünkü Değer	1.013.641,47 €
İç Karlılık Oranı	25%
Fayda/Masraf	1,97
Net Fayda/Masraf	0,97



Şekil 5.2 Çok kademeli buhar türbini geri dönüş süresi grafiği

Tek ve çok kademeli buhar türbinleri için yapılan araştırmada tek kademeli buhar türbinin maliyeti 1000.000 € olurken çok kademeli buhar türbininin maliyeti 1.040.000 €' dur. İlk yatırım maliyeti olarak çok kademeli buhar türbini tek kademeli buhar türbinine göre $(1.040.000-1.000.000)= 40.000$ € daha maliyetli olduğu görülmektedir.

Söz konusu buhar türbinleri ile revizyonlara ait maliyetler net bugünkü değer yöntemiyle hesaplanmış ve Tablo 5.2 ile Tablo 5.4' te yer alan geri dönüş süreleri bulunmuştur. Çok kademeli buhar türbinin dönüş süresi 3.9 yıl iken tek kademeli buhar türbinin dönüş süresi 4.3 yıl olarak görülmektedir. Yatırımın geri dönüş süresi olarak söz konusu türbinler kıyaslandığında çok kademeli buhar türbinin yatırım geri dönüşü 0.4 yıl daha erken olmaktadır. Üretim değerleri açısından bakıldığında tek kademeli buhar türbini 3.096.000 kWh elektrik üretimi beklenirken, çok kademeli buhar türbininden 3.600.000 kWh elektrik üretimi beklenmektedir. Ayrıca elektrik üretimleri karşılaştırıldığında çok kademeli buhar türbini yılda $(3.600.000-3.096.000)= 504.000$ kWh saat daha fazla üretim yaparak yılda 39.200 € gelir sağlamaktadır. Karşılaştırmalı olarak her iki buhar türbinine ait maliyet, geri dönüşüm süresi, enerji üretimi, karbon ayak izi gibi veriler Tablo 5.5'te yer almaktadır.

Tablo 5.5 Buhar Türbinlerine ait kurulum maliyetleri ve çıktıları

Kademe Sayısı	Toplam Maliyet (€)	Enerji Üretimi (kWh/yıl)	Üretim Getirisi (€/yıl)	Yatırım Geri Dönüş Süresi (yıl)	Karbon Ayak İzi (ton/yıl)
Tek Kademeli	1.000.000	3.096.000	240.800	4,3	1.517
Çok Kademeli	1.040.000	3.600.000	280.000	3,9	1.764

Ülkemizde son yıllarda elektrik birim fiyatlarında meydana gelen artışlar yatırım geri dönüş sürelerini azaltmaktadır. Bu veriler kapsamında çok kademeli buhar türbinin tek kademeli buhar türbinine kıyasla daha verimli ve geri dönüş süresinin daha düşük olduğu görülmektedir. Çok kademeli buhar türbinin tek kademeli buhar türbinine göre avantaj ve dezavantajları aşağıda yer almaktadır.

Avantajlar:

- Yıllık %16.2 oranında daha fazla elektrik üretebilmektedir.
- Yatırım geri dönüş süresi daha kısadır.
- Sahip olduğu kurulu güç değeri daha yüksektir.
- İlerleyen dönemlerde tesise, yüksek kalorifik değerlere sahip atıkların kabul edilmesi durumunda elektrik miktarı daha yüksek olabilecektir.
- Karbon salınımı olarak doğaya daha fazla katkı sağlayacaktır.

Dezavantajları:

- İlk yatırım maliyeti yüksektir.

6. BÖLÜM

BUHAR TÜRBİNİ VE YARDIMCI EKİPMANLARIN KURULUMU

Tıbbi atık yakma tesisinde elektrik üretim amacıyla kullanılacak buhar türbini ve yardımcı ekipmanların kurulum çalışmaları, 2019 yılı Ağustos ayında başlanmıştır. Bu kapsamda buhar türbini, buhar kazanı, su arıtma sistemleri vd. kurulum çalışmaları aşağıda anlatılacaktır.

6.1 Buhar Türbini Zemin Etüdü

Tıbbi atık yakma tesisinde buhar türbin sisteminin konulacağı alan olarak 8.0 m x 8,5 m = 68.0 m²' lik çelik konstrüksiyonlu bir alan belirlenmiştir. Belirlenen alan içerisinde buhar türbini, türbin yağ soğutma ünitesi, glend buhar tankı ünitesi ve elektrik panoları yer alacaktır. Buhar türbini 6.0 m x 3.8 m boyutlarında ve 17 ton ağırlığındadır. Çalışma sırasında zemine yaklaşık 2 ton fazladan yük uygulayacağı hesaplanmıştır.

Buhar türbinin konulacağı zeminin taşıma kapasitesi, yatak katsayısı ve katmanları gibi bilgilerin tanımlanması amacıyla 15 m derinliğinde sondaj işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ara katmanlardan numuneler alınarak zemin mekaniği laboratuvarına gönderilmiştir.

Tablo 6.1 Zemin Katman Analizi

Mesafe Aralığı (m)	Katman İçeriği
0,00-1,70	Asfalt, Beton, Moloz, Çakıl Parçalı, Kumlu ve Killi Dolgu
1,70-7,50	Grimsi, Sarımsı Renkli Çakıl Ara Katkılı Killi Kum
7,50-9,00	Sarımsı Renkli Killi Kum
9,00-15,00	Yeşilimsi Renkli Plastik Kil Birimleri



Şekil 6.1 Zemin etüdü için alınan numuneler

6.1.1 Zemin Sismik Analizi

Türbinin konulacağı alan etrafında SS-1 ve SS-2 olacak şekilde 2 adet sismik çalışma gerçekleştirilmiştir. SS-1’de toplamda 12 adet jeofon 1.5 m aralıklarla konmuş ve 1.5 m ofset mesafesi alınarak 18 m’lik profil belirlenmiştir. SS-2’ de ise 1 m jeofon aralığı ve 1 m ofset mesafesi alınarak 12 m’lik bir profil belirlenmiştir.



Şekil 6.2 Sismik analiz çalışmaları

6.1.2 Zemin ve Sismik Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Zemin ve sismik analizlerin yapılması sonucu türbinin konulacağı alana ait zemin karakteristiği, zemin emniyetli taşıma gücü gibi özellikler belirlenmiştir. Analiz sonuçları Tablo 6.2’de zemin sınıfları ise Şekil 6.3’te yer almaktadır.

