

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

ATIK UZAKLAŞTIRMA SİSTEMLERİNDE
ENERJİ GERİ KAZANIMI

Çağatay BENGÜL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ ANA BİLİM DALI

GEBZE
2007

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

ATIK UZAKLAŞTIRMA SİSTEMLERİNDE
ENERJİ GERİ KAZANIMI

Çağatay BENGÜL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Hasan SADIKOĞLU

GEBZE
2007



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16.07.2007 tarih ve 2007/24 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09/10/2007 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Çağatay BENGÜL'ün tez çalışması Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd.Doç.Dr.Hasan SADIKOĞLU

ÜYE

: Prof.Dr.Mehmet A. HASTAOĞLU

ÜYE

: Yrd.Doç.Dr.Ercan ERTÜRK

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : Atık Uzaklaştırma Sistemlerinde Enerji Geri Kazanımı

YAZAR ADI : Çağatay BENGÜL

Bu çalışmada gerek evsel gerekse endüstriyel atık olsun, uzaklaştırılan atık maddenin sahip olduğu enerjiden yararlanarak, atık uzaklaştırma sistemlerinde enerji geri kazanımı incelenmiştir.

Bölüm 2’de elektrik ve ısı enerjisinin beraber üretildiği, enerjinin geri kazanıldığı birleşik ısı-güç üretim sistemleri tanıtılmış ve işletmelerde geniş bir uygulama sahası olan gaz türbinli birleşik ısı-güç üretim sistemleri incelenmiştir.

Bölüm 3’te farklı tip birleşik ısı-güç üretim sistemleri incelenmiş ve enerji geri kazanımında bu sistemlerin mukayesesi yapılmıştır. Bölüm 4’de atık ısılardan özellikle flaş buhardan ısı geri kazanımına yer verilmiştir.

Bölüm 5’de çöp toplama sahalarında oluşan atık gazın yakıt olarak kullanıldığı ve bu bölümde model olarak ele aldığım Kemerburgaz enerji geri kazanım tesisinde gaz motoru kullanarak enerji geri kazanılmıştır. Sistemin enerji geri kazanım potansiyeli incelenmiş ve bu enerjinin nerelerde kullanılabileceği bulunmuştur.

Bölüm 6’da atık çamurun yakılması sonucunda ortaya çıkan enerjinin geri kazanılması incelenmiştir. Yakma sistemi incelenerek geri kazanılan enerji değeri ve sistemin geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

Bölüm 7’de endüstriyel işletmelerde meydana gelen baca gazı, atık sıcak su gibi enerjilerden yararlanarak enerjinin geri kazanıldığı sistemler tasarlanmış ve enerji tasarrufu sonucunda, uygulanan yatırımların geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık, Enerji, Geri Kazanım, Kojenerasyon

SUMMARY

THESIS TITLE : Energy Recycling Process in Waste Removal Systems

AUTHOR NAME : Çağatay BENGÜL

In this thesis, energy recycling process has been studied using the energy possessed by both domestic and industrial wastes.

In Chapter 2, heat-power systems have been introduced, where electrical and heat energy is co-co-generated and recycled. Also combined heat-power production systems with gas turbine that have wide applications in industry have been investigated.

In Chapter 3, different types of combined heat-power production systems are investigated and, these systems are compared for energy recycling. In Chapter 4, heat recycling from waste heats, especially from flash steam is mentioned.

In Chapter 5, use of waste gases that are produced in city dumps as fuel is studied. As a model recycling of energy by using gas engines in Kemerburgaz energy recycling plant has been reported The system's potential of energy recycling is investigated and applications where this energy found can be utilized are cited.

In Chapter 6, the recycling of the energy that emerges due to burning of waste sludge is investigated. The value of recycled energy and pay-back period are calculated after studying the combustion methods.

In Chapter 7, energy recycling systems are designed using the the stack gas, waste hot water, etc., that appear in industrial installations. As a result of energy saving, pay-back periods for the additional investments required are calculated.

Keywords: Waste, Energy, Recycling, Cogeneration

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda başta beni yönlendirmede yardımcı olan ve katkılarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr Hasan SADIKOĞLU'na ve tez komitemde bulunmayı kabul eden değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet A. HASTAOĞLU'na ve Yrd. Doç. Dr. Ercan ERTÜRK'e ve bu tezi hazırlama aşamasında yardımlarından dolayı bütün arkadaşlarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
1 GİRİŞ	1
2 BİRLEŞİK ISI-GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİYLE ENERJİNİN GERİ KAZANIMI	3
2.1 Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemleri	3
2.2 Birleşik Isı-Güç Üretiminin Avantajları	4
2.2.1 Enerji Tasarrufu	4
2.2.2 Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemlerinin İşletmeciler Açısından Avantajları	4
2.3 Gaz Türbinli Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemleri	5
2.3.1 Sistemin Prensibi	5
2.3.2 Birleşik Isı-Güç Sisteminde Elektrik Üretimi	6
2.3.3 Birleşik Isı-Güç Sisteminde Isı Üretimi	7
3 DİĞER BİRLEŞİK ISI-GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ	9
3.1 Buhar Türbinli Tesisler	9
3.2 Kombine Çevrimli Sistemler	10
3.3 Pistonlu Motorlu Tesisler	11
4 ATIK ISILARDAN ENERJİ GERİ KAZANIMI	14
4.1 Atık Buhardan Isı Geri Kazanımı	14
4.1.1 Flaş Buhardan Isı Geri Kazanımı	14
4.1.2 Kazan Blöf Enerjisinin Geri Kazanımı	18
4.1.2.1 Buhar Kazanından Elde Edilecek Blöf Miktarı ile İlgili Uygulama	19
5 ATIK GAZDAN GAZ MOTORU İLE ENERJİ GERİ KAZANIMI	21
5.1 Gaz ve Uzaklaştırma Sistemi	21
5.2 Sistem Araştırması ve Güç Analizi	22

5.3 Atık Isının Değerlendirilmesi	23
5.3.1 Atık Isının Bölge Isıtmasında Değerlendirilmesi:	27
5.3.2 Enerji Geri Kazanımının İncelenmesi	28
5.3.2.1 Geri Ödeme Süresi	29
5.3.3 Atık Isının Sera Uygulamalarında Değerlendirilmesi	31
6 ATIK ÇAMURDAN YAKMA SİSTEMİ İLE ENERJİ GERİ KAZANIMI	32
6.1 Çamur Toplama ve Şarj Sistemi	32
6.1.1 Kek Çamur	33
6.1.2 Hampetrol Tank Çamurları	33
6.1.3 Sürekli Olmayan Çamur	33
6.2 Yakma Sistemi	34
6.2.1 Yakma Ekipmanları	34
6.2.2 Döner Fırın	35
6.2.3 İkincil Yanma Odası (PCC)	35
6.3 Baca Gazı Arıtma Bölümü	35
6.3.1 Soğutma ve Nötralizasyon Kolonu	36
6.3.2 Baca Gazı Isıtma ve Atmosfere Deşarj	36
6.4 Tesisin Kazanılabilir Enerji Potansiyelinin Hesabı	37
6.4.1 Buharın Mali Karşılığı	39
6.4.2 Gerekli Yatırım Bedeli ve Geri Ödeme Süresinin Hesabı	39
7 ENDÜSTRİDE ENERJİ GERİ KAZANIMI	41
7.1 Yakma Havaasının Isıtılması	41
7.1.1 Isı Kazanlarında Enerji Geri Kazanımı Çalışması	42
7.1.1.1 Gerçekleştirme Maliyeti	43
7.1.1.2 Geri Ödeme Süresi	43
7.2 Atık Akışkandan Isı İle Enerji Geri Kazanımı	43
7.2.1 Yıkama Makinelerinde Enerji Geri Kazanımı Çalışması	44
7.2.1.1 Gerçekleştirme Maliyeti	47
7.2.1.2 Geri Ödeme Süresi	47
8 SONUÇ VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	53
KULLANILAN BİRİMLER	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	: İstenen kazan suyu TDS değeri, ppm
c	: Akışkanın özgül ısısı, kJ/kg.K
$C_{\text{fuel oil}}$	: Fuel oil özgül ısısı, kcal/kg
F	: Besi suyu TDS değeri, ppm
Δh	: Entalpi farkı, kJ/kg
k	: Kapasite kullanma katsayısı
L	: Boru hattı toplam uzunluğu, m
m	: Kütlesel debi, kg/s
η	: Sistem verimi
η_m	: Mevcut kazan verimi
η_n	: Hedeflenen kazan verimi
P	: İş yapan akışkanın basıncı, kPa
q_1	: Tahliye öncesi yüksek basınçtaki kondensin doymuş sıvı ısısı, kcal
q_2	: Tahliyenin yapıldığı düşük basınçtaki kondensin doymuş sıvı ısısı, kcal
Q_{geri}	: Geri kazanılan atık ısı, kcal/h
Q_{gk}	: Isı eşanjörü hava yakıt karışımı / su ısı transferi, W
Q_{kw}	: Isı eşanjörü motor soğutma suyu / su ısı transferi, W
Q_m	: Mevcut durumda yalıtımsız yüzeylerden ısı kaybı, W
Q_{oel}	: Isı eşanjörü yağlama yağı / su ısı transferi, W
r	: Tahliye durumunda düşük basınçtaki buharın buharlaşma ısısı, kcal
s	: Kazan kapasitesi, kg/h
T	: Mutlak sıcaklık, K
TDS	: Toplam erimiş katı madde miktarı, ppm
YÇS	: Yıllık çalışma saati, saat/yıl

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>SEKİL</u>	<u>SAYFA</u>
2.1 Gaz türbini kesiti	6
2.2 Gaz türbinleri ile birleşik ısı-güç üretimi	6
2.3 Gaz türbinleri ile elektrik üretimi	7
2.4 Gaz türbinleri ile ısı üretimi	8
3.1 Buhar türbinli bir çevrimin şematik gösterimi	9
3.2 Buhar elde etme amaçlı kojenerasyon tesisi	10
3.3 Kombine çevrimli sistem	11
3.4 Pistonlu motorlu birleşik ısı-güç üretimi çevrimin şematik gösterimi	12
4.1 Flaş buhar tankı	15
4.2 Kondensin düşük basınçta tahliyesinde oluşan flaş buharın yüzdesi	16
4.3 Flaş tankı borulama sistemi.	18
4.4 Kazan blöf enerjisinin geri kazanımı	19
5.1 Atık gazın uzaklaştırılma sistemi	22
5.2 Gaz motoru	21
5.3 Kemberburgaz enerji geri kazanım tesisinde bulunan gaz motorunun prensip şeması	25
6.1 Çamur toplama ve şarj sistemi	32
6.2 Yakma sistemi	36
6.3 Soğutma ve nötralizasyon sistemi	36

TABLOLAR DİZİNİ

<u>TABLO</u>	<u>SAYFA</u>
3.1 Birleşik ısı-güç sistemleri için tasarruf miktarları	13
4.1 Flaş buhar tank boyutları	16
6.1 Tesisin dizayna esas giriş debileri	37
6.2 Döner fırın kütle ve enerji dengesi	38
6.3 İkincil yanma odası kütle ve enerji dengesi	38
6.4 Isı geri kazanım ünitesi kütle ve enerji dengesi	39
7.1 Yapılacak yatırımın metrajı	39
7.2 Hesap parametreleri	45
7.3 Yıkama makinesi iş programı	46
7.4 Eşanjör parametreleri	47

1 GİRİŞ

Son zamanlarda giderek olumsuz yönde değişen enerji üretim ve tüketim dengesindeki bozukluk, enerjinin yoğun olduğu sektörlerde önemli bir sorun olmaya başlamıştır. Hızla artan enerji ihtiyacı beraberinde doğal gaz, kömür, fueloil gibi verimliliği yüksek olan sistemlere gereksinimi arttırmıştır.

Kalkınmakta olan ve nüfusu artan bir ülke olması nedeniyle Türkiye'nin de enerji tüketimi hızla artmaktadır. Bu artış, doğal kaynakların bilinçsizce ve büyük bir hızla tüketilmeye başlamasına neden olmuştur. Bu bilinçsizce tüketim sonucunda, her türlü atığın doğaya atılmasından dolayı çevre kirliliği meydana geldiği gibi enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve enerji kaybını da beraberinde gündeme getirmiştir.

Ülkemiz kömür, maden, doğal gaz ve su kaynaklarına sahip olmasına rağmen, millet olarak giderek ithal enerjiye bağımlı hale gelmekteyiz. Bu sebepten enerjiyi mümkün mertebe verimli kullanmamız gerekiyor. Bu noktada enerjinin üretimi ve atılan enerjinin geri kazanılması hassas bir konu haline geliyor.

Genellikle atık maddeyi sistemde yakıt olarak kullanan birleşik ısı-güç sistemleri, enerjinin geri kazanıldığı işlemlerde verimli bir uygulama olarak karşımıza çıkarken, konvansiyonel sistemlere karşı da son yıllarda alternatif enerji üretim sistemi olarak tercih edilmiştir.

Birçok işletmede atık maddeler uzaklaştırıldıktan sonra yapılan enerji geri kazanımı sistemi sonucunda enerji tasarrufunun sağlanabileceğini ve bu sistemlerin geri ödeme sürelerinin harcanan maliyete göre kısa sürelerde olduğunu gördük.

İşletmelerde amaçlar belirli işlemlere göre planlanır ve enerjinin işe dönüşmesiyle gerçekleşir. İş yapan enerji işlem sonunda atık enerji olarak açığa çıkar. Sahip olduğumuz bu atık enerjinin değerlendirilmesi gerekir.

Atık maddeler bu çalışmamızda görüleceği gibi egzost, buhar, işlem sonucu ortaya çıkarak içerisinde çeşitli maddeler içeren sıcak su, baca gazı, çamur şeklinde olabilmektedir. Örnek olarak baca gazlarının; ısıtma işlem fırınları veya kazan sistemi gibi yakıt sarfiyatının bulunduğu sistemlerde yanma havası ısıtılmasında kullanılarak enerjinin geri kazanıldığı görülmektedir.

Enerjinin geri kazanılması sonucunda geri kazanılan enerjinin, elektriğe dönüştüğü, sıcak suyun elde edildiği, ısıtma amaçlı kullanıldığı hatta seracılık gibi enerji ihtiyacının olduğu yerlerde kullanıldığı görülmektedir.

Fazla miktarda atık birikmesinin meydana geldiği işletmelerde, atığın kısa sürede zararsız hale getirilebilmesi büyük problem olabilmektedir. Günümüzde çevre yönünden tehlike unsuru olan atıkların kontrollü bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Yukarıda da belirttiğimiz gibi bu çalışmada, çeşitli sistemlerle uzaklaştırılan bu atıklardan farklı teknolojiler ve yöntemler kullanılarak enerji geri kazanım yolları bulunmuş ve incelenmiştir.

2 BİRLEŞİK ISI-GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİYLE ENERJİNİN GERİ KAZANIMI

Bu bölümde atık enerjinin geri kazanılmasında önemli rol oynayan, ısı ve elektriğin aynı sistemden üretildiği birleşik ısı-güç sistemlerini incelemeye çalışacağız.

2.1 Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemleri

Atık maddenin oluştuğu ve uzaklaştırıldığı işletmelerde en önemli problemlerden biri atık maddeyi en uygun şekilde uzaklaştırmak ve enerji olarak geri kazanmaktır.

Sabit oranlarda ısıtma veya soğutma amaçlı ısı ile elektrik enerjisini birlikte kullanan bir enerji tüketicisi, birleşik ısı-güç tesisi kurarak enerji ihtiyacını daha düşük maliyetle karşılama imkanına sahiptir. Enerji ihtiyacının konvansiyonel olarak temininde, genellikle elektrik enerjisi şebekeden satın alınır, ısı enerjisi ise yakıtla çalışan sistem tarafından üretilir.