Tablo 6.2 Zemin ve sismik analiz sonuçları

Zeminin Emniyetli Taşıma Gücü	$q_{em}=1,5 \text{ kg/ cm}^2$
Düşey Yatak Katsayısı	2850 t/m^3
Yerel Zemin Sınıfı	ZC
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	$S_{DS}=0,763$
1 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı	$S_{D1}=0,273$
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_{01}= 0,47 \text{ sn}, T_{02}=0,51 \text{ sn}$
Spektrum Karakteristik Periyotları	$T_A=0,15 \text{ sn}, T_B=0,60 \text{ sn}$
Bina Önem Katsayısı	1,5

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Kaynak: http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/89227ad223d3b7a_ek.pdf

Şekil 6.3 Zemin sınıfları

6.2 Buhar Türbini Topraklama

Türbin üreticisi buhar türbininin konulacağı alan için temel topraklamanın yapılmasını talep etmiştir. Bu kapsamda verilen projeye uygun topraklama yapılarak toprak noktalarından ölçümler alınmıştır. Toplamda 15 adet topraklama kazığı kullanılmıştır.

Şerit topraklayıcı hesabı:

$$R_{EŞ} = \frac{\rho E}{\pi L} \ln \frac{2L}{d}$$

$$R_{EŞ} = \frac{48 *}{\pi * 70} \ln \frac{2 * 70}{0,014} = 2.01 \text{ ohm}$$

Derin topraklayıcı hesabı:

$$R_{DT} = \frac{\rho E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$$

$$R_{DT} = \frac{48}{2\pi * 2,5} \ln \frac{4 * 2,5}{0,02} = 18.99 \text{ ohm}$$

$$R_{ED} = \frac{R_{DT}}{n} = \frac{18.99}{15} = 1.27 \text{ ohm}$$

Derin topraklayıcı ve şerit topraklayıcı eşdeğer direnci:

$$R_{E1} = (R_{E\text{-şerit}} * R_{E\text{-derin}}) / (R_{E\text{-şerit}} + R_{E\text{-derin}})$$

$$R_{E1} = (2.01 * 1.27) / (2.01 + 1.27) = 0.777 \text{ ohm}$$



Şekil 6.4 Topraklama kazıkları ve şerit donatı

Tablo 6.3 Topraklama ölçüm değerleri

Ölçüm Noktası	Toprak Empedansının Okunan Değeri
Generator Sahası (Ortadan 1.Köşeye)	0,71
Generator Sahası (Ortadan 2.Köşeye)	0,81
Generator Sahası (Ortadan 3.Köşeye)	0,78
Generator Sahası (Ortadan 4.Köşeye)	0,83
Generator sahası (köşeden köşeye)	0,88
Generator sahası ortalama	0,802
Generator Sahası	0,46



Şekil 6.5 Topraklama ölçüm değerleri

Belirlenen noktalardan yapılan ölçümler sonucunda topraklama değerlerinin uygun olduğu görülmüştür.

6.3 Buhar Türbini Zemin Hazırlama

Buhar türbinin kurulacağı alanda statik ve betonarme hesapları yapılarak temelin, türbin çalışma şartlarına uygun hale getirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 6.6 Buhar türbini temel hazırlama

Buhar türbini temelinin hazırlanmasında c20/25 beton ve S420 sınıfı betonarme çeliği kullanılmıştır. Ayrıca temele ait zemin taşıma gücü, kesme kuvveti, zımbalama kuvveti ve eğilme kuvveti analizleri yapılmıştır.

6.4 Buhar Kazanı Montajı

Buhar türbini ve sistemleri kurulum işi kapsamında buhar kazanında yenilenmesi ihtiyacı oluşmuştur. Yenilenen buhar kazanı daha önce kullanılan kazanla aynı özellikte olacak şekilde imal edilmiştir. Buhar kazanıyla beraber üzerinde bulunan emniyet valfleri, drum seviye ve basınç switchleri de yenilenmiştir. Kazana ait tasarım özellikleri Tablo 6.4'te yer almaktadır.

Tablo 6.4 Buhar kazanı özellikleri

Kapasite (kg/h)	5303
Isı gücü (kW)	3700
Genişlik (mm)	2700
Uzunluk (mm)	5150
Emniyet çıkış (mm)	48,3
Su Hacmi (m ³)	18.99
Tasarım basıncı (bar)	18

Kazan imalatının tamamlanmasıyla beraber üretici firmanın fabrikasında muayene edilmiş ve yetkili kuruluşlar nezaretinde yapılan testlere katılım sağlanmıştır. Fabrika testlerinin tamamlanması sonucu buhar kazanı tesise getirilerek montajı tamamlanmıştır. Montaj sonrası kaçak ve dayanım testleri yapılarak devreye alınmıştır.



Şekil 6.7 Alev borulu buhar kazanı fabrika muayenesi



Şekil 6.8 Montaja hazır buhar kazanı



Şekil 6.9 Buhar kazanı montajı

6.5 Ters Osmoz ve Edi Sistemi

Buhar üretimi için kullanılan suyun içerisinde kireç oluşturu malzemeler, katı partiküller, oksijen vd. bileşenleri içerebilmektedir. Buhar türbini ve ekipmanlarının daha verimli ve daha uzun ömürlü çalışabilmesi için buhar kalitesinin artırılması gerekmektedir. Bu nedenle kazan besi suyunun kazana gönderilmeden önce arıtılması önem arz etmektedir.

Kazan besi suyunun arıtılmaması durumunda kazan suyundan gelen maddeler iç yüzeyde çökerek paslanmaz çelik bıçaklarda oyukların oluşmasına neden olmaktadır. Düşük katı-madde kirliliği olan buharda bile türbin bıçaklarında birikintiler görülebilmektedir. Özellikle silika türbin bıçaklarında birikerek akış yüzey alanında daralmalara ve dinamik dönüş noktasının bozulmasına neden olmaktadır. Türbin üretici tarafından tavsiye edilen buhar saflığı sınırları Tablo 6.5' te yer almaktadır.

Tablo 6.5 Buhar sınır değerleri

İletkenlik $\mu\text{s}/\text{cm}$	0,2
Silika (SiO_2) ppb	20
Demir (Fe) ppb	20
Bakır (Cu) ppb	3
Sodyum (Na) ppb	20

Kazan besi suyunun arıtılması için kurulan sistemde yumuşatma, ters osmoz, ultraviyole ve elektrodeiyonizasyon ünitleri bulunmaktadır. Besleme suyu ilk olarak aktif karbon ve kum filtrelerden geçirilerek kalsiyum ve magnezyum gibi elementlerden arındırılarak suyun sertliği azaltılır. Ters osmoz sisteminde kirletici katı partiküller temizlenerek edi sistemine gönderilerek iletkenliğin çok küçük değerlere düşmesi sağlanır. Ters osmoz ve edi arasında bulunan ultraviyole filtre ile suyun içindeki mikroorganizmalar giderilmektedir.