Birleşik ısı-güç üretimi sistemleri tek bir merkezde kullanarak ısı ve elektrik enerjisinin her ikisinin de bir arada üretildiği sistemler olarak adlandırılır. Bu tip sistemlere kojenerasyon sistemleri adı da verilir. Isı ve elektriğin bu şekilde tek bir merkezde üretilmesi, yüksek oranlarda enerji tasarrufu sağlaması nedeniyle, üretim sistemlerinde değişiklik olmaksızın enerji maliyetlerinde önemli düşüslere olanak verir.

Birleşik ısı-güç üretimi tesisi kurmanın amacı, ısı ve elektrik enerjisi talebinin bir bütün olarak tek bir merkezden karşılanmasıdır. Bununla birlikte elektrik enerjisi talebinin artması halinde dışarıdan elektrik satın alınabilmeli ve tesis tarafından üretilen elektriğin talepten fazla olması halinde de dışarıya elektrik satılabilmesi için konvansiyonel elektrik şebekesi ile de uyumlu olmalıdır.

Dünyada birleşik ısı-güç üretimi, teknik verimliliği ve güvenilirliği açısından fazlasıyla kendini ispatlamış bilinen bir teknolojidir. Ancak ekonomik yönden yapılabilirliği, mevcut enerji kaynaklarına ve bunların maliyetlerindeki değişikliğe bağlı olarak zaman zaman tereddütlere yol açmaktadır. Son zamanlardaki yakıt ve elektrik maliyetleri arasındaki fark, birleşik ısı-güç üretiminin enerji maliyetlerini düşüren en ekonomik ve en verimli yöntem olmasını sağlamıştır [1].

2. 2 Birleşik Isı-Güç Üretiminin Avantajları

2.2.1 Enerji Tasarrufu

Birleşik ısı-güç üretim sistemleri birincil enerji tüketiminde önemli oranlarda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Hidroelektrik, termik veya nükleer santrallerdeki konvansiyonel olarak elektrik üretimi verimliliği ortalama %37 civarındadır. Taşıma ve dağıtım kayıpları da dikkate alındığı zaman bu değer %33 civarına düşmektedir. Yaklaşık olarak %66 oranında bir ısı kaçınılmaz bir şekilde kaybedilmektedir. Büyük ölçekli elektrik üretim tesislerinde bu orandaki ısının kullanılması mümkün olmaktadır. Gerekli olan ısı enerjisi ise en iyi şekilde dahi verimleri %90'a ulaşan tesislerde üretilmektedir.

Atık ısıların kullanılmasına bağlı olarak birleşik ısı-güç üretim sistemlerinin verimleri %85'lere kadar çıkabilmektedir. Enerji tasarrufu, atık ısıların geri kazanımı nispetinde artmaktadır [1].

2.2.2 Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemlerinin İşletmeciler Açısından Avantajları

Birleşik ısı-güç üretimi tesisi kurmaya karar veren kullanıcı aynı miktarda enerjiye yine ihtiyaç duyacaktır. Elde edilecek tasarruflar sadece ekonomik olacaktır. Bu teknolojiler enerji ihtiyacını konvansiyonel sistemlere göre daha düşük maliyetle karşılamaktadır. Enerji tasarruf miktarı, kullanılan yakıtın maliyeti ile direkt olarak elektrik şirketinden satın alınan elektriğin maliyeti arasındaki mevcut farka bağlı olacaktır. Bu fark ne kadar büyük olursa o kadar büyük oranda parasal tasarruf

sağlanacak ve tesis kendini daha kısa bir sürede amorti edecektir. Bu sebeple atık ısı veya yakıtların kullanılması halinde tasarruf potansiyeli önemli oranda artacaktır.

Birleşik ısı-güç üretim sistemi uygulamalarının çoğunda enerji maliyetlerinde genellikle %20-30 oranında bir azalma söz konusu olmaktadır. Geri ödeme süreleri ise 2-3 yıl arasında değişmektedir [1].

2.3 Gaz Türbinli Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemleri

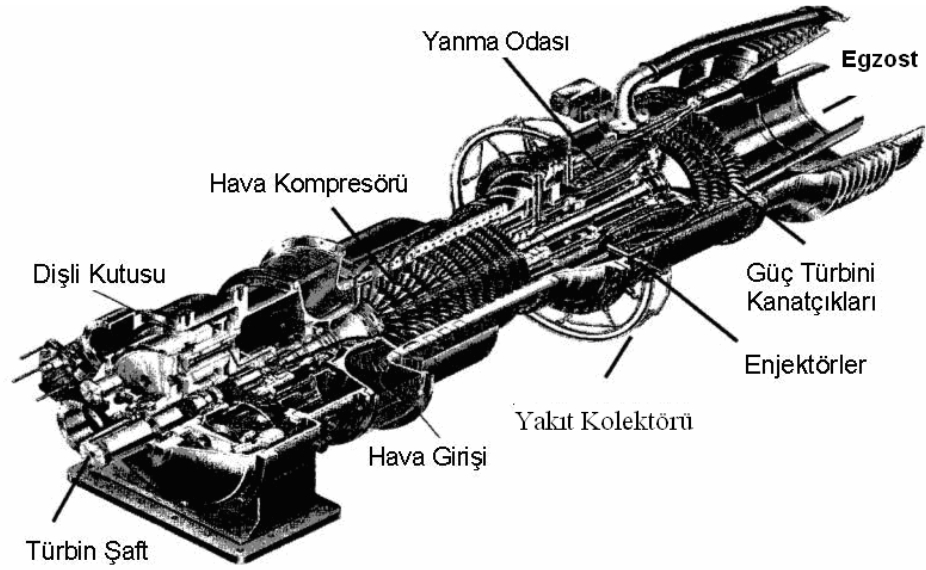
Bu bölümde enerjinin geri kazanıldığı, yukarıda belirtilen birleşik ısı-güç üretim sistemlerinden, gaz türbinli birleşik ısı-güç sistemlerini inceleyeceğiz.

2.3.1. Sistemin Prensibi

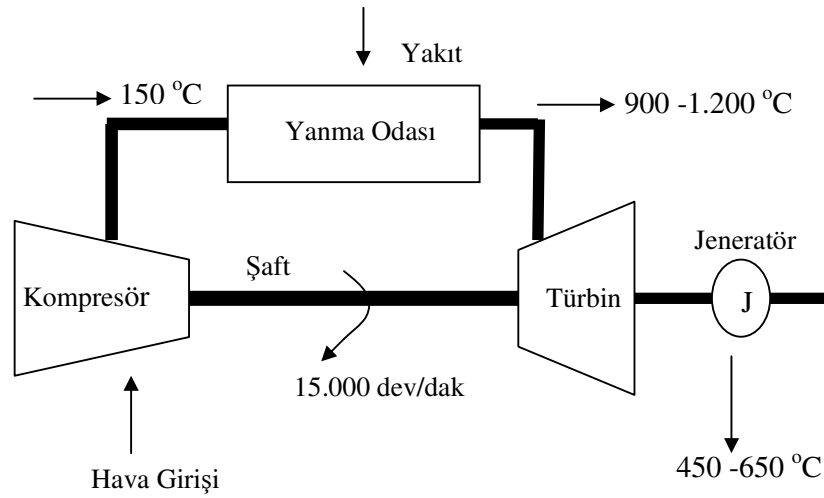
Gaz türbinleri üç ana elemandan oluşur. Bunlar,

- a) Kompresör
- b) Yanma Odası
- c) Türbin

Kompresör tarafından emilen hava sıkıştırılır. Basıncı yaklaşık 12 kat artan havanın sıcaklığı da yükselir. 150 °C civarındaki hava yanma odasına gelir. Aynı zamanda yanma odasına yüksek basınçlı yakıt püskürtülür. Yakıt/hava oranı 1/60 olacak şekilde yanma meydana gelir. Yanma sonucunda yüksek basınçlı ve 900 °C ile 1200 °C sıcaklığında egzost gazı açığa çıkar. Bu gaz, türbinden geçerek sistemi terk eder. Türbinin kanatçıkları çarpma etkisiyle dönecek şekilde dizayn edilmiştir. Dolayısıyla egzost gazı türbinden geçerken türbin döner. Bu şekilde türbin ile kompresör arasında bulunan şaft da dönmeye başlar. Oluşan bu mekanik enerjiye karşılık egzost gazının sıcaklığı 450 -650 °C'ye düşer. Sıcaklığı ve basıncı azalmış olan ve yaklaşık %15 O₂ içeren egzost gazı türbini terk ettikten sonra atık ısı kazanına gelir [3]. Şekil 2.1'de bir gaz türbininin kesiti ve Şekil 2.2'te sistemin prensip şeması görülmektedir.



Şekil 2.1 Gaz türbini kesiti [2]

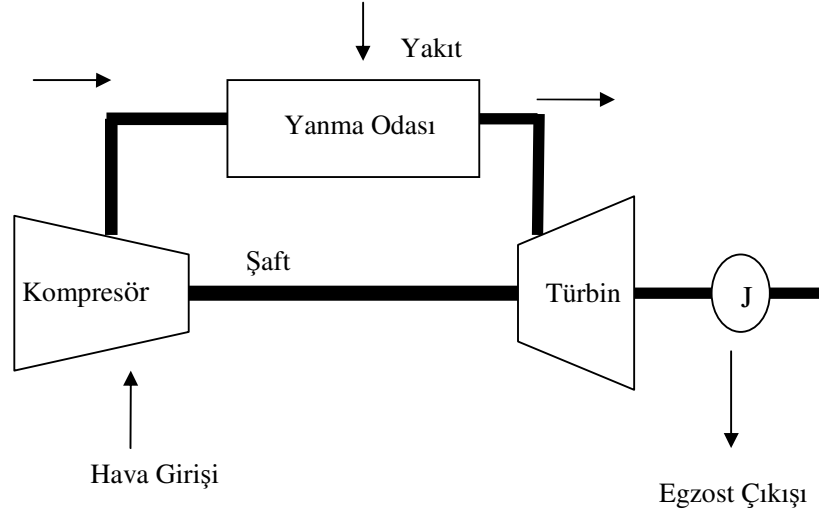


Şekil 2.2 Gaz türbinleri ile birleşik ısı-güç üretimi [1]

Gaz türbinlerinden maksimum verim elde edebilmek için sistem sürekli çalışmalıdır. Gaz türbinlerinde doğalgaz, LPG, motorin gibi farklı yakıt türleri kullanılabilir [3].

2.3.2 Birleşik Isı-Güç Sisteminde Elektrik Üretimi

Birleşik ısı-güç üretimi sisteminde elektrik, jeneratör vasıtası ile üretilir. Tübine bağlı bulunan şaft aynı zamanda sistemdeki kompresöre de bağlıdır.

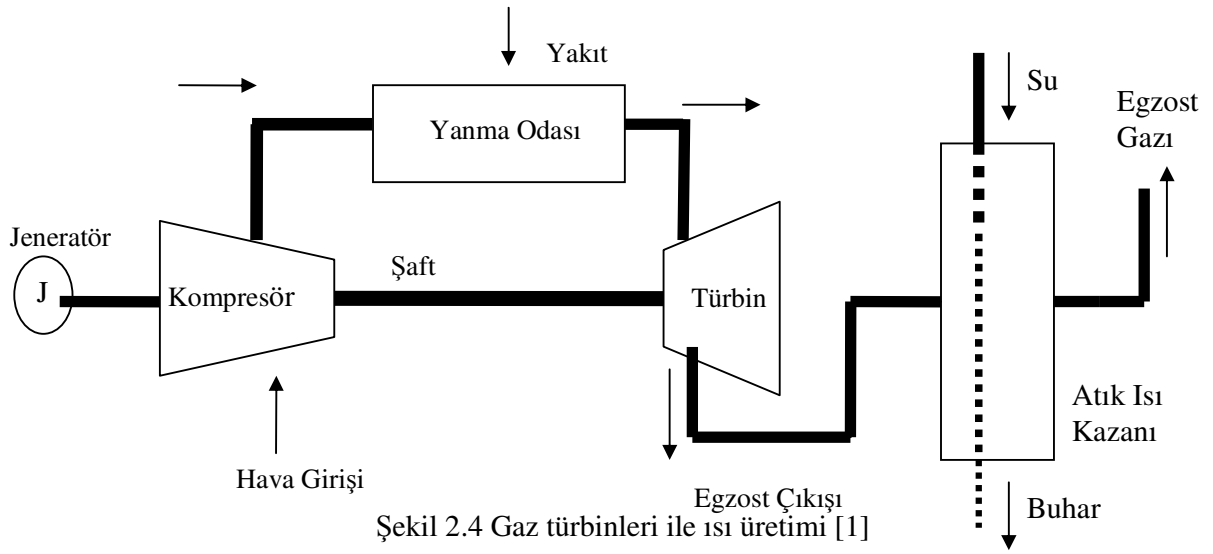


Şekil 2.3 Gaz türbinleri ile elektrik üretimi [1]

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi kompresör ve türbin arasında bulunan şaft bir jeneratöre kadar uzatılır. Devir sayısı bir redüksiyon dişlisi ile ayarlanır. Şaft döndüğünde jeneratörün rotoru da döner ve sargılarda elektrik indüklenir. Bu elektrik bir yükseltici trafo vasıtası ile enerji iletim hatlarına nakledilir [3].

2.3.3. Birleşik Isı-Güç Sisteminde Isı Üretimi

Sistemde türbinden çıkan egzost gazları bir atık ısı kazanından geçirilerek atıldığı takdirde buhar üretilmiş olur. Egzost gazları 450-650 °C arasındadır. Egzost gazlarının sahip olduğu bu ısı enerjisi, duman borulu bir atık ısı kazanında buhar enerjisine dönüşür. Yani sistem ısı eşanjörlü buhar kazanı şeklinde çalışmaktadır. Buharın üretildiği sistemlerde verim % 45-55 arasında olmaktadır.



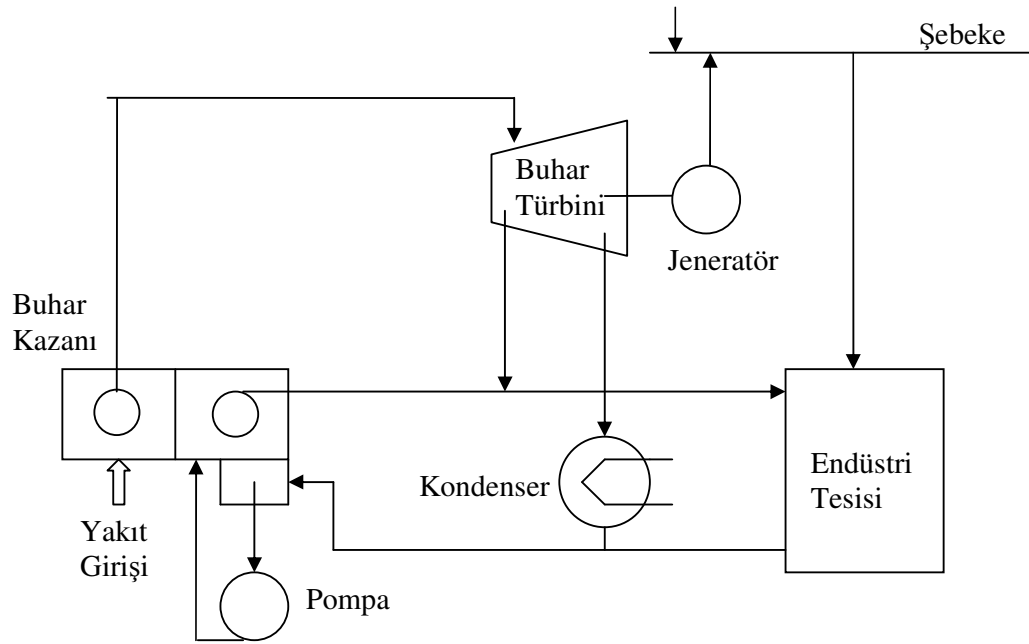
Sistemden üretilen buhar miktarı kullanılan yakıt ve basıncına bağlı olarak değişir. Buhar basıncı azaldıkça sistemde kullanılan buhar miktarı da artar. Atık ısı kazanından atılan baca gazlarının sıcaklığı 200 °C civarındadır. Dışarı atılan bu enerjiden faydalanmak mümkün olabilmektedir. Yani atılan baca gazından enerji geri kazanılabilmektedir. Atık ısı kazanı ile baca arasına yerleştirilen bir ekonomizer ile baca gazı sıcaklığı 100 °C'ye kadar düşürülebilir. Genel olarak kazan sıcaklığını 20 °C düşürmek kazan verimini %1 artırmak anlamına gelir. Ancak atık gazın su buharı içermesi ve bu olayın da korozyona sebep olması yüzünden baca sıcaklığı düşük tutulmaz.