Şekil 6.10 Su arıtım üniteleri



Kaynak: <http://www.gunessistemleri.com/guneshucreleri.php>

Şekil 6.11 Ultraviyole filtre

6.6 Buhar Türbini ve Yardımcı Ünitelerin Kurulumu

Tıbbi atık yakma tesisine elektrik üretim amacıyla kullanılacak olan buhar türbini yoğuşmalı ve çok kademelidir. Buhar türbini 540 kW elektrik enerjisi üretecek kapasitede ve yaklaşık 19 ton ağırlığındadır. Buhar türbini ünitesi daha önce hazırlanan zemin üzerine 40 tonluk vinçler kullanılarak yerleştirilmiştir.



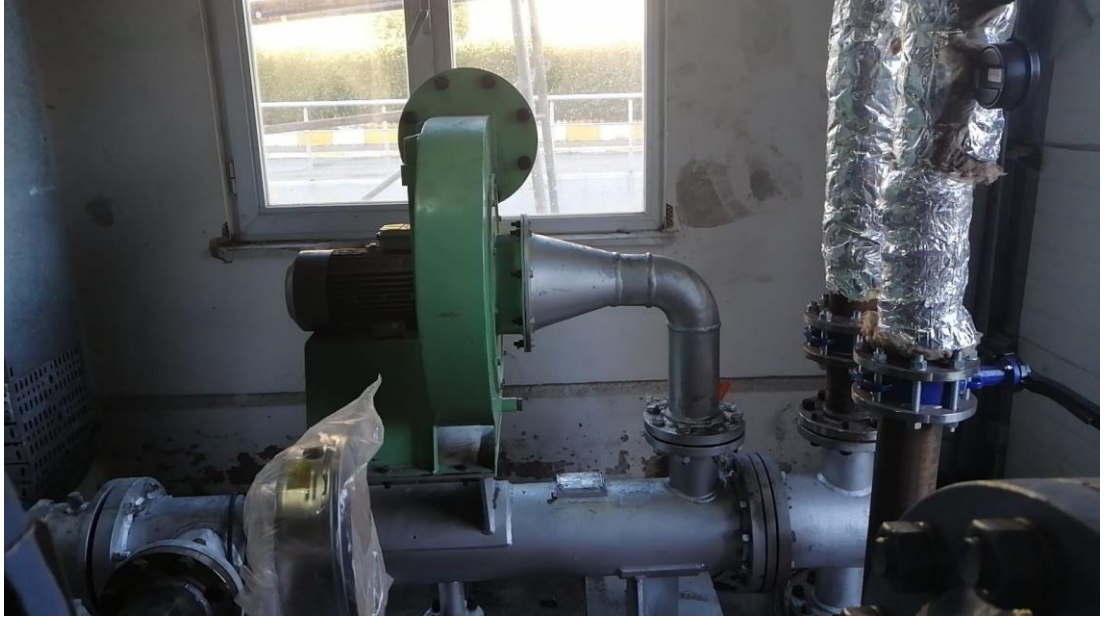
Şekil 6.12 Buhar türbini kurulumu

Buhar türbinin zemine yerleştirildikten sonra daha önceden hazırlanan ankraj bağlantıları yapılarak epoksi ile kapatılmıştır. Türbinin verimli ve sorunsuz çalışabilmesi için hizalama ayarları süpervizör tarafından gerçekleştirilmiştir.

6.6.1 Buhar Türbini ve Yardımcı Ünitlerin Bağlantıları

Buhar kazanında üretilen buhar, DN100 ölçülerinde boru hattı vasıtasıyla buhar türbinine verilecek ve çıkan çürük buhar ise DN250 ölçülerinde boru hattı ile kondens tankına gönderilerek yoğusturulacak ve tekrardan sisteme gönderilecektir.

Buhar türbinin devreye alındığı durumlarda türbin kanatları ve diğer aksamaların ortam şartlarından etkilenmesi önlemek için ayrı bir hat üzerinden türbin içerisine glend buhar tankından buhar gönderilerek sızdırmazlık sağlanmaktadır. Kullanılan buhar tekrar dönüş hattı üzerinden kondens tankına gönderilmektedir.



Şekil 6.13 Glend buhar tankı

Buhar türbini dişlilerin ve kanat yataklarının çalışma sırasında sürekli olarak yağlanması gerekmektedir. Türbinin sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için kullanılacak yağın katı madde ve partiküllerden arındırılması gerekmektedir. Kurulum çalışmaları sürecinde türbin yağı sürekli devir daim yapılarak filtreden geçirilmiş ve yağın temizliğinden emin olunduktan sonra yağ tankına doldurulmuştur.

Tablo 6.6 Türbin yağ ve yağ tankı özellikleri

Yağlayıcı Yağ Kalitesi	ISO VG 46
Yağ Deposu Kapasitesi (Normal seviye) (litre)	1150
İlk Dolum için Gereken Miktar (litre)	1400
Yıkama-Durulama için Gereken Miktar (litre)	1100
Yağlayıcı Yağ Basınç Aralığı (bar)	1.8-2.0
Kontrol Yağı Basınç Aralığı (bar)	5.5-6.0

Türbin dişlileri ve yataklarında kullanılan yağ, yağ soğutucu sisteme gönderilerek burada sıcaklığı düşürülmektedir. Yağ soğutucu üniteye gelen yağın sıcaklığı 55 C' den 45 C'ye düşürülmektedir. Soğutma işlemi radyatörlerden gelen su yardımıyla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 6.14 Yağ soğutucu kondenser

6.6.2 Buhar Hattının Temizlenmesi ve İz Testleri

Buhar türbinine gönderilecek olan buharın temizliği kadar buhar hattının temizliğide türbin için önem arz etmektedir. Boru çeperlerinden kopan parçalar ve kirler türbin kanatlarına zarar vererek istenmeyen sorunların yaşanmasına neden olabilmektedir. Buhar hatlarının tamamlanmasıyla beraber boruların ve buharın temizliğinden emin olmak için toplamda 12 adet iz testi yapılmıştır



Şekil 6.15 Türbin iz testleri

İz testleri 290 °C ve 16 bar basınç altında gerçekleştirilmiştir. Buharın çıkış noktasına konulan alüminyum plakalar test sonrası gözle kontrol edilerek kirlilik kontrolü yapılmıştır.



Şekil 6.16 Plaka iz testleri

6.7 Alternatör

Buhar türbininde buharın kullanılması sonucu oluşan mekanik enerji alternatör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Alternatör türbin sistemi ile akuple olacak şekilde tasarlanmıştır. Alternatöre ait özellikler Tablo 6.7’ de yer almaktadır.

Tablo 6.7 Alternatör Özellikleri

kVA	687.5
kW	550
V	400
A	992.3
Frekans (Hz)	50
Hız (rpm)	1500
Bağlantı Türü	Yıldız
Güç Faktörü (PF)	0.80
Faz Sayısı	3
Koruma Sınıfı (IP)	23
Ağırlık (kg)	1897



Şekil 6.17 Alternatör

Alternatörde üretilen güç senkronizasyon panosuna gönderilecek ve şebeke ile senkronize çalışacaktır. Ayrıca alternatör ada modunda da çalışabilecektir. Alternatör ile senkron panoları arasında bağlantılar ve gerekli kontroller yapılmıştır. Alternatör dijital uyarma kontrol sistemi ile sürekli kontrol edilmekte ve üretilen gerilim ve akım bilgileri izlenmektedir.

6.7.1 Alternatör Sargı Sıcaklıklarının Ölçülmesi

Alternatör sargı sıcaklıklarının kontrolü sıcaklık ölçer yardımıyla kontrol edilerek olası arızalar engellenmektedir. Kullanılacak olan cihaz ile 8 farklı noktadan sıcaklık değerleri ölçülebilmektedir. Ölçülen değerler RS232, RS485 ve ethernet portlarıyla birden çok sisteme taşınabilmektedir.



Kaynak: <https://www.emkoelektronik.com.tr/tr/urunler/channel8n>

Şekil 6.18 Sıcaklık tarama ve ölçüm cihazı

6.7.2 Alternatör Koruma Rölesi

Alternatör koruma rölesi, alternatörün aşağıdaki tüm etkilerden korunmasını sağlamaktadır.

- Alternatör Stator Diferansiyel Koruma
- Stator Toprak Hatası Koruma
- İkaz Kaybı Koruması
- Güç Salınım ve Açma
- Artçı Faz Mesafe Koruma
- Aşırı Korumaya Karşı Koruma
- Ayrık Faz Koruma
- Termik Koruma



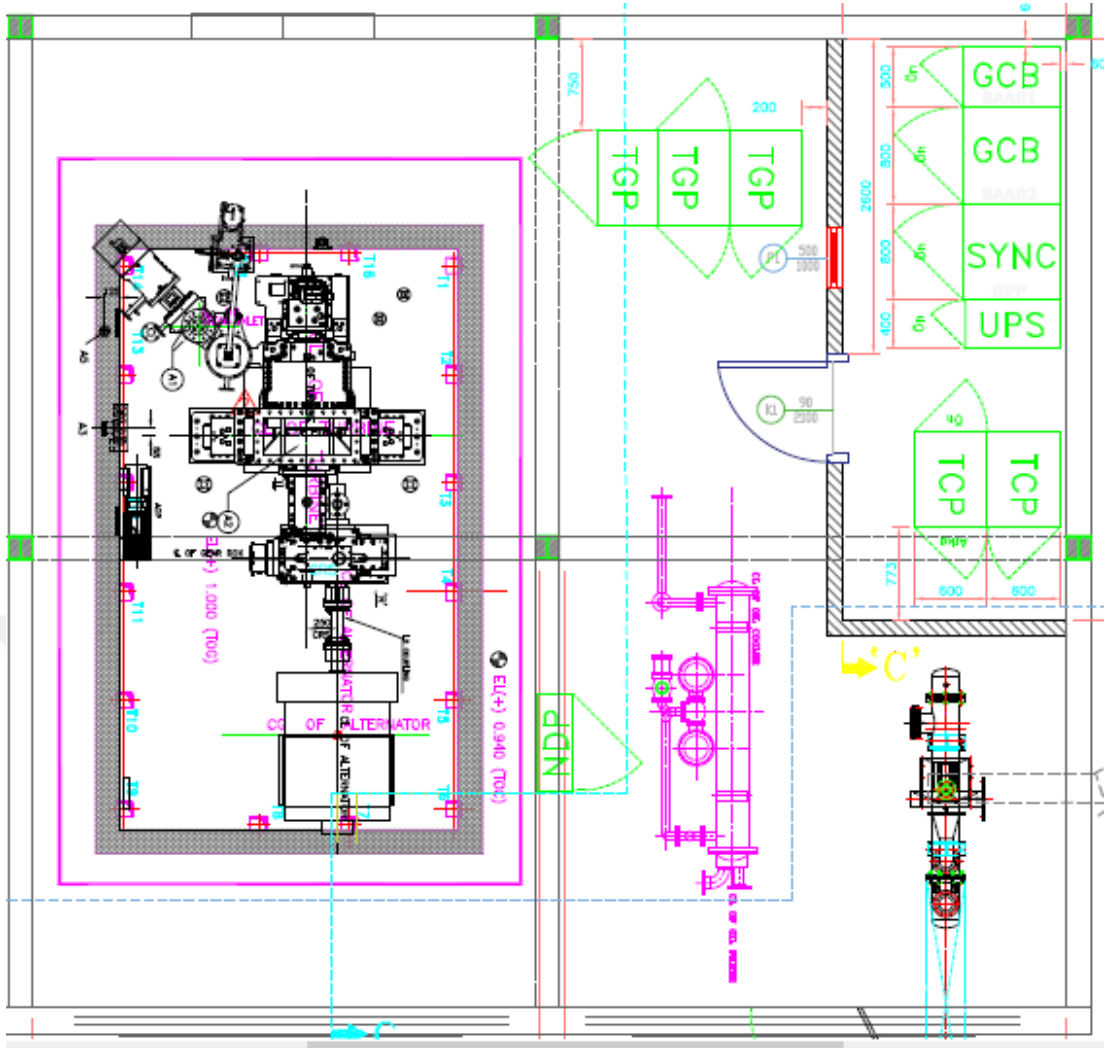
Kaynak: <http://www.gegridsolutions.com/products/manuals/g30/g30man-y3.pdf>

Şekil 6.19 Alternatör Koruma Rölesi

6.8 Pano Odası

Buhar türbini sisteminin bulunduğu alan içerisine elektrik panoları için dış ortamdan izole edilmiş pano odası yapılmış ve elektrik panolarının ortamın nem vb. etkilerden korunması sağlanmıştır.

Odaya konulan klima ile ortam sıcaklığı belirli bir derecenin altında tutularak panoların aşırı ısınması engellenmiştir. Pano odasında senkronizasyon, TCP, GCB panoları ve güç kaynağı yer alacaktır. Odanın inşaatında yangına dayanıklı malzemeler kullanılmıştır.