Başka bir yöntem olarak kazan sistemlerinde yanma havasının her 28 °C artışında yanma verimi %1 oranında artmaktadır [3].

3 DİĞER BİRLEŞİK ISI-GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ

Bu bölümde gaz türbini dışında kullanılan diğer birleşik ısı-güç üretim sistemlerini inceleyeceğiz.

3.1 Buhar Türbinli Tesisler

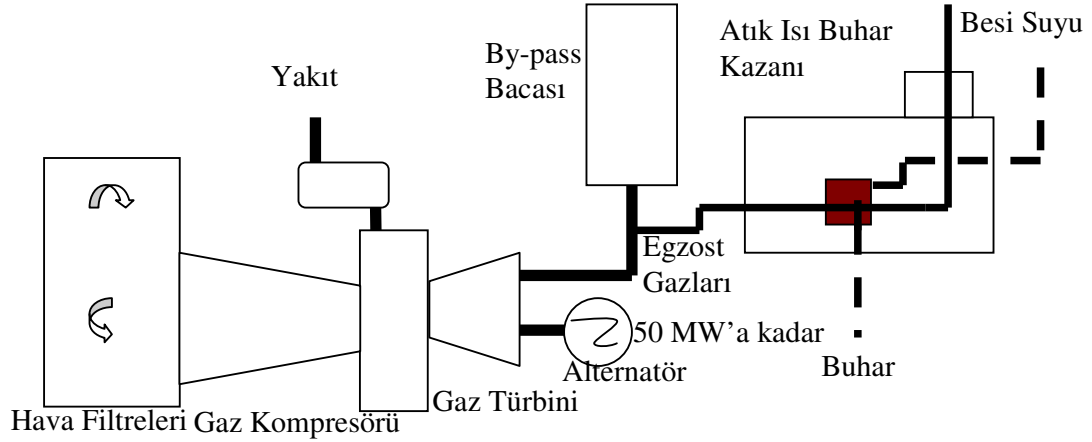


Şekil 3.1 Buhar türbinli bir çevrimin şematik gösterimi [2]

Bu türbinlerde konvansiyonel bir kazanda üretilen yüksek basınçtaki buhar genişletilerek mekanik enerji üretilir. Şekil 3.1’de buhar türbinli bir çevrimin şematik gösterimi Şekil 3.2’de 50 MW’a kadar elektrik üreten gaz türbininin bulunduğu buhar elde etme amaçlı birleşik ısı-güç üretimi uygulaması görülmektedir.

Bu tip sistemlerde verim % 85-90 civarındadır. Buhar türbinleri, türbinin çıkışındaki buharın basıncına göre, çıkış basıncı atmosfer basıncından büyük olan karşı basınç türbinleri ve çıkış basıncı atmosfer basıncından düşük olan kondensasyon türbinleri olarak iki gruba ayrılırlar. Kondensasyon türbinleri kullanılan durumlarda, sisteme bir de kondenser tesis edilir. Her iki türbinden,

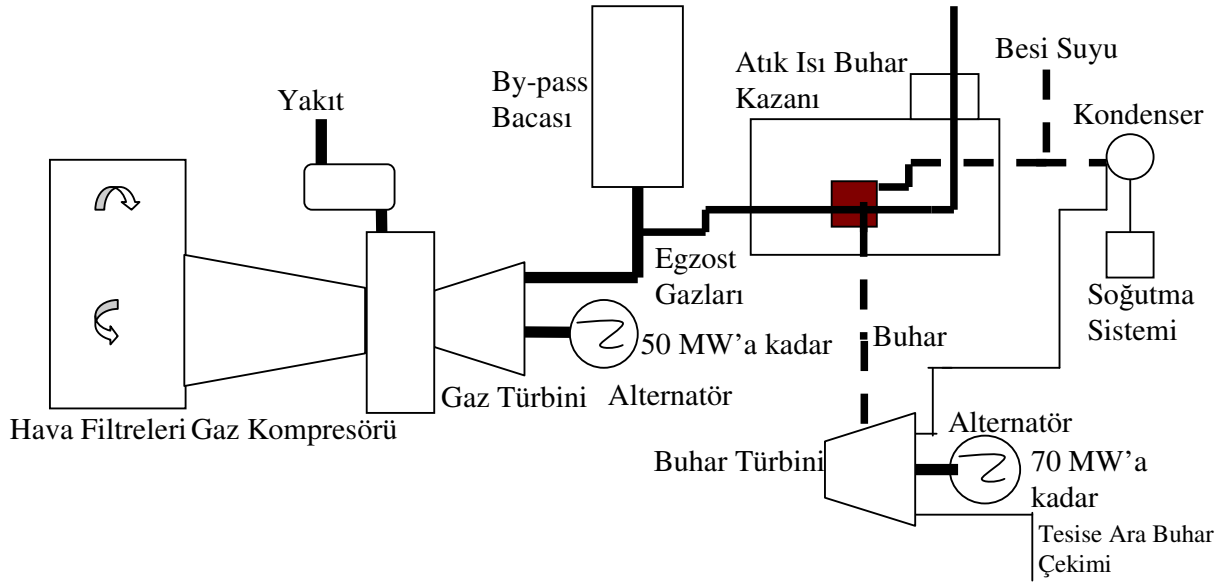
değişik şartlarda proses buharı olarak kullanılmak üzere ana buhar çekmek mümkündür. Direkt olarak yanma gazları ile çalışmalarından dolayı gaz, sıvı veya katı atık olarak değerlendirilen yakıt tiplerinden herhangi biriyle çalışabilme gibi avantaja da sahiptirler.



Şekil 3.2 Buhar elde etme amaçlı birleşik ısı-güç üretim tesisi [2]

3.2. Kombine Çevrimli Sistemler

Kombine çevrimli sistemler elektrik üretimi için hem gaz türbinlerinin hem de buhar türbinlerinin bir arada kullanıldığı sistemlerdir (Şekil 3.3). Gaz türbinini terk eden egzost gazları, konvansiyonel bir ekipman veya atık ısı kazanı kullanılmak suretiyle, yüksek basınçta buhar üretimi amacıyla kullanılan sistemlerdir. Bu buhar önce türbinden geçirilir. Buradan çıkan düşük basınçtaki buhar ise kullanılmak üzere direkt olarak prosese gönderilir. Bu sistemin en önemli avantajı, elektrik üretiminde diğer tiplerle karşılaştırıldığında, ortalama verimin daha yüksek olmasıdır [1].



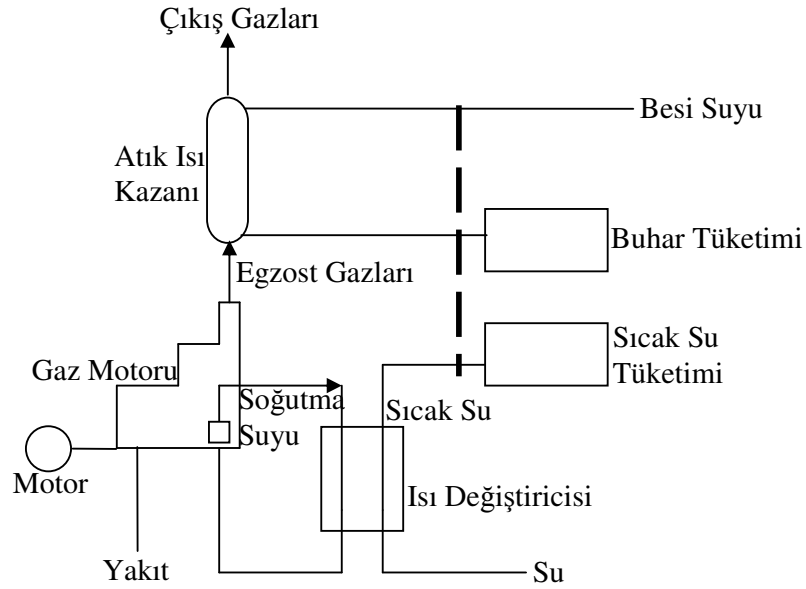
Şekil 3.3 Kombine çevrimli sistem [2]

3.3 Pistonlu Motorlu Tesisler

Dizel ya da ateşlemeli prensibe göre çalışan pistonlu motorlar da, birleşik ısı-güç üretim tesislerinde kullanılabilir. Gaz türbinleri ile bu sistem arasında önemli farklılıklar vardır. Pistonlu motorlar daha yüksek elektrik üretim verimine sahiptir. Buna karşılık buhar tarafından üretilen ısı kullanılması diğer sistemlere nazaran biraz daha zordur. Çünkü bu ısılar düşük nitelikli olur ve önemli miktarı motor soğutma sistemleri ile egzoz gazları tarafından dışarı atılır. Şekil 3.4'de pistonlu motorlu birleşik ısı-güç üretim sisteminin şematik diyagramı gösterilmiştir. Pistonlu motorlu birleşik ısı-güç üretim tesislerinde üretilen ısı enerjisi için en yaygın kullanım alanlarını sıralamak istersek bunlar,

- Gazların ısısından 15 bara kadar buhar üretimi ve motorun soğutma sisteminden 85-90 °C'de sıcak su üretimi
- Motorun soğutma sisteminden 85-90 °C'de sıcak su üretimi ve gazların da ısıyla 100 °C' ye çıkarılması

- c) Gazların direkt olarak ısısının alınması, egzost gazları ile direkt kurutma, CO₂ üretimi vb. proseslerde kullanma
- d) Sıcak hava üretimi, motordan atılan tüm atık ısılar, uygun ısı değiştirgeçleri ile sıcak hava üretimi



Şekil 3.4 Pistonlu motorlu birleşik ısı-güç üretimi çevrimin şematik gösterimi [3]

Bu sistemler işletme esnekliği avantajına da sahiptirler. Motorun enerji tüketiminde, büyük oranlarda artışa sebep olmaksızın güç talebinde meydana gelen düzensiz dalgalanmalara cevap verebilirler. Bu olay, işletmeye şebekeden ayrı olarak kesintisiz çalışma imkanı sağlamaktadır. Elektrik talebinin değişken olduğu yerlerde ya da şebekeye paralel bağlı sistemlerde şebekeye elektrik verilmesi için güç ayarlaması yapılabilir. Pistonlu motorlar gaz yakıtları ya da sıvı yakıtları yakabilirler. Tablo 3.1’de birleşik ısı-güç üretim tesisleri için tasarruf miktarları görülmektedir. 100 kWh birincil enerji tüketimi olarak alınmıştır [1].

Tablo 3.1 Birleşik ısı-güç sistemleri için tasarruf miktarları [1]

SİSTEM		ÜRETİLEN ENERJİ (kWh)	BİRLEŞİK ISI-GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ BİRİNCİL ENERJİ TÜKETİMİ (kWh)	KONVANSİYONEL SİSTEM BİRİNCİL ENERJİ TÜKETİMİ (kWh)	BİRİNCİL ENERJİ TASARRUFU (%)
GAZ TÜRBİNLİ	ELEKTRİK	26.5		80.3	
	ISI	54.4		58.5	
	TOPLAM	80.9	100	138.8	28
BUHAR TÜRBİNLİ	ELEKTRİK	15		45.5	
	ISI	75		80.6	
	TOPLAM	90	100	126.1	21
PİSTONLU MOTORLU	ELEKTRİK	36		109	
	ISI	34		36.6	
	TOPLAM	80	100	145.6	31

4 ATIK ISILARDAN ENERJİ GERİ KAZANIMI

4.1 Atık Buhardan Isı Geri Kazanımı

Atık buhardan ısının geri kazanımı iki şekilde yapılır.

4.1.1 Flaş Buhardan Isı Geri Kazanımı

Basınç altındaki sıcak kondens veya kazan suyu daha düşük bir basınca bırakıldığında zaman bir kısım su buharlaşır. Bu buharlaşmaya flaş buhar denir. Flaş buhar, bünyesinde kullanılabilecek buharlaşma ısı enerjisi içerdiğinden önemlidir.

Su atmosfer basıncında ısıtıldığında zaman 100 °C'ye ulaşana kadar yükselir. Bu basınçta elde edilen sıcaklık, suyun erişebileceği en yüksek sıcaklıktır. Bu şartlarda ilave olarak verilecek ısı, suyun sıcaklığını yükseltmez, suyun buhara dönüşmesini sağlar. Suyun sıcaklığını kaynama noktasına yükseltme sırasında, su tarafından emilen ısıya hissedilebilir ısı veya doymuş sıvı ısı denir. Aynı sıcaklıktaki kaynama noktasındaki suyu buhara dönüştürmek için gerek duyulan ısıya buharlaşma ısı denir.

Su basınç altında ısıtılırsa kaynama noktası 100 °C'den yüksek hale gelir. Bu fiziksel olayın neticesinde hissedilebilir ısı da yüksek hale gelir. Basınç arttıkça kaynama sıcaklığı ve ısı değeri de artacaktır. Eğer basınç düşürülürse suyun sahip olduğu ısının bir kısmı suyun buharlaşmasını sağlar.

Buhar sıcaklığında ve 10 bar basınç altındaki kondens 182 kcal/kg ısı değerine sahiptir. Eğer bu kondens atmosfer basıncı olan 1 bar'a indirilirse ısı değeri aniden 100 kcal/kg'a düşecektir. 82 kcal/kg'lık fazlalık ısı, kondensin bir kısmını tekrar buharlaştırır. Buhara dönüşecek kondensin yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\% \text{ FLAŞ BUHARI} = \frac{q_1 - q_2}{r} \times 100 \quad (4.1)$$

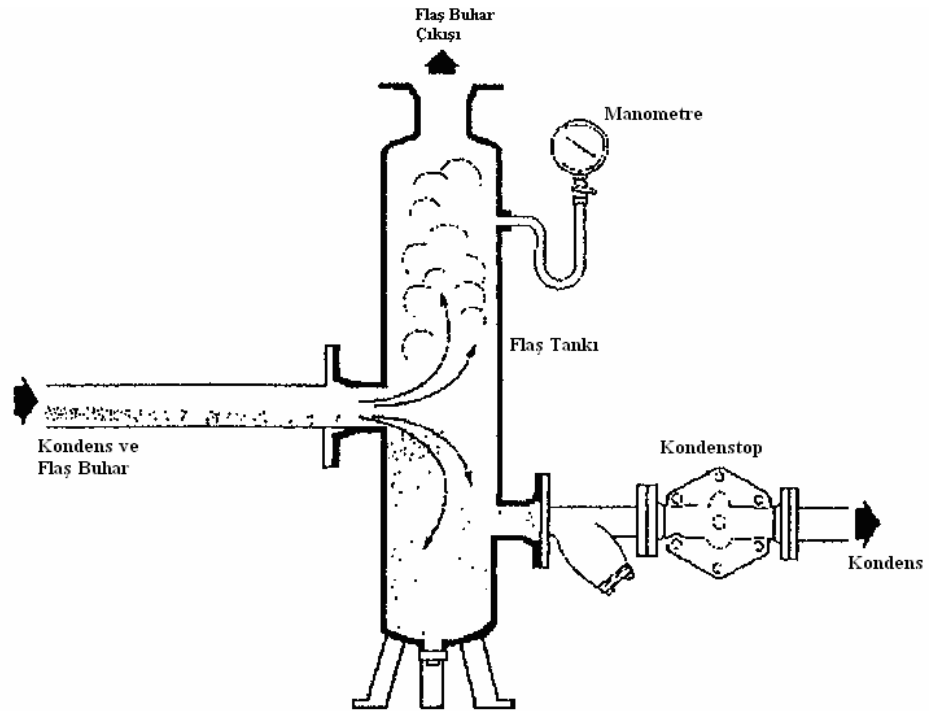
q_1 : Tahliye öncesi yüksek basınçtaki kondensin doymuş sıvı ısısı (kcal)

q_2 : Tahliyenin yapıldığı düşük basınçtaki kondensin doymuş sıvı ısısı (kcal)

r : Kondensin tahliye edilmiş olduğu düşük basınçtaki buharın buharlaşma ısısı (kcal)

Flaş buharı suyundan ayırmak için flaş buhar tankları kullanılır. Bu tank şekil 4.1’de görüldüğü gibi düşey silindirik bir tanktır [4].

Tankın çapı öyle bir seçilmelidir ki buharın üst çıkışa doğru 3 m/s’lik bir hıza sahip olması sağlanmalıdır. Bu hız su damlalarının ters bir yönde yani tankın alt kısmına doğru akabileceği bir hızdır. Bu ayrışma için giriş kısmından yeterli bir yükseklikte olması gerekmektedir. Bu nedenle kondensin girişi alt kısımdan tank boyunun 1/3 oranında mesafede olmalıdır.



Şekil 4.1 Flaş buhar tankı [4]

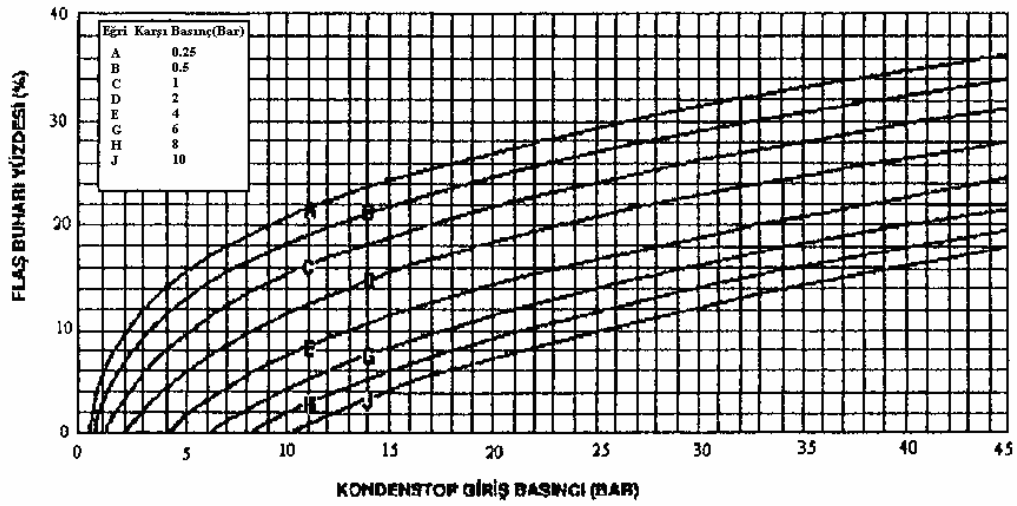
Flaş buhar tankının çapı, türbülans meydana gelmeden kondensin geçmesini sağlayacak büyüklükte olmalıdır. Yüksek basınç ve düşük basıncın arasındaki fark

küçük olduğu zaman flaş buhar miktarı az, kondens miktarı fazla olur. Bu durumda flaş tankı çıkış çapının hıza göre seçilmesi tankın küçük kalmasına neden olacaktır. Flaş buhar tankları için önerilen boyutlar Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1 Flaş buhar tank boyutları [4]

ÇAP (mm)	Yükseklik (mm)	Kondens giriş çapı (mm)	Giriş Yüksekliği (mm)	Flaş Buhar Çıkış Çapı (mm)	Max. Kondens kg/h	Max. Buhar kg/h
100	1.100	40	282	65	900	225
200	1.100	40	290	100	2.250	450
300	1.150	50	307	125	4.500	900
380	1.260	50	330	150	9.000	1.400
460	1.200	50	400	175	12.700	2.050
500	1.400	65	450	200	15.900	2.400

Şekil 4.2’de kondensin farklı basınçlara tahliye edilmesiyle oluşacak flaş buharı görülmektedir.



Şekil 4.2 Kondensin düşük basınçta tahliyesinde oluşan flaş buharın yüzdesi [4]

Buhar çok verimli ve kolaylıkla kontrol edilebilen bir ısı transfer akışkanı olup merkezi bir yerden elde edilerek havanın, suyun ısıtılmasında veya çeşitli proses uygulamalarında kullanılır. Biraz önce de bahsettiğimiz gibi kaynayan suyu buhara dönüştürmek için ilave enerji gereklidir. Bu enerji kaybolmamakta, ısıtmada, kurutmada, pişirme proseslerinde kullanılmaya hazır olarak buhar içerisinde depolanmaktadır.

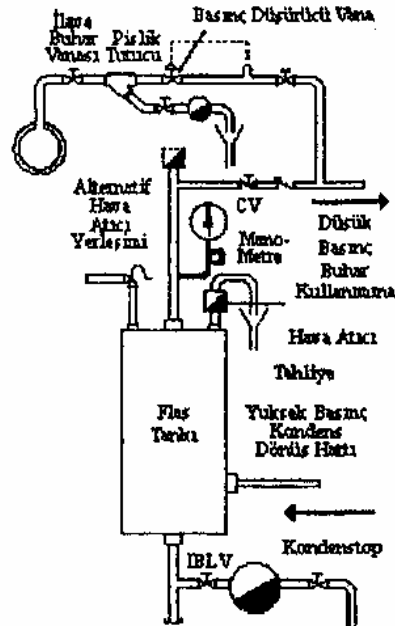
Bir proses de, ısı yüksek sıcaklık seviyesinden daha düşük sıcaklık seviyesine akar ki bu olaya da ısı transferi denir. Buhar kazanın yanma odasından elde edilerek ısı kazan borularından suya transfer olur. Kazandaki daha yüksek basınç, buharı ittiği zaman dağıtım sistemindeki boruları ısıtır. Isı, buhardan boru yüzeyleri boyunca daha soğuk çevre havasına transfer olur. Bu ısı transferi buharın bir kısmını tekrar suya dönüştürür. Bu sebepten dolayı iletim hatları bu israf edilen ve istenmeyen ısı transferini minimuma indirmek için genellikle izole edilmektedir.

Buhar, sistemdeki ısı eşanjörlerine ulaştığında durum farklıdır. Bu noktada buhardan ısı transferi istenir. Isı bir hava ısıtıcısındaki havaya ve su ısıtıcısındaki suya transfer olmaktadır. Bu ısı transferine hiçbir şey engel olmamaktadır.

Kondens, buhar sisteminde ısı transferinin bir sonucudur. Buhar, radyasyon ile ısı kayıpları nedeniyle iletim hatlarında veya ısıtma ve proses ünitelerinde gereken enerjiyi karşılamak için buharlaşma ısını vererek kondense dönüşür. Buhar yoğuştuğundan ve buharlaşma ısını verdiği için, sıcak kondens hemen tahliye edilmelidir. 1 kg kondensdeki ısı 1 kg buharla karşılaştırıldığında ihmal edilebilir olmasına rağmen kondens, kazana geri gönderilmelidir. Buhar borularının alt yüzeyinde bu sebeplerden dolayı biriken kondens, boruların içerisinde tahribata neden olabilir.

Su darbesi, yüksek hızla hareket eden buharın bu kondensin üzerinden geçerken dalgalar oluşturmaları ile başlar. Kondensin çoğalması ve yüksek hızlı buharın sürüklenmesi ile önüne çıkan kondensi de kaldırarak büyüyen tehlikeli bir su kütlesi oluşturur. Kütle, yönünü değiştiren veya daraltan herhangi bir engele büyük bir hızla çarparak koç darbesi meydana getirir. Fittingler, regülasyon vanaları ve diğer benzer ekipmanlar tahrip olabilir. Bu tahribata ilave olarak yüksek hızlı su, metal yüzeylerden talaş kaldırarak fittingleri aşındırabilirler.

Yukarıda yaşanan gelişmeler kondensin tahliye edilmediğini gösterir ve sistemin kapasitesini düşürür. Bu sebepten ötürü kondens oluşur oluşmaz tahliye edilmesine uygun bir borulama sistemi yapılmalıdır [4]. Flaş buhar tankına uygun bir borulama sistemi Şekil 4.3’de görülmektedir.

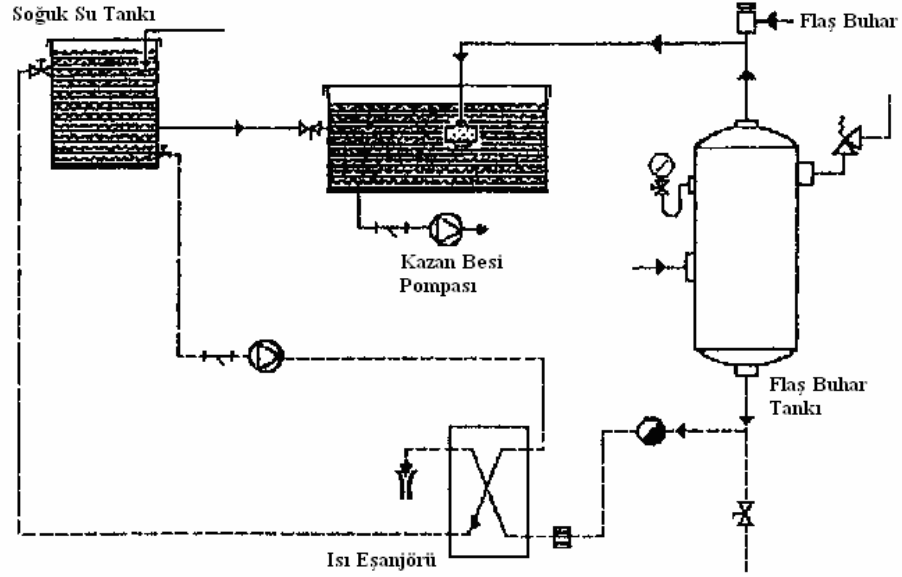


Şekil 4.3 Flaş tankı borulama sistemi [4]

4.1.2 Kazan Blöf Enerjisinin Geri Kazanımı

Kazan içerisindeki su tamamen saf değildir. Kimyasal işleme uğrayan ham su katı partiküller içerir. Bu katı maddeler gerek erimiş gerekse süspansiyon halde bulunurlar. Kazan buhar ürettiğinde suyun içerisindeki maddelerin yoğunluğu giderek artar ve bu maddeler tabaka oluşturarak ısı transferini engeller, aynı zamanda su yüzeyinde köpük şeklinde birikerek ekipmanlara zarar verir.

Kazan içerisinde süspansiyon halinde bulunan maddeler çöker ve kazan dibinde birikir. Bu maddelerin kazandan alınması kazan alt blöfü ile yapılır. Erimiş halde bulunan maddelerin tamamen alınması mümkün değildir. Ancak bir miktar kazan suyu dışarı alınarak yoğunluğu düşürülür. Bu işlem otomatik blöf sistemleri ile gerçekleştirilir. Doğru seçilmiş kazan blöf sistemleri ile enerji tasarrufu sağlanabilir. Şekil 4.4’de kazan blöf enerjisinin geri kazanımına ait sistem görülmektedir.



Şekil 4.4 Kazan blöf enerjisinin geri kazanımı [4]

Toplam erimiş katı maddeler kazan suyunda çökmeyen maddelerin toplam miktarıdır. Toplam erimiş katı madde miktarı (TDS) üreticiler tarafından tespit edilir. Blöf miktarı aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$\text{BLÖF MİKTARI} = \frac{F}{B - F} \times s \quad (4.2)$$

Burada,

F: Besi suyu TDS değeri (ppm)

B: İstenen kazan suyu TDS değeri (ppm)

s: Kazan kapasitesi (kg/h)

4.1.2.1 Buhar Kazanından Elde Edilecek Blöf Miktarı ile İlgili Uygulama

Kazan basıncı 10 bar ve kapasitesi 10.000 kg/h olan bir sistemde doymuş buhar sıcaklığı 184 °C'dir. Üreticiler tarafından verilen değerlere göre kazan besisi suyu TDS değeri 250 ppm ve istenen kazan suyu TDS değeri 2500 ppm'dir. Blöf miktarı denklem (4.2)'den,

$$\text{Blöf miktarı} = \frac{250}{2.500 - 250} \times 10.000 = 1.111 \text{ kg/h olarak hesaplanır.}$$

Buna göre TDS seviyesini 2.500 ppm’de tutabilmek için zaman zaman kazan suyunu blöf etmek gerekir [4].

5 ATIK GAZDAN GAZ MOTORU İLE ENERJİ GERİ KAZANIMI

Bu bölümde İstanbul Kemerburgaz'da bulunan enerji geri kazanım tesisini inceleyeceğiz. Atık gazdan gaz motoru ile ısı ve elektrik üretimini incelemeye çalışarak sistemin enerji dengesini çıkarmaya çalışacağız.

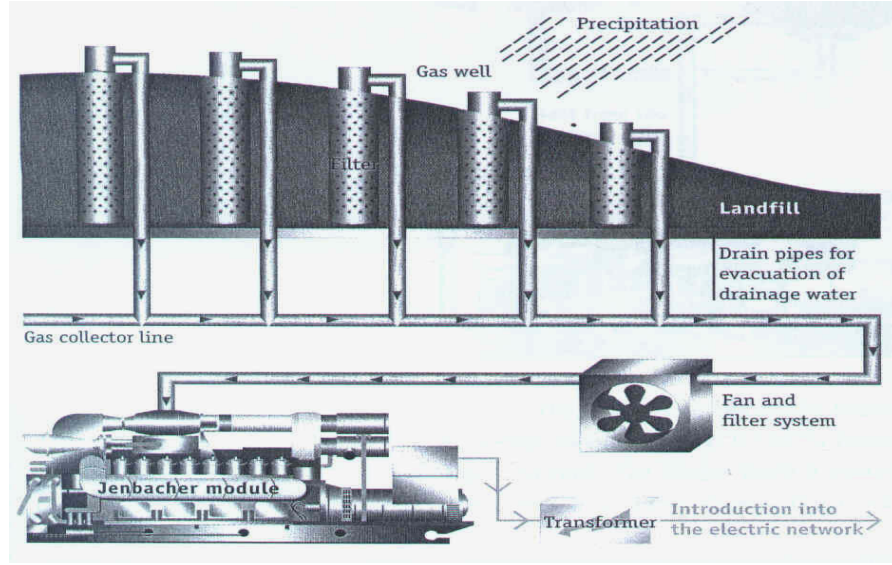
5.1 Gaz ve Uzaklaştırma Sistemi

Atık depolarında kötü kokusuyla dikkat çeken atık gazlar enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Bu atık gazlar ya uygun bir şekilde imha edilmeli ya da onlardan yararlanılmalıdır.

Atık depolanma kısmı uygun işlemlerden geçer. Önce alanın toprağı temizlenip yeraltı suyunun gideri için drenaj sistemi hazırlanır. Zemin uygun bir eğime getirilerek tabii zemin sıkıştırılır. Daha sonra kil tabakası serilir ve sıkıştırma işlemi tekrarlanır. Bunun üzerine HDPE denilen yüksek yoğunluklu polietilen malzeme 2-3 mm kalınlığında folyo halinde kaplanır. Folyo üzerine koruyucu tabaka malzeme serilir. Daha sonra drenaj boruları yerleştirilir. Zemine filtreleme amacıyla 30 cm kalınlığında çakıl tabakası serilir ve en son 25-30 cm çaplarında 20-25 m derinliğinde gaz kuyuları zemine uygun aralıklarla yerleştirilir.

Bildiğimiz gibi kimyevi atıklar içerisindeki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılmasıyla gaz oluşur. Biz bu bölümde atıklardan oluşan ve %45-65 oranında metan içeren geri kalanı %25-35 CO₂, %15-20 oranında nitrojenden meydana gelen landfill gazını kullanacağız. 1 ton atıktan 150-200 m³ landfill gazı ortaya çıkabilmektedir.