Şekil 6.20 Buhar türbini ve elektrik panosu yerleşim planı

6.9 Buhar Türbini Elektrik Panoları

Buhar türbini sistemlerinde GCB (Generatör Devre Kesici), TCP (Türbin Kontrol Panosu) ve senkronizasyon panosu yer almaktadır. Türbin kontrol paneli türbin üreticisi tarafından tasarlanarak tesise getirilmiştir. Senkronizasyon panosu ve jeneratör devre kesici panosu kurulumu yapan firma tarafından tasarlanmıştır.

Jeneratör ana şalteri GCB panosunda yer almaktadır. Buradan çıkan güç kabloları tesis ana dağıtım panosu gitmektedir. Türbinin şebeke ile senkronizasyonu bu şalter üzerinden takip edilmektedir. Senkronizasyon şartlarının takip edildiği cihazlar senkronizasyon panosunda yer almaktadır.

TCP türbine ait kontrollerin yapıldığı panodur. Türbinin hız, sıcaklık, titreşim vb. değerlerinin ölçüldüğü ve yönetildiği kısımdır. Türbine ait governör panoda yer alan hız kontrol cihazı ile sürekli izlenmektedir. Jeneratör kontrol rölesi ve senkron cihazı senkronizasyon panosu üzerinde yer almaktadır.



Şekil 6.21 Jeneratör kesici ve senkronizasyon panosu



Şekil 6.22 Türbin kontrol panosu

6.10 Türbin Ölçüm Panosu

Buhar türbininde kullanılan buhar ve yağa ait giriş ve çıkış sıcaklık, basınç değerleri pano içerisinde yer alan cihazlar ile ölçülmektedir. Pano içerisinde yer alan cihazlar ilgili hatlara borular yardımıyla bağlanmıştır. Ölçülen değerler dijital ve manuel olarak pano üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 6.23 Türbin Ölçüm Panosu

6.11 Kablolar Seçimi ve Hesaplar

Buhar türbini kurulumu projesinde güç ve sinyal kabloları kullanılmıştır. Sinyal ve çok damarlı güç kabloları halojensiz kablolar olarak seçilmiştir. Tüm kablolar için ayrı ayrı kablo kesit ve gerilim düşümü hesapları yapılmıştır.


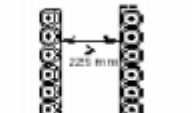

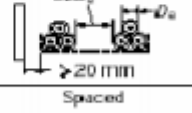
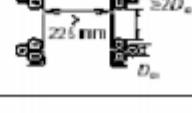
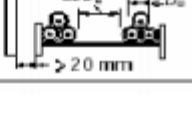
Kablo kesit hesapları IEC 364-2 standardı referans alınarak yapılmıştır. Yükler için nominal akım değerleri aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$I_b = \frac{P}{(\sqrt{3} * U * \cos \phi * \mu)} \quad (6.1)$$

$$I_b < I_n < I_z * c \quad (6.2)$$

6.11.1 Kablo Akım Taşıma Kapasitesi Tayini

Kabloların akım taşıma kapasiteleri çevre sıcaklığı ve montaj yöntemlerine göre standartlarda verilen katsayılar ile oranlı olarak azalır. Aşağıda koşullar neticesinde dikkate alınması gereken katsayılar tablosu verilmiştir ve tesisin kablo hesaplarında kullanılacak katsayılar işaretlenerek gösterilmiştir.

Tablo'daki tesis metodları			Tava sayısı	3-fazlı devre sayısı (not4)			Çarpım değerleri
				1	2	3	
Delikli tavalar (not2)	31		1	0.98	0.91	0.87	Yatay düzenlemede üç kablo
			2	0.96	0.87	0.81	
			3	0.95	0.85	0.78	
Düsey delikli tavalar (not3)	31		1	0.96	0.86	-	Düsey düzenlemede üç kablo
			2	0.95	0.84	-	
Kablo merdiveni (not2)	32 33 34		1	1.00	0.97	0.96	Yatay düzenlemede üç kablo
			2	0.98	0.93	0.89	
			3	0.97	0.90	0.86	
Delikli tavalar (not2)	31		1	1.00	0.98	0.96	
			2	0.97	0.93	0.89	
			3	0.96	0.92	0.86	
Düsey delikli tava (not3)	31		1	1.00	0.91	0.89	Üçlü düzenlemede üç kablo
			2	1.00	0.90	0.86	
Kablo merdiveni (not3)	32 33 34		1	1.00	1.00	1.00	
			2	0.97	0.95	0.93	
			3	0.96	0.94	0.90	

Kaynak: http://www.emo.org.tr/ekler/92e2a375b5e6a19_ek.pdf

Şekil 6.24 Montaj yöntemine göre kablo akım taşıma kapasitesi katsayıları

Ortam sıcaklığı °C	Kablo İzolasyon Tipi			
	PVC	XLPE ve EPR	Mineral (*)	
			PVC kaplı veya çıplak bara 70°C	Kapalı ortam içindeki bara 105°C
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
30	1	1	1	1
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,87	0,92
45	0,79	0,87	0,75	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65		0,65		0,70
70		0,58		0,65
75		0,50		0,60
80		0,41		0,54
85				0,47
90				0,40

Kaynak: http://www.emo.org.tr/ekler/92e2a375b5e6a19_ek.pdf

Şekil 6.25 Çevre sıcaklığına göre kablo akım taşıma kapasitesi katsayıları

6.11.2 Gerilim Düşümü Hesabı

AC Gerilim düşümü %5'den düşük olacak şekilde kablo kesitleri belirlenmiştir. Gerilim düşümü hesaplama formülleri aşağıda verilmiştir.