Şekil 5.1'de atık gazın, hazırlanmış zemine uygun aralıklarla yerleştirilmiş gaz kuyularından geçerek filtrelenmesi sonucu gaz motoruna verilmesini ve elektrik üretilmesini göstermektedir [5].



Şekil 5.1 Atık gazın uzaklaştırılma sistemi [10]

5.2 Sistem Araştırması ve Güç Analizi

Bu bölümde, atık çöplerdeki metan gazından yararlanarak, elektrik ve mümkün mertebede ısı geri kazanmaya çalışacağız. Çöp gazının toplanması ve elektrik enerjisi üretilmesi için 4 adet 1 MW gücünde gaz yakma motoru-jeneratör gurubu kurulmuştur.

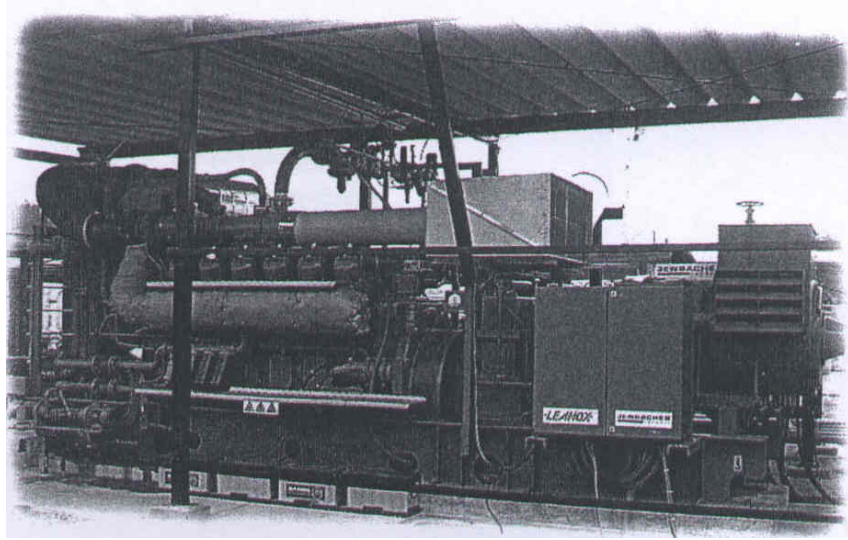
Eyüp ilçesi Kemberburgaz-Hasdal mevkiinde inşa edilmiş tesiste,

- 180 adet gaz kuyusu
- 15 adet gaz toplama kolektörü
- Gaz emme ünitesi
- Gaz soğutma ve filtre ünitesi
- Serbest yakma ünitesi
- 4 adet 1 MW gücünde gaz yakma motoru-jeneratör gurubu
- Kumanda ve kontrol ünitesi
- 3 adet 2.500 kVA'lık trafo bulunmaktadır. Burada kullanılan gaz motorunun

teknik verileri aşağıda belirtilmiştir.

- Tahrik ünitesi 20 silindirli, buji ateşlemeli, turboşarjlı, 1.500 devir/dakika, şaft gücü 1034 kW gaz motoru.
- Jeneratör senkron, trifaze, 400 V, 50 Hz

Şekil 5.2’de yukarıda belirtilen özelliklere uygun bir gaz motoru görülmektedir [5] .



Şekil 5.2 Gaz motoru [10]

5.3 Atık Isının Değerlendirilmesi

Atık ısının değerlendirilmesi ısı dönüşüm sistemleri ile ya enerji dönüşümü yapılarak yada direkt kurutmada kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Genelde kojenerasyon sistemlerinde maksimum kazancı elde etmek için mümkün olan en fazla ısı geri kazanılması sağlanabilmelidir. Böylece sadece ısıtma ya da proses buharı amaçlı sistemlerin ısı ihtiyacı azaltılabilir. Yararlı ısının %90'ından fazlası

geri kazanılabilir. Bunu sağlamak için birkaç ısı değiştiriciye ihtiyaç vardır. Yakıtın %50'si yüksek mertebede ısı olarak sıcak su formunda geri kazanılabilir. %10 veya daha fazlası ise 30-40 °C'de düşük dereceli ısı olarak geri kazanılabilir. Bu da tam kapasitede bir boylerin %75-80'i ile karşılaştırabilir.

Kaynak sıcaklıkları geri kazanılan ısının formunu sınırlandırır. Giren yakıtın yaklaşık %33'ü motor ceketlerinde düşük sıcaklıklı sıcak su olarak 70-85 °C civarında ya da 15 psi basıncında buhar olarak geri kazanılabilir. Egzost gazlarından 100 psi basıncında buhar geri kazanımı gerçekleşebilir, ancak ısı kazanımının verimi klasik düşük sıcaklıklı su kazanımına göre düşüktür ve ekipmanları daha pahalıdır.

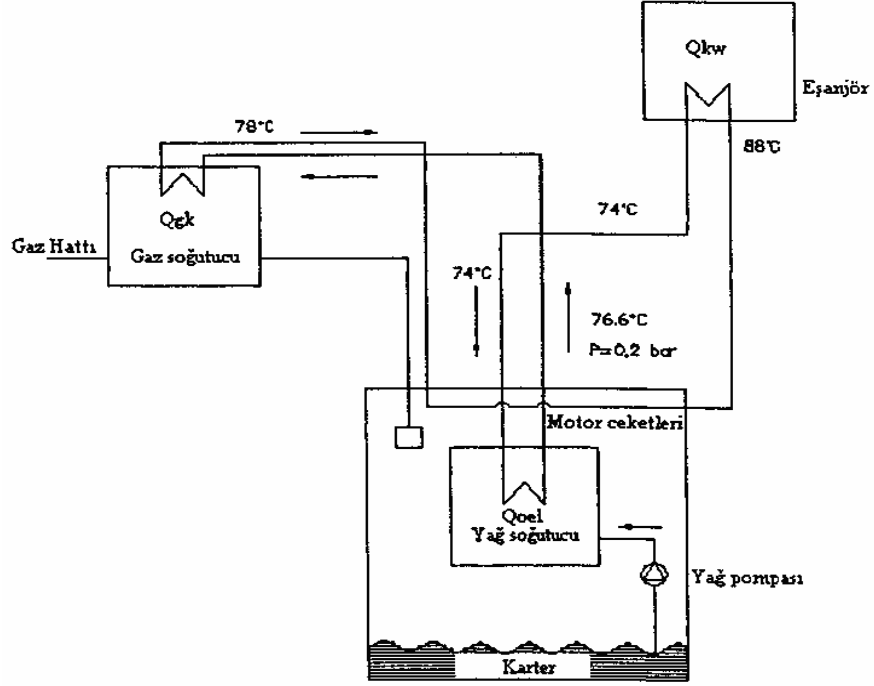
Kondens ısı kazanımıyla egzost gazlarının yoğuşma ısısı, 30-40 °C'de sıcak su olarak geri kazanılabilir. Isı değiştirici türleri aşağıdaki başlıklar altında belirtilebilmektedir.

- Su-Su Isı Değiştiricileri: %60'ın üzerinde yüksek mertebeli ısıyı motor soğutma ceketlerinden elde etmek mümkündür. Ancak basınç, korozyon ve termal şoktan dolayı bunu direkt olarak servis suyu kullanarak yapmak mümkün değildir. Bu yüzden ısı normalde su-su ısı değiştiricileriyle transfer edilir. En çok kullanılan tipi "shell and tube " ısı değiştiricisidir. Çoğu genelde uzundur ve bakım için rahat giriş sağlar.

- Gaz-Su Isı Değiştiricileri: Egzost gazlarındaki ısı, gaz-su ısı değiştiricilerinden geri kazanılır. Bu, servis suyu olarak kullanılabileceği gibi gerektiğinde yüksek sıcaklıklara da çıkabilir. Egzost ısı değiştirici, ısı ihtiyacının az olduğu yaz aylarında veya acil durumlarda gaz tarafından by-pass edilebilir.

- Kondens Isı Değiştiricileri: Kojenerasyon ünitelerindeki gaz-su ısı değiştiricileri egzost gazı sıcaklığını 650 °C den 120 °C' ye düşürürler. Bazı imalatçılar ilave kondens ısı değiştiricileri ile egzost gazları içinde su buharının yoğunlaştırarak daha fazla ısı önerirler. Böylece termal verim artar. Egzost gazının yoğuşması gaz-hava oranına bağlı olarak 55-60 °C'de gerçekleşir. Bu ısı değiştiricisi genelde 40 °C'nin altında soğuk su kaynağına direkt olarak bağlanır [9].

Kemberburgaz enerji geri kazanım tesisinde bulunan mevcut atık ısı değerlendirme sisteminin blok diyagramı Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Enerji geri kazanım tesisinde bulunan gaz motorunun prensip şeması [9]

Karterdeki yağ kapasitesi 370 L ve motor soğutma suyu 150 L kapasitelerindedir ve bunlar kapalı çevrimdedir. Landfill gaz kullanılan motorlarda komple yağ değişimi doğalgaz ile çalışanlara oranla daha fazladır, bunun sebebi landfill gazı içerisinde bulunan sülfür oranının doğalgazdan fazla olmasıdır [6].

Isının geri kazanım türleri aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir,

- Ortam ısıtma: Sıcak su, buhar, sıcak hava
- Kurutma prosesi: Sıcak su, buhar, sıcak hava veya gaz
- Kazan besisi suyu ön ısıtma: Kızgın su
- Yağ alma ve temizleme: Sıcak su
- Proses buharı sağlama: Boru testi, çamaşırhane vs.

- Kızgın buhar üretimi: Kombine çevrimli santral

Atık ısı geri kazanımı gaz motorlarında

- Gaz motorunun yağlama devresi
- Yanma sonucu oluşan egzost gazları ve şarj havası
- Silindir bloğu soğutma suyu devresi

Gaz türbinlerinde ise

- Türbin egzost çıkışına direkt olarak konulan bir ısı eşanjörü (atık ısı kazanı) aracılığı ile sağlanmaktadır.

Sıcak su ve buhar üreten sistemlerde ise atık gaz motorlarında yaklaşık % 70'i sıcak suya, %30'u buhara; gaz türbinlerinde yaklaşık % 45'i sıcak suya, % 55'i buhara dönüştürülebilmektedir.

Motorlu bir sistemde motor - jeneratör çekirdek ikilisi yakıt enerjisini mekanik ve dolayısıyla elektrik enerjisine dönüştürmekte, atık ısının kazanılması ve kullanılması ile ilgili ısı dönüştürücüleri, ısı deposu ve ısıtma sistemindeki kazandan oluşan bir tesiste elde edilebilecek sıcaklık seviyeleri incelendiğinde,

- Egzost gazının makineyi 400- 500 °C sıcaklıkta terk ettiği
- Çeşitli egzost kaskatları ile sıcaklık seviyesinin 200 °C sıcaklıktaki işlem buharına dönüştürülebildiği
- Eğer egzost gazı ısı dönüştürücüsünün sıcak sulu ısıtma çevrimine yönelik çalıştırılıyorsa, ısı dönüştürücüsünün su tarafının 90-130 °C arasında sıcaklık seviyesine getirilebildiği
- Kullanılabilir motor soğutma suyu sıcaklık seviyesinin, normal soğutulan motorlarda 75-90 °C, kızgın soğutulan motorlarda 120 °C olduğu
- Yağ soğutma ısı dönüştürücüleri ile su devresinde 60-75 °C lik sıcaklık elde edilebildiği görülecektir.

Motordaki bu çeşitli ısı kaynaklarından elde edilen ısılar, ancak bu kaynakla birbirine bağlayan faydalı bir ısıl işlem zinciri ile kullanılabilir hale gelmektedirler.

Eğer ısıtma sistemi için gerekli sıcaklık seviyesi, motorun soğutma çevrimi ile elde edilemiyorsa sisteme bağlanan bir kazan ile sıcaklık seviyesi daha yukarı çekilebilir. Ayrıca atık ısının kullanılmadığı durumlarda motorun çalışmasını kesintiye uğratmamak için acil soğutma ısı dönüştürücüleri veya soğutma kuleleri ile ısı dışarı atılmalıdır. Fazla ısının atılması yerine bunun bir ısı deposunda depolanması daha verimli olmakta, diğer taraftan bu yolla ısı talebinin de yaklaşık olarak sabitleşmesi sağlanmalıdır.

Kemerburgaz çöp arıtma tesisinde, üretilen elektrik satılmakta ve elde edilen atık ısı şu an sadece bu tesisin kış aylarında ısıtılması amacıyla kullanılıyor. Egzost gazı ısı ise değerlendirilmeden dışarı yani atmosfere bırakılmaktadır. Bu atık ısının değerlendirilebilmesi yoluna gidilmesi gerekmektedir [7]. Bunlar şu şekillerde değerlendirilebilir.

5.3.1 Atık Isının Bölge Isıtmasında Değerlendirilmesi

Bir bölge ısıtma sistemi; ısı üretim merkezi, dağıtım şebekesi ve kullanıcı bağlantılarından oluşur. Yerleşim birimi bir site olabileceği gibi, bir mahalle veya bir kent de olabilir.

Isı üretim merkezi, kazanlardan oluşan bir ısı santrali olabileceği gibi, bir birleşik ısı-güç santrali de olabilir. Santralde ısının dağıtımı için aracı akışkan işlevini gören sıcak su veya buhar üretilir. Günümüzde aracı akışkan olarak sıcak su kullanımı çok daha yaygındır. Santralde ayrıca aracı akışkanın şebekede dolaşımını sağlayan sirkülasyon pompaları bulunmaktadır.

Santralde üretilen sıcak su veya buhar bir boru şebekesinde sirküle edilerek ısı enerjisinin dağıtımı sağlanır. Suyun santralden çıkış sıcaklığı 90 °C ile 120 °C arasında olabilir. Şebekedeki sıcaklık düşümü ise 10 °C ile 30 °C arasındadır. Boru şebekesi kanallar içine yerleştirebileceği gibi, yer üstünde veya toprağa gömülü de olabilir. Günümüzde çelik bir koruyucu kılıf içinde yalıtılmış plastik veya çelik borular yaygın olarak kullanılmaktadır. Dağıtım sistemi genişleme elemanları,

vanalar, yardımcı pompalar, kullanıcı bağlantıları, şebeke ile konut arasında ısı enerjisi aktarımını sağlayan eşanjör ve konut içindeki ısıtma tesisatından oluşur.

Landfill gazının yaklaşık kalorifik değeri $4,6 \text{ kW/m}^3$ tür. Bu tesiste motora yaklaşık olarak $500 \text{ m}^3/\text{h}$ gaz verilmektedir. Toplam 4 adet gaz motoru mevcuttur ve bunlarda üretilen ikincil enerji kapasiteleri değeri toplam yaklaşık 4 MW elektriksel ve 5 MW'lık ısı güce eşittir. Bu ısı kapasite atık ısı kazanında sıcak su veya buhara dönüştürülerek yakın çevrede bulunan yerleşim birimlerinin ısıtılmasında kullanılabilir.

Kemerburgaz bir çöp atık tesisi olduğu için alana yakın bölgelerde yerleşim birimi bulunmamaktadır. En yakın değerlendirilebilir yerleşim birimi ise, buraya yaklaşık 2 km mesafedeki Su tesisidir. Su tesisine proseste kullanılmak üzere gereken ısı buradan sağlanabilir. Yine buraya 5 km mesafedeki askeri kışlının ısıtılmasında kullanılabilir. Buralara buhar veya sıcak suyun taşınması işlemi ön izoleli borularla fazla ısı kaybı olmaksızın yapılabilir [9].