3 Faz Gerilim düşümü hesaplanırken:

$$\%e = 100 * \frac{P * l}{X * A * U^2} \quad (6.3)$$

1 Faz Gerilim düşümü hesaplanırken:

$$\%e = 200 * \frac{P * l}{X * A * U^2} \quad (6.4)$$

Tanım	Yük nominal aktif güç (kw)	kablo uzunluk (m)	Cos ρ	Gerilim düşümü (%e)	İzin Verilen en büyük gerilim düşümü (%e)	Faz başına kablo sayısı	Kablo irca katsayısı	yük akımı (a) ib	İrcalanmış kablo akım taşıma kapasitesi (a) ix	Kablo akım taşıma kapasitesi (a)	Kablo kesiti	Kablo tipi
Jen. Çıkış	540	26	0.8	0.28	5	3	0,81	974.3	1232	507	3x(3x(1x185)+2x(1x185))	N2XH
GCB Çıkış	540	60	0.8	0.65	5	3	0,81	974.3	1232	507	3x(3x(1x185)+2x(1x185))	N2XH
3 faz,400V Ac Gvc Motor 2.2Kw 4.5A	2.2	22	0.84	0.22	5	1	0,81	4.7	26	32	5x2.5	N2XH
3 faz,400V Ac Aop Motor 3.7Kw 7.5A	3.70	22	0.84	0.36	5	1	0,81	7.8	26	32	5x2.5	N2XH
3 faz,400V Ac Act Motor Kw Rating-0.375Kw Motor Flc-1.05A	0.375	22	0.72	0.04	5	1	0,81	1.2	26	32	5x2.5	N2XH
3 faz Güç Kaynağı	0.375	8	1	0.01	5	1	0,81	0.5	26	32	5x2.5	N2XH
3 faz Güç Kaynağı	10	3	1	0.08	5	1	0,81	14.4	34	42	4x4	N2XH
3 faz Güç Kaynağı	10	3	1	0.08	5	1	0,81	14.4	34	42	4x4	N2XH
230V Ac, 50 Hz, Tcp	3.1	22	0.8	1.84	5	1	0,81	9.7	26	32	5x2.5	N2XH
400V Ac, 50Hz 3P	6.65	8	0.85	0.02	5	1	0,81	11.3	108	133	4x25	N2XH
Isıtma noktası 1.5Kw	1.5	22	0.83	0.15	5	1	0,81	3.3	25	32	5x2.5	N2XH
Isıtma noktası 1.5Kw	1.5	22	0.83	0.15	5	1	0,81	3.3	25	32	5x2.5	N2XH

Şekil 6.26 Kablo hesap tablosu

Montajı yapılan tüm kabloların test ve kontrolleri yapılarak hatalı bağlantı, hatalı etiket vb. durumlar düzeltilere sistem hazır hale getirilmiştir.

6.11.3 Kablo Tavalarının Montajı

Buhar türbini sistemi kurulumu projesinde sinyal ve güç kabloları ayrı ayrı tavalarla taşınmıştır. Tavalarda delikli ve kapaklı olacak şekilde seçilmiştir. Kullanılan tüm tavalarda topkavramaları ile kablo reglajları yapılmıştır.



Şekil 6.27 Sinyal (sol) ve güç kablo tavaları (sağ)

6.12 Enstürmanların Kurulumu

Buhar türbin sisteminin sorunsuz çalıştırılabilmesi amacıyla özellikle türbine gönderilen buhar sıcaklık, basınç ve debi gibi parametrelerinin sürekli ölçülerek takip edilmesi gerekmektedir. Yine üretilen buhar kalitesinin takibi amacıyla iletkenlik, pH ve O₂ bileşenlerin anlık olarak ölçülmesi gerekmektedir.

Kurulan tüm ölçüm cihazlarının kalibrasyonları gerçekleştirilmiş ve ölçüm aralıkları DCS otomasyon sistemine yüklenmiştir. Ayrıca bu sinyallerin bir kısmı türbin kontrol paneline de taşınmıştır.



Şekil 6.28 Vortex debitmetre ve iletkenlik ölçüm cihazı

7. BÖLÜM

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında İstanbul Büyükşehir Belediyesine ait olan ve İSTAÇ AŞ tarafından işletilen Tıbbi Atık Yakma Tesisinde, kalorifik değeri tam olarak bilinmeyen ve sürekli değişkenlik gösteren tıbbi atıkların yakılması sonucu açığa çıkan atık ısının buhar türbininde kullanılması durumunda üretilecek elektrik enerjisi miktarı ve yatırıma ait ekonomik analiz ortaya konulmuştur.

Tıbbi Atık Yakma Tesisinde atık ısıdan elde edilen buhara ait parametreler simülasyon programına girilerek üretilebilecek elektrik enerjisi miktarları incelenmiş ve sistemin kurulumu için ihtiyaç duyulan revizyonlar tamamlanarak uygulama gerçekleştirilmiştir. Kurulum sonrası elde edilen veriler aşağıda değerlendirilmiştir.

Sistem kurulumunda kullanılan üniteler detaylı olarak anlatılmıştır. Buhar türbini verimini etkileyen buhar kazanı ve su şartlandırma ünitesine değinilerek bu ünitelerin önemi vurgulanmıştır. Buhar kazanı alev borularının tamamının kullanılabilir olması ısının suya daha çok aktarılmasını sağlayarak daha fazla buhar üretilmesi anlamına gelmektedir.

Su şartlandırma ünitesi, türbine gönderilen buharın içerisindeki silika, iletkenlik vd. parametrelerin tutulmasını sağlayarak bu parametrelerin türbin kanatlarına yapacağı olumsuz etkileri önlemektedir. Aksi durumda türbin kanatlarına yapışan bu partiküller türbinin verimsiz çalışmasına ve daha düşük elektrik enerjisinin üretilmesine neden olmaktadır. Buhar türbinine gönderilen buharın sürekli olarak iletkenlik pH ve oksijen, periyodik olarak demir ve silika değerleri ölçülmektedir.

Tıbbi atıkların yakılması sonucu oluşan buhar debisinin sabit bir değer almayıp sürekli değiştiği gözlemlenmiştir. Kalorifik değeri yüksek olan tıbbi atıklar beslenirken buhar debisinin arttığı, yine kalorifik değeri düşük olan tıbbi atıkların yakılması sonucu buhar debisinin azaldığı görölmüştür. Mevzuat gereği tıbbi atık poşetlerinin açılarak analiz edilmesi yasaklanmıştır. Dolayısıyla döner fırın içerisine beslenen tıbbi atıkların kalorifik değeri hakkında yorum yapılamamaktadır. Fakat sıvı içeriği yüksek olabilen patolojik atıkların yanma verimini düşürdüğü ve doğrudan buhar debisine etki ettiği bilinmektedir.