5.3.2 Enerji Geri Kazanımının İncelenmesi

Bu bölümde yukarıda belirtilen veriler ışığında sistemin enerji dengesi çıkartılarak, üretilen enerji hesabı ve bu hesaptan yararlanarak geri ödeme süresini hesaplayacağız

Gaz Motorlu Enerji Geri Kazanım Tesisinin Maliyeti = **9.000.000** YTL (4 gaz motoru)

Gaz Motoruna Giren Gazın Kalorifik Değeri

$$4,6 \text{ kWh/m}^3 = 3.956,46 \text{ kcal/m}^3 \text{ (1 gaz motoru)}$$

Gaz Motoruna Giren Gazın Debisi , $500 \text{ m}^3/\text{h}$

Gaz Motoruna Giren Debinin Kalorifik Değeri

$$4,6 \times 500 = 2.300 \text{ kWh} = 1.978.230 \text{ kcal/h}$$

Bir gaz motoruna optimal durumda 1.978.230 kcal/h enerji girmektedir. Bu enerji, gaz üniform akış halindeyken gaz motoruna girmektedir.

Gaz Motoruna Şebekeden Sağlanan Tahrik Gücü, 18 kWh = 15.482 kcal/h

Gaz motoruna toplam 1.978.230 kcal/h + 15.482 kcal/h = 1.993.711,8 kcal/h enerji girmektedir. Şimdi de sistemden sağlanan elektrik ve ısı güçlerine bakalım.

Gaz Motorundan Sağlanan Elektrik Gücü 1.034 kwh = 889.343 kcal/h

Gaz Motorundan Sağlanan Isı Gücü 1.284 kwh = 1.104.368 kcal/h

Şimdi de sistemden çıkan bu toplam gücün maliyetine bakalım.

Elektrik piyasası verilerine göre 1 kWh = 0,125 YTL

Üretilen enerji 2.300 kWh ve bu üretilen elektrik enerjisinin yanında ısı enerjisini de kullandığımız zaman;

$$2.300 \text{ kWh} = 2.300 \times 0,125 = 287,5 \text{ YTL}$$

$$287,5 \times 24 \times 365 = 2.518.500 \text{ YTL/yıl}$$

Bir gaz motorundan alınan elektrik ve ısı enerjileri sonucunda yıllık enerji kazanım değeri **2.518.500 YTL** olmaktadır. 4 gaz motoru için hesaplarsak,

$$4 \times 2.518.500 = \mathbf{10.074.000 \text{ YTL/yıl}}$$
 olmaktadır.

5.3.2.1 Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresini iki durumda hesaplayacağız. Birinci durumda üretilen ısı ve elektriğin geri kazanım olarak kullanılması, ikinci durumda üretilen elektriğin geri kazanımda kullanılması fakat açığa çıkan ısıнын geri kazanımda kullanılmaması.

Sistemin işletilmesi esnasında,

Bakım Giderleri = 36.000 YTL/yıl

Toplam Personel Giderleri = 192.000 YTL/yıl

Toplam İşletme Giderleri = Bakım Giderleri+Toplam Personel Giderleri

$$= 36.000 + 192.000 = \mathbf{228.000 \text{ YTL/yıl}}$$

Toplam Enerji Geri Kazanım Değeri = Üretilen Enerji Değeri-İşletme Maliyeti

Toplam Enerji Geri Kazanım Değeri =10.074.000 -228.000

$$= \mathbf{9.846.000 \text{ YTL/yıl}}$$

Geri Ödeme Süresi = Sistemin Kuruluş Maliyeti / Toplam Enerji Geri Kazanım Değeri

$$9.000.000 \text{ YTL} / 9.846.000 \text{ YTL/yıl} = \mathbf{0,91 \text{ yıl} = 332 \text{ gün}}$$
 olmaktadır.

Eğer sistemden üretilen ısıyı geri kazanamazsak, sadece elektrik enerjisini geri kazanmış oluruz. Geri ödeme süresi hesabını da sadece üretilen elektrik enerjisine göre yapmalıyız.

Sistemden üretilen elektrik üretimi 1034 kWh idi.

$$1034 \times 0,125 \times 4 \times 24 \times 365 = 4.528.920 \text{ YTL} / \text{yıl}$$
 olmaktadır.

Toplam Enerji Geri Kazanım Değeri

$$4.528.920 - 228.000 = \mathbf{4.309.920 \text{ YTL/yıl}}$$

Geri Ödeme Süresi = Sistemin Kuruluş Maliyeti / Toplam Enerji Geri Kazanım Değeri

$$= 9.000.000 \text{ YTL} / 4.309.920 \text{ YTL/yıl} = \mathbf{2 \text{ yıl}}$$
 olmaktadır.

5.3.3 Atık Isının Sera Uygulamalarında Değerlendirilmesi

Gaz motorlu kojenerasyon tesisleri ile elektrik üretiminin yanı sıra, düşük ısı devresi olan gövde ısıtmalarından yararlanılarak sera ısıtılması yapılmakta, aynı zamanda motorların egzost gazları katalizör üzerinden geçirilerek bitkilerin fotosentez sırasında tükettiği CO₂ üretilmekte ve böylelikle seranın üretiminin artırılması sağlanmaktadır. Bu tesislerde üç çeşit ürün açığa çıkmaktadır. Bunlar; elektrik, ısı ve atık CO₂ gazıdır. Elektrik seranın aydınlatılmasında, üretilen ısı enerjisi seranın ısıtılmasında, CO₂ ise bitkiler için besin kaynağı olarak kullanılmaktadır. Üretilen elektrik enerjisinin ihtiyaç fazlalığı ise satılabilmektedir [9].

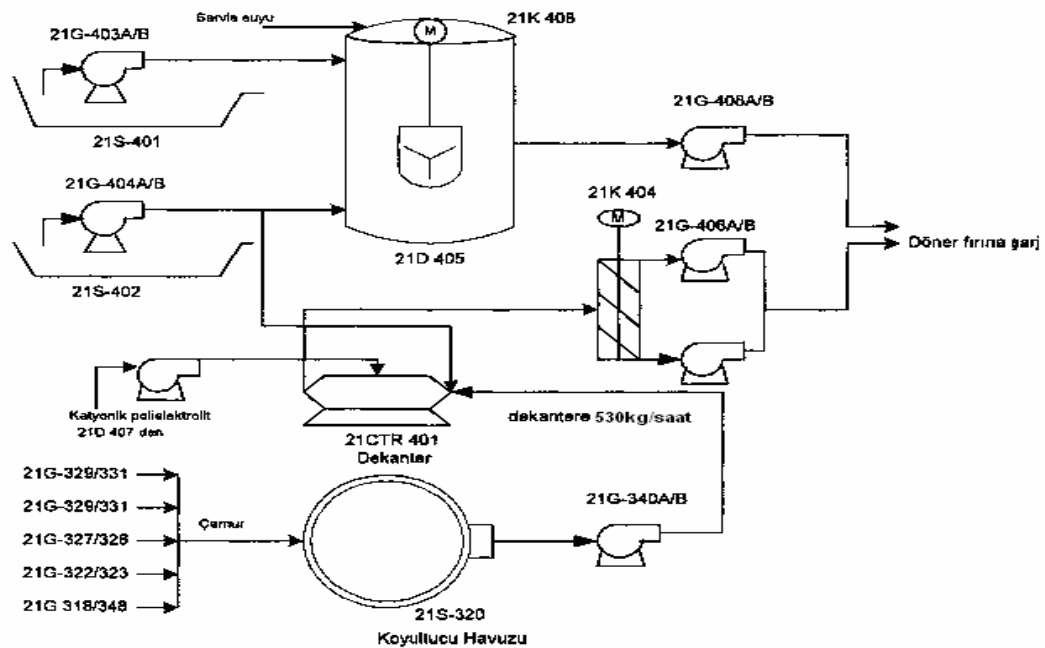
6 ATIK ÇAMURDAN YAKMA SİSTEMİ İLE ENERJİ GERİ KAZANIMI

Atık olarak çamur atan sistemlerde yakma sistemi, atık su arıtma ünitesinden, proses ünitelerinden, ham petrol ve ürün tanklarından kaynaklanan çamurlar ile proses çalıştığı sürece üretilecek çamurların yakılarak yok edilmesi amacıyla dizayn edilmiştir [11].

Ünite, çamur toplama ve şarj sistemi, yakma sistemi ve baca gazı arıtma olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Bu bölümde atık çamuru uzaklaştırma sistemi incelenecek ve çamurun yakma sisteminde yakılması sonucu atılan enerjinin geri kazanılması incelenmiştir.

6.1 Çamur Toplama ve Şarj Sistemi

Çamur yakma sistemi farklı kaynaklardan gelen çamuru yakacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu kaynaklar Şekil 6.1’de görülmektedir.



6.1.1 Kek Çamur

Kek çamur atık su arıtım sonucu ortaya çıkmakta olup, mevcut 21S-320 havuzunda depolanmakta ve fazla miktarda su içerdiğinden döner fırına verilmeden önce 21G-340A/B pompalarından biri ile (diğer pompa yedekte kalır) susuzlaştırma amacıyla dekantere (susuzlaştırıcıya) basılmaktadır. Çamur içindeki su, konsantrasyon yaklaşık %20 olacak şekilde dekanterde (21CTR-401) ayrıştırılır; su rogara verilirken, çamur 21K-404 konveyöründen geçerek 21G-406A/B pompalarıyla döner fırına pompalanır.

Dekantere kek çamur yerine sürekli olmayan çamurda gönderilebilmektedir. Su ayrışmasını maksimuma çıkarmak için dekantere kimyasal olarak polielektrolit enjeksiyonu yapılmaktadır. Tankta homojen karışım elde edebilmek amacıyla karıştırıcı (21K-407) bulunmaktadır. Seyreltik solisyon dozaj pompası ile dekantere enjekte edilir.

6.1.2 Ham Petrol Tank Çamurları

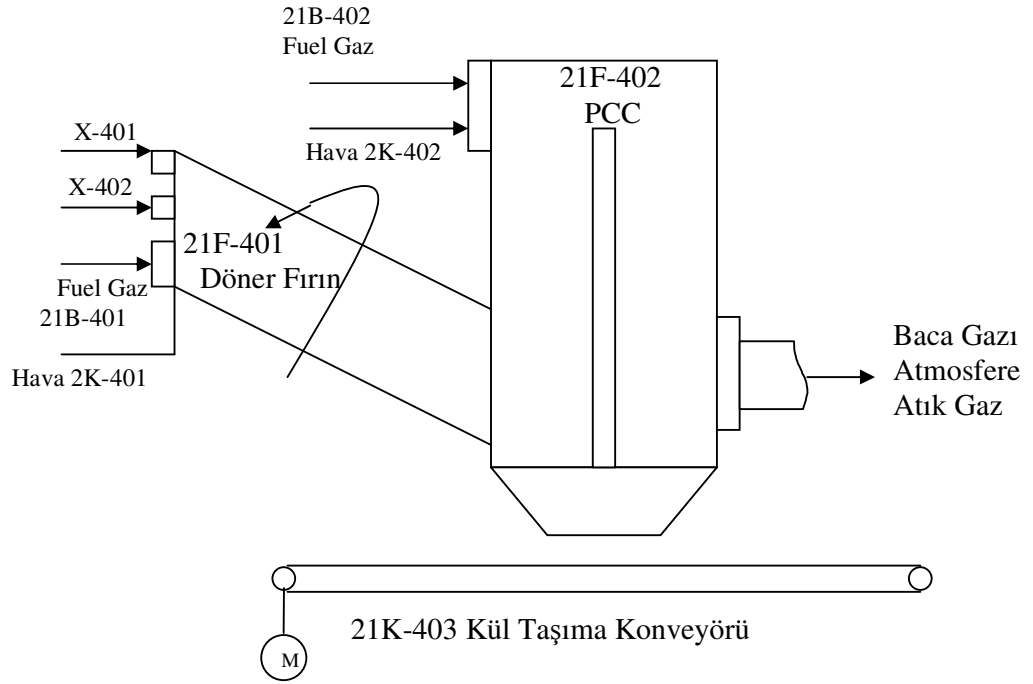
21S-401 üçgen havuzda toplanan ham petrol tank çamurları 21G-403A/B dikey pompaları ile biriktirme tankı 21D-405'e gönderilir.

6.1.3 Sürekli Olmayan Çamur

Değişik kaynaklardan çamurlar 21S-402 havuzunda toplanmakta ve 21G-404A/B pompaları ile 21D-405 biriktirme tankına gönderilmektedir. Sürekli olmayan ve ham petrol çamurları 21D-405 biriktirme tankında karıştırılır. Tankta karıştırma için 21K-408 mikseri ve uzun duruşlarda çamurun katılaşmasını engellemek için 350 kPa basıncında buhar serpantini mevcuttur. Tankta biriken çamur yatay 21G-408A/B pompaları ile döner fırına verilir.

6.2 Yakma Sistemi

Bu bölümdeki ana ekipmanlar; döner fırın önünde bulunan yakma ekipmanları, Döner fırın (21F-401), PCC (21F-402), birincil hava fanı (21K-401) ikincil hava fanı (21K-402) ve kül alma konveyörü (21K-403)'den oluşmaktadır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Yakma sistemi

6.2.1 Yakma Ekipmanları

21G-408'den gelen çamur 21X-401 atomizörüne ve 21G-406 pompalarından gelen kek çamur 21X-402 atomizöründe atomize edilmekte olup döner fırın önünde bulunmaktadır.

Atomize buhar olarak 1.050 MPa basıncında buhar kullanılmakta olup basınç operasyon değerine orifis ile düşürülmektedir. Çamurun ısı değeri düşük olması ve fazla miktarda su ihtiva etmesi nedeniyle 800 °C ısı elde edebilmek için döner

fırına ilave ısı verilmektedir. Bunun için 21B-401 yakıcısı döner fırın önüne monte edilmiştir. 21B-401; yanma havası olarak servis havasının kullanıldığı pilot tip yakıcıdır. Çamur ve yakıcılar için gerekli yanma havası birincil hava fanı 21K-401 ile sağlanmaktadır.

6.2.2 Döner Fırın

Döner fırının fonksiyonu çamur içindeki tüm organik maddelerin yakılmasıdır. Döner fırının ön ve arka kısımları sabitleştirilmiş olup bu kısımların fonksiyonları sırası ile yakma ekipmanlarının tutturulması ve katı atıklar ile baca gazının tahliyesidir. Döner fırın katı atıkların hareket etmesi için hafif eğimli yerleştirilmiştir. Döner fırın yanma odasından ibarettir. Döner fırın hızı ayarlanabilir bir elektrik motoru ile düşük hızda döndürülmektedir. Döner fırının sızdırmazlığı hava fanı ile hava verilerek sağlanmaktadır.

Döner fırın içindeki sıcaklık (800 °C) fuel gaz akımına müdahale edilerek otomatik olarak sağlanmaktadır.

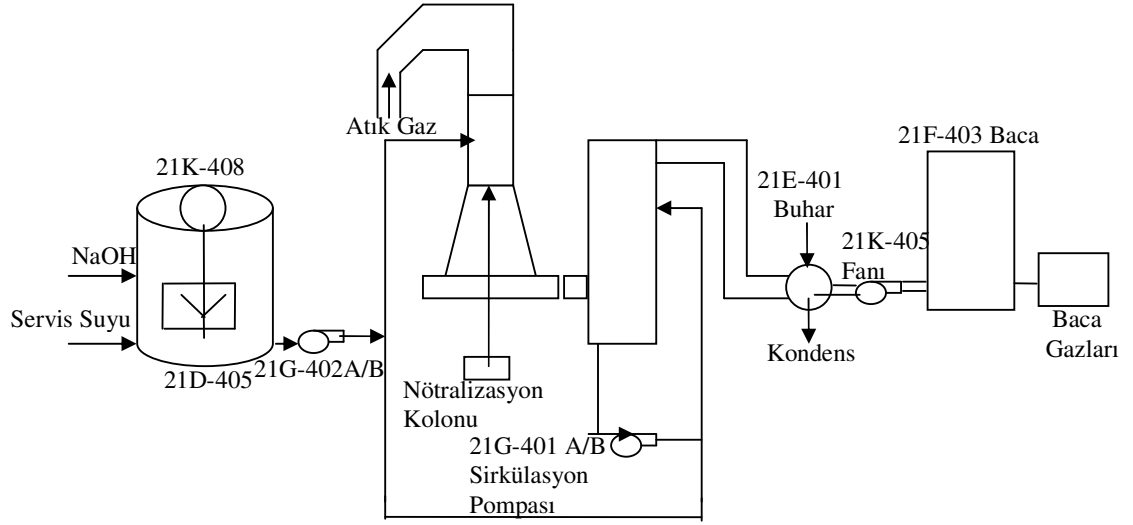
6.2.3 İkincil Yanma Odası (PCC)

Döner fırından çıkan gazlar PCC'ye geçer. PCC'de sıcaklık, döner fırında tam olarak yakılamamış organik maddelerin tamamen yakılabilmesi için ikinci bir pilot tip yakıcıyla 1200 °C'ye çıkarılır. PCC'de sıcaklık kontrolü otomatik olarak yapılmaktadır. PCC refrakter tuğlalarla kaplanmış olup baca gazını 2 saniye bekletecek şekilde dizayn edilmiştir.

Pilot tip yakıcı için yanma havası ikincil hava fanı 21K-402'den sağlanmaktadır. PCC altında döner fırından gelen katı atıkların toplanacağı kolektör bulunmaktadır. Bu atıklar tesis edilen kül toplama konveyörü ile dışarı alınmaktadır.

6.3 Baca Gazı Arıtma Bölümü

Bu bölüm; soğutma ve nötralizasyon kolonu, kostik depolama, çözelti hazırlama, baca gazı ısıtma, baca gazı fanı ve bacadan oluşmaktadır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Soğutma ve nötralizasyon sistemi [11]

6.3.1 Soğutma ve Nötralizasyon Kolonu

Bu kolonların fonksiyonu baca gazının atmosfere verilmeden zararlı (kirletici) maddelerden (toz, HCl vs. maddeler) arındırılmasıdır. Yakma kısmından gelen baca gazı birleşik soğutma ve nötralizasyon kolonuna gönderilir. Soğutma ve doyurma önce birinci kısımda servis suyu ile yapılır ve nötralizasyon bölümünün altından alınarak sirküle edilen suyla tamamlanır. Soğutma kısmından çıkan baca gazı nötralizasyon bölümüne girer, burada baca gazı içindeki asitlerin nötralize edilmesi amacı ile kostikli su sirkülasyonu yapılır.

Nötralizasyon kolonunun altından alınan kostikli su 21G-401A/B (biri yedek) pompaları ile soğutma ve nötralizasyon kolonlarına verilerek sirküle edilir.

6.3.2 Baca Gazı Isıtma ve Atmosfere Deşarj

Baca çıkışında damlacıklar oluşmasını ve beyaz buhar tabakası görüntüsünü engellemek amacı ile nötralizasyon kolonundan çıkan temiz gaz 21E-401 eşanjöründe 350 kPa basıncındaki buhar ile 120 °Cye kadar ısıtılır. Isıtılan baca gazı

21K-405 fanı ile nihai baca 21F-403'e gönderilmektedir. 21K-405 fanının amacı, öncesinde vakum sağlanarak atmosfere baca gazı kaçaklarının engellenmesidir [12] .

6.4 Tesisin Kazanılabilir Enerji Potansiyelinin Hesabı

Tesiste kazanılabilir enerji potansiyeli PCC çıkış gazlarının 1100 ila 1200 °C sıcaklıktaki yanma ısısıdır. PCC çıkışına tesis edilecek bir "Isı Geri Kazanım" ünitesiyle; çıkış gazlarının sıcaklığını 200 °C'ye kadar düşürmek mümkündür.

Tablo 6.1'de verilen giriş değerleri kullanılarak döner fırın için kütle ve enerji dengesi kurulmuş ve sonuçlar Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Tesisin dizaynına esas giriş debileri [14]

Kaynak adı	Set değeri
21S-320akımı	530 kg/h
Dekanter akımı	140 kg/h
21S-402 akımı	670 kg/h
21S-401 akımı	165 kg/h
21D-405 akımı	935 kg/h
21B-401'e hava akımı	1.300 kg/h
Döner fırına fuel gaz akımı	300 kg/h
D. fırına hava akımı	2.800 kg/h
D. fırın çıkış sıcaklığı	800 °C
21B-402'ye hava akımı	11.000 kg/h
PCC'ye fuel gaz akımı	600 kg/h
PCC çıkış sıcaklığı	1.200 °C
Isıtılan baca gazı sıcaklığı	120 °C

Tablo 6.2 Döner fırın kütle ve enerji dengesi [14]

Giriş komponentleri	Giriş Kütleli Debileri (kg/h)	Sıcaklık (°C)	Enerji (kcal/h)
Çamur (Dekanterden)	28	25	602
Çamur (2 1D-405 den)	319	25	1.229.315
Su (çamurdaki)	728	25	0
Hava	4.100	25	0
Fuel gaz	300	25	2.400.000
TOPLAM	5.475	25	3.629.917
Çıkış komponentleri	Çıkış Kütleli Debileri (kg/h)	Sıcaklık (°C)	Enerji (kcal/h)
Baca Gazı	4.747	800	2.936.132
Kül (ihmal)	25	800	0
Su buharı	728	800	253.785
Suyun buharlaşma ısısı	728	800	440.000
TOPLAM	5.475	800	3.629.917

Döner fırın çıkış değerleri de kullanılarak İkincil Yanma Odası kütle ve enerji dengesi kurulmuş sonuçlar Tablo 6.3’de verilmiştir.

Tablo 6.3 İkincil yanma odası kütle ve enerji dengesi [14]

Giriş komponentleri	Giriş Kütleli Debileri (kg/h)	Sıcaklık (°C)	Enerji (kcal/h)
Baca gazı	5.475	800	3.629.917
Fuel gaz	700	25	5.600.000
Hava	13.500	25	0
TOPLAM	19.675		9.229.917
Çıkış komponentleri	Çıkış Kütleli Debileri (kg/h)	Sıcaklık (°C)	Enerji (kcal/h)
Baca gazı	6.175	1.100	5.166.417
Havanın ısıtılması	13.500	1.100	4.063.500
TOPLAM	19.675	1.100	9.229.917

PCC çıkış değerleri kullanılarak ısı geri kazanım ünitesinde kazanılabilecek enerji ve üretililecek buhar miktarı hesaplanarak sonuçlar Tablo 6.4’de verilmiştir.

Tablo 6.4 Isı Geri kazanım ünitesi kütle ve enerji dengesi [14]

Giriş-Çıkış komponentleri	Giriş-Çıkış Kütleli Debileri (kg/h)	Sıcaklık (°C)	Enerji (kcal/h)
Baca gazı giriş	19.675	1.100	9.229.917
Baca gazı çıkış	19.675	200	1.502.545
GERİ KAZANILABİLECEK ISI			7.727.372

Kurulacak ısı geri kazanım sisteminin verimini %80 (üretici firmalardan sağlanan ortalama değer), belirtilen özellikteki buharı elde edebilmek için gerekli entalpi farkını (Δh) 702,9 kcal/kg olarak sistemde üretilebilecek buhar miktarı

$$m_b = \frac{Q_{\text{geri}} \times \eta}{\Delta h} \quad (6.1)$$

$$m_b = \frac{7.727.372 \times 0,80}{702,9}$$

$$m_b = 8.795 \text{ kg/saat} \quad [14]$$

6.4.1 Buharın mali Karşılığı:

Rafineride üretilen orta basınçlı buharın (1,05 MPa basınç ve 523 K sıcaklıktaki) maliyeti yaklaşık 18 \$/ton olarak hesap edilmiştir. Çamur Yakma Tesisi'nin yılda ortalama 270 gün çalıştırıldığını varsayarak,

Üretilen buharın mali karşılığı = $270 \times 24 \times 8795 \times 18 = 1.025.848$ \$ olarak hesaplanır.

6.4.2 Gerekli Yatırım Bedeli ve Geri Ödeme Süresinin Hesabı

Tesiste yapılacak en önemli yatırım buhar üretimi için kurulacak ısı geri kazanım ünitesidir. Bu ünitenin önemli ekipmanları ise ekonomizer, buhar ve kızgın buhar üretim sistemi ve pompalardan oluşmaktadır. Diğer yatırımlar ise kontrol sisteminde yapılacak modifikasyonlardan oluşmaktadır. Yapılan hesaplamalarda; ısı geri kazanım sisteminin ısı transferi yüzey alanı yaklaşık 400 m² bulunmuştur. Tüm

sistem için gerekli toplam yatırım miktarı; üretici firmalardan 425.000 \$ olarak alınmıştır.

Geri ödeme süresi ise yatırım miktarının, üretilecek buharın maliyetine oranıdır.

Geri ödeme süresi $425.000/1.025.848 = 0,41$ yıl yani yaklaşık 5 aydır [13] .

7 ENDÜSTRİDE ENERJİ GERİ KAZANIMI

Ülkemiz, gelişmekte olan ve nüfusu artan bir ülke olması bakımından enerji tüketimi hızla artmaktadır. Üretilen enerjinin yaklaşık üçte biri endüstriyel işletmelerde tüketilmektedir. Bu enerjinin önemli bir miktarı bazı enerji tasarruf önlemleriyle geri kazanılabilir. Bu bölümde bahsedilen enerji tasarruf önlemlerini incelemeye ve bu önlemler neticesinde geri kazanılan enerjinin mali karşılığı ve geri ödeme sürelerini hesaplamaya çalışacağız.

7.1 Yakma Havasının Isıtılması

Tesislerde atık ısıların değerlendirilebileceği önemli bir alan, tesiste bulunan kazan veya fırınlarda kullanılan yakma havasının ısıtılarak kullanılmasıdır.

Eğer yakıtların ısı değerleri kendi kendine yanmayı sağlayacak düzeyde ve yeterlilik de değilse o zaman ilave yakıt kullanmak gerekmektedir. Bu ise yanma havasının ön ısıtılması veya yakıtın ilave edilmesi ile mümkündür.

Yanma havasının her 28 °C sıcaklık artışında yanma verimi de yaklaşık olarak %1 oranında artmaktadır. Akışkan yatakta yanmanın olması için 750-950 °C 'ye ihtiyaç vardır. Düşük sıcaklıklarda yanma iyi olmamakta ve CO miktarı artmaktadır. Yüksek sıcaklıklar da ise küllerin erimesi ve kazanı sarması söz konusudur [15].

Kazan yakma havasının ön ısıtılması sonucunda sağlanacak enerji tasarrufu miktarı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir [16].

$$\text{Yıllık Yakıt Tasarrufu} = \text{Yıllık Yakıt Tüketimi} \times \left(1 - \frac{h_m}{h_n} \right) \quad (7.1)$$

$$\text{Hedeflenen Kazan Verimi} = \eta_m + \text{Tahmin Edilen Artış} \quad (7.2)$$

η_m = Mevcut Kazan Verimi

η_n = Hedeflenen Kazan Verimi

$$\text{Yıllık Tasarruf Maliyeti} = \text{Yıllık Yakıt Tasarrufu} \times \text{Birim Yakıt Bedeli} \quad (7.3)$$

7.1.1 Isı Kazanlarında Enerji Geri Kazanımı Çalışması

Üretim yapan bir işletmede iki adet brülörlü kazan kullanılmaktadır. Bu kazanlardan çıkan baca gazlarının sıcaklığı 245-250 °C'dir. Kazanlarda yakıt olarak fuel oil 6 kullanılmaktadır. Fuel oil'in birim fiyatı 0,76 \$/kg, yılda kullanılan yakıt miktarı ise 2.169.715 kg'dır. Kazanların yanma verimi yapılan gaz analizleri sonucu %86 bulunmuştur. Bu kazanlarda kullanılan yanma havasının baca gazıyla ısıtılması durumunda elde edilecek enerji geri kazanımının mali tasarrufu, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresini hesaplayalım.

Baca gazları ile ısıtılmış sıcak hava brülör hava girişine bir hava kanalı ile taşınabilir. Baca çıkış gazını yakma havasının ısıtılmasından da kullanılması durumunda, yanma havası sıcaklığı rahatlıkla 55-60 °C yükseltilebilir. Kazan yakma havasının 56 °C yükseltildiği kabulüyle verimde %2'lik artış sağlanabilir. Basit bir hava kanalı yardımı ile baca cidarında ısınmış olan havanın brülör hava girişine verilmesi ile yakma havası sıcaklığı 56 °C yükseltilecektir.

Kazanların yanma verimi, cidar ve blöf kayıpları için %3-4 ilave kayıp olduğu düşünülürse her iki kazan için ortalama verim $\%(86-4) = \%82$ alınabilir.

Hedeflene kazan verimi (7.2) eşitliğinden hesaplanabilir.

$$\text{Hedeflenen Kazan Verimi} = \%82 + \%2 = \%84$$

Yıllık yakıt tasarrufu ve bunun mali karşılığı (7.1) ve (7.3)'teki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir.

$$\text{Yıllık Yakıt Tasarrufu} = 2.169.715 \text{ kg/yıl} \times \left(1 - \frac{0,82}{0,84} \right) = 51.660 \text{ kg/yıl}$$

$$= 490,8 \text{ Gcal/yıl}$$

Buna göre yılda 490,8 Gcal/yıl yakıt enerjisi geri kazanılmış olur.

$$\text{Yıllık Tasarruf Maliyeti} = 51.660 \text{ kg/yıl} \times 0,76 \text{ $/kg}$$

$$= 39.262 \text{ $/yıl olarak hesaplanır.}$$

7.1.1.1 Gerçekleştirme Maliyeti

Kazanların etrafına yapılacak hava kanalı ile bu kanaldan brülör emişine kadar döşenecek hava kanalı ve işçilik için tahmini değerler Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1 Yapılacak yatırımın metrajı [15]

Miktar	Birim	İşin Niteliği	Birim Maliyet (\$)	Toplam Maliyet(\$)
29	m	200 mm hava kanalı	20	580
101	m	500 mm hava kanalı	20	2.020
96	saat	İşçilik	40	3.840
TOPLAM				6.440
TOPLAM (2 KAZAN İÇİN)				12.880

7.1.1.2 Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi; gerçekleştirme maliyetinin hesaplanmış olan yıllık tasarruf miktarına bölünmesi ile hesaplanabilir.

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \text{Gerçekleştirme Maliyeti} / \text{Yıllık Tasarruf Miktarı} \quad (7.4)$$

$$= 12.880 \$ / 39.262 \$/\text{yıl} = 0,3 \text{ yıl (4 ay)}$$

7.2 Atık Akışkandan Isı İle Enerji Geri Kazanımı

Atık akışkandan ısı enerjisi ile enerji geri kazanımının en yoğun olduğu sektör tekstil sektörüdür. Bu sektörde, en yoğun enerjinin olduğu departman ıslak prosesleme kısmıdır. Islak prosesleme kısmında; boyama, ağartma, kimyasal

muamele, ve yıkama işlemleri bulunmaktadır. 70 °C'deki bir akışkandan ısı geri kazanımı enerji tasarrufunda uygulanan bir metottur.

Sudan suya ısı eşanjörleri, sıcaklıkları 40 °C ile 100 °C arasında bulunan sıcak akışkanlardan ısı geri kazanılmasında etkilidirler. Sudan suya ısı geri kazanım sistemlerinin pek çoğu gelen soğuk suyun ön ısıtılması için geri kazanılmış ısıyı kullanır. İhtiyaç duyulan proses sıcaklığı ilave buhar veya gaz ısıtması ile sağlanır. Böylece sağlanan enerji tasarrufu direkt olarak buhar veya gaz tüketimindeki azalmaya karşılık gelir. Sistemin ilk yatırım maliyeti yüksek olduğu halde sistemin avantajları daha fazla ve mali risk minimumdur [16] .