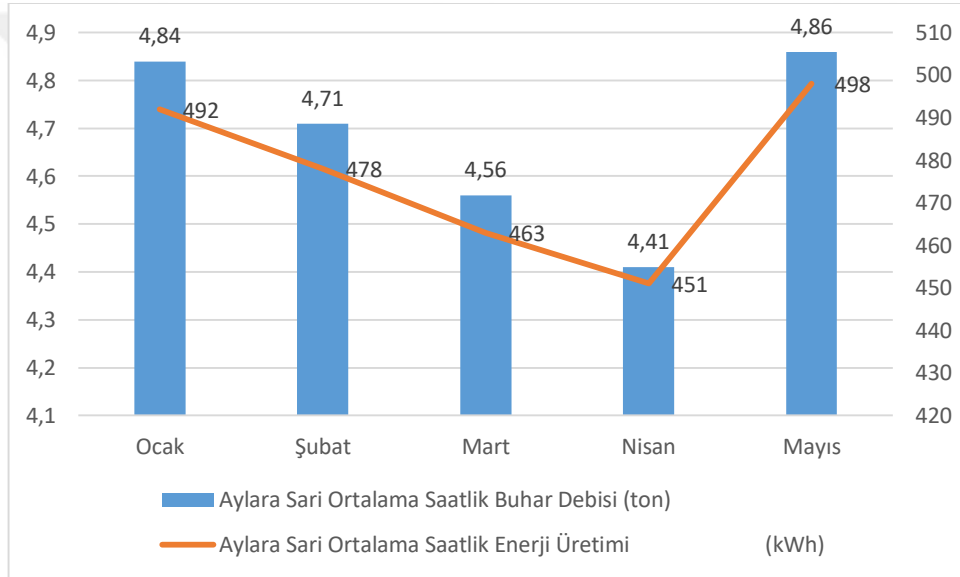
Buhar türbinin devreye girmesiyle beraber buhar kazanında üretilen buhara ait sıcaklık, basınç ve debi parametreleri sürekli ölçölerek takip edilmiştir. İşletmede normal şartlarda yaklaşık 10 günde bir buhar kazanı alev borularının temizliği yapılamaktadır. Temizlik sonrası üretilen elektrik miktarının temizlik zamanlarına doğru düştüğü görölmüştür. Buhar kazanı alev borularında biriken cürufun, atık ısının suya iletilmesini engellediği tespit edilmiştir.

Buhar türbini sistemine ait kondens ünitesinin basıncı, türbin dizaynı gereği 0.5 bar olmalıdır. İşletme sırasında bu basınç değerinin yukarı veya aşağı yönlü değerisi buhar türbini verimin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Vakum pompası ayarlarının yapılarak basınç değerinin 0.5 bar olması sağlanmıştır.

Kurulumu gerçekleştirilen buhar türbini sistemine ait 6. aya kadar olan buhar üretimverileri ile üretilen elektrik enerjisi verileri Tablo 7.1' de yer almaktadır. Veriler sistemden çekilerek aylık saatlik ortalama olarak hesaplanmıştır. Buhar debisi ve elektrik üretimi ile ilgili grafik Şekil 7.1.' de yer verilmiştir.

Tablo 7.1 Ortalama buhar debisi ve elektrik üretim tablosu

Aylar	Aylara Sari Ortalama Saatlik Buhar Debisi (ton)	Aylara Sari Ortalama Saatlik Enerji Üretimi (kWh)
Ocak	4,84	492
Şubat	4,71	478
Mart	4,56	463
Nisan	4,41	451
Mayıs	4,86	498



Şekil 7.1 Aylara sari saatlik ortalama buhar debisi ve elektrik üretimi

Şekil 7.1.' de buhar debisinin elektrik üretimine ciddi oranda bir etkisinin olduğu görülmektedir. 5. ayın sonuna kadar yapılan üretimler aylara sari saatlik ortalama olacak şekilde hesaplanmıştır. Türbine gönderilecek buhar debisi miktarı artması durumunda üretilen elektrik enerji miktarında artacaktır. Buhar türbinin kurulumu ve türbin seçimi araştırmalarında tek kademeli buhar türbinini ile çok kademeli buhar türbinine ait enerji üretim değerleri, engellenen CO₂ salınımı, doğaya sağlanan ağaç katkısı gibi veriler bulunmuştur. Söz konusu üretimler kıyaslandığından çok kademeli buhar çok kademeli buhar türbinin dönüş süresi 3.9 yıl iken tek kademeli buhar türbinin dönüş süresi 4.3 yıl olarak hesaplanmıştır. Yatırımın geri dönüş süresi olarak söz

konusu türbinler kıyaslandığında çok kademeli buhar türbinin yatırım geri dönüşü 0.4 yıl daha erken olmaktadır. Üretim değerleri açısından bakıldığında tek kademeli buhar türbini 3.096.000 kWh elektrik üretimi beklenirken, çok kademeli buhar türbininden 3.600.000 kWh elektrik üretimi beklenmektedir. Ayrıca elektrik üretimleri karşılaştırıldığında çok kademeli buhar türbini yılda $(3.600.000 - 3.096.000) = 504.000$ kWh saat daha fazla üretim yaparak yılda 39.200 € gelir sağlamaktadır.

Tesiste kurulum sonrası toplamda 1.429.200 kWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Bu değer ilerleyen dönemler artması beklenmektedir. Özellikle kalorifik değeri daha yüksek tıbbi atıkların yakılması, buhar kazanı bakımlarının periyodik olarak yapılması ve diğer ünitelerin izlenerek verimli çalıştırılması halinde elde edilecek elektrik miktarında artacaktır. Ülkemizde elektrik birim fiyatının sürekli artış göstermesi kurulan buhar türbini sisteminin geri dönüş hızını kısaltacaktır.



Şekil 7.2 Buhar Türbini Kontrol Paneli

İşletmede buhar türbinin kurulmasıyla beraber;

- Tesis ve diğer binalar elektrik kesintilerinden etkilenmeyecektir. Üretilen elektrik enerjisi Tıbbi Atık Yakma Tesisinin elektrik ihtiyacını karşıladıktan sonra kalan miktar diğer idari bina ve tesislere aktarılacaktır.
- Odayeri lokasyonunda elektrik kesintilerinin çok sık yaşanması nedeniyle elektronik ekipmanlar arızalanabilmektedir. Buhar türbini sisteminin kurulmasıyla beraber tesiste bulunan ekipmanlar elektrik kesintisinden etkilenmeyecek ve kullanım ömürleri artacaktır. Aynı zamanda tesislerin olası duruşlarının önüne geçilecektir.
- Odayeri lokasyonunda yine elektrik kesintilerinin çok fazla olması dizel jeneratörün uzun süre ile çalıştırılmasına neden olmaktadır. Buhar türbinin sisteminin ada moduna uygun çalışabilmesi sayesinde tesis ve binalar elektrik kesintisinden etkilenmeyecek ve jeneratör devreye girmeyecektir. Dolayısıyla jeneratörde yakıt kullanılmayacak ve ciddi oranda bir yakıt tasarrufu sağlanacaktır.
- Yıllık yaklaşık 1700 ton CO₂ salınımı engellenerek doğaya katkı sağlanmaktadır. Bu miktar 17 futbol sahası büyüklüğünde alanın ağaçlandırılması anlamına gelmektedir.

KAYNAKÇA

Algieri, A. Ve Morrone, P. (2012). Comparative Energetic Analysis Of High-Temperature Subcritical And Transcritical Organik Rankine Cycle (ORC) A Biomass Application In The Sibari District. *Applied Thermal Engineering*, 36, 236-244.