Böyle bir sistemin tesisine ilişkin eşitlikler,

$$\text{Atık Su Debisi} = \text{Kullanılan Su Miktarı} / \text{Toplam Süre} \quad (7.5)$$

$$\text{Geri Kazanılan Atık Isı} = \text{Atık Su Debisi} \times (\text{Çıkış Sıcaklığı} - \text{Giriş Sıcaklığı}) \quad (7.6)$$

$$\text{Geri Kazanılan Yakıt Miktarı} = \frac{Q_{\text{geri}}}{C_{\text{fuel oil}} \times \eta_m} \times Y_{\text{ÇS}} \times k \quad (7.7)$$

$$\text{Tasarruf Edilen Yakıt Bedeli} = \text{Geri Kazanılan Yakıt Miktarı} \times \text{Yakıt Birim Fiyatı} \quad (7.8)$$

$$\text{Kullanılan Su Miktarı} = \text{Toplam Yıkama Makine Kapasitesi} \times \text{Su Kullanma Oranı} \times \text{Su Değiştirme Adedi} \quad (7.9)$$

7.2.1 Yıkama Makinelerinde Enerji Geri Kazanımı Çalışması

Bir tekstil fabrikasında yapılan enerji etüt çalışmalarında, boyahanelerde bulunan yıkama makineleri yaklaşık 20 °C'deki şebeke suyunu, bünyelerinde bulunan buhar eşanjörleri ile ısıtarak kullandığı tespit edilmiştir. Kullanma sıcaklığı iş programına göre 95 °C ile 20 °C arasında değişmekte ve makine içindeki su 10-12 defa dış ortamdan alınarak yenilenmektedir. Atık sular bir kanal yardımı ile atı su deposunda depolanmakta ve mevcut bir arıtma tesisine gönderilmektedir. Bu suların proseste tekrar kullanılması ergonomik olduğundan, içerdikleri büyük miktarda ısı ile

beraber atılmaktadır. Boyahanelerde bulunan yıkama makinelerine ait doneler ve maliyet hesapları için gerekli bütün parametreler yetkililerden alınmış ve Tablo 7.2’de verilmiştir. Atık ısının geri kazanılması durumunda yapılacak enerji ve mali tasarruflar, yatırım miktarı ve yatırımın geri ödeme süresini hesaplayalım.

Tablo 7.2 Hesap parametreleri [15]

PARAMETRELER		
Soğuk su giriş sıcaklığı	°C	20
Ortalama atık su sıcaklığı	°C	70
Toplam yıkama makinesi kapasitesi	kg	4.175
Su kullanma oranı	kg su / kg ürün	10
Mevcut kazan verimi		0,82
Fuel oil özgül ısısı	kcal/kg	9.500
Fuel oil birim fiyatı	\$/kg	0,76
Yıllık çalışma saati	saat	7.200
Kapasite kullanma katsayısı (k)		0,9

Kapasite Kullanma Oranı : Yıkama makinelerinde yıkama yapılan sürenin, fabrika çalışma süresine oranı

Yapılacak yatırım ile atık ısının büyük bir bölümü eşanjör vasıtasıyla geri kazanılarak yıkama makinelerine giren su ısıtılabilir. Böylece makinelerin buhar sarfiyatı azaldığı gibi yıkama makinelerinin üretim kapasitesinde, yeni suyu ısıtmak için süre düşeceğinden artış olacaktır.

Bu değerleri kullanarak geri kazanılacak ısı miktarı hesaplanabilir. Tablo 7.3’de verilen örnek bir yıkama makinesi iş programı hesaplamalarda baz alınmıştır. Yıkama makinelerinden her su değişiminde atılan su miktarının eşit olduğu kabul edilerek, hesaplarda ortalama atık su sıcaklığı olarak 70 °C alınmıştır.

Tablo 7.3 Yıkama makinesi iş programı [15]

Sıra	İşlem	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)
1	Kasar suyu	95	60
2	Tasarlı durulama	20	5
3	Sıcak yıkama	90	10
4	Nötr	50	20
5	Boya suyu	60	120
6	Tasarlı durulama	20	5
7	Nötr	50	20
8	Sabunlu Yıkama	95	10
9	Sıcak yıkama	90	10
10	Sıcak yıkama	80	10
11	Tasarlı durulama	20	5
12	Apres	50	20
Yükleme bekleme boşaltma ve bekleme süresi			360
Toplam süre			655
Ortalama sıcaklık		73	
Su değiştirme adedi		9	

Bir ürünün makinada işlem gördüğü toplam süre 655 dakika olduğu kabul edilerek kullanılan su miktarı (7.9)'daki eşitlikten hesaplanabilir.

$$= 4.175 \text{ kg-ürün} \times 10 \text{ kg-su/kg-ürün} \times 9 \text{ adet}$$

$$= 375.750 \text{ kg}$$

Atık su debisi ise (7.5)'deki eşitlikten,

$$= 375.750 \text{ kg/655 dakika} \times 60 \text{ dakika/saat}$$

$$= 34.420 \text{ kg/saat}$$

Eşanjör hesabı için oluşturulan parametreler Tablo 7.4 'de verilmiştir.

Tablo 7.4 Eşanjör parametreleri [15]

	Sıcak Akışkan	Soğuk Akışkan
Akışkan	Atık Su	Su
Debi kg/h	34.420	34.420
Giriş Sıcaklığı °C	70	20
Çıkış Sıcaklığı °C	39	50
Sıcaklık Farkı °C	31	30
Isı Miktarı kcal/h	1.067.015*	1.032.595

*Eşanjör etkinliği %97 alınmıştır.

Geri Kazanılan Atık Isı, 7.6'daki eşitlikten

$$= 34.420 \text{ kg/h} \times (50 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) = \mathbf{1.032.595 \text{ kcal/h}}$$

Geri Kazanılan Yakıt Miktarı, 7.7'deki eşitlikten

$$= \frac{1.032.595 \text{ kcal/h}}{9.500 \text{ kcal/kg} \times 0,82} \times 7.200 \times 0,9 = \mathbf{858.950 \text{ kg/yıl}}$$

Tasarruf Edilen Yakıt Bedeli, 7.8'deki eşitlikten

$$= 858.950 \text{ kg/yıl} \times 0,76 \text{ \$/yıl} = \mathbf{652.802 \text{ \$/yıl}}$$

7.2.1.1 Gerçekleştirme Maliyeti

Mevcut atık su kanalına sıcak su ile beraber, soğuk sular da akmaktadır. Bu nedenle yıkama makinalarında tadilata ihtiyaç vardır. Soğuk su tahliyesi için ayrı bir kanal yapılmalı ve sıcak su kanalı izole edilmelidir. Yapılan piyasa araştırmasında toplam yatırım miktarı; eşanjör, pompalar, tesisat ve işçilik dahil olmak üzere yaklaşık 70.000 \$ olarak bulunmuştur.

7.2.1.2 Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi 7.4'deki eşitlikten,

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = 70.000 \$ \times 652.802 \text{ \$/yıl}$$

$$= 0,1 \text{ yıl (1 ay)}$$

8 SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de kişi başına enerji tüketimi A.B.D. ve Kanada’nın sekizde biri, Almanya, Japonya ve İngiltere’nin dörtte biri kadar iken, enerji yoğunluğu A.B.D. ve Kanada’ya eşit, Almanya, Japonya ve İngiltere’nin iki katıdır. Bu da Türkiye’de enerjinin, az ve verimsiz kullanıldığını ve verimsizliğin azalma yerine artma eğilimi gösterdiğine işaret etmektedir.

Türkiye enerji yoğunluğunu azaltıcı ve enerji kullanım verimini artırıcı tedbirler almalı, enerji tasarrufu ile ilgili politikalar oluşturmalı, en ucuz enerjinin tasarruf edilen enerji olduğu ilkesi unutulmamalı, refah seviyesinden fedakarlık yapmadan, kalite ve performansı düşürmeden bir mal ve hizmet üretmek için gerekli olan enerji miktarını azaltmayı hedeflemelidir.

Ekonomik olarak, ülke genelinde birleşik ısı-güç üretim sistemi uygulamalarının yaygınlaşması elektrik üretim kapasitesindeki artış sonucunda yeni santrallerin yapılması gerekliliğini azaltacaktır. Elektrik, daha az yatırımla üretilecek ve işletmeler arasındaki rekabetin de etkisiyle birim kWh başına maliyet azalacaktır. Aynı zamanda bileşik ısı-güç üretimi çerçevesinde sağlanan birincil enerjideki tasarruf aynı oranda çevresel açıdan da olumlu etki meydana getirecektir. [1]

Birleşik ısı-güç üretim tesislerinde enerjinin tasarruf miktarı kullanılan atığın yakıt olarak kullanılması durumunda hesaplanan maliyeti ile konvansiyonel olarak şebekeden çekilen elektriğin maliyeti arasındaki farka bağlı olacaktır. Fark ne kadar büyürse maliyet yönünden tasarruf artacak ve geri kazanım sistemi kendini daha kısa sürede ödeyecektir. Bu sebepten ötürü atık ısı veyahut ısıl değer taşıyan atıkların kullanılması durumunda enerji tasarrufu önemli miktarda artacaktır.

Bir işletmede atık enerjinin geri kazanılması çok önemlidir. Araştırmamızdan şöyle bir sonuç çıkarılabilir ki; atık enerjinin geri kazanılması ile %25 -%40'lara varan tasarruf sağlanabilir. Yine çalışmamızdan çıkarılan sonuç neticesinde, atık enerjinin geri kullanılması durumundan atık sudan, baca gazından, kondens sonucu oluşan flaş buhardan ısı olarak enerji geri kazanılabilir. Bu sayede işletmelerde büyük bir enerji tasarrufu sağlanabilir.

Atık maddelerden oluşan ve içerisinde metan gazı da bulunduran landfill gazı çalışmamızdan çıkarılan sonuçlar neticesinde geri kazanım sisteminde bulunan gaz motoru için iyi bir kaynaktır. Maliyeti olmayan bu gazın gaz motorunda kullanılarak ısı ve elektrik enerjisine dönüşmesi enerji geri kazanım yönünden çok önemlidir. Çalışmamızın bu bölümünde bu gazın değerlendirilerek elektrik enerjisi elde edilmesi ve atık ısının değerlendirilmesi için gerekli önerilerde bulunulmuştur.

Atık ısı sonuç olarak birçok proseste değerlendirilebilir. Türkiye'de atık ısı bölgesel ısıtılmalarda ve proseste gerekli buhar olarak kullanılıyor. İncelemelerimize göre Kemerburgaz'ın konumu itibarıyla atık ısının en uygun bir şekilde değerlendirilmesi ise proses buharı, bölgesel ısıtma ve seracılık için uygun olduğu tespit edilmiştir.

Bölüm 6'da atık çamurun yakılması sonucunda elde edilen enerjinin geri kazanılmasını inceledik. Atık çamurun yakılması sonucunda elde edilen sonuçlara göre, ünitenin enerji dengesi kurulmuş ve 772.7372 kcal/h enerjinin geri kazanılabileceği hesaplanmıştır. Bu sistem sonucunda enerji geri kazanımı, 1.050 MPa basınç ve 523 K sıcaklıkta buhar üretimi ile gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Yukarıdaki özelliklere sahip buharın üretilmesi sonucu toplam buhar miktarının 8.795 kg/saat olduğu görülmüştür. Yıllık enerji kazancı 1.025.848 \$ olarak hesaplanmıştır. Geri kazanım tesisinin 425.000 \$'a mal olduğu hesaplanmış olup yatırımın geri ödeme süresi de 5 ay olarak hesaplanmıştır.

Bölüm 7'de, sanayide az yatırımla kazanılabilecek, oldukça cazip enerji tasarrufu ve geri kazanım sistemleri ortaya konulmuştur. Çalışmada incelenen başlıca enerji tasarruf potansiyelleri; kazan yakma havasının ısıtılması, kirlenmiş akışkandan ısı geri kazanımı şeklindedir. Bu tasarruf potansiyellerinin enerji ve mali değerinin hesabı için gerekli hesaplar yapılmıştır.

Araştırılan enerji geri kazanım sistemleri ve enerji tasarrufları için farklı üretim sahalarında gerçekleştirilen örnekler verilerek, bunlar için geri kazanılarak tasarruf edilen enerji, enerjinin mali değeri, gerekli yatırım tutarı ve geri ödeme süreleri hesap edilmiştir. Bu örneklerde hesap edilen geri ödeme süreleri; kazan yakma

havasının ısıtılarak kullanılmasıyla yaklaşık 4 ay, kirlenmiş akışkandan ısı geri kazanılmasıyla 1 aydır.

Yukarıda sunulan cazip ödeme sürelerinin sanayiciyi yatırıma teşvik edeceği umulmaktadır. Böylece sanayici aynı ürünü daha düşük maliyetle elde ederek, ulusal ve uluslararası alanda rekabet gücünü arttıracaktır.

KAYNAKLAR

- 1) Enerji Bülteni, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, ANKARA, 1996
- 2) Turbomach Endüstriyel Enerji Sistemleri, Özel İletişim, İSTANBUL, 2006
- 3) Başol, F., “Gaz Türbinli Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemleri”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., İSTANBUL, 1999
- 4) Akın, Y., “Endüstriyel Tesislerde Atık Isıları Değerlendirme Yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, DENİZLİ, 1997
- 5) Jenbacher Enerji, “Tanıtım Katologları”, İSTANBUL, 2002
- 6) Schneider, M., “Jenbacher Gaz Motorları Teknolojisiyle Enerjinin Geri Kazanımı Uygulamaları”, ICCI 2002 Konferans Kitabı, s:59-66, İSTANBUL, 2002
- 7) Eren, T., “Birleşik Isı-Güç Santralleri”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İSTANBUL, 1996
- 8) Arıkan, N., Varal, V., “Kojenerasyon Enerji Santralinde Üretilen Buharın Ön Yalıtımlı Borular Kullanarak Enerjinin Geri Kazanılması”, ICCI 2002 Konferans Kitabı, s:51-58, İSTANBUL, 2002
- 9) Bala, H., “Çöplük Gazı İle Kojenerasyon Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, SAKARYA, 1997
- 10) Kemberburgaz Enerji Üretim Tesisleri Enerji Kısım Şefliği, Özel İletişim, İSTANBUL, 2006
- 11) Kaya, D., “Tüpraş İzmit Rafinerisi Atık Çamuru Yakma Tesisinin Enerji Geri Kazanımı Potansiyelinin Etüdü”, Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 521, 2003
- 12) Saraç, H., Kaya, D., Toklu, E., Çanka, F., “Tüpraş İzmit Rafinerisi Atık Çamuru Yakma Prosesi”, 12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, SAKARYA, 2000

- 13) Kaya, D., “Tüpraş İzmit Rafinerisi Proses Atık Buharı Isı Enerjisinin Geri Kazanılmasının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, KOCAELİ, 1996
- 14) Saraç, H., Kaya, D., Sözbir, N., Çallı, İ., “Tüpraş İzmit Rafinerisi Proses Atık Buharı Isı Enerjisinin Geri Kazanılmasının Araştırılması”, Beşinci Yanma Sempozyumu, BURSA, 1997
- 15) Güngör, D., Kaya, D., “Sanayide Enerji Tasarruf Potansiyeli-II”, Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 515, 2002
- 16) Sanayide Enerji Yönetimi, Cilt I-III, EİEİ/UETM, ANKARA, 1997

ÖZGEÇMİŞ

Çağatay BENGÜL, 1981 Üsküdar doğumludur. 2002- 2003 öğretim yılında Makine Mühendisliği'nden mezun oldu. 2003- 2004 öğretim yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tahsiline başladı. Halen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrencisidir.

KULLANILAN BİRİMLER

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ kWh} = 3.600 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$$

$$1 \text{ kw} = 0,239 \text{ kcal/sn}$$

$$1 \text{ kWh} = 860,1 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kWh} = 0,125 \text{ YTL (Elektrik piyasasına göre yaklaşık alınan değer)}$$

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J} = 1000 \text{ Nm} = 1 \text{ kPa.m}^3$$

$$1 \text{ kJ / kg} = 1000 \text{ m}^2/\text{sn}$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/sn}$$

$$1 \text{ kJ / (kg.C}^0) = 1 \text{ kJ / (kg.K)} = 1 \text{ J / (g. } ^\circ\text{C)}$$

$$T \text{ (K)} = T \text{ (} ^\circ\text{C)} + 273,15$$