Aydoğan, Ö.Varank, G., Bilgili, M.S.,2010. Medical Waste Management In Gaziantep. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 3: 132-140

Chowdhury, S. Al-Amin, M. ve Ahmad, M. (20-22 December 2012). Performance Variation Of Building Integrated Photovoltaic Application With Tilt And Azimuth Angle In Bangladesh. *7th International Conference on Electrical and Computer Engineering*. Bangladesh: 896-899

Bolatlı, G. 2019. Termoelektrik Modül İle Atık Isıdan Elektrik Üreten Bir Sistem Uygulaması (Yüksek lisans tezi). Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.

Gewald, D. Ve Siokos, K. (2012). Waste Heat Recovery From A Landfill Gas-Fired Power Plant. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 16, 1779-1789.

Gültekin, K., 2018. Gaz Yakıcı Cihazlardaki Atık Isı Enerjisinin Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Jain, R., Performance Improvement Of A Boiler Through Waste Heat Recovery From An Air Conditioning Unit, International Journal Of Innovative Research In Science, Engineering And Technology Vol. 2, Issue 2, February 2013.
- Kankılıç, T., 2016. Belediye Düzenli Depolama Sahalarında Kullanılan Gaz Motoru Atık Isısından Elektrik Enerjisi Üretimi (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kılınç, R., Urgun, N., 2016. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yönelmenin Ülke Ekonomisine Etkileri Ve Türkiye'nin Dışa Bağımlılığının Azaltılmasına Yönelik Katkıları. Dergipark, 47 : 148-166
- Varış, Ç. (2017). Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Pilot Uygulaması, Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi, *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi FBE.
- Loganathan, R., Waste Heat Recovery Steam Generator In Sponge Iron Plant, The SIJ Transactions On Industrial, Financial & Business Management (IFBM), Vol. 1, No. 1, Marchapril 2013, ISSN: 2321 – 242X.
- Okur, D., 2019. Tıbbi Atıkların Bertarafında Sterilizasyon İşlemi Ve Performans Değerlendirmesi: Van İli Örneği (Yüksek lisans tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Qiu, G. Shao, Y., Li, J., Liu, H. Ve Riffat, S. B. (2012). Experimental Investigation Of A Biomassfired ORC-Based Micro-CHP For Domestic Applications. Fuel, 96, 374-382.

Saidawat, Y., Power Generation From Waste Heat Extracted Through Clinker Production In Cement Industry, International Journal In IT And Engineering, Vol.03 Issue-06, (June, 2015) ISSN: 2321-1776.

Selimli, S., 2012. Endüstriyel Tav Fırını İçin Reküperatör Tasarımı (Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Seyedkavoosi, S. (2017). Exergy-Based Optimization Of An Organic Rankine Cycle (ORC) For Waste Heat Recovery From An Internal Combustion Engine (ICE). Elsevier Applied Thermal Engineering Journal, 126, 447-457.

Stefanu, M., Epelde, M. Ve Diğerleri, (2017). Performance Evaluation Of ORC Unit Integrated To Waste Heat Recovery System In A Steel Mill. IV International Seminar On ORC Power Systems, Milano-Italy, 13-15 Eylül 2017.

Su, Z., Analysis Of Energy Utilization And Waste In China's Processing Industry Based On A Case Study, The 7th International Conference On Applied Energy – ICAE2015, Energy Procedia 75 (2015) 572 – 577.

Sunay, S., 2019. Buhar Türbini Tahrikli Kazan Besi Suyu Pompası Uygulamasının Sağladığı Enerji Tasarrufunun İncelenmesi (Yüksek lisans tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Wang, L., Analysis Of The Reusability Of The Energy Of The Exhaust Gas From The Calciner For The Production Of Carbon, Int. J. Energy Science Direct Energy 78 (2014) 439e450

Yağlı, H., 2014. Baca Gazı Atık Isısı İçin Organik Rankine evrimi Tasarımı Ve Ekserji Analizi (Yüksek Lisans Tezi). Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.

Deprem Yönetmeliği. (2020) *Zemin Sınıfları*. http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/89227ad223d3b7a_ek.pdf (05 Ocak 2020)

Thenenerjist (2019). Senkron Jeneratör. <https://thenerjist.wixsite.com/thenerjist/single-post/2018/03/16/SENKRON-JENERATOR-KISACA-NEDIR> (10 Aralık 2019).

Bescamo (2019). Vakum Pompası. <https://www.bescamo.com/vakum-pompasi/> (8 Aralık 2019).

EMKO. (2020). *Sıcaklık Tarayıcı*. <https://www.emkoelektronik.com.tr/tr/urunler/channel8n> (02 Ocak 2020).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2019). *Kurulum Gücü*. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (01 Aralık 2019).

Generator Protection System (2019) Koruma Rölesi <http://www.gegridsolutions.com/products/manuals/g30/g30man-y3.pdf> (01 Ocak 2020)

Makine Mühendisleri Odası (2019). *Degazör*. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/yayin_dosyalar/b976f2ba6264814_ek.pdf (05 Aralık 2019)

YEGM (2019). *Türbin eşitleri*. <http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/document/Buhar%20Sistemleri.pdf> (18 Aralık 2019)

Tesisat (2019). *Su Borulu Kazan*. <https://www.thesisat.org/buhar-tesisati-buhar-kazanlari.html> (15 Aralık 2019)

Tesisat (2019). *Alev Borulu Kazan*. <https://www.thesisat.org/buhar-tesisati-buhar-kazanlari.html> (15 Aralık 2019)

US Department of Energy Industrial Technologies Program (2019). *Steam BestPractices Software Tools Suite* <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html> (16 Aralık 2019)

Riyaz Papar , Greg Harrell Venkatesen Vakan Industrial Steam Optimazation Expert (2012). *Steam BestPractices Software Tools Suite* http://energyefficiency.clima.md/public/files/Constientzare/Seminar/081112/Experts_SSO_Manual.pdf

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet SÜĞÜT

Doğum Tarihi ve Yeri : 05.02.1990 Ömerli

Medeni Hali : Evli

E-posta : mehmedsogut@gmail.com

Adres : Kayabaşı mah. Kayaşehir bulvarı no:42A Evvel İstanbul
Sitesi D blok Daire 98 Başakşehir /İstanbul

Adres İş : -

Telefon : 0505 208 68 47

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Müh.	Sakarya Üniversitesi	2014
Lise	Sayısal	Mehmet Kavak Lisesi	2008

YABANCI DİL

İngilizce

Arapça

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014 -Devam	İSTAÇ AŞ	Bakım Onarım İşletme ve Planlama Mühendisi
2014(Haziran-Kasım)	MŞB İnşaat	Elektrik Şantiye Şefi

